



PAŃSTWOWY
INSTYTUT
GEOLOGICZNY

Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31.12.2018 r.

BILANS PERSPEKTYWICZNYCH ZASOBÓW KOPALIN POLSKI

WG STANU NA 31.12.2018 R.



Wydawca:
Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa 2020

ISBN 978-83-66509-92-4

BILANS PERSPEKTYWICZNYCH ZASOBÓW KOPALIN POLSKI

WG STANU NA 31.12.2018 R.

Warszawa 2020

Praca zbiorowa pod redakcją: Krzysztofa Szamałka, Marcina Szufflickiego, Włodzimierza Mizerskiego

Redaktorzy działowi: Grzegorz Czapowski, Anna Feldman-Olszewska, Krzysztof Galos, Olimpia Kozłowska, Włodzimierz Mizerski, Tadeusz Smakowski, Mariusz Socha, Wojciech Szczygielski, Krystyna Wołkowicz, Stanisław Wołkowicz

Zespół autorski: Teresa Adamczak-Biały, Honorata Awdankiewicz, Paweł Brański, Dariusz Brzeziński, Krzysztof Bukowski, Andrzej Chmielewski, Grzegorz Czapowski, Anna Feldman-Olszewska, Agnieszka Felter, Krzysztof Galos, Andrzej Gąsiewicz, Dorota Giełżecka-Mądry, Andrzej Głuszyński, Jerzy Hadro, Adam Ihnatowicz, Marcin Janas, Janusz Jureczka, Leszek Jurys, Jacek R. Kasiński, Hubert Kiersnowski, Paulina Kotlarek, Olimpia Kozłowska, Regina Kramarska, Włodzimierz Krieger, Paweł Kuć, Jan Kwarciański, Rafał Laskowicz, Ewa Lewicka, Izabela Ługiewicz-Mołas, Rafał Małek, Marek Markowiak, Sławomir Mazurek, Stanisław Z. Mikulski, Wojciech Miśkiewicz, Włodzimierz Mizerski, Maciej Młynarczyk, Marek Nieć, Sławomir Oszczepalski, Jolanta Paczeńska, Tadeusz Peryt, Teresa Podhalańska, Małgorzata Ponikowska, Wojciech Retman, Jan Rzymelka, Katarzyna Sadłowska, Lesław Skrzypczyk, Barbara Słodkowska, Tadeusz Smakowski, Mariusz Socha, Jakub Sokołowski, Cezary Sroga, Krzysztof Szamałek, Wojciech Szczygielski, Eugeniusz Sztromwasser, Marcin Szufflicki, Iwona Walentek, Krzysztof Waškiewicz, Janina Wiszniewska, Krystyna Wołkowicz, Stanisław Wołkowicz, Adam Wójcicki, Karol Zglinicki

Recenzenci: dr hab. Maciej Bąbel, prof. dr hab. inż. Jan Bromowicz, prof. dr hab. inż. Wojciech Górecki, prof. dr hab. inż. Andrzej Paulo, prof. dr hab. inż. Tadeusz Ratajczak, prof. dr hab. Andrzej Sadurski, prof. dr hab. inż. Ryszard Uberman



Sfinansowano ze środków
Narodowego Funduszu
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

Akceptował do druku 09.03.2020 r.
dr Andrzej Głuszyński, Zastępca Dyrektora ds. służby geologicznej

© Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2020
Wydawca: Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy,
ul. Rakowiecka 4; 00-975 Warszawa

ISBN 978-83-66509-92-4

Redakcja, projekt, opracowanie typograficzne, skład i łamanie: Anna Kalinowska, Anna Majewska
Projekt okładki i przekładok: Monika Cyrklewicz
Zdjęcie na okładce i na str. 47, 125, 205, 237, 315, 353, 413: fot. Dariusz Iwański, **str. 393:** fot. Thinkstock

Publikacja dostępna na stronie internetowej <http://surowce.pgi.gov.pl>

Przy publikowaniu danych z Bilansu prosimy o podanie źródła

Druk i oprawa: Drukarnia Braci Grodzickich Sp.J., ul. Geodetów 47a, 05-500 Piaseczno
Nakład: 250 egz.

*Pamięci Tadeusza Smakowskiego (1950–2019)
i w uznaniu ogromu Jego zasług w przygotowaniu
„Bilansu perspektywicznych zasobów kopalin Polski”
– edycje 1986, 1993, 2011, 2019*

SPIS TREŚCI

Przedmowa	15
CZĘŚĆ I	17
1. Wstęp — Krzysztof Szamalek, Marcin Szuflicki, Włodzimierz Mizerski	19
2. Polityka surowcowa państwa — Krzysztof Szamalek, Sławomir Mazurek	21
3. Stan rozpoznania geologicznego Polski — Włodzimierz Mizerski	24
4. Międzynarodowe doświadczenia w szacowaniu perspektywicznych zasobów kopalin — Marek Nieć, Krzysztof Szamalek, Marcin Szuflicki	29
5. Zasady określania perspektywicznych zasobów kopalin — Marek Nieć, Krzysztof Szamalek, Marcin Szuflicki	33
5.1. Klasyfikacja przewidywanych zasobów złóż nieodkrytych	33
5.2. Szacowanie zasobów złóż nieodkrytych	36
5.3. Przyjęte zasady wyznaczania złóż i zasobów perspektywicznych	37
6. Ocena wystarczalności krajowych zasobów złóż udokumentowanych — Krzysztof Szamalek, Marcin Szuflicki, Dariusz Brzeziński	38
CZĘŚĆ II	45
7. Kopaliny energetyczne pod redakcją Anny Feldman-Olszewskiej	47
7.1. Ropa naftowa (<i>crude oil</i>), gaz ziemny (<i>natural gas</i>), kondensat ropno-gazowy (<i>condensate</i>) — Anna Feldman-Olszewska, Hubert Kiersnowski, Tadeusz Peryt, Jolanta Paczeńska, Rafał Laskowicz, Marcin Janas, Andrzej Głuszyński, Krzysztof Wąskiewicz	49
7.1.1. Rodzaje złóż i ich geneza	49
7.1.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	49
7.1.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	51
7.1.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	52
7.1.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	53
7.1.5.1. Formacja ropo-gazonośna kambryjska na Niżu Polskim	53
7.1.5.2. Formacja ropo-gazonośna dewońsko-karbońska na Niżu Polskim	55
7.1.5.3. Formacja gazonośna czerwonego spągowca na Niżu Polskim	56
7.1.5.4. Formacja ropo-gazonośna dolomitu głównego na Niżu Polskim	59
7.1.5.5. Formacja ropo-gazonośna mezozoiczna na Niżu Polskim i przedgórzu Karpat	60
7.1.5.6. Przedgórze Karpat	62
7.1.5.7. Karpaty	63
7.1.6. Stan rozpoznania geologicznego	63
7.1.7. Ocena zasobów i ich zmian	64
7.1.7.1. Kambr	65
7.1.7.2. Dewon–karbon	65
7.1.7.3. Czerwony spągowiec	66
7.1.7.4. Dolomit główny	66
7.1.7.5. Mezozoik	67
7.1.7.6. Karpaty i zapadlisko przedkarpackie	68
7.1.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	69
7.2. Gaz i ropa z łupków (<i>shale gas, shale oil</i>), gaz zamknięty (<i>tight gas</i>) — Adam Wójcicki, Hubert Kiersnowski, Teresa Podhalańska, Marcin Janas, Andrzej Głuszyński, Jolanta Paczeńska, Teresa Adamczak-Biały	70
7.2.1. Rodzaje złóż i ich geneza	70
7.2.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	70
7.2.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	74
7.2.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	75

7.2.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	76
7.2.6. Stan rozpoznania geologicznego	81
7.2.7. Ocena zasobów i ich zmian	82
7.2.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	83
7.3. Węgiel brunatny (<i>brown coal</i>) — Jacek R. Kasiński, Sławomir Mazurek, Maciej Młynarczyk	84
7.3.1. Rodzaje złóż i ich geneza	85
7.3.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	85
7.3.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	87
7.3.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	88
7.3.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	88
7.3.6. Stan rozpoznania geologicznego	89
7.3.7. Ocena zasobów i ich zmian	92
7.3.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	96
7.4. Węgiel kamienny (<i>hard coal</i>) — Janusz Jureczka, Adam Ihnatowicz, Paulina Kotlarek, Włodzimierz Krieger, Maciej Młynarczyk	99
7.4.1. Rodzaje złóż i ich geneza	99
7.4.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	99
7.4.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	101
7.4.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	101
7.4.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	102
7.4.6. Stan rozpoznania geologicznego	105
7.4.7. Ocena zasobów i ich zmian	106
7.4.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	112
7.5. Metan z pokładów węgla (<i>coalbed methane</i>) — Jerzy Hadro, Janusz Jureczka	113
7.5.1. Rodzaje złóż i ich geneza	113
7.5.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	113
7.5.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	114
7.5.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	114
7.5.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	115
7.5.6. Stan rozpoznania geologicznego	116
7.5.7. Ocena zasobów i ich zmian	117
7.5.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	118
7.6. Uran (<i>uranium</i>) — Stanisław Wolkowicz	120
7.6.1. Rodzaje złóż i ich geneza	120
7.6.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	120
7.6.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	120
7.6.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	121
7.6.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	121
7.6.6. Stan rozpoznania geologicznego	122
7.6.7. Ocena zasobów i ich zmian	122
7.6.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	122
8. Rudy metali pod redakcją Stanisława Wolkowicza	125
8.1. Rudy miedzi i srebra (<i>copper and silver ores</i>) — Sławomir Oszczepalski, Marek Markowiak, Andrzej Chmielewski	127
8.1.1. Rodzaje złóż i ich geneza	127
8.1.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	128
8.1.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	131
8.1.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	131
8.1.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	133
8.1.5.1. Stratoidalne złoża Cu-Ag	133
8.1.5.2. Złoża stratoidalne rud Zn-Pb obszaru śląsko-krakowskiego	140
8.1.5.3. Złoża porfirowe rud Mo-Cu-W i skarnowo-metasomatyczne rud Cu(-Mo-W-Zn-Pb-Fe-Bi-As-Te) strefy kontaktowej bloku górnośląskiego i małopolskiego	140
8.1.5.4. Złoża hydrotermalne żyłowe, stratoidalne Cu(-Pb-Zn-Ag) i hipergeniczne w dewońskiej formacji miedzionośnej Gór Świętokrzyskich	143
8.1.6. Stan rozpoznania geologicznego	145
8.1.7. Ocena zasobów i ich zmian	149
8.1.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	150

8.2. Rudy cynku i ołowiu (<i>zinc and lead ores</i>) — <i>Stanisław Z. Mikulski, Wojciech Retman</i>	152
8.2.1. Rodzaje złóż i ich geneza	152
8.2.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	152
8.2.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	154
8.2.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	154
8.2.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	154
8.2.5.1. Opis innych regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych cynku i ołowiu	159
8.2.6. Stan rozpoznania geologicznego	160
8.2.7. Ocena zasobów i ich zmian	160
8.2.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	161
8.3. Rudy cyny (<i>tin ores</i>) — <i>Stanisław Z. Mikulski, Rafał Malek</i>	162
8.3.1. Rodzaje złóż i ich geneza	162
8.3.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	162
8.3.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	162
8.3.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	163
8.3.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	163
8.3.6. Stan rozpoznania geologicznego	166
8.3.7. Ocena zasobów i ich zmian	167
8.3.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	167
8.4. Rudy niklu (<i>nickel ores</i>) — <i>Stanisław Z. Mikulski, Katarzyna Sadłowska</i>	168
8.4.1. Rodzaje złóż i ich geneza	168
8.4.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	168
8.4.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	168
8.4.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	169
8.4.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	169
8.4.5.1. Złóża wietrzeńcowe niklu	169
8.4.5.2. Wystąpienia magmowych rud siarczkowych niklu	171
8.4.5.3. Nikiel jako kopalina towarzysząca cechsztyńskim rudom miedzi na monoklinie przedsudeckiej	172
8.4.6. Stan rozpoznania geologicznego	173
8.4.7. Ocena zasobów i ich zmian	173
8.4.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	173
8.5. Rudy złota (<i>gold ores</i>) — <i>Stanisław Z. Mikulski, Sławomir Oszczepalski</i>	174
8.5.1. Rodzaje złóż i ich geneza	174
8.5.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	174
8.5.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	175
8.5.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	175
8.5.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	176
8.5.5.1. Pierwotne złóża złota	176
8.5.5.2. Okruchowe złóża złota	183
8.5.5.3. Złoto antropogeniczne	184
8.5.6. Stan rozpoznania geologicznego	185
8.5.7. Ocena zasobów i ich zmian	185
8.5.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	186
8.6. Rudy molibdenu (<i>molybdenum ores</i>) i wolframu (<i>tungsten ores</i>) — <i>Stanisław Z. Mikulski,</i> <i>Marek Markowiak, Sławomir Oszczepalski</i>	188
8.6.1. Rodzaje złóż i ich geneza	188
8.6.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	188
8.6.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	189
8.6.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	189
8.6.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	191
8.6.5.1. Złóża porfirowe rud Mo-Cu-W i skarnowo-metasomatyczne rud Cu(-Mo-W-Zn-Pb-Fe-Bi-As-Te) strefy kontaktu bloków górnośląskiego i małopolskiego	191
8.6.5.2. Porfirowe i żyłowe rudy Mo(-Cu) i Mo-W-Sn na bloku przedsudeckim i w Sudetach	193
8.6.5.3. Formacje czarnych łupków molibdenonośnych	194
8.6.5.4. Mineralizacja scheelitowa w strefach kontaktowych intruzji granitoidowych z osłonami metamorficznymi w Sudetach	195
8.6.5.5. Mineralizacja wolframowa w strefach grejzenizacji w Sudetach	195
8.6.6. Stan rozpoznania geologicznego	195

8.6.7. Ocena zasobów i ich zmian	195
8.6.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	195
8.7. Pierwiastki ziem rzadkich (<i>rare earth elements</i> – REE), metale ziem rzadkich (<i>rare earth metals</i> – REM), pierwiastki ziem rzadkich i itr (<i>rare earth elements and yttrium</i> – REY) — Stanisław Wolkowicz, Stanisław Z. Mikulski, Karol Zglinicki	197
8.7.1. Rodzaje złóż i ich geneza	197
8.7.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	197
8.7.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	197
8.7.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	197
8.7.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	197
8.7.6. Stan rozpoznania geologicznego	198
8.7.7. Ocena zasobów i ich zmian	198
8.7.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	198
8.8. Rudy żelaza (<i>iron ores</i>) — Janina Wiszniewska	200
8.8.1. Rodzaje złóż i ich geneza	200
8.8.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	201
8.8.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	201
8.8.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	202
8.8.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	202
8.8.6. Stan rozpoznania geologicznego	203
8.8.7. Ocena zasobów i ich zmian	203
8.8.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	204
9. Kopaliny chemiczne pod redakcją Grzegorza Czapowskiego	205
9.1. Baryt (<i>barite, baryte</i>) i fluoryt (<i>fluorite, fluorspar</i>) — Cezary Sroga	207
9.1.1. Rodzaje złóż i ich geneza	207
9.1.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	208
9.1.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	208
9.1.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	209
9.1.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych i stan ich rozpoznania	209
9.1.6. Ocena zasobów i ich zmian	212
9.1.7. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	212
9.2. Siarka, siarka rodzima (<i>native sulphur</i>) — Andrzej Gąsiewicz	213
9.2.1. Rodzaje złóż i ich geneza	213
9.2.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	215
9.2.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	215
9.2.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	216
9.2.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	216
9.2.6. Stan rozpoznania geologicznego	217
9.2.7. Ocena zasobów i ich zmian	217
9.2.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	217
9.3. Sól kamienna (<i>rock salt, salt, halites</i>) i sole potasowo-magnezowe (<i>potash salts, potassium salts, potassium-magnesium salts</i>) — Grzegorz Czapowski, Krzysztof Bukowski, Sławomir Mazurek	218
9.3.1. Rodzaje złóż i ich geneza	218
9.3.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność (Sławomir Mazurek)	219
9.3.2.1. Sól kamienna	219
9.3.2.2. Sole potasowo-magnezowe	221
9.3.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	221
9.3.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	222
9.3.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania obszarów perspektywicznych	223
9.3.6. Stan rozpoznania geologicznego	224
9.3.6.1. Sól kamienna	224
9.3.6.2. Sole potasowo-magnezowe	228
9.3.7. Ocena zasobów i ich zmian	229
9.3.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	232
9.4. Fosforyty (<i>phosphorites</i>) — Andrzej Gąsiewicz	233
9.4.1. Rodzaje złóż i ich geneza	233
9.4.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	233

9.4.3. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	233
9.4.4. Ocena zasobów i ich zmian	235
9.4.5. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	236
10. Kopaliny budowlane pod redakcją Wojciecha Szczygieskiego i Olimpii Kozłowskiej	237
10.1. Surowce ceramiki budowlanej (<i>building ceramics raw materials</i>), surowce do produkcji kruszyw ceramicznych i cementu (<i>mineral raw materials for production of clay aggregates and cement clinker</i>) — Wojciech Szczygieski, Iwona Walentek	239
10.1.1. Rodzaje złóż i ich geneza	239
10.1.1.1. Surowce czwartorzędowe	239
10.1.1.2. Surowce neogenu i paleogenu	240
10.1.1.3. Surowce mezozoiczne	242
10.1.1.4. Surowce paleozoiczne	243
10.1.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	245
10.1.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	248
10.1.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	249
10.1.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	250
10.1.6. Stan rozpoznania geologicznego	253
10.1.7. Ocena zasobów i ich zmian	254
10.1.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	256
10.2. Kruszywo naturalne piaskowo-żwirowe (<i>natural aggregates</i>) — Olimpia Kozłowska, <u>Tadeusz Smakowski</u> , Wojciech Miśkiewicz	258
10.2.1. Rodzaje złóż i ich geneza	258
10.2.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	259
10.2.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	260
10.2.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	261
10.2.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	262
10.2.6. Stan rozpoznania geologicznego	264
10.2.7. Ocena zasobów i ich zmian	264
10.2.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	274
10.3. Wapienie i margle przemysłowe – wapienie i margle dla przemysłu cementowego i wapienniczego (<i>limestones and marls for cement and lime industry</i>) — Dariusz Brzeziński	276
10.3.1. Rodzaje złóż i ich geneza	276
10.3.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	276
10.3.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	277
10.3.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	278
10.3.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	278
10.3.6. Stan rozpoznania geologicznego	279
10.3.7. Ocena zasobów i ich zmian	279
10.3.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	281
10.4. Gipsy i anhydryty (<i>gypsum and anhydrite</i>) — Eugeniusz Sztromwasser, Dorota Gielżecka-Mądry, Paweł Kuć	282
10.4.1. Rodzaje złóż i ich geneza	282
10.4.1.1. Złoża cechsztyńskie anhydrytu i gipsu	282
10.4.1.2. Złoża mioceńskie gipsu i anhydrytu	283
10.4.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	286
10.4.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	287
10.4.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	287
10.4.4.1. Przyjęte kryteria wyznaczania złóż cechsztyńskich anhydrytu i gipsu	288
10.4.4.2. Przyjęte kryteria wyznaczania złóż mioceńskich gipsu i anhydrytu	289
10.4.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	290
10.4.5.1. Cechsztyńskie złoża anhydrytu i gipsu	290
10.4.5.2. Mioceńskie złoża gipsu i anhydrytu	290
10.4.6. Stan rozpoznania geologicznego	291
10.4.6.1. Stan rozpoznania geologicznego cechsztyńskich złóż anhydrytu i gipsu	291
10.4.6.2. Stan rozpoznania geologicznego mioceńskich złóż gipsu i anhydrytu	293
10.4.7. Ocena zasobów i ich zmian	295
10.4.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	296
10.5. Kamienie łamane i bloczne (<i>crushed and dimension stones</i>), kamienie drogowe i budowlane (<i>road and building stones</i>) — Dariusz Brzeziński, Wojciech Miśkiewicz	297

10.5.1. Rodzaje złóż i ich geneza	297
10.5.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	297
10.5.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	298
10.5.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	298
10.5.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	299
10.5.5.1. Jednostki surowcowe skał magmowych	299
10.5.5.2. Jednostki surowcowe skał metamorficznych	300
10.5.5.3. Jednostki surowcowe skał osadowych	300
10.5.6. Stan rozpoznania geologicznego	301
10.5.7. Ocena zasobów i ich zmian	302
10.5.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	304
10.6. Kwarcyty, piaskowce kwarcytowe i łupki ogniotwale (<i>quartzite, quartzitic sandstone and quartzitic schist</i>) — <i>Dariusz Brzeziński, Krzysztof Galos</i>	305
10.6.1. Rodzaje złóż i ich geneza	305
10.6.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	305
10.6.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	306
10.6.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	306
10.6.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	306
10.6.6. Stan rozpoznania geologicznego	307
10.6.7. Ocena zasobów i ich zmian	307
10.6.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	308
10.7. Piaski kwarcowe do produkcji betonów komórkowych (<i>quartz sand for cellular concrete manufacture</i>), piaski kwarcowe do produkcji wyrobów wapienno-piaskowych (<i>quartz sand for lime-sand products manufacture</i>), piaski podsadzkowe (<i>filling sand</i>) — <i>Krzysztof Galos, Wojciech Miśkiewicz</i>	309
10.7.1. Rodzaje złóż i ich geneza	309
10.7.2. Zasoby krajowe i ich wystarczalność	309
10.7.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	310
10.7.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	310
10.7.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	310
10.7.6. Stan rozpoznania geologicznego	312
10.7.7. Ocena zasobów i ich zmian	312
10.7.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	312
11. Kopaliny przemysłu szklarskiego pod redakcją Krystyny Wolkowicz, Tadeusza Smakowskiego i Krzysztofa Galosa	315
11.1. Piaski szklarskie (<i>glass sand</i>), piaskowce szklarskie (<i>glass sandstone</i>), piaski kwarcowe dla przemysłu szklarskiego (<i>quartz sand for glass industry</i>) — <i>Krzysztof Galos</i>	317
11.1.1. Rodzaje złóż i ich geneza	317
11.1.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	317
11.1.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	317
11.1.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	318
11.1.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	318
11.1.6. Stan rozpoznania geologicznego	319
11.1.7. Ocena zasobów i ich zmian	319
11.1.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	320
11.2. Piaski formierskie (<i>foundry sands</i>), piaski dla odlewnictwa (<i>moulding sands</i>) — <i>Krzysztof Galos, Ewa Lewicka</i>	321
11.2.1. Rodzaje złóż i ich geneza	321
11.2.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	321
11.2.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	321
11.2.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	322
11.2.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	322
11.2.6. Stan rozpoznania geologicznego	323
11.2.7. Ocena zasobów i ich zmian	323
11.2.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	324
11.3. Kwarc żyłowy (<i>vein quartz</i>) — <i>Krystyna Wolkowicz, Cezary Sroga</i>	325
11.3.1. Rodzaje złóż i ich geneza	325
11.3.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	325

11.3.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	325
11.3.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	325
11.3.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	326
11.3.6. Stan rozpoznania geologicznego	327
11.3.7. Ocena zasobów i ich zmian	327
11.3.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	327
11.4. Kopaliny skaleniowe (<i>feldspar</i> , <i>Na-feldspar</i> , <i>K-feldspar</i>) — Cezary Sroga, Ewa Lewicka	329
11.4.1. Rodzaje złóż i ich geneza	329
11.4.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	329
11.4.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	330
11.4.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	330
11.4.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	330
11.4.6. Stan rozpoznania geologicznego	333
11.4.7. Ocena zasobów i ich zmian	333
11.4.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	334
11.5. Iły białe wypalające się (<i>white-firing clay</i> , <i>ball clay</i>), kamionkowe (<i>stoneware clay</i> , <i>ceramic clay</i>) i ogniotrwałe (<i>refractory clay</i> , <i>flint clay</i>) — Krzysztof Galos	335
11.5.1. Rodzaje złóż i ich geneza	335
11.5.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	335
11.5.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	336
11.5.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	337
11.5.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	337
11.5.6. Stan rozpoznania geologicznego	338
11.5.7. Ocena zasobów i ich zmian	338
11.5.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	339
11.6. Kaoliny (<i>kaolin</i>) — Ewa Lewicka	340
11.6.1. Rodzaje złóż i ich geneza	340
11.6.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	340
11.6.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	340
11.6.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	341
11.6.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	341
11.6.6. Stan rozpoznania geologicznego	343
11.6.7. Ocena zasobów i ich zmian	343
11.6.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	343
11.7. Dolomity przemysłowe (<i>industrial dolomite</i>), dolomity ceramiczne i szklarskie (<i>dolomite for ceramics and glass</i>), dolomity dla hutnictwa i materiałów ogniotrwałych (<i>smelter and refractory dolomite</i>), marmury dolomitowe (<i>dolomitic marble</i>) — Krzysztof Galos, Tadeusz Smakowski	345
11.7.1. Rodzaje złóż i ich geneza	345
11.7.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	345
11.7.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	346
11.7.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	346
11.7.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	346
11.7.6. Stan rozpoznania geologicznego	348
11.7.7. Ocena zasobów i ich zmian	348
11.7.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	348
11.8. Magnezyty (<i>magnesite</i>) — Cezary Sroga	350
11.8.1. Rodzaje złóż i ich geneza	350
11.8.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	350
11.8.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	351
11.8.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	351
11.8.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych i stan rozpoznania geologicznego	351
11.8.6. Ocena zasobów i ich zmian	352
11.8.7. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	352
12. Inne kopaliny pod redakcją Włodzimierza Mizerskiego	353
12.1. Kopaliny diatomitowe, diatomit (<i>diatomaceous rock</i> , <i>diatomite</i>) — Krystyna Wolkowicz	355
12.1.1. Rodzaje złóż i ich geneza	355

12.1.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	355
12.1.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	356
12.1.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	356
12.1.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	356
12.1.6. Stan rozpoznania geologicznego	357
12.1.7. Ocena zasobów i ich zmian	358
12.1.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	358
12.2. Ziemia krzemionkowa (<i>siliceous earth</i>) — <i>Krystyna Wolkowicz</i>	359
12.2.1. Rodzaje złóż i ich geneza	359
12.2.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	359
12.2.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	359
12.2.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	360
12.2.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	360
12.2.6. Stan rozpoznania geologicznego	361
12.2.7. Ocena zasobów i ich zmian	361
12.2.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	361
12.3. Kopaliny bentonitowe i zeolitowo-bentonitowe (<i>bentonite and bentonite clays, zeolite and zeolite clays</i>) — <i>Paweł Brański</i>	362
12.3.1. Rodzaje złóż i ich geneza	362
12.3.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	362
12.3.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	363
12.3.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	363
12.3.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	363
12.3.6. Stan rozpoznania geologicznego	364
12.3.7. Ocena zasobów i ich zmian	364
12.3.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	364
12.4. Darniowe rudy żelaza (<i>bog iron ore</i>) — <i>Paweł Brański</i>	365
12.4.1. Rodzaje złóż i ich geneza	365
12.4.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	365
12.4.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	366
12.4.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	366
12.4.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	366
12.4.6. Stan rozpoznania geologicznego	366
12.4.7. Ocena zasobów i ich zmian	367
12.4.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	367
12.5. Kreda jeziorna i gytia wapienna (<i>lacustrine chalc</i>) — <i>Leszek Jurys</i>	368
12.5.1. Rodzaje złóż i ich geneza	368
12.5.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	368
12.5.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	368
12.5.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	369
12.5.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	369
12.5.6. Stan rozpoznania geologicznego	369
12.5.7. Ocena zasobów i ich zmian	370
12.5.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	370
12.6. Kopaliny przemysłu jubilerskiego (<i>jewelery stones</i>)	371
12.6.1. Bursztyn, sukcynt (<i>amber, succinite</i>) — <i>Regina Kramarska, Jacek R. Kasiński, Barbara Słodkowska</i>	371
12.6.1.1. Rodzaje złóż i ich geneza	371
12.6.1.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	371
12.6.1.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	372
12.6.1.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	373
12.6.1.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	373
12.6.1.6. Stan rozpoznania geologicznego	374
12.6.1.7. Ocena zasobów i ich zmian	377
12.6.1.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	377
12.6.2. Krzemionkowe kopaliny przemysłu jubilerskiego (<i>siliceous jewelery stones</i>) — <i>Włodzimierz Mizerski, Krystyna Wolkowicz, Honorata Awdankiewicz, Jan Rzymelka</i>	378
12.6.2.1. Rodzaje złóż i ich geneza	378
12.6.2.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	380
12.6.2.3. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	380

12.6.2.4. Ocena zasobów i ich zmian	381
12.6.2.5. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	381
12.7. Torf (<i>peat</i>) — <i>Jacek R. Kasiński</i>	382
12.7.1. Rodzaje złóż i ich geneza	382
12.7.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	382
12.7.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	384
12.7.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	384
12.7.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	385
12.7.6. Stan rozpoznania geologicznego	385
12.7.7. Ocena zasobów i ich zmian	385
12.7.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	386
12.8. Gazy (<i>gases</i>)	387
12.8.1. Hel (<i>helium</i>) — <i>Izabela Ługiewicz-Molas, Jan Kwarciański, Małgorzata Ponikowska</i>	387
12.8.1.1. Rodzaje złóż i ich geneza	387
12.8.1.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	387
12.8.1.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	387
12.8.1.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	387
12.8.1.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych i stan rozpoznania geologicznego	388
12.8.1.6. Ocena zasobów i ich zmian	389
12.8.1.7. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	389
12.8.2. Azot (<i>nitrogen</i>) — <i>Jan Kwarciański, Izabela Ługiewicz-Molas</i>	390
12.8.2.1. Rodzaje złóż i ich geneza	390
12.8.2.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	390
12.9. Haloizyt (<i>halloysite</i>) — <i>Krzysztof Szamalek</i>	391
12.9.1. Rodzaje złóż i ich geneza	391
12.9.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność	391
12.9.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	391
12.9.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	391
12.9.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	391
12.9.6. Stan rozpoznania geologicznego	392
12.9.7. Ocena zasobów i ich zmian	392
12.9.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	392
13. Wody jako kopalina pod redakcją Mariusza Sochy	393
13.1. Solanki (<i>brine</i>) — <i>Agnieszka Felter</i>	395
13.1.1. Rodzaje złóż i ich geneza	395
13.1.2. Krajowe zasoby i ich wystarczalność	395
13.1.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	396
13.1.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	396
13.1.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	396
13.1.6. Stan rozpoznania geologicznego	399
13.1.7. Ocena zasobów i ich zmian	399
13.1.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	399
13.2. Wody lecznicze (<i>therapeutic water, medicinal water</i>) — <i>Jakub Sokolowski</i>	400
13.2.1. Rodzaje złóż i ich geneza	400
13.2.2. Zasoby krajowe i ich wystarczalność	400
13.2.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	401
13.2.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	401
13.2.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	401
13.2.6. Stan rozpoznania geologicznego	402
13.2.7. Ocena zasobów i ich zmian	403
13.2.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań	404
13.3. Wody termalne (<i>thermal water, geothermal water</i>) — <i>Mariusz Socha</i>	405
13.3.1. Rodzaje złóż i ich geneza	405
13.3.2. Zasoby krajowe i ich wystarczalność	406
13.3.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż	406
13.3.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych	407
13.3.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych	407
13.3.6. Stan rozpoznania geologicznego	408

13.3.7. Ocena zasobów i ich zmian	408
13.3.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań.	409
13.4. Pierwiastki uzyskiwane z wód uznanych za kopalinę (<i>elements obtained from water considered as mineral</i>) — <i>Jakub Sokółowski</i>	410
13.4.1. Jod	410
13.4.2. Lit	410
13.4.3. Inne (brom, magnez, potas)	410
13.4.4. Pierwiastki ziem rzadkich	411
13.4.5. Wnioski i rekomendacje dalszych działań.	411
14. Kopaliny podmorskie — <i>Regina Kramarska, Krzysztof Szamalek</i>	413
14.1. Kopaliny podmorskie (sea-bed minerals)	415
14.1.1. Piaski i żwiry (kruszywo naturalne)	416
14.1.2. Mineraly ciężkie	418
14.1.3. Piaski szklarskie	419
14.1.4. Bursztyn	419
14.1.5. Konkrecje polimetaliczne	419
14.1.6. Węglowodory (Marcin Janas, Jolanta Paczeńska)	420
15. Potencjalne ograniczenia możliwości zagospodarowania zasobów perspektywicznych — <i>Olimpia Kozłowska</i>	423
16. Podsumowanie — <i>Krzysztof Szamalek</i>	429
17. Literatura	433

ZAŁĄCZNIKI

Załącznik 1	Mapa występowania udokumentowanych złóż kopalin w Polsce
Załącznik 2A–E	Rozmieszczenie otworów wiertniczych na tle odkrytej mapy geologicznej Polski bez utworów kenozoiku (A – o głębokości od 500 do 1000 metrów; B – o głębokości od 1000 do 2000 metrów; C – o głębokości od 2000 do 3000 metrów; D – o głębokości od 3000 do 5000 metrów, E – o głębokości powyżej 5000 metrów)
Załącznik 2F	Pokrycie obszaru Polski badaniami sejsmicznymi 2D i 3D na tle odkrytej mapy geologicznej Polski bez utworów kenozoiku
Załącznik 3	Mapa perspektywicznych obszarów występowania kopalin energetycznych (bez uranu) w Polsce
Załącznik 4	Mapa perspektywicznych obszarów występowania kopalin metalicznych w Polsce
Załącznik 5	Mapa perspektywicznych obszarów występowania kopalin chemicznych w Polsce
Załącznik 6	Mapa perspektywicznych obszarów występowania surowców skalnych i innych w Polsce
Załącznik 7	Mapa perspektywicznych obszarów występowania wód leczniczych i termalnych w Polsce
Załącznik 8	Mapa potencjalnych ograniczeń możliwości zagospodarowania obszarów perspektywicznych

PRZEDMOWA

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (PIG-PIB) już od 100 lat prowadzi badania budowy geologicznej Polski mające na celu jak najdokładniejsze rozpoznanie płytkich i głębokich struktur geologicznych, zwłaszcza pod kątem możliwości rozpoznania zasobów kopalin i uzupełnienia krajowej bazy surowców mineralnych. Dzięki informacjom zbieranym w toku prowadzenia prac kartografii geologicznej, tysiącom otworów badawczych, poszukiwawczych i rozpoznawczych, badaniom geofizycznym, a przede wszystkim ogromnej pracy intelektualnej geologów dokonano bardzo wielu istotnych odkryć złóż surowców mineralnych, które przez lata miały podstawowe znaczenie dla funkcjonowania gospodarki narodowej. Wiedza na temat stanu i rozmieszczenia udokumentowanych już złóż kopalin jest niezwykle istotna dla bieżącego funkcjonowania przemysłu wydobywczego w Polsce, ale dla stworzenia warunków dalszego wzrostu gospodarczego oraz zapewnienia bezpieczeństwa surowcowego kraju niezbędne jest uzupełnienie tej wiedzy o najnowsze informacje dotyczące nieodkrytego potencjału surowcowego naszego kraju.

Opracowaniem, w którym Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, wypełniający zadania państwowej służby geologicznej, przedstawia najnowsze, zaktualizowane i zweryfikowane informacje o potencjalnych zasobach surowcowych naszego kraju jest *Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski*.

Od ostatniego wydania *Bilansu perspektywicznych zasobów kopalin Polski* (2011) mija blisko 10 lat. Aktualne, rozszerzone i uzupełnione wydanie *Bilansu* zawierające informacje zgodne ze stanem na koniec 2018 r. to efekt pracy wieloosobowego zespołu autorów, którzy podsumowują wyniki badań (zarówno własnych, jak i innych naukowców) i przedstawiają zaktualizowaną ocenę w zakresie potencjału zasobowego Polski. Mimo wieloletniej eksploatacji krajowych zasobów złóż i znacznego szczypania udokumentowanych złóż kopalin potencjał ten należy oceniać nadal jako wysoki, mogący w przyszłości (i po dokładnym rozpoznaniu geologicznym) zaspokoić część potrzeb gospodarki kraju.

Oddając w Państwa ręce niniejszą publikację, wyrażamy nadzieję, że znajdzie ona swoich odbiorców w gronie wszystkich tych, dla których kwestie potencjału zasobowego Polski są interesujące ze względów politycznych (w kontekście kształtowania polityki surowcowej Polski), gospodarczych i społecznych. Wszystkich szerzej zainteresowanych tematyką surowcową odsyłamy również do witryny internetowej Instytutu „Surowce mineralne Polski” (<http://surowce.pgi.gov.pl>), gdzie można znaleźć wcześniejsze wydania *Bilansu*, a także wiele innych publikacji i informacji związanych z tematyką surowcową.

dr Andrzej Głuszyński
Zastępca Dyrektora ds. służby geologicznej

CZĘŚĆ I

Krzysztof Szamalek, Marcin Szufficki, Włodzimierz Mizerski

1. WSTĘP

W stulecie istnienia Państwowego Instytutu Geologicznego (PIG) oddajemy do rąk Czytelnika kolejny *Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski*, w którym zamieszczono dane zgodne ze stanem na dzień 31.12.2018 r. Pod względem układu i treści monografia jest wzorowana na poprzednim wydaniu *Bilansu** z 2011 r. (Wołkowicz S. i in., 2011) i zawiera te jego fragmenty, które nie straciły swojej aktualności. Monografia zawiera zarówno uzupełnione informacje o kopalinach uwzględnianych w poprzednich edycjach *Bilansu*, jak i informacje o kopalinach wprowadzonych do *Bilansu* po raz pierwszy (np. kopaliny morskie/podmorskie, kopaliny przemysłu jubilerskiego), a także nowe informacje (rozpoznanie geologiczne Polski). Kopaliny morskie dodano w związku ze wzrostem wiedzy oraz zaangażowania Polski w badania kopaliny oceanicznych w ramach działalności InterOceanmetal i programu rządowego badania oceanów PRoGeO (Uchwala..., 2017; Szamalek i in., 2018). Omówione perspektywiczne zasoby podmorskich kopaliny dotyczą polskich obszarów morskich.

W ciągu ostatnich 40 lat Państwowy Instytut Geologiczny już kilkakrotnie wykonał ocenę perspektywicznych zasobów kopaliny. Pierwsze opracowanie krajowych prognoz surowcowych zostało wykonane przez Instytut Geologiczny w 1971 r., w ramach projektu „Polska 2000” przygotowanego przez Polską Akademię Nauk (Wesołowski, 1971).

Z kolei w 1986 r. wydano *Zasoby perspektywiczne kopaliny Polski* (Bolewski i Gruszczyk, 1986). Następną pozycję z tego zakresu przygotował Państwowy Instytut Geologiczny w 1993 r. – *Zasoby perspektywiczne kopaliny Polski* (Bąk i Przeniosło, 1993).

Ostatni *Bilans perspektywicznych zasobów kopaliny Polski* pod redakcją S. Wołkowicza i in. ukazał się w 2011 r. i zawierał dane aktualne na dzień 31.12.2009 r.

Wiedza i znajomość o zasobach kopaliny ma podstawowe znaczenie dla bezpieczeństwa surowcowego kraju i podejmowania planistycznych rozstrzygnięć w zakresie surowcowej strategii gospodarczej państwa. Pojęcia kopalina, złoża i jego zasoby są jednymi z najważniejszych terminów używanych w geologii złóż i geologii gospodarczej. Są one jednak zmienne w czasie oraz zależne od rozwoju wiedzy i techniki. Dynamicznie rozwijająca się wiedza i związany z nią postęp naukowo-techniczny pozwalają na rozwój narzędzi i technologii badawczych w zakresie geologii złóż i stwarzają nadzieję na zaspokajanie potrzeb ludzkości bez wystąpienia globalnych barier surowcowych (Smakowski i Szamalek, 2011). Dzięki nim możliwe jest znalezienie złóż kopaliny na obszarach wcześniej uznanych za nierokujące szans na odkrycia. Tworzą zatem najbardziej ogólne przesłanki do wskazania perspektyw złóżowych i wstępnego określenia wielkości potencjalnych zasobów hipotetycznych, perspektywicznych i prognostycznych. Umożliwiają także formułowanie prognoz o kierunkach zastosowań surowców w przyszłości (Szpilewicz, 1979).

Wiedza o zasobach perspektywicznych pozwala racjonalnie gospodarować przestrzenią kraju, chronić obszary występowania złóż i planować dalsze działania geologiczno-poszukiwawcze (Gąsiewicz i in., 2002). Zapewnienie bezpieczeństwa surowcowego kraju wymaga stałego i systematycznego gromadzenia informacji o stanie zasobów na wszystkich etapach ich poznawania i rozpoznania (Szamalek, 2011a; Galos i in., 2012a, b, c). Zasoby, sygnalizowane na podstawie nawet w najniższym stopniu wiarygodnych danych dotyczących ich wielkości, mogą i powinny być poddawane weryfikacji i waloryzacji. Jest to jedno z podstawowych zadań państwowej służby geologicznej. Wielką tradycję i osiągnięcia w tym zakresie ma Państwowy Instytut Geologiczny, realizujący swoje zadania już od 1919 r.

Sam termin zasoby perspektywiczne kopaliny nie jest wystarczająco precyzyjnie zdefiniowany, zarówno w polskiej, jak i w zagranicznej literaturze fachowej. Najważniejsze problemy teoretyczne rodzi kwestia możliwości szacowania zasobów (nawet wstępnego) na podstawie fragmentarycznych i niepewnych danych. Zagadnienia terminologiczne omówiono w rozdziałach 4 i 5. W *Bilansie* zamieszczone są informacje o zasobach perspektywicznych oraz prognostycznych (w przyszłości należy zastanowić się zatem nad zmianą jego tytułu na *Bilans prognostycznych i perspektywicznych zasobów kopaliny Polski*). Jednak nawet te wstępne, ogólne, obarczone istotnym błędem szacowania informacje dotyczące możliwości występowania złóż kopaliny w określonych rejonach kraju, mogą i powinny spełniać ważną funkcję pomocniczą i planistyczną

*Ileokroć w tekście pojawia się skrót *Bilans*, mowa jest o *Bilansie perspektywicznych zasobów kopaliny Polski*. Nazwy pozostałych bilansów (*Bilans zasobów złóż kopaliny w Polsce*, *Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata*) są skracane do dwóch wyrazów (odpowiednio *Bilans zasobów...*, *Bilans gospodarki...*).

w działalności organów samorządowych, inwestorów czy instytucji rządowych. Geologiczny potencjał surowcowy kraju stanowi ważną przesłankę do podejmowania decyzji o kierunku i tempie rozwoju projektów surowcowych. Zatem *Bilans* stanowi dla zagranicznych inwestorów surowcowych pozycję komplementarną do *Mineral resources of Poland* (Szamalek i in., 2017c). Zawarte w *Mineral resources...* informacje o zasobach złóż udokumentowanych i warunkach prawnych i ekonomicznych prowadzenia działalności geologiczno-górnicznej w Polsce w połączeniu z informacją o geopotencjale Polski mogą stanowić doskonałą podstawę do przeprowadzenia analizy na wczesnych etapach tworzenia surowcowego projektu inwestycyjnego (Szamalek, 2007).

Prognostyczne zasoby kopalin na obszarze każdego kraju powinny być szacowane na podstawie aktualnej wiedzy na temat jego budowy geologicznej. Jednak bardzo ważne jest także wskazanie tych obszarów, gdzie rozpoznanie budowy geologicznej nie jest jeszcze dostateczne, tak aby móc w sposób wiarygodny prognozować w przyszłości występowanie tam określonych kopalin.

W *Bilansie* są zawarte informacje o zasobach złóż pierwotnych. W przyszłości należy rozważyć uwzględnienie w *Bilansie* także danych o zasobach złóż wtórnych (pochodzenia antropogenicznego).

W niniejszym wydaniu *Bilansu* po raz pierwszy na tak szeroką skalę uwzględniono wykaz cytowanej literatury (ponad 1000 pozycji). Wynika to z chęci ułatwienia Czytelnikowi dotarcia do materiałów źródłowych, a także z potrzeby przedstawienia rzetelnej i wszechstronnej monografii naukowej. Publikacja obejmuje również osiem poglądowych załączników mapowych, na których zobrazowano rozmieszczenie w Polsce: udokumentowanych złóż kopalin (zał. 1), głębokich otworów wiertniczych i badań sejsmicznych 2D i 3D (zał. 2), obszarów perspektywicznych występowania kopalin energetycznych (zał. 3), kopalin metalicznych (zał. 4), kopalin chemicznych (zał. 5), surowców skalnych i innych (zał. 6), wód leczniczych i termalnych (zał. 7) oraz potencjalnych ograniczeń możliwości zagospodarowania zasobów perspektywicznych (zał. 8).

Zespół autorów *Bilansu* składa się przede wszystkim z pracowników Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego, a ponadto z pracowników Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN.

Autorzy mają nadzieję, że nowy *Bilans* będzie przydatny Czytelnikowi w pracy zawodowej i jednocześnie zwracają się do wszystkich użytkowników *Bilansu* o przekazanie swoich uwag i komentarzy, które zostaną wykorzystane przy przygotowaniu kolejnych wydań *Bilansu*.

Krzysztof Szamalek, Sławomir Mazurek

2. POLITYKA SUROWCOWA PAŃSTWA

Surowce mineralne są produktami przeróbki technologicznej kopalin. Kopaliny wydobywane ze złóż, przetwarzane następnie w surowce mineralne, stanowią nieodłączną część procesów gospodarczych. Zapewnienie gospodarce niezbędnej ilości surowców, spełniających jednocześnie wymagania jakościowe przemysłu, jest celem osiągnięcia niezbędnego poziomu bezpieczeństwa surowcowego kraju i stabilności gospodarczej. W wielu krajach dostrzeżono potrzebę opracowania i realizacji strategii czy polityki w zakresie surowców mineralnych. W ciągu ostatnich 10 lat liczne państwa opracowały i przyjęły własną politykę surowcową. Są to zazwyczaj zwarte, syntetyczne dokumenty określające strategiczne kierunki działania państwa, przygotowane przez służby geologiczne i jednostki naukowe w procesie konsultacji społecznych, następnie przedstawiane (w większości przypadków) przez ministrów gospodarki lub środowiska, po czym przyjmowane przez rządy bądź parlamenty (Szamalek, 2016). Cele strategiczne polityki surowcowej są osiągane za pomocą sukcesywnie przyjmowanej i realizowanej polityki wykonawczej (*action plans*). Polityka wykonawcza może być uzupełniana, modyfikowana bądź tworzona w miarę pojawiających się potrzeb i zmieniającej się sytuacji wewnętrznej i międzynarodowej.

Polityka surowcowa w zakresie surowców mineralnych w podstawowym, potocznym znaczeniu dotyczy definiowania zagadnień związanych z poszukiwaniem i dokumentowaniem złóż kopalin tworzących krajową bazę zasobową (zob. zał. 1). Jednak w rzeczywistości problematyka ta jest znacznie szersza i dotyczy także bilansowania gospodarki surowcami mineralnymi, analizy światowego rynku surowcowego, określania kierunków importu surowców dla rodzimej gospodarki. W politykę surowcową włączane są także (oprócz surowców pierwotnych) zagadnienia dotyczące przerobu odpadów i pozyskiwania surowców wtórnych oraz recyklingu. Takie podejście jest charakterystyczne dla tzw. *circular economy*, gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ), w której analizuje i uwzględnia się cykl życia produktów oraz potrzebę minimalizacji ilości odpadów przemysłowych powstających w procesach produkcyjnych.

Podstawowe znaczenie dla oceny stanu bazy zasobowej kopalin oraz pokrycia zapotrzebowania na surowce w kraju i ustalenia strategii jego rozwoju ma wiedza o wielkości potencjalnych zasobów w złożach kopalin, zarówno rozpoznanych i udokumentowanych, jak i prognozowanych, tj. możliwych do odkrycia i udokumentowania (Wołkowicz S. i in., 2011; Smakowski i in., 2015; Szamalek i in., 2017c; Szuflicki i in., 2019). Krytycznym problemem staje się zatem przyjęcie kryteriów, według których przyrodnicze zasoby abiotyczne mogą być uważane za możliwe do zagospodarowania i wykorzystania w przyszłości. Zakres takiej oceny oraz jej metodyka mogą być kształtowane przez ministra właściwego do spraw środowiska, w zależności od zmieniających się wewnętrznych i zewnętrznych uwarunkowań gospodarczych. Polska działa w tym zakresie podobnie do innych krajów, w których mimo istnienia gospodarki rynkowej z jej zasadami swobody gospodarczej i konkurencji podejmowane są działania na szczeblu centralnym w celu zapewnienia w sposób regulowany dostępu do złóż i dostawy surowców mineralnych w wymaganej ilości i odpowiedniej jakości. Osiągnięcie tego celu jest możliwe dzięki rozpoznaniu wielkości własnej bazy zasobów kopalin, skali wydobycia kopalin i produkcji z nich surowców, dzięki zawieraniu umów międzynarodowych, kontraktów między producentami i konsumentami, wreszcie dzięki nabywaniu surowców na międzynarodowych giełdach surowców mineralnych (Szamalek, 2011a).

Procesy poszukiwania i rozpoznania geologicznego złóż kopalin, a następnie ich udostępniania do zagospodarowania są długotrwałe i kosztowne. Tym bardziej wymagają one działań bazujących na strategicznych dokumentach państwowych. Zagadnienia polityki surowcowej ujmowane są w części przez *Politykę ekologiczną państwa 2030* (2019) – dokument wytyczający główne cele działań państwa w zakresie polityki środowiskowej. Jednak *Polityka ekologiczna państwa* nigdy nie ujmowała zagadnień surowców mineralnych tak szeroko, jak tego wymaga interes państwa. Bez wątpienia zasadnicze zręby zasad polityki surowcowej są zawarte przede wszystkim w *Strategii na rzecz odpowiedzialnego rozwoju...* (2017) oraz w *Surowcach dla przemysłu...* (2016) czy w opracowaniu pod redakcją Hausnera (2015).

Od 2016 r. w ministerstwie właściwym do spraw środowiska trwają prace nad przyjęciem projektu *Polityki surowcowej państwa* (PSP). Koordynowane są one przez powołanego w 2016 r. pełnomocnika rządu ds. PSP realizującego to zadanie wraz z Międzyresortowym Zespołem do spraw Polityki Surowcowej Państwa.

Projekt *Polityki surowcowej państwa* skierowano w 2018 r. do publicznych konsultacji. Fakt ten miał znaczenie historyczno-symboliczne, bowiem przed 80 laty, w lipcu 1938 r., Polska przyjęła uchwałą Rady

Ministrów II RP pierwszy dokument strategiczny dotyczący polityki surowcowej noszący nazwę *Wytyczne polityki i gospodarki surowcowej* (Zamęcki, 2010; Szamałek, 2018b). Ówczesna polityka surowcowa II RP była skoncentrowana na przygotowaniu państwa do wojny obronnej. Temu celowi służyły m.in. utworzenie i budowa Centralnego Okręgu Przemysłowego (COP), w którego granicach znajdował się tzw. rejon A – kielecko-radomski, położony na Wyżynie Małopolskiej, mający odgrywać rolę zaplecza surowcowego dla przemysłu zbrojeniowego. Występowały w nim złoża surowców skalnych (m.in. wapieni i dolomitów), rud żelaza, glin ceramicznych, piasków kwarcowych i fosforytów.

Rola i znaczenie Państwowego Instytutu Geologicznego w realizacji ówczesnej polityki surowcowej państwa były zasadnicze, co znalazło swoje odzwierciedlenie we wzmocnieniu pozycji PIG dekretem prezydenta RP z dnia 31 marca 1938 r. o państwowej służbie geologicznej (*Dekret...*, 1938). Inicjatywa reorganizacji polskiej geologii wyszła z kręgów Sztabu Głównego WP (Zamęcki, 2008). Służbę geologiczną stanowiła Państwowa Rada Geologiczna złożona z przedstawicieli zrzeszeń i instytucji naukowych i gospodarczych oraz delegatów ministerstw i instytucji państwowych (a także dyrektora PIG). Działania wojenne w 1939 r. przerwały wdrażanie reformy i doskonalenie funkcjonowania struktur organizacyjnych polskiej geologii.

Opracowanie polityki surowcowej państwa podejmowane było w ciągu ostatnich 80 lat kilkakrotnie (Szamałek, 2018b). W lutym 1996 r. Rada Ministrów przyjęła dokument *Założenia polityki państwa w dziedzinie surowców mineralnych*, który był nazywany polityką surowcową państwa. *Założenia...* przygotowali eksperci z PIG i Centrum Podstawowych Problemów Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie. Opracowanie *Założeń...* poprzedziło opracowanie w ministerstwie środowiska w 1994 r. dokumentu planistycznego *Polityka resortu w dziedzinie poszukiwania, rozpoznawania i eksploatacji surowców mineralnych* (Gientka, 1995a, b).

Zakres i metodyka opracowania *Polityki surowcowej państwa* podjętego w latach 2016–2018 są odmienne od wcześniejszych prób jej przygotowania. Tym razem projekt dokumentu uwzględnia całość problematyki surowcowej państwa (poprzednie ujmowały ją jednak sektorowo), a w pracach Międzyresortowego Zespołu do spraw Polityki Surowcowej Państwa uczestniczą przedstawiciele wszystkich ministerstw mających merytoryczny związek z tą dziedziną aktywności państwa. Projekt PSP jest syntetycznym dokumentem strategicznym bardzo zbliżonym co do formy i treści do podobnych dokumentów przyjmowanych w różnych państwach (Szamałek, 2016). Na zasadniczy trzon merytoryczny PSP składa się 9 filarów – dziedzin tematycznych – wokół których będzie koncentrować się działalność państwa i jego instytucji w zakresie surowców mineralnych. Są to (*Polityka surowcowa...*, 2018):

- zapotrzebowanie gospodarki krajowej na surowce mineralne;
- pozyskiwanie surowców ze złóż kopalin i ciepła Ziemi;
- pozyskiwanie surowców z odpadów, ich zamienniki oraz rekultywacja i remediacja;
- pozyskiwanie deficytowych surowców mineralnych drogą importu i współpraca międzynarodowa;
- uwarunkowania prawne polityki surowcowej państwa;
- upowszechnianie wiedzy o geologii, górnictwie i surowcach mineralnych;
- ramy instytucjonalne wypracowania i wdrażania polityki surowcowej państwa;
- ryzyko, planowanie inwestycji i bezpieczeństwo;
- usprawnienie systemu podatków i danin.

W polityce surowcowej jedną z najważniejszych spraw wymagających racjonalnego i długofalowego działania jest polityka koncesyjna. Wobec zmian w strukturze finansowania poszukiwań geologicznych w Polsce – z finansowania budżetowego na finansowanie przez firmy surowcowe realizujące swoje zadania na podstawie koncesji – świadoma, przyjazna inwestorom polityka koncesyjna jest niezbędnym elementem wzrostu poziomu pozyskiwania informacji geologicznej (Szamałek i in., 2017b). Atrakcyjność określonego kraju dla inwestora górniczego jest związana nie tylko z zidentyfikowanym geopotencjałem (obszary prognozy, perspektywiczne, złoża rozpoznane i udokumentowane), ale także z wieloma czynnikami wykraczającymi poza ścisły zakres geologii. Należą do nich m.in. uwarunkowania prawne, regulacje ekonomiczne (głównie obciążenia podatkowe i quasipodatkowe), stosunki społeczne, sfera kultury i tradycji oraz klimat polityczny. Dla inwestora surowcowego znaczenie mają zjawiska i procesy występujące w bardzo długim okresie. Ryzyko realizacji projektów surowcowych jest bowiem zawsze większe niż zwykłych projektów inwestycyjnych. Niezbędne jest zatem w ramach *Polityki surowcowej państwa* zbudowanie dobrego klimatu dla inwestorów przy zachowaniu kontroli i korzyści państwa z tytułu eksploatacji złóż kopalin należących do skarbu państwa (złoża związane z własnością górnictwą). Należy przy tym pamiętać, że metody oceny klimatu inwestycyjnego przez inwestorów można podzielić na dwie grupy: obiektywne i subiektywne. Te pierwsze, mierzalne, można badać i porównywać w kolejnych latach. Te drugie – mające charakter odczuć,

emocji, sympatii bądź jej braku – są trudno mierzalne, ale bez wątpienia istnieją i mają wpływ na zachowania inwestorów. Polityka surowcowa powinna uwzględniać te uwarunkowania.

Zaprzestanie w 1991 r. finansowania poszukiwań geologicznych z budżetu państwa (wcześniej za pośrednictwem Centralnego Urzędu Geologii) zahamowało proces powiększania bazy zasobowej, a inwestorzy prywatni, w tym zagraniczni, nie przejęli roli finansujących poszukiwania na oczekiwaną skalę. W tej sytuacji niezbędny wydaje się powrót do finansowania ze środków NFOŚiGW lub budżetowych rekonesansu, poszukiwań i wstępnego dokumentowania (w kat. D) nowych złóż w celu zaspokojenia obecnego i przyszłego zapotrzebowania gospodarki kraju na surowce mineralne.

W trakcie prowadzonych w 2018 r. konsultacji społecznych sformułowano w stosunku do projektu PSP wiele krytycznych propozycji zmian i uzupełnień. Prawdopodobnie ostateczny dokument przyjmie zatem inną postać. Jednak najważniejsze osie programowe PSP powinny zostać utrzymane. Przyjęcie *Polityki surowcowej państwa* i jej wdrożenie sprawi, że Polska dołączy do krajów już posiadających to planistyczne i strategiczne instrumentarium przygotowujące państwo do sprostania wyzwaniom surowcowym współczesnej gospodarki. Pozwoli to także na racjonalizację gospodarowania surowcami mineralnymi w Polsce.

3. STAN ROZPOZNANIA GEOLOGICZNEGO POLSKI

Stan wiedzy o budowie geologicznej Polski i jej poszczególnych jednostkach tektonicznych, a także o występowaniu w nich złóż surowców mineralnych oraz wód termalnych i leczniczych jest zróżnicowany, a informacje na ten temat są w znacznej mierze rozproszone. Brak jest bowiem aktualnych opracowań monograficznych dotyczących budowy zarówno całego obszaru Polski, jak i jej poszczególnych jednostek. Jedynym w miarę aktualnym dziełem jest – powstająca przez niemal 40 lat – seria monografii *Budowa geologiczna Polski*, która dotyczyła zarówno stratygrafii i litologii (Sokołowski, 1968, 1973, 1984; Peryt i Piwowski, 2004), tektoniki poszczególnych regionów (Książkiewicz, 1972; Oberc, 1972; Pozaryski, 1974), jak i hydrogeologii (Malinowski, 1971) oraz złóż surowców mineralnych (Osika, 1987a). Postęp wiedzy sprawia jednak, że wiele wcześniejszych podziałów i wydzieleni stratygraficznych stało się nieaktualnych, wyniki badań wieku bezwzględnych skał diametralnie zmieniły wiedzę i poglądy o wieku i genezie jednostek Polski południowo-zachodniej, a ówczesnie prezentowane koncepcje tektoniczne i geotektoniczne przestały być aktualne, co utrudniało prospekcję złożową. W późniejszych latach ukazały się ważne opracowania tektoniczne: *Atlas tektoniczny Polski* (Znosko i Pajchłowa, 1998), *Atlas geologiczny Polski. Mapy ścięcia poziomego* (Kotarski, 1997) oraz *Regionalizacja tektoniczna Polski* (Żelaźniewicz i in., 2001), a także *Atlas geologiczny Polski* (Nawrocki i Becker, 2017). Zwłaszcza w tych dwóch ostatnich wydawnictwach przedstawiono aktualny stan wiedzy o budowie geologicznej Polski, choć część prezentowanych w nich poglądów ma charakter dyskusyjny. Do aktualizacji syntetycznej wiedzy o budowie geologicznej Polski lub jej poszczególnych jednostek, szczególnie w zakresie tektoniki, stratygrafii i paleogeografii, przyczyniły się i inne publikacje (Kwarciński, 1999; Dadlez i in., 2000; Dadlez, 2001; Buła, 2002; Bossowski i Ihnatowicz, 2006; Marks i in., 2006; Lisicki, 2010; Modliński, 2010; Krzemińska i in., 2017). Kompendium wiedzy o budowie geologicznej Polski zawierają też dwa stosunkowo niedawno wydane podręczniki akademickie (Mizerski, 2014; Stupnicka i Stempień-Sałek, 2016). Wiedza o litologii, stratygrafii i tektonice utworów od prekambriu po czwartorzęd różnych jednostek geologicznych na obszarze Polski przyczyniła się w dużym stopniu do rozpoznania zasobów wód słodkich, geotermalnych i leczniczych (Barbacki i in., 2006; Górecki, 2006, 2011a, 2013; Paczyński i Sadurski, 2007; Solik-Heliasz i in., 2011).

Wiele informacji na temat budowy geologicznej, szczególnie głębokiego podłoża kratonu wschodnioeuropejskiego, zawdzięczamy pracom geofizycznym, dzięki którym powstały geofizyczne atlasy ukazujące fizyczne cechy skał podłoża (Królikowski i Petecki, 1995; Krzemińska i in., 2017). Prace sejsmiczne związane z rozpoznaniem złóż węglowodorów pozwalają tylko na punktowe, choć szczegółowe rozpoznanie struktury zarówno utworów pokrywy kratonu wschodnioeuropejskiego, jak i skał permsko-mezozoicznych-kenozoicznych strefy położonej między strefą T-T a uskokiem Odry–Laby. Struktura głębszego podłoża została rozpoznana dzięki głębokim sondowaniom sejsmicznym wykonanym przede wszystkim w ramach międzynarodowych projektów POLONAISE i CELEBRATION (Grad i in., 2002; Grad i Guterch, 2010). Na podstawie wyników tych badań określono głębokość występowania skonsolidowanego podłoża w tej strefie i wydzielono zespoły skalne o podobnych parametrach fizycznych. Dzięki tym badaniom ustalono, że kraton wschodnioeuropejski sięga aż po uskoki Odry–Laby i tym samym jego podłoże może być uważane za tożsame z kontynentem Baltica w końcu neoproterozoiku i starszym paleozoiku (Mazur S. i in., 2015, 2016, 2017). To ważne stwierdzenie, gdyż implikuje kierunki dalszych badań, przede wszystkim w obrębie bloku pomorskiego, który przez wiele ostatnich lat uważany był za fragment kontynentu Avalonii. To może mieć znaczenie dla poszukiwań złóż węglowodorów w utworach starszego paleozoiku, gdyż wskazuje na brak silnego podgrzania utworów zawierających materię organiczną. Badania te nie wniosły jednak wiele do poznania wewnętrznej struktury utworów podpermских na obszarze bloku kujawskiego i na monoklinie przedsudeckiej. Do tego niezbędne jest wykonanie nowych głębokich wiercen rozpoznawczych.

Obszar Polski zajmuje wyjątkową pozycję w strukturze budowy geologicznej Europy. Przede wszystkim dlatego, że jest wielkim węzłem tektonicznym, w którym graniczą ze sobą trzy wielkie jednostki geotektoniczne kontynentu: kraton wschodnioeuropejski, orogen waryscyjski oraz orogen alpejski. W strukturze wewnętrznej obszaru Polski odzwierciedliły się niemal wszystkie epizody tektoniczne fanerozoiku, które następowały w różnych częściach obecnego kontynentu europejskiego. Znalazło to też odbicie w procesach prowadzących do powstania różnorodnych złóż surowców mineralnych. W początkowym etapie ewolucji fanerozoicznej obszar Polski znajdował się w brzeżnej, pasywnej części kontynentu Baltica. Dopiero w epo-

ce waryscyjskiej nastąpiła zmiana reżimu tektonicznego i w strefie uskoku Odry znajdowała się główna strefa subdukcji, z której aktywnością było związane powstanie waryscydów Europy środkowej, a płaszczowiny eksternidów waryscyjskich (sudeckich) nasunęły się daleko na południowo-zachodnią część kratonu wschodnioeuropejskiego. Na przedpołu części wschodniej orogenu utworzyło się zapadlisko przedgórskie, wypełniane osadami okrucowymi z pokładami węgla, a w granicach orogenu – zapadlisko śródgórskie, zawierające również pokłady węgla wieku karbońskiego.

Po orogenezie waryscyjskiej cały obszar Polski wszedł w okres rozwoju platformowego. Powstawały wówczas osady zarówno morskie, jak i lądowe kilkukilometrowej miąższości. W początkowym okresie w utworzonym basenie polskim (śródpolskim) dominowała sedimentacja okrucowa, działały procesy wulkaniczne, a później nastąpiła cykliczna sedimentacja salinarna (perm). W mezozoiku powstawały osady zarówno lądowe, jak i morskie (płytkowodne – szelfowe) o bardzo zróżnicowanej litologii. W jurze na południu dzisiejszej Polski, w północnej części oceanu Tetyda, rozpoczęły się procesy związane z powstawaniem orogenu karpackiego. Główna strefa subdukcji w tej części północnej Tetydy przebiegała wzdłuż obecnego pienińskiego pasa skałkowego. Na przełomie kredy i paleogenu, w czasie ruchów laramijskich, na przedpołu tworzącego się orogenu nastąpiły przebudowa strukturalna pokrywy osadowej i powstanie jednostek laramijskich o przebiegu NW–SE, a także wypiętrzenie całego obszaru Polski pozakarpackiej, przy czym wypiętrzanie to miało różną amplitudę w różnych częściach obszaru – największą w południowo-wschodniej części antyklinorium środkowopolskiego. Wewnętrzna struktura jednostek laramijskich została dodatkowo skomplikowana w wyniku procesów halokinetycznych, które rozpoczęły się już w późnym triasie.

Kilkusetapowe ruchy tektoniczne na obszarze dzisiejszych Karpat spowodowały podział orogenu na internidy i eksternidy. Eksternidy zostały daleko nasunięte na przedpole, na obszar kratonu wschodnioeuropejskiego. Nasuwanie się płaszczowin karpackich ku północy spowodowało ugięcie przedpola i utworzenie rowu przedgórskiego, w którym powstawały morskie osady molasowe, a także ewaporaty i skały węglanowe wieku miocenijskiego, a później – jeziorne, ilaste osady pliocenu.

Ruchy laramijskie na obszarze Polski pozakarpackiej spowodowały, że utwory kenozoiku mają inny plan strukturalny w porównaniu z utworami permsko-mezozoicznymi. W paleogenie powstawały głównie osady okrucowe (zarówno morskie, jak i lądowe), w neogenie zaś głównie utwory jeziorne i bagienne z pokładami węgla kamiennego.

W czwartorzędzie obszar Polski został zlodowacony, a lądolody (o różnym zasięgu) siedmiokrotnie wkraczały na teren Polski, a w czasie maksymalnych zasięgów zlodowań opierały się o Karpaty i Sudety. Osady lodowcowe i wodnolodowcowe pokrywają znaczną część obszaru Polski pozakarpackiej i maskują budowę podłoża podczwartorzędowego.

Wskutek tak złożonej historii geologicznej obszar Polski odznacza się piętrową budową strukturalną. Ponieważ główne jednostki tektoniczne Polski są zróżnicowane wiekowo i w ich planie strukturalnym, nie można w sposób przejrzysty przedstawić podziału Polski na jednostki na jednej mapie. W przypadku podłoża skał podczwartorzędowych wymaga to co najmniej dwóch map, a i tak część głównych jednostek będzie nachodzić na siebie. Pierwszą jest mapa geologiczna odkryta bez utworów górnego paleocenu, eocenu, oligocenu i neogenu (z wyjątkiem Karpat i ich przedpola; fig. 3.1). Na tej mapie widoczne są jednostki laramijskie, a także jednostki alpejskie (Karpaty i zapadlisko przedkarpackie). Na obszarze Polski pozakarpackiej widoczne są przede wszystkim jednostki laramijskie zbudowane z utworów permsko-mezozoicznych, jednakże granice między nimi są umowne. Właściwie tylko południowo-zachodnia granica monokliny przedsudeckiej, przebiegająca wzdłuż uskoku Odry, jest granicą jednoznaczną. W przypadku niecki szczecińsko-lódzko-miechowskiej i wału środkowopolskiego* przyjmuje się na ogół, że granice między nimi przebiegają wzdłuż zwartej granicy między utworami kredy dolnej i górnej. Jednak nie można jednoznacznie wyznaczyć północno-wschodniej granicy niecki brzeźnej, gdyż jej NE skrzydło przechodzi stopniowo w utwory tworzące pokrywę kratonu wschodnioeuropejskiego, leżącego na NE od strefy T-T. Na mapie (fig. 3.1) widoczne są dobrze granice trzonu paleozoicznego Gór Świętokrzyskich, a także internidów sudeckich.

Na mapie jednostek paleozoicznych (fig. 3.2) wyróżnić można właściwie tylko trzy główne jednostki (grupy jednostek): orogen waryscyjski, jego przedpole sięgające do strefy T-T na północnym wschodzie (obejmujące również zapadlisko górnośląskie) oraz jednostki podłoża kratonu wschodnioeuropejskiego (syneklizę perybałtycką, anteklizę mazursko-suwańską, syneklizę podlaską oraz wyniesienie zrębowe podlasko-lubelskie).

*Ponieważ nazewnictwo jednostek na mapie odkrytej bez utworów kenozoiku (fig. 3.1) nie jest powszechnie akceptowane, autor używa tradycyjnych nazw jednostek, które są głęboko zakorzenione w świadomości geologów.

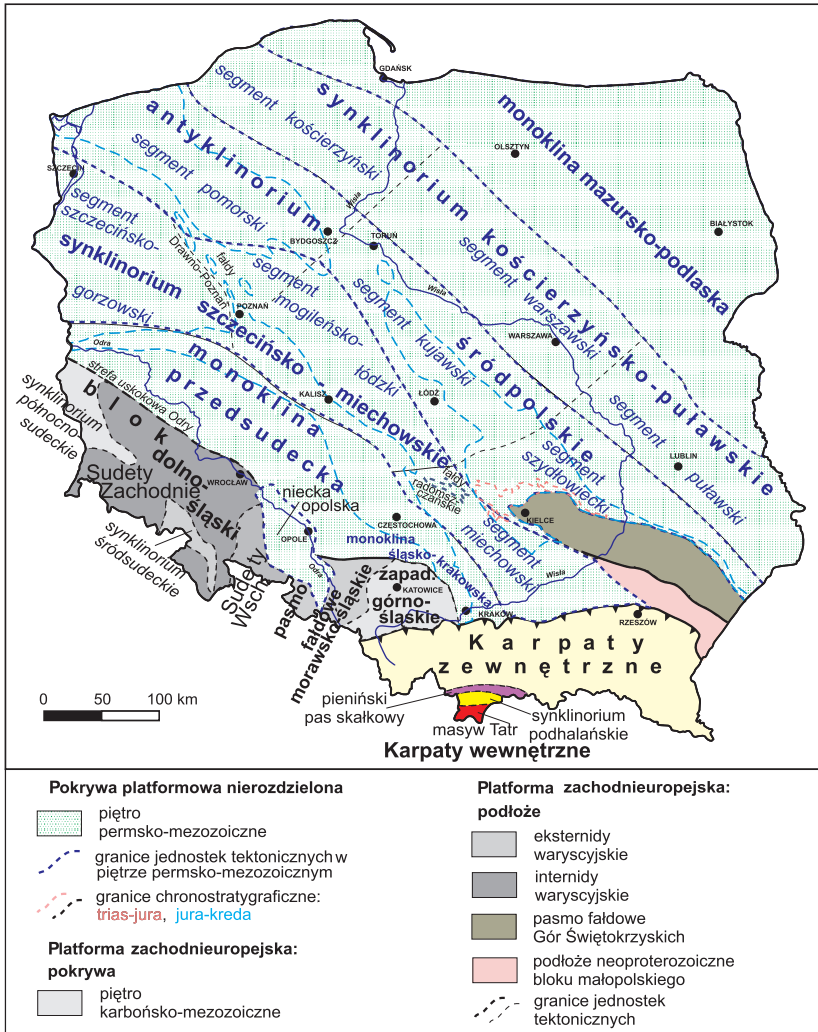


Fig. 3.1. Jednostki tektoniczne Polski na mapie odkrytej bez utworów kenozoiku (wg Żelaźniewicza i in., 2011)

Żeby oddać całkowitą piętrowość budowy geologicznej Polski, należałoby jeszcze przedstawić mapę fundamentu kratonu wschodnieuropejskiego. Mapy tej nie zaprezentowano na oddzielnej figurze, gdyż podział fundamentu kratonu na jednostki dokonany przez różnych autorów (Cymerman, 2004; Krzemińska i in., 2017; Nawrocki i Becker, 2017) jest odmienny i trudno uznać, który z nich odpowiada rzeczywistości. Wreszcie trzeba stwierdzić, że utwory paleogenu (od górnego paleocenu) i neogenu mają zupełnie inny plan strukturalny niż utwory permsko-mezozoiczne, które przykrywają niezgodnie płatami o różnym wieku, genezie i zasięgu. Informacje płynące z mapy zakrytej i map rozmieszczenia otworów wiertniczych w pięciu różnych przedziałach głębokości (zał. 1) mają ogromne znaczenie dla prognozowania występowania kopalin różnej genezy, różnego wieku i w różnych formach występowania.

Mimo ogromnego postępu w geofizycznej prospekcji geologicznej rozpoznanie budowy geologicznej, w nawiązaniu do poszukiwań złóż, w dalszym ciągu jest niewystarczające, szczególnie tam, gdzie miąższość utworów permsko-mezozoicznych jest duża. Profile wykonywanych otworów wiertniczych często odbiega-

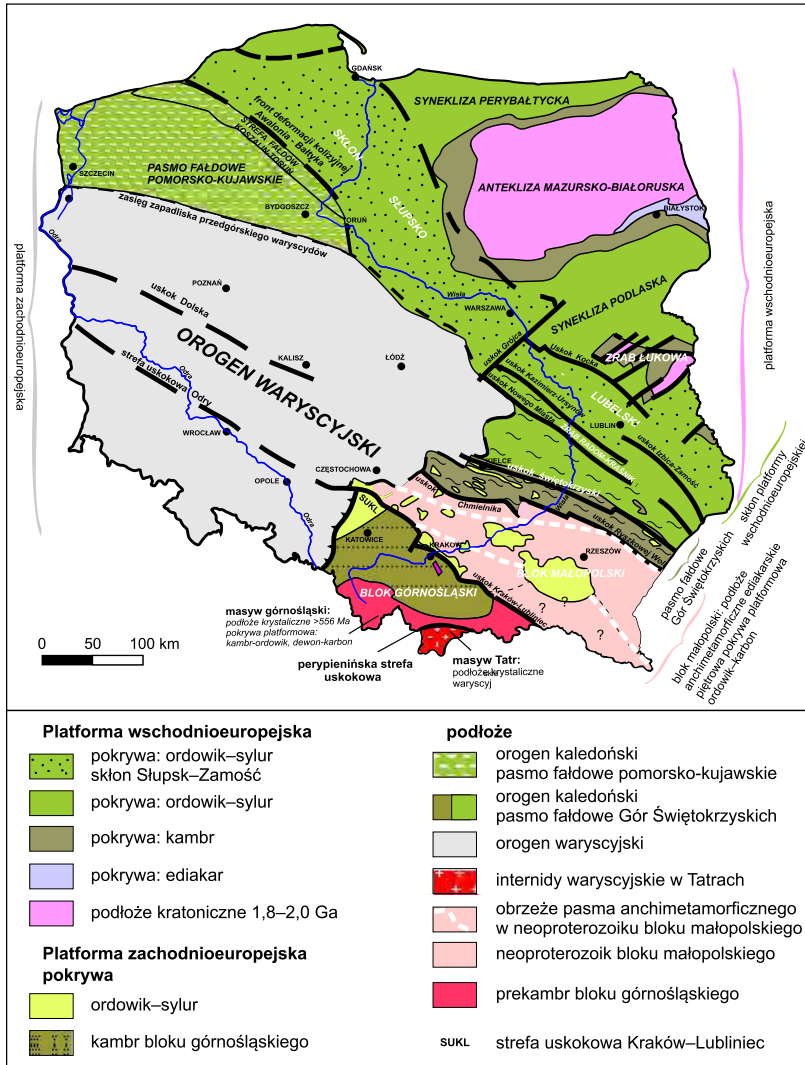


Fig. 3.2. Jednostki tektoniczne Polski na mapie odkrytej bez utworów kenozoiku, mezozoiku i górnego paleozoiku (wg Żelaźniewicza i in., 2011)

ją, niekiedy bardzo, od profili prognozowanych. Stąd wniosek, że najpewniejszą informację o wglębnej budowie geologicznej kraju dają profile otworów wiertniczych. Znajdujące się w Narodowym Archiwum Geologicznym dokumentacje wielu otworów wiertniczych nie dostarczają pełnej informacji o litologii, stratygrafii i tektonice przewiercanych skał. Podjęte w ostatnich kilkunastu latach w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym prace nad pełnym opracowaniem profili głębokich otworów wiertniczych są bardzo zaawansowane, lecz nadal wiele otworów wymaga opracowania i weryfikacji. Dlatego wciąż spotykane są pomyłki w profilach projektowanych otworów wiertniczych. Z drugiej strony wykonane w ostatnich latach otwory wiertnicze wskazują na możliwość występowania niektórych typów złóż, szczególnie na większych głębokościach, których eksploatacja z ekonomicznego punktu widzenia może być w przyszłości opłacalna. Dotyczy to zwłaszcza złóż rud miedzi, którym towarzyszą nagromadzenia innych cennych z gospodarczego punktu widzenia metali.

Należy podkreślić, że po licznych wierceniach w latach 1950–1970 liczba wykonywanych później otworów bardzo zmalała. Dotyczy to szczególnie wierceń rozpoznawczych. Rozkład otworów wiertniczych wykonanych dotychczas na obszarze Polski w pięciu różnych przedziałach głębokości ilustruje załącznik 2 (mapy A–E). Niestety w bardzo wielu przypadkach określenie wieku utworów występujących w spągu otworów było niemożliwe. Rozmieszczenie otworów wiertniczych o różnej głębokości jest bardzo niejednorodne. Z jednej strony wynika to z przyczyn racjonalnych, a więc wprost z budowy geologicznej i lepszego rozpoznania stref występowania odkrytych i eksploatowanych złóż kopalin. Z drugiej jednak strony rzuca się w oczy bardzo mała liczba głębokich otworów wiertniczych tam, gdzie pokrywa utworów permsko-mezozoicznych przekracza 5000 m, zwłaszcza w synklinorium szczecińsko-lódzko-miechowskim i na monoklinie przedsudeckiej, gdzie na większej głębokości występować mogą złoża węglowodorów związane z pułapkami zarówno na stokach struktur solnych, jak i w sudeckich eksternidach. Konieczne jest lepsze rozpoznanie podłoża Karpat zewnętrznych, gdyż w nim można spodziewać się większych złóż węglowodorów. Zastanawiająca jest też znikoma liczba otworów wiertniczych na obszarze bloku przedsudeckiego, który wydaje się perspektywiczny pod względem występowania rud metali. Zwraca uwagę również niewystarczająca liczba wierceń dla właściwego złożowego rozpoznania budowy geologicznej dna Bałtyku w wyłącznej strefie ekonomicznej Polski. Ponieważ dobre rozpoznanie tektogenezy jednostek orogenicznych jest podstawą poszukiwań surowcowych, należy zastanowić się nad wykonaniem nowej edycji *Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów*, zgodnej z nowoczesnymi koncepcjami ich rozwoju. Dobre rozpoznanie cech fizycznych skał na obszarze Polski sprzyja też rozwojowi wykorzystania energii geotermalnej, związanej zarówno z wodami termalnymi, jak i z ciepłem skał.

Nierównomierny stopień rozpoznania budowy geologicznej Polski, a zwłaszcza jej głębszego podłoża, wiąże się także ze zróżnicowanym stopniem pokrycia obszaru Polski badaniami sejsmicznymi, szczególnie związanymi z obrazowaniem 2D i 3D (zał. 2, mapa F).

Wydaje się, że możliwe jest udokumentowanie nowych złóż neogeńskich węgla brunatnego, a także węgla kamiennego na głębokości poniżej 1 km, jednak konieczność ich rozpoznania będzie wynikała głównie z przyjętej teraz i w przyszłości polityki energetycznej państwa. Prognozy związane z występowaniem i zasobami niekonwencjonalnych złóż węglowodorów dotychczas nie sprawdziły się. Złoża tego typu mogą jednak występować przede wszystkim na Lubelszczyźnie, gdzie utwory paleozoiczne przykryte są skałami karbonu i dewonu. W obrębie syneklizy perybałtyckiej prawdopodobieństwo ich występowania jest niewielkie, choćby z tego powodu, że utwory starszego paleozoiku przez wiele milionów lat występowały na powierzchni, co sprzyjało ucieczce węglowodorów i uniemożliwiło ich koncentrację złożową. Perspektywiczne z punktu widzenia złóż rud metali (w tym REE) mogą być rejon strefy uskoku Kraków–Lubliniec, a także płytko zalegające podłoże kratonu wschodnioeuropejskiego. Potwierdzenie tych wszystkich hipotez wymaga zarówno wykonania nowych wierceń, jak i stosowania innych, nowoczesnych metod prospekcji geologicznej.

Marek Nieć, Krzysztof Szamalek, Marcin Szuflicki

4. MIĘDZYNARODOWE DOŚWIADCZENIA W SZACOWANIU PERSPEKTYWICZNYCH ZASOBÓW KOPALIN

Potrzeba posiadania dokładnych informacji o zasobach kopalin, a zwłaszcza o możliwości ich zagospodarowania i wykorzystania w gospodarce, uwidaczniała się zazwyczaj w czasie przygotowywania i prowadzenia wojny na szeroką skalę (I i II wojna światowa) bądź w czasie odbudowy infrastruktury po zniszczeniach wojennych (Bohdanowicz, 1927; Bolewski i Gruszczyk, 1989; Szamalek, 2007). Nie po raz pierwszy w historii ludzkości sfera militarna przyczyniła się do rozwoju technologicznego i wzrostu zużycia surowców (w tym mineralnych), ale po raz pierwszy w dziejach miało to skalę globalnego oddziaływania. Poziom techniki i technologii wojennej rozwinął się zwłaszcza po I wojnie światowej, a szczególnie w Niemczech w latach 30. XX w., w warunkach wychodzenia ze światowego kryzysu ekonomicznego. To wówczas zdecydowano o zmianie doktryn wojennych, miejsce kawalerii zajęły wojska zmotoryzowane i zmechanizowane wraz z bronią pancerną. Stało się jasne, że wzrost zapotrzebowania na paliwo do pojazdów bojowych oraz metali do wytwarzania specjalnych wysokogatunkowych stali (*war minerals*) musi zostać skompensowany przez ówczesną podaż oraz prognozę popytu i podaży w przyszłości.

W znacznie większej skali problem poszukiwania nowych złóż i prognozowania możliwości ich występowania pojawił się w połowie XX w. w wyniku wzrostu zapotrzebowania na surowce mineralne związane z intensywnymi zbrojeniami okresu zimnej wojny (Slichter, 1960). Celem prognozowania złożowego jest stworzenie teoretycznych i praktycznych podstaw dla oceny potencjału surowcowego i możliwości realizacji poszukiwań. W konsekwencji powinno to prowadzić do odkrycia złóż kwalifikujących się do eksploatacji, których zasoby określa się na wstępnym etapie poznania jako zasoby perspektywiczne.

Sam termin złoża (zasoby) perspektywiczne nie jest jednoznacznie zdefiniowany. Pojęciem złoża (zasoby) perspektywiczne określane są:

- złoża znane, kwalifikujące się do wykorzystania, lecz niezagospodarowane, stanowiące znaną, możliwą do wykorzystania bazę surowcową (Koźma i in., 2013);
- złoża znane, obecnie niekwalifikujące się do wykorzystania z przyczyn technicznych lub ekonomicznych, ale w których przypadku można założyć możliwość ich wykorzystania w przyszłości w wyniku postępu technicznego lub istotnych zmian ekonomicznych; określane są one jako zasoby pozabilansowe, a w terminologii anglosaskiej jako *subeconomic resources* (*subcommercial* w przypadku węglowodorów);
- złoża i zasoby, których istnienie wymaga potwierdzenia lub których występowanie jest tylko przewidywane, a ich identyfikacja wymaga prowadzenia prac poszukiwawczych i rozpoznawczych (Osika, 1979), a zatem są to złoża przewidywane, jeszcze nieodkryte lub nieudokumentowane w stopniu pozwalającym na ocenę możliwości ich wykorzystania (zagospodarowania).

Przez odkrycie złoża rozumie się wyznaczenie, w sposób niebudzący wątpliwości, obszaru jego występowania oraz udokumentowanie zasobów kopaliny i jej jakości, ze wskazaniem możliwego sposobu ich wykorzystania. W polskiej klasyfikacji zasobów odpowiada to udokumentowaniu zasobów złoża w kategorii C_2 , a w terminologii anglosaskiej wyróżnianych jako *inferred resources* (klasyfikacja USBM-USGS) lub *inferred inventory mineral quantities* (klasyfikacja CRIRSCO), gdzie określenie *inferred* oznacza zasoby przypuszczalne.

Ocena zasobów perspektywicznych jest przedmiotem badań prognostyki złożowej – dziedziny zajmującej się przewidywaniem (prawdopodobieństwem) możliwości udokumentowania lub występowania złóż i oceny (szacowania) nieodkrytego jeszcze potencjału zasobowego.

W ocenie perspektyw złożowych należy uwzględnić dwa podstawowe zagadnienia – teoretyczne oraz praktyczne:

- określenie szans występowania jeszcze nieodkrytych złóż, które obecnie mogą kwalifikować się do rozważania możliwości ich wykorzystania;
- szacowanie potencjału zasobowego tych obszarów.

W procesie zdobywania wiedzy o zasobach stosowane są różne metody prognozowania występowania złóż jeszcze nieodkrytych i przewidywania wielkości ich zasobów w zależności od rodzaju i wiarygodności danych, na których opiera się ich ocena.

Zróznicowany stopień niepewności formułowanych przewidywań prowadzi do stosowania klasyfikacji nieodkrytego potencjału surowcowego i przewidywanych zasobów w zależności od oceny prawdopodobieństwa występowania złóż i oceny ich możliwych zasobów.

W połowie XX w. wykształciły się dwa nurty stosowania klasyfikacji nieodkrytych, przewidywanych zasobów, stanowiące rozwinięcie wcześniej tworzonych klasyfikacji zasobów złóż zidentyfikowanych:

- amerykański (USBM-USGS) określany, jako klasyfikacja McKelveya;
- wschodnioeuropejski system podziału zasobów oznaczanych symbolami literowymi w zależności od stopnia dokładności ich rozpoznania.

W klasyfikacji amerykańskiej (USBM-USGS) wyróżnia się dwie kategorie zasobów przewidywanych: hipotetyczne (*hypothetical*) i domniemane (*speculative*).

Za zasoby hipotetyczne uważa się zasoby nieodkryte, których obecność w sposób racjonalny może być przewidywana na tym samym obszarze co znanych już złóż i w takich samych warunkach geologicznych.

Za zasoby domniemane przyjmuje się nieodkryte zasoby znanych typów złóż, które mogą występować w warunkach geologicznych sprzyjających ich obecności (jeszcze niepotwierdzonej), a także zasoby złóż, których wartość gospodarcza jeszcze jest niezidentyfikowana.

Powyższe definicje dotyczą złóż kopalin stałych. W odniesieniu do nieodkrytych zasobów złóż węglowodorów stosowana jest klasyfikacja uwzględniająca ocenę prawdopodobieństwa szacowanej wielkości złóż (PRMS). Na jej podstawie wyróżnia się zasoby nieodkryte (*undiscovered*), oszacowane nisko (*low estimate*), optymalnie (*best estimate*) i wysoko optymalnie (*high estimate*).

Klasyfikacja wschodnioeuropejska przewidywanych zasobów złóż nieodkrytych nawiązuje do teorii i praktyki poszukiwań oraz rozpoznawania złóż kopalin. Podstawy teoretyczne poszukiwań najpełniej opracowano w ZSRR i Rosji. Przewidywano w nich realizację poszukiwań kolejnymi etapami obejmującymi następujące prace (Kreiter, 1960; Bakirow 1973; Aristow, 1975; Gruszczyk, 1986; Nieć, 2012):

- prace rekonesansowe w celu określenia perspektywicznych obszarów występowania złóż; ich podstawę stanowią przesłanki złożowe, szczególne cechy budowy geologicznej i obecność utworów charakterystycznych dla środowiska występowania złóż określonego typu lub powiązane z nimi anomalie geofizyczne i geochemiczne;
- poszukiwania wstępne oznak istnienia złóż w celu określenia miejsc ich prawdopodobnego występowania;
- poszukiwania szczegółowe w celu stwierdzenia obecności złoża i jego udokumentowanie w stopniu umożliwiającym ocenę jego użyteczności.

W nawiązaniu do powyższych etapów wyróżnia się trzy kategorie zasobów nieodkrytych oznaczane symbolami literowymi P_3 , P_2 , P_1 w klasyfikacji Federacji Rosyjskiej lub E (D_3), D_2 , D_1 (D) w klasyfikacji polskiej.

Poszczególnymi kategoriami zasobów oznacza się następująco:

- Kategoria P_3 – zasoby złóż, których odkrycie jest oceniane jako możliwe na podstawie sprzyjających danych geologicznych, geofizycznych i geochemicznych. Szacowane są zasoby bez wskazania miejsca ich występowania.
- Kategoria P_2 – zasoby złóż, których obecność jest przewidywana w rejonie stwierdzonego występowania kopaliny albo w otoczeniu miejsc zarejestrowanych bezpośrednich oznak możliwości jej występowania, anomalii geofizycznych lub geochemicznych.
- Kategoria P_1 – zasoby określone na peryferiach udokumentowanego złoża (w kat. C_2) albo w otoczeniu miejsc stwierdzonego występowania kopaliny w nielicznych punktach. Obszar występowania złoża i jego zasoby określone są na podstawie interpretacji geologicznej, metodą ekstrapolacji, z wykorzystaniem metod geofizycznych i geochemicznych.

W międzynarodowej klasyfikacji zasobów ONZ (UNFC) wyróżnia się jedną kategorię – G_4 – odnoszącą się do zasobów potencjalnego złoża oszacowanych na podstawie danych pośrednich, przy czym proponuje się ich podział na podkategorie (UNECE, 2013):

- $G_{4,1}$ – zasoby złoża, którego możliwość występowania stwierdzono w wyniku poszukiwań i które zasługuje na dalsze rozpoznanie i ocenę możliwości jego zagospodarowania;
- $G_{4,2}$ – gdy wyniki badań geologicznych wskazują na możliwość występowania złoża lub kilku złóż, ale konieczne jest wykonanie dalszych badań (otworów wiertniczych, opróbowania) w celu ewentualnego stwierdzenia istnienia złoża;
- $G_{4,3}$ – gdy brana jest pod uwagę tylko ocena perspektyw złożowych oparta na wynikach regionalnych badań geologicznych.

W przypadku nieodkrytych zasobów złóż węglowodorów symbolami $G_{4,1}$, $G_{4,2}$, $G_{4,3}$ określa się ich prognozowane zasoby, odpowiednio jako nisko, optymalnie i wysoko oszacowane.

Kategoria G_4 wtedy, gdy używana jest osobno, powinna odpowiadać optymalnemu oszacowaniu (UNECE, 2014).

Metody szacowania zasobów złóż nieodkrytych są różne, w zależności od ich zakwalifikowania do odpowiedniej kategorii:

- w kategorii hipotetycznych i P_1 (D_1 , D) podstawą oceny zasobów jest określenie występowania złoża metodą analogii i obliczenie możliwych jego zasobów na podstawie stwierdzonych parametrów potencjalnego złoża;
- w kategorii domniemych oraz P_2 i P_3 (D, E(D_2)) do oceny nieodkrytego (ale przewidywanego) potencjału zasobowego stosowane są metody: analogii i probabilistyczne.

Podstawą wykorzystania metody analogii jest określenie typów złóż, których występowanie może być oczekiwane, przedstawianych przez ich modele pojęciowe i zasobowe. Najbardziej dogodną do tego celu (i z tą myślą stworzoną) jest klasyfikacja opisowa modeli złóż (Cox i Singer, 1986). Podstawowym kryterium klasyfikacyjnym jest środowisko skalne, w jakim występuje złożo, i przestrzenne relacje złoża w stosunku do niego (zwłaszcza w przypadku złóż epigenetycznych). Ważnym uzupełnieniem cech wyróżniających poszczególne modele złóż jest ich charakterystyka zasobowa i jakościowa w postaci rozkładów statystycznych zasobów znanych złóż i średnich zawartości podstawowych składników charakteryzujących jakość kopalin. Traktowane są one jako modele zasobowe złóż (Cox i Singer, 1986; Singer, 1993; Bliss, 1998). Wyróżnienie poszczególnych modeli złóż jest niezależne od dyskusyjnych koncepcji odnośnie ich genezy, uwzględnia jednak środowisko litologiczno-tektoniczne, w jakim zachodził proces złożotwórczy, nie definiując jego natury. W takim ujęciu dla poszczególnych modeli złóż można określić charakterystyczne dla nich minerotekty, a w przypadku złóż rud – metalotekty (Nicolini, 1970), to jest jednostki geologiczne predysponowane do występowania złóż, a tym samym obszary perspektywiczne dla ich występowania.

W przypadku kopalin skalnych odpowiednikiem minerotektów są jednostki litologiczno-surowcowe (tab. 4.1; Wyrwicka i Kozłowski S., 1988). Jednostką litologiczno-surowcową jest kompleks utworów (warstw) o podobnych cechach litostratygraficznych i facjalnych (np. facja wapienna jury górnej czy dolomitowa triasu środkowego), odznaczających się określonymi właściwościami decydującymi o ich przydatności surowcowej. W obrębie jednostek surowcowych można wyróżnić kompleksy i zespoły surowcowe. Kompleks surowcowy to grupa warstw o zbliżonych cechach litologicznych (mineralogiczno-petrograficznych) i właściwościach fizycznych, chemicznych oraz technologicznych określających ich przydatność surowcową (np. dolomitowy – kruszywowy).

Zespół surowcowy obejmuje występujące w profilu sąsiadujące kompleksy surowcowe niezależnie od ich pozycji (przynależności do określonych serii), ale kwalifikujące się łącznie do określonych zastosowań. Między seriami, kompleksami i zespołami surowcowymi mogą występować zróżnicowane relacje (tab. 4.1).

Metody probabilistyczne szacowania zasobów perspektywicznych oparte są bądź na ocenie częstości terytorialnego występowania złóż (Cox, 1993; Bobrowsky i Manson, 1998), bądź na określeniu możliwej ich

Tab. 4.1. Przykładowy schemat relacji między wyróżnianymi jednostkami litologiczno-surowcowymi (wg Wyrwickiej i Kozłowskiego S., 1988, zmodyf.)

Serie	Kompleksy	Zespoły
IV	10	F
	9	E
	8	
	7	D
III	6	
	5	C
	4	
II	3	B
	2	
(Kompleks płonny)		
I	1	A

Tab. 4.2. Kryteria oceny stopnia perspektywiczności USGS (wg Goudarziego, 1984, symbole zmodyfikowano, by uniknąć pomyłek w stosunku do symboli klasyfikacji zasobów)

Stopień perspektywiczn.	Stopień pewności oceny →			
	δ	γ	β	α
Wysoki W	perspektywiczność nieokreślona, ale niewykluczona (brak dostatecznych danych) 0/ δ	perspektywiczność wysoka, przewidywana na podstawie wyraźnych jednoznacznych przesłanek złożowych W/ γ	perspektywiczność wysoka, oceniana na podstawie wyraźnych jednoznacznych przesłanek oraz odosobnionych, lecz wyraźnych pośrednich oznak złożowych W/ β	perspektywiczność wysoka, oceniana na podstawie wyraźnych, jednoznacznych przesłanek oraz wyraźnych, bezpośrednich oznak złożowych W/ α
Umiarkowany U		perspektywiczność umiarkowana, przewidywana na podstawie nie w pełni jednoznacznych przesłanek złożowych U/ γ	perspektywiczność umiarkowana, przewidywana na podstawie nie w pełni jednoznacznych przesłanek złożowych oraz odosobnionych pośrednich oznak złożowych U/ β	perspektywiczność umiarkowana, przewidywana na podstawie nie w pełni jednoznacznych przesłanek złożowych nielicznych wyraźnych bezpośrednich oznak złożowych U/ α
Niski N		niska perspektywiczność, przewidywana na podstawie nielicznych lub niejednoznacznych przesłanek złożowych N/ γ	niska perspektywiczność, przewidywana na podstawie nie w pełni jednoznacznych przesłanek złożowych oraz niezbyt wyraźnych, pośrednich, odosobnionych oznak złożowych N/ β	niska perspektywiczność, przewidywana na podstawie nie w pełni jednoznacznych przesłanek złożowych oraz odosobnionych niezbyt wyraźnych bezpośrednich oznak złożowych N/ α
Brak BR				brak perspektyw stwierdzony w sposób jednoznaczny BR/ α

liczby na podstawie oceny subiektywnego prawdopodobieństwa ich występowania (Bonham-Carter, 1989). Metody te są szczególnie często stosowane do oceny perspektyw złożowych i prowadzenia poszukiwań na dużych obszarach (DeVerle, 1969; Aral i Akgül, 1971; Allais, 1975; Sindig-Larsen, 1986; Hodgson i Troop, 1988; Drew i Menzie, 1993; Schmoker, 1999; Pollastro, 2007), zwłaszcza w przypadku prowadzenia poszukiwań teledetekcyjnymi metodami geofizycznymi – metodami aerogeofizycznymi (De Geoffroy i Wignall, 1986). Oceny mają zawsze charakter ekspercki, nawet jeśli są wspierane wynikami różnie wykonywanych analiz i matematycznych modeli przewidywanej możliwej liczby złóż lub całkowitych zasobów bez wskazania ich lokalizacji. Oceny takie są niezbędne do podejmowania decyzji o rozpoczęciu prac poszukiwawczych oraz określenia szans ich powodzenia. Szansa sukcesu i skali ryzyka jest zawsze w takich przypadkach oceną subiektywną.

Właściwe określenie prognoz poszukiwawczych i przewidywanych zasobów powinno być skojarzone z zestawieniem map perspektyw złożowych (Aristow i Lachow, 1989), z zaznaczeniem przesłanek i oznak występowania złóż oraz ze wskazaniem obszarów typowanych do realizacji prac związanych z różnymi etapami poszukiwań. Sporządzane są one przy wykorzystaniu metod probabilistycznych i opartych na systemach informacji geograficznej – GIS (Watson i in., 1989; Gumiel i in., 1991; Bonham-Carter, 1994).

Różnicowanie informacji, na których opiera się ocena możliwości występowania złóż, pozwala na kategoryzację stopnia perspektywiczności złożowej w sposób stosowany przez służbę geologiczną Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej (USGS; Taylor R.B. i Steven, 1983; Goudarzi, 1984; tab. 4.2).

Marek Nieć, Krzysztof Szamalek, Marcin Szufficki

5. ZASADY OKREŚLANIA PERSPEKTYWICZNYCH ZASOBÓW KOPALIN

Prawo geologiczne i górnicze (Ustawa..., 2011) nie zawiera definicji zasobów hipotetycznych, perspektywicznych i prognostycznych, jednakże w praktyce geologicznej terminy te są bardzo często używane i wykorzystywane w wielu dokumentach planistycznych, programach rozwoju regionalnego, ocenach oddziaływania na środowisko oraz materiałach informacyjnych określających potencjał złóżowy kraju czy regionu.

5.1. Klasyfikacja przewidywanych zasobów złóż nieodkrytych

W Polsce jest stosowany podział zasobów nieodkrytych nieudokumentowanych na domniemane (hipotetyczne), perspektywiczne i prognostyczne, który został sformułowany w *Zasadach dokumentowania złóż kopalin stałych* (2002). Podział wprowadzony w *Zasadach...* (2002) nie ma charakteru normatywnego, lecz jest zbiorem wskazówek metodologicznych, jak postępować, zgodnie z zasadami wiedzy i praktyki badań geologicznych, w procesie prognozowania złóż kopalin. Przedstawiona w *Zasadach...* (2002) klasyfikacja złóż i zasobów przewidywanych obejmuje następujące kategorie:

- E (D_3) – złoża i zasoby **domniemane**, przewidywane na podstawie pośrednich i bezpośrednich przesłanek ich występowania bez określenia położenia ewentualnego złoża. Na podstawie analogii do zbadanych obszarów szacowane są zasoby kopaliny możliwe do odkrycia.
- D_2 – złoża i zasoby **perspektywiczne**, przewidywane na podstawie zlokalizowanych oznak występowania złoża, jednoznacznie zinterpretowanych anomalii geofizycznych lub geochemicznych, odosobnionych punktów stwierdzenia kopaliny lub produktów jej wietrzenia oraz geologicznych, petrograficznych albo mineralogicznych wskaźników jej bliskiego występowania. Granice prawdopodobnego złoża i zasoby szacowane są na podstawie ogólnych danych geologicznych, interpretacji badań geofizycznych i metodą analogii.
- D_1 – złoża i zasoby **prognostyczne**, szacowane na podstawie nielicznych rzadkich wyrobisk lub odsłoneń naturalnych, w których stwierdzono występowanie kopaliny, oraz na podstawie danych geologicznych lub danych geofizycznych pozwalających na określenie w przybliżeniu możliwego obszaru występowania złoża oraz rodzaju i jakości kopaliny. Prawdopodobne granice złoża określa się metodą interpolacji lub ekstrapolacji. Prawdopodobny błąd oszacowania zasobów może wynosić ponad 40%. W przypadku sporządzenia dokumentacji geologicznej złoża określa się je jako zbadane w kategorii D.

Należy podkreślić konieczność hierarchizacji i ustalenia kolejności wykonywania działań geologicznych prowadzących do uzyskania informacji pozwalających na ocenę stopnia zbadania złoża oraz możliwości i celowości jego wykorzystywania (tab. 5.1; Nieć, 2012). Klasyfikacja obszarów perspektywicznych z uwagi na stopień ich zbadania stosowana przez USGS adaptowana do warunków polskich i zastosowana do oceny perspektyw złóż bursztynu (Nieć i in., 2010a; Nieć 2012) nie znalazła szerszego zastosowania.

W przypadku kopalin skalnych podczas wykonywania *Mapy Geologiczno-Gospodarczej Polski* (MGGP, obecnie *Mapa Geśrodowiskowa Polski* – MGGŚ) przyjmowano następujące zasady wyznaczania obszarów perspektyw i prognoz złóżowych (Kozłowski S. i in., 1998):

- **Obszar perspektyw złóżowych** (obszar perspektywiczny) – teren występowania odpowiedniej jednostki surowcowej w warunkach umożliwiających eksploatację złóż, z wyłączeniem terenów trwałej zabudowy, parków narodowych i rezerwatów przyrody. Spełnione muszą być dodatkowo dwa warunki:
 - przewidywana miąższość nadkładu nie większa niż 3–5 m w przypadku kopalin powszechnie występujących (dawniej określanych w prawie geologicznym i górniczym terminem kopalin pospolitych) i maksymalnie do 10–15 m w przypadku kopalin o dużych walorach surowcowych, przy jednoczesnym spełnieniu określonych wymagań dotyczących minimalnej miąższości złoża (tab. 5.2);
 - istnieją dostateczne podstawy oceny możliwej jakości kopaliny (stwierdzona w odosobnionych punktach, np. wcześniejszej eksploatacji, lub oceniana na podstawie uzasadnionej analogii do znanych złóż).

Część I

Tab. 5.1. Etapy badania złoża przed podjęciem jego eksploatacji (Nieć, 2012)

Etapy i stadia badania złoża		Kategoria zbadania	Cel prac	Podstawowe metody badań	Wymagany stopień zbadania do podejmowania dalszych działań	Sposób wykorzystania rezultatów. Podejmowane dalsze prace
Prace poszukiwawcze	prace (poszukiwania) rekonesansowe	E (D) ₃	wyznaczenie obszarów perspektywicznych występowania złóż	analiza map geologicznych, regionalne kartowanie geologiczne, analiza przesłanek poszukiwawczych (warunków geologicznych określających możliwość występowania złóż)	określenie obszarów perspektywicznych występowania złóż	ocena celowości podjęcia poszukiwań wstępnych miejsca występowania złoża, projektowanie dalszych poszukiwań wstępnych
	poszukiwania wstępne	D ₂	poszukiwanie i badanie oznak występowania złóż, wyznaczenie miejsca prawdopodobnego występowania złóż	kartowanie geologiczne w dużej skali, badania geofizyczne, geochemiczne, częściowo wspomagane badanymi wierceniami i płytkimi wyrobiskami górnictwami (rowy)	wskazanie miejsca prawdopodobnego występowania złoża	ocena celowości podjęcia prac poszukiwawczych szczegółowych w celu stwierdzenia złoża i projektowanie poszukiwań szczegółowych
	poszukiwania szczegółowe	D ₁ (D*)	badania obszarów, na których stwierdzono oznaki występowania złóż, potwierdzenie występowania nagromadzeń kopaliny, udokumentowanie jej orientacyjnej ilości	wiercenia, wyrobiska górnicze płytkie (rowy, szybiki), sztolnie, wspomagane badaniami geofizycznymi i w miarę potrzeb uzupełniającym kartowaniem geologicznym w dużej skali, systematyczne opróbowanie kopaliny	potwierdzenie występowania kopaliny, której nagromadzenie może tworzyć złożo (prawdopodobnej obecności złoża)	kontynuacja prac geologicznych w celu wstępnego udokumentowania złoża
		C ₂	badania obszarów, na których stwierdzono oznaki występowania złóż, stwierdzenie (odkrycie) złoża i wstępne jego udokumentowanie	j.w.	stwierdzenie obecności złoża i wstępne jego zbadanie (warunków występowania, jakości kopaliny i zasobów)	wstępna ocena możliwości wykorzystania złoża, wieloletnie plany wydobywania, decyzja o podjęciu dalszych prac rozpoznawczych i projektowanie takich prac
Prace rozpoznawcze	rozpoznanie wstępne	C ₁	potwierdzenie wartości przemysłowej odkrytego złoża i możliwości jego zagospodarowania	wiercenia, w uzasadnionych przypadkach wyrobiska górnicze, rozmieszczone w sposób w miarę regularny na obszarze złoża wspomagane badaniami geofizycznymi, systematyczne opróbowanie, badania hydrogeologiczne, inżyniersko-geologiczne i w zależności od potrzeb gazowe i geotermiczne	zbadanie złoża w stopniu niezbędnym dla opracowania projektu jego zagospodarowania	opracowanie projektu zagospodarowania złoża

Tab. 5.1. cd.

Etapy i stadia badania złoża		Kategoria zbadania	Cel prac	Podstawowe metody badań	Wymagany stopień zbadania do podejmowania dalszych działań	Sposób wykorzystania rezultatów. Podejmowane dalsze prace
Prace rozpoznawcze	rozpoznanie szczegółowe	B	uzyskanie informacji geologicznych niezbędnych do projektowania obiektów zakładu górniczego i prowadzenia eksploatacji	wiercenia lub wyrobiska górnicze zagęszczające sieć wstępnego rozpoznania, szczegółowe badania geofizyczne, badania technologiczne kopaliny, szczegółowe badania hydrogeologiczne, inżyniersko-geologiczne, a w razie potrzeb gazowe lub geotermiczne	zbadanie złoża w stopniu niezbędnym do projektowania obiektów zakładu górniczego	projektowanie obiektów zakładu górniczego, w szczególności wyrobisk udostępniających
	rozpoznanie eksploatacyjne	A	weryfikacja i uzupełnienie danych o złożu uzyskanych we wcześniejszych stadiach rozpoznania	kartowanie geologiczne wyrobisk górniczych (w szczególności udostępniających i przygotowawczych), wyprzedzające wiercenia badawcze, systematyczne opróbowanie, badania hydrogeologiczne, inżyniersko-geologiczne i w zależności od potrzeb gazowe	zbadanie złoża w stopniu niezbędnym do projektowania wyrobisk eksploatacyjnych i bezpiecznego prowadzenia eksploatacji	bieżące planowanie wydobycia, opracowanie planów bezpiecznego prowadzenia eksploatacji i gospodarki złożem (planów ruchu), bieżąca informacja dla kierownictwa kopalni, sygnalizacja zagrożeń naturalnych

* wg rozporządzenia ministra środowiska w sprawie dokumentacji geologicznej złóż

Tab. 5.2. Orientacyjne kryteria wyznaczania obszarów perspektywicznych kopalin skalnych (Nieć, 2012)

Rodzaj kopalin	Parametry wyznaczające granice obszaru perspektywicznego		
	minimalna możliwa miąższość złoża Z [m]	maksymalna grubość nadkładu N [m]	N/Z
Zwięzłe skalne nie bloczne	10	10–15	0,2
Zwięzłe skalne bloczne	5	10–15	1,0
Ilaste budowlane	2	5	0,5
Ilaste ceramiki szlachetnej	2	10–15 (200*)	2,0
Piaski budowlane (skaleniowo-kwarcowe)	2	3–5	0,3
Żwiry, piaski ze żwirem	2	5	0,5–1,0
Piaski kwarcowe (szklarskie)	2	10	0,5

* w przypadku możliwej eksploatacji podziemnej

Obszar występowania określonej jednostki surowcowej wyznacza się na podstawie odsłonięć naturalnych i wyników wierceń lub sond lub wyjątkowo badań geofizycznych oraz interpretacji kartograficznej jej zasięgu.

- **Obszar prognoz złóżowych** (obszar prognostyczny) – teren, gdzie stwierdzono występowanie kopaliny, której jakość może być wstępnie określona, przy czym istnieją dane umożliwiające przybliżone oszacowanie jej zasobów w kategorii D_1 (D).

Podstawą do wyznaczania obszarów perspektywicznych są przede wszystkim wyniki kartowania geologicznego na powierzchni, zarejestrowane rozmieszczenie wychodni odpowiednich utworów i interpretowany ich możliwy zasięg pod nakładem utworów młodszych. Rozpatrywane są zatem łącznie przesłanki i oznaki występowania złóż. Przyjmuje się, że dla wyznaczenia obszarów perspektywicznych występowania złóż tych kopaliny wystarczające są mapy geologiczne w skali 1:50 000 (np. *Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski*) oraz inwentaryzacja złóż i wystąpień kopaliny (*Instrukcja...*, 2005; Sikorska-Maykowska, 2013). Ocena perspektywiczności może być różnicowana w zależności od ograniczenia możliwości wykorzystania potencjalnych złóż przez wymagania ochrony środowiska (Kozma i in., 2013).

W zależności od dokładności oceny potencjału surowcowego wyróżnić można trzy rodzaje obszarów perspektywicznych kopaliny skalnych wyznaczanych na podstawie stwierdzenia występowania:

- kopaliny o odpowiedniej jakości (znanej w wyniku przeprowadzonych wcześniej badań bądź sygnalizowanej w trakcie eksploatacji w istniejących lub zaniechanych wyrobiskach odkrywkowych);
- utworów o cechach litologicznych analogicznych do cech podobnych utworów na obszarach, gdzie ich właściwości jako kopaliny zostały stwierdzone;
- utworów o cechach litologicznych pozwalających przypuszczać, że mają one właściwości kopaliny.

W przypadku wyznaczania obszarów perspektywicznych kopaliny innych niż skalne istotne znaczenie dla oceny możliwości stwierdzenia obecności złoża ma głębokość położenia kompleksów skalnych, w których mogą się one znajdować. Wynika to z technicznej i ekonomicznej możliwości podjęcia ich eksploatacji. Dla złóż węgla brunatnych jest to głębokość zalegania w zakresie 100–300 m, dla węgla kamiennych na ogół do ok. 1500 m, dla złóż rud metali 2000 m, dla węglowodorów zwykle 4000–5000 m.

Podstawą wyznaczenia obszaru możliwego występowania złoża (lub złóż) są mapy geologiczne, geofizyczne i geochemiczne, pozwalające na określenie w sposób jednoznaczny lub przybliżony położenia granic formacji skalnych lub jednostek strukturalnych, w których złoża lub złoża mogą być zlokalizowane.

Zasoby potencjalnych złóż głębiej położonych lub nagromadzeń kopaliny niespełniających obowiązujących współcześnie wymagań odnośnie do jej ocenianej jakości powinny być określane jako przewidywane zasoby teoretyczne.

5.2. Szacowanie zasobów złóż nieodkrytych

Do oszacowania możliwych zasobów kopaliny w każdym przypadku niezbędne jest określenie obszaru możliwego występowania złoża.

Sposób szacowania przewidywanych zasobów prognostycznych jest analogiczny do szacowania zasobów złóż udokumentowanych. Niewielka liczba danych dotyczących miąższości złoża i jakości kopaliny powoduje, że wystarczające jest obliczenie zasobów metodą średniej arytmetycznej.

Zasoby perspektywiczne mogą być oszacowane metodą ekstrapolacji lub przewidywanego współczynnika, w zależności od rodzaju złoża kopaliny odpowiednio rudoności, węgloności itp.

Zasoby domniemane, których występowanie jest możliwe, ale co do których nie ma pewności, że zostaną potwierdzone, szacowane powinny być metodą analogii, na podstawie modeli zasobowych odpowiednich rodzajów złóż lub modeli zasobowych złóż znanych, występujących poza rozpatrywanym obszarem.

Modelem zasobowym jest statystyczny rozkład zasobów złóż znanych (Cox i Singer, 1986). Na tej podstawie można określić prawdopodobieństwo występowania określonej wielkości zasobów. Zwykle w ten sposób określa się zasoby przewidywane, możliwe – odpowiadające najczęściej stwierdzanym w znanych złożach, albo jako:

- nisko oszacowane z prawdopodobieństwem 90%, że mogą występować i są wyższe (lub 10%, że mogą być niższe);
- optymalnie oszacowane z prawdopodobieństwem 50%, że mogą być niższe (są to zasoby równe najczęściej stwierdzanym w znanych złożach);
- wysoko oszacowane z prawdopodobieństwem 90%, że mogą być niższe.

Nigdy jednak nie ma pewności, że zasoby te rzeczywiście istnieją. Szanse występowania tak oszacowanych zasobów perspektywicznych metodą analogii zależą dodatkowo od prawdopodobieństwa występowania odpowiednich złóż. Brak jest zwykle podstaw dla liczbowego jego oszacowania i może być określone tylko subiektywnie lub w sposób opisowy, w przypadku kopalin skalnych z uwzględnieniem zasad przedstawionych w tabeli 5.2.

5.3. Przyjęte zasady wyznaczania złóż i zasobów perspektywicznych

W przypadku złóż przewidywanych kryteria, jakie zostają przyjęte do ich wyznaczenia, zależą od wiedzy i doświadczenia badacza geologa. Złoża te mają najbardziej spekulatywny charakter i dane, którymi dysponujemy, są obarczone możliwą dużą niepewnością (przewidywane zasoby mogą zostać niepotwierdzone lub znacznie skorygowane co do wielkości w trakcie szczegółowych badań). Od wiedzy oraz intuicji badacza zależy właściwy dobór metod badawczych poszukiwania złóża lub adaptacji znanych metod do specyficznych warunków określonego górotworu czy kopaliny. Podążanie taką ścieżką pozwala na reinterpretację wcześniejszych rezultatów badawczych i wskazanie nowych perspektyw złożowych na obszarach, które zostały ocenione negatywnie pod względem potencjału złożowego (Smakowski i Szamałek, 2011). Ponieważ przyjęcie właściwej metodyki określania zasobów perspektywicznych zależy głównie od wiedzy i doświadczenia geologa, podejście takie ma charakter ekspercki i jest zbliżone do znanej i szeroko wykorzystywanej w takich ocenach metody delfickiej.

Do zasobów perspektywicznych można zaliczyć także zasoby złóż uprzednio zbadanych, które obecnie nie kwalifikują się jako obiekty zainteresowania górniczego, a wcześniej były kwalifikowane jako zasoby pozabilansowe z następujących powodów:

- niespełnienia przyjętych kryteriów definiujących złoża,
- technicznych lub środowiskowych ograniczeń ich wykorzystania.

Zagospodarowanie takich złóż może być przewidywane w przyszłości (w wyniku zmian technologicznych, ekonomicznych lub zmian wymagań środowiskowych).

Krzysztof Szamalek, Marcin Szuflicki, Dariusz Brzeziński

6. OCENA WYSTARCZALNOŚCI KRAJOWYCH ZASOBÓW ZŁÓŻ UDOKUMENTOWANYCH

Dynamiczny przyrost ludności świata prowadzi do wzrostu konsumpcji wielu surowców, w tym surowców mineralnych. W związku z tym pojawiają się pytania o czas, w którym popyt na surowce mineralne zaspokojo-ny zostanie odpowiednią podażą wydobytych kopalin (Szamalek, 2011b). Zużywalność zasobów kopalin (*depletion*) wiąże się z możliwym wystąpieniem ich rynkowego niedoboru lub braku (*scarcity*). Brak zrównoważenia popytu i podaży surowców silnie oddziałuje na bezpieczeństwo surowcowe państwa. Tym fundamentalnym zagadnieniem wystarczalności surowców i bezpieczeństwa surowcowego poświęcono w ostatnich kilkunastu latach liczne polskie i zagraniczne publikacje (m.in. Tilton, 2001, 2003; Nieć i Radwanek-Bąk, 2009; Ericsson i Söderholm, 2010; Szamalek, 2011c; Galos i in., 2012 a, b, c; Krzak, 2012; Brożyna i Koziół, 2014; Nieć i in., 2014; Bardi i in., 2016; Meinert i in., 2016; Radetzki i Wärrel, 2016; Szamalek i in., 2017c).

Do określenia wystarczalności zasobów używa się syntetycznego wskaźnika, jakim jest stosunek $R:P$ (R – całość udokumentowanych zasobów kopaliny, P – łączna wielkość rocznego wydobycia). Parametr $R:P$ jest używany w wielu publikacjach poświęconych zagadnieniom przyszłości surowcowej (np. doroczny *BP Statistical Review of World Energy Report*), choć dostrzegane są jego niedostatki teoretyczne i zwodniczość znaczenia (Wellington i Mason, 2014). Parametr ten może bowiem przybierać różną wartość w zależności od rodzaju użytych do jego obliczania danych. Na przykład parametr R (zasoby) może dotyczyć wszystkich znanych udokumentowanych zasobów albo tylko zasobów wydobywalnych. Wartość wyliczanego parametru $R:P$ (wystarczalność zasobu w latach) zmienia się w czasie (wbrew powszechnej opinii często w kolejnych okresach obliczeń ma wartością większą niż w poprzednich; Nickless i in., 2014). Parametr $R:P$ wyliczany dla określonego surowca w latach 50. XX w. mógł wskazywać czas wystarczalności np. 50 lat, a po upływie 50 lat, w analizach z 2000 r., ponownie przybierać zbliżoną wartość (również 50 lat, mimo 50 lat prowadzenia eksploatacji surowca).

W wielu współczesnych publikacjach można zauważyć, że w teorii zasobów naturalnych nadal aktualny jest historyczny spór naukowy (mający początki w rozważaniach ekonomistów w XVIII w.) uwzględniający dwa krańcowe podejścia do problematyki zasobów mineralnych:

- statyczne (twórca: Thomas Malthus),
- dynamiczne (prekursor: David Ricardo).

Zgodnie z teorią statyczną zasoby mineralne występujące w złożach kopalin są wyczerpywalne, nieodnawialne i niszczone, a co najistotniejsze – ograniczone. Wskazywano w niej istnienie fizycznej granicy dostępności zasobów i jej przesądzającego wpływu na możliwość istnienia cywilizacji.

Przyjmując statyczną teorię zasobów, można zatem określić czas, w jakim udokumentowane zasoby złóż zaspokoją popyt gospodarki – do tego celu służy wskaźnik zwany wystarczalnością statyczną (W_s) wyliczany według następującego wzoru:

$$W_s = \frac{R_p}{P}$$

gdzie:

W_s – statyczna wystarczalność (dostępność) zasobów [lata],

R_p – zasoby możliwe do wydobycia [Mg],

P – łączne roczne wydobycie kopaliny [Mg/rok].

W odróżnieniu od parametru $R:P$ wystarczalność statyczna W_s uwzględnia zasoby możliwe do wydobycia, które są częścią zasobów udokumentowanych. Z zasobów udokumentowanych należy bowiem ująć te zasoby, które nie są dostępne z powodów środowiskowych, górniczych, społecznych, politycznych bądź ekonomicznych. Wskaźnik wystarczalności statycznej W_s może być wyliczany dla określonego kraju, całego świata, określonej kopaliny lub wszystkich wydobywanych kopalin. Najczęściej jest on jednak wyliczany jako wartość określająca czas dostępu do określonej kopaliny (grupy kopalin) aż do jej fizycznego wyczerpania.

W podejściu dynamicznym podkreśla się, że ograniczoność zasobów może dotyczyć jedynie określonego regionu geograficznego lub pojedynczych krajów oraz określonego przedziału czasu. W zasadzie brak lub niedobór surowców mineralnych może wystąpić jedynie (Szamalek, 2011c):

- lokalnie,
- regionalnie,
- okresowo,
- jakościowo (cechy jakościowe surowca),
- cenowo.

Postęp naukowo-techniczny, rozwój badań geologicznych i wzrost poziomu wiedzy o budowie geologicznej, substytucja, recykling i odzysk surowców (*circular economy*) stwarzają możliwości utrzymania ciągłego wzrostu bazy zasobowej, kompensującego ubytki wynikające z bieżącej konsumpcji (Szamałek, 2011d). Oczywiście zgodnie z paradygmatem Ricardo dostarczane gospodarce w coraz większej ilości surowce pozyskiwane są z coraz trudniejszych do eksploatacji złóż, co prowadzi do wzrostu kosztu wydobycia kopaliny (surowca).

Uwzględnienie w ciągu określonego czasu zarówno zmian występujących w wielkości wydobycia, jak i dokonywania nowych odkryć złóż pozwala na wyliczenie wskaźnika zwanego wystarczalnością dynamiczną W_d (Bolewski i Gruszczyk, 1989):

$$W_d = \frac{\lg\left[\frac{R}{P} \cdot \frac{q-1}{q} + 1\right]}{\lg q}$$

gdzie:

W_d – wystarczalność dynamiczna [lata],

R – zasoby kopaliny [Mg],

P – roczna produkcja (wydobycie) [Mg],

q – przeciętny roczny przyrost wydobycia [%]; $q = 1 + \frac{q}{100\%}$.

Na korzystną zmianę wartości wskaźników W_s i W_d wpływać mogą nowe technologie odzysku składników użytecznych i wykorzystania rud o niższej zawartości metali, odkrycia złóż kopalin, zwiększony recykling, postęp naukowy wskazujący na możliwość wykorzystania powszechnie występujących, a niezagospodarowanych wcześniej minerałów i skał (Nickless i in., 2014).

Ponieważ zmiany wielkości wydobycia, nowe odkrycia złóż, nowe technologie są zjawiskami możliwymi do wiarygodnej i pewnej analizy w zasadzie wyłącznie w podejściu *ex post*, dalsze rozważania dotyczyć będą wystarczalności statycznej wyliczonej na podstawie danych z *Bilansu zasobów* według stanu na 31.12.2018 r. (Szuflicki i in., 2019). W *Bilansie zasobów* przedstawione są dane dotyczące 53 udokumentowanych (w różnym stopniu dokładności) grup kopalin. W rzeczywistości informacje w nim zawarte dotyczą znacznie większej liczby kopalin, bowiem część opisywanych grup obejmuje więcej niż jedną kopalinę (np. baryt i fluoryt, rudy miedzi i srebra, gipsy i anhydryty).

Naturalny ruch w stanie wielkości zasobów związany z wydobyciem (–) czy udokumentowaniem nowych złóż (+) wpływa zasadniczo na zmianę ich wystarczalności. Dzieje się tak we wszystkich kategoriach zasobów (geologiczne, bilansowe, przemysłowe, operatywne), jednak szczególnie ważne z punktu widzenia gospodarki są zmiany zasobów przemysłowych. Od lat niepokojące są zwłaszcza dane o ubytku zasobów przemysłowych węgla kamiennego, wynikającym z weryfikacji i skreślenia z *Bilansu zasobów* wielu złóż lub ich części, przy jednoczesnym zmniejszeniu wydobycia z 132,6 mln Mg w 1997 r., przez 82,8 mln Mg w 2007 r., aż do 63,9 mln Mg w 2018 r. (fig. 6.1). Utrata części zasobów kopalin w połączeniu z istotnym spadkiem wielkości wydobycia może paradoksalnie prowadzić do wzrostu wskaźnika wystarczalności statycznej W_s .

O bezpieczeństwie surowcowym decyduje przede wszystkim wystarczalność zasobów operatywnych złóż (tab. 6.1) oraz stopień zagospodarowania złóż (fig. 6.2).

Dla bezpieczeństwa surowcowego niezwykle ważne są także rezerwy związane z istnieniem lub z brakiem złóż udokumentowanych, a niezagospodarowanych. Złóża niezagospodarowane są rezerwą możliwą do uruchomienia w sytuacjach wymagających takiego działania. W Polsce stopień zagospodarowania udokumentowanych złóż najważniejszych kopalin (ropy naftowej, gazu ziemnego, rud miedzi) zmienia się od wyjątkowo wysokiego (>90%), przez bardzo wysoki (80–90%), do wysokiego (60–80%). W zasadzie spośród istotnych kopalin tylko w przypadku węgla brunatnego, soli kamiennej, siarki oraz wybranych grup kopalin ilastych istnieją znaczne rezerwy niezagospodarowanych jeszcze złóż (fig. 6.2).

Część I

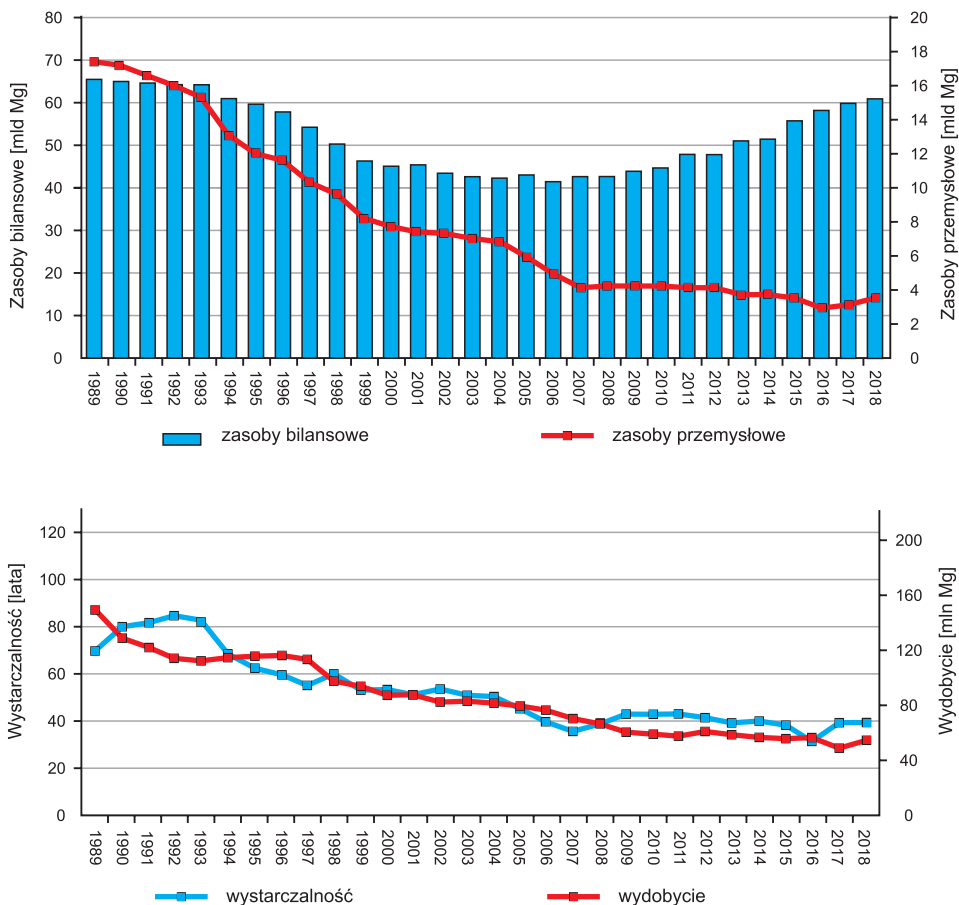


Fig. 6.1 Zmiany zasobów, wydobycia oraz wystarczalności statycznej zasobów operatywnych węgla kamiennego w latach 1989–2018 (dane wg *Bilansu zasobów*)

W ocenie wystarczalności zasobów kopalin istotny jest parametr W informujący o stopniu wykorzystania zasobów bilansowych złóż kopalin zagospodarowanych w stosunku do całości udokumentowanych zasobów bilansowych (Nieć i Radwanek-Bąk, 2009):

$$W = \frac{Q_{zg}}{Q_b} 100\%$$

gdzie:

W – stopień wykorzystania zasobów bilansowych złóż zagospodarowanych w stosunku do łącznych zasobów bilansowych [%],

Q_{zg} – zasoby bilansowe w złożach zagospodarowanych [Mg],

Q_b – łączne udokumentowane zasoby bilansowe [Mg].

Gdy wskaźnik W przyjmuje dla określonego rodzaju kopalin wartość ponad 50%, pojawia się bardzo ważny sygnał ostrzegawczy wymagający podjęcia wzmożonych wysiłków w postaci prac poszukiwawczych, a także finansowania takich prac. Bowiem mimo braku zależności między wielkością nakładów na prace poszukiwawcze a wielkością sukcesów w odkryciach nowych złóż (Górecki i Szamałek, 2004) bezsporne jest, że bez finansowania i prowadzenia poszukiwań nowych złóż się nie odkryje.

Tab. 6.1. Wystarczalność zasobów wybranych kopalin złóż eksploatowanych wg stanu na 31.12.2018 r.

Kopaliny (wg Szuflickiego i in., 2019)	Jednostka zasobów i wydobycia	Zasoby udokum. bilansowe ogółem	Zasoby bilansowe złóż zagosp.	Zasoby przemysłowe ogółem	Zasoby operatywne (szacowane)	Wydobycie roczne ogółem [Jz/r]*	Szacowana wystarczalność statyczna zasobów operatywnych [lata]
Gaz ziemny	mln m ³	139 929	89 885	66 641	66 641	4926	14
Metan z pokładów węgla	mln m ³	102 021	50 543	6440	6440	321	20
Ropa naftowa	tys. Mg	23 556	22 147	13 660	13 660	937	15
Węgiel brunatny	tys. Mg	23 315 518	1 224 500	1 047 602	942 842	61 144	15
Węgiel kamienny	mln Mg	61 436 220	22 307 900	3 605 447	2 523 813	63 883	40
Rudy Zn-Pb	tys. Mg	83 960	14 080	4414	3311	1594	2
Rudy Cu i Ag	tys. Mg	1 905 647	1 663 030	1 188 510	891 383	30 252	29
Siarka	tys. Mg	502 514	17 150	22 903	11 452	617	19
Sól kamienna	tys. Mg	90 351 879	14 978 020	1 893 697	662 794	4125	161
Dolomity	tys. Mg	501 867	207 770	131 193	98 395	3147	31
Gips i anhydryt	tys. Mg	255 230	83 330	67 686	50 765	1042	49
Gliny ceramiczne kamionkowe	tys. Mg	79 042	827	4406	3305	269	12
Gliny ceramiczne biało wypalające się	tys. Mg	57 982	1123	1123	842	206	4
Gliny ogniotrwałe	tys. Mg	54 187	1170	1098	824	70	12
Kamienie łamane i bloczne	tys. Mg	11 407 301	6 184 180	3 631 073	2 723 305	81 253	34
Kreda	tys. Mg	207 145	16 460	14 225	10 669	289	37
Piaski formierskie	tys. Mg	301 837	49 600	22 291	16 718	1046	16
Piaski i żwiry	tys. Mg	19 470 375	6 001 230	4 061 665	3 046 249	197 005	15
Piaski do prod. betonów komórkowych	tys. m ³	137 596	24 270	14 583	10 937	455	24
Piaski do prod. cegły wapienno-piaskowej	tys. m ³	264 225	43 800	22 055	16 541	261	63
Piaski podsadzkowe	tys. m ³	2 515 083	511 960	73 593	55 195	3021	18
Surowce ilaste ceramiki budowlanej	tys. m ³	2 044 252	253 830	136 280	102 210	2042	50
Surowce ilaste do prod. cementu	tys. Mg	279 641	201 390	2696	2022	114	18
Surowce skaleniowe	tys. Mg	139 140	16 260	5254	3941	71	56
Surowce szklarskie	tys. Mg	647 262	165 190	68 681	51 511	2799	18
Torfy	tys. m ³	81 340	45 820	32 194	24 146	1370	18
Wapienie i margle dla przem. cementowego	tys. Mg	12 723 923	4 366 210	2 013 004	1 509 753	28 214	54
Wapienie i margle dla przem. wapienniczego	tys. Mg	5 449 376	2 019 270	1 217 024	912 768	18 780	49

* Jz/r – jednostki zasobów w wydobyciu rocznym

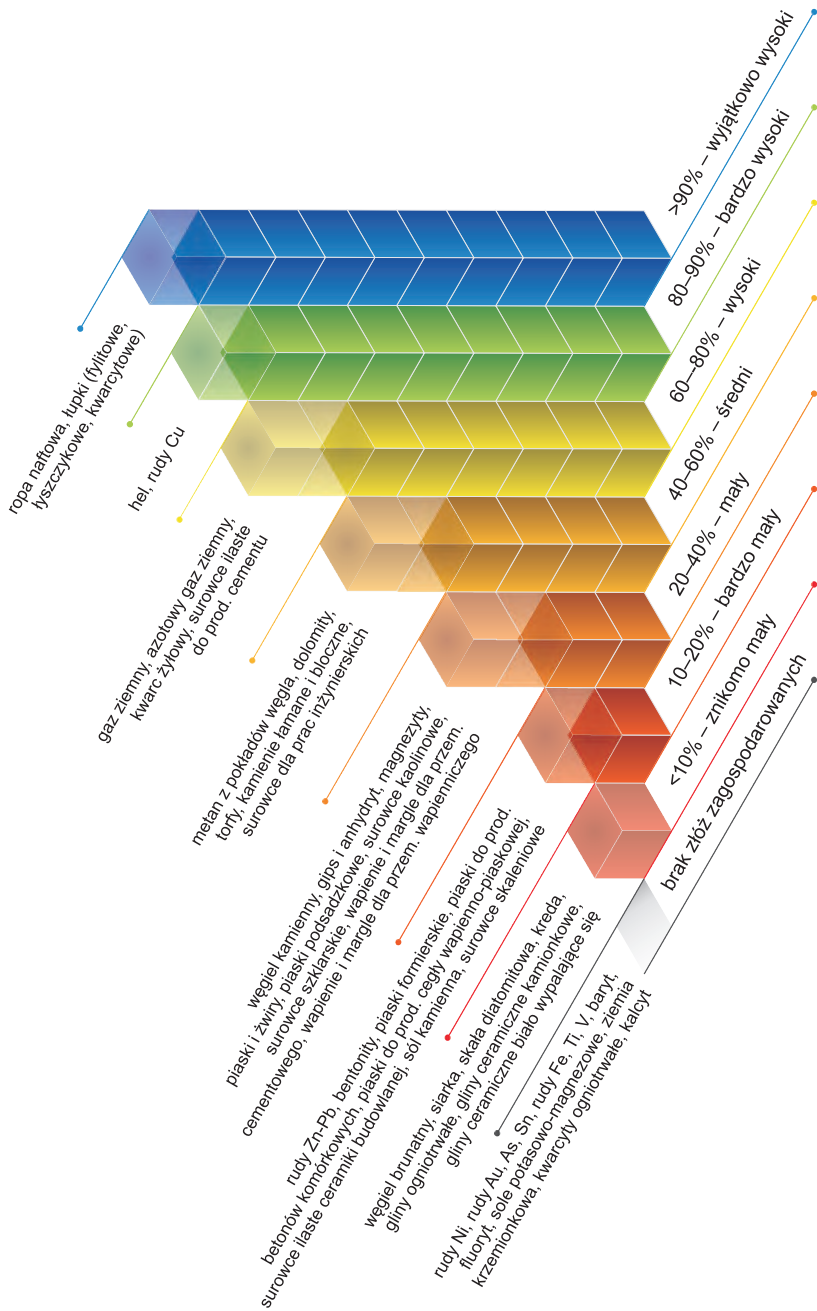


Fig. 6.2. Stopień zagospodarowania udokumentowanych złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31.12.2018 r.

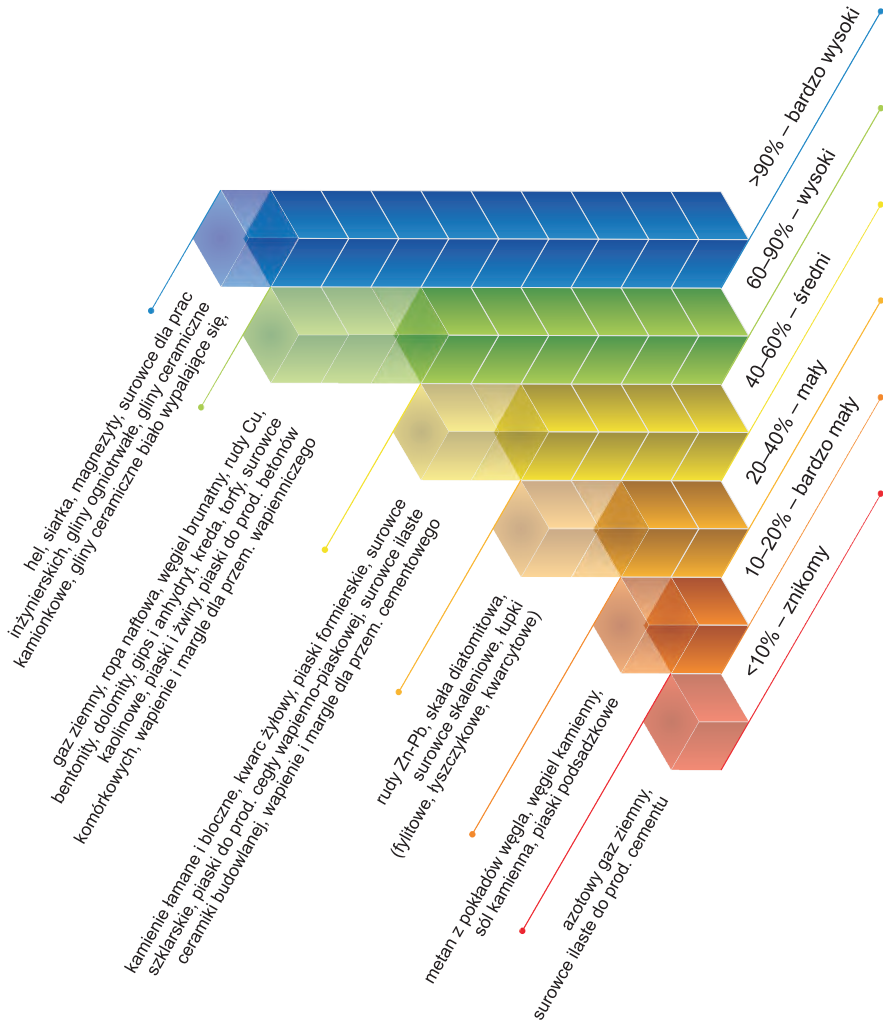


Fig. 6.3. Wskaźnik potencjału rezerw zasobowych ξ w Polsce wg stanu na 31.12.2018 r.

Pozycję kraju w zakresie wystarczalności surowcowej oraz geopotencjału złożowego można także oszacować na podstawie wskaźnika potencjału rezerw zasobowych złóż niezagospodarowanych (ξ ; fig. 6.3), zgodnie ze wzorem (Nieć i Przeniosło, 2004):

$$\xi = \frac{a}{100} \left(1 - \frac{W}{100}\right) 100\%$$

gdzie:

ξ – wskaźnik potencjału rezerw zasobowych złóż niezagospodarowanych [%],

a – udział zasobów przemysłowych w zasobach bilansowych złóż zagospodarowanych [%],

W – stopień wykorzystania zasobów bilansowych złóż zagospodarowanych w stosunku do łącznych zasobów bilansowych [%].

W niektórych przypadkach wskaźnik ξ może nieco wprowadzać w błąd, bowiem jego wysoka wartość nie zawsze automatycznie oznacza swobodny dostęp do złóż. Część złóż niezagospodarowanych może zostać trwale wykluczona z możliwości dostępu i wydobycia przez ograniczenia wynikające z regulacji związanych z ochroną środowiska (zwłaszcza sieci Natura 2000), z prawa do nieruchomości gruntowych i własności złóż, ze sprzeciwów społeczności lokalnych czy organizacji ekologicznych, jak również z braku stosownych zapisów w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego (Nieć i Radwanek-Bąk, 2009). Na te ograniczenia zwraca się coraz częściej uwagę w dokumentach dotyczących polityki surowcowej.

Wystarczalność zasobów złóż w Europie utrzymuje się w większości przypadków na stosunkowo niskim poziomie, co znajduje odbicie w udziale wydobycia określonych kopalin w światowej produkcji. Dla rud metali udział ten nie przekracza 10%, a w grupie minerałów przemysłowych (*industrial minerals*) tylko produkcja bentonitu, skaleni, perlitu czy soli kamiennej przekracza 10-procentowy udział w światowej produkcji. Nowe impulsy dotyczące zwiększenia bazy zasobowej wewnątrz Unii Europejskiej wywołane zostały w 2008 r. przez Komisję Europejską w postaci *Raw Materials Initiative* (2008). Zaowocowało to m.in. w 2015 r. powstaniem europejskiego technologicznego porozumienia partnerskiego – *EIT Raw Materials* (2015), którego celem jest opracowanie i wdrożenie oszczędnych surowcowo technologii w procesach gospodarczych, odzyskiwanie surowców ze źródeł wtórnych, rozwój technologiczny wydobycia i przeróbki kopalin w celu powiększenia bazy i wystarczalności surowcowej UE.

CZĘŚĆ II

7. KOPALINY ENERGETYCZNE
pod redakcją Anny Feldman-Olszewskiej

Anna Feldman-Olszewska, Hubert Kiersnowski, Tadeusz Peryt, Jolanta Paczeńska, Rafał Laskowicz, Marcin Janas, Andrzej Gluszyński, Krzysztof Waśkiewicz

7.1. ROPA NAFTOWA (*CRUDE OIL*), GAZ ZIEMNY (*NATURAL GAS*), KONDENSAT ROPNO-GAZOWY (*CONDENSATE*)

Ropa naftowa jest naturalną mieszaniną ciekłych węglowodorów, zawierającą rozpuszczone węglowodory stałe i gazowe oraz domieszki związków siarki, azotu i tlenu. Ze względu na gęstość ropę naftową dzieli się na lekką (do 0,87 Mg/m³), średnią (0,87–0,92 Mg/m³), ciężką (0,92–1,00 Mg/m³) i superciężką (ponad 1,00 Mg/m³; Górecki, 2011b).

Głównym składnikiem gazu ziemnego jest metan CH₄, któremu towarzyszą wyższe węglowodory gazowe (etan, propan, butan) i ciekłe oraz inne składniki gazowe: tlenek i dwutlenek węgla, siarkowodor, azot, hel (N i He opisane są w rozdz. 12.8), wodór i argon. Z samodzielnych złóż gazu pozyskuje się gaz ziemny suchy, natomiast ze złóż ropy naftowej i gazu ziemnego oraz ze złóż kondensatowych pozyskuje się gaz ziemny mokry.

7.1.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Pułapki węglowodorów (*hydrocarbon traps*) to struktury górotworu, w których skały zbiornikowe o wysokiej porowatości są ograniczone od góry formacjami uszczelniającymi (*seal*) uniemożliwiającymi ucieczkę węglowodorów. W pułapce najniżej – jako najcięższa – znajduje się woda, ponad nią gromadzi się ropa naftowa, a najwyżej – gaz ziemny.

Ze względu na kształt wyróżnia się następujące złoża (Zawisza, 2009):

- złoża warstwowe (*stratigraphic reservoirs*), ograniczone od stropu i spągu skałami o niskiej przepuszczalności (np. złoża ropy i gazu Czarna, Grobla, złożo gazu Paproć);
- złoża masywowe (*structural reservoirs*), zawierające szereg warstw przepuszczalnych uszczelnionych od góry, w których granica wód nie jest zgodna z ułożeniem warstw (np. złożo ropy i gazu Petrykozy, złożo gazu Rajsko);
- złoża o nieregularnych kształtach, występujące w skałach o lokalnie zróżnicowanej porowatości.

Ze względu na genezę wyróżnia się następujące pułapki węglowodorów (Myśliwiec, 2004; Zawisza, 2009; Bjørlykke, 2010):

- strukturalne (związane z procesami tektonicznymi – antyklinalne, uskokowe, diapirowe, np. złożo Przemyśl);
- stratygraficzne (będące wynikiem procesów sedymentacyjnych – związane z piaskowcami koryt rzecznych, piaskowcami koryt kanałów podmorskich i spływów podmorskich, strukturami rafowymi, klastycznymi wyspami barierowymi, powierzchniami niezgodności, z wyklinowaniem warstw – *pinch-out trap*, np. osady stożków napływowych, m.in. złożo Chałupki Dębniańskie);
- hydrodynamiczne (związane z warunkami przepływu wód podziemnych) – ograniczone ze wszystkich stron nisko przepuszczalnymi skałami lub wodą.

Możliwe są także pułapki o charakterze mieszanym (np. pułapki strukturalno-stratygraficzne takie jak złożo gazu ziemnego Gruszów).

7.1.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Udokumentowane zasoby światowe ropy naftowej na koniec 2018 r. wynosiły 1 663 331 mln baryłek, natomiast gazu ziemnego 205 728 mld m³ (Eni, 2019a, b; tab. 7.1). Państwami o największych udokumentowanych zasobach ropy naftowej są Wenezuela i Arabia Saudyjska, natomiast największe zasoby gazu ziemnego mają Rosja i Iran (EIA, 2018).

Polska ma niewielkie zasoby węglowodorów i znajduje się na 71. miejscu na świecie pod względem udokumentowanych zasobów ropy naftowej oraz na 58. miejscu pod względem ilości udokumentowanych zasobów gazu ziemnego. Odpowiednio jest to 13. i 6. miejsce w Europie (Eni, 2019a, b).

W Polsce na koniec 2018 r. w ewidencji uwzględniono 86 złóż ropy naftowej i kondensatu (tab. 7.2). Spośród nich 84 złoża występują na lądzie (Niż Polski – 43, przedgórze Karpat – 12, Karpaty – 29), a poza stałe 2 w polskiej wyłącznej strefie ekonomicznej Bałtyku (Czapigo-Czapla i Brzeziński, 2019b). Z wymienionych 86 udokumentowanych złóż 59 było zagospodarowanych, 8 niezagospodarowanych, a w 19 złożach

Tab. 7.1. Światowe zasoby ropy naftowej i gazu ziemnego na koniec 2018 r. oraz udział procentowy zasobów i wydobycia w poszczególnych rejonach (Eni, 2019a, b)

Rejon	Zasoby ropy naftowej [mln barylek]	Zasoby ropy naftowej [udział %]	Wydobycie ropy naftowej [udział %]	Zasoby gazu ziemnego [mld m ³]	Zasoby gazu ziemnego [udział %]	Wydobycie gazu ziemnego [udział %]
Europa	15 265	1	4	3795	2	7
Rosja i Azja Centralna	118 301	7	15	64 891	32	23
Bliski Wschód	803 220	49	33	80 454	39	17
Afryka	120 160	7	9	18 545	9	6
Azja – Pacyfik	49 008	3	8	14 892	7	15
Ameryka Północna	220 407	13	22	15 455	7	27
Ameryka Południowa i Centralna	336 973	20	9	7696	4	5
Świat	1 663 331	100	100	205 728	100	100

Tab. 7.2. Zestawienie liczby złóż i zasobów oraz wielkości wydobycia gazu i ropy naftowej (wraz z kondensatem ropnym) ze złóż konwencjonalnych w Polsce z podziałem na regiony.

Zestawienie stanowi sumę zasobów złóż zagospodarowanych i niezagospodarowanych oraz złóż, których eksploatacji zaniechano wg stanu na 31.12.2018 r. (wg Czapigo-Czapli i Brzezińskiego, 2019a, b)

Region	Liczba złóż	Zasoby			Wydobycie
		bilansowe	pozabilansowe	przemysłowe	
Ropa naftowa i kondensat ropny [tys. Mg]					
Bałtyk (<i>offshore</i>)	2	6573,41	–	5837,84	192,14
Karpaty	29	709,56	18,94	173,30	21,20
Niż Polski	43	15 811,64	1,43	7588,54	708,53
Przedgórze Karpat	12	461,18	380,46	59,86	15,17
Ogółem	86	23 555,79	400,83	13 659,54	937,04
Gaz ziemny [mln m³]					
Bałtyk (<i>offshore</i>)	5	4846,40	–	4707,76	23,25
Karpaty	35	1374,87	176,02	309,62	31,45
Niż Polski	153	100 840,93	1997,74	53 068,56	3584,86
Przedgórze Karpat	105	32 867,11	56,83	8555,04	1286,45
Ogółem	298	139 929,31	2230,59	66 640,98	4926,01

zaniechano eksploatacji. W porównaniu z 2009 r. (Górecki, 2011b) ogólna liczba złóż udokumentowanych na lądzie wzrosła o 2, a na obszarze Bałtyku w polskiej wyłącznej strefie ekonomicznej nie udokumentowano nowych złóż.

Wielkość wydobywalnych zasobów bilansowych ropy naftowej i kondensatu według stanu na 31.12.2018 r. wynosiła 23,6 mln Mg, a zasobów przemysłowych 13,7 mln Mg (tab. 7.2). W porównaniu do ostatniego *Bilansu* (Górecki, 2011b) zanotowano spadek tych zasobów (odpowiednio o 2,7 mln Mg i 3,9 mln Mg). Największym złożem w Polsce jest złożo BMB (Barnówko-Mostno-Buszewo), zlokalizowane na Niżu Polskim, o zasobach 5,87 mln Mg; zasoby pozostałych złóż są w większości małe, tylko 5 spośród nich ma zasoby ponad 1 mln Mg. Wydobywanie krajowej ropy i kondensatu kształtuje się na poziomie 937 tys. Mg rocznie, co stanowi ok. 4% krajowego zapotrzebowania (tab. 7.2, fig. 7.1). Oznacza to, że przy stałym tempie wydobycia i braku nowych odkryć obecnych zasobów wydobywalnych ropy wystarczy na ok. 25 lat.

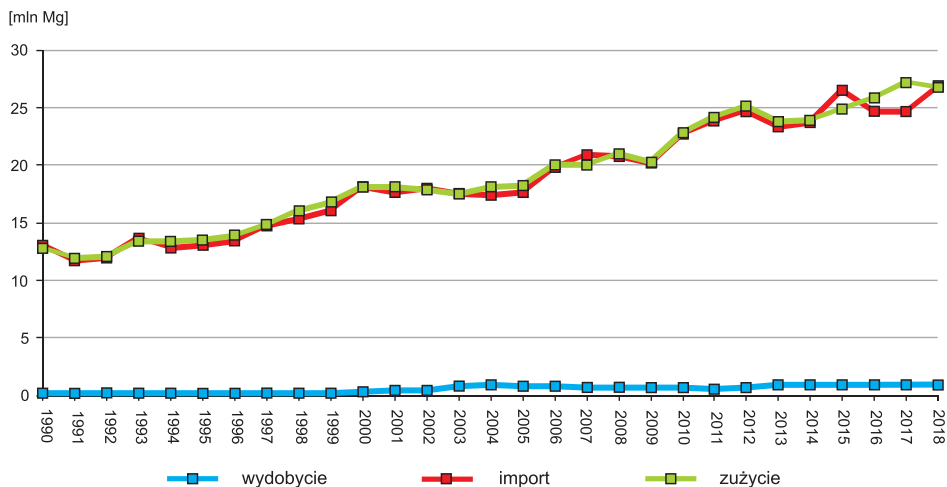


Fig. 7.1. Wydobycie, zużycie oraz import ropy naftowej (bez kondensatu gazowego) w Polsce (na podstawie: EUROSTAT, 2017; Bilans zasobów – edycje za lata 1990–2018; Ministerstwo Energii; PGNiG; Orlen; BP Statistical Review of World Energy, 2019; GUS, 2017; Jurga i in., 2018)

Na koniec 2018 r. w Polsce było udokumentowanych 298 złóż gazu ziemnego, z tego 293 na lądzie (Niż Polski – 153, przedgórze Karpat – 105, Karpaty – 35) i 5 w polskiej strefie ekonomicznej Bałtyku (Czapigo-Czapla i Brzeziński, 2019b; tab. 7.2). Spośród wymienionych złóż 203 były zagospodarowane, 58 było niezagospodarowanych, a w 37 złożach zaniechano eksploatacji. W porównaniu z 2009 r. (Górecki, 2011b) ogólna liczba złóż udokumentowanych na lądzie wzrosła o 18, a w polskiej wyłącznej strefie ekonomicznej Bałtyku o 1.

Wielkość bilansowych zasobów wydobywalnych gazu ziemnego według stanu na 31.12.2018 r. wynosiła 139,9 mld m³, a zasobów przemysłowych 66,6 mld m³ (tab. 7.2). W porównaniu do ostatniego *Bilansu* (Górecki, 2011b) zanotowano spadek zasobów wydobywalnych gazu o 9 mld m³ oraz wzrost zasobów przemysłowych o 1,7 mld m³. Złożem eksploatowanym o najbogatszych zasobach gazu jest złożo Brońsko, zlokalizowane na Niżu Polskim, o zasobach bilansowych 13,6 mld m³, a największe bilansowe zasoby stwierdzono w złożu Krobielewko – wstępne rozpoznanie wskazuje na zasoby ok. 25,9 mld m³. Spośród pozostałych złóż jedynie 22 mają zasoby bilansowe przekraczające 1 mld m³. Gaz ze złóż na Niżu Polskim jest wysokoazotowy (od kilkunastu do 80% azotu), o niskiej zawartości metanu, a w złożach Karpat i zapadliska przedkarpackiego oraz polskiej wyłącznej strefy ekonomicznej Bałtyku obecny jest gaz wysokometanowy (70–99% metanu), niskoazotowy (Górecki, 2011b). Wydobycie krajowe gazu ziemnego kształtuje się na poziomie 4,9 mld m³ rocznie, co stanowi ok. 25% krajowego zapotrzebowania (tab. 7.2, fig. 7.2). Oznacza to, że przy stałym tempie wydobycia obecnych zasobów wydobywalnych wystarczy na ok. 23,5 lat.

7.1.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

W 2015 r. zmieniono kryteria bilansowości dla złóż ropy i gazu ziemnego. *Rozporządzeniem...* (2015b) wprowadzono kryteria określające graniczne wartości parametrów definiujących złożo i jego granice dla złoża węglowodorów (tab. 7.3).

Podstawowa zmiana w stosunku do kryteriów z 2011 r. (Górecki, 2011b) polega na zastosowaniu parametru minimalnej przepuszczalności skał zbiornikowych (dla obu surowców), zrezygnowano natomiast z minimalnych pierwotnych zasobów geologicznych oraz minimalnego stosunku początkowego ciśnienia złożowego do hydrostatycznego (ropa) oraz z minimalnej zawartości węglowodorów (gaz).

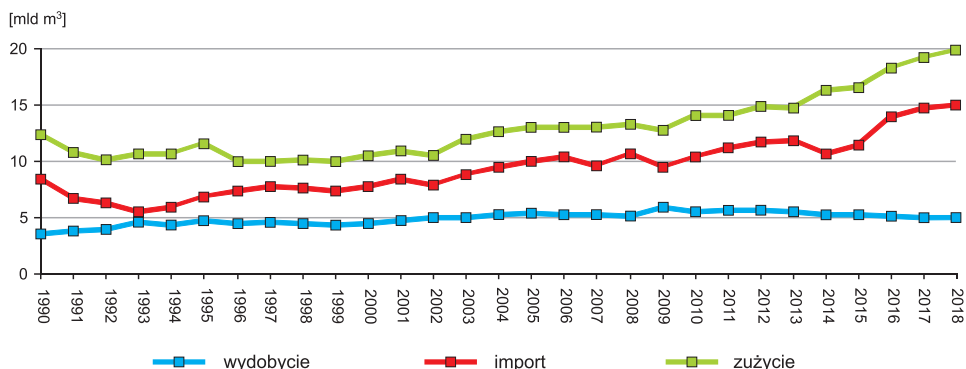


Fig. 7.2. Wydobycie, zużycie oraz import gazu ziemnego w Polsce (na podstawie: EUROSTAT, 2017; Bilans zasobów – edycje za lata 1990–2018; Ministerstwo Energii; PGNiG; Orlen; BP Statistical Review of World Energy, 2019; GUS, 2017; Jurga i in., 2018)

Tab. 7.3. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża ropy naftowej i gazu ziemnego i ich granice (*Rozporządzenie...*, 2015b)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Ropa naftowa		
Minimalna przepuszczalność skał zbiornikowych	m ² (mD)	1×10^{-15}
Minimalna początkowa średnia wydajność z otworu w konturze złoża	Mg/d	2
Maksymalna gęstość ropy naftowej	g/cm ³	0,9
Gaz ziemny		
Minimalna przepuszczalność skał zbiornikowych	m ² (mD)	1×10^{-16}
Minimalna początkowa średnia wydajność z otworu w konturze złoża	m ³ /min	2
Maksymalna zawartość rtęci	µg/m ³	30
Złoża gazu ziemnego towarzyszącego ropie naftowej		
Za bilansowe uznaje się wszystkie zasoby gazu rozpuszczonego w ropie naftowej i występujące w czapie gazowej, jeżeli jakość gazu ziemnego spełnia graniczne wartości parametrów definiujących złoża i jego granice		

7.1.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Do klasyfikacji zasobów konwencjonalnych złóż węglowodorów w Polsce stosuje się podział zasobów na zasoby pozabilansowe oraz bilansowe, dzielone dalej na trzy kategorie (A, B, C). Zasoby prognostyczne i perspektywiczne określa się jako zasoby kategorii D i E (Nieć, 2009, 2010a, 2014; *Rozporządzenie...*, 2015a, b).

Sposoby szacowania zasobów stwierdzonych, perspektywicznych i prognostycznych różnią się znacznie nie tylko dokładnością szacowania, ale także metodyką wykonania szacunków (tab. 7.4).

Tab. 7.4. Podział zasobów ze względu na stopień zbadania złoża w poszczególnych etapach rozpoznania (Nieć, 2014)

Cechy złoża	Stopień zbadania złoża i zasobów			
	udokumentowane		prognostyczne (hipotetyczne, kat. D)	perspektywiczne (kat. E)
	kat. A, B	kat. C		
Powierzchnia złoża	znana	częściowo znana	domniemana	nieokreślona
Model budowy złoża	znany	prawdopodobny	przypuszczalny, oceniany na zasadzie analogii	przypuszczalny, oceniany na zasadzie analogii
Parametry złoża	pomierzone	pomierzone	nieliczne pomiary	zwykle jedynie przypuszczalne
Średnie wartości parametrów złoża	obliczone	obliczone	brak danych do obliczenia lub błąd ponad 50%	nieznane lub domniemane
Warunki geologiczne eksploatacji	rozpoznane	przypuszczalne, częściowo lub niedostatecznie rozpoznane	oceniane na zasadzie analogii	oceniane na zasadzie analogii
Zasoby złoża i dopuszczalny błąd ich oszacowania	obliczone, błąd oszacowania odpowiednio 20 i 35%	obliczone, błąd oszacowania do 50%	obliczone, błąd oszacowania do 50%	oceniane na zasadzie analogii, błąd oszacowania nieokreślony

7.1.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

7.1.5.1. Formacja ropo-gazonośna kambryjska na Niżu Polskim

Ropo-gazonośne utwory kambru występują na obszarze platformy wschodnioeuropejskiej, na terytorium morskim i lądowym Polski oraz krajów ościennych – Litwy, Rosji, a także Łotwy, Estonii i Szwecji. Złoża ropy naftowej, gazu ziemnego i kondensatu udokumentowano w utworach kambru, ordowiku i syluru na całym obszarze basenu bałtyckiego (fig. 7.3), stanowiącego regionalną, rozległą nieckę pokrytą utworami trzech pięter strukturalnych: niższego paleozoiku, permo-mezozoicznego i kenozoicznego. Złoża te występują na wyniesionych strukturach obciążonych uskoki, w pułapkach strukturalno-litologicznych związanych z regionalnymi i lokalnymi strefami uskoku (Karczewska i Żurawski, 1998; Królicka, 1998).

W polskiej strefie ekonomicznej Bałtyku odkryto trzy kambryjskie złoża ropy naftowej ze współwystępującym gazem ziemnym (B 3, B 8, B 34) oraz cztery kambryjskie złoża gazu ziemnego ze współwystępującym kondensatem (B 4, B 6, B 16, B 21; zob. rozdz. 14). W Polsce na lądzie występują cztery złoża ropy naftowej, z których tylko trzy są obecnie eksploatowane. Są to złoża: Żarnowiec, Żarnowiec W i Dębki (złożo Białogóra-E wyłączono z eksploatacji; Czapigo-Czapla i Brzeziński, 2019a). Na pozostałych obszarach platformy wschodnioeuropejskiej, w basenie podlasko-lubelskim, pomimo występowania w utworach kambru licznych objawów węglowodorów dotychczas nie stwierdzono nagromadzeń o charakterze złożowym. Tuż poza granicami Polski, w obwodzie kaliningradzkim, znajdują się liczne kambryjskie złoża związane z lokalnymi strefami uskoku. Obecnie w lądowej części basenu bałtyckiego prospekcję naftową w utworach kambru środkowego prowadzą firmy LOTOS Petrobaltic S.A., PGNiG S.A. oraz ShaleTech Energy Sp. z o.o.

Piaskowcowe utwory ropo-gazonośne formacji dębrowskiej występują w górnej części profilu kambru środkowego, w poziomie *Paradoxides paradoxissimus*, i we wszystkich profilach wiertniczych basenu bałtyckiego tworzą wyrazisty, prawie monolityczny kompleks skalny o miąższości do 100 m. Złoża mają budowę wielowarstwową, a skały zbiornikowe w postaci środkowokambryjskich piaskowców kwarcowych o spoiwie krzemionkowym i węglanowym mają charakter porowo-szczelinowy, szczelinowy lub porowy. Ropo-gazonośne piaskowce środkowokambryjskie są od stropu ekranowane ilowcowymi i mułowcowymi utworami górnego kambru (furongu), ordowiku i syluru lub lokalnie uszczelnione poprzez zanik właściwości zbiornikowych kolektora.

Na obszarze basenu bałtyckiego złoża węglowodorów występują w piaskowcach związanych z przybrzeżną strefą regresywnego zbiornika morskiego (Jaworowski, 2000; Paczeńska, 2012). Na obecny plan strukturalno-tektoniczny wyniesienia Łeżyłożyły się efekty trzech etapów deformacji tektonicznych: synkaledońskich po sylurze, synwawaryjskich przed permem i synalpejskich we wczesnym mezozoiku i w późnym kenozoiku (Dadlez, 1993). W wyniku tych procesów część zachodnia i centralna basenu bałtyckiego oraz bezpośrednio przylegające do niego obszary morskie zostały podzielone na kilka bloków tektonicznych: A – Słupska, B – Łeży, C – Gdańska, Żarnowca i Rozewia oraz D – Kurlandii, oddzielonych od siebie regionalnymi strefami dyslokacyjnymi (Pokorski i Modliński, 2007; fig. 7.3).

Skały macierzyste stanowią bogate w substancję organiczną iłowce furongu (górny kambr; formacja z Piaśnicy), ordowiku (formacja z Piaśnicy, formacja z Sasina) i syluru (formacja z Jantaru; zob. rozdział 7.2). Wymienione skały macierzyste są młodsze od kambryjskich skał zbiornikowych i jest to dość nietypowe, gdyż zazwyczaj skały macierzyste znajdują się poniżej skał zbiornikowych w profilu geologicznym basenów sedymentacyjnych. Budowa i rozwój tektoniczny syneklizy perybałtyckiej warunkowały jednak łączność hydrodynamiczną między poziomami macierzystymi i zbiornikowymi wzdłuż nieciągłości tektonicznych, co umożliwiło migrację węglowodorów.

Badania geochemiczne ropy naftowej i towarzyszącego im gazu ziemnego ze złóż na obszarze wyniesienia Łeży wykazały, że ich źródłem są skały macierzyste zawierające algowy kerogen morskiego typu, a największy udział w generowaniu węglowodorów mają iłowce furongu–tremadoku formacji z Piaśnicy, w międzynarodowej nomenklaturze znane jako łupki alunowe (Kotarba, 2010a; Więclaw i in., 2010b; Kotarba i Lewan, 2013; Kotarba i Nagao, 2015; Yang i in., 2017). Wyniki modelowania systemów naftowych wskazują, że największa intensywność procesów generowania, ekspulsji, migracji i akumulacji węglowodorów w polskiej części basenu bałtyckiego nastąpiła w dewonie i karbonie, co związane jest z największym stop-

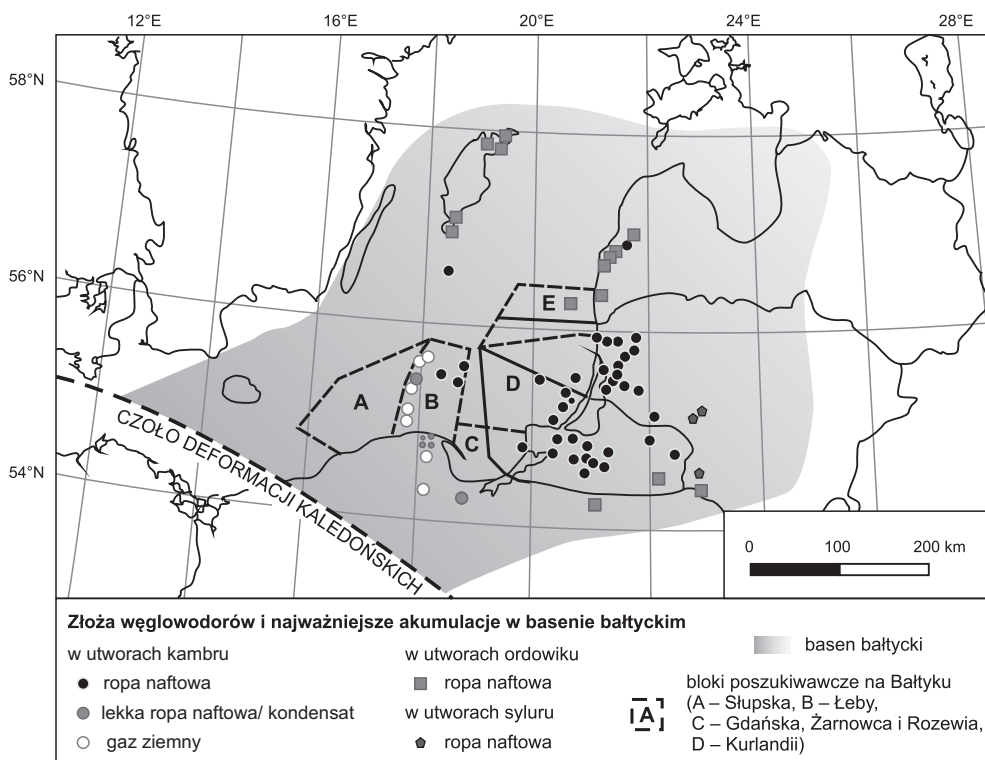


Fig. 7.3. Lokalizacja złóż, najważniejszych akumulacji oraz objawów węglowodorów w basenie bałtyckim (wg Śliaupy i Hotha, 2011, zmodyf.). Podział na bloki poszukiwawcze wg Rempela (1992)

niem pograżenia skał macierzystych i ze wzrostem gęstości strumienia ciepłego na obszarze przebudowanego tektonicznie basenu sedymentacyjnego (Kosakowski i in., 2010; Sowizdział K. i Słoczyński, 2016). Późniejsza inwersja basenu w trakcie orogenezy waryscyjskiej mogła mieć negatywny wpływ na złoża i prowadzić do ich rozformowania (Ulmishek, 1990).

7.1.5.2. Formacja ropo-gazonośna dewońsko-karbońska na Niżu Polskim

Na Pomorzu najintensywniejsze objawy węglowodorów w utworach żywetu koncentrują się w facji piaszczysto-węglanowej. W profilu pionowym zaznaczają się dwa potencjalne interwały zbiornikowe: prawdopodobnie roponośny horyzont przystropowy leżący na głębokości 25–100 m poniżej stropu oraz przepuszczalnie gazonośny horyzont przyspągowy na głębokości 150–225 m ponad spągkiem żywetu. Piaszkowce żywetu są w znacznym stopniu zdiagenezowane, co pogarsza ich właściwości zbiornikowe, a zarazem ogranicza zakres poszukiwań do głębokości nie większej niż 2500–2800 m. W profilu frantu wyróżniono trzy lub cztery potencjalne horyzonty zbiornikowe związane z występowaniem dolomitów kawernistych. Ponadto w górnym dewonie występują przeławienia piaszczyste, z którymi można wiązać perspektywy złożowe.

Na Lubelszczyźnie utwory dolnodewońskie, środkowodewońskie i frańskej formacji modryńskiej odznaczają się niską zawartością węgla organicznego (TOC), przeważnie <0,2% wag. (Kotarba i in., 2005b). Najlepszymi skałami macierzystymi są utwory fameńskiej formacji bychawskiej, o zmiennej zawartości węgla organicznego (zazwyczaj <0,5% wag., miejscami prawie 10% wag.). Pozostałe formacje fameńskie reprezentują słabe skały macierzyste. Skały zbiornikowe w profilu dewonu rowu lubelskiego wykazują dużą zmienność miąższości, zasięgu przestrzennego oraz właściwości filtracyjnych (Kaczyński, 1976). Są to słabe i bardzo słabe skały zbiornikowe, o minimalnym stopniu pojemności i o szczelinowym i szczelinowo-porowym typie przestrzeni porowej. Do potencjalnie zbiornikowych skał można zaliczyć wyłącznie utwory formacji czarnoleskiej, w których dominuje porowatość od ok. 5 do 12%, średnio 7,27% (Semyrka i in., 2005). Także przepuszczalność efektywna skał dewonu sprawia, że utwory dewonu Lubelszczyzny (klastyczne i węglanowe) są bardzo słabymi skałami zbiornikowymi.

Utwory karbońskiej formacji lubelskiej odznaczają się dużą zmiennością zawartości węgla organicznego (0–15,8% wag., przy wysokiej średniej wynoszącej 2,23% wag.). W ogólnej ocenie utwory formacji lubelskiej wykazują cechy dobrych skał macierzystych, podobnie jak utwory formacji dęblińskiej oraz formacji z Terebina (Kotarba i in., 2005b). W formacji Huczwy istnieją poziomy, które spełniają kryteria ilościowe dla dobrej skały macierzystej. Utwory karbonu mają szeroki zakres dojrzałości termicznej: od niedojrzałych do dojrzałych w fazie okna ropnego (Kotarba i in., 2005a). Utwory formacji Huczwy i terebińskiej mają słabą porowatość (średnio odpowiednio 2,2 i 4,4% – Semyrka i in., 2005). Utwory formacji dęblińskiej i lubelskiej wykazują znacznie wyższą średnią porowatość (odpowiednio 9,0 i 8,9%). W porównaniu z formacjami dewonu porowatość efektywna utworów karbonu jest statystycznie dobra, ale analiza postaci jej rozkładów wskazuje na generalnie niższe wartości tego parametru, z wyraźną dominacją porowatości <5% (Semyrka i in., 2005). Najkorzystniejszy jest rozkład porowatości w formacji lubelskiej, w którym najliczniejsza grupa oznaczeń mieści się między 10 a 15%. Pomiary przepuszczalności efektywnej utworów karbonu wskazują na ich dwudzielność hydrauliczną. Starsze utwory formacji Huczwy i terebińskiej mają zdecydowanie słabszą średnią przepuszczalność niż utwory formacji dęblińskiej i lubelskiej. Procesy generacyjne w profilu karbonu górnego zachodziły od westfalu do pokarbońskiego wypiętrzenia obszaru. Wznowienie procesów generacyjnych w utworach dewonu i karbonu nastąpiło jedynie lokalnie na przełomie późnej kredy i paleogenu, a jego skala była niewielka (Kosakowski i in., 2005).

Na obszarze przedśudeckim karbońskie piaszkowce – głównie waki sublityczne i subarkozowe, w mniejszej mierze arenity – odznaczają się słabą porowatością i w większości są nieprzepuszczalne (Kozłowska A. i Kuberska, 2015; Sikorska-Jaworowska i in., 2016). Wyniki analogicznych badań porozymetrycznych karbońskich skał drobnopiezarnistych (iłowce/pyłowce) wskazują na bardzo niskie parametry porowatości i przepuszczalności. Średnia porowatość wszystkich próbek skał iłowcowo-pyłowcowych wynosi: porowatość efektywna – 1,6%, całkowita – 5,3%. Materia organiczna (MO) rozproszona w utworach karbonu przedśudeckiego charakteryzuje się przede wszystkim dominacją humusowych komponentów MO o lądowym pochodzeniu (Nowak G.J., 2003, 2016). Akumulacje gazu ziemnego w utworach karbonu monokliny przedśudeckiej występują we fliszowych piaszkowcach dolnego karbonu (facja kulmu), poddanych deformacjom tektonicznym oraz diagenezie, związanej z dużą głębokością maksymalnego pogrzebania. W tym przypadku oprócz porowatości międzyziarnowej duże znaczenie ma również porowatość szczelinowa.

Złoża węglowodorów odkryte w basenie lubelskim występują w utworach dewonu i karbonu (Karnkowski, 1999a). Historia termiczna tego basenu wskazuje, że w jego centralnej części istniały warunki do generowania węglowodorów (Burzewski i in., 1998; Grotek i in., 1998; Botor i in., 2002), a wieloetapowy rozwój basenu lubelskiego umożliwił powstanie złóż ropy naftowej w różnych formacjach młodopaleozoicznych (bez permu; Matyasik, 1998; Helcel-Weil i in., 2007). Obszar lubelski będący dotychczas głównym obszarem poszukiwań złóż węglowodorów w utworach karbońskich został w ostatnich latach szczegółowo rozpoznany nowoczesnymi badaniami geofizycznymi, co przełożyło się na znaczny postęp w rozpoznaniu geologicznym. Według starszej literatury (Żelichowski, 1972; Żelichowski i Porzycki, 1983) duża część basenu lubelskiego (w tym obszar, gdzie znajdują się udokumentowane złoża węglowodorów w klastycznych utworach karbońskich) jest zlokalizowana na obszarze rowu mazowiecko-lubelskiego. Wyniki współczesnych badań tektonicznych opartych na badaniach sejsmicznych nie potwierdzają jednak rowowego stylu budowy tektonicznej basenu lubelskiego – określają go jako związany z deformacjami naskórkowymi (Antonowicz i in., 2003; Krzywiec i in., 2017a; Tomaszczyk i Jarosiński M., 2017) i włączają do radomsko-lubelskiego pasma fałdowo-nasuwczego (Aleksandrowski i Buła, 2017; Aleksandrowski i Mazur S., 2017).

7.1.5.3. Formacja gazonośna czerwonego spągowca na Niżu Polskim

Według Góreckiego (2011b) „basen czerwonego spągowca jest obszarem bardzo atrakcyjnym dla poszukiwań złóż gazu ziemnego. Warunki geologiczne i termodynamiczne były sprzyjające dla generowania i akumulacji dużych ilości węglowodorów gazowych, genetycznie związanych z karbońskimi skałami macierzystymi”. Na podstawie „analizy generacyjnej modelowań jedno- i dwuwymiarowych stwierdzono, że proces generowania i migracji węglowodorów zachodził w mezozoiku – od późnego triasu do późnej jury w depresji zielonogórskiej i poznańskiej oraz od wczesnego triasu do późnej jury w obszarze głębokiego pograżenia profilu generacyjnego karbonu w granicach bruzdy śródpolskiej” (Górecki, 2008).

Złoża gazu ziemnego w czerwonym spągowcu występują w całym europejskim południowym basenie permskim (Gast i in., 2010). Związane są z piaszczystymi facji eolicznej, fluwialnej (wadi), a w sektorze brytyjskim i niemieckim występują w ciałach piaszczystych związanych ze strefą brzezną wielkiego słonego jeziora. Na obszarze Polski złoża te znajdują się głównie w piaszczystych o genezie eolicznej, mniej licznie w piaszczystych o genezie fluwialnej (fig. 7.4).

W polskim basenie czerwonego spągowca odkryte oraz eksploatowane konwencjonalne złoża gazu w pułapkach stratygraficznych i strukturalnych występują na głębokości (w uśrednionym przedziale) 1000–4000 m p.p.m. Dalsze poszukiwania sięgają do większych głębokości – powyżej 5000 m (fig. 7.4, 7.5).

W **basenie śląskim czerwonego spągowca** znajdują się złoża gazu ziemnego w skałach górnego czerwonego spągowca, a w południowej jego części również w utworach wapienia cechsztyńskiego na głębokości 1199,0–1616,5 m p.p.m. Są to złoża eksploatowane lub wyeksploatowane (od 1966 r.), których pierwotne zasoby wydobywalne wynosiły od 35 mln m³ (złożo Kulów) do 24 520 mln m³ (złożo Żuchłów). Na obszarze basenu śląskiego czerwonego spągowca obecnie (stan na 31.12.2018 r.) występuje 31 złóż zagospodarowanych i niezagospodarowanych. Suma ich zasobów wydobywalnych (bilansowych i pozabilansowych) wynosi 16 860,41 mln m³*, zasoby przemysłowe wynoszą zaś 2665,18 mln m³ (Czapigo-Czapla i Brzeziński, 2019b).

W **basenie Poznania** (rozciągającym się do rejonu na północ od Kalisza) w utworach czerwonego spągowca występują złoża gazu na głębokości od 2312,0 do 3958,5 m p.p.m. Są to złoża eksploatowane lub wyeksploatowane (od 1974 r.) oraz złoża nowo odkryte (np. Baraniec, Chwałęcín, Karmin, Komorze, Lisewo, Miłostaw, Rokietnica, Turkowo), których pierwotne zasoby wydobywalne wynoszą od 28 do 11 070 mln m³ (dane na podstawie dokumentacji złożowych). Według danych z ostatniego *Bilansu* (Czapigo-Czapla, Brzeziński, 2019a) na obszarze basenu poznańskiego czerwonego spągowca występuje 29 złóż gazu ziemnego zagospodarowanych oraz niezagospodarowanych. Łącznie ich zasoby wydobywalne wynoszą 11 077,67 mln m³, a zasoby przemysłowe 7393,34 mln m³.

W **pomorskiej części basenu czerwonego spągowca** występują nieliczne złoża gazu (5 złóż zagospodarowanych i niezagospodarowanych) na głębokości od 2847,8 do 3720,3 m p.p.m. Są to złoża eksploatowane lub wyeksploatowane (od 1970 r.), o zasobach wydobywalnych od 167 do 300 mln m³ (dane na podstawie dokumentacji złożowych). Suma zasobów wydobywalnych (bilansowych i pozabilansowych) w pomorskim basenie czerwonego spągowca według stanu na 31.12.2018 r. wynosi 1021,3 mln m³, a przemysłowych 72,2 mln m³ (Czapigo-Czapla, Brzeziński, 2019a).

*W obliczeniach dla basenu śląskiego czerwonego spągowca uwzględniono zasoby przemysłowe zawarte w PMG Wierchowice.

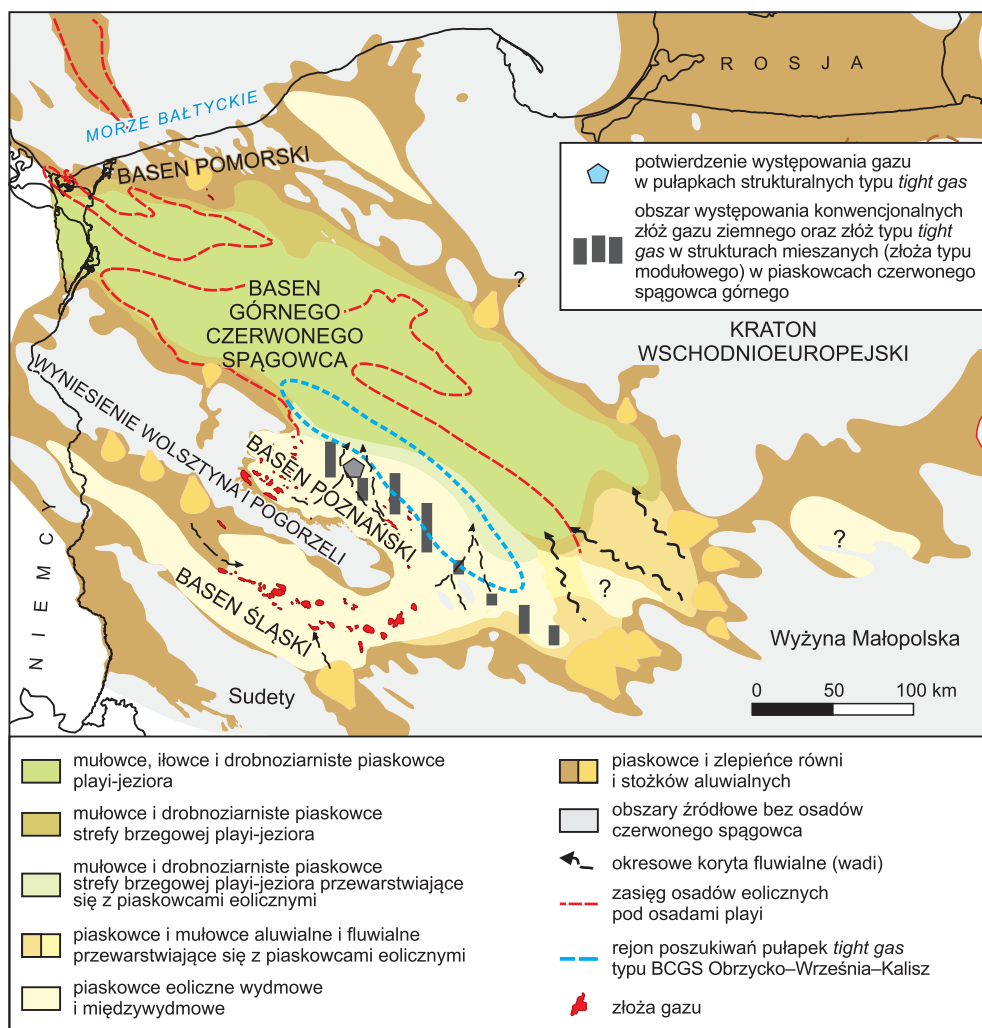


Fig. 7.4. Mapa lokalizacyjna złóż gazu ziemnego w utworach czerwonego spągowca i wapienia cechsztyńskiego na tle rozkładu facji wg H. Kiersnowskiego (w: Gast i in., 2010), zmodyf.

Zakres głębokościowy występowania złóż gazu ziemnego na obszarze Morza Północnego wynosi 3000–4000 m w części północnej i 2000–3000 m w części południowej, natomiast w Holandii 2000–4000 m (Górecki, 2011b). Według Batora (2012) i Pletscha i in. (2010) złoża gazu w niemiecko-holenderskiej części basenu występują na głębokości od ponad 1000 do 5300 m. W polskim basenie czerwonego spągowca również występują złoża gazu na znacznej głębokości, sięgającej 4000 m. Potencjalne złoża gazu na większej głębokości (5000–6500 m) w basenie czerwonego spągowca mogą być związane z dotąd nierozpoznanymi, niekonwencjonalnymi złożami gazu – tzw. *Basin Centered Gas System* (Kiersnowski i in., 2010; Poprawa i Kiersnowski, 2010; Wójcicki i in., 2014; *tight gas* opisano w rozdziale 7.2).

W basenie górnego czerwonego spągowca udokumentowano łącznie 89 złóż gazu ziemnego. W odniesieniu do pierwotnych zasobów geologicznych wydzielono arbitralnie sześć klas wielkości złóż gazu. Obejmują one odkryte złoża eksploatowane i nieeksploatowane oraz złoża wyeksploatowane. Zasoby zestawiono na podstawie danych z dokumentacji złożowych przekazanych do Narodowego Archiwum Geologicznego

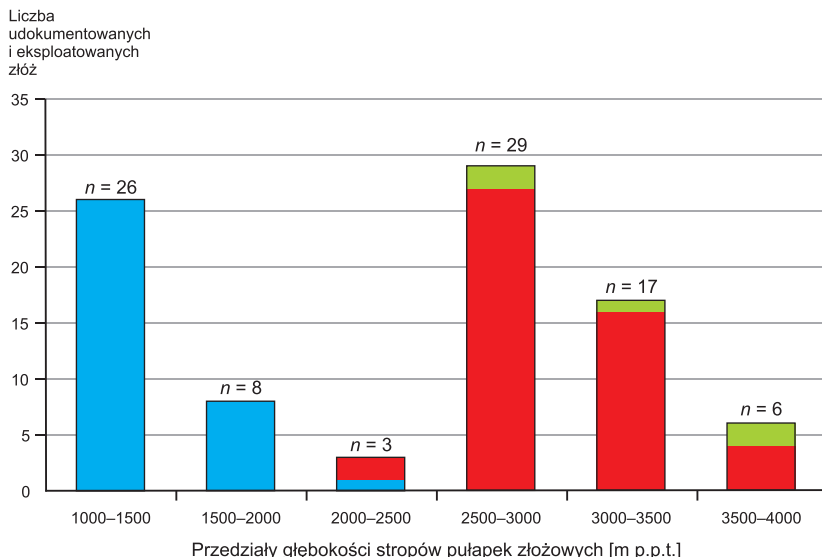


Fig. 7.5. Przedziały głębokości położenia stropów pułapek złożowych w basenie śląskim (niebieski), poznańskim (czerwony) i pomorskim (zielony) w stosunku do ich liczby w całym polskim basenie górnego czerwonego spągowca. Liczba n informuje, ile udokumentowanych eksploatowanych (stan na 31.12.2018 r.) i wyeksploatowanych złóż gazu ziemnego występuje w poszczególnych przedziałach głębokościowych

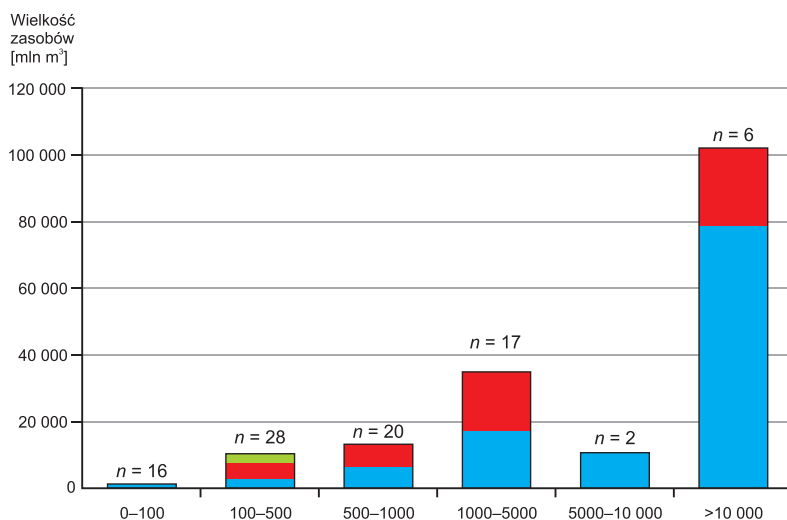


Fig. 7.6. Pierwotne zasoby geologiczne wszystkich odkrytych złóż gazu ziemnego w polskim basenie górnego czerwonego spągowca (oraz w utworach wapienia cechsztyńskiego mających łączność hydrauliczną z utworami górnego czerwonego spągowca – basen śląski). Niebieski – basen śląski, czerwony – basen poznański, zielony – basen pomorski. Liczba n informuje, ile udokumentowanych eksploatowanych (stan na 31.12.2018 r.) i wyeksploatowanych złóż występuje w poszczególnych klasach wielkości

PIG-PIB. Częstość występowania złóż w poszczególnych klasach wielkości zamieszczono na diagramie (fig. 7.6) podsumowującym dane dotyczące 89 złóż gazu. Najwięcej złóż o małych pierwotnych zasobach geologicznych gazu rozpoznano w zachodniej części basenu poznańskiego, w basenie pomorskim i w mniejszym stopniu w basenie śląskim. Ich pierwotne zasoby geologiczne wahają się w przedziale między 0–100 i 100–500 mln m³ gazu. Złoża te charakteryzują się małymi amplitudami pułapek strukturalnych lub strukturalno-tektonicznych. Liczba złóż z klas 0–100 i 100–500 mln m³ gazu jest porównywalna z liczbą złóż, których pierwotne zasoby geologiczne wynoszą między 500–1000 i 1000–5000 mln m³ gazu. Znajdują się one głównie w basenie śląskim, w przykrawędziowej części basenu poznańskiego, w strefie przejściowej fluwialno-eolicznej, a także we wschodniej części basenu poznańskiego. Największe udokumentowane pierwotne zasoby geologiczne w basenie górnego czerwonego spągowca rozpoznano w basenie śląskim.

Według Burzewskiego i in. (2009) za najbardziej perspektywiczne obszary akumulacji gazu można uznać strefy:

- Mężyk–Objezierze–Września – o głębokości zalegania stropu czerwonego spągowca w granicach od 4000 do 5000 m, z możliwością występowania pułapek strukturalnych lub stratygraficznych;
- Konin–Małanów – głównie z pułapkami strukturalnymi w stropie czerwonego spągowca na głębokości od 4500 do 5500 m;
- Szubin–Byczyna–Kutno – o głębokości zalegania stropu czerwonego spągowca w granicach od 4500 m w rejonie Szubina do 6500 m w strefie Byczyna–Kutno;
- północno-wschodnia krawędź wału wolsztyńskiego w niecce poznańskiej, która nadal jest perspektywiczna dla akumulacji gazu, ale głównie w pułapkach stratygraficznych na głębokości od 2500 do 3000 m.

7.1.5.4. Formacja ropo-gazonośna dolomitu głównego na Niżu Polskim

Dolomit główny jest poziomem skał węglanowych powstałym w późnym wucziapingu i tworzy dolną część cechsztyńskiego cyklu PZ2 (Wagner, 1994). W poziomie tym występują jednocześnie skały macierzyste i zbiornikowe dla węglowodorów (np. Gerling i in., 1996; Kotarba i Wagner, 2007; Słowakiewicz i Mikołajewski, 2011). Liczne złoża ropy naftowej, gazu ziemnego lub mieszane odkryte w dolomicie głównym czynią z tego poziomu jeden z głównych obiektów poszukiwań złóż węglowodorów na Niżu Polskim (Karnkowski, 2007). Tworzy on zamknięty system naftowy izolowany od góry i od dołu seriami ewaporatów i stanowi znakomity przykład rozwoju ewaporatowej formacji ropo-gazonośnej (Krzywiec i in., 2017b).

Rozwój geologiczny polskiej części basenu cechsztyńskiego pozwala na wyróżnienie w niej trzech obszarów o zróżnicowanej historii ewolucji. Na pierwszym obszarze, związanym z platformą prekambryjską, utwory dolomitu głównego nie osiągnęły wystarczającego rozwoju termicznego do inicjacji procesów generacyjnych. Na obszarze Pomorza Zachodniego, rozwijającym się na platformie o konsolidacji kaledońskiej, i na monoklinie przedsudeckiej, rozwijającej się na platformie waryscyjskiej, stwierdzono akumulacje węglowodorowe, co wskazuje na rozwój procesów generowania i ekspulsji węglowodorów. Nagromadzenia węglowodorów powstawały przede wszystkim w pułapkach litologiczno-strukturalnych, które utworzyły się głównie w obrębie bariery węglanowej. Warunki do generacji węglowodorów na obszarze monokliny przedsudeckiej wystąpiły w końcu jury (Karnkowski, 1999b, 2000) bądź w późnym triasie (Botor i in., 2013), natomiast na Pomorzu Zachodnim główna faza generacyjna, która trwa aż do dziś, rozpoczęła się w kredzie (Karnkowski i Matyasik, 2016) bądź też trwała od lopingu do środkowej jury (Kosakowski i in., 2003; por. Słowakiewicz i Poprawa, 2010).

Główny typ materii organicznej zidentyfikowanej w tych utworach to mikrobiality. Utwory dolomitu głównego zawierają zwykle <0,3% wag. TOC, aczkolwiek lokalnie zdarzają się strefy wzbogacenia do 21,5% wag. (Kotarba i in., 1998; Kotarba, 2000; Kosakowski i in., 2003; Pletsch i in., 2010; Kosakowski i Krajewski, 2014, 2015). Zawartość TOC jest bardzo zmienna. Średnia współcześnie mierzona zawartość TOC nie oddaje zawartości pierwotnej. Kotarba i Wagner (2007) oszacowali pierwotną zawartość węgla organicznego na 1–5% wag. w południowo-zachodniej krawędzi basenu dolomitu głównego, a Słowakiewicz i Mikołajewski (2011) – na 0,8–2,0% wag. na podstawie danych z Pomorza i monokliny przedsudeckiej. Za główne skały macierzyste uważa się biolaminowane madstony stromatolitowe i wakstony deponowane w lagunach i równiach pływowych rozwijających się w warunkach ograniczonej cyrkulacji wód oraz w strefie stoku platformy (Słowakiewicz i Gąsiewicz, 2013), zwłaszcza w dolnej jego części (Słowakiewicz i in., 2016).

Charakterystyka geochemiczna materii organicznej jest ściśle powiązana z układem paleogeograficznym i identyfikacją mikrofacjalną Ca2. Dojrzałość materii organicznej, określona głównie na podstawie tempera-

tury T_{max} z analizy pirolitycznej *Rock Eval* i refleksyjności witrynu R_o , wskazuje na wyraźną strefowość odzwierciedlającą przebieg bruzdy śródpolskiej. Materia organiczna zdeponowana w środowiskach platformy jest zwykle w fazie okna ropnego i występuje na głębokości nieznacznie przekraczającej 1200 m, natomiast dojrzałość wzrasta stopniowo do fazy generowania kondensatów i gazów suchych w strefach skłonu platformy i równi basenowej, pogrążonych poniżej 1800 m (Karnkowski, 2000, 2007; Kosakowski i in., 2003; Pletsch i in., 2010; Kosakowski i Krajewski, 2014, 2015). W najgłębiej pogrążonych strefach facji basenowych, na głębokości nawet ponad 4000 m, dojrzałość termiczna kerogenu wynosi $>1,4\%$ R_o (Karnkowski, 2007), a maksymalne wartości R_o przekraczają 2,5% (Grotek, 2006). Na obszarze między blokiem Gorzowa a półwyspem Grotowa średnia wartość R_o wynosi 1,1–1,5%, co wskazuje, że utwory dolomitu głównego znalazły się w strefie późnego okna ropnego i we wczesnej fazie okna gazowego (wraz z fazą generowania kondensatów; Kosakowski i Krajewski, 2015). W strefie platformy wielkopolskiej dolomit główny odznacza się dojrzałością 0,55–1,1% R_o , co odpowiada fazie początkowej i głównej okna ropnego (Kosakowski i Krajewski, 2014).

Skały zbiornikowe w dolomicie głównym to głównie kompleksy skał ziarnistych – oolitów i onkolitów na platformie węglanowej, a na stoku platformy – pakstonów, wakstonów i nawet madstonów z wtórną porowatością (np. Depowski i Peryt, 1985; Protas i Wojtkowiak, 2000; Jaworowski i Mikołajewski, 2007; Słowakiewicz i Mikołajewski, 2009; Czekański i in., 2010). Przemiany diagenetyczne, a także wynikający z nich rozwój przestrzeni porowej zachodziły wieloetapowo, a niekiedy bardzo wysoka porowatość może być związana z dolomitacją i rekrytalizacją pierwotnie wapiennej matrycy skalnej (Czekański i in., 2010).

7.1.5.5. Formacja ropo-gazonośna mezozoiczna na Niżu Polskim i przedgórzu Karpat

Złoża ropy naftowej i gazu ziemnego w utworach mezozoiku stwierdzono do tej pory wyłącznie na przedgórzu Karpat. Złoża ropy naftowej związane z utworami mezozoiku stanowią większość udokumentowanych w rejonie przedgórza złóż (Czapigo-Czapla i Brzeziński, 2019b). Towarzyszą im często złoża gazu ziemnego, choć te występują również samodzielnie.

Pałapki na przedgórzu Karpat występują w dwóch strefach: w strefie uskokowej Uszkowce–Lubaczów, w utworach jury środkowej i górnej (złoża Lubaczów, Uszkowce, Cetynia), a także w strefie Kraków–Dębica, w utworach jury górnej i kredy (Myśliwiec i in., 2006). W pierwszej strefie skałami zbiornikowymi są piaskowce jury środkowej (bajosu; złożo Uszkowce) i wapienie organodetrytyczne i organogeniczne jury górnej (oksfordu; złoża Lubaczów, Cetynia), często w powiązaniu z przykrywającym je poziomem anhydrytowym i z piaskowcami warstw baranowskich (miocen). W drugiej strefie złoża są związane z wapieniami organodetrytycznymi, oolitowymi i skalistymi jury górnej (oksfordu, rzadko kimerydu; np. złoża Grobla, Pławowice, Tarnów) oraz z piaskowcami glaukonitowymi cenomanu i rzadko z wapieniami turonu (np. złoża Rajsko, Rylowa) lub kredy dolnej (złożo Zagorzyce). W rejonie tym (Kraków–Tarnów) piaskowce kredowe występują bezpośrednio na wapieniach jury górnej i tworzą zazwyczaj jeden zbiornikowy horyzont węglowodorowy.

Pałapki węglowodorowe w podłożu przedgórza Karpat są głównie pałapkami strukturalno-stratygraficznymi lub stratygraficznymi (Myśliwiec i in., 2006), związanymi w większości z nieciągłością podmiocenską. Pałapki strukturalno-stratygraficzne występują w erozyjnych lub tektonicznych blokach wapieni lub skał klastycznych podłoża, które uszczelnione są łupkami miocenu lub marglami senonu–turonu (np. złoża Korzeniów, Tarnów); mogą być też ekranowane powierzchniami uskoków (np. złoża Uszkowce, Dębica–Ropczyce, Partynia). Pałapki stratygraficzne to wyklinowujące się piaskowce cenomanu (złoża Grobla–Pławowice, Łakta) lub pałapki w budowlach węglanowych (rafowych; np. Prendolówka; Myśliwiec i in., 2006).

Wyniki badań petrofizycznych skał węglanowych jury górnej i kredy dolnej i górnej w rejonie od Krakowa po Lubaczów wykazały w większości bardzo niską ich porowatość i przepuszczalność (Kosakowski i in., 2012a); podstawowym typem zbiornika w tych skałach jest zbiornik porowo-szczelinowy. Transport płynów złożowych odbywał się szczelinami.

Skałami macierzystymi dla złóż w utworach mezozoiku przedgórza Karpat są utwory podłoża: łupki ordowiku i syluru, węglany dewonu–dolnego karbonu, klastyczne skały dolnego karbonu i rzadziej klastyczne skały jury środkowej (Kotarba i in., 2011b). Najlepsze pod względem zawartości materii organicznej są skały macierzyste wieku sylurskiego (do 6,6% wag. TOC) i środkowojurajskiego (od kilku do 17% wag. TOC). W zachodniej i centralnej części bloku małopolskiego (Kraków–Rzeszów) głównym źródłem dla złóż węglowodorów były dewońskie i karbońskie skały macierzyste (Wróbel M. i in., 2016). W ich przypadku główna faza generowania nastąpiła w miocenie i była związana z depozycją miąższych osadów oraz z nasuwaniem się Karpat. W centralnej części bloku małopolskiego (rejon Pilzno–Rzeszów–Mielec) proces ekspulsji

zachodził prawie wyłącznie ze skał ordowiku oraz syluru i rozpoczął się we wczesnej kredzie, a jego maksimum przypadło na paleogen (Kotarba i in., 2011b).

Jedynymi mezozoicznymi skałami macierzystymi w zachodnim i centralnym rejonie przedgórza były skały iłowcowo-mułowcowe jury środkowej. Najlepsze właściwości macierzyste, od zadowalających po bardzo dobre, mają skały w strefie Pilzno–Rzeszów–Mielec. Zawartość TOC wynosi w tym rejonie 0,08–3,83% wag., dominuje kerogen typu III, zawartość węglowodorów jest jednak dość niska, podobnie jak indeks węglowodorowy (HI; zazwyczaj <100 mg HC/g TOC) oraz refleksyjność wityrnytu (0,7–0,8% R_o), co wskazuje na niski potencjał węglowodorowy. Wartość T_{max} zazwyczaj poniżej 430°C wskazuje, że skały te są niedojrzałe, a jedynie lokalnie mogą być rozważane jako źródło węglowodorów termogenicznych (Kotarba i in., 2003, 2011b, 2017; Kosakowski i in., 2012b; Wróbel M. i in., 2012, 2016).

Mimo braku dowodów na dojrzałość środkowojurajskiej materii organicznej w rejonie Kraków–Rzeszów wyniki badań geochemicznych wykazały obecność składowej mezozoicznej w złożach ropy. Przypuszcza się, że warunki umożliwiające generację węglowodorów ze skał jurajskich zaistniały tylko na obszarze położonym pod nasunięciem karpackim, a do ekspulsji węglowodorów mogło dojść dopiero na głębokości poniżej 5000 m (Kosakowski i Wróbel M., 2012).

We wschodniej części bloku małopolskiego (rejon Lubaczów–Uszkowce) skały macierzyste jury środkowej stanowią jeden z czterech horyzontów skał macierzystych (pozostałe to łupki kambru, ordowiku i syluru; Kotarba i in., 2011b), przy czym zawartość TOC jest najwyższa w iłowcach i mułowcach syluru (0,02–2,60% wag.; Więclaw i in., 2012). Dojrzałość termiczna tych utworów sięga od początkowej fazy okna ropnego (sylur), przez fazę środkową (ordowik i niektóre obszary kambru) do przegrzanych skał ordowiku i kambru. W rejonie tym procesy ekspulsji zachodziły lokalnie we wszystkich czterech poziomach skał macierzystych; najwyższy potencjał węglowodorowy mają skały sylurskie. W skałach jury środkowej występuje kerogen typu III, odznaczają się one znaczną zawartością materii organicznej (do 25,9% wag. TOC), lecz mają niski potencjał węglowodorowy. Parametry takie jak wartość $T_{max} = 413–431^\circ\text{C}$ i refleksyjność wityrnytu = 0,51–0,65% wskazują na niską dojrzałość materii organicznej rozproszonej w skałach jury środkowej (Kosakowski i in., 2012c). Również modelowanie historii generacji węglowodorów wykazało, że materia organiczna w utworach jury środkowej i górnej na obszarze Polski przedkarpackiej nie osiągnęła fazy generowania węglowodorów (Kosakowski i in., 2011). Jedynie w części ukraińskiej przylegającej bezpośrednio do granicy Polski występują dobre skały macierzyste wieku środkowej i późnej jury, które osiągnęły dojrzałość, a niekiedy nawet przegrzaną fazę generowania węglowodorów (Kotarba i in., 2011b).

Na całym obszarze przedgórza Karpat migracja węglowodorów ze skał macierzystych do skał zbiornikowych następowała głównie za pośrednictwem uskoków pionowych uruchomionych w wyniku nasuwania się Karpat, chociaż znane są też przypadki migracji poziomej na duże odległości ze skał macierzystych miocenu (Mysliwiec i in., 2006; Kotarba i in., 2011b; Wróbel M. i in., 2012, 2016).

Gaz występujący w utworach węglanowych jury górnej oraz w piaskowcach kredy dolnej w wielu złożach rejonu przedgórza powstał głównie w wyniku oddziaływania procesów termogenicznych niskotemperaturowych lub nisko- i wysokotemperaturowych na rozproszoną materię organiczną skał macierzystych (np. złoża Łątko, Grobla, Ryłowa, Wierzchowice, Tarnów; Jawor i Kotarba, 1991; Kotarba i in., 2017). W pewnej liczbie złóż obserwuje się jednak mniejszą lub większą domieszkę metanu mikrobiального (np. złożo Żukowice), co sugeruje, że złoża te tworzyły się i uszczelniały podczas migracji metanu mikrobiального, przysuszczały z utworów miocenu autochtonicznego, i były potem uzupełniane przez metan termogeniczny, tworzony w fazach wyższej dojrzałości materii organicznej z kerogenu typu III/ II (Kotarba, 2012).

Drugi rejon perspektywiczny pod względem generacji i akumulacji węglowodorów w utworach mezozoicznych to centralna część Nizy Polskiego. Występuje tu kilka poziomów skał piaskowcowych o bardzo dobrych parametrach petrofizycznych, mogących być bardzo dobrymi skałami zbiornikowymi. Należą do nich przede wszystkim poziomy piaskowcowe jury dolnej (np. rzeczne korytowe utwory formacji zagajskiej, drzewickiej i boruckiej, przybrzeżne piaskowce formacji skłobskiej i ostrowieckiej), jury środkowej (estuariowe piaskowce aalenu, przybrzeżne piaskowce bajosu i batonu) oraz kredy dolnej (piaskowce przybrzeżne formacji włocławskiej i mogileńskiej). Skałami zbiornikowymi mogą być również wapienie skaliste (struktury biohermalne), organodetrytyczne lub oolitowe oksfordu oraz szczelinowate wapienie kimerydu dolnego i górnego tytonu.

Na obszarze centralnym Nizy Polskiego stwierdzono obecność 5 poziomów mezozoicznych potencjalnych skał macierzystych: dolnego kajpru, jury dolnej, jury środkowej, jury górnej i kredy dolnej (Bachleđa-Curuš i in., 1992), z których poziom jury górnej ma gazowo-ropny potencjał generacyjny, a pozostałe poziomy mają gazowy potencjał generacyjny. Skały macierzyste kajpru dolnego sklasyfikowano jako niskiej klasy, skały jury

dolnej, jury górnej i kredy dolnej jako średniej klasy, a skały jury środkowej jako wysokiej klasy. Obszary, na których doszło do efektywnej generacji węglowodorów, obejmują centralną część antyklinorium śródpolskiego oraz marginalne strefy przyległych synklinoriów. Również badania refleksyjności wityritu potwierdzają możliwość generowania węglowodorów z utworów jury w rejonach Bydgoszcz–Tuchola, Kościerzyna–Malbork, w strefie Przybyłowa (synklinorium mogileńsko-lódzkie; Burzewski i in., 1990; Grotek, 2006).

Badania potencjału węglowodorowego skał kimerydu w perspektywnych strefach Niżu Polskiego (Więclaw, 2016) wskazują, że utwory kimerydu górnego są dobrymi skałami macierzystymi, zawierającymi mieszaną kerogen typu II/III, a miejscami typu II, i zadowalającymi, a lokalnie dobrymi źródłami węglowodorów. Dojrzałość materii organicznej określona na podstawie T_{max} wynosi 412–449°C, przy czym najwyższe temperatury odnotowano w strefie Damasławek–Koło, gdzie – jak można przypuszczać – rozpoczęły się także procesy termogeniczne.

Główna faza generacji ropy w kompleksach mezozoicznych Niżu Polskiego następowała od późnej kredy do neogenu, początek migracji należy datować na neogen, a tylko wyjątkowo na późną kredę. Wymienione przedziały czasowe generacji i migracji węglowodorów przypadają na okres laramijskiej przebudowy tektonicznej omawianego obszaru. W efekcie mogło dojść do rozszczelnienia pułapek podczas ruchów laramijskich i do częściowego rozproszenia węglowodorów. Największe są szanse zachowania akumulacji węglowodorowych w uszczelnionych litologiczno-facjalnych pułapkach w brzeżnych partiach synklinoriów (Bachleda-Curuś i in., 1992).

7.1.5.6. Przedgórze Karpat

Na obszarze zapadliska przedkarpackiego przedmiotem eksploracji są utwory miocenu autochtonicznego i sfałdowanych jednostek zgłobickiej i stebnickiej, a także utwory podłoża basenu od kambru aż po kredę. Utwory miocenu zapadliska tworzą system naftowy, w którym gaz jest generowany na drodze biogenicznej. Skład molekularny gazu ziemnego w utworach miocenu autochtonicznego jest zdominowany przez metan, stanowiący zazwyczaj ponad 98%. Rytmiczna i cykliczna depozycja ilów i piasków była charakterystyczna dla środkowego miocenu zapadliska przedkarpackiego. Metan powstający w wyniku procesów mikrobialnych w utworach ilastych gromadził się w wyżej leżących piaskowcach, przykrytych utworami ilastymi, i taki system generacji i akumulacji gazów mikrobialnych prowadził do powstania złóż wielopoziomowych charakterystycznych dla zapadliska przedkarpackiego (Kotarba i in., 2011a). W podłożu zapadliska występuje zaś skomplikowana sieć wzajemnie powiązanych systemów naftowych, w których węglowodory są generowane ze skał ordowiku, syluru, dewonu, karbonu i środkowej jury, a akumulowane w skałach kambru, dewonu, karbonu, jury i kredy.

W ostatnich latach dokonano odkryć złóż typu hybrydowego, które mają cechy złóż konwencjonalnych i niekonwencjonalnych. Należy do nich złożo Siedlecza, w którym doskonałej jakości gaz ziemny pochodzenia biogenicznego występuje na stosunkowo małej głębokości (ok. 1500–2000 m), w słabo skonsolidowanych utworach heterolitowych. Utwory te stanowią dużej miąższości kompleks skał zdominowany przez mułowce laminowane piaskowcami i pyłowcami, przy czym mułowce odznaczają się niską, „niekonwencjonalną” przepuszczalnością (Machowski i in., 2017), co powoduje, że w przypadku słabej konsolidacji tych utworów obecność lamin piaskowcowo-pyłowcowych jest jedynym gwarantem uzyskania komercyjnego przepływu węglowodorów do otworu. Innym przykładem jest hybrydowe złożo gazu ziemnego Bystrowice, które na przełomie III i IV kwartału 2018 r. odkrył ORLEN Upstream Sp z o.o., podmiot Grupy Kapitałowej PKN ORLEN S.A., na koncesji Siennów-Rokietnica w województwie podkarpackim (<https://www.ornenupstream.pl/PL/DlaMediow/Aktualnosci/Strony/Sukces-poszukiwawczy-PKN-ORLEN-na-Podkarpaciu.aspx>). Jest to złożo wielohoryzontowe, którego zasoby geologiczne szacowane są na ok. 2 mld m³ gazu ziemnego. Gaz ziemny występujący na głębokości około 1070–1730 m jest gazem biogenicznym, wysokometanowym (o zawartości metanu ok. 98%). Akumulację (prawdopodobnie również o charakterze hybrydowym) stwierdzono w piaszczysto-mułowcowych utworach badenu wypełniających basen przedgórski Karpat. W złożu występuje jeszcze jeden interwał – od głębokości 2060 m do spodu otworu Bystrowice-1 (2165 m) – w którym stwierdzono nagromadzenie gazu zawierającego 94% metanu oraz kilka procent węglowodorów cięższych wchodzących w skład kondensatu. Skały zbiornikowe w tej części złoża tworzą zeszcelinowane ilowce i mułowce ediakarskie.

Opisane odkrycia złóż hybrydowych i złoża gazu zamkniętego zmieniły sposób postrzegania charakteru akumulacji występującej w złożu Przemysł, co pozwoli zwiększyć zasoby wydobywalne tego złoża nawet o 20 mld m³ (PGNiG S.A.; <https://inzynieria.com/paliwa/wiadomosci/55951,olbrzymi-potencjal-zloza-przemysl>).

Nowe odkrycia na obszarze zapadliska przedkarpackiego dokonane w ostatnich latach mogą stanowić potwierdzenie obliczeń zasobów prognostycznych dla tego obszaru wykonanych w 2017 r.

7.1.5.7. Karpaty

Obszarem poszukiwań, z którym wiąże się obecnie ogromne nadzieje na udokumentowanie znacznych akumulacji węglowodorów, jest obszar górotworu karpackiego. Występują tutaj dwa systemy naftowe, rozwinięte odpowiednio w utworach fliszowych oraz w ich paleozoiczno-mezozoicznym podłożu. W *Bilansie* wg stanu na 31.12.2009 r. (Górecki, 2011b) wielkość zasobów prognostycznych w Karpatach określono na 30,8 mld m³ gazu ziemnego oraz 124,4 mln Mg ropy naftowej. Optymistyczne wyliczenie zasobów w tej publikacji było związane ze wstępnymi wynikami nowych głębokich otworów wiertniczych we wschodniej części Karpat, takich jak Draganowa 1, Dukla 1 czy Niebieszczany 1. Rezultaty tych wierceń wskazywały, że elementy strukturalne głębsze niż 3000 m mają najlepsze i być może pierwotne właściwości zbiornikowe. Na tych głębokościach w jednostkach podśląskiej i śląskiej piaskowce fliszowe mają porowatość 15%, a przepuszczalność 300–600 mD. Również w jednostce skolskiej piaskowce spaskie mają dobre właściwości zbiornikowe, nawet na głębokości 4300 m (Dziadzio i in., 2006). Chociaż są to jak dotychczas elementy strukturalne najslabiej rozpoznane, to wyniki te wydają się wskazywać na możliwość odkrycia w Karpatach złóż konwencjonalnych na dużych głębokościach. Późniejsze badania (Poprawa, 2010a; Poprawa i Kiersnowski, 2010; Golonka i in., 2017) wskazują, że potencjał poszukiwawczy w Karpatach nie ogranicza się jedynie do akumulacji konwencjonalnych.

Według raportu USGS z 2006 r. (Pawlewicz, 2006) nieodkryte zasoby całej prowincji północnych Karpat, obejmującej swoim zasięgiem Polskę, Ukrainę, Czechy i Austrię, oszacowano na 130,463 mld m³ gazu oraz 49,178 mln Mg ropy naftowej, z czego w Polsce znajduje się 43,49 mld m³ gazu ziemnego oraz 16,39 mln Mg ropy naftowej możliwych do odkrycia na obszarze Karpat zewnętrznych i przedgórz Karpat. W związku z umiarkowanie optymistycznymi wynikami dotychczasowych prac poszukiwawczych prowadzonych na większych głębokościach, przeprowadzeniem nowych prac sejsmicznych na obszarze Bieszczad, obiecującymi wynikami przetwarzania sekcji sejsmicznych dostarczającymi coraz lepszej jakości obraz umożliwiający interpretację strukturalną w głębszej części górotworu karpackiego, a także z zapowiadaną przez PGNiG S.A. oraz Ministerstwo Środowiska intensyfikacją prac poszukiwawczych na terenie Karpat można spodziewać się w najbliższym czasie zwiększenia ilości informacji geologicznych o potencjale naftowym utworów zalegających w głębszej (poniżej 3000 m) i dotychczas słabo zbadanej części tej prowincji naftowej. Obecnie prace zmierzające do odkrycia nowych niekonwencjonalnych lub hybrydowych złóż w Karpatach są w stadium początkowym, odwiercono jedynie dwa otwory – ich celem były utwory ilaste warstw menilitowych, w których wykonano jeden nieudany technicznie zabieg szczelinowania (Poprawa i in., 2018). Pomimo tego nie wydaje się celowe zmniejszanie potencjału zasobowego ropy naftowej w Karpatach do poziomu proponowanego przez USGS, zważywszy że opracowanie wykonane przez tę jednostkę dotyczy znacznie szerszego obszaru i nastawione było głównie na ukraińską i rumuńską część górotworu, gdzie eksploatacja jest znacznie bardziej intensywna. Nowe badania geotektoniczne rzucają nowe światło na budowę górotworu, pojawiają się odmienne od dotychczasowych interpretacje tektoniczne oraz modele strukturalne (Castelluccio i in., 2016; Watkinson i in., 2017). Wymagają one przeprowadzenia badań metodami wiertniczymi, jednak w przypadku potwierdzenia się nowej koncepcji budowy górotworu konieczne będzie ponowne przeliczenie pierwotnego potencjału zasobowego, a co za tym idzie zasobów prognostycznych i perspektywicznych Karpat.

7.1.6. Stan rozpoznania geologicznego

Według danych Ministerstwa Środowiska w latach 2010–2018 odwiercono 186 otworów wiertniczych w celu poszukiwania konwencjonalnych złóż węglowodorów, w tym 4 na Bałtyku, 78 na Niżu Polskim, 86 na przedgórzu Karpat oraz 25 w Karpatach. Na koniec roku 2018 trwało wiercenie 7 nowych otworów (fig. 7.7).

Przedstawione dane wskazują na ciągły wzrost rozpoznania geologicznego kraju, lecz nie jest on równomierny. Obecnie większość prac poszukiwawczych koncentruje się na Niżu – w zachodniej Polsce – oraz na przedgórzu. W znacznie mniejszym stopniu prowadzone są prace w celu rozpoznania złóż węglowodorów w rejonie Karpat, a w stopniu minimalnym – na obszarze polskiej wyłącznej strefy ekonomicznej Bałtyku.

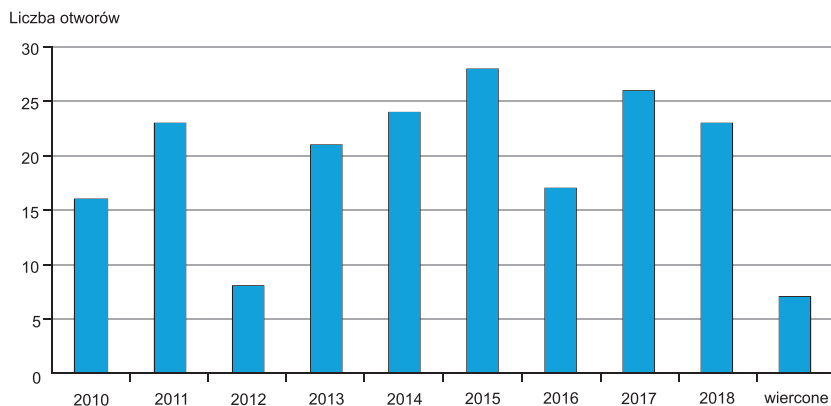


Fig. 7.7. Zestawienie liczby otworów poszukiwawczych za węglowodorami konwencjonalnymi odwierconych w poszczególnych latach (<https://bip.mos.gov.pl/koncesje-geologiczne> – raporty i zestawienia za grudzień 2018 r.)

7.1.7. Ocena zasobów i ich zmian

Metodyka stosowana do obliczeń zasobów perspektywicznych zmieniła się znacznie w ciągu ostatnich 40 lat. Do 1991 r. zasoby prognostyczne szacowano metodą objętościową. Obecnie w przypadku większości systemów naftowych Polski zasoby szacuje się metodą genetyczną, za której pomocą można ocenić wielkość potencjału akumulacyjnego (Φ_A basenu naftowego) z równania bilansu węglowodorowego, wiążącego parametry genetyczne generowania, ekspulsji i akumulacji węglowodorów z geodynamicznymi parametrami formowania jednostki strukturalnej (Górecki, 2011b).

Określone tą metodą zasoby prognostyczne (prawdopodobne i hipotetyczne) w całej Polsce według stanu na 31.12.1994 r. wynosiły 164,27 mln Mg ropy naftowej i 511,87 mld m³ gazu ziemnego. Wartości te zweryfikowano w 1996 r. po uwzględnieniu nowych danych geofizycznych oraz wiertniczych i uzyskano wynik 251,9 mln Mg ropy naftowej i 1595,1 mld m³ gazu ziemnego (Górecki, 2011b).

W latach 2009–2018 w Polsce udokumentowano 24 złoża gazu ziemnego oraz 5 złóż ropy i gazu. Na koniec 2018 r. (Czapigo-Czapla i Brzeziński, 2019a, b) zasoby wydobywalne tych złóż wynosiły 1,76 mln Mg ropy oraz 30,68 mld m³ gazu.

Tab. 7.5. Szacunkowe zasoby prognostyczne węglowodorów w Polsce (wg PGNiG, 2013)

Prowincja	Szacunkowe zasoby prognostyczne	
	ropa naftowa [mln Mg]	gaz ziemny [mld m ³]
Małopolska	45	550
Lubelska	5	108
Śląska	–	125
Mazowiecka	–	333
Gdańska	1	–
Pomorska	2	714
Wielkopolska	50	467
Razem	103	2297

Według danych PGNiG S.A. (2013) szacunkowe zasoby prognostyczne wszystkich prowincji/ basenów w Polsce wynoszą 103 mln Mg ropy naftowej oraz 2297 mld m³ gazu ziemnego. Wielkość zasobów w poszczególnych prowincjach naftowych przedstawiono w tabeli 7.5, a rozmieszczenie obszarów perspektywicznych występowania ropy i gazu w Polsce ilustruje załącznik 3.

7.1.7.1. Kambry

Obecnie zasoby wydobywalne ropy naftowej i gazu ziemnego udokumentowane w utworach kambry środkowego lądowej części basenu bałtyckiego nie są duże w porównaniu do rocznego krajowego zapotrzebowania na te surowce. Zasoby te wynoszą 68,63 tys. Mg ropy naftowej (złoża: Białogóra-E, Dębki, Żarnowiec, Żarnowiec W) i 11,23 mln m³ gazu ziemnego (złoża: Białogóra-E, Dębki, Żarnowiec, Żarnowiec W; Czapigo-Czapla i Brzeziński, 2019a, b).

Zasoby prognostyczne utworów kambry środkowego w części lądowej oszacowano w 1994 r. na 1,1 mln Mg ropy naftowej oraz 1,3 mld m³ gazu i według Góreckiego (2011b) są to wielkości zaniżone, wymagające nowej oceny. Prócz odkrytej w ostatnich latach akumulacji gazu ziemnego w strukturze Opalina (PGNiG, 2012), która nie została udokumentowana dotąd jako złożo, brak jest nowych odkryć w lądowej części basenu bałtyckiego, a co za tym idzie brak jest aktualnych przesłanek do zwiększenia oszacowanych uprzednio zasobów prognostycznych.

Otwory wiertnicze, których celem było rozpoznanie formacji łupkowych, przyczyniły się nie tylko do zbadania niekonwencjonalnych nagromadzeń węglowodorów i regionalnej ropo-gazoności kambry środkowego, ale także do lepszego poznania budowy geologicznej oraz do uszczegółowienia wiedzy na temat skał macierzystych systemu naftowego niższego paleozoiku. Nowa wiedza na temat rozwoju tektonicznego basenu sedimentacyjnego oraz nowe dane geologiczne wraz z nowoczesnymi technikami modelowań systemów naftowych mogą prowadzić do lepszego odtworzenia procesów naftowych (generacja, migracja i akumulacja węglowodorów) zachodzących w obrębie basenu, a co za tym idzie do uszczegółowienia kierunków dalszych poszukiwań. Postęp w rozwoju metod obrazowania sejsmicznego i interpretowania zdjęć i atrybutów sejsmicznych również przyczyni się do zmniejszenia ryzyka poszukiwawczego.

7.1.7.2. Dewon–karbon

W świetle waryscyjskiej kompresyjnej/kompresyjno-transpresyjnej genezy struktur tektonicznych, w których znajdują się odkryte złoża (Stężycza, Minkowice, Świdnik, Wilga), można spodziewać się akumulacji węglowodorów w analogicznych pułapkach w pozostałej części obszaru lubelskiego. Na obszarze tym większość struktur tektonicznych porównywalnych do pułapek, w których znajdują się złoża, została jednak rozwiercona i nie uzyskano pozytywnych rezultatów złożowych. Dobre rozpoznanie geofizyczno-wiertnicze, nieprzekładające się na pozytywne rezultaty poszukiwawcze, sprawia, że obszar lubelski nie jest obecnie w centrum zainteresowania przemysłu naftowego pod kątem poszukiwań akumulacji węglowodorów w utworach dewońsko-karbońskich. Baseny dewoński i karboński należą do basenów typu otwartego ze znaczną infiltracją wód powierzchniowych i pod względem hydrochemicznym są niekorzystne dla zachowania akumulacji węglowodorowych.

W najbliższej przyszłości najbardziej perspektywnym obszarem, w którym mogą zostać odkryte nowe złoża węglowodorów w utworach karbońskich, będzie północno-wschodnia krawędź platformy zachodnioeuropejskiej w rejonach Koszalin–Trzebiatów i Rzeczenica–Unisław. Ekstensyjny waryscyjski model budowy podłoża podpermskiego znany jest od dawna (Antonowicz i in., 1993, 1994), a podłoże to jest obecnie szczegółowo kartowane, dzięki dużemu postępowi, jaki dokonał się w ostatnich latach w obrazowaniu sejsmicznym utworów dewonu i karbonu znajdujących się w podłożu permu (Poprawa i in., 2018). Wykonywane obecnie nowe zdjęcia sejsmiczne 3D dostarczają niedostępných dotychczas szczegółowych informacji na temat struktur tektonicznych rozpoznanych w podłożu podpermskim.

Dobra jakość obrazu sejsmicznego 3D pozwala na szczegółowe wykartowanie pułapek strukturalnych i litologicznych w rowach i półrowach tektonicznych (Poprawa i in., 2018), co może przełożyć się w najbliższym czasie na odkrycie nowych złóż węglowodorów w utworach dewońsko-karbońskich. Za przykład może tu służyć odkrycie przez PGNiG S.A. w 2016 r. nowego złoża gazu w utworach karbonu na koncesji Trzebiatów (PGNiG, 2016). W przypadku odkrycia nowych złóż w części lądowej na Pomorzu Zachodnim teren poszukiwań może zostać rozszerzony w kierunku północno-zachodnim, na obszar Morza Bałtyckiego, gdzie kontynuuje się krawędź platformy zachodnioeuropejskiej.

Obliczone w 1994 r. zasoby prognostyczne w utworach dewonu obszaru lubelskiego wyniosły: 15,80 mln Mg ropy naftowej i 24,80 mld m³ gazu ziemnego, a w utworach karbonu odpowiednio 3,56 mln Mg i 13,80 mld m³. Zasoby Pomorza Zachodniego są relatywnie niższe i wynoszą w utworach dewonu 6,03 mln Mg ropy i 10,20 mld m³ gazu oraz w utworach karbonu odpowiednio 2,27 mln Mg i 7,42 mld m³ (Górecki, 2011b).

7.1.7.3. Czerwony spągowiec

Ocena potencjału produktywnego formacji czerwonego spągowca wyrażona przez Góreckiego (2011b) pozostaje nadal aktualna: „...należy przyjąć, że znaczna część zasobów prognostycznych występuje na obszarze relatywnie niezbadanym, na dużych głębokościach rzędu 3500–6500 m, z którym możemy wiązać długookresowe perspektywy poszukiwawcze. Nie można wykluczyć, że znacząca ilość zasobów prognostycznych jest skoncentrowana w pułapkach, o wielkości zasobów geologicznych od kilkunastu do kilkudziesięciu mld m³”.

Według danych Góreckiego (2011b) w latach 1978–2006 wykonano oceny zasobów prognostycznych skał czerwonego spągowca, a w 2008 r. przedstawiono nową ich ocenę dla utworów czerwonego spągowca i wapienia cechsztyńskiego (Górecki, 2008). Analizą objęto obszar konsolidacji waryscyjskiej w Polsce zachodniej, wyłączając z niej południowo-zachodnią część monokliny przedsudeckiej z powodu jej przegrzania. Według tej oceny zasoby prognostyczne (potencjał akumulacyjny) w polskiej części basenu czerwonego spągowca, obliczone metodą różnicowego bilansu masy, wynoszą 1,61 bln m³, natomiast potencjał węglowodorowy utworów czerwonego spągowca (przy wysokim współczynniku akumulacji $WA = 0,1$ oraz po odjęciu zasobów udokumentowanych i ilości gazu wydobytego w ujęciu historycznym, o sumarycznej wielkości ok. 0,2 bln m³) wynosi 1,41 bln m³ gazu. Według Burzewskiego i współautorów (2009) przyjęcie tak wysokiego wskaźnika akumulacji wynika z regionalnej analizy rozwoju geologicznego obszaru i wyników analiz nasycenia.

Prawdopodobieństwo odkrycia nowych znacznych konwencjonalnych złóż gazu ziemnego w czerwonym spągowcu jest wysokie w basenie Poznania; należy mieć na uwadze ich powiązanie ze złożami gazu w stropowych partiach utworów karbonu. W basenie śląskim oraz w pomorskiej części basenu czerwonego spągowca prawdopodobieństwo nowych odkryć jest niskie.

Do osiągnięcia sukcesu poszukiwawczego w przypadku złóż w pułapkach strukturalnych konieczne są reprocessing i wykonanie nowych zdjęć sejsmicznych obejmujących najbardziej perspektywiczne strefy występowania utworów czerwonego spągowca. Przykładem może być niedawno wykonany profil sejsmiczny Obrzycko–Zabartowo (AGH-2), na którego podstawie po raz pierwszy w basenie polskim wykartowano warstwę piaskowcową pod utworami plai oraz wykazano możliwość śledzenia spągu utworów klastycznych czerwonego spągowca (inf. W. Górecki). Droga prowadzącą do dalszych odkryć złożowych jest odwiercenie głębokich otworów wiertniczych o głębokości od 3500 do 6500 m (Wójcicki i in., 2014).

Konieczne są również dalsze prace związane z poszukiwaniami pułapek gazu o charakterze uszczelnień śródformacyjnych (litologicznych lub diagenetycznych). Przykładowo na podstawie danych z interpretacji geofizyki wiertniczej, mudloggingu oraz wygenerowania sejsmogramu syntetycznego z otworu wiertniczego Czarna Wieś-8 uzyskano wyniki potwierdzające możliwości występowania węglowodorów wśród uszczelnień śródformacyjnych – facje eoliczne są ograniczone w stropie i w spągu utworami aluwialnymi (Wolański i in., 2018).

Przyjmując nawet niską porowatość piaskowców (rzędu 2–3%) można przypuszczać, że pojemność poszczególnych nieodkrytych dotychczas pułapek gazu na większych głębokościach może wynosić od kilkunastu do 100 mld m³ (inf. W. Górecki). Perspektywiczny obszar występowania pułapek złożowych w utworach czerwonego spągowca na głębokości 4000–6500/ 7000 m zajmuje ok. 20 000 km².

7.1.7.4. Dolomit główny

W dolomicie głównym odkryto dwa największe złoża ropy naftowej w Polsce (Barnówko-Mostno-Buszewo i Lubiatów-Międzychód-Grotów) o łącznych zasobach wydobywalnych ok. 11,10 mln Mg. Utwory te zawierają również złoża gazu ziemnego występujące samodzielnie lub tworzące czapę gazową w złożach ropy naftowej o łącznych zasobach wydobywalnych 8,11 mld m³ (Czapigo-Czapla i Brzeziński, 2019a, b).

Według Góreckiego (2011b) „...ze skał macierzystych dolomitu głównego basenu permskiego Polski mogło się wygenerować i zakumulować w pułapkach poziomego dolomitu głównego 251,8 mln Mg (w przeliczeniu na ropę naftową i gaz ziemny). Potencjał akumulacyjny dla poszczególnych regionów, wedle stanu na 2000 r., przedstawia się następująco:

- przedsudecko-śląski – 172,1 mln Mg,
- centralnej strefy basenowej (rejon podlasko-świętokrzyski) – 57,1 mln Mg,
- pomorski – 17 mln Mg,
- pozostałych – kaszubski i łódzki – 5,6 mln Mg.

Przy założonym przedziale ufności $\pm 50\%$ zasoby potencjału akumulacyjnego węglowodorów w poziomie dolomitu głównego osiągają wielkość od 125,9 do 377,7 mln Mg⁷⁷.

Zasoby prognostyczne przedstawione przez Góreckiego (2011b) dla czterech najbardziej perspektywicznych pod kątem poszukiwań węglowodorów obszarów dolomitu głównego zestawiono w tabeli 7.6. Łączne zasoby geologiczne ropy naftowej oceniono na 235 mln Mg, a gazu rozpuszczonego w ropie i gazu wolnego na 219 mld m³, co w przeliczeniu na gaz wysokometanowy daje ok. 71 mld m³.

Tab. 7.6. Obszary i zasoby prognostyczne dla złóż ropy naftowej i gazu ziemnego w utworach dolomitu głównego (Górecki, 2011b)

Region	Zasoby prognostyczne	
	ropa naftowa [mln Mg]	gaz ziemny [mld m ³]
I. Pomorze: platforma północna, część zachodnia (od granicy do Bydgoszczy)	54	11
II. Monoklina przedsudecka + południowa część synklinorium szczecińskiego (od granicy do Kalisza)	110	195
III. Platforma północna, część wschodnia (od Gdańska przez Bydgoszcz do Radomia)	52	4
IV. Platforma południowa, część wschodnia (od Kalisza po Góry Świętokrzyskie)	19	9
Razem	235	219

Duże perspektywy na odkrycie złóż typu strukturalnego i stratygraficznego można wiązać z obszarem zachodnich części platform dolomitu głównego (a zwłaszcza z blokiem Gorzowa, którego mapa paleogeograficzna uzyskana w ramach modelowania 3D różni się od dotychczas przyjmowanej – zob. Górski i in., 1999) oraz ze wschodnią częścią monokliny przedsudeckiej. Prognostyczne zasoby węglowodorów w utworach dolomitu głównego obliczone według nowszych kryteriów genetycznych tylko na obszarze Gorzów Wielkopolski – Międzychód – Lubiatów wynoszą 228 mln Mg (Górecki, 2011b).

7.1.7.5. Mezozoik

Ilościowa ocena zasobów prognostycznych ropy naftowej i gazu ziemnego w kompleksach triasowo-jurajskim oraz kredowym Niżu Polskiego została opisana przez Nowickiego i in. (1990). W utworach mezozoiku wyróżniono cztery okręgi perspektywiczne: grudziądzko-warszawski, środkowopolski, gnieźnieńsko-piotrkowski i szczecińsko-wągrowiecki. Jako pierwszoplanowe do poszukiwań wskazano strefy: Ponętów–Koło, Damasławek–Uniejów, Rogoźno–Klecko–Janowiec i Lipno–Sochaczew.

Zasoby prognostyczne (prawdopodobne i hipotetyczne) w utworach mezozoiku w centralnej części Niżu Polskiego według Góreckiego (2011b), obliczone na 31.12.1994 r., przedstawiono w tabeli 7.7.

Nadzieje na odkrycia nowych horyzontów złożowych w utworach jury i kredy zapadliska przedkarpackiego, szczególnie w czole i poniżej strefy nasunięcia karpackiego, należy wiązać z nowymi metodami badań, reprocessingu i interpretacji oraz z rozpoznaniem głębszych poziomów strukturalnych w połączeniu z badaniami sedimentologicznymi pozwalającymi na analizę rozprzestrzenienia i rozkładu najlepszych horyzontów zbiornikowych (Myśliwiec i in., 2006). Również rozpoznanie pod kątem złóż wielohoryzontowych jest perspektywiczne, gdyż na przedgórzu jest szansa odkrycia większej liczby takich złóż, szczególnie w głębszych horyzontach zlokalizowanych w antyklinach kompakcyjnych pod utworami miocenu. Szczegółowe analizy danych sejsmicznych, z zastosowaniem nowych procedur i analizy prędkości sejsmicznych, mogą dostarczyć bardziej szczegółowej wiedzy na temat wewnętrznej struktury oraz rozprzestrzenienia poszczególnych budowli biohermowych w węglanowych skałach jurajskich, które stanowią bardzo dobre perspektywiczne pułapki stratygraficzne (Gliniak i in. 2001; Gliniak i Urbaniec, 2005).

Tab. 7.7. Zasoby prognostyczne ropy naftowej i gazu ziemnego utworów mezozoiku centralnej części Niżu Polskiego wg stanu na 31.12.1994 r. (Górecki, 2011b)

Poziom stratygraficzny	Zasoby prawdopodobne		Zasoby hipotetyczne	
	ropa naftowa [mln Mg]	gaz ziemny [mld m ³]	ropa naftowa [mln Mg]	gaz ziemny [mld m ³]
Trias	0,64	1,89	7,75	22,18
Jura	4,35	9,36	16,06	33,04
Kreda	–	–	–	–
Razem	4,99	11,25	23,81	55,22

7.1.7.6. Karpaty i zapadlisko przedkarpackie

Obszar zapadliska kilkakrotnie był przedmiotem analiz zmierzających do oszacowania zasobów perspektywicznych. Zespół Z. Borysa ocenił zasoby prognostyczne we wschodniej części zapadliska na 52–65 mld m³ gazu ziemnego (dane za Góreckim, 2011b). Według Sas-Korczyńskiej (1989) zasoby gazu ziemnego pozostałe do odkrycia w zapadlisku przedkarpackim wynoszą ok. $51,7 \pm 14,7$ mld m³ i zostały obliczone metodą dynamiczną z zastosowaniem funkcji Arpsa–Robertsa (dane za Góreckim, 2011b). Zasoby prognostyczne zapadliska przedkarpackiego wraz z niecką miechowską określono w 2009 r. na 100 mld m³ gazu ziemnego w utworach miocenu i 41 mln Mg tzw. węglowodorów przeliczeniowych w utworach podłoża mezozoiczno-paleozoicznego (Górecki, 2011b). Powyższe wyliczenia nie uwzględniały zasobów perspektywicznych możliwych do odkrycia w akumulacjach niekonwencjonalnych takich jak akumulacje typu *tight*. W 2012 r. przedstawiono pierwsze szacunki zasobów perspektywicznych w akumulacjach niekonwencjonalnych w wysokości 300 mld m³ możliwego do odkrycia gazu ziemnego (Górecki, 2012), autorzy nie podali jednak metody zastosowanej do obliczeń. Ostatnie obliczenia (2017 r.) na podstawie modelowania trójwymiarowego wykonane przez specjalistów z INiG-PIB oraz AGH sugerują pierwotny potencjał generacyjny utworów miocenu w okolicach strefy kontaktu z nasunięciem fliszowym sięgający 2250 mld m³ gazu ziemnego (Sowizdał K. i in., 2017).

W tabeli 7.8 zestawiono potencjał zasobowy Karpat i ich przedgórze na 2018 r. Podstawą wyliczenia były zasoby perspektywiczne obliczone na 2009 r. (Górecki, 2011b) oraz wielkość zasobów udokumentowanych do 2018 r. Należy zwrócić uwagę na fakt, że trwają prace nad nowym sposobem liczenia zasobów uwzględniającym zintegrowane dane geologiczno-żyłowe w cyfrowych modelach trójwymiarowych. Wyniki tych prac przyczynią się do zwiększenia wiarygodności dokonywanych obliczeń zasobów zarówno perspektywicznych, jak i prognostycznych, jednak na zastosowanie tej technologii dla całego obszaru Karpat i ich przedgórze trzeba jeszcze poczekać. Ponieważ nowe wyliczenia zasobów prognostycznych przedgórze Karpat obejmują jedynie część obszaru – strefę kontaktu nasunięcia karpackiego z jego rowem przedgórskim – a nie całe zapadlisko, przyjęto wysokość potencjału zasobowego dla przedgórze na poziomie oszacowa-

Tab. 7.8. Zasoby udokumentowane oraz potencjał zasobowy dla Karpat i ich przedgórze (za Góreckim, 2011b; zaktualizowane na dzień 31.12.2018 r.)

Główne obszary poszukiwań	Pierwotny potencjał genetyczny		Zasoby udokumentowane i wydobyte od początku		Potencjał zasobowy	
	ropa naftowa [mln Mg]	gaz ziemny [mld m ³]	ropa naftowa [mln Mg]	gaz ziemny [mld m ³]	ropa naftowa [mln Mg]	gaz ziemny [mld m ³]
Karpaty fliszowe + podłoże	137,3	45,8	13,1	15,1	124,2	30,6
Zapadlisko przedkarpackie – miocen + podłoże	2,0	198,4	1,3	141,3	0,6	57,1

nym w 2011 r. (Górecki, 2011b). Należy jednak mieć świadomość, że podane w tabeli wielkości pierwotnego potencjału genetycznego, a także potencjału nieodkrytych zasobów, szczególnie dla zapadliska przedkarpackiego wraz z podłożem, mogą w niedalekiej przyszłości ulec zasadniczemu zwiększeniu. Odkrycie dużych złóż węglowodorów we fliszowych fałdach wgłębnych na obszarze przygranicznym Karpat ukraińskich (np. złoża Borysław, Orlów i inne) sugeruje, że należy zintensyfikować poszukiwanie tego typu fałdów we wschodnich Karpatach w Polsce. Według W. Góreckiego (inf. ustna) ocena perspektyw odkrycia złóż węglowodorów wymaga ustalenia zmian, jakie zachodzą w budowie geologicznej między zachodnimi i wschodnimi Karpatami. Wyniki badań i modelowań geologiczno-naftowych prowadzonych przez Góreckiego i in. (2009) dokumentują bardzo zróżnicowany potencjał akumulacyjny serii fliszowych w strefie przygranicznej. Papiernik (2016) podaje za Kuśmierkiem (2004), że wielkość potencjału węglowodorowego wynosi dla płaszczowiny śląskiej 66,8 mln Mg, a dla skolskiej 28,2 mln Mg.

Również strefa Karpat zachodnich jest niedostatecznie rozpoznana pod względem perspektywiczności i wymaga podjęcia prac w dwóch planach: na głębokości do 3000 m w celu rozpoznania płytkich i tektonicznie skomplikowanych struktur oraz na głębokości 4500–6000 m w strefie mniejszego zaangażowania tektonicznego skał zbiornikowych, z uwzględnieniem utworów fliszowych przylegających do pienińskiego pasa skałkowego (Jawor, 1984).

7.1.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

W świetle informacji o nowych odkryciach złóż hybrydowych i złóż gazu zamkniętego w zapadlisku przedkarpackim, a także zmieniających się koncepcji budowy górotworu karpackiego oraz zwiększających się możliwości budowania zintegrowanych modeli budowy wgłębnej należy przedsięwziąć następujące kroki:

1. Zwiększyć intensywność poszukiwań w Karpatach, zarówno w części wschodniej, jak i w części zachodniej, w związku z pojawiającymi się optymistycznymi wyliczeniami zasobów perspektywicznych i prognostycznych.
2. Kontynuować rozpoznanie pod kątem złóż wielohoryzontowych, szczególnie w głębszych horyzontach zlokalizowanych na przedgórzu Karpat w antyklinach kompakcyjnych pod utworami miocenu.
3. Zintensyfikować prace technologiczne zmierzające do udostępniania złóż hybrydowych i niekonwencjonalnych.
4. Zwiększyć nacisk na dopracowanie technologii predykcji występowania akumulacji węglowodorów w złożach hybrydowych i niekonwencjonalnych z wykorzystaniem zintegrowanych wyników badań.
5. Wdrożyć program zdefiniowania obszarów obliczeniowych wraz z oszacowaniem zasobów oparty na systemach i prowincjach naftowych zamiast obliczeń zasobów tradycyjnie używanych obszarów poszukiwawczych.
6. Wdrożyć i rozpowszechnić metodykę obliczania zasobów prognostycznych i perspektywicznych opartą na zintegrowanym modelowaniu 3D dla wszystkich prowincji naftowych Polski.

Adam Wójcicki, Hubert Kiersnowski, Teresa Podhalańska, Marcin Janas, Andrzej Gluszyński,
Jolanta Paczeńska, Teresa Adamczak-Biały

7.2. GAZ I ROPA Z ŁUPKÓW (*SHALE GAS, SHALE OIL*), GAZ ZAMKNIĘTY (*TIGHT GAS*)

Złoża gazu ziemnego i ropy naftowej z łupków/ w łupkach i gazu zamkniętego zaliczamy do złóż niekonwencjonalnych, o czym decydują kryteria techniczno-ekonomiczne i w mniejszym stopniu geologiczne. Termin *tight oil* obejmuje zwyczajowo niekonwencjonalne złoża ropy w łupkach (*shale oil*) i w „klasycznych” skałach zbiornikowych o niskiej przepuszczalności – piaskowcach i skałach węglanowych; z wyłączeniem piasków i łupków bitumicznych (IEA, 2016).

7.2.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Złoża gazu ziemnego i ropy naftowej w łupkach oraz gazu zamkniętego (i ropy zamkniętej) są trudniejsze w eksploatacji niż złoża konwencjonalne i obecnie w warunkach europejskich ich eksploatacja jest mniej opłacalna. Charakterystyczną cechą tych złóż jest brak samoistnego przypływu węglowodorów do otworu w ilościach uzasadniających eksploatację, z czego wynika konieczność wykonywania zabiegów stymulacji przypływu (wspomagania wydobywania) poprzez zastosowanie techniki szczelinowania hydraulicznego. Złoża gazu i ropy w łupkach mogą występować na znacznych obszarach, niezależnie od pałapek złożowych, w kompleksach geologicznych, które mogą pełnić funkcję skał zarówno zbiornikowych, jak i macierzystych (Górecki, 2011b). Natomiast złoża gazu zamkniętego mogą występować w tych samych pałapkach złożowych i skałach zbiornikowych (piaskowce, wapienie) co konwencjonalne złoża gazu, jednakże skały te cechują się znacznie gorszymi parametrami kolektorskimi. Innym rodzajem złóż typu zamkniętego są rozległe strefy nasycone gazem w centrum basenu sedymentacyjnego – tzw. BCGS (*Basin Centered Gas System*; Wójcicki i in., 2014).

7.2.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Podane wielkości zasobów niekonwencjonalnych złóż gazu zamkniętego (*tight gas*) oraz gazu i ropy w łupkach są szacunkowe, są to zasoby nieodkryte nieudokumentowane. Odpowiadają one, według klasyfikacji stosowanej na świecie przez firmy naftowe (SPE-PRMS), kategorii zasobów *undiscovered*, obejmującej zasoby geologiczne (*gas in place, oil in place, hydrocarbons in place*) i zawarte w nich zasoby technicznie wydobywalne (*technically recoverable resources*).

Według raportu IEA (2016) najbardziej ostrożnie oszacowane (prognostyczne) zasoby technicznie wydobywalne gazu z łupków i gazu zamkniętego na świecie wynoszą odpowiednio ok. 2300 mld m³ oraz 6200 mld m³. Światowe zapotrzebowanie na gaz ziemny wynosi ok. 3500 mld m³ rocznie, natomiast światowa produkcja gazu z łupków i gazu zamkniętego – ok. 630 mld m³ rocznie (IEA, 2016), przy czym przeważa udział gazu z łupków (ok. 61%; EY, 2017). Najbardziej optymistyczne szacunki zasobów (domniemanych, prognostycznych i perspektywicznych) technicznie wydobywalnych gazu z łupków podane przez EIA (<https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas>) to ok. 214 560 mld m³ (a więc blisko 35 razy więcej niż podaje IEA, z tym że są to różne kategorie zasobów). Optymistyczne szacunki zasobów gazu zamkniętego są tego samego rzędu wielkości – 209 700 mld m³ (Holditch, 2009).

Szacunki (domniemanych, perspektywicznych i prognostycznych) światowych zasobów technicznie wydobywalnych ropy ze złóż niekonwencjonalnych *tight oil* podawane przez IEA (2016) i EIA są zbliżone i wynoszą ok. 67 mld m³ (ok. 57 mld Mg przy średniej gęstości ropy 0,85 Mg/m³). Światowe zapotrzebowanie na ropę naftową wynosi ok. 5,5 mld m³ rocznie (IEA, 2016), natomiast produkcja ropy ze złóż niekonwencjonalnych *tight oil* stanowi ok. 5% tej wartości (EY, 2017), tzn. 0,28 mld m³, co daje w przybliżeniu 0,24 mld Mg.

Z powyższych danych wynika, że zasoby gazu ze złóż niekonwencjonalnych (*shale & tight gas*) mogą zapewnić pokrycie światowego zapotrzebowania na gaz w przybliżeniu na 2,5–121 lat, a zasoby ropy ze złóż niekonwencjonalnych (*tight oil*) – na ok. 12 lat.

W ciągu ostatniej dekady opublikowano wiele raportów podających (domniemane i perspektywiczne) zasoby wydobywalne gazu z łupków, a ostatnio także ropy z łupków w Polsce. W przypadku gazu z łupków rozpiętość szacunków jest znaczna. Raport EIA (2011), oparty na kontrowersyjnych założeniach autorów,

podaje jako najbardziej prawdopodobną ilość 5300 mld m³ zasobów domniemanych (basen bałtycko-podlasko-lubelski, obszar lądowy), natomiast raport USGS opracowany w następnym roku, wykorzystujący dane geologiczne PIG-PIB/ państwowej służby geologicznej pochodzące z otworów archiwalnych (Gautier i in., 2012; zasoby perspektywiczne) podaje dla analogicznego obszaru najbardziej prawdopodobną wartość (P50, czyli medianę) wynoszącą jedynie 27,8 mld m³ (średnia 38,1 mld m³).

Najwyższe szacunki zasobów wydobywalnych ropy z łupków dla obszaru lądowego Polski podaje raport EIA (2013; zasoby domniemane) – ok. 180 mld m³ (oraz 108 mld m³ kondensatu ropnego), czyli ok. 153 mln Mg ropy (oraz ok. 92 mln Mg kondensatu ropnego), natomiast raport USGS (Gautier i in., 2012) tylko 8,3 (9,9) mld m³ ropy (pierwsza liczba to mediana, liczba w nawiasie to wartość średnia) oraz 9,9 (16,9) mld m³ kondensatu ropnego, czyli ok. 7 (8,4) mln Mg ropy oraz ok. 8,4 (14,4) mln Mg kondensatu ropnego. Z kolei raport USGS (Brownfield i in., 2015) podaje szacunki zasobów wydobywalnych węglowodorów z łupków dla obszaru morskiego – południowego Bałtyku; jest to ok. 102,1 (130,8) mld m³ gazu, występującego niemal w całości na obszarze polskiej strefy ekonomicznej, i ok. 139,5 (177,4) mln Mg ropy oraz ok. 4,2 (5,7) mln Mg kondensatu ropnego dla całego obszaru południowego Bałtyku. Jednakże nie należy się spodziewać, aby w najbliższej przyszłości ruszyła eksploatacja niekonwencjonalnych złóż węglowodorów na obszarze morskim Polski, co wynika z faktu, że wydobywanie tych kopalin na morzu jest trudniejsze i o wiele bardziej kosztowne niż na lądzie.

Bardziej wiarygodne informacje na temat zasobów gazu i ropy w łupkach w Polsce pochodzą z pierwszego upublicznionego raportu wykonanego przez państwową służbę geologiczną (*Raport PIG-PIB*, 2012). Raport ten był oparty na informacji geologicznej pochodzącej z otworów archiwalnych, w tym na wynikach analiz laboratoryjnych próbek rdzeni, wykonanych na potrzeby uzyskania parametrów wskazujących pośrednio na ropogazoność łupków, oraz na wynikach interpretacji krzywych geofizyki wiertniczej (zasoby perspektywiczne). Analizy te dotyczyły najbardziej perspektywicznych i relatywnie najlepiej rozpoznanych, w świetle obecnego stanu wiedzy, skał łupkowych niższego paleozoiku basenu bałtycko-podlasko-lubelskiego (tab. 7.9). W 2013 r. autorzy z PIG-PIB opublikowali krytyczną ocenę dotychczasowych raportów oraz przedstawili propozycje udoskonalenia metodyki oceny zasobów gazu na potrzeby nowego raportu (Kiersnowski i Dyrka, 2013a, b). Prace dotyczące szacowania zasobów gazu i ropy w łupkach w Polsce kontynuowane były następnie w ramach zadań państwowej służby geologicznej, przy czym wykorzystywano informacje na temat parametrów złożowych z coraz to większej ilości nowych odwiercanych otworów (niepublikowane raporty: Wójcicki i in., 2015, 2016, 2017; zasoby prognostyczne).

Tab. 7.9. Szacunki zasobów technicznie wydobywalnych (*technically recoverable resources*) węglowodorów w łupkach niższego paleozoiku basenu bałtycko-podlasko-lubelskiego (*Raport PIG-PIB*, 2012; Wójcicki i in., 2017)

Obszar	Ropa naftowa [mln Mg]	Gaz ziemny [mld m ³]
Obszar lądowy (2012)	166,6	230,5–619,4
Obszar morski (2012)	48,8–101,1	115,6–148,4
Obszar lądowy (2017/2018) SCW	37,7–100,4	65,7–434,9
Obszar morski (2017/2018) SCW	69,5–106,5	113,5–166,4
Obszar lądowy (2017/2018) wol.	15,8 – 45,4	75,3–622,2
Obszar morski (2017/2018) wol.	73,4–99,2	126,7–166,1

SCW – szacunkowe całkowite wydobywanie, wol. – metoda wolumetryczna

W tabeli 7.9 zestawiono najbardziej prawdopodobne szacunki zasobów technicznie wydobywalnych gazu i ropy w łupkach w skałach niższego paleozoiku, za *Raportem PIG-PIB* (2012) oraz najnowszym, niepublikowanym raportem PIG-PIB/ państwowej służby geologicznej (Wójcicki i in., 2017). Pierwszy raport (*Raport PIG-PIB*, 2012) został oparty na metodzie EUR (*Estimated Ultimate Recovery*, w polskiej literaturze także jako SCW – szacunkowe całkowite wydobywanie węglowodorów w otworze), opracowanej i stosowanej

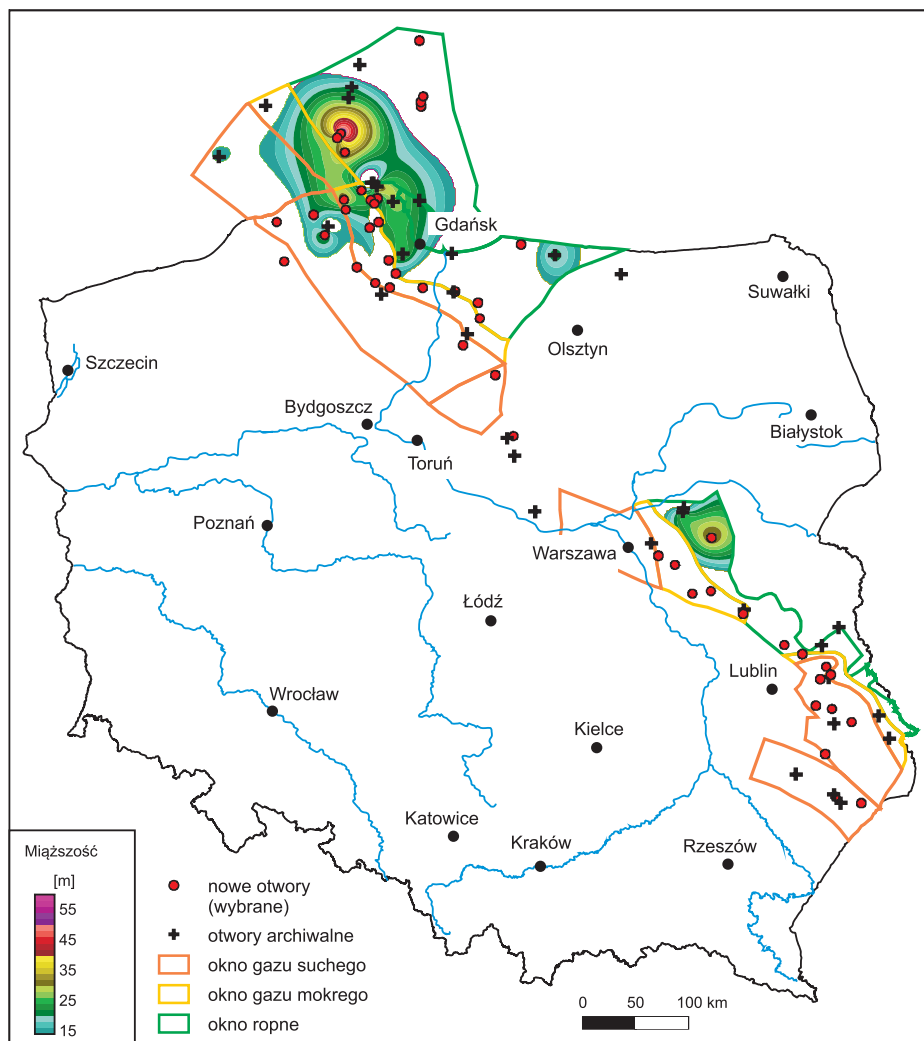


Fig. 7.8. Sumaryczna miąższość łupków niższego paleozoiku o średniej zawartości TOC >2% (>15 m); strefy gazu suchego i mokrego – całkowita zawartość gazu >1,5 m³/Mg. Wariant optymalny dla produkcji gazu (i ropy z łupków; wg Wójcickiego i in., 2017)

wanej przez USGS. Wartości SCW węglowodorów w otworze przyjęto na podstawie informacji dotyczących wydobywania z basenów naftowych w USA, odznaczających się podobnymi warunkami geologiczno-złożowymi do warunków w basenie bałtycko-podlasko-lubelskim. Drugi raport (Wójcicki i in., 2017) wykorzystuje dostępne informacje z 62 nowych otworów (oraz z 63 archiwalnych, w tym wyniki nowych analiz próbek archiwalnych rdzeni z otworów). Zastosowano w nim obydwie metody wykorzystywane dotąd w raportach poświęconych szacowaniu zasobów gazu i ropy w łupkach na obszarze Polski: metodę szacunkowego całkowitego wydobywania EUR (analogicznie do *Raportu PIG-PIB*, 2012) i metodę wolumetryczną (tak jak np. w raportach EIA, 2011, 2013). Przyjęto przy tym dwa warianty: pierwszy dotyczył kryteriów optymalnych produkcji gazu (i ropy) z łupków, a drugi kryteriów granicznych (fig. 7.8 i 7.9). Kryteria te posłużyły do wyznaczenia wspólnych obszarów szacowania dla obu metod. W metodzie wolumetrycznej przyjęto bardzo

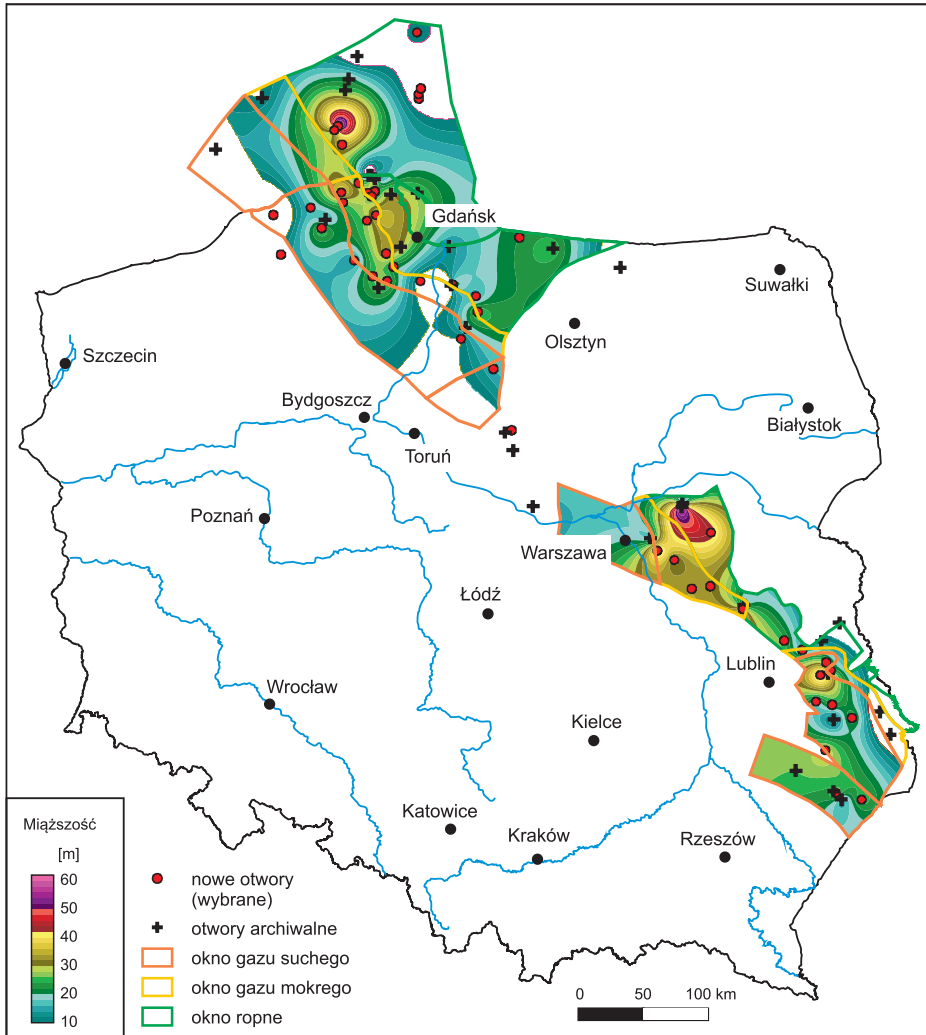


Fig. 7.9. Sumaryczna miąższość łupków niższego paleozoiku o średniej zawartości TOC >1,5% (> 10m); strefy gazu suchego i mokrego – całkowita zawartość gazu >0,5 m³/Mg. Wariant graniczny dla produkcji gazu (i ropy z łupków; wg Wójcickiego i in., 2017)

ostrożne (średnie) wartości współczynników wydobywania dla całego basenu (gaz 10%, ropa 4%), co wynikało ze stwierdzonych w nowych otworach niezbyt korzystnych wartości parametrów złożowych łupków niższego paleozoiku. W przypadku obydwu raportów dolne granice wartości przedziałów zasobów (tab. 7.9) dotyczą minimalnych zasięgów obszarów występowania skał łupkowych najbardziej perspektywicznych złożowo, a górne granice wartości przedziałów zasobów odpowiadają maksymalnym zasięgom tych obszarów.

Wartości zasobów gazu (obszar lądowy) są w obu przypadkach przynajmniej o rząd wielkości mniejsze od szacunków EIA (2011) i co najwyżej o rząd większe od wartości przedstawionych w raporcie USGS (Gautier i in., 2012), przy czym ten ostatni odpowiada wariantowi najbardziej pesymistycznemu z *Raportu PIG-PIB* (2012). Zasoby ropy dla analogicznego obszaru podane w raportach PIG-PIB (*Raport PIG-PIB*, 2012; Wójcicki i in., 2017) są co najwyżej tego samego rzędu wielkości, jak te z raportu EIA (2013). Zasoby

gazu z łupków na obszarze morskim podane w raportach PIG-PIB (tab. 7.9) są tego samego rzędu wielkości co w raporcie USGS dotyczącym Bałtyku (Brownfield i in., 2015), prawdopodobnie to samo można powiedzieć w przypadku zasobów ropy z łupków.

W odniesieniu do gazu zamkniętego najbardziej aktualne informacje na temat szacunkowych zasobów pochodzą z raportu PIG-PIB (Wójcicki i in., 2014), w którym przeanalizowano trzy kompleksy geologiczne z najbardziej perspektywicznych i/lub relatywnie najlepiej rozpoznanych rejonów Polski. Dla kompleksów tych przedstawiono szacunkowe zasoby (perspektywiczne lub prognostyczne; różny jest stopień rozpoznania poszczególnych rejonów) geologiczne obliczone metodą wolumetryczną (tab. 7.10). Są to: permskie piaskowce czerwonego spągowca strefy poznańsko-kaliskiej (I), piaskowce karbonu strefy wielkopolsko-śląskiej (II) i piaskowce kambru w zachodniej części basenu bałtyckiego (III). W przypadku piaskowców kambru basenu bałtyckiego podano zasoby gazu na obszarze lądowym w zachodniej części basenu, lecz wyznaczony obszar perspektywiczny dla gazu (mokrego) obejmuje także przyległą część polskiej strefy ekonomicznej Bałtyku. Na obszarze tym należy się spodziewać występowania, oprócz gazu, również węglowodorów ciekłych (w tym ropy zamkniętej) w zwięzłych piaskowcach kambru. Wyznaczono także obszar we wschodniej części basenu bałtyckiego (na lądzie), gdzie również można spodziewać się występowania ropy zamkniętej.

Tab. 7.10. Szacunkowe zasoby geologiczne (*gas in place*) gazu ziemnego zamkniętego w wybranych rejonach Polski (Wójcicki i in., 2014)

Kompleks geologiczny	Głębokość [m p.p.m.]	Zasoby najbardziej prawdopodobne (P50) [mld m ³]
I – piaskowce permu (czerwonego spągowca)	5500–6000 lub 5100–6000	345 lub 812
II – piaskowce karbonu	1800–3500	1145
III – piaskowce kambru	2800–3100	38
Razem		1528–1995

W tabeli 7.10 podano szacunkowe zasoby geologiczne gazu zamkniętego. Wielkość zasobów technicznie wydobywalnych można oszacować hipotetycznie, przyjmując (bardzo ostrożny) współczynnik wydobywania wynoszący 10% dla każdego z rejonów. Daje to średnio wartości nieco większe od udokumentowanych zasobów wydobywalnych w konwencjonalnych złożach gazu ziemnego (tzn. 153–200 mld m³).

Według Głównego Urzędu Statystycznego (GUS, 2018) roczne zużycie gazu w Polsce wyniosło w 2017 r. ok. 19,2 mld m³ (przeliczone na gaz wysokometanowy), natomiast zużycie ropy – 25,1 mln Mg. Wydobywanie gazu ziemnego w 2018 r. wynosiło 4,94 mld m³ a ropy naftowej i kondensatu ropnego – ok. 0,94 mln Mg (geoportal.pgi.gov.pl).

Szacunkowe zasoby gazu ziemnego z łupków podane w przytoczonych raportach amerykańskich dotyczących obszaru lądowego (EIA, 2011, 2013; Gautier i in., 2012) mogłyby zapewnić pokrycie krajowego zapotrzebowania przez okres ok. 2–280 lat, a ropy naftowej z łupków na okres od pół roku do 6 lat (z kondensatem ropnym na ok. 1–9,5 lat).

Zasoby gazu z łupków i gazu zamkniętego, podane w raportach PIG-PIB mogłyby zapewnić pokrycie krajowego zapotrzebowania na gaz ziemny na okres 11,4–42,8 lat, zaś ropy ze złóż niekonwencjonalnych – na 0,6–6,5 lat.

7.2.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Ogólne kryteria wyznaczania niekonwencjonalnych złóż węglowodorów podano w obecnie obowiązującym *Rozporządzeniu...* (2015b). Kryteria te zestawiono w tabeli 7.11.

Należy zauważyć, że w literaturze (np. Andrews, 2013, 2014) przyjmuje się w przypadku gazu i ropy z łupków znacznie ostrzejsze kryteria dotyczące niektórych parametrów złożowych odnoszących się do po-

Tab. 7.11. Graniczne wartości parametrów definiujących niekonwencjonalne złoża węglowodorów i ich granice (Rozporządzenie..., 2015b)

Parametr	Gaz z łupków	Ropa z łupków	Gaz zamknięty	Ropa zamknięta
Minimalna miąższość efektywna	10 m	15 m	–	–
Minimalna śr. zawartość krzemionki (lub węglanów)	10% obj.	–	–	–
Minimalna średnia gazonośność/ roponośność	0,5 m ³ /Mg	0,002 m ³ /Mg	–	–
Maksymalna zawartość rtęci	0,06 mg/m ³	0,03 mg/m ³	0,03 mg/m ³	0,03 mg/m ³
Minimalna gazozasobność/ ropozasobność	18 m ³ /m ²	0,075 m ³ /m ²	–	–
Maksymalna zawartość minerałów ilastych	60%	60%	–	–
Maksymalna przepuszczalność skał zbiornikowych	–	–	0,1 mD	0,1 mD
Minimalna początkowa średnia wydajność ze złoża po stymulacji	–	–	0,7 m ³ /min	1 Mg/d

tencjalnego wydobycia (maksymalna zawartość minerałów ilastych, minimalna gazozasobność/ ropozasobność, minimalna gazonośność/ roponośność, minimalna zawartość krzemionki/ minerałów ilastych). Wynika to z doświadczeń w eksploatacji gazu i ropy z łupków w amerykańskich basenach naftowych, zaś podstawowy wniosek jest taki, że eksploatacja łupków o parametrach zbliżonych do granicznych (tab. 7.11) byłaby tam wysoce nieekonomiczna i trudna pod względem technicznym. Dla przykładu: minimalna gazonośność łupku wynosząca 0,5 m³/Mg jest kilkakrotnie niższa od wartości granicznych w produktywnych amerykańskich basenach łupkowych (Andrews, 2013, 2014).

7.2.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Kryteria graniczne dla niekonwencjonalnych złóż węglowodorów przedstawione w tabeli 7.11 odnoszą się zasadniczo do udokumentowanych złóż węglowodorów.

Na etapie szacowania zasobów gazu i ropy z łupków przedstawionych w rozdziale 7.2.2 i w przypadku większości wspomnianych tam raportów w tym zakresie nie były dostępne informacje na temat wielu parametrów (np. gazo- i ropozasobności, miąższości efektywnych czy też danych produkcyjnych), względnie informacje na ten temat były co najwyżej fragmentaryczne (np. zawartość krzemionki/ węglanów, minerałów ilastych). W związku z powyższym w omawianych raportach dotyczących obszaru Polski (EIA, 2011, 2013; Gautier i in., 2012; *Raport PIG-PIB*, 2012) wykorzystano głównie informacje na temat parametrów charakteryzujących pośrednio potencjał występowania węglowodorów w skałach łupkowych, a nie możliwości ich wydobycia z tych skał. Były to takie parametry jak dojrzałość termiczna (w przedziale obecnie umożliwiającym występowanie gazu i/lub ropy w łupkach) oraz całkowita zawartość węgla organicznego (TOC), pośredniego wskaźnika zawartości materii organicznej – źródła węglowodorów (najczęściej przyjmuje się kryterium minimalnej wartości 2% wag.). Informacje na ten temat pochodziły w najlepszym razie z mniej lub bardziej cząstkowych analiz laboratoryjnych próbek rdzeni z otworów archiwalnych (Gautier i in., 2012; *Raport PIG-PIB*, 2012) lub z wzmianek w publikacjach naukowych i doniesieniach prasowych (EIA, 2011, 2013). Obliczenia wykonano dla obszarów występowania łupków o odpowiedniej dojrzałości termicznej, determinującej występowanie węglowodorów, oraz o wysokiej zawartości węgla organicznego (TOC >2% wag.), odznaczających się odpowiednią miąższością (min. 15 m). Zakładano, na podstawie cząstkowych analiz laboratoryjnych próbek rdzeni z otworów archiwalnych i interpretacji krzywych geofizyki wiertniczej, względnie wzmianek w publikacjach naukowych i doniesieniach prasowych, że dla założonych miąższości efektywnych spełnione są też inne istotne parametry złożowe. W żadnym z powyższych raportów nie ma wzmianki o wykorzystaniu danych źródłowych z nowych otworów za gazem i ropą z łupków, w tym dotyczących rzeczywistej gazo- i ropozasobności.

Znaczną część tych brakujących danych wykorzystano w najnowszym raporcie PIG-PIB (Wójcicki i in., 2017b). Przyjęto w nim dwa warianty, o różnych kryteriach założonych dla parametrów złożowych istotnych

dla produktywności łupków: pierwszy, optymalny dla produkcji gazu (i ropy) z łupków – łupki charakteryzujące się średnią wartością TOC >2%, miąższością sumaryczną >15 m i średnim nasyceniem gazem >1,5 m³/Mg (wartość minimalna notowana w otworach produkcyjnych w Ameryce Północnej), oraz drugi, graniczny, ze średnią wartością TOC 1,5%, miąższością sumaryczną >10 m i średnim nasyceniem gazem >0,5 m³/Mg. W obu wariantach przyjęto maksymalną zawartość minerałów ilastych przedstawioną w tabeli 7.11, a ponadto średni udział porów nasyconych węglowodorami ruchomymi powyżej 2%. Nie dysponowano dokładnymi danymi na temat ciśnienia złożowego, lecz dostępne informacje wskazują raczej na brak podwyższonego ciśnienia na większości obszaru analizowanego basenu.

W raporcie dotyczącym szacunków zasobów gazu zamkniętego w Polsce autorstwa Wójcickiego i in. (2014) przyjęto kryterium maksymalnej przepuszczalności skał zbiornikowych identyczne jak w tabeli 7.11, nie dysponowano natomiast danymi dotyczącymi początkowej średniej wydajności ze złóż po stymulacji. Wykorzystano dodatkowe kryteria literaturowe stosowane do szacowania zasobów nieodkrytych złóż gazu zamkniętego charakteryzujących potencjalną produktywność rozpatrywanych zwięzłych skał zbiornikowych (*tight sands*). W szczególności dotyczyło to porowatości (całkowita >3%, efektywna >2%), nasycenia wodą złożową (<60%), zailenia (<55%) oraz zwięzłości i skonsolidowania, a także odpowiedniej dojrzałości termicznej, determinującej występowanie gazu w zwięzłych skałach zbiornikowych. Istotne było także spełnienie założeń takich jak: występowanie podwyższonego ciśnienia złożowego, obecność skały macierzystej w basenie, występowanie objawów gazu i złóż konwencjonalnych w tym samym systemie naftowym.

7.2.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

W przypadku skał łupkowych niższego paleozoiku basenu bałtycko-podlasko-lubelskiego najbardziej perspektywiczne (tzn. odznaczające się podwyższoną zawartością rozproszonej materii organicznej) wydają się, zależnie od rejonu, utwory formacji z Jantaru (niższy landower), formacji z Sasina (karadok, lokalnie też najwyższy lanwirm) oraz formacji z Piaśnicy (głównie na obszarze morskim; górny kambr – furong, rzadziej też najniższy tremadok). Nieco gorszymi parametrami złożowymi charakteryzują się łupki formacji z Pępłina (wenlok; zwłaszcza w niższej części profilu) rozpoznane na Lubelszczyźnie, a także na obszarze lądowym basenu bałtyckiego (m.in. Poprawa, 2010b; Więclaw i in., 2010a; Kosakowski i in., 2016; Podhalańska i in., 2016).

Formację piaśnicką górnego kambru (furongu)–tremadoku budują czarne iłowce bitumiczne o bardzo wysokiej zawartości substancji organicznej, o miąższości od blisko 0 m w najbardziej wschodniej, marginalnej strefie jej występowania do ok. 30 m (maksymalna rozpoznana miąższość) na obszarze zlokalizowanym w polskiej strefie ekonomicznej Bałtyku (fig. 7.10). Poziom ten stanowi podstawowy pakiet skał macierzystych dla węglowodorów w basenie bałtyckim.

Utwory formacji mułowców z Sasina (w tym dawniejsze formacje: Udala na Lubelszczyźnie oraz iłowców i wapieni z Cieszanowa w strefie Biłgoraj–Narol; Porębski i Podhalańska, 2019) obejmują utwory wyższego lanwirmu i karadoku (od darriwilu do niższego katu). Jest to jedyny ordowicki poziom ciemnych łupków rozprzestrzeniony we wszystkich obniżonych jednostkach strukturalnych na obszarze platformy wschodnioeuropejskiej w Polsce. Formację z Sasina budują mułowce i iłowce, często łupki czarne, z licznym pirytem, miejscami węglanowe, wzbogacone w substancję organiczną. Miąższość utworów tej jednostki w profilach lądowych osiąga maksymalnie ok. 35 m, a w profilach morskich ok. 70 m (fig. 7.11). Formacja z Sasina stanowi jeden z najbardziej perspektywicznych kompleksów skalnych dla niekonwencjonalnych nagromadzeń węglowodorów w łupkach na tym obszarze.

Wzdłuż zachodniej krawędzi platformy wschodnioeuropejskiej wyróżnia się najstarsza formacja łupkowa syluru – **formacja z Jantaru** (Porębski i Podhalańska, 2019; wcześniej ogniwo z Jantaru – Modliński i in., 2006) – wykształcona jako czarne bitumiczne łupki mułowcowe z fauną graptolitów (ruddan–aeron). Formacja ta reprezentuje w cyklu T-R utwory transgresyjne przechodzące w utwory wysokiego stanu morza. Jej miąższość jest zmienna, przy czym największa jest w bałtyckiej części krawędziowego segmentu platformy, gdzie wynosi nawet powyżej 25 m (fig. 7.12). W rejonie podlaskim i lubelskim miąższość formacji z Jantaru wynosi od blisko 0 do kilku metrów. Utwory dolnego landoweru wykształcone w facji czarnych łupków z taką samą pod względem taksonomicznym fauną graptolitów występują także w strefie Biłgoraj–Narol. Wkłádki łupków ilastych wzbogaconych w materię organiczną, podobnych do utworów zaliczanych do formacji z Jantaru, występują także w obrębie młodszych, płytkowodnych utworów górnej części landoweru (telychu) we wschodniej części basenu lub rozpoczynają ciekłą warstwę sedymentację syluru na tym

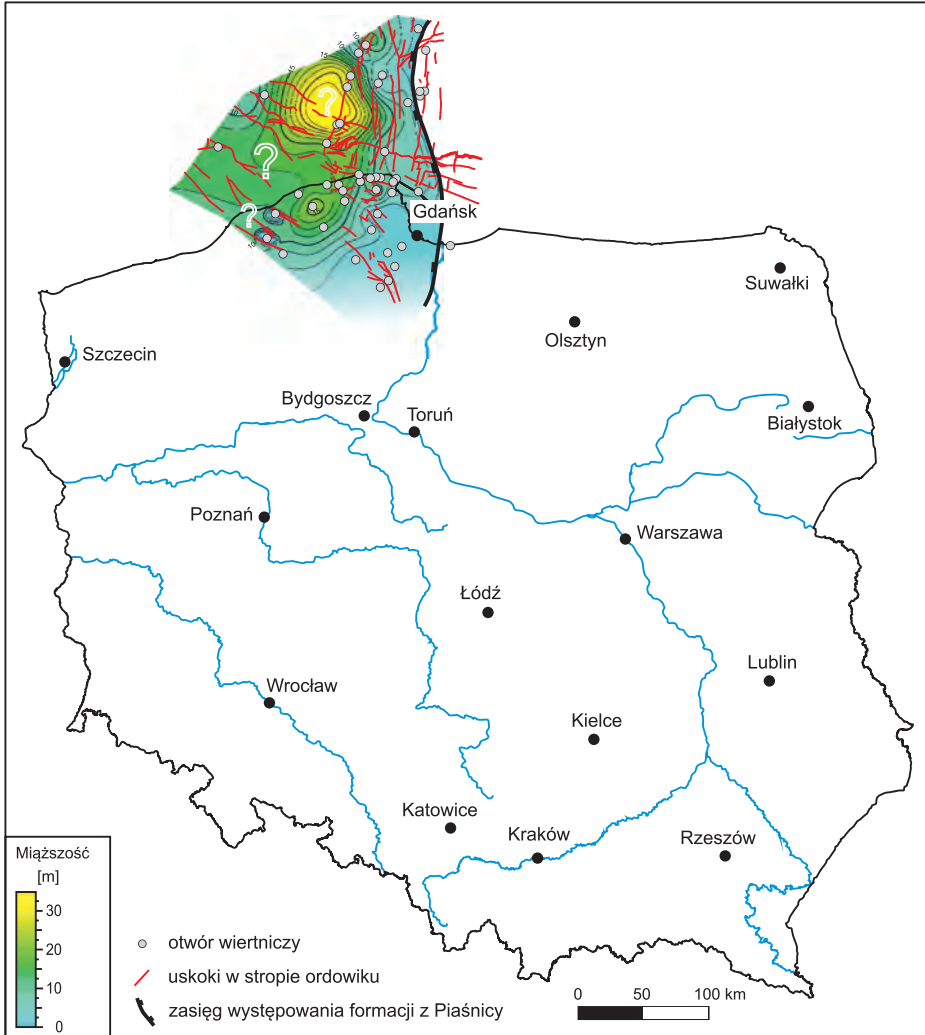


Fig. 7.10. Mapa miąższości formacji iłowców z Pielina (Podhalańska i zespół, 2018)

obszarze. Wyniki analiz Rock-Eval wskazują na podwyższoną zawartość całkowitego węgla organicznego w tych utworach (inf. ustna M. Janas). Stwierdzenie, czy można je utożsamiać z formacją z Jantar, wymaga dalszych badań stratygraficznych i geochemicznych.

Kompleks iłowców/ mułowców kolejnej sylurskiej **formacji mułowców z Pelplina** jest rozprzestrzeniony na prawie całym polskim fragmencie basenu bałtyckiego, jedyny wyjątek stanowi zachodnia część obszaru w rejonie Słupska, gdzie sekwencja ulega wyklinowaniu. Miąższość formacji może maksymalnie wynosić ok. 400 m (profile Żarnowiec IG-1 i Prabuty IG-1; Modliński i in., 2006). Formacja z Pelplina jest wykształcona w niższej (wenlockiej) części jako mułowce/ iłowce szare, ciemnoszare, z przewarstwieniami iłowców lub mułowców czarnych, miejscami wapienistych, z soczewkami wapieni marglistych, z różnorodną i bardzo liczną fauną graptolitów. Ta część formacji, oceniana jako perspektywiczna (Podhalańska i in., 2016), odpowiada najczęściej piętru szejnwud do poziomu *Cyrtograptus lundgreni*.

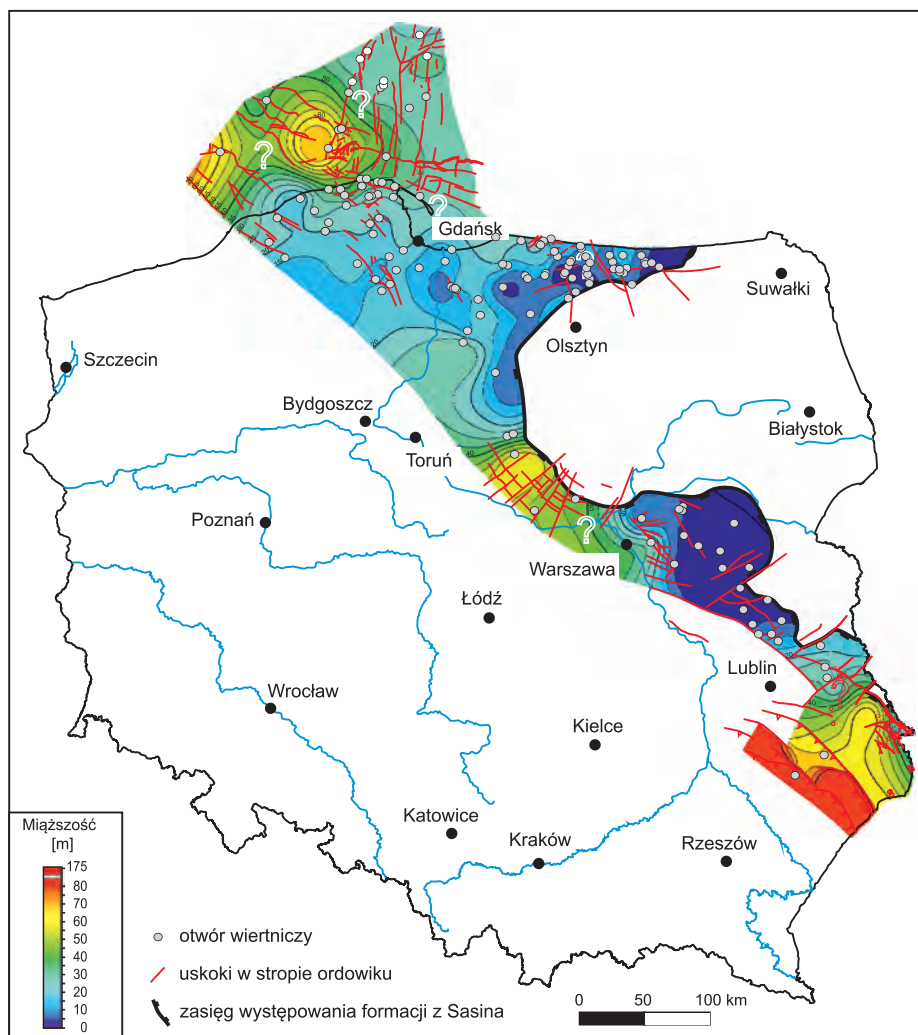


Fig. 7.11. Mapa miąższości formacji z Sasina i jej ekwiwalentów (Podhalańska i zespół, 2018)

Potencjalnie perspektywiczne dla występowania gazu i/lub ropy w łupkach, poza utworami niższego paleozoiku zachodniej części platformy wschodnioeuropejskiej, wydają się też być ilasto-mułowcowe skały miocenu zapadliska przedkarpackiego, łupki menilitowe Karpat zewnętrznych, łupki od najwyższej jury do najniższej kredy basenu polskiego, łupki dolnej i środkowej jury basenu polskiego, łupki retyku basenu polskiego, cechsztyński łupek miedzionośny basenu polskiego, łupki antrakozjowe i walchiowe niecki śródsudeckiej, łupki górnokarbońskie basenu lubelskiego, łupki dolnokarbońskiego kulmu podłoża monokliny przedsudeckiej (obszar występowania stref hybrydowych, obejmujących łupki i piaskowce perspektywiczne dla występowania gazu zamkniętego), jak również łupki od najwyższego dewonu do najniższego karbonu Pomorza Zachodniego.

Podstawowymi utworami dla poszukiwań gazu zamkniętego (uwiecznionego), tj. gazu występującego w pierwotnie konwencjonalnym zbiorniku, którego porowatość uległa następnie umiarkowanej redukcji, a przepuszczalność została znacznie zredukowana (co spowodowało zatrzymanie gazu w pułapce złożowej), są w Polsce piaskowce górnego czerwonego spągowca. Możliwość występowania złóż gazu zamkniętego

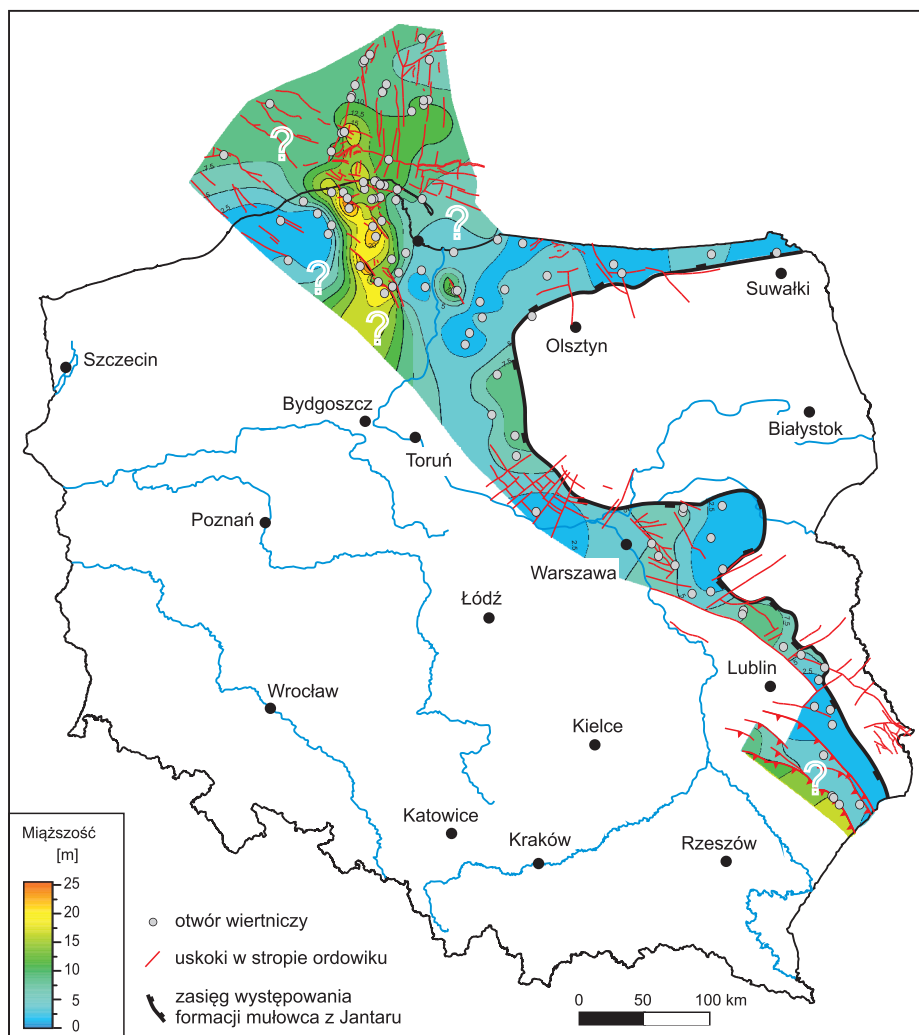


Fig. 7.12. Mapa miąższości iłowców bitumicznych z Jantaru (Podhalańska i zespół, 2018)

w tych utworach wiąże się głównie z kompleksami piaskowców eolicznych o pierwotnie bardzo dobrej porowatości. Największą miąższość piaskowce te mają w centralnym basenie czerwonego spągowca. Z powodu relatywnie słabego rozpoznania wiertniczego kluczowym zagadnieniem jest określenie lateralnego zasięgu występowania głęboko pogrzebanych piaskowców eolicznych w ich relacji do ilasto-piaskowcowych utworów typu playa w centralnej części basenu czerwonego spągowca (Poprawa i Kiersnowski, 2008).

Można przypuszczać, że gaz ziemny w słabo przepuszczalnych piaskowcach czerwonego spągowca występuje na głębokości od 4000 do 6500 m. Obszar zalegania piaskowców eolicznych o słabych cechach zbiornikowych (*tight sands*) obejmuje basen centralny czerwonego spągowca w trzech strefach (na coraz to większej głębokości):

- piaskowce w strefie Poznań–Konin–Kalisz;
- piaskowce eoliczne przykryte utworami typu playa (strefa na NW i N od Poznania);
- piaskowce fluwialne i podrzędnie eoliczne w strefie pomiędzy Koninem, Kutnem i Łodzią.

Potwierdzeniem koncepcji występowania złóż gazu ziemnego w utworach o małej przepuszczalności na znacznej głębokości są wyniki poszukiwań w niemieckiej części basenu czerwonego spągowca (np. wiercenie Leer Z4 o głębokości 4424 m, inne złoża gazu zamkniętego w pułapkach strukturalnych; Schwarzer D. i Littke, 2007). Potencjał zbiornikowy tych głęboko pograżonych piaskowców może być ograniczony w wyniku procesów diagenetycznych (cementacja) oraz kompaktacji, jakkolwiek wtórne procesy rozpuszczania ziaren skałen mogą umożliwić zachowanie słabej porowatości (Seedhouse i in., 1996; Maliszewska i in., 1998). Prawie całkowity brak przepuszczalności (przy zachowaniu przestrzeni porowych) może być atutem w przypadku występowania w polskim basenie czerwonego spągowca systemu BCGS (fig. 7.13). Niekonwencjonalne zbiorniki gazu w systemie BCGS (najczęściej w zwięzłych piaskowcach; *tight gas sands* – TGS) nie występują w tradycyjnych pułapkach strukturalnych lub stratygraficznych i w związku z tym mogą zajmować ogromną kubaturę, dlatego zazwyczaj są to bardzo duże zasoby. Akumulacje gazu w systemie BCGS charakteryzują się przeważnie podwyższonym ciśnieniem oraz w większości przypadków brakiem wody podścielającej (Kiernowski i in., 2010). Kluczowym elementem systemów BCGS jest woda występująca w skale zbiornikowej w postaci związanej lub swobodnej, stanowiąca uszczelnienie ciśnieniowo-kapilarne (*capillary pressure seals*; Law, 2002), z tym że system ten może obejmować również konwencjonalne uszczelnienia w postaci nieprzepuszczalnych barier litologicznych oraz diagenetycznych. Według Meckela i Thomassona (2008) system BCGS jest dynamiczny i ulega ewolucji w czasie, polegającej na nieustannej migracji różnych płynów złożowych (woda-gaz-woda). W rezultacie powstaje system, gdzie w litologicznie niezmiennych kompleksach piaskowców, w spągowej części poziomy zawierające gaz znajdują się w pułapce utworzonej przez wyżej leżące warstwy zawierające wodę (zapora wodna wg Mastersa, 1979), tworzące efektywne uszczelnienie w stropie (fig. 7.13).

Warunki dla występowania gazu zamkniętego spełniają lokalnie również piaszczyste kompleksy w utworach karbońskich w podłożu permsko-mezozoicznego basenu polskiego, przede wszystkim w strefie wielkopolskiej (rejon monokliny przedsudeckiej). Istnieją również przesłanki geologiczne, by brać pod uwagę możliwość występowania gazu ziemnego zamkniętego w utworach fliszowych polskiej części Karpat zewnętrznych i w utworach miocenu zapadliska przedkarpackiego.

Istotne dla występowania gazu zamkniętego i ropy zamkniętej są również utwory kambru, w których przypadku obszarem szczególnie perspektywnym jest wyniesienie Łeby w lądowej i morskiej przyładowej strefie Bałtyku. Skałami zbiornikowymi w wymienionym obszarze są zwięzłe piaskowce środkowego kambru. Potencjalne nagromadzenia ropy zamkniętej mogą występować również we wschodniej części syneklizy perybałtyckiej, gdzie pokrywają się z obszarami potencjalnego występowania konwencjonalnych złóż.

Relatywnie najwyższy potencjał występowania gazu zamkniętego w zachodniej części basenu bałtyckiego w utworach kambru ma **formacja dębowska**, o miąższości nieprzekraczającej 80–100 m, odpowiadająca poziomowi *Paradoxides paradoxissimus* środkowego kambru. Jest ona reprezentowana przez piaskowce, sporadycznie przewarstwiające się z heterolitami piaskowcowo-iłowcowo-mułowcowymi oraz sporadycznie z bardzo cienkimi wkładkami wapieni. W poziomach potencjalnego nasycenia gazem zamkniętym piaskowce wykazują mikroporowy typ struktury (Karczeńska i Żurawski, 1998). W formacji dębowskiej stwierdzono kilka warstw o odpowiednich parametrach petrofizycznych, co wskazuje na możliwość nagromadzenia się w nich gazu zamkniętego, oraz innych, o parametrach korzystnych dla występowania złóż konwencjonalnych. Informacje uzyskane z pomiarów laboratoryjnych próbek rdzenia wiertniczego z 21 głębokich otworów (Paczeńska i Adamczak-Biały, 2018) wskazują, że korzystne dla nagromadzeń gazu zamkniętego porowatość i przepuszczalność na obszarze lądowej części wyniesienia Łeby pogarszają się w przyładowej strefie Bałtyku, a w północnej części obszaru morskiego zanikają całkowicie na korzyść parametrów odpowiednich dla nagromadzeń węglowodorów konwencjonalnych, które tworzą tam złoża o znaczeniu przemysłowym. Wspomniane złoża występują również w lądowej części wyniesienia Łeby, co potwierdza (wraz z objawami węglowodorów w płucze) możliwość występowania nagromadzeń gazu zamkniętego na omawianym obszarze. Znaczną przypływ gazu zamkniętego z piaskowców środkowego kambru nastąpił na wyniesionej strukturze Opalina w północnej, lądowej części wyniesienia Łeby (PGNiG, 2012).

Drugą potencjalnie (umiarkowanie) perspektywną formacją dla gazu zamkniętego w sukcesji środkowego kambru zachodniej części basenu bałtyckiego jest **formacja białogórska**. Jest to formacja o ograniczonym regionalnie zasięgu występowania. Miąższość formacji białogórskiej jest niewielka i waha się od 2 do 10 m. Jej obecność stwierdzono tylko w przyładowej, morskiej i najbardziej na północ wysuniętej, lądowej części wyniesienia Łeby. Formację białogórską budują piaskowce wapieniste z licznymi ziarnami glaukonitu i konkrejami fosforytowymi. Utwory formacji białogórskiej reprezentują najwyższy poziom środkowego kambru *Paradoxides forchhammeri* (Jaworowski, 1997).

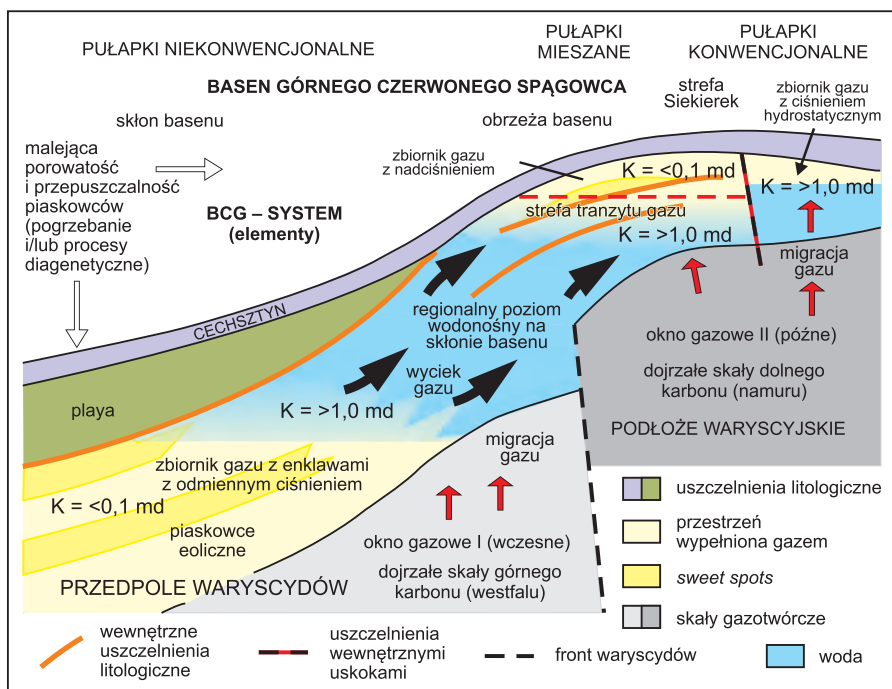


Fig. 7.13. Model akumulacji gazu w nisko przepuszczalnym i konwencjonalnym zbiorniku na przykładzie polskiego basenu czerwonego spławowca (Krzywiec i in., 2017b, zmodyf.)

We wschodniej części basenu bałtyckiego perspektywiczna dla węglowodorów niekonwencjonalnych, głównie ropy zamkniętej, jest najbardziej południowo-zachodnia część tej jednostki. Perspektywiczną formacją skalną są tutaj środkowokambryjskie piaskowce **formacji Łyny** o maksymalnej miąższości nieprzekraczającej 140 m. Formację Łyny reprezentują słabo zwięzłe piaskowce drobno-, średnio- i różnoziarniste o spoiwie węglanowym, z licznymi nodułami wapiennymi i z przewarstwieniami mułowców. W piaskowcach pojawiają się piryty i nieliczny glaukonit. Występuje w nich nieliczna fauna trylobitów, wskazująca, że formacja należy do dolnej części środkowego kambru i reprezentuje poziom *Acadoparadoxides oelandicus* (Lendzion, 1990).

7.2.6. Stan rozpoznania geologicznego

W Polsce początek prac związanych z rozpoznaniem niekonwencjonalnych nagromadzeń węglowodorów w łupkach oraz z określaniem ich potencjalnych zasobów nastąpił w latach 2007–2008, gdy wydano pierwsze koncesje na poszukiwanie gazu i ropy w łupkach.

Według informacji Ministerstwa Środowiska (<http://lupki.mos.gov.pl>) w Polsce w latach 2010–2015 odwiercono 72 nowe otwory poszukiwawcze za gazem i ropą w łupkach. W 25 otworach (pionowych i poziomych) przeprowadzono zabiegi szczelinowania hydraulicznego, a w prawie wszystkich z nich wykonano (lub próbowano wykonać) testy produkcyjne, z rozmaitym skutkiem. Jedynie w kilku otworach poziomych/ krzywionych testy produkcyjne udało się wykonać poprawnie. Głównym celem poszukiwawczym w naszym kraju były łupki niższego paleozoiku w szerokim pasieciągającym się od Łęborka po Zamość (oraz ewentualnie przyległej do północnego krańca tego pasa części polskiej strefy ekonomicznej Bałtyku). W basenach amerykańskich zajmujących porównywalną powierzchnię odwiercono setki i tysiące otworów poszukiwawczych za gazem i ropą w łupkach i otworów produkcyjnych. Istotnym problemem jest nierównomierne rozmieszczenie otworów – na niektórych koncesjach odwiercono po kilka otworów (maksymalnie 8), na niektórych po jednym, a są/ były też (nieliczne) koncesje, gdzie operatorzy nie odwiercili dotąd ani jednego otworu.

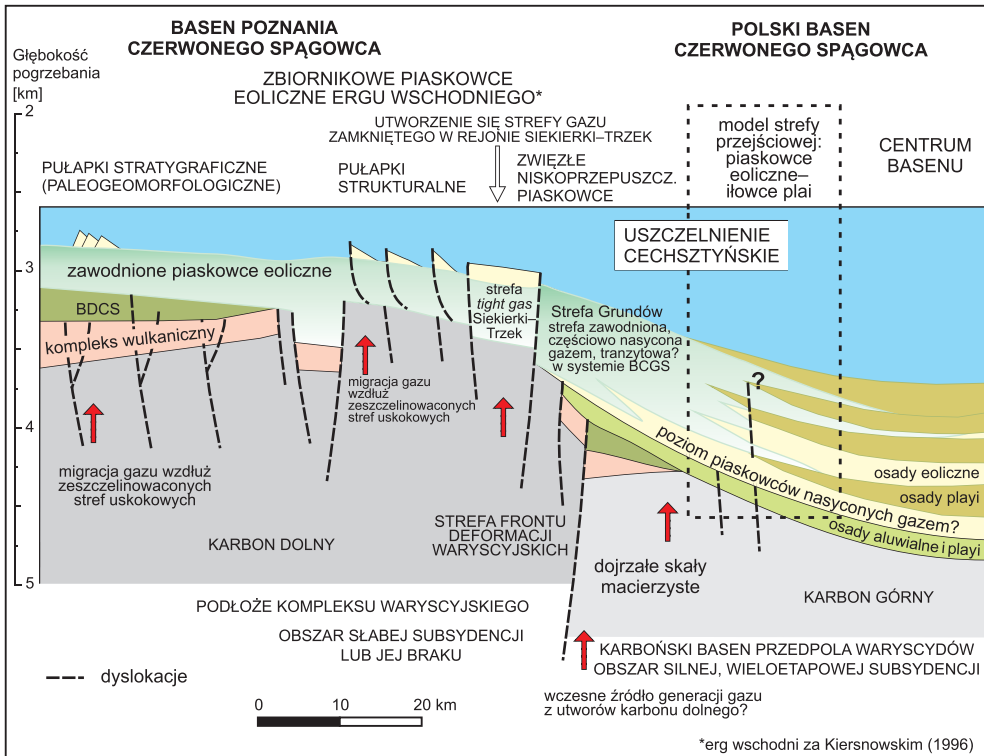


Fig. 7.14. Model występowania złóż gazu w basenie czerwonego spągowca (Kiersnowski i in., 2010)

W tym samym czasie stwierdzono, że np. piaszczyste skały zbiornikowe o niskiej przepuszczalności mogą akumulować znaczne zasoby gazu ziemnego w basenie czerwonego spągowca (fig. 7.14). Przykładem jest odkrycie w rejonie na wschód od Poznania (rejon Siekierki) pierwszego w Polsce niekonwencjonalnego złoża gazu, w utworach górnego czerwonego spągowca, spełniającego kryteria złóż typu *tight gas*. Złoże to zostało odkryte otworem Trzek 1 w 2007 r. przez firmę Aurelian Oil and Gas PLC w słabo przepuszczalnych piaskowcach eolicznych, na głębokości powyżej 3600 m, na bloku koncesyjnym nr 207, na strukturze Siekierki-Pławce (wg Aurelian Oil and Gas PLC, 2007). Istnienie systemu węglowodorowego typu *tight gas* w czerwonym spągowcu zostało ponadto potwierdzone przez kolejne wiercenia (Trzek 2 i 3; Kiersnowski i in., 2010).

7.2.7. Ocena zasobów i ich zmian

W poprzednim *Bilansie* (Górecki, 2011b) nie podano światowych szacunków zasobów wydobywalnych gazu i ropy z łupków, jedynie zasoby gazu w Ameryce Północnej i Europie Zachodniej, zasadniczo bez przytoczenia szczegółowych informacji na temat źródła czy też wiarygodności tych szacunków. Razem było to ok. 35 bln m³ gazu w łupkach, natomiast obecnie według najbardziej optymistycznych szacunków światowe zasoby gazu z łupków wynoszą ok. 214,56 bln m³. W *Bilansie* z 2011 r. podano też informacje na temat szacunkowych zasobów wydobywalnych gazu z łupków w Polsce (1,4–3,0 bln m³; Kuuskraa i Stevens, 2009; Wood Mackenzie, 2009) z wcześniejszych raportów amerykańskich, jednakże stopień wiarygodności tych szacunków był wysoce wątpliwy, zwłaszcza że wspomniane raporty powstały, zanim odwiercono pierwsze otwory „łupkowe” w Polsce. Brak natomiast było w poprzednim *Bilansie* informacji na temat zasobów ropy z łupków. Rozmieszczenie obszarów perspektywnych występowania gazu i ropy z łupków w Polsce ilustruje załącznik 3.

Z uwagi na brak wydobycia gazu i ropy z łupków w Polsce szacunki zasobów technicznie wydobywalnych, oparte na założonych wielkościach średniego całkowitego wydobycia węglowodorów z otworu, są w tej chwili w dalszym ciągu wysoce hipotetyczne. Dostępne informacje dotyczące wyników testów produkcyjnych w otworach poziomych/krzywionych są niedostateczne na potrzeby wiarygodnego określenia średniego całkowitego wydobycia węglowodorów z tych otworów. Z kolei w zależności od tego jak zdefiniuje się złoża gazu i ropy w łupkach (zob. rozdz. 7.2.4) można określić zasoby geologiczne węglowodorów w łupkach, a szacunki zasobów technicznie wydobywalnych można otrzymać, przyjmując (bardzo hipotetyczne) współczynniki wydobycia. Dotychczas opublikowane raporty na temat szacunków zasobów (np. EIA, 2011, 2013; Gautier i in., 2012; Raport PIG-PIB, 2012) w zasadzie nie wykorzystywały informacji, a przynajmniej danych źródłowych dotyczących nowych otworów wierconych za ropą i gazem z łupków. Dopiero w ostatnich latach wykonano w ramach zadań państwowej służby geologicznej oszacowania zasobów geologicznych i technicznie wydobywalnych wykorzystujących dane z nowych otworów, z czego w niniejszym rozdziale przytoczono wyniki najnowszego raportu (Wójcicki i in., 2017), które wskazują na stosunkowo niskie zasoby wydobywalne gazu z łupków (nawet kilkadziesiąt razy niższe od podanych w nagłośnionym przez media raporcie EIA, 2011) w naszym kraju. Wyniki testów produkcyjnych uwzględniono w najnowszym raporcie (Wójcicki i in., 2017) w sposób pośredni, przyjmując (optymistycznie) najbardziej prawdopodobne całkowite wydobycie gazu ziemnego z pojedynczego otworu produkcyjnego w granicach 4–13 mln m³. Istotny jest jednak fakt, że do tej pory nie udokumentowano ani jednego złoża gazu czy ropy z łupków w Polsce. Najwyższą wydajność w testach produkcyjnych osiągnięto w trzech otworach w północnej części województwa pomorskiego (Lebień LE-2H, Gapowo B-1A i Lublewo LEP-1/ST1H), z których uzyskano (w miarę) stabilną produkcję gazu rzędu 10 tys. m³/d (<https://infolupki.pgi.gov.pl/pl>), a więc parokrotnie niższą niż wielkości opłacalne ekonomicznie.

W poprzednim *Bilansie* (Górecki, 2011b) podano światowe zasoby geologiczne gazu zamkniętego (140 bln m³), a zasoby wydobywalne podano jedynie dla USA (4 bln m³ z 11 bln m³ zasobów geologicznych), jednakże bez wskazania źródła danych. Nie zamieszczono tam natomiast informacji na temat zasobów gazu zamkniętego w Polsce. Informacje takie pojawiły się dopiero w raporcie Wójcickiego i in., 2014 dotyczącym trzech najbardziej perspektywicznych i/lub relatywnie najlepiej rozpoznanych kompleksów geologicznych (systemów węglowodorowych) na obszarze Polski, gdzie podano jako najbardziej prawdopodobne zasoby geologiczne gazu zamkniętego wynoszące 1,528–1,995 bln m³ (co dawałoby najbardziej ostrożnie oszacowane zasoby wydobywalne w ilości 153–200 mld m³). Prace te są kontynuowane w ramach realizacji zadań państwowej służby geologicznej.

Jak wspomniano w poprzednim *Bilansie* (Górecki, 2011b), odkrycie pierwszego złoża gazu zamkniętego w Polsce (Siekierki–Pławce, na wschód od Poznania, w obrębie systemu węglowodorowego basenu permńskiego) zainspirowało przemysł naftowy do ponownego przewartościowania wcześniej odkrytych zwiększonych piaszków z objawami gazu. Obiecujące wyniki z rejonu Siekierki–Pławce wskazują, że dzięki osiągniętemu w ostatnich latach postępowi naukowo-technicznemu, poszukiwania złóż gazu zamkniętego mogą dotyczyć nie tylko nowych, nierozpoznanych obszarów (w tym innych systemów węglowodorowych), ale również obiektów rozwierconych, z których pierwotnie nie uzyskano przyływu gazu i które uznano za pozabawione perspektyw złożowych (Buniak i in., 2009; Kiersnowski i in., 2010).

7.2.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Istotne dla ewentualnego przyszłego podjęcia produkcji węglowodorów z łupków w Polsce byłoby przeprowadzenie eksperymentów laboratoryjnych symulujących produkcję węglowodorów z polskich łupków w warunkach złożowych i ewentualnie określenie na podstawie wyników tych eksperymentów i dotychczasowych prac poszukiwawczych związków pomiędzy wynikami testów produkcyjnych a parametrami złożowymi rozpatrywanych formacji geologicznych. Dalszym krokiem powinno być przetestowanie różnych technologii i schematów produkcyjnych na jednym z otworów „łupkowych”. Dopiero wtedy można będzie rzetelnie ocenić wykonalność i opłacalność ekonomiczną wydobycia węglowodorów z polskich łupków.

W przypadku gazu zamkniętego sytuacja wygląda nieco lepiej, ponieważ udało się uzyskać pierwsze wyniki ze złóż gazu zamkniętego w pułapkach konwencjonalnych i nawet bardzo dobre wyniki testów produkcyjnych, natomiast nie udokumentowano jeszcze takich złóż. Dlatego dalszym krokiem powinno być przetestowanie w otworach różnych technologii i schematów produkcyjnych, pod kątem opłacalności ekonomicznej, dla różnych systemów węglowodorowych (basen permski – na razie złoża w pułapkach konwencjonalnych, w dalszej perspektywie w centrum basenu, poniżej poziomów wód złożowych; zapadlisko przedkarpackie; kambra basenu bałtyckiego).

7.3. WĘGIEL BRUNATNY (*BROWN COAL*)

Węgiel brunatny występuje w trzech głównych odmianach (tab. 7.12):

- węgiel brunatny miękki (*ortolignite*) – o najniższym stopniu uwęglenia, charakteryzujący się ciepłem spalania w stanie bezpopiołowym w granicach 6,7–16,5 MJ/kg, całkowitą zawartością wody w granicach 35–75% i refleksyjnością witrzynitu poniżej 0,3%;
- węgiel brunatny twardy matowy (*metallignite*) – o średnim stopniu uwęglenia, charakteryzujący się ciepłem spalania (*ash-free*) w granicach 16,5–19 MJ/kg, całkowitą zawartością wody w granicach 25–35% i refleksyjnością witrzynitu w granicach 0,3–0,45%;
- węgiel brunatny twardy błyszczący (*subbituminous coal*) – o najwyższym w tej grupie węgla stopniu uwęglenia, charakteryzujący się ciepłem spalania (*ash-free*) w granicach 19–25 MJ/kg, całkowitą zawartością wody w granicach 10–25% i refleksyjnością witrzynitu w granicach 0,45–0,65%.

Tab. 7.12. Pozycja węgla brunatnego na tle kaustobiolitów (wg Alperna i in., 1989)

Typ węgla i torf			Całkowita zawartość wody W_r^i [%]	Ciepło spalania Q_{af} [MJ/kg]	Zawartość części lotnych V_{daf} [%]	Refleksyjność witrzynitu w oleju [%]
UN-ECE	ASTM (USA)	Niemcy (DIN)				
Torf	Torf	Torf	75	6,7		
Orto-lignit	Lignit	Węgiel brunatny miękki	35	16,5		0,30
Meta-lignit		Węgiel brunatny matowy	25	19,0		0,45
Węgiel subbitumiczny	Węgiel subbitumiczny	Węgiel brunatny błyszczący	10	25,0	45	0,65
Węgiel bitumiczny	Węgiel bitumiczny o wys. zaw. cz. lotnych	Węgiel długopłomienny			40	0,75
		Węgiel gazowo-płomienny			35	1,00
		Węgiel gazowy				
	Węgiel bitumiczny o śred. zaw. cz. lotnych	Węgiel koksowy (tłusty)		36,0	28	1,20
	Węgiel bitumiczny o nis. zaw. cz. lotnych	Węgiel półkoksowy			19	1,60
					14	1,90
Antracyt	Semiantracyt	Węgiel chudy				
	Antracyt	Antracyt	3	36,0	10	2,20

Używany powszechnie w Polsce termin węgiel brunatny (w odniesieniu do złóż eksploatowanych i perspektywicznych) nie oznacza dokładnie tego samego co w terminologii anglojęzycznej. W przypadku klasyfikacji międzynarodowych lepszym określeniem dla rodzimych węgla brunatnych jest termin lignit, a nawet ortolignit.

Ze względu na przydatność technologiczną węgla brunatnego wyróżnia się różne odmiany tego surowca: węgiel energetyczny (opałowy, kotłowy), węgiel brykietowy, węgiel wylewny, węgiel ekstrakcyjny, węgiel do zgazowania ciśnieniowego (generatorowego), węgiel koksowy i węgiel do uwodorniania. Odmiany te wydziela się na podstawie popielności, wartości opałowej, całkowitej zawartości siarki i składu mikrolitotopów. Wśród tych odmian największe znaczenie gospodarcze ma dziś węgiel energetyczny (Kasztelewicz i in., 2007; Kozłowski Z. i in., 2008; Cała i in., 2012).

7.3.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Węgiel brunatny w Polsce występuje w utworach jury, kredy, paleogenu i neogenu (Ciuk i Piwocki, 1990). Węgiel brunatny twardy związany jest z utworami mezozoicznymi. Jego niewielkie wystąpienia, choć niegdyś eksploatowane, nie mają obecnie znaczenia gospodarczego. Istotne znaczenie przemysłowe mają złoża węgla brunatnego miękkiego, związane głównie z utworami neogenu oraz w mniejszym stopniu paleogenu.

Na obszarze Polski występuje kilka typów genetycznych złóż węgla brunatnego. Do grupy złóż pierwotnych można zaliczyć następujące typy (Kasiński i Piwocki, 2002):

- złoża równi aluwialnej, związane genetycznie z mechanizmami autocyklicznymi, charakteryzujące się niewielką miąższością węgla, znacznym rozprzestrzenieniem i wysoką wartością współczynnika nadkładu – np. Pątnów, Trzcianka;
- złoża równi nadmorskiej (paraliczne), związane genetycznie z mechanizmami autocyklicznymi, charakteryzujące się niewielką miąższością węgla, nieznacznym rozprzestrzenieniem i wysoką wartością współczynnika nadkładu – np. Trzydnik;
- złoża w depresjach tektonicznych, związane genetycznie z mechanizmami allocyklicznymi, charakteryzujące się znaczną miąższością węgla, niewielkim rozprzestrzenieniem i niską wartością współczynnika nadkładu – np. Bełchatów, Turów, Złoczew;
- złoża suberozyjne w nadkładzie wydawników solnych, związane genetycznie z mechanizmami allocyklicznymi, charakteryzujące się znaczną miąższością węgla, niewielkim rozprzestrzenieniem i niską wartością współczynnika nadkładu – np. Rogóźno;
- złoża krasowe w nadkładzie skrasowiaków masywów węglanowych, związane genetycznie z mechanizmami allocyklicznymi, charakteryzujące się średnią miąższością węgla, niewielkim rozprzestrzenieniem i średnią wartością współczynnika nadkładu – np. Łowicz.

Drugą grupę złóż węgla brunatnego stanowią złoża wtórne, związane z wypiętrzonymi strukturami glacytektonicznymi – np. Sieniawa. Złoża glacytektoniczne charakteryzują się miejscami znaczną miąższością (pozorną), bardzo ograniczonym rozprzestrzenieniem i niską wartością współczynnika nadkładu.

7.3.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Największe zasoby węgla brunatnego mają Stany Zjednoczone, Rosja, Chiny i Australia (łącznie prawie 80% światowych zasobów geologicznych). W pierwszej dziesiątce krajów pod względem bazy zasobowej węgla brunatnego znajdują się również Niemcy, Polska, Turcja, Kosowo, Rumunia i Ukraina.

Przy obecnej wielkości wydobycia węgla brunatnego wystarczalność udokumentowanych zasobów geologicznych na świecie jest szacowana na ok. 300 lat (Tajduś i Dubiński, 2011).

Ponieważ znaczna część zasobów prognostycznych węgla brunatnego w Polsce występuje w złożach satelickich dla złóż eksploatowanych, zasoby prognostyczne i perspektywiczne węgla brunatnego powinny być rozpatrywane na tle istniejącej bazy zasobów udokumentowanych. Zasoby węgla brunatnego o cechach bilansowych (udokumentowane i prognostyczne) przedstawiono w tabeli 7.13.

Z zestawienia wielkości zasobów bilansowych węgla brunatnego w Polsce i rocznego wydobycia wynika, że rozpoznane zasoby węgla brunatnego teoretycznie zapewniają wystarczalność w okresie kilkuset lat. W praktyce wystarczalność jest silnie ograniczona przez kilka czynników: warunki geologiczno-górnictwa, konflikt ze środowiskiem naturalnym, konflikt z infrastrukturą, stan prawny własności gruntów, regulacje prawne (w tym na poziomie ponadnarodowym) dotyczące dekarbonizacji gospodarki oraz brak akceptacji społecznej.

Tab. 7.13. Zasoby węgla brunatnego o cechach bilansowych w złożach w Polsce wg stanu na 31.12.2018 r. (wg Kasińskiego i Urbańskiego, 2018; Mazurka S. i Tymińskiego, 2019)

Zasoby	Liczba złóż	Zasoby geologiczne bilansowe [mln Mg]			Zasoby przemysłowe [mln Mg]
		razem	w złożach rozpoznanych szczegółowo kat. A+B+C ₁	w złożach rozpoznanych wstępnie kat. C ₂ +D	
Zasoby udokumentowane	91	23 315,52	5864,84	17 450,68	1047,60
w tym złoża zagospodarowane	9	1224,50	1214,08	10,42	1047,60
w tym złoża niezagospodarowane	73	22 063,56	4627,80	17 435,76	–
w tym złoża zaniechane	9	27,46	22,96	4,50	–
Zasoby prognostyczne	59	18 251,79	24,25	662,16	–
Razem	150	41 567,31	5879,09	18 112,84	1047,60

Złoża węgla brunatnego są zlokalizowane głównie w zachodniej i centralnej części kraju (fig. 7.15). Wybrane złoża z największych rejonów występowania złóż węgla brunatnego w Polsce – zachodniego i wielkopolskiego – zostały omówione w pierwszym tomie *Atlasu geologicznego wybranych złóż węgla brunatnego w Polsce* (dwa pozostałe tomy są w przygotowaniu; Kasiński i in., 2019).

Podczas rozpoznawania i dokumentowania obszarów o zasobach perspektywicznych w wyższych kategoriach następuje z reguły znaczny ubytek zasobów (wielkość zasobów przemysłowych i operatywnych będzie zapewne oscylować w granicach 30–50%), a jednocześnie istnieją poważne ograniczenia możliwości zagospodarowania złóż. Nie zmienia to jednak faktu, że rozpoznane zasoby węgla brunatnego o cechach bilansowych mogą, uwzględniając obecny poziom wydobywania w Polsce, zapewnić wystarczalność statystyczną w okresie ok. 250 lat.

Istnieje realna potrzeba ochrony powierzchni złóż przed rozwojem infrastruktury (Duczmał i in., 2008). Ponieważ złoża węgla brunatnego są z reguły wielkopowierzchniowe, nie jest możliwa ochrona wszystkich rejonów prognostycznych, gdyż wymagałoby to wyłączenia z zagospodarowania znacznych obszarów. Od co najmniej 8 lat wnioskuje się o ustalenie listy najcenniejszych złóż węgla brunatnego, które ze względu na bezpieczeństwo energetyczne państwa powinny być objęte najwyższą klasą ochrony, uwzględniającą brak ich zabudowy na powierzchni. Projekt nowej polityki energetycznej państwa (*Polityka energetyczna...*, 2019) zakłada dalsze wykorzystanie węgla brunatnego w bilansie energetycznym Polski, ale wymaga to konsensusu politycznego.

Choć od wydania poprzedniej edycji *Bilansu* (Wołkowicz S. i in., 2011) nie nastąpiły gruntowne zmiany w otoczeniu prawnym dla funkcjonowania górnictwa węgla brunatnego, to z uwagi na politykę stopniowego ograniczania emisji CO₂ do zagospodarowania dla celów energetyki przewidziano tylko trzy złoża już udokumentowane: Złoczew, Ościslów i Gubin (*Polityka energetyczna...*, 2019). Nie wyklucza to jednak zagospodarowania górnictwa innych złóż na potrzeby przeróbki chemicznej węgla. Wykorzystanie węgla brunatnego na potrzeby lokalne (ciepłownictwo) zostanie w najbliższych latach zredukowane (KWB Sieniawa) w związku z wdrażaniem polityki państwa w zakresie ograniczania tzw. niskiej emisji i spalania w instalacjach domowych paliw niskiej jakości (tzw. pakiet antysmogowy).

Zasoby węgla brunatnego, które mogłyby być przedmiotem opłacalnej eksploatacji, mogą być wyższe w razie zastosowania niekonwencjonalnych metod eksploatacji (eksploatacja hydrootworowa, podziemne zgazowanie termiczne – UCG, biokonwersja węgla w złożu – BUCC; Kasiński i in., 2012). Obecnie w Polsce najbardziej zaawansowane badania dotyczą metody UCG, która była przedmiotem wieloletnich prac prowadzonych przez konsorcjum pod kierownictwem Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach (Hajdo i in., 2011; Bielowicz i Kasiński, 2014; Matl i in., 2014). Podobnie jak w innych krajach, w Polsce nie uzyskano w wyniku tych badań jednoznacznie pozytywnych rezultatów (Matl i in., 2014), które dawałyby już dziś szansę na wykorzystanie metody w skali przemysłowej.

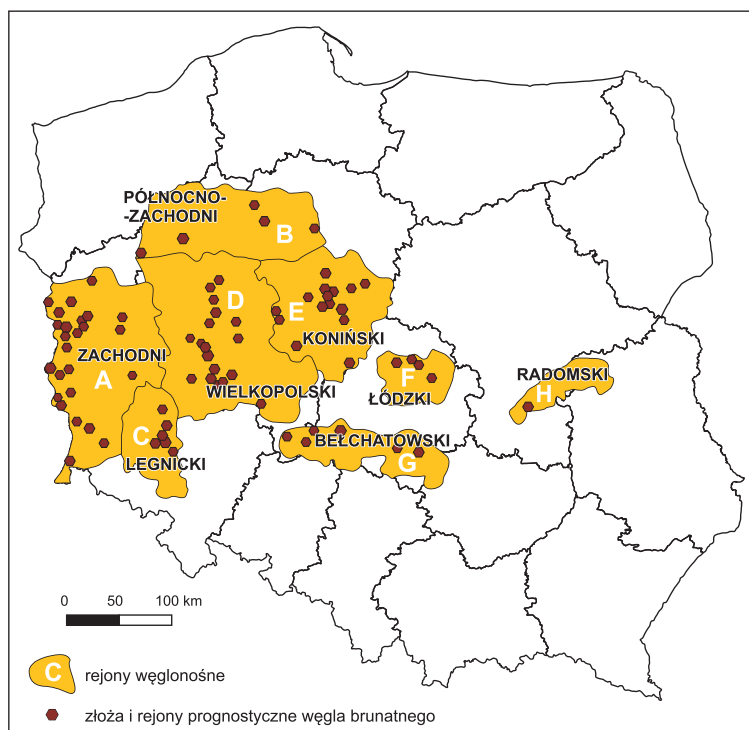


Fig. 7.15. Rejony występowania złóż węgla brunatnego w Polsce (wg Kasińskiego i in., 1991)

7.3.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Graniczne wartości parametrów definiujących złożę węgla brunatnego i jego granice podane w obowiązującym *Rozporządzeniu...* (2015a) dotyczą wyłącznie węgla brunatnego energetycznego eksploatowanego metodą odkrywkową (tab. 7.14).

Od 2011 r. zrezygnowano z kryterium dotyczącego maksymalnej zawartości siarki (*Rozporządzenie...*, 2011a) ze względu na rozwój technologii efektywnego odsiarczania spalin.

W związku z prowadzonymi w ostatnich latach badaniami nad niekonwencjonalnymi metodami eksploatacji węgla brunatnego – UCG, BUCC – w przypadku pierwszej z tych metod zaproponowano inne kryteria bilansowości, które nie zostały jeszcze powszechnie przyjęte i zatwierdzone (tab. 7.15). Podstawowe zagadnienia związane z technologią UCG to:

- wymagana izolacja utworami nieprzepuszczalnymi od powierzchni ziemi;
- wymagana izolacja utworami nieprzepuszczalnymi od użytkowych poziomów wodonośnych;
- pokłady węgla mogą znajdować się głębiej niż dopuszczają kryteria bilansowości w przypadku eksploatacji odkrywkowej, co umożliwi lepszą izolację od powierzchni i powoduje mniejsze amplitudy deformacji na powierzchni ziemi w wyniku osiadania górotworu w obrębie niepodsadzanych próżni po zgazowanych pokładach węgla;
- pokłady węgla mogą charakteryzować się mniejszą miąższością; w tym przypadku ich eksploatacja umożliwi ograniczenie deformacji powierzchni ziemi wskutek osiadania.

Obecnie trwają prace mające na celu sformalizowanie kryteriów bilansowości dla złóż węgla brunatnego przeznaczonych do eksploatacji metodą zgazowania podziemnego (por. tab. 7.15). Prace te są prowadzone przez konsorcjum pod kierownictwem Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.

Tab. 7.14. Graniczne wartości parametrów definiujących złożę węgla brunatnego i jego granice (dotyczy węgla energetycznego eksploatowanego metodą odkrywkową; *Rozporządzenie...*, 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Maksymalna głębokość spągu złoża	m	350
Minimalna miąższość węgla brunatnego w pokładzie	m	3
Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża (liniowy współczynnik nadkładu)	–	12
Minimalna średnia ważona wartość opałowa węgla brunatnego w pokładzie wraz z przerostami, przy wilgotności węgla 50%	MJ/Mg	6500

Tab. 7.15. Proponowane kryteria bilansowości dla złóż węgla brunatnego przeznaczonych do eksploatacji metodą zgazowania podziemnego

Parametr (wg Nowaka J. i in., 2011a, b)	Jednostka	Wartość brzeżna
Minimalna głębokość spągu złoża	m	150
Minimalna miąższość węgla brunatnego w pokładzie	m	2
Minimalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża (liniowy współczynnik nadkładu)	–	12
Minimalna średnia ważona wartość opałowa węgla brunatnego w pokładzie wraz z przerostami, przy wilgotności węgla 50%	MJ/Mg	6500
Maksymalna zawartość części lotnych	%	50
Maksymalna popielność	%	20
Maksymalna wilgotność naturalna	%	55
Maksymalna zawartość siarki	%	4

7.3.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Do oceny zasobów prognostycznych i perspektywicznych węgla brunatnego wykorzystano zawarte w obowiązujących przepisach prawa graniczne wartości parametrów definiujących złożę i jego granice stosowane do obliczania udokumentowanych zasobów węgla energetycznego (zob. tab. 7.14).

7.3.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Utwory węglonośne paleogenu i neogenu występują w Polsce na powierzchni ok. 165 tys. km² i są związane prawie wyłącznie z basenem sedymentacyjnym Niżu Polskiego i jego basenami satelickimi we wschodniej strefie marginalnej basenu Pramorza Północnego. W profilu paleogenu i neogenu Niżu Polskiego – od paleocenu po górny miocen – wyróżnia się dziesięć pokładów węgla, które można korelować w skali regionalnej (fig. 7.16–19).

Wśród tych pokładów znaczenie gospodarcze ma tylko jeden pokład węgla, występujący w utworach paleogenu na powierzchni ok. 7700 km² – oligoceński **V pokład czempiański** (fig. 7.17A). Pokład ten osiąga znaczną miąższość (do 45 m) jedynie w kilku złożach (m.in. Rogóżno i obszar perspektywiczny Łanięta), z których żadne nie jest dotychczas eksploatowane. Niewielkie znaczenie ma także najstarszy pokład mioceni – **IV pokład dąbrowski** (fig. 7.17B), występujący na obszarze 7000 km² (złoża: Gubin, Gubin-Zasieki-Brody, Ścinawa). Istotniejsze pod względem ekonomicznym są młodsze pokłady występujące w utworach miocenu: **III pokład ścinawski** (fig. 7.18A), rozprzestrzeniony na obszarze ok. 30 000 km² i osiągający miąższość do 35 m (złoża: Bełchatów, Mosty, Ścinawa), **II pokład łużycki** (fig. 7.18B), zajmujący powierzchnię ok. 61 000 km² o miąższości do 40 m (złoża: Czempin, Gostyń, Krzywiń, Lubstów, Mosina, Namrowice, Radomierzyce, Szamotuły, Turów), a w zapadliskach tektonicznych nawet do 250 m (złożo Beł-

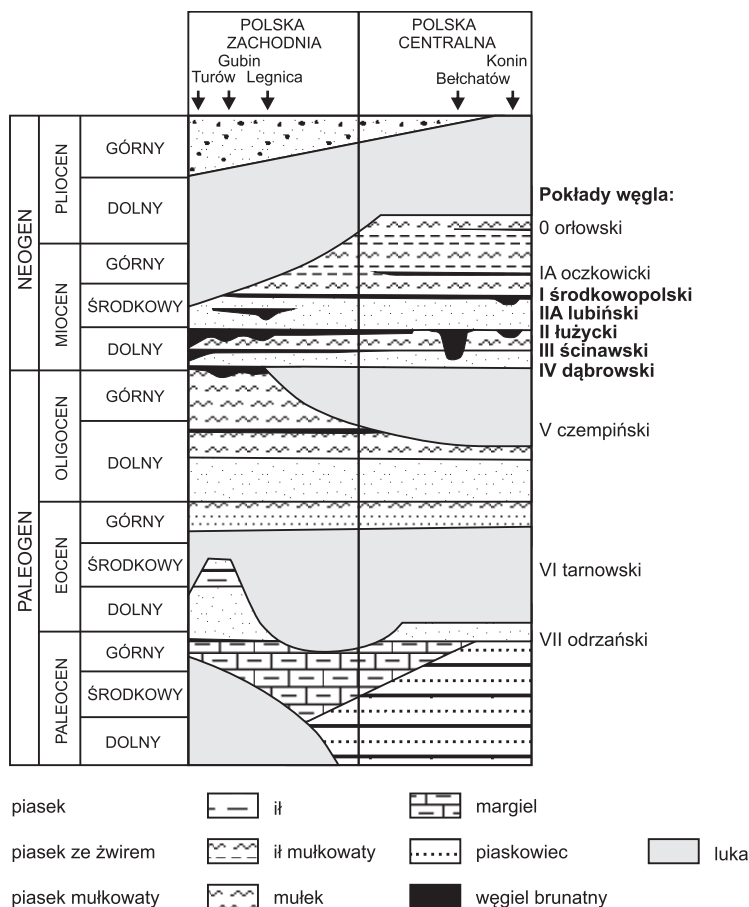


Fig. 7.16 Syntetyczny profil stratygraficzny węglonośnej asocjacji brunatnowęglowej paleogenu i neogenu na Nizinie Polskiej (wg Kasińskiego, 2011b)

chatów), oraz **I pokład środkowopolski** (fig. 7.19), występujący na powierzchni ok. 70 000 km² i o miąższości do 20 m (złoża rejonu konińskiego).

Według stanu na 31.12.2018 r. spośród 91 udokumentowanych złóż węgla brunatnego eksploatuje się 9 złóż, a do zagospodarowania przygotowuje się obecnie dwa dalsze złoża: Złoczew w rejonie bełchatowskim i Ościslów w rejonie konińskim.

7.3.6. Stan rozpoznania geologicznego

Wystąpienia węgla brunatnego na terenie Niziny Polskiej zostały po II wojnie światowej dokładnie rozpoznane pod kątem eksploatacji odkrywkowej. Na potrzeby gospodarki krajowej oprócz bilansu zasobów udokumentowanych cyklicznie dokonywano oceny wielkości zasobów perspektywicznych. Trzy ostatnie takie oceny dotyczyły stanu na koniec 1980 r. (Ciuk, 1986), 1990 r. (Piwocki, 1993) i 2009 r. (Kasiński, 2011b). Ponadto w minionym dwudziestolecu powstały liczne publikowane i niepublikowane opracowania zbiorcze (Ciuk i Piwocki, 1990; Piwocki i in., 2004, 2005; Kasiński i in., 2006) zawierające kompleksowe dane na temat perspektywicznych zasobów węgla brunatnego. Szczególną pozycję zajmuje tu *Aktualizacja bazy zasobów złóż węgla brunatnego w Polsce*, opracowana w Państwowym Instytucie Geologicznym w latach 2002–2004 (Piwocki i in., 2004). Dane zawarte w ostatnim *Bilansie* (Kasiński, 2011b) uzupełnione

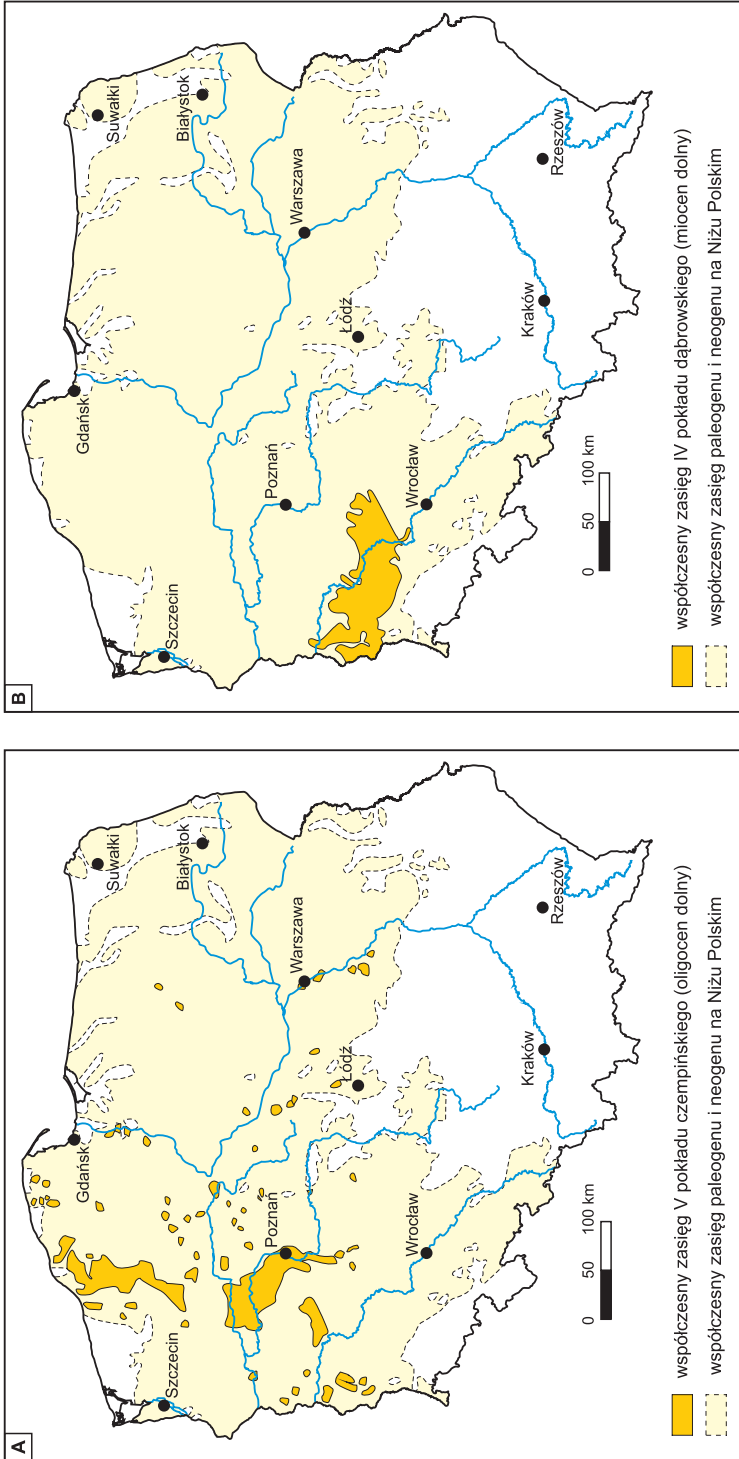


Fig. 7.17. Mapa zasięgu węgla brunatnego na Nizinie Polskiej (wg Piwockiego, 1992, 1998; Kasiniego i Saturnusa, 2010).
A – V pokład czempieski, B – IV pokład dąbrowski

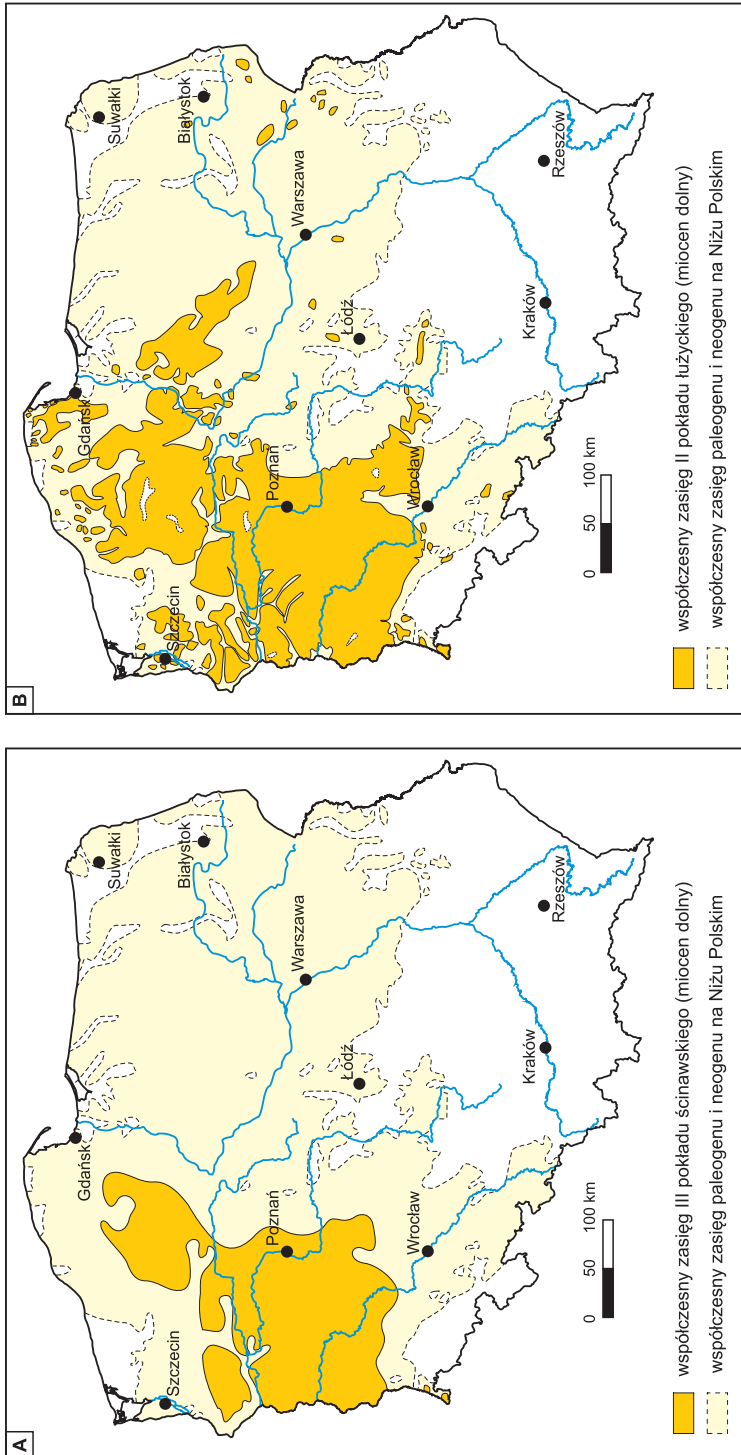


Fig. 7.18. Mapa zasięgu węgla brunatnego na Nizinie Polskiej (wg Piwockiego, 1992, 1998; Kasńskiego i Saturnusa, 2010).
A – III pokład ścinawski, B – II pokład luzycy

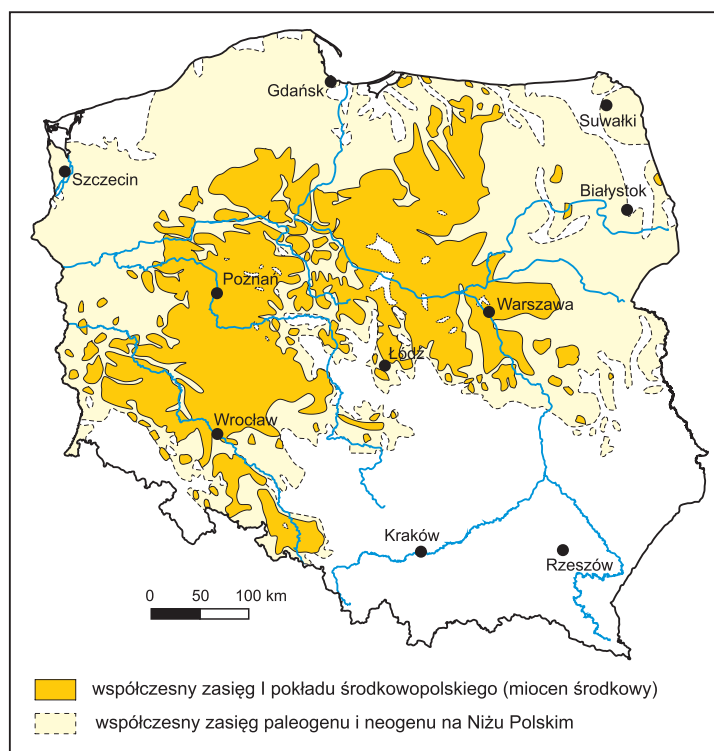


Fig. 7.19. Mapa zasięgu węgla brunatnego na Nizinie Polskiej (wg Piwockiego, 1992, 1998; Kasińskiego i Saturnusa, 2010) – I pokład środkowopolski

wynikami kwerendy w bazie danych Systemu Gospodarki i Ochrony Bogactw Mineralnych MIDAS i analizą arkuszy *Mapy Geośrodowiskowej Polski w skali 1:50 000* stały się podstawą do wyznaczenia obszarów prognostycznych występowania węgla brunatnego.

Rezerwę zasobową węgla brunatnego stanowią oszacowane zasoby prognostyczne, które można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- zasoby prognostyczne w złożach udokumentowanych, w tym:
 - zasoby o formalnych kategoriach rozpoznania (B , C_1 , C_2 i D) nieujęte w dokumentacji ze względu na obliczenie zasobów dokonane według innych, dziś nieaktualnych kryteriów bilansowości;
 - zasoby o formalnych kategoriach rozpoznania (B , C_1 i C_2 i D) obliczone na podstawie prac geologicznych wykonanych po zatwierdzeniu dokumentacji i z różnych powodów dotychczas nieewidencjonowane wskutek braku zatwierdzenia dodatku do dokumentacji geologicznej;
 - zasoby o nieformalnych kategoriach rozpoznania (dawniej D_1 i D_2), niezatwierdzone w dokumentacji z powodu niskiego stopnia rozpoznania;
- zasoby w rejonach prognostycznych (nieudokumentowanych).

Według aktualnych danych stan zasobów prognostycznych węgla brunatnego o cechach bilansowych wynosi w Polsce 18 251,79 mln Mg (zob. tab. 7.13)

7.3.7. Ocena zasobów i ich zmian

Można z dużym prawdopodobieństwem założyć, że ze względu na wysoki stopień rozpoznania utworów paleogenu i neogenu na obszarze Polski nie ma większych szans na odkrycie nieznanych dotychczas obszarów węglonośnych, na których występowałyby nieznane dotąd złoża węgla brunatnego o wielkich zasobach,

rzędu miliardów megagramów. Nadal istnieje jednak możliwość odkrycia złóż średnich i małych o znaczeniu ekonomicznym na obszarach występowania pokładów węgla. Poszukiwania nowych złóż mają szczególny sens w szeroko pojętym sąsiedztwie wszystkich istniejących kompleksów górniczo-energetycznych, których zasoby wkrótce ulegną wyczerpaniu. Rozmieszczenie obszarów perspektywicznych występowania węgla brunatnego w Polsce ilustruje załącznik 3.

Od wydania poprzedniego *Bilansu* w 2011 r. (Wołkowicz S. i in., 2011) w funkcjonowaniu podmiotów wydobywczych nastąpiły istotne zmiany. PAK KWB Adamów S.A. zakończyła w 2012 r. wydobywanie węgla ze złoża Władysławów (odkrywką Władysławów), a w 2016 r. – ze złoża Koźmin (odkrywką Koźmin) mimo nieszczerpania zasobów przemysłowych. Kontynuacja wydobywania ze złoża Adamów (odkrywką Adamów) jest prowadzona już tylko na niewielką skalę (do 1 mln Mg/rok) na potrzeby elektrowni konińskich, po wyłączeniu na koniec 2017 r. z pracy systemowej Elektrowni Adamów. PAK KWB Konin S.A. od 2009 r. nie prowadzi już wydobywania w odkrywce Lubstów (złoża Lubstów i Lubstów Północ), a od 2011 r. także w odkrywce Kazimierz Północ (złoża Pątnów III). Obecnie działają trzy odkrywki: Józwin IIB na złożu Pątnów IV, Drzewce na złożu Drzewce i Tomisławice na złożu Tomisławice. Funkcjonujące obecnie odkrywki Bełchatów i Turów (PGE GIEK S.A.) dalej prowadzą wydobywanie ze złóż Bełchatów-pole Bełchatów oraz Turów na potrzeby elektrowni Bełchatów i Turów, a od 2009 r. prowadzone jest wydobywanie z odkrywki Szczerców ze złoża Bełchatów-pole Szczerców. W województwie lubuskim KWB Sieniawa Sp. z o.o. prowadzi wydobywanie węgla na niewielką skalę (ok. 100 tys. Mg/rok) ze złoża glacictektonicznego Sieniawa 1 i 2.

Od poprzedniego *Bilansu* zaszyły również zmiany w ilości zasobów prognostycznych (Nieć i Salamon, 2016). Największe znaczenie miał tu program *Aktualizacja bazy zasobowej 17 wybranych złóż węgla brunatnego Polski*, realizowany w latach 2009–2011 przez konsorcjum pod kierunkiem Państwowego Instytutu Geologicznego. Istotą projektu było sporządzenie lub aktualizacja dokumentacji złożowej obiektów najbardziej wartościowych z punktu widzenia gospodarki w jednym z trzech poniższych przypadków:

- złóż rozpoznanych wstępnie, niemających dotychczas dokumentacji geologicznej, o zasobach szacunkowych przedstawionych w półoficjalnie stosowanych dawniej kategoriach dokumentowania D₁, D₂ i D₃;
- złóż udokumentowanych według dawnych kryteriów bilansowości, odmiennych niż obecnie obowiązujące i z reguły bardziej restryktywnych;
- złóż, na których obszarze od czasu wykonania ostatniej dokumentacji przeprowadzono dalsze prace geologiczno-rozpoznawcze czy dokumentacyjne, w istotny sposób zmieniające model budowy geologicznej i rozmiary złoża, co nie znalazło odbicia w dokumentach formalnych.

W wyniku realizacji programu zasoby udokumentowane złóż węgla brunatnego wzrosły o 8322 mln Mg kosztem zasobów prognostycznych (tab. 7.16, fig. 7.20). Dalsze zmniejszenie zasobów prognostycznych nastąpiło w wyniku późniejszego udokumentowania dodatkowych zasobów w złożach gubińskich (Gubin, Gubin 1, Gubin 2), Oczkowice i Złoczew.

Szczególnie istotne znaczenie mogą mieć zasoby prognostyczne węgla brunatnego znajdujące się w rejonach prognostycznych satelickich w stosunku do istniejących obecnie zespołów górniczo-energetycznych, których wykorzystanie mogłoby przedłużyć aktywność produkcyjną tych obiektów (Kozłowski Z. i in., 2008). Pozyskanie tych zasobów pozwoli na dalszą eksploatację istniejących (w większości ostatnio zmodernizowanych) zakładów energetycznych. W świetle założeń polityki energetycznej państwa (*Polityka energetyczna...*, 2019) w tej kategorii za perspektywiczne uznaje się złoża Złoczew oraz Ościslów.

Dla zagospodarowania nowych złóż kluczowe znaczenie będą mieć innowacje we wdrażaniu niskoemisyjnych technologii oraz związane z alternatywnym wykorzystaniem węgla brunatnego. W procesie naziemnego zgazowania węgla brunatnego można uzyskać gaz syntezowy, który odznacza się mniejszą emisyjnością CO₂ i umożliwia łatwiejsze zbilansowanie podaży z popytem. Gaz syntezowy może być wykorzystany w elektroenergetyce i w ciepłownictwie, a ponadto do produkcji metanolu (półprodukt do wytwarzania benzyn syntetycznych) i wielu innych produktów chemicznych.

Jako obszary złożowe przewidziane do różnych form zagospodarowania mogą być brane pod uwagę przede wszystkim trzy kompleksy złożowe (Kasiński i Młynarczyk, 2016): kompleks złóż gubińskich wokół przewidywanych do eksploatacji udokumentowanych złóż Gubin, Gubin-1 i Gubin-2 w rejonie zachodnim (I; fig. 7.21), charakteryzujący się występowaniem węgla bardzo dobrej jakości (tab. 7.17), kompleks złóż legnickich w rejonie legnickim (II) i złoża systemu rowów poznańskich (III). Największe oszacowane zasoby prognostyczne w ilości 10 494,4 mln Mg w kompleksie złóż legnickich, na obszarze prognostycznym Ścinawa-Głogów oraz w otoczeniu złoża Ścinawa, kilkakrotnie przewyższają wielkością zasoby udokumentowane tego kompleksu (Piwocki i Kasiński, 2006).

Tab. 7.16. Zasoby przeniesione z grupy prognostycznych do grupy udokumentowanych w wyniku realizacji projektu z lat 2009–2011

Nazwa złoża	Rok dokumentacji	Kategoria udokumentowania		Zasoby węgla [mln Mg]		
		pierwotna	wynikowa	pierwotne	wynikowe	zmiana
Gubin-Zasieki-Brody	–	brak	D	–	2019,0	+2019,0
Legnica Północ	1968	C ₂	C ₂	1025,4	1723,0	+697,6
Lubsko	–	brak	D	–	340,7	+340,7
Lęki Szlacheckie	–	brak	D	–	83,0	+83,0
Mosina	–	brak	C ₂	–	1495,4	+1495,4
Nakło	–	brak	D	–	245,3	+245,3
Naramowice	–	brak	D	–	296,3	+296,3
Oczkowice	–	brak	C ₂	–	143,0	+143,0
Radomierzycze	–	brak	C ₂	–	349,1	+349,1
Radziejów	–	brak	D	–	43,0	+43,0
Rogóźno	1960	C ₂	C ₂	571,3	838,4	+267,1
Ruja	–	brak	D	–	345,1	+345,1
Szamotoły	–	brak	D	–	746,3	+746,3
Ścinawa	1961	C ₂	C ₂	1075,0	1767,0	+692,0
Węglewice	–	brak	D	–	50,0	+50,0
Więcbork	–	brak	D	–	509,1	+509,1
Ogółem				2671,7	10 993,7	+8322,0

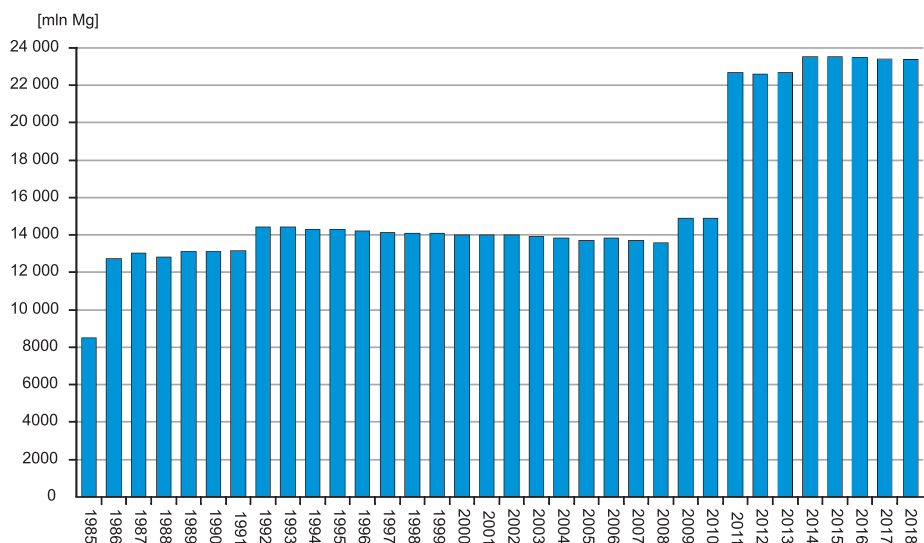


Fig. 7.20. Zmiany udokumentowanych zasobów węgla brunatnego od 1985 r. (wg Kasińskiego i Urbańskiego, 2018 i Bilansu zasobów)

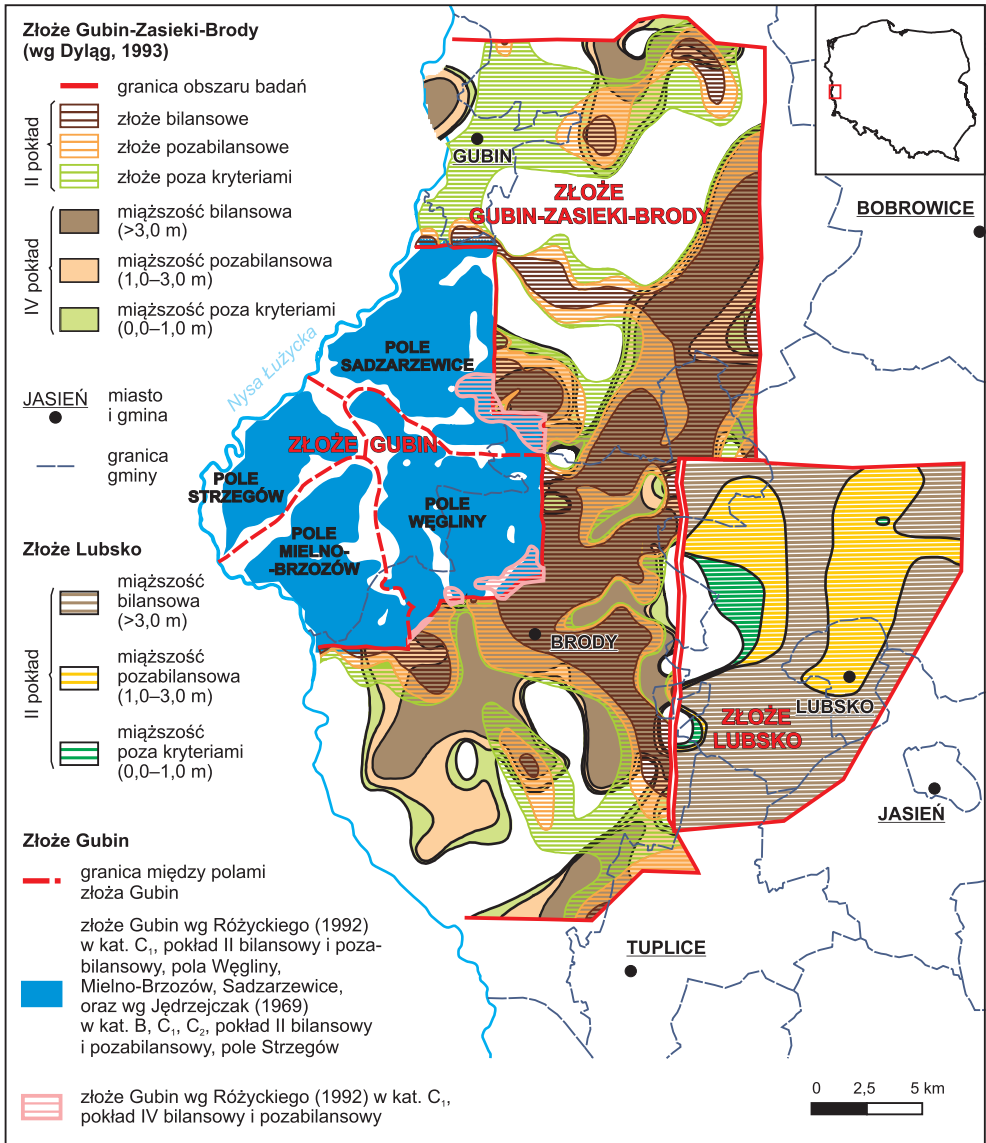


Fig. 7.21. Obszary węglonośne możliwe do zagospodarowania w rejonie gubińskim (wg Kasińskiego, 2009)

Tab. 7.17. Parametry chemiczno-technologiczne węgla brunatnego w kompleksie złóż gubińskich (wg Bogacza i in., 2009; Dyląg i in., 2010; Kasińskiego i in., 2010)

Parametr	Symbol	Jednostka	Złoże Gubin			Złoże Gubin-Zasieki-Brody			Złoże Lubsko		
			min.	średnio	max.	min.	średnio	max.	min.	średnio	max.
Wartość opałowa	O_i^r	MJ/Mg	7092	9177	11 705	5460	9536	10 843	8090	9514	10 333
Popielność	A^d	%	7,68	16,52	30,24	8,17	17,83	40,11	8,17	17,25	32,08
Całkowita zawartość siarki	S_t^d		0,44	1,63	7,23	0,46	2,66	8,29	0,62	2,43	5,18
Siarka palna	S_c^d		0,02	0,43	1,30	0,17	1,79	5,34	0,13	1,68	3,28
Siarka popiołowa	S_A^d		0,01	0,22	0,94	0,04	0,84	2,86	0,62	0,87	1,25
Zawartość piasku	P^d		0,16	4,64	16,41	0,01	5,35	25,82	2,09	5,78	11,73
Zawartość bituminów	B^d		1,21	3,51	5,57	1,32	3,13	5,37	6,93	6,93	6,93
Wydajność prąmoły	T_{sk}^d		2,53	10,98	14,28	5,30	11,13	15,62	9,41	9,41	9,41
Zawartość ksyliku	K_c^s		b.d.	b.d.	b.d.	0,00	2,50	35,50	0,00	2,63	8,53
w tym ksylił włóknisty	K_w^s		b.d.	b.d.	b.d.	0,00	0,05	2,50	0,00	0,18	2,54
Zawartość sodu	$(Na_2O)^d$		0,02	0,14	0,59	0,03	0,24	0,29	0,02	0,10	0,19
Zawartość potasu	$(K_2O)^d$								0,01	0,04	0,05
Zawartość chloru	Cl^d		b.d.	b.d.	b.d.	0,01	0,02	0,07	0,07	0,07	0,07
Zawartość wapnia	$(CaO)^d$		b.d.	b.d.	b.d.	0,97	1,73	2,54	b.d.	b.d.	b.d.

b.d. – brak danych

Kolejnym zagadnieniem jest rozpoznanie bazy zasobowej na potrzeby niekonwencjonalnych metod eksploatacji węgla brunatnego, wśród których na pierwszy plan wysuwa się termiczne zgazowanie węgla w złożu. W tym przypadku mogą być brane pod uwagę pokłady węgla znajdujące się znacznie głębiej, niż te przeznaczone do eksploatacji odkrywkowej, jak również pokłady o miąższości mniejszej niż przyjęta w obowiązujących przepisach prawa dotyczących granicznych wartości parametrów definiujących złożę i jego granice (dawniej: kryteria bilansowości; *Rozporządzenie...*, 2015a).

7.3.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Działania, które należy podjąć w celu rozwiązania problemów związanych z rozwojem pozyskiwania węgla brunatnego, można podzielić na cztery grupy:

1. Działania legislacyjne w zakresie pozycji węgla brunatnego jako surowca strategicznego w polityce energetycznej państwa i w prawie geologicznym i górnictwym.
2. Rozpoznanie geologiczne – wprowadzenie systemu ochrony złóż niezagospodarowanych w planach zagospodarowania przestrzennego.
3. Rozpoznanie geologiczne na potrzeby rozwoju bazy surowcowej w kategorii C_2 .
4. Rozpoznanie geologiczne na potrzeby niekonwencjonalnych metod eksploatacji.

Działania legislacyjne. Istotnym elementem, który może zapewnić zarówno realną ochronę powierzchni złóż, jak i zmniejszenie trudności związanych z podjęciem eksploatacji, jest nadanie węglowi brunatnemu statusu surowca strategicznego z punktu widzenia przyjętej polityki energetycznej państwa (*Polityka energetyczna...*, 2019). Nowe prawo geologiczne i górnicze może przyczynić się w praktyce do dopuszczenia stoso-

wania wywłaszczeń w celu umożliwienia podjęcia eksploatacji złóż węgla brunatnego na zasadach podobnych do wywłaszczeń w celu budowy infrastruktury komunikacyjnej.

Dokumentowanie na potrzeby ochrony złóż. Złóża węgla brunatnego, poza nielicznymi wyjątkami, są obecnie eksploatowane na całym świecie metodą odkrywkową. Choć podjęto prace nad adaptacją niekonwencjonalnych metod w eksploatacji złóż węgla brunatnego, głównie metodą podziemnego zgazowania, na skalę przemysłową zostaną one zastosowane jeszcze nieprędko.

Ponieważ zgodnie z zapisami prawa geologicznego i górniczego (*Ustawa...*, 2011) oraz ustawy o zagospodarowaniu przestrzennym (*Ustawa...*, 2003) teren złoża powinien podlegać ochronie przed niewłaściwym wykorzystaniem i być dostępny do eksploatacji teraz bądź przez następne pokolenia, ochrona złóż powinna polegać głównie na chronieniu powierzchni nad nimi przed zabudową, która mogłaby utrudnić bądź uniemożliwić ich późniejsze wykorzystanie. Przeprowadzenie przez złoża autostrady, budowa nad nim osiedla mieszkaniowego czy zakładu przemysłowego może tak poważnie zwiększyć koszty jego przyszłej eksploatacji, że stanie się ona nieopłacalna. Właściwy cykl inwestycyjny powinien zatem obejmować następujące etapy:

- rozpoznanie złoża,
- ujęcie złoża w krajowym bilansie zasobów,
- wpisanie złoża do regionalnego i miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego.

Oczywiście nie wszystkie złoża węgla brunatnego mają jednakową wartość, dlatego bezwzględnie chronione powinny być tylko złoża najcenniejsze, o znaczeniu strategicznym dla gospodarki kraju. W przypadku złóż mniej wartościowych bardziej racjonalne ze społecznego punktu widzenia może być inne wykorzystanie przestrzeni nad złożem. Z tego powodu podstawowe zagadnienie stanowi właściwa waloryzacja złóż prowadzona na bieżąco.

W celu przygotowania danych niezbędnych do podjęcia przemyślanej decyzji lokalizacyjnych, a także intensyfikacji koniecznej ochrony złóż węgla brunatnego w Państwowym Instytucie Geologicznym przeprowadzono kompleksowe prace nad aktualizacją zasobów złóż węgla brunatnego (Piwocki i in., 2004) i ich waloryzacją pod kątem ekonomicznym, geosrodowiskowym i społecznej akceptacji potencjalnej inwestycji (Kasiński i in., 2006). Prace te prowadzono w Państwowym Instytucie Geologicznym w ramach kompleksowej waloryzacji złóż wybranych kopalni do 2017 r. (m.in. Radwanek-Bąk i in., 2015). W ich wyniku wytypowano złoża najkorzystniejsze pod kątem warunków potencjalnego zagospodarowania postrzeganych wielowariantowo (tab. 7.18). Złoża zestawione w tabeli 7.18 powinny podlegać bezwzględnej ochronie w celu umożliwienia ich późniejszego zagospodarowania.

Rozpoznanie na potrzeby rozwoju bazy zasobowej. W związku z przemianami gospodarczymi, jakie zaszły w Polsce po 1989 r., praktycznie zaprzestano poszukiwania i rozpoznawania nowych złóż kopalni ze środków publicznych. Ponieważ prace poszukiwawcze złóż węgla brunatnego są długotrwałe, kosztowne i obciążone (mimo postępu metod badawczych) znacznym ryzykiem, podmioty gospodarcze w zasadzie

**Tab. 7.18. Ranking złóż węgla brunatnego najkorzystniejszych do zagospodarowania
(wg Kasińskiego i in., 2006; Radwanek-Bąk i in., 2015)**

Lp.	Nazwa złoża	Rejon (fig. 7.15)	Powierzchnia [km ²]	Zasoby bilansowe [mln Mg]	Średnia miąższość węgla [m]	Liniowy wsp. nakładu
1.	Gubin	Zachodni	106,8	1346,5	20,6	6,7
2.	Złoczew	Bełchatowski	9,8	612,0	51,5	5,0
3.	Rogóżno	Łódzki	18,8	836,4	35,6	4,3
4.	Mosty	Zachodni	20,5	458,2	9,3	8,0
5.	Szamotoły	Wielkopolski	75,5	746,3	23,1	7,6
6.	Oczkowice		72,0	996,3	12,8	9,7
7.	Legnica Wschód	Legnicki	38,1	839,3	18,1	7,6
8.	Legnica Zachód		37,3	863,6	21,0	6,6
9.	Torzym	Zachodni	51,7	1112,8	21,5	8,0
10.	Rzepin		20,4	249,5	12,8	7,6

Tab. 7.18. cd.

Lp.	Nazwa złoża	Rejon (fig. 7.15)	Powierzchnia [km ²]	Zasoby bilansowe [mln Mg]	Średnia miąższość węgla [m]	Liniowy wsp. nadkładu
11.	Ruja	Legnicki	17,7	345,1	16,8	5,0
12.	Legnica Północ		68,4	1723,0	22,0	6,7
13.	Ścinawa		81,4	1767,0	21,3	9,4
14.	Mosina	Wielkopolski	51,2	1495,4	32,1	6,8
15.	Gubin-Zasieki-Brody	Zachodni	97,2	2019,0	22,9	6,2
16.	Lubsko		26,8	343,2	12,8	8,7
17.	Gostyń	Wielkopolski	49,2	1998,8	33,7	6,3
18.	Krzywiń		18,1	711,1	33,3	7,1
19.	Radomierzycze	Zachodni	16,7	349,1	17,6	4,5
20.	Dęby Szlacheckie	Koniński	15,1	112,6	8,4	8,6
21.	Naramowice	Wielkopolski	12,3	296,3	28,0	5,8
22.	Czempiń		25,5	1034,6	28,8	7,6

ograniczają prace dokumentacyjne do znanych już złóż, dokumentując je na własne potrzeby w wyższych kategoriach rozpoznania. Stałym postulatem środowiska jest przeniesienie, w odniesieniu do surowców o znaczeniu strategicznym, ryzyka prac poszukiwawczych na państwo. W przypadku sukcesu potencjalny inwestor, w świetle obowiązujących przepisów, i tak będzie zobligowany do zwrotu kosztu ich wykonania.

Rozpoznanie na potrzeby niekonwencjonalnych metod eksploatacji. Wiele wystąpień węgla brunatnego, szczególnie tych położonych głębiej niż 350 m, z oczywistych względów nie było dotychczas dokumentowanych. Z tej przyczyny ewentualne wdrożenie niekonwencjonalnych technologii wydobywania węgla brunatnego wymaga: zdefiniowania nowych kryteriów bilansowości i wykonania zupełnie nowych prac dokumentacyjnych. Należy wziąć pod uwagę, że prace dokumentacyjne, których celem powinno być uzyskanie dokładnego modelu budowy złoża, powinny być bardziej szczegółowe niż w przypadku złóż przeznaczonych do eksploatacji odkrywkowej. Wynika to z faktu, że w toku eksploatacji metodami niekonwencjonalnymi (w przeciwieństwie do eksploatacji podziemnej czy odkrywkowej) nie ma możliwości uzupełniania informacji o budowie złoża i korygowania błędów w projekcie zagospodarowania na bieżąco. W chwili obecnej można wskazać, że prace dokumentacyjne powinny być w pierwszej kolejności prowadzone we wskazanym wcześniej rejonie perspektywnym Ścinawa-Głogów, gdzie zasoby węgla brunatnego są znaczne, ale pokłady w przeważającej części zalegają na głębokości większej niż określona w aktualnie obowiązujących kryteriach bilansowości. Drugim podobnym potencjalnym rejonem jest obszar głębokiego zalegania podłoża kenozoiku w okolicach Pyrzyc i Myśliborza w województwie zachodniopomorskim.

Janusz Jureczka, Adam Ihnatowicz, Paulina Kotlarek, Włodzimierz Krieger, Maciej Młynarczyk

7.4. WĘGIEL KAMIENNY (*HARD COAL*)

Węgiel kamienny (*hard coal* w znaczeniu górniczym) należy do kopalin energetycznych z szeregu węglowego: torf, węgiel brunatny, węgiel kamienny, antracyt. W Polsce granicę między węglem brunatnym a kamiennym określa wartość opałowa 17,5 MJ/kg, co w stosunku do klasyfikacji międzynarodowych oznacza objęcie terminem węgiel kamienny również węgli subbitumicznych i bitumicznych (*subbituminous coal*, *bituminous coal* w znaczeniu geologicznym, por. tab. 7.12). Polska norma klasyfikacji węgla kamiennego (PN-G-97002:2018-11) wyróżnia szereg typów technologicznych węgla, które obejmują cztery grupy: węgiel energetyczny (typ 31–33), koksowy (typ 34–37), specjalny (typ 38 i 41) i antracyt (typ 42–43).

7.4.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Powstanie złóż węgla kamiennego jest złożonym procesem przemian nagromadzonej materii organicznej pod wpływem czynników klimatycznych, biochemicznych, paleogeograficznych, geologicznych i geochemicznych. Depozycja osadów węglonośnych następowała w warunkach przybrzeżnych (paralicznych), z okresowymi zalewami morskimi i przy zróżnicowanym udziale osadów morskich, lub wyłącznie w warunkach lądowych – sedymentacji osadów rzecznych i jeziornych. Istotne znaczenie miały również warunki geotektoniczne, które wpłynęły na budowę strukturalną utworów węglonośnych oraz ich miąższość.

W Polsce węgiel kamienny występuje w trzech zagłębiach: Górnośląskim (GZW), Dolnośląskim (DZW) i Lubelskim (LZW), związanych z ewolucją obszarów waryscyjskiego systemu górotwórczego i obszarów do nich przyległych. Zagłębia te mają różną pozycję geotektoniczną (fig. 7.22) i powstały w zróżnicowanych środowiskach sedymentacji karbońskich osadów węglonośnych:

- DZW związane jest ze śródgórską strefą orogenu i stanowi końcowy człon pasma kontynentalnych permo-karbońskich zagłębi masywu czeskiego (Pešek, 2001); utwory węglonośne deponowane były w warunkach lądowych.
- GZW położone jest w zapadlisku przedgórskim powstałym przez ugięcie płyty przedgórza w procesie jej kolizji ze strefą wewnętrzną orogenu (Kotas, 1985); utwory węglonośne były deponowane w warunkach paralicznych i lądowych.
- LZW (wraz z jego przedłużeniem – Zagłębiem Lwowsko-Wołyńskim), położone w rowie mazo-wiecko-wołyńskim, należy do zapadliska perykratonicznego związanego ze strefą graniczną platformy wschodnioeuropejskiej z platformą epipaleozoiczną (Porzycki, 1988a); utwory węglonośne reprezentują paraliczny (z dużym udziałem utworów morskich) i lądowy charakter sedymentacji.

7.4.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Światowe zasoby węgla kamiennego (antracytu i węgla bitumicznego) rozpoznane i przygotowane do eksploatacji (*proved reserves*) według *BP Statistical Review of World Energy* (2019) wynoszą 734,9 mld Mg. Największe zasoby znajdują się w: USA (220,2 mld Mg, 30,0% zasobów światowych), Chinach (130,9 mld Mg, 17,8%), Indiach (96,5 mld Mg, 13,1%), Rosji (69,6 mld Mg, 9,5%) i Australii (70,9 mld Mg, 9,6%). Przy założeniu wydobycia rządu 6,72 mld Mg rocznie (dane z 2018 r.) współczynnik wystarczalności tych zasobów (*R:P – reserves-to-production*) wynosi 109 lat. Zasoby perspektywiczne, słabiej rozpoznane i niebędące przedmiotem eksploatacji (*resources*), według Federal Institute for Geosciences and Natural Resources BGR Energy Study (BGR, 2019) wynoszą 17 708 mld Mg (dla węgla o wartości energetycznej $\geq 16,5$ MJ/kg); kraje o największym potencjale zasobowym to: USA (6458 mld Mg, 36,5% światowych zasobów), Chiny (5331 mld Mg, 30,1%), Rosja (2658 mld Mg, 15,0%) i Australia (1543 mld Mg, 8,7%). Łączna wielkość zasobów (*total resources*) w skali światowej wynosi ok. 18,4 bln Mg.

Zasoby Polski w powyższych zestawieniach mieszczą się na dalekich miejscach. Zasoby przygotowane do eksploatacji oszacowano na 19,8 mld Mg (2,8% zasobów światowych i 86,5% zasobów krajów Unii Europejskiej), natomiast perspektywiczne – na 160,9 mld Mg (0,9% zasobów światowych, 34,3% zasobów krajów UE).

Według stosowanych w Polsce kryteriów dokumentowania złóż, krajowe bilansowe zasoby węgla kamiennego wynoszą 61 436 mln Mg (stan na dzień 31.12.2018 r.), w tym 69,6% stanowi węgiel energetyczny,

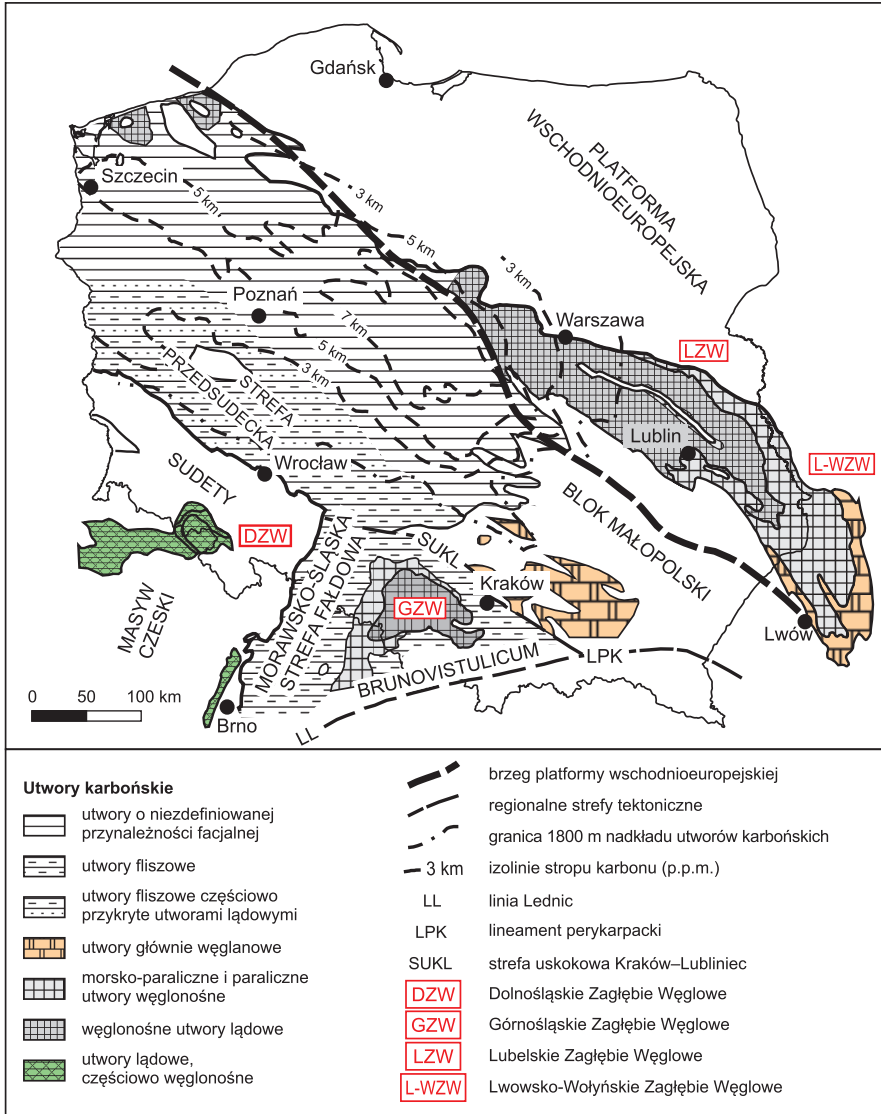


Fig. 7.22. Pozycja geotektoniczna polskich zagłębi węglowych (Kotas i Porzycki 1984, zmodyf. Jureczka i Nowak G.J., 2016)

29,1% koksowy, a 1,3% to pozostałe typy węgla (Malon i Tymiński, 2019a). Zasoby geologiczne złóż zagospodarowanych wynoszą 22 308 mln Mg (36,3% zasobów bilansowych), a zasoby przemysłowe – 2913 mln Mg. Zakładając roczne wydobycie węgla na poziomie 63,9 mln Mg (łącznie wydobycie z 2018 r.), ustalone zasoby przemysłowe wystarczą na ok. 45–60 lat ciągłej eksploatacji. Jeśli wykorzystane zostaną zasoby ze złóż dotąd niezagospodarowanych wystarczalność może wynieść ok. 100 lat (Kasiński i Młynarczyk, 2016). Głównym zagłębem węglowym Polski jest GZW, w którym znajduje się blisko 80% krajowych zasobów węgla kamiennego. W LZW znajduje się ok. 19% zasobów, natomiast w DZW – 1%.

7.4.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Obowiązujące kryteria wyznaczania złóż węgla kamiennego określają graniczne wartości parametrów definiujących złożę, według *Rozporządzenia...* (2015a) – tabela 7.19. Istotne znaczenie ma głębokość dokumentowania złoża, ustalona na 1250 m, która odzwierciedla obecne technologiczne możliwości eksploatacji, uzasadnione ekonomicznie.

Tab. 7.19. Graniczne wartości parametrów definiujących złożę dla węgla kamiennego i jego granice
(*Rozporządzenie...*, 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Maksymalna głębokość dokumentowania	m	1250
Minimalna miąższość węgla kamiennego w pokładzie wraz z przerostami do 30 cm	m	0,6
Minimalna średnia ważona wartość opałowa węgla kamiennego w pokładzie łącznie z przerostami	MJ/kg	15

7.4.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

W *Bilansie* według stanu na 31.12.2009 r. obszary występowania potencjalnych złóż węgla kamiennego podzielono na hipotetyczne, perspektywiczne i prognostyczne (Jureczka i in., 2011), przy czym podział ten zróżnicowano w poszczególnych zagłębiach. W niniejszym opracowaniu utrzymano ten podział i pewien indywidualizm zasad wyznaczania perspektyw zasobowych każdego zagłębia, ze względu na istotne różnice w ich budowie geologicznej i w stopniu rozpoznania oraz w stanie udokumentowania i zagospodarowania złóż. Podstawą szacowania zasobów były aktualne kryteria wyznaczania złóż węgla kamiennego (tab. 7.19), przy czym jako minimalną miąższość pokładu węgla przyjęto 1,0 m, co bardziej odpowiada obecnym warunkom technologicznym i ekonomicznym prowadzenia eksploatacji. Tylko dla LZW, w rejonie przygranicznym z Zagłębiem Lwowsko-Wołyńskim, w którym są eksploatowane pokłady o miąższości od 0,6 m, utrzymano tę wartość jako minimalną dla pokładów formacji z Dębina.

W **Dolnośląskim Zagłębiu Węglowym** potencjalne obszary perspektywiczne dla złóż węgla kamiennego mogą występować na przedłużeniu pól eksploatacyjnych byłych kopalń rejonu Wałbrzycha i Nowej Rudy w kierunku południowym, południowo-zachodnim i zachodnim, gdzie utwory węglonośne karbonu występują na większej głębokości (przynajmniej od 600–700 m i więcej). Na obszarach tych Bossowski (1992), na podstawie danych geologiczno-złożowych z przylegających kopalń i z odwierconych otworów rozpoznawczych, wyznaczył 11 parcel obliczeniowych zasobów o łącznej powierzchni 85 km². Hipotetyczne zasoby węgla kamiennego, oszacowane według ówczesnych kryteriów bilansowości do głębokości 1600 m, wynosiły 232 mln Mg. W niniejszym opracowaniu szacunki te zweryfikowano do głębokości 1250 m i dla minimalnej grubości pokładów węgla 1,0 m.

W **Górnośląskim Zagłębiu Węglowym**, tak samo jak w poprzedniej edycji *Bilansu* (Jureczka i in., 2011), wyznaczono obszary prognostyczne i perspektywiczne złóż węgla kamiennego. Szacowanie zasobów w tych obszarach ograniczono do głębokości 1250–1300 m (rzędnej –1000 m n.p.m.), co uzasadniają warunki geologiczno-górnice (w tym szczególnie temperatura górotworu) oraz techniczne i ekonomiczne możliwości potencjalnej eksploatacji. Podstawą obliczenia zasobów dla obszarów prognostycznych były dokumentacje geologiczne złóż, a dla obszarów perspektywicznych – atlasy geologiczno-złożowe (Kwarciński, 1999; Jureczka i in., 2005), opracowania regionalne oraz otwory wiertnicze. Szacunki zasobów na obszarach prognostycznych, obliczone na podstawie map pokładowych i parcel zasobowych, odznaczają się precyzją i wysokim stopniem prawdopodobieństwa. Zasoby o charakterze perspektywicznym obliczane były na podstawie średniej węglozasobności danego obszaru. W stosunku do zasobów prognostycznych odznaczają się niższym stopniem prawdopodobieństwa wielkości oszacowanych zasobów.

Zasoby prognostyczne oszacowano według następujących zasad:

- wybrano zasoby obejmujące spągowe części dawniej dokumentowanych złóż (na ogół przed 1994/1995 r.), obecnie nieujęte w krajowym rejestrze zasobów;
- zasoby tej grupy złóż obliczono dla pokładów węgla o miąższości co najmniej 1,0 m, występujących na głębokości od 1000 m (lub innej aktualnej głębokości spągowej danego złoża) do 1250–1300 m;
- granice poszczególnych obszarów przyjęto według granic ówczesnie dokumentowanych złóż; w stosunku do obecnych granic mogą wystąpić niewielkie różnice, jeżeli w międzyczasie granice tych złóż uległy zmianie.

Zasoby perspektywiczne są to pozostałe potencjalne zasoby w zagłębiu oszacowane do głębokości ok. 1250–1300 m (–1000 m n.p.m.) dla pokładów węgla o miąższości co najmniej 1,0 m, w górotworze, którego zasoby węgla nie były do tej pory dokumentowane ze względu na słaby stan rozpoznania, niewielką węglizasobność lub przyjmowaną wcześniej maksymalną głębokość dokumentowania 1000 m. Zasoby te obejmują dwie grupy:

- A – zasoby poniżej złóż dokumentowanych do głębokości 1000 m, obliczone na podstawie sumarycznej węglizasobności pokładów o miąższości co najmniej 1,0 m (granice tych obszarów perspektywicznych pokrywają się dokładnie z granicami istniejących złóż).
- B – zasoby poza udokumentowanymi złożami, w zasięgu utworów węglonośnych o sumarycznej węglizasobności wynoszącej minimum 1,0 m (dla pokładów o miąższości co najmniej 1,0 m), od stropu karbonu do rzędnej –1000 m n.p.m. (głębokość rzeczywista ok. 1250–1300 m); obszary zasobowe wyznaczono metodą bloków geologicznych; w tej grupie zasobów mieszczą się również zasoby w złożach niezagospodarowanych, skreślonych z ewidencji.

W **Lubelskim Zagłębiu Węglowym** ocenę zasobów prognostycznych i perspektywicznych przeprowadzono dla obszarów usytuowanych poza złożami rozpoznanymi w kategoriach A–C₂, pod warunkiem, że grubość nadkładu jest mniejsza niż 1000 m. Obszary te rozpoznane są otworami wiertniczymi, których wyniki umożliwiają przeprowadzenie oceny ilościowej i jakościowej węgla. Podobnie jak w poprzednim *Bilansie* (Jureczka i in., 2011), wydzielono trzy regiony oceny zasobów: północny, centralny i południowy. W tych regionach jako zasoby prognostyczne uznano zasoby występujące do głębokości 1000 m. Poniżej tej głębokości, do 1250 m, oszacowano zasoby perspektywiczne, rozpoznane pojedynczymi otworami wiertniczymi, poprzez ekstrapolację wyników wierceń z rozpoznanych obszarów złożowych. Obszary zasobów prognostycznych ze względu na głębokość zalegania stropu karbonu podzielono na dwie podgrupy:

- I – pod nadkładem utworów mezozoiczno-kenozoicznych o miąższości do 750 m,
- II – pod nadkładem o miąższości od 750 do 1000 m oraz na obszarze na południe od uskoku Włodzimierza Wołyńskiego (fig. 7.23 na str. 106).

Poniżej głębokości 1250 m na obecnym etapie rozpoznania geologicznego nie ma możliwości oceny wielkości zasobów.

7.4.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Dolnośląskie Zagłębie Węglowe

Dolnośląskie Zagłębie Węglowe (450 km²) położone jest pomiędzy Wałbrzychem a Nową Rudą i obejmuje północno-wschodnią część synklinorium śródsudeckiego (Sudety Środkowe). Synklinorium śródsudeckie charakteryzuje się skomplikowaną tektoniką uskoku. Zróżnicowane litologicznie skały paleozoiku i mezozoiku są reprezentowane przez skały osadowe i wulkaniczne, tworzące wychodnie na powierzchni terenu. W rejonie od Wałbrzycha po Nową Rudę skały osadowe karbonu i permu zapadają na SW ku centrum synklinorium pod średnim kątem ok. 15–25°. Lokalnie kierunki i kąty upadu warstw mogą być odmienne, jak np. w bezpośrednim sąsiedztwie wulkanicznego masywu Chełmca (na zachód od Wałbrzycha), gdzie upad warstw dochodzi do 80°. Silne zestromienie warstw w tym rejonie powoduje, że miejscami pokłady węgla kamiennego występują bezpośrednio przy powierzchni terenu.

Sedymentację osadów węglonośnych karbonu (górny missisip oraz pensylwan) rozpoczynają utwory lądowe formacji z Wałbrzycha (namur A–B) o miąższości do ok. 300 m. W ich obrębie, w rejonie Wałbrzycha, stwierdzono 28 pokładów węgla, natomiast w rejonie Nowej Rudy – 32 pokłady. Powyżej zalegają utwory formacji z Białego Kamienia (namur B – westfal A), której miąższość w rejonie Wałbrzycha osiąga 380 m i która zawiera dwa pokłady węgla. Serię węglonośną DZW kończy formacja z Żaclerza (westfal A–C), o miąższości 200–950 m, z 48 pokładami węgla kamiennego. Występujące wyżej karbońskie utwory

formacji z Glinika (stefan A–C), o miąższości 140–850 m, są praktycznie bezwęglowe. Miąższość pokładów węgla rozpoznanych na obszarze DZW jest zróżnicowana (od kilkudziesięciu centymetrów do kilku metrów; Bossowski i Ilnatowicz, 2006). Węgle kamienne należą do różnych typów, przy czym przeważają węgle koksowe, specjalne i antracyty, znacznie mniejsze znaczenie mają węgle energetyczne. Z występowaniem pokładów węgla związana jest obecność dwutlenku węgla i metanu.

Górnśląskie Zagłębie Węglowe

Górnśląskie Zagłębie Węglowe jest położone w południowej Polsce oraz w rejonie ostrawsko-karwińskim w Republice Czeskiej. Jego obszar wynosi ok. 7250 km², w tym na terenie Polski ok. 5650 km² (Jureczka i in., 2005). Podłoże karbonu budują utwory prekambriu, kambriu i dewonu. Karbon rozpoczyna się od asocjacji węglanowej, przechodzącej w morskie utwory klastyczne, a następnie w molasowe utwory węglonośne (missisip i pensylwan), które rozdzielone są na cztery główne jednostki litostratygraficzne reprezentujące przedział czasowy od namuru A po westfal D. W najwyższej części profilu karbonu (stefan) występują już utwory bezwęglowe. Nadkład karbonu stanowią głównie utwory triasu, miocenu i czwartorzędu, rzadziej permu i jury, a w południowej części zagłębia także skały nasunięcia karpackiego (górnjej kredy i paleogenu).

Charakterystyczną cechą utworów węglonośnych karbonu jest ich wyraźna dwudzielność. Starszą część profilu tworzą utwory wykształcone w warunkach sedymentacji paralicznej, z wyraźnie zaznaczającymi się wpływami okresowych zalewów morskich, litostratygraficznie określane jako seria paraliczna (namur A). Pozostałą, młodszą część profilu tworzą utwory wykształcone wyłącznie w warunkach lądowych, zalegające na utworach paralicznych z luką stratygraficzną. Sedymentację lądową rozpoczyna górnśląska seria piaskowcowa (namur A–C). Drugą jednostką litostratygraficzną utworów lądowych jest seria mułowcowa (westfal A–B), a sedymentację karbonu produktywnego kończy krakowska seria piaskowcowa (westfal B–D). Największe miąższości utworów węglonośnych są notowane w zachodniej części zagłębia, w kierunku wschodnim zaznacza się wyraźna stopniowa redukcja miąższości. Kompilowana miąższość utworów węglonośnych sięga 8500 m.

W GZW występują różne typy węgla kamiennego, od węgla energetycznych, przez koksowe do węgla specjalnych i antracytu, przy czym znaczenie mają tylko węgle energetyczne i koksowe. Węgle koksowe w zasięgu eksploatacji występują w zachodniej części zagłębia, a na ograniczonych obszarach także w części centralnej. W pozostałej części GZW dokumentowane i eksploatowane są wyłącznie węgle energetyczne. Nasycenie profilu karbonu pokładami węgla jest duże, lecz nierównomierne i zmienne lateralnie. Maksymalną liczbę wkładek i pokładów węgla ocenia się na ok. 520, a sumaryczną miąższość na ok. 340 m (tab. 7.20).

Tab. 7.20. Węglonośność i węglozasobność serii litostratygraficznych karbonu Górnśląskiego Zagłębia Węglowego

Seria	Maksymalna miąższość serii [m]	Maksymalna liczba warstw węgla	Liczba pokładów węgla	Maksymalna sumaryczna miąższość węgla [m]	Węglonośność [%]
Krakowska seria piaskowcowa	1640	38	26	48	2,93
Seria mułowcowa	2000	158	71	112	5,6
Górnśląska seria piaskowcowa	1100	61	23	80	7,27
Seria paraliczna	3780	263	114	99	2,62
Utwory węglonośne – łącznie	8520	520	234	339	3,98

Lubelskie Zagłębie Węglowe

Karbon węglonośny LZW tworzy kilka regionalnych jednostek strukturalnych, ale tylko w trzech, tj. w synklinie Stoczek-Dorohucza, synklinie Bogdanki i synklinie Kumowa (Zdanowski, 1999), występują złoża węgla kamiennego. Obszar złożowy podzielono na trzy regiony: północny do uskoku Hanny, centralny do uskoku Udału i południowy do granicy z Ukrainą (fig. 7.23). W profilu karbonu węglonośnego wydzielono trzy serie: morsko-paraliczną, paraliczną i limniczną.

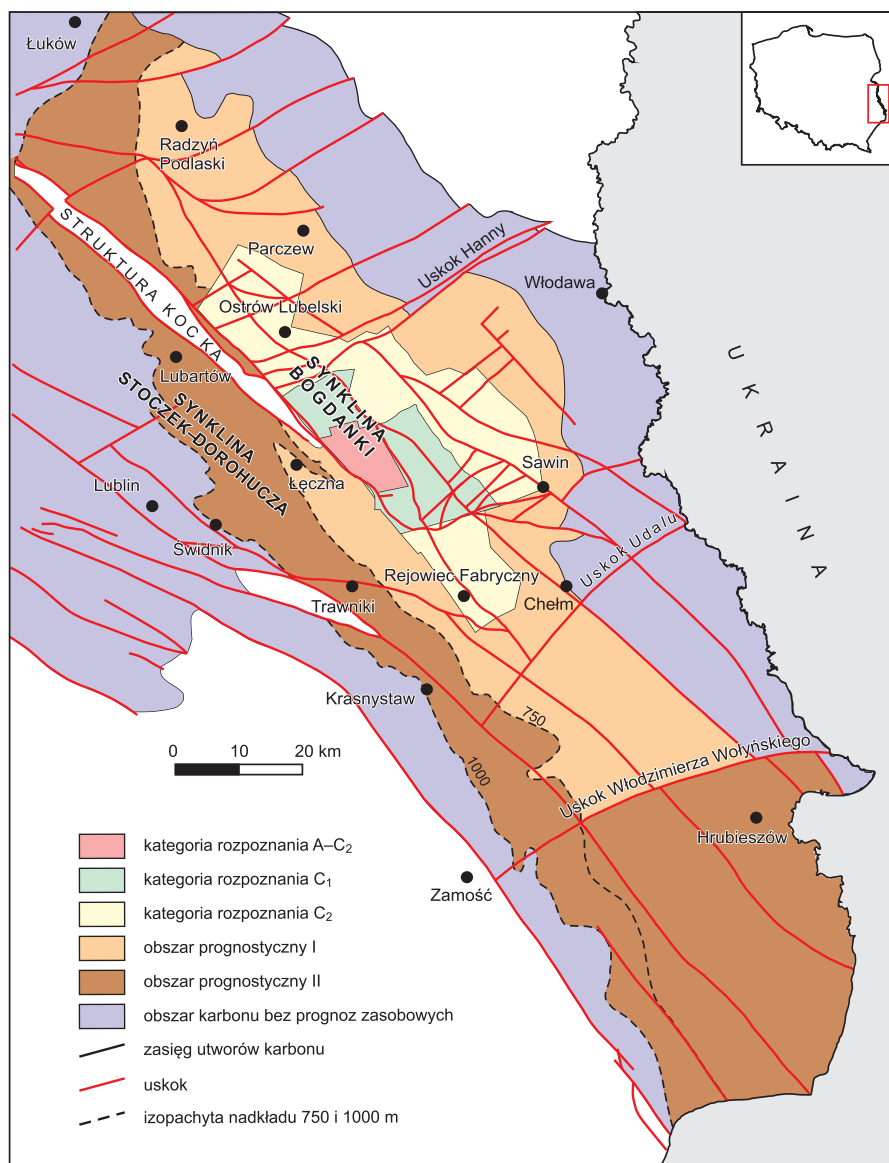


Fig. 7.23. Obszary perspektyw zasobowych złóż węgla kamiennego w Lubelskim Zagłębiu Węglowym

Serię morsko-paraliczną, węglanowo-iłowcową, w górnej części z ławicami piaskowców, tworzą formacje Huczwy i Terebina (missisip-wizen i serpuchow). Miąższość węgla z tych utworów rzadko przekracza 0,4 m (Porzycki i Zdanowski, 1988). Pokłady grubsze do 2,0 m rozpoznano pojedynczymi otworami pomiędzy Chelmem a Parczewem; ze względu na lokalny zasięg nie mają one znaczenia gospodarczego (Shulga i Zdanowski, 2007).

Niezgodnie, z luką stratygraficzną przypadającą na późny serpuchow i wczesny baszkir, wyżej zalegają utwory serii paralicznej (pensylwan – wczesny baszkir). Ich dolną część, formację z Dębina – ogniwo Bugu,

budują utwory mułowcowo-piaskowcowe z cienkimi warstwami wapieni i margli oraz pokładami węgla o miąższości 0,6–1,0 m. Pokłady grubsze lokalnie osiągają ponad 1,2 m. Ich rozprzestrzenienie na obszarze LZW z uwzględnieniem granicznych wartości parametrów złóż węgla jest ograniczone do części południowej i północno-wschodniej. W poprzednim *Bilansie* (Jureczka i in., 2011) sygnalizowano ich występowanie w strefie przygranicznej z Ukrainą. Górną część formacji z Dębłina – ogniwo Kumowa budują utwory piaskowcowe, przedzielone pakietem skał mułowcowo-iłowcowych z dwoma–trzema warstewkami węglanowymi i maksymalnie pięcioma wkładkami węgla, z których lokalnie dwie spełniają kryteria wartości granicznych złóż węgla. Lokalnie w rejonie Włodzimierza Wołyńskiego na Ukrainie maksymalna miąższość pokładów tej części profilu karbonu przekracza 2,0 m.

Seria limniczna jest główną serią węglonośną karbonu LZW; znajduje się w utworach formacji z Lublina zaliczanej do późnego baszki. Budują ją skały iłowcowo-mułowcowe z wkładkami piaskowców i pokładami węgla. Liczba pokładów zależy od miąższości zachowanych utworów omawianej formacji i zmienia się od kilku w strefie wychodni jej spągu na powierzchni stropu karbonu do ponad 75 w osiowej części synkliny Stoczek-Dorohucz (Zdanowski, 1999), z czego do 30 to pokłady spełniające warunki graniczne. Jest to najlepiej rozpoznana część profilu karbonu lubelskiego, z udokumentowanymi złożami w kategorii A–C₂, z których jedno jest eksploatowane.

Najmłodsza seria utworów karbońskich, zwana formacją z Magnuszewa, zaliczana do wczesnego moskoku, jest zbudowana ze skał iłowcowych lokalnie przeławianych mułowcami oraz rzadziej piaskowcami. Występujące w niej wkładki węglowe są cienkie i w zasadzie nie osiągają miąższości 0,6 m. Utwory te występują w zachodniej części LZW w synklinie Stoczek-Dorohucz i w obniżeniu Puław (Zdanowski, 1999).

Strop karbonu zapada od ok. 500 m w rejonie Włodawy do 1250 m na zachód od Lublina. Zachodnią granicę Lubelskiego Zagłębia Węglowego wyznacza izopachyta 1000 m nadkładu. Nadkład karbonu budują utwory permu i triasu w okolicach Łukowa, jury między Łukowem a Zamościem i Hrubieszowem i kredy na obszarze całego LZW. Neogen występuje w formie nieregularnych płatów, a czwartorzęd tworzy ciągłą, kilkumetrową grubości pokrywę.

7.4.6. Stan rozpoznania geologicznego

Dolnośląskie Zagłębie Węglowe

W DZW od początku XIX w. prowadzono rozpoznanie geologiczne węglonośnych formacji karbońskich, w dużej części metodami górniczymi. W końcowym okresie wydobywania węgla kamiennego działało tu pięć dużych kopalni, trzy w rejonie Wałbrzycha (Thorez, Wałbrzych, Victoria) i dwie w rejonie Nowej Rudy (Nowa Ruda-Piast, Nowa Ruda-Słupiec). Proces likwidacji kopalń został zakończony w 2000 r., a pozostałe zasoby węgla przeklasyfikowano do pozabilansowych. Przyczyną zakończenia eksploatacji było na ogół wyczerpanie zasobów. Niewielkie niewyeksplloatowane zasoby znajdują się w trudnych warunkach geologicznych, co ma istotne znaczenie dla ewentualnego wznowienia wydobywania.

W 2012 r. zasoby węgla kamiennego DZW ponownie przeklasyfikowano do bilansowych w ilości 359 720 tys. Mg. W 2014 r. w ramach prac rozpoznawczych wykonano nowe dokumentacje (dodatki do dokumentacji) złóż węgla kamiennego Nowa Ruda, Pole Piast – Rejon Lech i Rejon Waclaw oraz odwiercono 8 otworów wiertniczych o głębokości do 1000 m. Na tej podstawie udokumentowano nowe złoża Nowa Ruda Pole Piast Rejon Waclaw-Lech. Z kolei w 2016 r. udokumentowano złoża węgla kamiennego Heddi II, od 2018 r. objęte koncesją wydobywczą. Działania te doprowadziły do powiększenia zasobów bilansowych węgla kamiennego DZW do 423 980 tys. Mg, występujących w 7 złożach (110,1 km²), w tym 5 zaniechanych i 2 niezagospodarowanych.

Górnośląskie Zagłębie Węglowe

Obecnie w GZW znajdują się 144 udokumentowane złoża węgla kamiennego (3151 km²), w tym 43 – zagospodarowane, 47 o eksploatacji zaniechanej i 54 niezagospodarowane. Eksploatacja węgla w GZW jest prowadzona od blisko 250 lat, obecnie w 20 kopalniach, obejmujących 30 zakładów górniczych (993,1 km²). Maksymalny rozwój eksploatacji, z rocznym wydobyciem bliskim 200 mln Mg, przypada na lata 70. XX w. Od 1990 r. systematycznie maleje liczba kopalń oraz wydobycie, które obecnie wynosi ok. 50–60 mln Mg rocznie (56,96 mln Mg w 2018 r. – Malon i Tymiński, 2019a).

Pozostały, poza udokumentowanymi złożami, obszar zagłębia obejmuje głównie jego południową i wschodnią część, a w mniejszym stopniu także część północną. Obszar ten na ogół jest znacznie słabiej rozpoznany geologicznie niż obszary występowania złóż.

W granicach GZW odwiercono przeszło 5600 otworów wiertniczych (nie licząc tysięcy górniczych otworów dołowych), w tym blisko 2500 otworów o głębokości nie mniejszej niż 500 m, a 1200 o głębokości przynajmniej 1000 m. Zdecydowana większość z tych otworów znajduje się w granicach dotychczas dokumentowanych złóż. Poza obszarami złóż zlokalizowanych jest 265 otworów o głębokości nie mniejszej niż 500 m, w tym 125 otworów o głębokości przynajmniej 1000 m. Najsłabiej rozpoznana jest skrajnie północna i południowo-wschodnia część zagłębia. W południowej części zagłębia stopień rozpoznania budowy geologicznej, oprócz otworów wiertniczych, zwiększa znaczna liczba wykonanych profilowań sejsmicznych.

Lubelskie Zagłębie Węglowe

Badania geologiczne karbonu lubelskiego są dokładnie opisane w publikacjach Instytutu Geologicznego (Makowski, 1962; Jachowicz, 1966; Porzycki, 1988b). Od czasu opublikowania ostatniego *Bilansu* w 2011 r. prace geologiczne prowadzono w ograniczonym zakresie, co spowodowało, że stan rozpoznania w zasadzie nie uległ zmianie. W 2012 r. koncesje na rozpoznanie złóż otrzymały:

- Kompania Węglowa S.A. (obecnie PGG S.A.) na obszarze złoża Chełm II,
- Lubelski Węgiel „Bogdanka” S.A. na obszarze złoża Ostrów (obecnie objęty koncesją wydobywczą),
- PD Co Sp. z o.o. na obszarach złóż K-4–K-9,
- Global Mineral Prospects Sp. z o.o. na obszarze złoża Sawin.

Poza złożami udokumentowanymi, na obszarach prognostycznych i perspektywicznych, rozpoznanie geologiczne w ostatnich latach było mniej intensywne i dotyczyło gazu z łupków oraz gazu ziemnego i ropy naftowej w utworach wczesnego paleozoiku, a także metanu z pokładów węgla w utworach karbonu południowej części LZW.

7.4.7. Ocena zasobów i ich zmian

Dolnośląskie Zagłębie Węglowe

Dla Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego dokonano weryfikacji zasobów perspektywicznych względem poprzednich opracowań dotyczących perspektyw zasobowych. Zrezygnowano z wyznaczonych poprzednio parcel o niskiej średniej węgloności (ok. 1,0–2,5 m) oraz parceli znajdującej się na obszarze udokumentowanego w 2014 r. złoża Nowa Ruda Pole Piast Rejon Waclaw-Lech. W rezultacie przeznaczono do dalszej analizy 6 pozostałych parcel, w tym 4 w rejonie Wałbrzycha i 2 w rejonie Nowej Rudy (tab. 7.21, fig. 7.24). W branych pod uwagę parcelach występują głównie węgle koksowe, specjalne i antracyty.

Tab. 7.21. Zasoby perspektywiczne węgla kamiennego w Dolnośląskim Zagłębiu Węglowym wg Bossowskiego (1992) dla zweryfikowanych parcel

Nr obszaru na fig. 7.24	Powierzchnia [km ²]	Numery pokładów	Średni upad warstw [°]	Średnia węgloność [m]	Zasoby [mln Mg]
1	1,09	307–446	32	10	6,80
2	3,17	307–446	32	15	13,30
3	8,38	304/5–549	30	10	51,95
4	3,89	301–447	26	6	15,00
5	5,47	304–415	23	7	31,80
6	4,04	304–415	23	7	24,03
Razem					142 88

Przeprowadzona dla zweryfikowanych obszarów analiza danych geologicznych dotyczących głębszych partii utworów węglonośnych DZW wykazała, że przy przyjęciu głębokości szacowania zasobów 1250 m zasoby tych obszarów (liczone wcześniej do 1600 m) należy zmniejszyć o ok. 30%, czyli do wielkości ok.

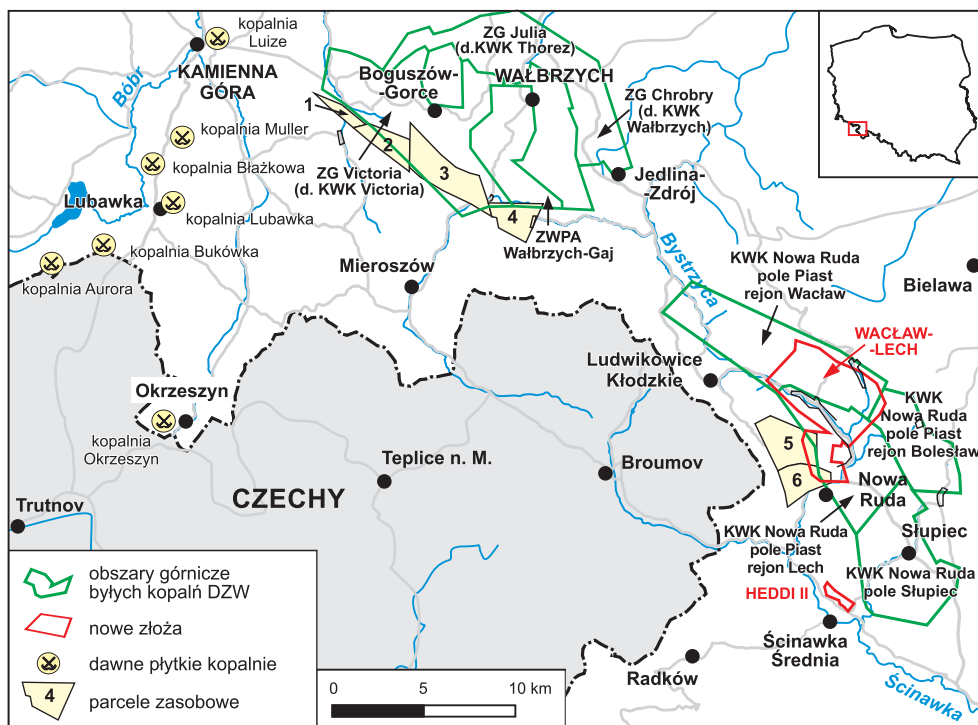


Fig. 7.24. Obszary perspektyw zasobowych złóż węgla kamiennego w Dolnośląskim Zagłębiu Węglowym

100 mln Mg. W stosunku do poprzedniej edycji *Bilansu* (Jureczka i in., 2011) jest to zmniejszenie zasobów hipotetycznych o 132 mln Mg. W niniejszym opracowaniu nie wydzielono zasobów prognostycznych, poprzednio ustalonych w dawnym złożu Heddi na 392 tys. Mg, ze względu na ponowne udokumentowanie tego złoża. Analogicznie jak w poprzedniej edycji, nie szacowano również potencjału zasobowego dla dwóch rejonów dawnej eksploatacji (Kamienna Góra-Lubawka oraz Okrzeszyn – fig. 7.24), ze względu na brak w tych rejonach pokładów węgla o miąższości co najmniej 1,0 m.

Górnśląskie Zagłębie Węglowe

W Górnśląskim Zagłębiu Węglowym do lat 90. XX w. następował stały przyrost zasobów węgla kamiennego, wynikający z dokumentowania nowych złóż i ze zwiększania głębokości dokumentowania. W kolejnych latach nastąpiło znaczne zmniejszenie bazy zasobowej węgla kamiennego, ze względu na ograniczenie głębokości dokumentowania złóż do 1000 m oraz przeklasyfikowanie zasobów złóż kopalń likwidowanych. Stan ten miał istotne znaczenie dla przyjętych kryteriów szacowania perspektyw zasobowych w poprzednim *Bilansie* (Jureczka i in., 2011) oraz wielkości oszacowanych zasobów. W ostatnich latach część złóż jest ponownie dokumentowana do głębokości 1250–1300 m, co wynika zarówno z nowych regulacji prawnych z 2015 r. (*Rozporządzenie...*, 2015a), jak i z wcześniejszych decyzji ministra środowiska, jeżeli użytkownik złoża wystąpił o zmianę głębokości dokumentowania. Spowodowało to istotne zmiany w bazie zasobowej węgla kamiennego GZW oraz zdezaktualizowało w znacznym stopniu zasoby oszacowane w poprzednim *Bilansie*. Przyczyną tych zmian są również dokumentacje nowych złóż na obszarach, które wcześniej nie były dokumentowane (np. złoża Imielin Północ i Imielin-Południe), oraz dokumentacje rozliczeniowe złóż o zakończonej eksploatacji (np. złożo Moszczenica).

Uwzględniając wspomniane złożone uwarunkowania, wykonano ponowne oszacowanie zasobów na obszarach prognostycznych i perspektywicznych w GZW (fig. 7.25), którego wyniki przedstawiono odpowiednio w tabelach 7.22 i 7.23, a w formie zbiorczej w tabeli 7.24. W stosunku do poprzedniej edycji *Bilansu*

(Jureczka i in., 2011), łączna ilość zasobów w obszarach prognostycznych i perspektywicznych została zmniejszona o ok. 26,5% (9184,67 mln Mg) w tym:

- prognostycznych o ok. 50% (4577,20 mln Mg), co wynika zarówno z ograniczenia głębokości szacowania zasobów do 1250/ 1300 m (poprzednio na wielu obszarach zasoby liczone były do głębokości 1500 m), jak i ze zmniejszenia liczby obszarów prognostycznych z 38 do 26 ze względu na zmiany w dokumentowaniu złóż;
- perspektywicznych poniżej udokumentowanych złóż (grupa A) o ok. 22% (1750,25 mln Mg), co wynika ze zmniejszenia liczby obszarów perspektywicznych tej grupy z 23 do 18 i ograniczenia ich powierzchni, ze względu na zmiany w dokumentowaniu złóż;
- perspektywicznych poza udokumentowanymi złożami (grupa B) o ok. 16% (2857,22 mln Mg), co wynika z bardziej precyzyjnego określenia węglozasobności tych obszarów z uwzględnieniem zmian budowy strukturalnej utworów karbonu, a także ze zmniejszenia o ok. 7% łącznej powierzchni tych obszarów ze względu na udokumentowanie nowych złóż.

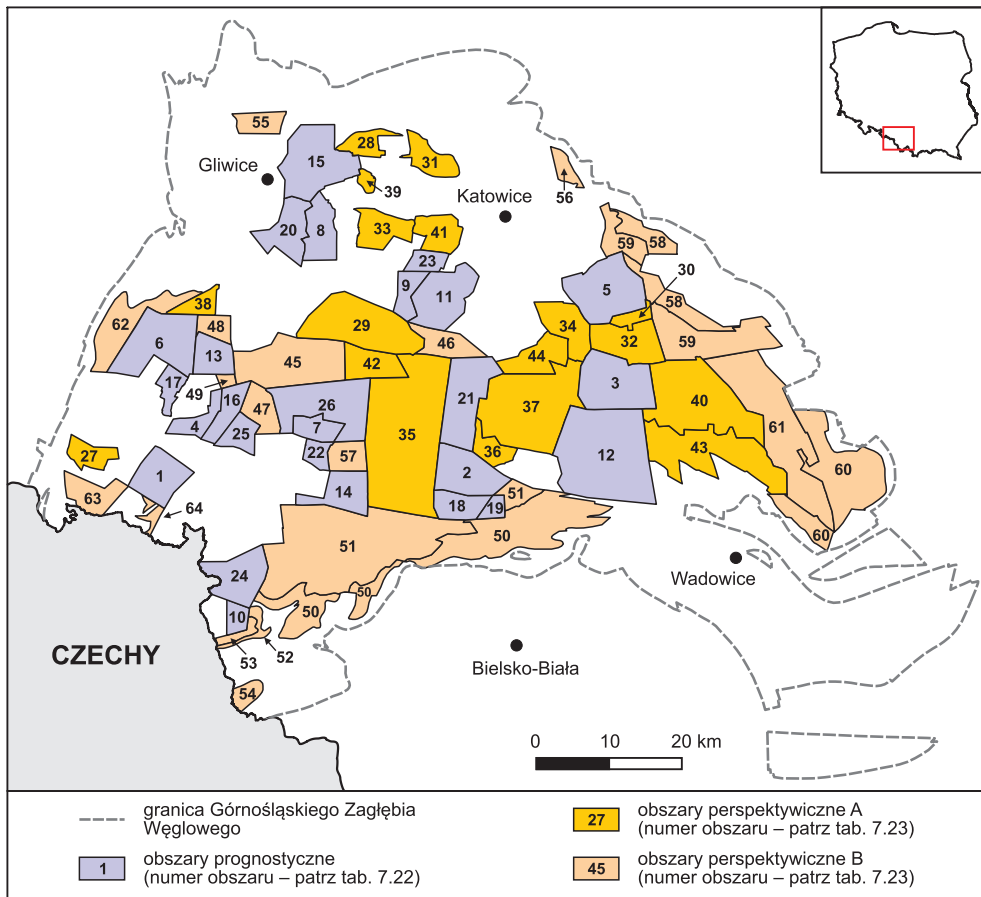


Fig. 7.25. Obszary perspektyw zasobowych złóż węgla kamiennego w Górnśląskim Zagłębiu Węglowym

Tab. 7.22. Zasoby prognostyczne węgla kamiennego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym

Nr obszaru na fig. 7.25	Nazwa złoża/ obszaru	Powierzchnia [km ²]	Głębokość [m]		Zasoby [mln Mg]		
			od	do	ogółem	E	K
1	1 Maja	34,32	1100	1300	37,00	0,07	36,92
2	Ćwiklice	39,86	1000	1300	231,01	231,01	–
3	Janina	57,50	1000	1100	261,12	261,12	–
4	Jankowice	15,80	1150	1250	33,47	20,70	12,77
5	Jaworzno	61,30	1000	1300	84,33	84,33	–
6	Jejkowice	58,50	1000	1300	92,55	17,19	75,36
7	Krupiński	16,21	1020	1220	51,84	–	51,84
8	Makoszowy	28,40	1050	1200	26,32	0,07	26,25
9	Mikołów	15,05	1000	1300	85,21	9,43	75,79
10	Morcinek	9,39	1000	1250	94,99	–	94,99
11	Murcki	51,73	1000	1300	500,65	165,94	334,71
12	Oświęcim-Polanka	133,00	1000	1300	71,36	71,36	–
13	Paruszowiec	22,35	1000	1250	106,41	106,41	–
14	Pawłowice	29,76	990	1260	427,47	15,34	412,13
15	Pstrowski	66,00	1025	1300	9,50	–	9,50
16	Rybnik-Jastrzębie	19,35	strop karbonu	1000	18,55	18,55	–
17	Rymer	12,80	1000	1300	15,76	10,71	5,05
18	Silesia	21,36	1000	1300	239,33	108,44	130,89
19	Silesia-Dankowice- Jawiszowice	6,80	1000	1300	22,18	18,01	4,16
20	Sośnica	32,40	1100	1250	91,35	0,28	91,07
21	Studzienice	57,00	1000	1250	154,31	89,36	64,95
22	Warszowice-Pawłowice	10,13	1000	1250	51,13	–	51,13
23	Wujek – część południowa	11,25	1000	1300	228,14	94,11	134,03
24	Zebrzydowice	39,34	1000	1200	572,01	–	572,01
25	Żory	19,30	1180*	1340	116,84	–	116,84
26	Żory-Suszec	65,92	1050	1250	993,38	58,83	934,55
Suma					4616,17	1381,25	3234,93

* obszar pod złożem Żory-Warszowice od głębokości 1030 m
E – węgiel energetyczny, K – węgiel koksowy

Tab. 7.23. Zasoby perspektywiczne węgla kamiennego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym

Nr obszaru na fig. 7.25	Nazwa złoża/ obszaru	Powierzchnia [km ²]	Zasoby [mln Mg]		
			ogółem	E	K
A. Zasoby pod złożami węgla kamiennego na głębokości 1000–1250/ 1300 m (od –750 do –1000 m n.p.m.)					
27	Anna p. południowe	16,25	54,84	–	54,84
28	Bobrek	15,11	30,56	–	30,56
29	Bolesław Śmiały	75,11	322,22	–	322,22

Część II

Tab. 7.23. cd.

Nr obszaru na fig. 7.25	Nazwa złoża/ obszaru	Powierzchnia [km ²]	Zasoby [mln Mg]		
			ogółem	E	K
30	Byczyna	8,53	41,20	41,20	–
31	Bytom-Rozalia	21,18	42,89	30,02	12,87
32	Dąb	38,75	187,16	187,16	–
33	Halemba-Polska-Pokój	26,62	159,19	–	159,19
34	Imielin	31,16	188,08	188,08	–
35	Kobiór-Pszczyna	172,40	1916,47	622,52	1293,95
36	Międzyrzecze	15,74	161,77	–	161,77
37	Piast	106,60	1188,22	1164,05	24,18
38	Pilchowice	12,20	31,04	–	31,04
39	Pokój	4,85	6,99	–	6,99
40	Wisła Północ	95,82	974,99	974,99	–
41	Wujek	23,39	110,07	–	110,07
42	Za Rowem Bełckim	26,01	175,27	35,05	140,22
43	Zator-Spytkowice	80,88	489,80	489,80	–
44	Ziemowit	28,26	230,60	184,48	46,12
Suma			6311,36	3917,35	2394,01
B. Zasoby poza obszarami złóż węgla kamiennego do głębokości 1250–1300 m (–1000 m n.p.m.)					
45	Centrum 1	74,47	1809,62	1266,74	542,89
46	Centrum 2	22,92	495,14	396,11	99,03
47	Centrum 3	20,78	420,71	294,50	126,21
48	Paruszowiec-N	12,18	82,24	28,78	53,45
49	Paruszowiec-S	3,43	32,41	22,69	9,72
50	Południe 1/A	145,73	983,69	688,58	295,11
51	Południe 1/B	204,56	3590,05	3051,54	538,51
52	Południe 2/A	7,31	49,36	–	49,36
53	Południe 2/B	6,46	113,32	–	113,32
54	Południe 3	9,83	26,54	–	26,54
55	Północ 1	15,41	20,81	–	20,81
56	Północ 2	9,31	37,70	37,70	–
57	Studzionka-Mizerów	17,62	475,71	356,79	118,93
58	Wschód 1	47,26	255,22	255,22	–
59	Wschód 1/B	83,46	2253,34	2253,34	–
60	Wschód 2/A	97,06	262,07	262,07	–
61	Wschód 2/B	112,37	3489,06	3489,06	–
62	Zachód 1	43,82	177,48	–	177,48
63	Zachód 2	24,40	32,94	–	32,94
64	Zachód 3	5,80	7,83	–	7,83
Suma			14 615,22	12 403,10	2212,12

E – węgiel energetyczny, K – węgiel koksowy

Tab. 7.24. Perspektywy zasobowe węgla kamiennego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym

Kategoria zasobów	Zasoby [mln Mg]*					
	ogółem		węgiel energetyczny		węgiel koksowy	
Prognostyczne	4616,17		1381,25		3234,93	
Perspektywiczne A	6311,36	20 926,58	3917,35	16 320,45	2394,01	4606,13
Perspektywiczne B	14 615,22		12 403,10		2212,12	
Suma	25 542,75		17 701,70		7841,06	

* wartości zaokrąglone z tabel 7.22 i 7.23

Lubelskie Zagłębie Węglowe

W Lubelskim Zagłębiu Węglowym zasoby prognostyczne węgla w utworach formacji z Lublina i Dębli-
na, ze względu na brak nowych danych, pozostają niezmienione w stosunku do tych przedstawionych w po-
przednim *Bilansie* (Jureczka i in., 2011) i bardziej szczegółowo opisanych w przez Zdanowskiego (2011).
W przypadku formacji z Lublina nie wzięto pod uwagę pokładów o miąższości 0,6–1,0 m, co spowodowało-
by wzrost zasobów o ok. 10–15%, a więc mniejszy od błędu statystycznego przyjmowanego dla zasobów
prognostycznych i perspektywicznych. Ostatecznie całość zasobów przyjęto bez zmian w stosunku do po-
przedniego *Bilansu* (Jureczka i in., 2011), które ówczśnie ustalono na 12 388,65 mln Mg (zob. przypis pod
tab. 7.25) zasobów prognostycznych i 5887,61 mln Mg zasobów perspektywicznych (tab. 7.25).

Tab. 7.25. Zasoby prognostyczne i perspektywiczne węgla kamiennego w Lubelskim Zagłębiu Węglowym
(Jureczka i in., 2011, ze zmianami)

Zasoby		Węglu- zasobność [m]	Powierzchnia obszaru [km²]			Średnia węglu- zasobność [m]	Zasoby na obszarze [mln Mg]		
			półn.	centr.	połudn.		półn.	centr.	połudn.
prognostyczne	podgrupy I	1–2	281,33	480,21	152,04	1,50	569,69	972,43	307,88
		2–5	241,68	274,38	134,84	3,50	1141,94	1296,45	637,12
		5–10	261,20	194,08	18,76	7,50	2644,65	1965,06	189,95
		10–15	–	7,00	–	12,50	–	118,13	–
		Razem	784,21	955,67	305,64		4356,28	4352,06	1134,95
			2045,52				9843,28		
	podgrupy II	>0,6	–	–	845,50	1,35	–	–	1540,92
		1–2	102,23	85,82	18,14	1,50	207,02	173,79	36,73
		2–5	12,94	71,52	2,49	3,50	61,14	337,93	11,77
		5–10	5,22	12,17	–	7,50	52,85	123,22	–
		Razem	120,39	169,51	866,13		321,01	634,94	1589,42*
			1156,03				2545,37*		
perspektywiczne		1–2	750,01	116,78	–	1,50	1518,77	236,48	–
		2–5	211,95	263,13	–	3,50	1001,46	1243,29	–
		5–10	138,5	47,93	–	7,50	1402,31	485,29	–
		Razem	1100,46	427,84	–		3922,55	1965,06	–
			1528,30				5887,61		
Suma			4729,85				18276,26*		

* W *Bilansie* z 2011 r. w tabeli 5.3.4 (Zasoby prognostyczne i perspektywiczne węgla kamiennego w LZW) został popełniony oczywisty błąd obliczeniowy przy sumowaniu zasobów prognostycznych, wynikający z pomicia jednej wartości. W niniejszej publikacji błąd ten został skorygowany.

Całość zasobów prognostycznych, perspektywicznych węgla kamiennego w Polsce wraz z udokumentowanymi zasobami geologicznymi według stanu na 31.12.2018 r. (Malon i Tyimiński, 2019a) przedstawia tabela 7.26, a rozmieszczenie obszarów perspektywicznych występowania węgla kamiennego w Polsce ilustruje załącznik 3.

Tab. 7.26. Zasoby węgla kamiennego w Polsce (Malon i Tyimiński, 2019a)

Zagłębie	Udokumentowane zasoby geologiczne [mln Mg]		Zasoby [mln Mg]					
	bilansowe	poza-bilansowe	prognostyczne			perspektywiczne		
			podgrupa I	podgrupa II	razem	obszary A	obszary B	razem
DZW	423,98	36,84	–		–	100,00*		100,00*
GZW	49 350,64	9416,29	4616,17		4616,17	6311,36	14 615,22	20 926,58
LZW	11 661,60	5092,81	9843,28	2545,37	12 388,65	5887,61		5887,61
Suma	61 436,22	14 545,94	17 004,82			26 914,19		

* zasoby o charakterze hipotetycznym

7.4.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

W perspektywie przynajmniej 20 lat węgiel kamienny pozostanie jednym z podstawowych nośników energii w Polsce, z koniecznością – ze względu na bezpieczeństwo energetyczne kraju – zapewnienia jego podaży z własnych zasobów. W związku z tym podstawowe znaczenie będzie mieć przedłużenie żywotności części kopalń, poprzez poszerzenie ich bazy zasobowej o pokłady zalegające poniżej głębokości dokumentowania lub w sąsiedztwie eksploatowanych złóż, a także budowa nowych kopalń. Wymagać to będzie wykonania rozpoznawczych prac wiertniczych na obszarach prognostycznych i perspektywicznych w celu weryfikacji przedstawionych szacunków zasobowych pod kątem faktycznych zasobów przemysłowych i operacyjnych. Konieczne będzie również wykonanie wielokryterialnego rankingu i wyznaczenie obszarów najbardziej nadających się do zagospodarowania w celu zabezpieczenia dostępności tych terenów w przyszłości.

Alternatywnym źródłem energii z węgla kamiennego może być gaz syntezowy pozyskiwany w technologii podziemnego zgazowania. Zastosowanie takiej technologii mogłoby być szczególnie uzasadnione w przypadku pokładów węgla, których eksploatacja metodami klasycznymi nie spełnia wymagań ekonomicznych lub uwarunkowań środowiskowych. Należy jednak podkreślić, że obecnie w Polsce zagadnienia podziemnego zgazowania węgla są nadal na etapie badań koncepcyjnych, pomimo wykonania pierwszych prób przemysłowych w kopalniach, a całość tematyki w odniesieniu do warunków geologicznych naszych zagłębi jest bardzo dyskusyjna. Niemniej jednak badania nad podziemnym zgazowaniem węgla należy kontynuować. Dopiero na etapie pilotażowych wiercen i testowych podziemnych generatorów gazu można będzie ocenić rzeczywiste możliwości przemysłowego wdrożenia tych technologii.

Jerzy Hadro, Janusz Jureczka

7.5. METAN Z POKŁADÓW WĘGLA (*COALBED METHANE*)

Metan z pokładów węgla lub metan pokładów węgla (*coalbed methane*; w Australii *coal seam gas*) jest gazem pochodzącym ze złóż niekonwencjonalnych, genetycznie związanym z pokładami węgla (Hadro i Wójcik, 2013). W Polsce, ze względu na planowane zagospodarowanie w stosunku do złóż węgla, metan z pokładów węgla rozróżniany jest jako:

- kopalina główna – dokumentowany poza eksploatowanymi (lub przewidywanymi do eksploatacji) złożami węgla kamiennego lub poniżej nich;
- kopalina towarzysząca – dokumentowany w złożach węgla kamiennego (jako kopaliny głównej), do głębokości dokumentowania tych złóż.

W terminologii międzynarodowej, wywodzącej się z USA, wyróżnia się:

- *coalbed methane* (CBM) – metan z pokładów węgla (*sensu stricto*), gaz wysokometanowy wydobywany otworami wiertniczymi z pokładów węgla nienaruszonych eksploatacją górniczą (dziwicznych), określane również jako *virgin coalbed methane* (VCBM);
- *coal mine methane* (CMM) – gaz kopalniany zawierający metan uwalniany w czasie działalności górniczej, z wyróżnieniem metanu w powietrzu wentylacyjnym – *ventilation air methane* (VAM)
- *abandoned mine methane* (AMM) – metan ze zlikwidowanych kopalń węgla.

7.5.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Metan z pokładów węgla jest gazem naturalnym, który został wygenerowany w procesie przeobrażania termicznego substancji organicznej w węgiel lub – znacznie rzadziej – w wyniku działalności bakteryjnej w procesie metanogenezy. W obu przypadkach gaz ten akumulowany jest w węglu dzięki zjawisku sorpcji. Metan termogeniczny może występować na różnych głębokościach, zależnie od historii pograżeniowo-termicznej i tektonicznej basenu węglowego, a jego zawartość w węglu (metanonośność) zwykle wzrasta z głębokością. Metan pochodzenia bakteryjnego powstaje w późniejszych stadiach ewolucji basenów węglowych i występuje na względnie niewielkiej głębokości (do 800 m). Podrzednie metan z pokładów węgla występuje też jako gaz wolny i rozpuszczony w wodzie, lecz te fazy skupienia stanowią nie więcej niż 2% całkowitej objętości gazu w złożu.

Inny charakter ma metan wydzielający się podczas prowadzenia eksploatacji węgla kamiennego i jest on określany jako metan lub gaz kopalniany. Ta kopalina, wydobyta na powierzchnię w wyniku odmetanowania górotworu, ma rodowód antropogeniczny i jest mieszaniną gazu złożowego oraz powietrza wentylacyjnego (najczęściej zawiera 40–60% CH₄), co ogranicza możliwość jej zagospodarowania.

7.5.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Złoża metanu z pokładów węgla występują w kilkudziesięciu krajach na wszystkich kontynentach. Krajam o największych zasobach geologicznych są: Rosja, USA, Chiny, Australia, Kanada i Indonezja. Oszacowane metodami statystycznymi światowe zasoby technicznie wydobywalne metanu wynoszą od 14 do 85 bln m³ (z wartością oczekiwaną 43 bln m³; Dong i in., 2015). Dotychczas tylko pięć krajów wydobywa metan z pokładów węgla (*sensu stricto*) w skali przemysłowej: USA, Australia, Kanada, Chiny i Indie. Niekwestionowanymi liderami w wydobyciu metanu są USA i Australia (łącznie ponad 70 mld m³ rocznie; EIA, 2018; *Queensland...*, 2018). Wystarczalność światowych zasobów metanu z pokładów węgla (*sensu stricto*) jest praktycznie niemożliwa do wyznaczenia i zależeć będzie od rozwoju wydobycia tej kopaliny w Chinach, Kanadzie i Indiach oraz od ewentualnego rozpoczęcia jej wydobycia w krajach o dużych zasobach (np. Rosja, Indonezja).

W Polsce zasoby metanu z pokładów węgla udokumentowano tylko w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. Zasoby bilansowe metanu jako kopaliny towarzyszącej wynoszą 75,9 mld m³, w tym 53,4 mld m³ w 31 złożach eksploatowanych oraz 22,5 mld m³ w 23 złożach nieobjętych eksploatacją, natomiast jako kopaliny głównej – 26,1 mld m³ w 11 złożach. Zasoby pozabilansowe metanu jako kopaliny towarzyszącej wynoszą 0,41 mld m³ (2 złoża), a jako kopaliny głównej – 11 mld m³ (6 złóż; Malon i Tymiński, 2019b). Wystarczalność zasobów nie może być ustalona ze względu na dotychczasowy brak eksploatacji przemysłowej.

7.5.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Obowiązujące kryteria wyznaczania złóż metanu z pokładów węgla określają graniczne wartości parametrów definiujących złoża jako kopaliny głównej (*Rozporządzenie...*, 2015b) i jako kopaliny towarzyszącej (*Rozporządzenie...*, 2015a) – tabela 7.27.

Tab. 7.27. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża metanu z pokładów węgla i jego granice

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Kopalina główna (<i>Rozporządzenie...</i>, 2015b)		
Maksymalna głębokość dokumentowania	m	1500
Minimalna metanonośność wyznaczająca kontur strefy złożowej	m ³ /Mg csw	4,5
Minimalna średnia metanonośność	m ³ /Mg csw	większa od resztkowej
Minimalna miąższość pokładu węgla kamiennego	m	0,6
Kopalina towarzysząca (<i>Rozporządzenie...</i>, 2015a)		
Maksymalna głębokość dokumentowania	m	do głębokości udokumentowania kopaliny głównej
Minimalna metanonośność wyznaczająca kontur strefy złożowej	m ³ /Mg csw	>2,5
Minimalna średnia metanonośność wydzielonej części złoża	m ³ /Mg csw	większa od resztkowej
Minimalna miąższość pokładu węgla kamiennego	m	0,1

7.5.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Podstawą szacowania zasobów były obecnie obowiązujące kryteria wyznaczania złóż metanu z pokładów węgla jako kopaliny głównej i jako kopaliny towarzyszącej (tab. 7.27). Oszacowano zasoby bilansowe wydobywalne, przy założeniu możliwości szczypania zasobów do wartości metanonośności resztkowej, analogicznie jak w poprzednim *Bilansie* (Kwarciński, 2011).

Wyróżniono następujące kategorie zasobów:

- zasoby prognostyczne metanu jako kopaliny towarzyszącej, do których zaliczono zasoby metanu udokumentowane w złożach węgla w kategorii D, które nie są wykazywane w rejestrze zasobów, ale są dobrze rozpoznane (Kwarciński, 2011);
- zasoby perspektywiczne metanu jako kopaliny głównej, do których zaliczono pozostałe zasoby do tej pory niedokumentowane, bez wyznaczania zasobów prognostycznych – odmiennie niż w poprzednim *Bilansie* (Kwarciński, 2011) – ze względu na stosunkowo dużą niepewność szacowania wielkości zasobów.

Zasoby obu kategorii wyznaczono dla pokładów węgla o miąższości od 0,6 m, w granicach strefy złożowej o metanonośności pokładów węgla $\geq 4,5$ m³/Mg csw, do głębokości dokumentowania złoża węgla w przypadku kopaliny towarzyszącej lub do 1500 m w przypadku kopaliny głównej. Zasoby perspektywiczne metanu jako kopaliny głównej oszacowano poniżej złóż z metanem jako kopalina towarzyszącą, w złożach bez udokumentowanego metanu jako kopaliny towarzyszącej lub na obszarach niedokumentowanych. Obszary nieobjęte szacowaniem to obszary potencjalnie perspektywiczne, ale słabo rozpoznane lub nierozpoznane, oraz obszary nieperspektywiczne. Rozkład szacowania zasobów dla GZW prezentuje figura 7.26.

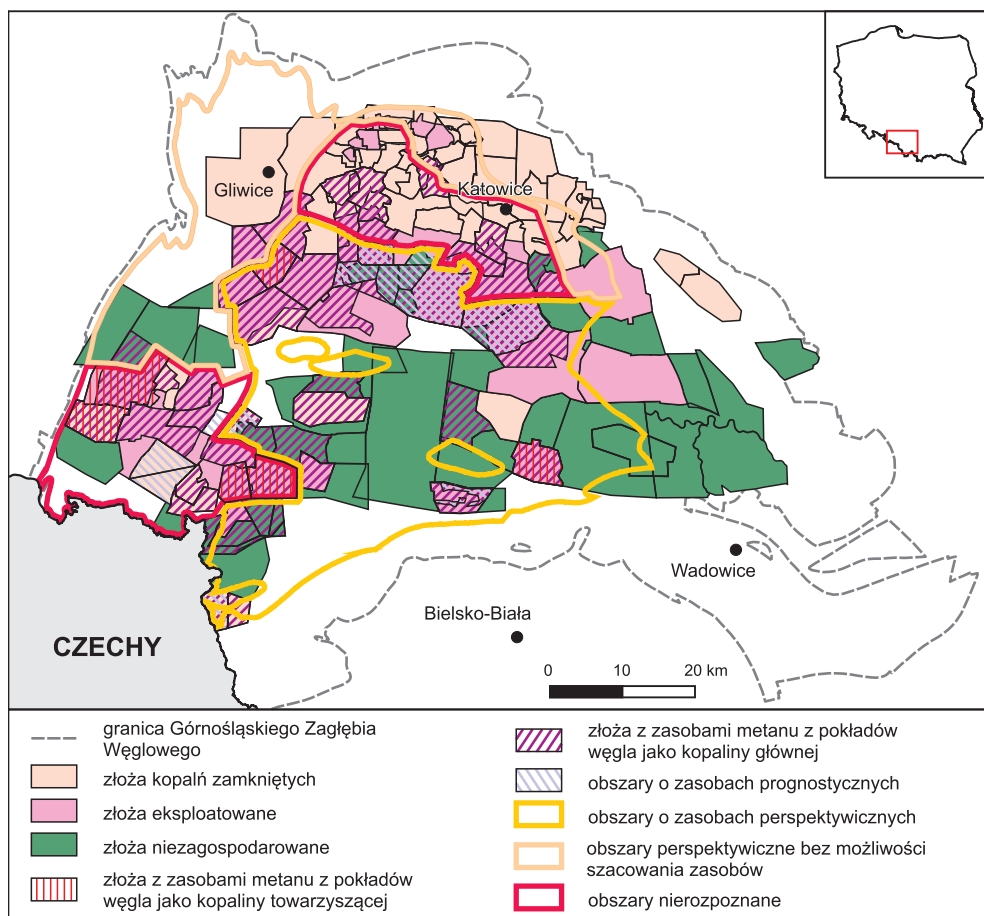


Fig. 7.26. Rozpoznanie zasobów metanu z pokładów węgla w Górnosląskim Zagłębiu Węglowym na tle rozpoznania i zagospodarowania złóż węgla kamiennego

7.5.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Budowę geologiczną zagłębi węglowych omówiono w rozdziale 7.4. W niniejszym rozdziale uzupełniono najważniejsze informacje dotyczące występowania metanowych pokładów węgla w GZW, jedynym zagłębiu odznaczającym się wysokim potencjałem zasobowym.

Rozkład metanowych pokładów węgla w profilu karbonu GZW można opisać dwoma modelami pionowej zmienności metanonośności (fig. 7.27), różniącymi się położeniem regionalnym oraz historią geologiczną.

Model północny charakteryzuje obszary występowania karbonu bez izolującego nadkładu, z górotworem odgazowanym do znacznej głębokości (500–800 m), a w niektórych rejonach nawet głębiej – poniżej 1000 m. Zasadnicze znaczenie dla głębokości odgazowania i położenia stropu strefy pokładów metanowych ma litologia utworów karbonu. Głębokość odgazowania nie zależy od stratygrafii karbonu, niemniej jednak na ograniczonych obszarach jest zgodna z zaleganiem jednostek litostratygraficznych, np. spągami krakowskiej serii piaskowcowej we wschodniej części Górnosląskiego Zagłębia Węglowego. W profilu gazonośności obserwuje się zwykle wzrost zawartości gazu do głębokości 1100–1300 m. Pomijając obszary położone

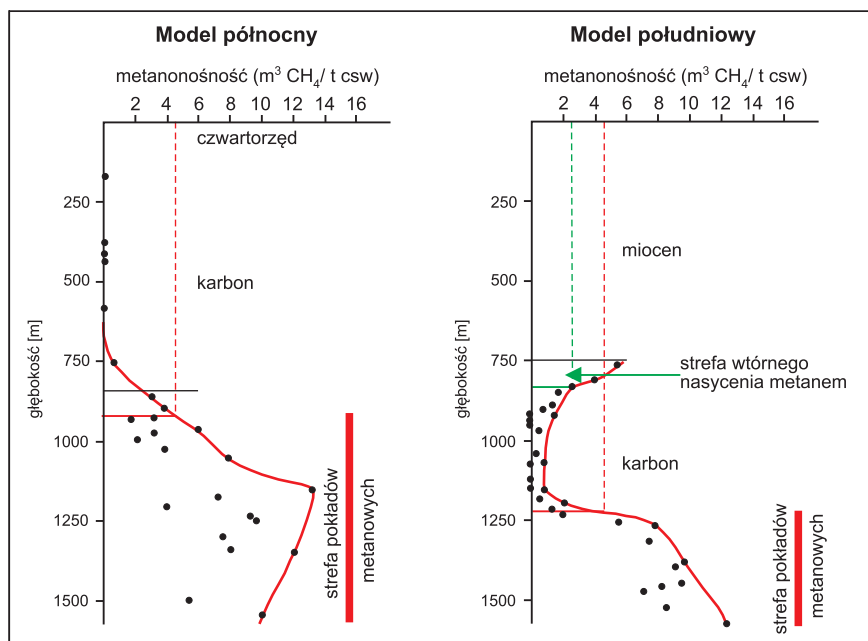


Fig. 7.27. Modele rozkładu metanonośności pokładów węgla w Górnśląskim Zagłębiu Węglowym (Kotas i in., 1994)

na zachód od nasunięcia orłowskiego, stratygraficznie interwał najwyższej gazonośności występuje w dolnej części warstw załęskich, warstwach rudzkich s.s. i siodłowych. Z kolei praktycznie całkowicie odgazowane są pokłady węgla warstw libiąskich i łaziskich.

Model południowy charakteryzuje południową część GZW, w której utwory karbonu są przykryte izolującymi utworami ilastymi miocenu. Izolacja ta spowodowała wtórne nasycenie pokładów węgla w stropowej partii utworów karbonu gazem migrującym z pokładów węgla zalegających głębiej. W modelu południowym pionowa zmienność metanonośności pokładów węgla charakteryzuje się występowaniem dwóch maksimów zawartości metanu: pierwszym – w podstropowej, wtórnej strefie metanowych pokładów węgla (zwykle do ok. 100–200 m od stropu karbonu), drugim – poniżej zasięgu pierwotnego odgazowania górotworu (podstawowa strefa pokładów metanowych). Podobnie jak w regionie północnym, głębokość zalegania stropu podstawowej strefy pokładów metanowych nie jest zależna od stratygrafii utworów karbonu, a w profilu gazonośności obserwuje się wzrost zawartości gazu z głębokością do osiągnięcia maksimum, na głębokości rzędu 1000–1400 m. W zależności od możliwości migracji i akumulacji gazu występują zaburzenia układu modelowego i łączenie się w niektórych rejonach podstawowej i podstropowej strefy pokładów metanowych, a nawet zanikanie strefy podstropowej.

Granica dzielącą utwory karbonu odpowiadające przedstawionym modelom jest w przybliżeniu strefa uskokuwa Żory–Jawiszowice–Wysoka. Model północny występuje na północ od tej strefy, natomiast model południowy – na południe od niej.

7.5.6. Stan rozpoznania geologicznego

Z uwagi na niewielkie zasoby metanu z pokładów węgla oraz ograniczone perspektywy ich udokumentowania na obszarze Lubelskiego Zagłębia Węglowego i Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego omówiono wyłokowe rozpoznanie geologiczne dla Zagłębia Górnśląskiego.

W Górnśląskim Zagłębiu Węglowym występowanie metanu w pokładach węgla rozpoznawane jest na podstawie dwóch rodzajów badań metanonośności:

- metodą stosowaną w polskim górnictwie – ponad 11 300 oznaczeń w ponad 830 otworach wiertniczych, w tym 65% oznaczeń do głębokości 1000 m, 30% w zakresie 1000–1500 m (w 467 otworach) oraz 5% poniżej 1500 m (w 105 otworach); maksymalna głębokość rozpoznania to 2226 m;
- metodą amerykańską (USBM) – 1644 pomiary w 39 otworach wiertniczych, w tym 28% pomiarów do głębokości 1000 m, 45% w zakresie 1000–1500 m (w 32 otworach) oraz 27% pomiarów poniżej 1500 m (w 22 otworach); maksymalna głębokość rozpoznania to 2215 m.

Rozpoznanie rozkładu metanonośności w ramach poszukiwania i rozpoznawania złóż metanu jako kopaliny głównej (metodą USBM) dotyczy głównie centralnej i południowej części niecki głównej GZW, poza obszarami czynnych kopalń, a rozkład głębokości rozpoznania metanowego odzwierciedla perspektywiczność formacji złożowych – 45% oznaczeń w zakresie głębokości 1000–1500 m.

Uzupełnieniem przedstawionego wyżej rozpoznania są prowadzone w ostatnich latach przez PIG-PIB oraz PGNiG S.A. eksperymentalne prace badawcze w zakresie przedeksplatacyjnego ujęcia metanu z pokładów węgla kierunkowymi otworami wiertniczymi (Jureczka, 2017b).

7.5.7. Ocena zasobów i ich zmian

Górnśląskie Zagłębie Węglowe

Zasoby prognostyczne metanu z pokładów węgla jako kopaliny towarzyszącej nie uległy zmianie od publikacji poprzedniego *Bilansu* (Kwarciański, 2011) i wynoszą 1,69 mld m³. Są to zasoby udokumentowane w kategorii D w sześciu złożach węgla kamiennego: Anna, Brzeszcze, Knurów, Pniówek, Rydułtowy i Zołówka (fig. 7.26).

W przypadku metanu z pokładów węgla jako kopaliny głównej w niniejszym opracowaniu całość zasobów uznano za perspektywiczne, bez rozdzielania ich na zasoby prognostyczne, perspektywiczne lub hipotetyczne. Zasoby te wynoszą 94,3 mld m³, w tym dla 14 złóż kopalń czynnych – 25,6 mld m³, 20 złóż niezagospodarowanych – 55,4 mld m³ oraz na obszarach nieudokumentowanych – 13,3 mld m³. Zasoby perspektywiczne metanu jako kopaliny głównej są mniejsze od szacunków z poprzedniego *Bilansu* (Kwarciański, 2011) o 10,9 mld m³. Ubytek ten wynika głównie z udokumentowania w kilku złożach (w całości lub w części) zasobów metanu jako kopaliny towarzyszącej, które uprzednio były zaliczane do zasobów perspektywicznych lub prognostycznych metanu jako kopaliny głównej.

Należy także zwrócić uwagę na zmiany, które zaszły w udokumentowanych zasobach metanu jako kopaliny głównej. Ubytek zasobów w stosunku do stanu z 2009 r., wynoszący 8 mld m³, spowodowany jest powtórным udokumentowaniem złóż Żory i Paniowy-Mikołów-Panewniki, wskutek czego zasoby tego ostatniego złoża zmniejszyły się o 6,2 mld m³, a metan w złożu Żory został udokumentowany jako kopalina towarzysząca. Ponadto zasoby udokumentowanych złóż metanu jako kopaliny głównej zwiększyły się o zasoby czterech złóż metanu z kopalń zlikwidowanych (Jankowice-Wschód, Mszana, Wilchwy i Żory 1; łączne zasoby 0,26 mld m³).

Przedstawione powyżej wydobywalne bilansowe zasoby metanu, liczone zgodnie z przyjętymi kryteriami, nie wyczerpują całkowitego potencjału zasobowego GZW. Przy uwzględnieniu zasobów pozabilansowych, zasobów przystropowej strefy wtórnego nasycenia metanem, potencjalnych zasobów zalegających poniżej głębokości 1500 m oraz poza obszarami prognostycznymi lub perspektywnymi istnieją dodatkowe możliwości poszerzenia bazy zasobowej o ok. 60–80 mld m³ metanu (Jureczka, 2013).

Lubelskie Zagłębie Węglowe

Zasoby perspektywiczne metanu z pokładów węgla jako kopaliny głównej w LZW oszacowane w poprzednim *Bilansie* według stanu na koniec 2009 r. (Kwarciański, 2011) nie uległy zmianie i wynoszą 15,2 mld m³. Zasoby te oszacowano w obrębie synkliny Stoczek–Dorohucza, na obszarze złożowym o powierzchni 200,1 km² (Hadro i Ptak, 1994). Z uwagi na brak pokładów metanowych na obszarze czynnych i planowanych kopalń węgla nie wydzielono zasobów metanu jako kopaliny towarzyszącej.

Obszary synklin Kumowa i Krasnystaw–Grabowca oraz południową część synkliny Stoczek–Dorohucza zaliczono do potencjalnych obszarów perspektywicznych, słabo rozpoznanych, bez możliwości określenia zasobów. Pozostały obszar LZW można uznać za pozbawiony perspektyw.

W 2010 r. wykonano trzy otwory w ramach koncesji na poszukiwanie metanu jako kopaliny głównej w południowej części LZW, uznanej uprzednio za perspektywną bez możliwości oszacowania zasobów. Przeprowadzone badania potwierdziły występowanie silnie gazonośnych pokładów węgla, jednak nie udokumentowano zasobów metanu z uwagi na małą miąższość pokładów węgla.

Dolnośląskie Zagłębie Węglowe

Zasoby perspektywiczne oszacowane w poprzednim *Bilansie* według stanu na koniec 2009 r. (Kwarcin-
ski, 2011), wynoszące 1,75 mld m³, nie uległy zmianie. Są to zasoby w południowej części złoża byłej kopalni
Victoria (ok. 11,6 km²), oszacowane dla metanu jako kopaliny głównej (Waksmundzka i in., 2008). W póź-
niejszym czasie nie prowadzono żadnych prac geologicznych związanych z rozpoznaniem zasobów metanu.

Obszary potencjalnie perspektywiczne, bez możliwości oceny zasobów, występują w byłej kopalni
Nowa Ruda Pole Słupiec i Pole Piast Rejon Bolesław. Pewien potencjał zasobowy mogą mieć również obs-
zary nierozpoznane, do których należą: zachodnia część niecki śródsudeckiej, obszar występowania forma-
cji z Wałbrzycha w byłej kopalni Victoria (pola Witold i Barbara) do głębokości 1500 m oraz obszar wystę-
powania formacji z Żaclerza w zewnętrznych fragmentach pola Słupiec byłej kopalni Nowa Ruda.

Całość zasobów metanu z pokładów węgla w Polsce wraz z zasobami udokumentowanymi (wg stanu na
31.12.2018 r. – Malon i Tyimiński, 2019b) przedstawiono w tabeli 7.28, a rozmieszczenie obszarów perspek-
tywicznych występowania metanu z pokładów węgla w Polsce ilustruje załącznik 3.

Tab. 7.28. Bilansowe wydobywalne zasoby metanu z pokładów węgla w Polsce (Malon i Tyimiński, 2019b)

Zagłębie	Zasoby udokumentowane [mld m ³]		Zasoby prognostyczne [mld m ³]	Zasoby perspektywiczne [mld m ³]
	kopalina główna	kopalina towarzysząca	kopalina towarzysząca	kopalina główna
DZW	–	–	–	1,75
GZW	26,13	75,89	1,69	94,33
LZW	–	–	–	15,19
Polska	26,13	75,89	1,69	111,27

7.5.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Do tej pory barierą rozwoju wydobycia metanu z pokładów węgla otworami z powierzchni była mała
wydajność produkowanego gazu (metanu), a co za tym idzie – nieopłacalność eksploatacji. Wskazywały na
to prace prowadzone w latach 1991–2014 nad pozyskiwaniem metanu jako kopaliny głównej we wszystkich
polskich zagłębiach węglowych. Jednak prace eksperymentalne przeprowadzone w ostatnich latach (2016–
2018) przez PGNiG S.A. i PIG-PIB z zastosowaniem technologii masywnego szczelinowania w otworze
horyzontalnym (otwory intersekcyjne Gilowice-1 i Gilowice-2H) pozwoliły na uzyskanie wielokrotnie
większej wydajności przypływu metanu. Jeśli prowadzone obecnie przez PGNiG prace rozpoznawcze na
obszarze koncesji Międzyrzecze potwierdzą skuteczność tej technologii w innych lokalizacjach, będzie moż-
na mówić o przełomie technologicznym, który pozwoli na przemysłowe wykorzystanie zasobów metanu z po-
kładów węgla w GZW. Zastosowana technologia udostępniania metanu z pokładów węgla jest na tyle różna
od dotychczasowych, że wymagać będzie odmiennego podejścia do dokumentowania zasobów metanu jako
kopaliny głównej. Konieczne będzie opracowanie nowej koncepcji dokumentowania złóż oraz zweryfikowa-
nie bazy zasobowej złóż udokumentowanych i obszarów perspektywicznych. Na podstawie analizy dotych-
czasowego sposobu pozyskiwania, dokumentowania i poszukiwania metanu z pokładów węgla sformułow-
ano następujące zalecenia:

1. Nazewnictwo związane z zasobami metanu z pokładów węgla wymaga uporządkowania i modyfikacji,
tak aby jasno i jednoznacznie klasyfikować zasoby wynikające z dokumentowania złóż tej kopaliny, w na-
wiązaniu do terminologii międzynarodowej, przywołanej na wstępie rozdziału.
2. Stosowane obecnie dokumentowanie metanu ze zlikwidowanych kopalń jako kopaliny głównej nie ma
uzasadnienia zarówno genetycznego (złoża o charakterze antropogenicznym), jak i w sposobie pozyski-
wania (zasadniczo różniącym się od technologii wiertniczych CBM), co prowadzi do podawania nie-
adekwatnych danych o zasobach. Zaleca się potraktowanie zasobów metanu ze zlikwidowanych kopalń
(AMM) jako osobnego rodzaju kopaliny, która jest różna zarówno od metanu kopalnianego dokumento-
wanego jako kopalina towarzysząca (CMM), jak i metanu dokumentowanego jako kopalina główna
(CBM), zgodnie z praktyką międzynarodową.

3. Wobec braku przemysłowego wykorzystania udokumentowanych (już od wczesnych lat 90. XX w.) pokładnych zasobów bilansowych wydobywalnych metanu jako kopaliny głównej (nawet w kat. A+B) oraz w kontekście przełomu w technologii pozyskiwania metanu z pokładów węgla otworami z powierzchni (projekt pilotażowy Gilowice zrealizowany przez PGNiG S.A. i PIG-PIB) gruntownych zmian wymaga dokumentowanie metanu jako kopaliny głównej.
4. Po wypracowaniu zmian w dokumentowaniu metanu z pokładów węgla (CBM), z uwzględnieniem praktyk międzynarodowych, zaleca się ponowną weryfikację bazy zasobowej metanu z pokładów węgla jako kopaliny głównej zarówno w przypadku złóż już udokumentowanych (w kat. C i A+B), jak i zasobów perspektywicznych. W ślad za tym powinna iść odpowiednia polityka koncesyjna.
5. W obliczu możliwości skutecznego prowadzenia odmetanowania przedeksplatacyjnego otworami z powierzchni, który jest we wstępnej fazie eksperymentalnej (program badawczy Geo-Metan realizowany przez PGNiG i PIG-PIB), konieczne jest wypracowanie odpowiedniego modelu i usunięcie barier formalno-prawnych prowadzenia tego rodzaju wydobycia metanu na obszarze złóż czynnych kopalń, gdzie metan udokumentowany jest jako kopalina towarzysząca.

Stanisław Wolkowicz

7.6. URAN (*URANIUM*)

7.6.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Złoża uranu występują w skałach o bardzo zróżnicowanej genezie, stąd też w ciągu kilkudziesięciu lat powstało wiele klasyfikacji, ale najbardziej rozpowszechniona jest klasyfikacja opracowana przez Dahlkamp (1979), omówiona przez Paulo i Piestrzyńskiego A. (1991). Podobną, uproszczoną klasyfikację przyjęli Smakowski i in. (2013). Natomiast z uwagi na to, że od wielu lat OECD wydaje szczegółowe opracowanie dotyczące całości gospodarki uranem – *Uranium: Resources, Production and Demand* zasadne jest korzystanie z klasyfikacji tam stosowanej (OECD, 2018). Wyróżnia się w niej następujące typy złóż: (I) związane z proterozoiczną niezgodnością (*Proterozoic unconformity*), (II) piaskowcowe (*sandstone*), (III) kompleksy polimetalicznych brekcji hematytowych (*polymetallic Fe-oxide breccia complex*), paleozlepieńców kwarcowych (*Paleo-quartz-pebble conglomerate*), związane z granitami (intragranitowe, *granite-related*), metamorficzne (*metamorphite*), związane ze skałami intruzywnymi (*intrusive*), związane z wulkanitami (*volcanic-related*), metasomatyczne (*metasomatite*), wietrzeniowo-skorupowe na powierzchni (tzw. złoża kalkretowe; *surficial deposits*), węglanowe (*carbonate*), brekcji zapadliskowych (*collapse breccia*), fosforytowe (*phosphate*), węglowe (*lignite-coal*), czarnych łupków (*black shale*) i inne.

7.6.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Światowe zasoby uranu są klasyfikowane według kosztów uzyskania 1 kg uranu. Zasoby prognostyczne są oszacowane łącznie na ok. 3,5 mln Mg, a zasoby hipotetyczne na 5,8 mln Mg.

Roczne światowe zapotrzebowanie na uran według stanu na 1.01.2017 r. wynosi 62 825 Mg i w okresie od 2013 r. w całości pokrywane jest przez bieżącą produkcję. Wcześniej, w latach 1989–2012, produkcja była znacznie niższa od zapotrzebowania, a różnica była uzupełniana paliwem jądrowym pochodzącym przede wszystkim z likwidowanej broni jądrowej. Obecnie wystarczalność statyczna światowych zasobów uranu kształtuje się na poziomie 55 lat. Rezerwy znajdujące się w złożach hipotetycznych wydłużają tę wystarczalność o kolejne 90 lat. W Polsce, wobec braku elektrowni jądrowych i niesprecyzowane plany co do terminu ich budowy i ich liczby, trudno ocenić skalę zapotrzebowania. Należy jednak zwrócić uwagę, że posiadanie własnych złóż uranu nie rozwiązuje problemu zapewnienia paliwa jądrowego, gdyż konieczne jest przeprowadzenie procesu wzbogacenia uranu w promieniotwórczy radioizotop ^{235}U , którego ilość w produkcie handlowym (*yellow cake*) wynosi 0,72%. Odpowiednimi technologiami dysponują tylko niektóre kraje Unii Europejskiej (Francja, Wielka Brytania, Niemcy, Holandia) oraz USA, Kanada, Rosja, Chiny i Japonia (Kaniewski, 2008).

7.6.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Kryteria wyznaczania złóż rud uranu w Polsce określono w *Rozporządzeniu...* (2015a; tab. 7.29).

Tab. 7.29. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża rud uranu i jego granice
(*Rozporządzenie..., 2015a*)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Maksymalna głębokość dokumentowania	m	1000
Minimalna zawartość (U) w próbce konturującej złożo	%	0,01
Minimalna średnia zawartość (U) w profilu złoża wraz z przerostami płonnym	%	0,01
Minimalna zasobność złoża (U)	kg/m ²	0,8

7.6.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Smakowski i in. (2013) zaproponowali, by dla pożądaných obiektów złożowych wprowadzić dodatkowe kryterium zasobowe, pozwalające na rentowne funkcjonowanie podmiotu gospodarczego eksploatującego złożę. Przyjęto, że złożę (lub grupa złożów) powinno zapewnić podaż rud uranu w okresie co najmniej 10 lat na poziomie produkcji 1000 Mg rocznie, bez względu na jakość kopaliny.

7.6.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Wystąpienia uranu w Polsce znane są z Sudetów, monokliny przedsudeckiej, syneklizy perybałtyckiej, obniżenia podlaskiego, Gór Świętokrzyskich i Karpat.

Badania geologiczne prowadzone w Sudetach do końca lat 80. XX w. przyczyniły się do rozpoznania praktycznie wszystkich jednostek strukturalnych tego obszaru. W rejonie Grzmiącej koło Głuszyca udokumentowano ok. 792 Mg uranu w rudzie o średniej zawartości 0,045% U. Okruszczowanie jest związane z ładowymi zlepieńcami i piaskowcami karbonu górnego i reprezentuje typ piaskowcowy złóż uranu. Zmineralizowane skały są silnie zdiagenezowane, nieprzepuszczalne lub prawie nieprzepuszczalne, ponadto są silnie zuskokowane, a nachylenie warstw wynosi 20–30° (Miecznik, 1983). Wyklucza to możliwość pozyskania uranu z tego wystąpienia metodą podziemnego ługowania (Miecznik i in., 2011). W rejonie Okrzeszyna (depresja śródsudecka) w latach 50. XX w. udokumentowano wystąpienie uranu w stefañskich pokładach węgla (tzw. warstwy radwanickie) oraz w autuńskich łupkach antrakozjowych. Okruszczowanie występuje w kilku pokładach węgla i łupkach węglistych lub otaczających je piaskowcach i zlepieńcach. Pokłady te rozdzielają pakiety skał płonnych o znacznej miąższości (Nielubowicz i Wróblewski, 1963). Zawartość uranu dochodzi do 0,2% (średnio 0,13%), a zasoby wynoszą 938 Mg uranu (Kaczmarek i in., 1959). Mała miąższość ciał rudnych, średnio 0,2 m, i bardzo duża nieregularność występowania mineralizacji w pokładach węgla mogłyby stanowić poważny problem przy eksploatacji, a niekompletność danych o złożu i zasobach uranu każą podchodzić do złoża Okrzeszyn z dużym sceptycyzmem (Miecznik i in., 2011). W rejonie Radkowa i Wambierzyc (SW część depresji śródsudeckiej) w dolnopermskich łupkach walchiowych z Ratna Dolnego stwierdzono obecność 10–12 poziomów zmineralizowanych uranem o miąższości wahającej się od 0,2 do 1,5 m, w których średnia ważona zawartość U_3O_8 wynosi od 40 do 200 ppm (Wołkowicz S., 1990, 1992b). Zasoby uranu w tej formacji skalnej określono na 217,5 Mg. Niska zawartość uranu, jego silny związek z substancją organiczną, duże odległości między poziomami uranonośnymi i niewielkie zasoby powodują, że mineralizacja ta nie ma wartości gospodarczej.

Formacje magmowe i metamorficzne Sudetów zostały przebadane bardzo dokładnie i nie rokuja perspektyw odkrycia nowych złóż uranu (Miecznik i in., 2011; Smakowski i in., 2013).

Na obszarze Niżu Polskiego okruszczowanie uranowe znane jest przede wszystkim z dwóch formacji: łupków dictyonemowych obniżenia podlaskiego oraz skał drobnoklastycznych triasu dolnego.

Dolnoordowickie łupki dictyonemowe obniżenia podlaskiego zawierają bardzo ubogie okruszczowanie polimetaliczne (U-V-Mo) typu łupków czarnych. Pod względem litologicznym są to ilowce i mułowce, w spągu barwy czarnej, przechodzące ku stropowi w brunatne. Ich miąższość waha się od kilkunastu centymetrów do ok. 4 m, średnio wynosi 2,7 m. Skały te zawierają znaczną ilość substancji organicznej (do 11,5%) o niskim stopniu dojrzałości odpowiadającym wczesnemu stadium okna ropnego (Grotek i in., 2013). Głębokość zalegania wynosi od ok. 400 m w NE części obniżenia podlaskiego i stopniowo zwiększa się do ponad 1000 m w SW części tej struktury. Na podstawie analizy kilku tysięcy próbek określono, że średnia zawartość uranu w czarnej odmianie łupków wynosi ok. 70 ppm. Łupki brunatne są znacznie uboższe w uran, którego średnia zawartość wynosi w nich ok. 30 ppm. Uran występuje głównie w formie związków metaloorganicznych. Badania technologiczne wykazały, że metodą kwaśną ługuje się od 64 do 81% uranu, a metodą alkaliczną jedynie ok. 42% (Frąckiewicz i in., 2012). W celu oceny kosztów wydobycia zmineralizowanych łupków zaprojektowano wirtualną kopalnię. Z przeprowadzonej analizy wynika, że sam koszt wydobycia skał niezbędnych do uzyskania 1 kg produktu handlowego (tzw. *yellow cake*) wynosi ok. 800 USD (Galica i in., 2016), co wielokrotnie przekracza obecną cenę rynkową wahającą się w granicach 70–80 USD/kg. Uwzględniając wystarczalność statyczną zasobów uranu na świecie, która znacznie przekracza 100 lat, dolnoordowickie łupki dictyonemowe nie mają obecnie wartości gospodarczej.

Podwyższone zawartości uranu w utworach triasu są rejestrowane dość powszechnie na terenie Polski. Występują one w skałach środkowego pstręgo piaskowca od perykliny Żar począwszy, a na syneklizie pery-

bałtyckiej skończywszy (Saldan i Strzelecki, 1980). Najbogatsze okruszczowanie występuje w utworach górnego pstręgo piaskowca środkowej części syneklizy perybałtyckiej. Strzelecki (1985) zalicza je do złóż typu piaskowcowego, podtypu złóż tabliczkowo-soczewkowych (*tabular*). Cechuje je bardzo duża zmienność lateralna i wertykalna, relatywnie duża głębokość występowania (najpłycej 750–800 m na Mierzei Wiślanej), związek z szarymi skałami zawierającymi niewielką ilość substancji organicznej (Klimuszko i in., 2013) oraz wanad, selen, molibden, ołów i arsen jako pierwiastki towarzyszące. Uran z tych skał dobrze się ługuje, zwłaszcza z zastosowaniem metody alkalicznej (Frąckiewicz i in., 2012). Zasoby uranu w tej strefie, na podstawie analizy porównawczej z innymi wystąpieniami uranu tego typu na świecie, oszacowano na ok. 20 tys. Mg (Strzelecki i Wołkowicz S., 2011). Biorąc jednak pod uwagę stopień rozpoznania tej mineralizacji, głębokość jej występowania, zmienność okruszczowania, która skutkuje niedostateczną wiedzą o kształtach, formie i rozmiarach ciał rudnych, brak szczelnych warstw umożliwiających ekranowanie ługowania od spągu i stropu, zasoby te należy uznać za hipotetyczne. Z przeglądu złóż światowych wynika, że na świecie nie prowadzi się ługowania otworowego rud uranu na tak dużych głębokościach, w praktyce maksymalna głębokość stref ługowania ogranicza się do 300–400 m.

Z obszaru Polski znane są jeszcze inne wystąpienia uranu, które w przeszłości dość szczegółowo badano. Dotyczy to łupków menilitowych Karpat (Kita-Badak i in., 1965), węgla Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (Saldan, 1965; Jęczalik, 1970) i kopalni Staszic w Rudkach (Góry Świętokrzyskie; Uberta, 1970). Z tego ostatniego miejsca uran wydobywany był jako kopalina towarzysząca do 1968 r. (Zdulski, 2000). Wszystkie te formacje geologiczne nie zawierają jednak takich koncentracji uranu, które mogłyby być uznane za potencjalnie perspektywiczne (Miecznik i in., 2011).

7.6.6. Stan rozpoznania geologicznego

Polska jest dobrze rozpoznana pod kątem możliwości występowania złóż rud uranu. Z uwagi na to, że uran był traktowany po II wojnie światowej jako pierwiastek strategiczny, w ramach tzw. badań równoległych (Strzelecki i Wołkowicz S., 2019) weryfikowano przejawy okruszczowania uranem, w tym również wszystkie anomalie promieniowania gamma stwierdzane w badaniach karotażowych we wcześniej wykonywanych otworach wiertniczych. Wszystkie formacje geologiczne, w których stwierdzono obecność okruszczowania uranowego, były następnie obiektami szczegółowych badań geologicznych.

7.6.7. Ocena zasobów i ich zmian

W okresie ostatnich kilku lat została opracowana syntetyczna ocena wystąpień uranu w Polsce (Miecznik i in., 2011), analiza możliwych źródeł zaopatrzenia potencjalnych elektrowni jądrowych (Smakowski i in., 2013). Zbadano również pouranowe hałdy sudeckie, na których znajduje się nie więcej niż 10–30 Mg uranu, przez co nie mogą one stanowić źródła zaopatrzenia w uran (Wołkowicz S. i in., 2016a). Przeprowadzono także analizę kosztów wydobycia uranonośnych łupków dictyonemowych. Opracowano projekt szczegółowych badań sejsmicznych mających na celu zbadanie możliwości okonturowania uranowych ciał rudnych na obszarze Mierzei Wiślanej i na południe od Zalewu Wiślanego, jednak przeprowadzony zwiad terenowy wykazał, że nie ma możliwości realizacji prac w ten sposób, by wykonane wcześniej otwory wiertnicze mogły być potraktowane jako repery do interpretacji wyników pomiarów.

Wykonane prace w pełni potwierdziły ocenę zawartą w poprzedniej edycji *Bilansu* (Strzelecki i Wołkowicz S., 2011).

7.6.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Dobre rozpoznanie geologiczne obszaru Polski z wykorzystaniem interpretacji karotaży geofizycznych wszystkich głębokich wiercen pozwala stwierdzić, że prawdopodobieństwo znalezienia złóż uranu na innych obszarach i strukturach geologicznych Polski jest minimalne. Najbardziej perspektywiczne są skały triasu dolnego basenu bałtyckiego, w których występują koncentracje uranu odpowiadające złożom typu piaskowcowego, zwłaszcza w rejonie Mierzei Wiślanej i Zalewu Wiślanego. Szacowane zasoby uranu w występujących tam ciałach rudnych mogą sięgać 20 000 Mg. Z uwagi na znaczną głębokość występowania, dużą zmienność okruszczowania charakterystyczną dla złóż typu piaskowcowego i słabe rozpoznanie geologiczne ciał rudnych wskazane zasoby należy traktować jako hipotetyczne. Dodatkowym czynnikiem utrudniającym potencjalną eksploatację są duże walory przyrodnicze tego terenu. W związku z ogromną zmiennością

okruszczowania złóż typu piaskowcowego wskazane jest monitorowanie wyników pomiarów geofizycznych w otworach, które mogą być wykonywane na obszarze występowania utworów triasu basenu bałtyckiego w innych celach badawczych (np. rozpoznawanie struktur naftowych).

Poszukiwania prowadzone na bardzo szeroką skalę do 1990 r. pozwoliły na szczegółowe rozpoznanie występowania uranu w formacjach geologicznych na terenie Polski, a obszar Sudetów, na którym była prowadzona eksploatacja uranu, ma obecnie jedynie znaczenie historyczne.

Łupki dictyonemowe obniżenia podlaskiego zawierają podwyższone zawartości U-V-Mo, ale w obecnych uwarunkowaniach ekonomicznych nie mogą być rozpatrywane jako obszar perspektywnego występowania rud uranu.



8. RUDY METALI

pod redakcją Stanisława Wołkowicza

Sławomir Oszczepalski, Marek Markowiak, Andrzej Chmielewski

8.1. RUDY MIEDZI I SREBRA (*COPPER AND SILVER ORES*)

Rudy srebra w Polsce nie tworzą samodzielnych złóż, dlatego najczęściej były pomijane przy ocenie perspektyw zasobów. W Polsce srebro pozyskiwane jest podczas przetwarzania metalurgicznego koncentratów produkowanych z dolnośląskich złóż rud Cu-Ag i śląsko-krakowskich złóż rud Zn-Pb.

8.1.1. Rodzaje złóż i ich geneza

W najwcześniejszych ocenach perspektyw występowania rud miedziowo-srebrowych za perspektywicznie uznawano następujące formacje rudonośne: cechsztyńską w SW Polsce i Górach Świętokrzyskich, permsko-karbońską niecki śródsudeckiej, dewońską Gór Świętokrzyskich, magmową i osadową NE obrzeżenia Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, a także złoża i wystąpienia polimetaliczne w Sudetach, Górach Świętokrzyskich i Karpatach (Konstantynowicz, 1971; Bolewski i Gruszczyk, 1986; Osika, 1987a; Bąk i Przeniosło, 1993; Paulo i Strzelska-Smakowska, 2000). Podobnie jak w poprzedniej ocenie (Oszczepalski i Speczik, 2011a), należy uznać, że przy obecnym stanie wiedzy i uwarunkowaniach ekonomicznych zasoby prognozytyczne, perspektywiczne i hipotetyczne rud miedzi i/lub srebra można określić jedynie w odniesieniu do złóż: (I) stratoidalnych Cu-Ag monokliny przedsudeckiej, niecki północnosudeckiej i perykliny Żar; (II) stratoidalnych Zn-Pb obszaru śląsko-krakowskiego; (III) porfirowych Mo-Cu-W i skarnowo-metasomatycznych Cu(-Mo-W-Zn-Pb-Fe-Bi-As-Te) strefy kontaktowej bloku górnośląskiego i małopolskiego oraz (IV) hydrotermalnych – żyłowych i stratoidalnych Cu(-Pb-Zn-Ag) oraz hipergenicznych w dewońskiej formacji miedzionośnej Gór Świętokrzyskich.

Na świecie znanych jest ponad 2300 złóż rud miedzi, w tym ponad 280 jest eksploatowanych (Cox i Singer, 1986; Paulo i Strzelska-Smakowska, 2000; Cox i in., 2007; Singer, 2017; Mudd i Jowitt, 2018). Do najważniejszych pod względem ekonomicznym rodzajów złóż należą: porfirowe (*porphyry*), stratoidalne (*stratabound*), magmowe (likwacyjne) rud Cu-Ni(-PGE) w skałach ultrazasadowych, magmowe rud Fe-Cu(-Ti-V) w skałach zasadowych, wulkanogeniczne i ekshalacyjno-osadowe tzw. piryty miedzionośnych (*volcanogenic massive sulphide* – VMS, *sedimentary-exhalative* – *sedex*), hydrotermalne Cu-Au-U(-Fe) (*iron oxide copper-gold* – IOCG), skarnowe rud polimetalicznych Cu(-Zn-Pb-Ag-Au-Fe), epitermalne, hydrotermalne żyłowe i metasomatyczne rud Cu-As i Cu-Zn-Pb-Ag-Au(-Sb), karbonatytowe rud Fe-Cu-P-REE, miedzi rodzimej w skałach wulkanicznych oraz podmorskie złoża polimetaliczne (*sea floor massive sulphides* – SMS). Najważniejszymi źródłami miedzi są obecnie złoża porfirowe, stratoidalne, magmowe i hydrotermalne (Mudd i Jowitt, 2018).

Złoża porfirowe miedzi (*porphyry copper deposits* – PCDs) powstają w wyniku procesów hydrotermalnych związanych z intruzjami porfirowatych granodiorytów o niewielkich rozmiarach (<2 km średnicy). Poszczególne złoża mają zwykle 0,5–6,0 km średnicy i znaczne zasoby rud, najczęściej ponad 100 mln Mg rudy, przeciętnie rzędu 250 mln Mg, o przeważnie niskich zawartościach miedzi, zwykle w granicach 0,3–2,0% (John i in., 2010; Sillitoe, 2010). Dla znanych 422 złóż na świecie (wg stanu na 2008 r., Singer i in., 2008), mediana zawartości Cu wynosi 0,44%. W złożach tych występują zmienne koncentracje różnych metali, lecz największe znaczenie mają Cu, Mo, W i Au (Singer i in., 2008; Sillitoe, 2010). Mineralizacja ma charakter sztokwerkowy, żyłkowy i impregnacyjny. Dominuje zwykle chalkopiryt z pirytem, lokalnie ze znacznym udziałem bornitu, molibdenitu i scheelitu. Cechą charakterystyczną złóż tego typu jest występowanie stref przeobrażeń hydrotermalnych, od strefy potasowej (biotytyzacja, feldspatyizacja) w centrum systemu przez propylitową (epidotyzacja, chlorytyzacja) i serycytowo-chlorytową (serycytyzacja, chlorytyzacja) do argilitowej (sylikfikacja) w partiach dystalnych (Lowell i Guilbert, 1970; Sillitoe, 2010). Ze strefowością przeobrażeń wiąże się strefowość występowania metali: w centralnych partiach złóż dominują Cu, Mo, W i Sn, a w zewnętrznych istotnymi składnikami są Au, Ag, Pb, Zn i Bi. Mineralizacji porfirowej często towarzyszą złoża skarnowe, metasomatyczne, żyłowe i epitermalne (Pirajno, 2009; Sillitoe, 2010).

Złoża stratoidalne (*sediment-hosted stratabound/ stratiform copper deposits* – SSC) są związane z seriami osadowymi o zwykle małej miąższości, lecz o znacznym lateralnym rozprzestrzenieniu (Bowen i Gunatillaka, 1977; Gustafson i Williams, 1981; Kirkham, 1989; Hitzman i in., 2005; Cox i in., 2007; Taylor C.D. i in., 2013; Zientek i in., 2015). Występują przeważnie w formie ciągłego lub nieciągłego pokładu obejmującego serię osadów o wąskim zakresie stratygraficznym. Charakterystyczne jest usytuowanie pokładu złożowego

między osadami asocjacji czerwonej pochodzenia lądowego (*red beds*) i ewaporatami oraz przywiązanie do transgresywnych utworów redukcyjnych, głównie czarnych łupków (rzadziej do ciemnoszarych piaskowców i skał węglanowych). Z tego powodu w obrębie złóż typu SSC wyróżnia się podtyp związany z facją redukcyjną lub z łupkiem miedzionośnym (*reduced-facies copper deposits*, *Kupferschiefer-type deposits*; Cox i in., 2007). Dla 50 złóż tego subtypu mediana wynosi 34 mln Mg rudy o zawartości 1,5% Cu (Taylor C.D. i in., 2013). Złoża te powstają w wyniku reakcji niskotemperaturowych metalonośnych roztworów o utleniającym charakterze z reduktorami (materia organiczna, piryty, węglowodory) obecnymi w osadzie w trakcie jego diagenety. W złożach tych miedzi towarzyszą liczne metale, przede wszystkim Ag i Co, a także Pb, Zn, Ni, V, Mo, Au i PGE. Dominuje mineralizacja rozproszona, reprezentowana zwykle przez chalkozyn, digenit, kowelin, bornit i chalkopiryt. Złoża te mają różne zasoby, przeważnie od 1,6 do 170,0 mln Mg (ze średnią zawartością Cu w granicach 0,7–4,2%), z medianą w wysokości 14 mln Mg rudy o zawartości 1,6% Cu obliczonej dla 170 złóż (Taylor C.D. i in., 2013).

Srebro jest najczęściej składnikiem złóż polimetalicznych, rzadziej występuje w postaci samodzielnych złóż rud Ag (Cox i Singer, 1986, 1992; Paulo i Strzelska-Smakowska, 2000). Złoża polimetaliczne dostarczają ponad 2/3 światowej produkcji srebra (USGS, 2019). Do głównych złóż rud srebronośnych zalicza się złoża hydrotermalne metasomatyczne, żyłowe, porfirowe, ekshalacyjno-osadowe masywnych piritów i stratooidalne Zn-Pb i Cu-Ag.

8.1.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

W pełni zewidencjonowane światowe zasoby złóż rud miedzi (*mineral resources*) ocenia się na ponad 600 mld Mg rudy o średniej zawartości 0,45% Cu, zawierającej ponad 3 mld Mg Cu, w tym 130 mld Mg rudy o średniej zawartości 0,49% Cu, o zasobach wydobywalnych (*reserves, proved and probable*) w wysokości 641 mln Mg Cu (Mudd i Jowitt, 2018). Wśród tych łącznych zasobów wyróżnia się zasoby nadające się do bieżącej eksploatacji (*economic reserves*) w ilości 790 mln Mg Cu. Zasoby planowane do eksploatacji w przyszłości (*identified resources*) stanowią 2,1 mld Mg Cu, w tym zasoby wydobywalne (*reserves*) wynoszą 830 mln Mg Cu, a zasoby przewidywane (*undiscovered resources*) 3,5 mld Mg Cu (USGS, 2019). Roczne światowe wydobycie kształtuje się na poziomie ok. 21 mln Mg Cu (USGS, 2019). Światowy popyt na miedź ma się podwoić do 2050 r. i przewyższyć wielkość produkcji, której szczyt przypadnie przypuszczalnie w wąskim przedziale czasu, od 2031 do 2042 r., być może w 2036 r. w przypadku miedzi i w 2030 r. w przypadku srebra, a następnie zacznie spadać (Sverdrup i in., 2013). Pełny cykl produkcyjny może się jednak znacznie wydłużyć dzięki zakwalifikowaniu części zasobów geologicznych do zasobów przemysłowych (Meinert i in., 2016; Singer, 2017).

Światowe zasoby srebra szacuje się na 560 tys. Mg, a jego roczna produkcja wynosi 27 tys. Mg (USGS, 2019). Najnowsze odkrycia znacznych koncentracji srebra są związane z występowaniem złota, jednak złoża polimetaliczne, z których odzyskuje się najwięcej srebra w postaci produktu ubocznego w kopalniach rud Pb-Zn, Cu i Au, będą nadal głównymi źródłami srebra w przyszłości. W ostatnich latach, wraz ze spadkiem popytu i umiarkowaną ceną srebra, spowolniono rozwój nowych projektów poszukiwawczo-rozpoznawczych.

Złoża porfirowe zawierają największe światowe zasoby miedzi: 540 mld Mg rudy o średniej zawartości 0,4% Cu, w tym 2,3 mld Mg Cu, stanowiące ok. 75–80% wszystkich światowych zasobów i dostarczające 60% produkcji Cu (Mudd i Jowitt, 2018). Drugą pozycję pod względem zasobów zajmują złoża magmowe (ponad 37 mld Mg rudy). Światowe zasoby stratooidalnych złóż rud miedzi wynoszą 22 mld Mg rudy o średniej zawartości 1,48% Cu i zawierają 306 mln Mg Cu. Porównywalne zasoby dotyczą złóż hydrotermalnych IOCG Cu-Au-U-(Fe). Zasoby złóż pozostałych rodzajów nie przekraczają 10 mln Mg rudy.

Obecnie polski przemysł miedziowy wykorzystuje rudy ze stratooidalnych złóż rud Cu-Ag monokliny przedsudeckiej, z tzw. Nowego Zagłębia Miedziowego, w którym znajduje się dziewięć złóż, w tym sześć zagospodarowanych (Głogów Głęboki-Przemysłowy, Lubin-Małomice, Polkowice, Radwanice-Gaworzyce, Rudna i Sieroszowice z czynnymi kopalniami Lubin, Polkowice-Sieroszowice i Rudna) oraz trzy złoża niezagospodarowane (Bytom Odrzański, Głogów i Retków; Malon i in., 2019).

Geologiczne zasoby bilansowe rud stratooidalnych ze złóż monokliny przedsudeckiej i niecki północnosudeckiej do głębokości 1250 m, obliczone zgodnie z kryteriami bilansowości dla pokładowych stratooidalnych złóż rud miedzi (tab. 8.1), wynoszą łącznie 1905,65 mln Mg rudy, zawierającej 34,04 mln Mg Cu i 103,28 tys. Mg Ag (wg stanu na koniec 2018 r.; Malon i in., 2019). W stosunku do 2009 r. nastąpił przyrost zasobów bilansowych rudy o 124 mln Mg, związany ze zmianą metodyki obliczania zasobów i powierzchni obliczeniowych oraz z opracowaniem nowych projektów zagospodarowania. Na monoklinie przedsudeckiej

Tab. 8.1. Kryteria bilansowości dla pokładowych stratoidalnych złóż rud miedzi (*Rozporządzenie...*, 2011)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Maksymalna głębokość spągu złoża	m	1250 (1500)*
Minimalna zawartość miedzi (Cu) w próbce konturującej złożo	%	0,7
Minimalna średnia ważona zawartość ekwiwalentna miedzi (Cu) z uwzględnieniem zawartości srebra (Ag) w profilu złoża wraz z przerostami $C_u = (\%Cu) + 0,01 (g/Mg Ag)$	%	0,7
Minimalna zasobność złoża (C_u)	kg/m ²	50 (35)**

* dopuszczalna głębokość 1500 m dla zasobów pozabilansowych

** wartość dla zasobów pozabilansowych

zasoby bilansowe wynoszą 1802,56 mln Mg rudy (32,62 mln Mg Cu, 97,94 tys. Mg Ag, w tym w złożach aktualnie zagospodarowanych 1663,03 mln Mg rudy o zawartości 30,38 mln Mg Cu i 86,85 tys. Mg Ag), a zasoby przemysłowe wynoszą 1188,51 mln Mg rudy (23,74 mln Mg Cu, 69,71 tys. Mg Ag). Udział zasobów bilansowych w złożach zagospodarowanych względem całości udokumentowanych zasobów bilansowych wynosi 92,2%, a udział zasobów przemysłowych w złożach zagospodarowanych – 71,5%, co oznacza, że rezerwy w złożach niezagospodarowanych i zagospodarowanych są bardzo małe i coraz mniejsze w stosunku do lat ubiegłych (por. Nieć i Radwanek-Bąk, 2009; Galos i Szamałek, 2011).

W 2018 r. w Polsce wydobyto 30,252 mln Mg rudy o zawartości 1,49% Cu i 48,6 ppm Ag, zawierającej 452 tys. Mg Cu i 1471 Mg Ag oraz wyprodukowano 501,8 tys. Mg miedzi elektrolitycznej (w tym 385,3 tys. Mg z własnych koncentratów) i 1189 Mg Ag (Malon i in., 2019). Udokumentowane zasoby są stopniowo wyczerpywane, a stopień zagospodarowania zasobów bilansowych jest bardzo wysoki. W poprzedniej ocenie (Oszczepalski i Speczik, 2011a) uznano, że stan zasobów przemysłowych (1193,84 mln Mg rudy, 24,98 mln Mg Cu, 70,30 tys. Mg Ag) stwarza możliwość wydobywania 20–30 mln Mg rudy przez ok. 20–40 lat. Wystarczalność statyczna wyliczona dla zasobów przemysłowych monokliny przedsudeckiej w wysokości 1188,51 mln Mg rudy (wg stanu na 2018 r.) z uwzględnieniem aktualnego rocznego wydobycia wynosi 39 lat. W przypadku wystarczalności statycznej zasobów bilansowych w złożach zagospodarowanych monokliny przedsudeckiej (1663,03 mln Mg rudy) oszacowano, że przy obecnym poziomie wydobycia zasoby te mogą zapewnić trwałość produkcji na dość długi czas – ok. 55 lat, a w przypadku wszystkich zasobów bilansowych (1802,56 mln Mg rudy) na 60 lat, czyli do ok. 2070–2080 r. Zwiększenie horyzontu czasowego może nastąpić dzięki optymalnemu wykorzystaniu zasobów, stabilizacji produkcji górniczej na nieco niższym niż obecnie poziomie lub wykorzystaniu głębiej położonych złóż rezerwowych i perspektywicznych.

Udokumentowane niezagospodarowane złoża, rezerwowe dla górnictwa rud Cu-Ag, występują w zachodnim i północnym otoczeniu złóż udostępnionych czynnymi kopalniami (fig. 8.1). Łącznie zasoby bilansowe złóż niezagospodarowanych do głębokości 1250 m wynoszą 139,53 mln Mg rudy (2,24 mln Mg Cu, 11,08 tys. Mg Ag), co stanowi zaledwie ok. 8% ogólnej ilości zasobów bilansowych na monoklinie przedsudeckiej. Ewentualne objęcie eksploatacją złóż niezagospodarowanych przedłuży okres produkcji górniczej o ok. 5 lat, a w przypadku udostępnienia w przyszłości północnych fragmentów złóż niezagospodarowanych, znajdujących się na głębokości od 1250 do 1500 m, o dalsze 5 lat.

W *Bilansie zasobów* są ujęte też złoża stratoidalne niecki północnosudeckiej (tzw. Starego Zagłębia Miedzowego): Niecka Grodziecka i Nowy Kościół (których eksploatacji zaniechano) oraz Wartowice (Malon i in., 2019). Łącznie zasoby bilansowe złóż Niecka Grodziecka i Wartowice wynoszą 89,61 mln Mg rudy (1,31 mln Mg Cu, 4,76 tys. Mg Ag), a w złożu Nowy Kościół – 13,48 mln Mg rudy (0,12 mln Mg Cu, 0,58 tys. Mg Ag).

Oprócz złóż stratoidalnych w Polsce udokumentowano złożo Myszków z rudami porfirowymi typu Mo-W-Cu (wraz z towarzyszącym lokalnie okruszczowaniem skarnowo-metasomatycznym), reprezentującymi sztokwerekowy typ mineralizacji molibdenitowo-chalkopirytowej z scheelite, związany z waryscyjskimi porfirowatymi granodiorytami i zmetamorfizowanymi osadami ediakaru (rozd. 8.6.5.1). Złożo to zajmuje obszar o powierzchni ok. 0,5 km², gdzie na głębokości do 1200 m znajduje się 800 mln Mg rudy (700 tys. Mg Cu oraz 350 tys. Mg Mo, 200 tys. Mg W) o średniej zawartości 0,152% Cu, 0,049% Mo (0,156% Mo_e) i 0,041% W (Piekarski i in., 1993). W wyniku weryfikacji zasoby bilansowe w kategorii C₂ określono na 551 mln Mg rudy, zawierającej 804 tys. Mg Cu oraz 295 tys. Mg Mo i 238 tys. Mg W (na powierzchni 0,54 km² do głębokości 1200 m, z nadkładem o miąższości 170 m) oraz zasoby pozabilansowe – 749 mln Mg rudy zawierającej 771 tys. Mg Cu, 298 tys. Mg Mo i 212 tys. Mg W (Siata, 2007; Malon i in., 2019).

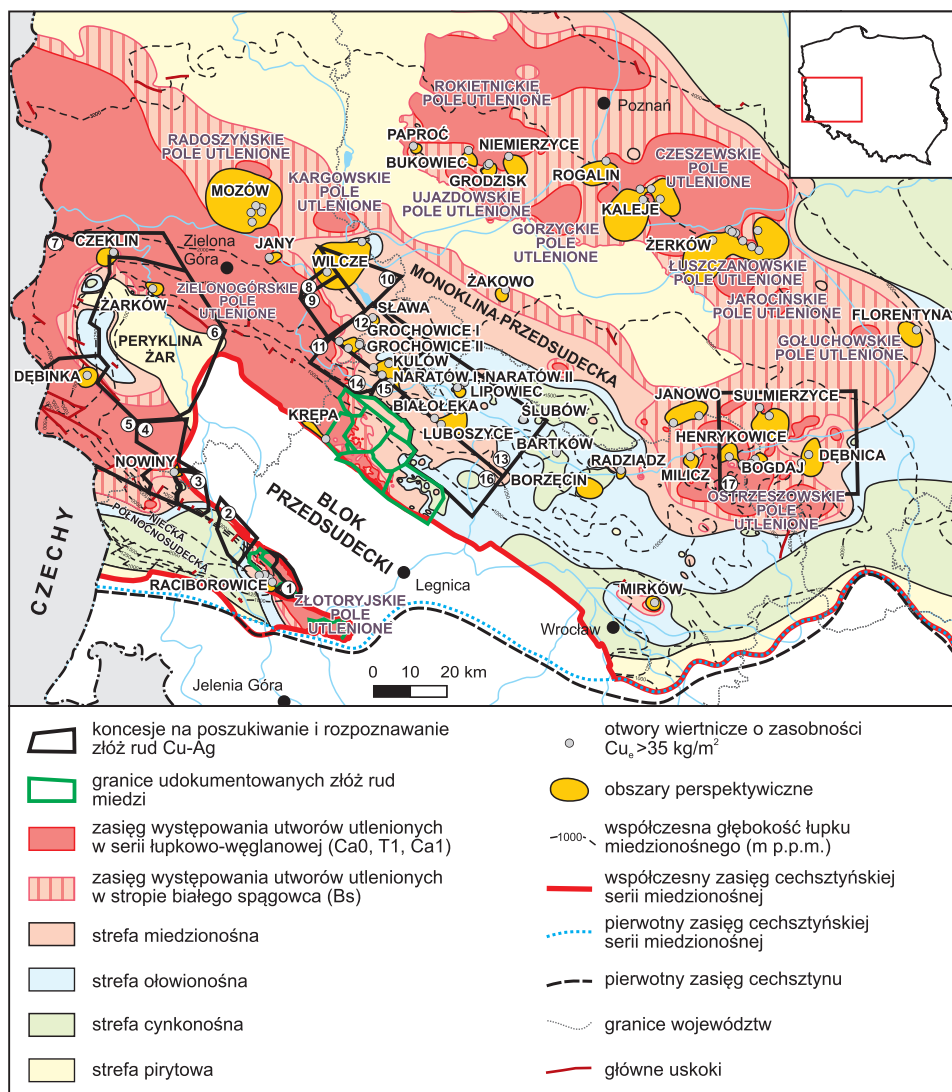


Fig. 8.1. Obszary perspektywiczne na tle rozmieszczenia utworów utlenionych i strefowości metalicznej w utworach cechsztyńskiej serii miedzionośnej SW Polski (wg Oszczepalskiego i in., 2016b, zmiany wg stanu na 31.12.2018 r.)

Koncesje na poszukiwanie i rozpoznawanie złóż rud metali: 1 – Konrad 2/2014/p (KGHM Polska Miedź S.A.), 2 – Iłowa i Bolesławiec-Pole „B” 48/2010/p (Śląsko Krakowska Kompania Górnictwa Metali Sp. z o.o.), 3 – Nowiny 3/2015/p (Śląsko Krakowska Kompania Górnictwa Metali Sp. z o.o.), 4 – Iłowa i Bolesławiec Pole „A” 48/2010/p (Śląsko Krakowska Kompania Górnictwa Metali Sp. z o.o.), 5 – Tuplice 6/2015/p (Amarante Investments Sp. z o.o.), 6 – Peryklina Żar 65/2011/p (Amarante Investments Sp. z o.o.), 7 – Gubin 5/2015/p (Amarante Investments Sp. z o.o.), 8 – Jany 16/2011/p (Zielona Góra Copper Sp. z o.o.), 9 – Nowa Sól 17/2011/p (Zielona Góra Copper Sp. z o.o.), 10 – Wilcze 67/2011/p (Wilcze Copper Sp. z o.o.), 11 – Zatonie 58/2011/p (Zielona Góra Copper Sp. z o.o.), 12 – Kotla 4/2011/p (Leszno Copper Sp. z o.o.), 13 – Kulów-Luboszyce 5/2014/p (KGHM Polska Miedź S.A.), 14 – Bytom Odrzański 3/2014/p (Leszno Copper Sp. z o.o.), 15 – Głogów 25/2013/p (KGHM Polska Miedź S.A.), 16 – Retków-Ścinawa 7/2013/p (KGHM Polska Miedź S.A.), 17 – Sulmierzyce 18/2011/p (Ostrzeszów Copper Sp. z o.o.)

8.1.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

W poprzednim *Bilansie* (Oszczepalski i Speczik, 2011a) decydujące znaczenie dla oceny złożowej stratoidalnych złóż rud miedzi miały obowiązujące wówczas kryteria bilansowości przyjęte *Rozporządzeniem...* (2011; tab. 8.1). Obecnie stosuje się graniczne wartości parametrów definiujących złożo i jego granice (tab. 8.2) wyznaczone na podstawie *Rozporządzenia...* (2015a).

Złoża porfirowe miedzi wyznacza się według obecnie obowiązujących granicznych wartości parametrów definiujących złożo i jego granice dla złóż rud molibdenowo-wolframowo-miedziowych (porfirowych; *Rozporządzenie...*, 2015a; rozdz. 8.6.3).

Tab. 8.2. Graniczne wartości parametrów definiujących pokładowe stratoidalne złożo rud miedzi i jego granice (*Rozporządzenie...*, 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Maksymalna głębokość spągu złoża	m	1500
Minimalna zawartość miedzi (Cu) w próbce konturującej złożo	%	0,5
Minimalna średnia ważona zawartość ekwiwalentna miedzi (Cu) z uwzględnieniem zawartości srebra (Ag) w profilu złoża wraz z przerostami $Cu_e = (\%Cu) + 0,01 \text{ (g/Mg Ag)}$	%	0,5
Minimalna zasobność złoża (Cu_e)	kg/m ²	35

8.1.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Do wyznaczenia obszarów perspektywicznych mineralizacji stratoidalnej zastosowano graniczne wartości parametrów definiujących złożo i jego granice dla pokładowych stratoidalnych złóż rud miedzi (tab. 8.2), z pominięciem maksymalnej głębokości. Kryterium podziału zasobów przypuszczalnych na poszczególne kategorie było położenie obszarów perspektywicznych względem rozpoznanych złóż oraz głębokość zalegania rud o zasobności Cu_e lub Cu minimum 35 kg/m², korygowane liczbą zbadanych otworów wiertniczych (tab. 8.3). Do prognostycznych zaliczono zasoby bezpośrednio przylegające do rozpoznanych złóż, do perspektywicznych – zasoby na obszarach oddalonych od rozpoznanych złóż, na głębokości do 2000 m, a do hipotetycznych – obszary z zasobami na głębokości ponad 2000 m oraz wyznaczone na podstawie tylko jednego otworu (bez względu na głębokość). Ze względu na nieregularne i rzadkie rozmieszczenie otworów zarówno powierzchnia tych obszarów, jak i ilość miedzi i srebra są jedynie przybliżone.

Podobnie jak w poprzednim *Bilansie* (Oszczepalski i Speczik, 2011a), obecnie przyjęto, że izolinie zasobności Cu_e 35 kg/m² (lub Cu w przypadku braku oznaczeń Ag), a więc zgodnej z graniczną wartością minimalnej zasobności złoża (tab. 8.2), wyznaczają granice obszarów potencjalnych złóż. Ze względu na brak w niektórych otworach oznaczeń Ag obliczono dla nich zasobność miedzi (tab. 8.4), co implikuje zaniżone szacunki zasobów miedzi i srebra, a w wielu przypadkach zrezygnowano z oceny zasobów srebra.

Tab. 8.3. Kryteria podziału zasobów na obszarach perspektywicznych mineralizacji stratoidalnej Cu-Ag

Kategoria zasobów	Położenie obszaru względem udokumentowanych złóż miedzi	Głębokość serii złożowej [m]	Liczba otworów o zasobności $Cu_e \geq 35 \text{ kg/m}^2$
Prognostyczne	obszar proksymalny	<1800	≥1
Perspektywiczne	obszar dystalny	<2000	>1
Hipotetyczne			1
		>2000	≥1

Tab. 8.4. Zasoby prognostyczne, perspektywiczne i hipotetyczne cechsztyńskich rud miedzi na obszarach perspektywicznych

Kategoria zasobów	Obszar perspektywiczny	Pow. obszaru [km ²]	Głębokość [m]	Średnia miąższość [m]	Średnia zaw. Cu [%]	Zasoby Cu [mln Mg]	Średnia zaw. Ag [ppm]	Zasoby Ag [Mg]
Prognostyczne	Białolęka	13,80	1500–1600	2,11	1,07	0,779	44	3203
	Grochowice I	15,80	1600–1800	1,10	2,59	1,125	170	7386
	Krępa	9,61	400–500	3,32	0,72	0,574	16	1276
	Kulów	48,64	1500–1700	1,59	3,14	6,071	86	16 628
	Luboszyce	36,19	1500–1600	1,34	0,97	1,176	57	6910
	Raciborowice	7,78	900–1500	3,75	0,79	0,576	24	1937
Razem		131,82	400–1700	nd.	nd.	10,301	nd.	37 340
Perspektywiczne	Dębica	49,80	1600–1800	0,51	6,21	3,943	167	10 604
	Henrykowice	28,40	1400–1700	1,08	1,73	1,327	34	2396
	Janowo	50,70	1600–1900	1,11	1,64	2,307	36	5065
	Sulmierzyce	69,75	1600–1900	2,13	2,18	8,097	26	9657
Razem		198,65	1400–1900	nd.	nd.	15,674	nd.	27 722
Hipotetyczne <2000 m	Bartków	0,52	1300–1400	0,32	4,18	0,017	71	29
	Bogdaj	7,50	1400–1600	1,58	1,52	0,450	34	1007
	Borzęcin	31,70	1400–1600	0,51	4,91	1,984	–	–
	Czeklin	23,75	1600–1800	0,23	10,54	1,439	–	–
	Dębinka	25,64	1400–1600	2,30	0,69	1,017	44	6487
	Grochowice II	2,35	1600–1700	1,52	1,60	0,143	23	205
	Lipowiec	0,12	1400–1500	0,60	2,06	0,004	64	11
	Milicz	13,60	1500–1700	1,86	0,89	0,563	26	1644
	Mirków	12,84	1100–1300	1,17	1,56	0,586	–	–
	Naratów I	0,25	1500–1600	0,52	2,07	0,007	86	28
	Naratów II	7,88	1400–1500	0,55	3,99	0,432	319	3456
	Nowiny	5,70	400–600	0,47	2,64	0,177	100	670
	Radziądz	6,25	1600–1800	1,65	0,93	0,240	7	180
	Sława	9,48	1900–2000	0,45	1,92	0,205	161	1717
	Ślubów	2,50	1300–1400	0,20	9,08	0,113	164	205
	Żarków	13,76	1000–1500	3,01	1,34	1,387	22	2278
Razem		163,84	400–2000	nd.	nd.	8,764	nd.	17 917
Hipotetyczne >2000 m	Bukowiec	12,17	2700–2800	0,60	2,87	0,524	89	1625
	Florentyna	88,58	3200–4200	1,00	2,66	5,891	33	7308
	Grodzisk	10,35	2700–2800	1,07	3,54	0,980	94	2603
	Jany	11,51	2000–2200	1,34	2,13	0,821	–	–
	Kaleje	195,40	2700–3400	2,30	2,75	30,904	26	29 218
	Mozów	370,03	2100–2700	2,33	2,73	58,843	51	43 971

Tab. 8.4. cd.

Kategoria zasobów	Obszar perspektywiczny	Pow. obszaru [km ²]	Głębokość [m]	Średnia miąższość [m]	Średnia zaw. Cu [%]	Zasoby Cu [mln Mg]	Średnia zaw. Ag [ppm]	Zasoby Ag [Mg]
Hipotetyczne >2000 m – cd.	Niemierzyce	32,74	2700–2900	1,00	4,16	3,405	21	1719
	Paproć	6,39	2500–2700	0,10	17,27	0,276	421	673
	Rogalin	53,84	2900–3200	1,90	1,42	3,631	7	1790
	Wilcze	162,21	2000–2500	0,49	5,15	10,233	537	106 706
	Żakowo	10,29	2100–2300	0,40	3,36	0,346	45	463
	Żerków	263,80	2600–3700	1,75	2,29	26,377	58	66 932
Razem		1217,31	2000–4200	nd.	nd.	142,231	nd.	263 008
Razem prognostyczne, perspektywiczne i hipotetyczne		1711,62	400–4200	nd.	nd.	176,970	nd.	345 987

nd. – nie dotyczy

W przypadku złóż porfirowych w początkowym okresie ich rozpoznawania wyróżniano obszary perspektywiczne na podstawie przejawów okruszcowania oraz obecności podwyższonej zawartości Cu i Mo (Piekarski, 1971, 1983, 1994b, c, Harańczyk, 1978, 1980; Nieć, 1988; Habryn i in., 1994; Markowiak i in., 1994; Markowiak, 2005; Truszel i in., 2006). W ostatnich latach ponownie zbadano 66 km bieżących rdzeni z 284 otworów wiertniczych wykonanych w strefie kontaktu bloku górnośląskiego z blokiem małopolskim (Oszczepalski i in., 2008, 2010a), w tym także licznych otworów wykonanych w celu poszukiwań złóż Zn-Pb w utworach triasu w latach 1972–1986, nawiercających utwory paleozoiku (np. Wielgomas, 1988; Wołkiewicz S., 1992a). Obecny stan rozpoznania wciąż nie jest jednak wystarczający, aby dokonać ilościowej oceny zasobów na obszarach występowania potencjalnych złóż, głównie z powodu obecności w profilach wielu interwałów o niezbyt wysokich koncentracjach metali, co uniemożliwia zastosowanie granicznych wartości parametrów definiujących złoża i jego granice dla porfirowych złóż rud Mo-Cu-W (rozdz. 8.6.3). Z tych względów wyróżnienia obszarów perspektywicznych dokonano poprzez okonturowanie rejonów o średniej zawartości ponad 0,02% Cu w najbogatszych interwałach zbadanych otworów wiertniczych, z uwzględnieniem usytuowania obszarów względem złoża Myszków, strefy uskokowej Kraków–Lubliniec i intruzji granodiorytów oraz na podstawie oceny jakościowej mineralizacji kruszczowej (Oszczepalski i in., 2008, 2010a; Oszczepalski i Speczik, 2011a).

8.1.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

8.1.5.1. Stratoidalne złoża Cu-Ag

Złoża te są związane z cechsztyńską serią miedzionołą środkowoeuropejskiego basenu permiego. Obejmuje ona utwory strefy kontaktowej czerwonego spągowca i cechsztynu zaliczane do białego spągowca, wapienia podstawowego, łupku miedzionołego i wapienia cechsztyńskiego. Złoża te występują w formie pokładu, rzadziej w postaci płaskich gniazd. Z wykształceniem litologicznym są związane rodzaje rudy: piaskowcowa, łupkowa i węglanowa. Głównymi kruszcami miedzi są siarczki grupy Cu-S (chalkozyn, digenit, kowelin, djurleit, anilit), Cu-Fe-S (bornit, chalkopiryt, idait) oraz Cu-As-Sb-S (tennantyt i tetradryt). W najbliższym otoczeniu utworów utlenionych dominują siarczki typu Cu-S, natomiast w dalszej odległości przeważają siarczki systemu Cu-Fe-S, którym lokalnie towarzyszą siarczki grupy Cu-As-Sb-S oraz galena, sfaleryt i piryt (Konstantynowicz, 1971; Mayer i Piestrzyński A., 1985; Kucha i Pawlikowski, 1986; Oszczepalski i Rydzewski, 1997; Kijewski, 1998; Kucha, 2007; Piestrzyński A., 2007a; Pieczonka, 2011). Kruszcze występują przede wszystkim w formie rozproszonej, rzadziej gniazdowej, masywnej, pasemkowej i żyłkowej (Piestrzyński A., 2007a).

Srebro występuje w formie minerałów własnych (srebro rodzime, elektum, stromeyerit, naumannit, mckinstyrit, jalpait, chlorargyryt, eugenit, amalgamaty srebra), lecz najistotniejsze nośniki srebra to siarczki miedzi – bornit (do ok. 15% wag. Ag), chalkozyn (do 1,1% wag.), tennantyt–tetraedryt (do 2,4% wag.), djurleit, digenit i chalkopiryt (do 0,4% wag.), galena (do 0,3% wag.), sfaleryt (do 0,1% wag.) i piryt (do 1,5% wag.; Banaś i in., 1976, 2007a; Salamon, 1979; Mayer i Piestrzyński A., 1985; Piestrzyński A. i Salamon, 1986; Kucha, 2007; Pieczonka, 2011; Kozub-Budzyń i Piestrzyński A., 2017). Nowsze badania wykazały, że domieszki diadochowe srebra sięgają w chalkozynie niemal 12% wag., a w bornicie blisko 9% wag. Średnia zawartość miedzi w złożach monokliny przedsudeckiej wynosi 2,1%, a srebra 57 ppm; maksymalna średnia zawartość jest typowa dla rudy łupkowej (5,4% Cu, 134 ppm Ag). Średnia zawartość srebra w rudzie Cu-Ag systematycznie rośnie od obszarów z mineralizacją chalkozynowo-kowelinową (42–56 ppm Ag) w stronę rejonów z mineralizacją bornitowo-chalkopirytową (58–86 ppm), a w strefie Pb-Zn i pirytowej zawartość srebra spada poniżej 20 ppm. Srebro wykazuje korelację z miedzią (Kozub-Budzyń i Piestrzyński A., 2017; Mikulski S.Z. i in., 2018b, 2020).

Stratoidalne złoża Cu-Ag w utworach cechsztyńskiej serii miedzionośnej powstały wskutek ascenzji utleniających, metalonośnych solanek chlorkowych z utworów czerwonego spągowca i strącenia metali w obrębie bariery redukcyjnej spągowego cechsztynu (Rydzewski, 1978; Kucha i Pawlikowski, 1986; Jowett i in., 1987b; Speczik i Püttmann, 1987; Oszczepalski, 1989, 1999; Oszczepalski i Rydzewski, 1991, 1997; Wodzicki i Piestrzyński A., 1994; Speczik, 1995). Były to roztwory o niskiej temperaturze, nieprzekraczającej 135°C (Speczik i Püttmann, 1987; Oszczepalski i in., 2002; Speczik i in., 2007). Ascenzyjne i lateralne przepływy tych roztworów przez utwory redukcyjne w sąsiedztwie skłónów paleowyniesień spowodowały ich utlenienie w tzw. obszarach utlenionych *Rote Fäule* (Rydzewski, 1978; Püttmann i in., 1989; Bechtel i in., 2002). Obecność strefy przejściowej między utworami utlenionymi i redukcyjnymi (Oszczepalski i Rydzewski, 1991), zawierającej mineralizację reliktową (Oszczepalski, 1994, 1999; Oszczepalski i Rydzewski, 1995, 2007; Chmielewski A., 2011, 2014; Chmielewski A. i in., 2015), świadczy o sukcesywnym powiększaniu pionowego i poziomego zasięgu utworów utlenionych przez migrujące roztwory. Możliwe było współdziałanie przepływów związanych z kompaktacją basenu i cyrkulacją wywołaną polem geotermicznym (Kucha i Pawlikowski, 1986; Jowett i in., 1987a, b; Cathles i in., 1993), mogła także zachodzić recyrkulacja roztworów metalonośnych, powodowana mechanizmem sejsmicznym (Blundell i in., 2003). Powstanie złóż miało związek z permsko-triasowym riftingiem, o czym świadczą datowania paleomagnetyczne hematytu (Jowett i in., 1987a) oraz datowania metodami K-Ar illitu neogenicznego (190–2016 mln lat; Bechtel i in., 1999) i Re-Os (240 ± 3,8 mln lat, Pašava i in., 2007; 217 ± 2 i 212 ± 7 mln lat; Mikulski S.Z. i Stein, 2010, 2017; od 245,2 ± 1,6 do 264,7 ± 1,8 mln lat i od 162,3 ± 0,8 do 184,3 ± 2,2 mln lat, Alderton i in., 2016). Dopuszczalne jest możliwość przebiegu kilku etapów procesu mineralizacyjnego (Vaughan i in. 1989; Michalik i Sawłowicz, 2000; Borg i in., 2012) oraz proces zmieszania roztworu ascenzyjnego z descenzyjnym (Kucha i Pawlikowski, 1986; Wodzicki i Piestrzyński A., 1994; Piestrzyński A., 2007b).

Obszary z zasobami prognostycznymi na monoklinie przedsudeckiej i w niecce północnosudeckiej

Monoklina przedsudecka. Kontynuacja wieloletnich badań rdzeni otworów wiertniczych, prowadzonych w otoczeniu odkrytego w 1957 r. złoża Lubin-Sieroszowice (np. Wyżykowski, 1971b, Gospodarczyk i in., 1975b, 1980; Rydzewski, 1978; Oszczepalski i Rydzewski, 1983, 1997; Speczik i in., 2007, 2011a, b; Oszczepalski i in., 2010b), doprowadziła do wyznaczenia obecnie znanego zasięgu mineralizacji (Oszczepalski i Speczik, 2014; Speczik i in., 2014; Oszczepalski i Chmielewski A., 2015; Mikulski S.Z. i in., 2016b). W finalnej wersji na głębokości do 2000 m wyróżniono 21 obszarów perspektywicznych (Oszczepalski i in., 2016b), w tym 5 obszarów z zasobami prognostycznymi (Białółka, Grochowice I, Krępa, Kulów i Luboszyce), 4 z zasobami perspektywicznymi (Dębica, Henrykowice, Janowo, Sulmierzyce) oraz 12 z zasobami hipotetycznymi do głębokości 2000 m, wyznaczonych pojedynczymi otworami (Bartków, Bogdaj, Borzęcin, Grochowice II, Lipowice, Milicz, Mirków, Naratów I i II, Radziądz, Sława i Ślubów; tab. 8.4, fig. 8.1). Obszary Białółka, Grochowice I, Krępa, Kulów i Luboszyce występują w bezpośrednim otoczeniu udokumentowanych złóż monokliny przedsudeckiej i stanowią jego kontynuację, dlatego można je zaklasyfikować do najistotniejszych obszarów prognostycznych, wymagających dalszego szczegółowego rozpoznania. Łącznie we wszystkich wyżej wymienionych obszarach perspektywicznych może znajdować się 34,16 mln Mg miedzi oraz ponad 80 tys. Mg srebra, w tym 9,72 mln Mg Cu i ok. 35 tys. Mg Ag to zasoby prognostyczne, 15,67 mln Mg Cu i 28 tys. Mg Ag – zasoby perspektywiczne oraz 8,76 mln Mg Cu i 18 tys. Mg Ag – zasoby hipotetyczne. Większość tych obszarów jest ściśle związana ze strefami utlenionymi, gdyż występują po

wschodniej stronie zielonogórskiego pola utlenionego oraz wokół ostrzeszowskiego pola utlenionego. Także w rejonie Mirkowa stwierdzono nieznaczne przejawy utlenienia w spągu cechsztyńskiej serii miedzionośnej. Jedynie na obszarach Sława, Grochowice II, Kulów, Lipowiec, Naratów I i II, Ślubów, Bartków i Borzęcin nie natrafiono dotychczas na utwory utlenione.

Białoleka. Obszar ten przylega bezpośrednio do północno-wschodniej części udokumentowanego złoża Głogów oraz do północno-zachodniej części złoża Retków. Został wyznaczony dwoma otworami wiertniczymi przewiercającymi utwory z bogatą mineralizacją miedziowo-srebrową – S-468 i S-469 – oraz izolinią 35 kg/m² Cu_e. Dominuje tu okruszczowanie chalkozynowo-bornitowe. Najbogatszą mineralizację stwierdzono w otworze S-469, w interwale o miąższości 2,7 m i o średniej zawartości 1,3% Cu i 44 ppm Ag, o zasobności Cu_e 112,74 kg/m². Nieco uboższa jest mineralizacja w otworze S-468 (miąższość 1,5 m, średnia zawartość 0,8% Cu i 44 ppm Ag, zasobność Cu_e 46,16 kg/m²). Można przypuszczać, że na tym niewielkim obszarze (13,80 km²) znajduje się 0,779 mln Mg Cu i 3203 Mg Ag w uśrednionym interwale o miąższości 2,11 m, o średniej zawartości 1,1% Cu i 44 ppm Ag, na głębokości 1500–1600 m.

Grochowice I. Występowanie bogatej mineralizacji na północ od złoża Bytom Odrzański stwierdzono najpierw otworami Sława IG-1 i Grochowice M-9 (Gospodarczyk i in., 1975b, 1980; Oszczepalski i Rydzewski, 1983, 1993, 1997). Dopiero jednak zbadanie otworów przemysłu naftowego (Oszczepalski i in., 2010b; Speczik i in., 2011b), dokumentujących złożę gazu Grochowice, dostarczyło nowych danych umożliwiających wyróżnienie obszaru perspektywnego Grochowice I, przyległego od północy do udokumentowanego złoża Bytom Odrzański (fig. 8.1). Obszar ten wyznaczają cztery otwory: S-482, S-483, Grochowice-28 i Grochowice-35. Najbogatszą mineralizacją odznacza się otwór S-482, w którym interwał o miąższości niemal 0,5 m oraz o średniej zawartości 4,9% Cu i 298 ppm Ag ma zasobność Cu_e 88,49 kg/m². W SW części obszaru przeważa okruszczowanie typu Cu-S (chalkozyn, digenit, kowelin), natomiast w części wschodniej mineralizacja bornitowo-chalkozynowa ze znacznym udziałem sfalerytu i galeny. Dominuje ruda łupkowa. Ten niewielki obszar prognostyczny (15,80 km²) zawiera ok. 1,125 mln Mg Cu i 7386 Mg Ag na głębokości 1600–1800 m. Bliskie sąsiedztwo obszaru utlenionego Zielonej Góry sprawia, że należy spodziewać się poszerzenia obecnych granic obszaru Grochowice I, wyznaczonych na podstawie geometrycznej interpolacji danych, w stronę utworów utlenionych i przedłużania się tego obszaru wzdłuż granicy redoks, jako północno-zachodniej kontynuacji złoża Bytom Odrzański (Oszczepalski i Rydzewski, 1983, 1997; Oszczepalski i in., 2017a, b).

Krepa. Jest to rejon usytuowany na zachód od otworu S-16, wyznaczającego południowo-zachodni zasięg obszaru rezerwowego Radwanice-Zachód (Oszczepalski i Speczik, 2011a). W otworze tym mineralizacja Cu-Ag występuje nad utlenionym interwałem wapienia cechsztyńskiego (3,1 m ponad stropem białego spągowca). Na podstawie parametrów złożowych dla otworu S-16 można szacować, że na obszarze o nieznacznej powierzchni (9,61 km²) znajduje się 0,574 mln Mg Cu i 1276 Mg Ag. Pomimo bardzo korzystnej głębokości zalegania serii złożowej (400–500 m) szanse na udokumentowanie tu bogatego złoża są znikome ze względu na występowanie mineralizacji jedynie w wyższej części profilu wapienia cechsztyńskiego.

Kulów. Ten obszar, przylegający do północno-wschodniej części udokumentowanego złoża Bytom Odrzański oraz do północno-zachodniej części złoża Głogów, wyznacza 6 otworów: 4 otwory graniczne złożeń Bytom Odrzański i Głogów (S-471, S-472, S-473, S-474) oraz otwory Kulów 4 i Wilków-35 (Oszczepalski i in., 2010b; Oszczepalski i Speczik, 2011b; Speczik i in., 2011b). Najbogatszą mineralizacją cechuje się otwór S-473, w którym interwał o miąższości 1,4 m oraz o średniej zawartości 4,4% Cu_e i 180 ppm Ag odznacza się zasobnością Cu_e 157,76 kg/m². Zbliżone parametry stwierdzono w otworze Kulów 4 (odpowiednio 1,6 m, 3,0% Cu_e, 41 ppm Ag, 123,87 kg/m² Cu_e). W pozostałych otworach zasobność miedzi zmienia się w granicach od 50 do 80 kg/m². Jest to obszar o znacznej powierzchni (48,64 km²), ze spągim cechsztynu na głębokości 1500–1700 m, gdzie średni interwał miedzionośny o miąższości 1,6 m oraz o średniej zawartości 3,1% Cu i 86 ppm Ag zawiera ok. 6,071 mln Mg Cu i ponad 16 tys. Mg Ag.

Luboszyce. Obszar ten sąsiaduje bezpośrednio ze złożem Retków wzdłuż otworów S-467 i S-501. W północnej części obszaru zbadano otwór Luboszyce 1, który już w latach 90. XX w. stał się podstawą wyznaczenia obszaru perspektywnego (Oszczepalski i Rydzewski, 1993, 1997). W rudzie piaskowcowej przeważają siarczki miedzi (bornit, digenit, kowelin), natomiast w rudzie łupkowo-węglanowej – galena, z podrzędnym udziałem sfalerytu i siarczków miedzi. Otwory cechują zbliżone wartości parametrów złożowych, lecz najkorzystniejsze parametry dotyczą otworu Luboszyce 1 (interwał o miąższości 1,9 m, średnia zawartość 0,8% Cu i 42 ppm Ag, zasobność Cu_e 56,26 kg/m²). Na tym obszarze (o powierzchni 36,19 km²) można się spodziewać obecności złoża o przeciętnej miąższości 1,3 m, średniej zawartości niemal 1,0% Cu i 57 ppm Ag oraz o zasobach rzędu 1,176 mln Mg Cu i prawie 7000 Mg Ag, na głębokości 1500–1600 m.

Obecne szacunki zasobowe dla znacznego obszaru wyznaczonego poprzez geometryczną interpolację danych z dwóch znacznie oddalonych od siebie (7 km) otworów są bardzo orientacyjne. Niemniej jednak wyniki ostatnio prowadzonych poszukiwań wskazują, że obszar ten ulegnie znacznemu powiększeniu, dzięki możliwości jego połączenia z sąsiednimi obszarami perspektywicznymi.

Niecka północnosudecka. Większość obszaru niecki północnosudeckiej zajmują utwory spągowe cechsztynu wykształcone w facji redukcyjnej. Utwory utlenione, podścielające interwały miedzionośne, stwierdzono we wschodnich partiach niecki północnosudeckiej (w Starym Zagłębiu Miedziowym) oraz na pograniczu niecki północnosudeckiej z peryklina Żar. Bogata mineralizacja miedziowa występuje wyłącznie we wschodniej części niecki północnosudeckiej (Konstantynowicz, 1965, 1971; Kubiak i in., 2007). Pomimo zaprzestania eksploatacji w kopalniach Starego Zagłębia Miedziowego (Lena w 1973 r., Nowy Kościół w 1967 r. oraz Konrad w 1989 r.), zasoby bilansowe złóż Niecka Grodziecka (dawniej Konrad), Wartowice i Nowy Kościół zamieszczane są w bilansie zasobów kopalin w Polsce (zaniesienie produkcji w kopalni Konrad nastąpiło w następstwie pogorszenia koniunktury gospodarczej, a nie z powodu wyczerpania zasobów). Według stanu na 31.12.2018 r. łączne zasoby bilansowe tych złóż wynoszą 103,085 mln Mg rudy, w tym 1,422 mln Mg Cu i 5344 Mg Ag (Malon i in., 2019).

W niecce północnosudeckiej wydzielono obszar perspektywny Raciborowice z zasobami prognostycznymi, przylegający od południowego zachodu do udokumentowanego złoża Wartowice (fig. 8.1). Wyznaczają go otwory dokumentujące złożo Wartowice: G-14, G-15, G-16 i G-17 oraz izolinia $35 \text{ kg/m}^2 \text{ Cu}_e$. W wymienionych otworach parametry złożowe zmieniają się w granicach: miąższość interwału 1,9–4,4 m, zawartość Cu 0,9–1,6%, zasobność $47,37\text{--}119,02 \text{ kg/m}^2 \text{ Cu}_e$. Średnia zawartość srebra mieści się w szerokim zakresie 20–160 ppm. Głębokość zalegania spągu cechsztynu zmienia się od 900 m w części południowo-wschodniej do 1500 m w części północno-zachodniej obszaru. Obszar perspektywny jest częściowo ograniczony od południowego zachodu pięcioma otworami z zasobnością poniżej $35 \text{ kg/m}^2 \text{ Cu}_e$. Ze względu na brak otworów na północny zachód od omawianego obszaru trudno ocenić, czy istnieje tam bogata mineralizacja miedziowa, wart natomiast uwagi jest znaczny obszar między złożami Wartowice i Nowy Kościół, gdzie wzdłuż granicy redoks można spodziewać się obecności ciał rudnych.

Obszary z zasobami perspektywicznymi na monoklinie przedsudeckiej

Wszystkie znajdujące się w tej grupie obszary perspektywiczne: Dębica, Henrykowice, Janowo i Sulmierzyce usytuowane są we wschodniej części monokliny przedsudeckiej. Mineralizacja kruszcowa występuje tu w białym spągowcu, łupku miedzionośnym i wapieniu cechsztyńskim (Dębica, Janowo) lub powyżej utlenionych utworów białego spągowca i wapienia podstawowego (Henrykowice, Sulmierzyce), na głębokości 1400–2000 m.

Dębica. Jest to duży obszar (o powierzchni prawie 50 km^2) wyznaczony na podstawie geometrycznej interpolacji wokół otworów Dębica 1 i Świeca 4. Występuje tu ruda łupkowo-węglanowa, w której dominują bornit i chalkozyn. Dla otworów z otworu Dębica 1 nie wykonano oznaczeń srebra, jednak stwierdzono wysoką zasobność Cu ($89,48 \text{ kg/m}^2$) w interwale o miąższości 0,8 m i o średniej zawartości 4,3% Cu. Na obszarze tym mogą występować zasoby w ilości 3,943 mln Mg Cu i 10,60 tys. Mg Ag. Istnieje możliwość połączenia tego obszaru z obszarem perspektywnym Sulmierzyce (Oszczepalski i Speczik, 2011a).

Henrykowice. Obszar wyznaczono częściowo w obrębie ostrzeszowskiego pola utlenionego. Na obszarze tym jest 5 otworów o minimalnej zasobności 35 kg/m^2 : Bogdaj 9, Bogdaj-Uciechów 39, Henrykowice 4, Henrykowice 8 i Szklarka-3. Najkorzystniejsze parametry złożowe ma profil Henrykowice 4 (interwał o miąższości 1,3 m, średnia zawartość niemal 2,0% Cu, 56 ppm Ag, zasobność $83,66 \text{ kg/m}^2 \text{ Cu}_e$). W pozostałych otworach zasobność miedzi wynosi ok. $35\text{--}65 \text{ kg/m}^2$. Mineralizacja występuje ponad utlenionym wapieniem podstawowym (Henrykowice 8) lub białym spągowcem (pozostałe otwory). Dominuje asocjacja kowelinowo-digenitowo-chalkozynowa. Z uwagi na otoczenie utworami utlenionymi istnieje niewielka możliwość powiększenia obszaru perspektywnego kosztem pola utlenionego, choć nie jest wykluczone jego połączenie z sąsiednimi obszarami perspektywicznymi Sulmierzyce, Bogdaj i Milicz.

Janowo. Granice tego obszaru, wyznaczonego początkowo wokół otworu Janowo 2 (Oszczepalski i Rydzewski, 1993), zweryfikowano po zbadaniu otworu Cieszków 1 (Speczik i in., 2013). Usytuowany jest on po północno-zachodniej stronie ostrzeszowskiego pola utlenionego. W otworze Janowo 2 interwał miedzionośny cechuje się miąższością 0,9 m, średnią zawartością 2,3% Cu i zasobnością $49,71 \text{ kg/m}^2$ (bez uwzględnienia srebra). W profilu otworu Cieszków 1 jest obecna ruda łupkowo-węglanowa z asocjacją chalkozynowo-bornitową. Na obszarze ok. 50 km^2 może znajdować się 2,307 mln Mg Cu i ok. 5000 Mg Ag na głębokości 1600–

1900 m. Możliwe jest stwierdzenie jeszcze bogatszej mineralizacji Cu-Ag w najbliższym sąsiedztwie utworów utlenionych, jak również połączenie z rejonem Milicza.

Sulmierzyce. Obszar ten za perspektywiczny uznano już w latach 70. XX w. (Preidl, 1971; Wyżykowski, 1971a). Wykonane w późniejszych latach badania (Oszczepalski i Rydzewski, 1997; Rydzewski i in., 1999; Speczik i in., 2013) wykazały, że obszar ten, wyznaczony trzema otworami: Chruszczyn 3, Odolanów 1 i Sulmierzyce 1, jest otoczony przez siedem pól utlenionych. Na obszarze Sulmierzyce dominuje ruda łupkowo-węglanowa z asocjacją chalkozynowo-bornitową. Najbogatszy jest otwór Sulmierzyce 1, w którym interwał miedzionośny o miąższości 4,3 m i średniej zawartości miedzi 2,1% cechuje bardzo wysoka zasobność – 224,94 kg/m² Cu (bez oznaczeń Ag). Szacuje się, że na tym dużym obszarze (69,75 km²) występuje ponad 8 mln Mg Cu i ponad 9500 Mg Ag w interwale o średniej miąższości 2,1 m oraz o średniej zawartości 2,2% Cu i 26 ppm Ag (srebro oznaczono jedynie w otworze Chruszczyn 3). Pod względem ilości miedzi i powierzchni jest to najbardziej interesujący obszar perspektywiczny we wschodniej części monokliny przedsudeckiej, o wciąż niesprecyzowanych granicach.

Obszary z zasobami hipotetycznymi na głębokości do 2000 m

Monoklina przedsudecka. Wyróżniono tu 12 obszarów perspektywicznych z zasobami hipotetycznymi (wyznaczonych pojedynczymi otworami) na głębokości do 2000 m: Bartków, Bogdaj, Borzęcin, Grochowice II, Lipowiec, Milicz, Mirków, Naratów I i II, Radziądz, Sława i Ślubów (Oszczepalski i in., 2016b). Obszary te samodzielnie nie stanowią obiektów o istotnym znaczeniu, jednak po wykonaniu badań na dostępnych rdzeniach z sąsiednich otworów wiertniczych rola niektórych z nich może wzrosnąć, gdy nastąpi ich połączenie z obszarami prognostycznymi i perspektywicznymi. Największe powierzchnie (12–32 km²) mają obszary Borzęcin, Mirków i Milicz, natomiast powierzchnie pozostałych obszarów nie sięgają 10 km². Największy z nich – obszar Borzęcin – wyznaczono otworem Borzęcin 7, w którym na głębokości 1497 m napotkano interwał o miąższości 0,5 m, o średniej zawartości miedzi 4,9% i zasobności 65,11 kg/m² (bez oznaczeń Ag). Na obszarze tym mogą występować zasoby rzędu 2 mln Mg Cu. Obszar ten limitowany jest sąsiednimi otworami o mineralizacji cynkowo-olowiowej, natomiast istnieje możliwość jego rozszerzenia w stronę obszaru hipotetycznego Radziądz. Pozostałe obszary mają małe zasoby, poniżej 0,6 mln Mg Cu. W przypadku srebra podwyższone zasoby (w granicach 1000–3500 Mg) mogą występować na obszarach Bogdaj, Milicz, Naratów II i Sława. Uwagę zwraca także obszar Mirków, ze względu na nieznaczną głębokość zalegania spągu cechsztynu (1177 m), korzystne parametry złożowe (interwał o miąższości 1,2 m, średnia zawartość Cu 1,6%, zasobność 45,67 kg/m² Cu, bez oznaczeń Ag) oraz obecność utworów utlenionych poniżej łupku miedzionośnego. Na powierzchni ok. 13 km² można spodziewać się tam 0,6 mln Mg Cu, lecz możliwość poszerzenia tego obszaru jest niewielka, gdyż jest on ograniczony otworami o mineralizacji cynkowo-olowiowej (Gospodarczyk i in., 1975a; Oszczepalski i Rydzewski, 1993). Interesujące wydają się również obszary Bogdaj, Milicz i Radziądz, występujące w sąsiedztwie pól utlenionych.

Peryklina Żar. Dotychczas przyjmowano, że redukcjna facja utworów cechsztynu zajmuje centralną część perykliny Żar i jest otoczona utworami utlenionymi (Gospodarczyk i in., 1978; Oszczepalski i Rydzewski, 1993, 1995, 1997). Reinterpretacja rozkładu mineralizacji względem wyniesienia szprotawskiego wykazała, że obszary perspektywiczne występujące w północnej i SW części perykliny Żar przedzielone są obszarem o mineralizacji piritowej (fig. 8.1). W północnej części perykliny Żar wyznaczono dwa obszary perspektywiczne – Czeklin i Żarków – w zatokowo wyodrębniających się partiach facji redukcyjnej, częściowo otoczonych utworami utlenionymi, o łącznych zasobach nieco ponad 2,8 mln Mg Cu, a w SW części perykliny także obszar Dębinka – również na kontakcie z utworami utlenionymi. Ze względu na wyznaczenie tych obszarów pojedynczymi otworami oszacowane zasoby zaliczono do hipotetycznych.

Żarków. Obszar ten wyznaczono po południowej stronie obszaru utlenionego wokół otworu Żarków 1. Interwał miedzionośny ma miąższość 3,0 m, średnią zawartość 1,3% Cu i zasobność 118,60 kg/m² Cu. Jest to pole o niewielkiej powierzchni (13,8 km²), lecz o względnie dużych zasobach, rzędu 1,4 mln Mg Cu i 2300 Mg Ag na głębokości 1000–1500 m. Interwał ten obejmuje strop brekii podstawowej, łupek miedzionośny i spąg wapienia cechsztyńskiego. Dominuje asocjacja chalkozynowo-kowelinowa. Na możliwość nieznacznego powiększenia tych zasobów wskazuje podwyższona koncentracja miedzi w wapieniu cechsztyńskim w niektórych sąsiadujących otworach wiertniczych (Oszczepalski, 1994; Oszczepalski i Rydzewski, 1995).

Czeklin. Obszar ten występuje w strefie kontaktu z zielonogórskim polem utlenionym, w którym tworzy zatokę otwartą w kierunku południowym. Jest to dość duży obszar (24 km²), wyznaczony otworem Czeklin 1, w którym bogata mineralizacja występuje wyłącznie w łupku miedzionośnym o miąższości 0,2 m, o średniej zawartości 10,5% Cu i zasobności miedzi 60,58 kg/m² (bez oznaczeń Ag). W rejonie tym może wystę-

pować blisko 1,5 mln Mg Cu na głębokości 1600–1800 m. Istnieje duże prawdopodobieństwo łączenia się tego obszaru z rejonem Żarkowa wzdłuż granicy obszaru utlenionego.

Dębinka. Obszar ten wyznaczony jest otworem Dębinka P-10, w którym interwał rudny występuje wysoko w profilu wapienia cechsztyńskiego (14,55 m ponad stropem białego spągowca), ponad jego utlenioną częścią dolną (Gospodarczyk i in., 1978; Oszczepalski i Rydzewski, 1995). Dla interwału rudnego, o miąższości 2,3 m oraz średniej zawartości 0,7% Cu i 44 ppm Ag, typowa jest mineralizacja polimineralna (bornit, chalkozyn, kowelin, digenit, sfaleryt) w formie gniazd i soczew (Chmielewski A., 2012). Można przypuszczać, że bogata strefa miedzionośna stwierdzona otworem Dębinka P-10 kontynuuje się wzdłuż granicy redoks i skłonu paleowyniesienia, zarówno w północno-zachodnim, jak i w południowo-wschodnim kierunku. Szczególnie istotne jest znalezienie rejonów, w których granica redoks przecina niższe partie cechsztyńskiej serii miedzionośnej.

Niecka północnosudecka. Na pograniczu nieckie północnosudeckiej i perykliny Żar wyznaczono obszar perspektywiczny **Nowiny** (wokół otworu Nowiny SP-6), przylegający od północy do strefy utlenionej, a od wschodu do bloku przedsudeckiego (fig. 8.1). W otworze tym stwierdzono występowanie interwału o miąższości 0,5 m, o średniej zawartości 2,6% Cu i 100 ppm Ag oraz o zasobności Cu_e 42,74 kg/m² (Bossowski, 1982, 1986; Bossowski i in., 1982, 1998). Występuje tu ruda łupkowo-węglanowa, zdominowana przez chalkozyn. Na obszarze o powierzchni 5,70 km² może występować 0,177 mln Mg Cu i 670 Mg Ag w korzystnym zakresie głębokości – 400–600 m (Oszczepalski i Speczik, 2011a). Istnieje możliwość napotkania na tym obszarze ciała rudnego na korzystnej głębokości (300–700 m), o rozciągłości równoleżnikowej i szerokości 1–3 km, maksymalnie do 10 km w przypadku, gdyby ciało rudne kontynuowało się w SE kierunku. Istnieje także możliwość, że obszar Nowiny przedłuża się w kierunku zachodnim w stronę złoża Weisswasser, w którym dominuje asocjacja digenitowo-chalkopirytowa z bornitem i galeną (Freund i in., 2009; Kucha i Bil, 2017), kontynuującego się dalej w kierunku udokumentowanego w Niemczech złoża Spremberg-Graustein (Kopp i in., 2010).

Obszary z zasobami hipotetycznymi na głębokości poniżej 2000 m

W północnej części monokliny przedsudeckiej wyznaczono 12 obszarów z bogatą mineralizacją miedziozą o zasobności ponad 35 kg/m² Cu na głębokości przekraczającej 2000 m (Oszczepalski i in., 2016b). Centralną część systemu mineralizacyjnego tej części monokliny stanowi strefa piritowa, a rejony z najbogatszym okruszcowaniem występują w otoczeniu obszarów utlenionych wzdłuż obu skłonów wyniesienia wolsztyńsko-pogorzelskiego (fig. 8.1). Cztery obszary perspektywiczne (Jany, Mozów, Wilcze, Żakowo) znajdują się na południe od strefy piritowej, a osiem pozostałych (Bukowiec, Florentyna, Grodzisk, Kaleje, Niemierzyce, Paproć, Rogalin i Żerków) występuje po północnej stronie tej strefy. Pomimo dużej głębokości zalegania utworów zmineralizowanych wskazane obszary poddano ocenie, gdyż śledzenie kontynuacji tej mineralizacji w stronę obszarów płytszych, a także systematyczne gromadzenie wszystkich danych, nie tylko z obszarów perspektywicznych, lecz także z całego basenu cechsztyńskiego, może inspirować dalszą prospekcję i prowadzić do nowych odkryć. Szczegółowe omówienie jest niezbędne jedynie w przypadku obszarów o najkorzystniejszym zakresie głębokości występowania spągu cechsztynu (Jany, Mozów, Wilcze, Żakowo) oraz zbadanych co najmniej dwoma otworami (Grodzisk, Kaleje, Żerków). Pozostałe obszary, z zasobami na znacznej głębokości (poniżej 2500 m), o słabo określonych granicach, wyznaczone pojedynczymi otworami (Bukowiec, Florentyna, Niemierzyce, Paproć i Rogalin), nie wymagają szczegółowego opisu.

Jany. Obszar ten tworzy wąską zatokę wokół otworu Jany 1 we wschodniej części zielonogórskiego pola utlenionego. Mineralizacja w tym otworze była znana od początku lat 70. XX w. (Preidl, 1971; Wyżykowski, 1971a) i wykazywano ją w kolejnych ocenach perspektywiczności rejonu zielonogórskiego (np. Gospodarczyk i Metlerski, 1986; Oszczepalski i Rydzewski, 1993, 1997; Oszczepalski i Speczik, 2011a). W otworze Jany 1 interwał złożowy obejmuje rudę łupkowo-węglanową i ma miąższość 1,3 m, średnią zawartość 2,1% Cu i zasobność 72,24 kg/m² Cu (bez oznaczeń Ag). Na obszarze Jany o powierzchni 11,51 km² można spodziewać się 0,821 mln Mg Cu.

Mozów. Obszar ten znajduje się po północnej stronie zielonogórskiego pola utlenionego i obejmuje swym zasięgiem dwa mniejsze pola utlenione. Zbadany został w latach 90. XX w. (Oszczepalski i Rydzewski, 1997). W ostatnich latach dokonano ponownych ocen perspektywiczności tego obszaru (Oszczepalski i Speczik, 2011a; Speczik i in., 2011a; Oszczepalski i in., 2012). Obszar Mozów wyznaczono czterema otworami: Kije 2, 9 i 10 oraz Mozów-1, którymi przewiercono utwory cechujące się bardzo wysoką zasobnością – w zakresie od 104,62 kg/m² (Kije 2) do 274,35 kg/m² (Kije 9). Interwał miedzionośny ma zmienną miąższość, od 1,3 do 4,3 m. We wszystkich otworach występuje jedynie ruda łupkowo-węglanowa, gdyż

biały spągowiec i spąg łupku miedzionośnego wykazują cechy utlenienia. Dominuje asocjacja chalkozynowo-digenitowo-kowelinowa, niekiedy z dużym udziałem bornitu. Na tym dużym obszarze (ok. 370 km²) może znajdować się prawie 59 mln Mg Cu i niemal 44 tys. Mg Ag w interwale o miąższości 2,3 m oraz o średniej zawartości 2,7% Cu i 51 ppm Ag, na znacznej głębokości (2100–2700 m). Obecny obraz rozprzestrzenienia omawianego okruszcowania pozwala sądzić, że obszar Mozów może łączyć się z obszarami Jany i Wilcze, a następnie przedłużyć się w kierunku złoża Bytom Odrzański.

Wilcze. Obszar ten znajduje się między zielonogórskim i kargowskim polem utlenionym. Wyznaczony jest dwoma otworami: Bojadła 1 i Wilcze-5, w których występuje ruda piaskowcowa i łupkowa, z dominującą asocjacją chalkozynowo-digenitową w spągu oraz bornitowo-chalkozynową ze znacznym udziałem sfalerytu i galeny w górnych częściach interwałów rudnych. Najbogatszym otworem jest Wilcze-5, w którym występuje niewielkiej miąższości (0,2 m) interwał o wysokiej średniej zawartości Cu (8,1%) i Ag (920 ppm) oraz o zasobności 99,21 kg/m² Cu_e. W otworze Bojadła 1 stwierdzono interwał o miąższości 0,7 m, średniej zawartości 2,2% Cu i 155 ppm Ag oraz zasobności 64,55 kg/m² Cu_e. Jest to duży obszar (przypuszczalnie ok. 160 km²) o słabo zdefiniowanych granicach, dla którego oszacowano zasoby w wysokości ponad 10 mln Mg Cu i ponad 106 tys. Mg Ag, występujące na głębokości 2000–2500 m. Uwzględniając ogólne prawidłowości występowania ciał rudnych, przede wszystkim w otoczeniu utworów utlenionych, można przypuszczać, że obszar Wilcze nie stanowi jednego rejonu złożowego, lecz składa się z dwóch oddzielnych subrejonów, z których jeden jest związany z kargowskim, a drugi z zielonogórskim polem utlenionym (Oszczepalski i in., 2019).

Żakowo. Obszar ten wyznaczono wokół otworu Żakowo 4, z interwalem miedzionośnym o małej miąższości (0,4 m), lecz znacznej zawartości miedzi (3,4%) i srebra (45 ppm). Przeważa mineralizacja chalkozynowo-digenitowa i bornitowo-chalkopirytowa ze znacznym udziałem sfalerytu i galeny. Ze względu na brak otworów do zbadania w otoczeniu otworu Żakowo 4 szacunki zasobowe są bardzo orientacyjne. Można się tu spodziewać co najmniej 0,3 mln Mg Cu i ponad 400 Mg Ag na względnie korzystnej głębokości (2100–2300 m). Wydaje się, że jest możliwe napotkanie bogatej mineralizacji miedziowej wzdłuż granicy redoks, nawiązującej do południowego skłonu wyniesienia wolsztyńskiego, lecz brak otworów do zbadania nie pozwala na zweryfikowanie tej hipotezy.

Grodzisk. Obszar ten jest słabo poznany. Wyznaczono go dwoma otworami: Grodzisk 3 i 31, w których przewiercono rudę piaskowcową i łupkowo-węglanową, zdominowaną przez siarczki typu Cu-S (Chmielewski A. i Oszczepalski, 2015). Znajduje się on pomiędzy rakietnickim i ujazdowskim polem utlenionym. Miąższość interwału złożowego zmienia się od 0,5 do 1,6 m, średnia zawartość od 2,3 do 4,8% Cu i od 151 do 37 ppm Ag, a zasobność Cu_e od 85,26 do 109,84 kg/m². Na wyznaczonym obszarze o powierzchni ok. 10 km² może występować ok. 1 mln Mg Cu i ponad 2600 Mg Ag na głębokości 2700–2800 m. Istnieje możliwość połączenia tego obszaru z sąsiednimi obszarami perspektywicznymi Paproć, Bukowiec i Niemierzyce.

Kaleje. Ten duży obszar (195,40 km²) przylega do zachodniego skraju czeszewskiego pola utlenionego. Wyznaczono go początkowo (Oszczepalski i Rydzewski, 1997) na podstawie oznaczeń zawartości metali z otworów Kaleje 4 i 5 (Peryt i Ważny, 1978), a obecny zasięg określono dzięki zbadaniu otworów Kaleje 2 i 3 (Chmielewski A. i Oszczepalski, 2013, 2015). Występuje tu ruda łupkowo-węglanowa, zdominowana przez chalkozyn, digenit i kowelin. Miąższość interwału rudnego zmienia się od 1,9 do 4,0 m, średnia zawartość od 0,7 do 3,9% Cu i od 24 do 28 ppm Ag (srebro oznaczono tylko w otworach Kaleje 2 i 3), a zasobność od 74,59 kg/m² Cu (Kaleje 4) do 187,99 kg/m² Cu_e. Na tym obszarze może występować niemal 31 mln Mg Cu i ponad 29 tys. Mg Ag na głębokości 2700–3400 m.

Żerków. Pierwsze wyniki oznaczeń zawartości metali uzyskane dla otworu Żerków 1 umożliwiły wyznaczenie obszaru perspektywnego pomiędzy czeszewskim i łuszczanowskim polem utlenionym (Oszczepalski i Rydzewski, 1997). Badania następnych otworów wiertniczych pozwoliły na udokładnienie przebiegu granicy obszaru perspektywnego. Obecnie w jego obrębie znajduje się 8 otworów o zasobności ponad 35 kg/m²: Mieszków 1, Radlin 6, 17, 20, 21, 24, 25 i Żerków 1 (Oszczepalski i Chmielewski A., 2013; Chmielewski A. i Oszczepalski, 2015). W otworach tych występuje ruda łupkowo-węglanowa, okruszczona głównie chalkozynem, digenitem i bornitem. Miąższość interwału rudnego zmienia się w nich od 1,1 do 2,9 m, średnia zawartość od 0,9 do 4,4% Cu i od 22 do 96 ppm Ag, a zasobność Cu_e (lub Cu) od 66,22 do 154,36 kg/m² (maksymalnie w otworze Radlin 24). Występuje tu bogata mineralizacja Cu-Ag w interwale o średniej miąższości ponad 1,7 m, średniej zawartości 2,3% Cu i 58 ppm Ag. Na bardzo dużej powierzchni, rzędu 264 km², znajduje się ok. 26 mln Mg Cu i ok. 67 tys. Mg Ag. W centralnej części obszaru mineralizacja jest obecna na głębokości przekraczającej 3000 m, lecz w południowej części występuje płycej (na głębokości 2600–3000 m).

8.1.5.2. Złoże stratooidalne rud Zn-Pb obszaru śląsko-krakowskiego

Srebro w śląsko-krakowskich złożach stratooidalnych rud Zn-Pb typu MVT jest składnikiem towarzyszącym i tworzy domieszki izomorficzne w galenie i sfalerycie. Galena zawiera przeciętnie od 1 do 250 ppm Ag, a sfaleryt od 10 do 70 ppm (Górecka, 1996). Najwyższe koncentracje (do 460 ppm) srebra występują w ciemnoszarym sfalerycie naskorupieniowym (Górecka, 1996; Leach i in., 1996). Nowe badania wykazały, że w niektórych próbkach sfalerytu zawartość srebra sięga nawet 0,33% wag., a tylko sporadycznie wchodzi ono w strukturę galeny, w której osiąga zawartość poniżej 0,1% wag. (Mikulski S.Z. i in., 2018b, 2020). Średnia zawartość srebra w rudach Zn-Pb wynosi 8 ppm i zmienia się od 1 do 103 ppm, przeważnie w zakresie od kilku do 20 ppm Ag (Szuwarzyński, 1993; Mikulski S.Z. i in., 2018b).

Łączne zasoby srebra rozproszonego w śląsko-krakowskich złożach rud Zn-Pb wynoszą 932 Mg Ag, w tym 180 Mg w złożach udostępnionych kopalnią Olkusz-Pomorzany, a pozostałe 752 Mg znajdują się w złożach niezagospodarowanych: Chechło (70 Mg), Gołuchowice (100 Mg), Marciszów (1,7 Mg), Rodaki-Rokitno Szlacheckie (0,05 Mg), Sikorka (60 Mg), Zawiercie 1 (10 Mg) i Zawiercie 3 (510 Mg; Małon i in., 2019). W stosunku do poprzedniej oceny z 2011 r. nastąpił znaczny spadek łącznych zasobów srebra o 1130 Mg Ag. Największe zasoby perspektywiczne srebra oszacowano dla rejonów Łaski (470 Mg) i Poręba (180 Mg). W północnej części regionu śląsko-krakowskiego zawartość Ag w punktowych próbkach dolomitów kruszczonośnych jest niższa (poniżej 3 ppm) niż w udokumentowanych złożach rud Zn-Pb (Strzelska-Smakowska i in., 2008). W złożach Siewierz i Jarosławiec-Pazurek istnieje możliwość przyrostu zasobów perspektywicznych srebra w poziomie dolomitu kruszczonośnego oraz w innych utworach węglanowych triasu i dewonu.

8.1.5.3. Złoże porfirowe rud Mo-Cu-W i skarnowo-metasomatyczne rud Cu(-Mo-W-Zn-Pb-Fe-Bi-As-Te) strefy kontaktowej bloku górnośląskiego i małopolskiego

Porfirowe złoże rud Mo-Cu-W występują w granitoidach, porfirach i diabazach oraz w utworach osłony intruzji magmowych, reprezentowanej przez zmetamorfizowane osady klastyczne ediakaru, a także przeobrażone skały węglanowe i klastyczne ordowiku, syluru i dewonu (Piekarski, 1995). Chemizm skał intruzyjnych oraz cechy morfologiczne okruszczowania odpowiadają niskofluorowym wapniowo-alkalicznym złożom porfirowym Mo-Cu-W (Ślósarz, 1982, 1983, 1993; Piekarski, 1983, 1994a, 1995; Nieć, 1988; Chaffee i in., 1994; Markiewicz i in., 1993; Podemski, 2001; Markowiak i Habryn, 2003; Truszel i in., 2006; Markowiak, 2008; Markowiak i in., 2009; Oszczepalski i in. 2008, 2010a; Oszczepalski i Speczik, 2011a; Mikulski S.Z. i in., 2012, 2016b). Wiek molibdenitu (296–301 mln lat) oznaczony metodą Re-Os (Mikulski S.Z. i Stein, 2012) oraz relacje między okruszczowaniem, wartyjskim magmatyzmem, intensywnością i charakterem przeobrażeń jednoznacznie wskazują na pomagmowe pochodzenie tej mineralizacji i jej formowanie z roztworów hydrotermalnych o temperaturze od 160 do 800°C (Karwowski, 1988; Karwowski i in., 2005).

Skarnowo-metasomatyczne złoże rud Cu(-Mo-W-Zn-Pb-Fe-Bi-As-Te) towarzyszą mineralizacji porfirowej w rejonie Zawiercia, Mysłowa i Pilicy oraz lokalnie w rejonie Myszkowa. Ten typ mineralizacji występuje w skarnach, marmurach i wapieniach zmetasomatyzowanych ordowiku i dewonu (w rejonie Zawiercia i Mysłowa) oraz w hornfelsach, metasomatytach i łupkach plamistych w utworach ediakaru i syluru (w rejonie Zawiercia, Pilicy, Myszkowa i Doliny Będkowskiej; Harańczyk, 1978, 1980, 1983; Górecka i Nowakowski, 1979; Harańczyk i in., 1980; Markiewicz i in., 1993; Ślósarz, 1993; Piekarski, 1994b, c; Truszel i Ślósarz, 1997; Koszowska i Wolska, 2000; Karwowski i in., 2005; Markowiak, 2005; Truszel i in., 2006). Mineralizacja skarnowo-metasomatyczna utworzyła się wskutek termiczno-metasomatycznego oddziaływania intruzji granitoidowej w temperaturze 350–650°C (Koszowska i Wolska, 2000; Truszel i in., 2006). W wielu miejscach mineralizacja porfirowa Mo-Cu-W jest nałożona na mineralizację skarnowo-metasomatyczną. Najbogatsze ciała rud skarnowych, związanych przestrzennie z rudami porfirowymi, stwierdzono w rejonie Zawiercia i Pilicy.

Obszary perspektywiczne

W strefie kontaktowej bloku małopolskiego i górnośląskiego, na podstawie ponownych badań rdzeni z 284 otworów wiertniczych (Oszczepalski i in., 2008, 2010a), wyróżniono sześć obszarów perspektywicznych: jeden obszar z zasobami prognostycznymi – Nowa Wieś Żarecka-Myszków-Mrzygłód (obszar bezpośrednio otaczający złoże Myszków) oraz pięć obszarów z zasobami perspektywicznymi – Mysłów, Pilica, Zawiercie i Żarki-Kotowice oraz Dolina Będkowska (tab. 8.5). Pierwsze pięć obszarów tworzy pas o długości ok. 30 km biegnący wzdłuż strefy uskokowej Kraków–Lubliniec, natomiast obszar Dolina Będkowska jest oddalony o 25 km na SE od wymienionego pasa (fig. 8.2). Mineralizacja kruszczowa na tych obszarach reprezento-

wana jest głównie przez asocjację chalkopirytowo-pirytową, której zwykle towarzyszą molibdenit, scheelit, galena i sfaleryt. Wartość wszystkich rejonów prognostycznych występowania mineralizacji miedziowej podnosi współwystępowanie molibdenu (średnio 0,001-0,060%) i wolframu (0,001-0,010%; rozdz. 8.6.5.1).

Tab. 8.5. Charakterystyka obszarów perspektywicznych w strefie kontaktowej bloku górnośląskiego i małopolskiego (wg Oszczepalskiego i in., 2010a)

Cechy rejonów prognostycznych	Nowa Wieś Żarecka- Myszków- Mrzyglód	Żarki- Kotowice	Zawiercie	Pilica	Dolina Będkowska	Mysłów
Powierzchnia	27 km ²	20 km ²	1,2 km ²	12 km ²	11 km ²	11 km ²
Intruzja granitoidowa	granodioryt	nienawiercona	granodioryt, monzogranit	granodioryt	granodioryt	nienawiercona
Skąły subwulkaniczne i wulkaniczne	dacytoidy, diabazy, lamprofiry, andezyty	lamprofiry, dacytoidy	dacytoidy, lamprofiry	dacytoidy, lamprofiry	dacytoidy, diabazy, andezyty	dacytoidy, diabazy
Skąły osłony	ediakar	ediakar	ediakar, ordowik, sylur, dewon	ediakar	ediakar	ordowik, dewon
Metale dominujące	Cu>Mo>W	Cu>W>Mo	Cu>Mo>W	Cu>Mo>W	Cu>Mo>W	Cu>Mo>W
Metale towarzyszące	Zn>Pb	Pb>Zn	Pb>Zn	Zn>Pb>Au	Zn>Pb>Au	Zn>Pb
Maks. średnia zaw. Cu w najbogatszym interwale	1794 ppm	2500 ppm	316 ppm	278 ppm	335 ppm	595 ppm
Maks. zaw. Cu w próbce	17 770 ppm	15 026 ppm	9633 ppm	7298 ppm	3509 ppm	4051 ppm
Główny typ mineralizacji	porfirowy	porfirowy	skarnowo- -metasomat.	porfirowy	porfirowy	skarnowo- -metasomat.
Towarzyszący typ mineral.	skarnowy	–	porfirowy	skarnowo- -metasomat.	–	porfirowy
Główna forma mineralizacji	impregnacyjno- -żyłkowa	żyłkowa	soczewy, gniazda	żyłkowa	żyłkowa	impregnacyjno- -żyłkowa
Główne minerały kruszcowe	chalkopiryt, molibdenit, scheelit	chalkopiryt, molibdenit, sfaleryt, galena	chalkopiryt	chalkopiryt, molibdenit	chalkopiryt, molibdenit	chalkopiryt
Główny typ przeobrażeń	biotytyzacja, feldspatyizacja, serycytyzacja	serycytyzacja, feldspatyizacja	feldspatyizacja, serycytyzacja, chlorytyzacja, epidotyzacja	feldspatyizacja, biotytyzacja, chlorytyzacja, epidotyzacja	biotytyzacja, feldspatyizacja, serycytyzacja, chlorytyzacja	feldspatyizacja
Dominujące żyły mineralne	kwarcowe	kwarcowe	kwarcowe, kwarcowo- chlorytowe, węglanowe	kwarcowe, kwarcowo- chlorytowe	kwarcowo- skaleninowe, kwarcowo- chlorytowe	kalcytowe
Odległość od str. uskoku Kraków–Lubliniec	2–4 km NE	12–13 km NE	0,5–1 km NE	3–6 km NE	0,5–3 km NE	1–3 km SE
Mięższość nadkładu bez mineralizacji	170–210 m	500 m	70 m	380 m	100 m	350 m

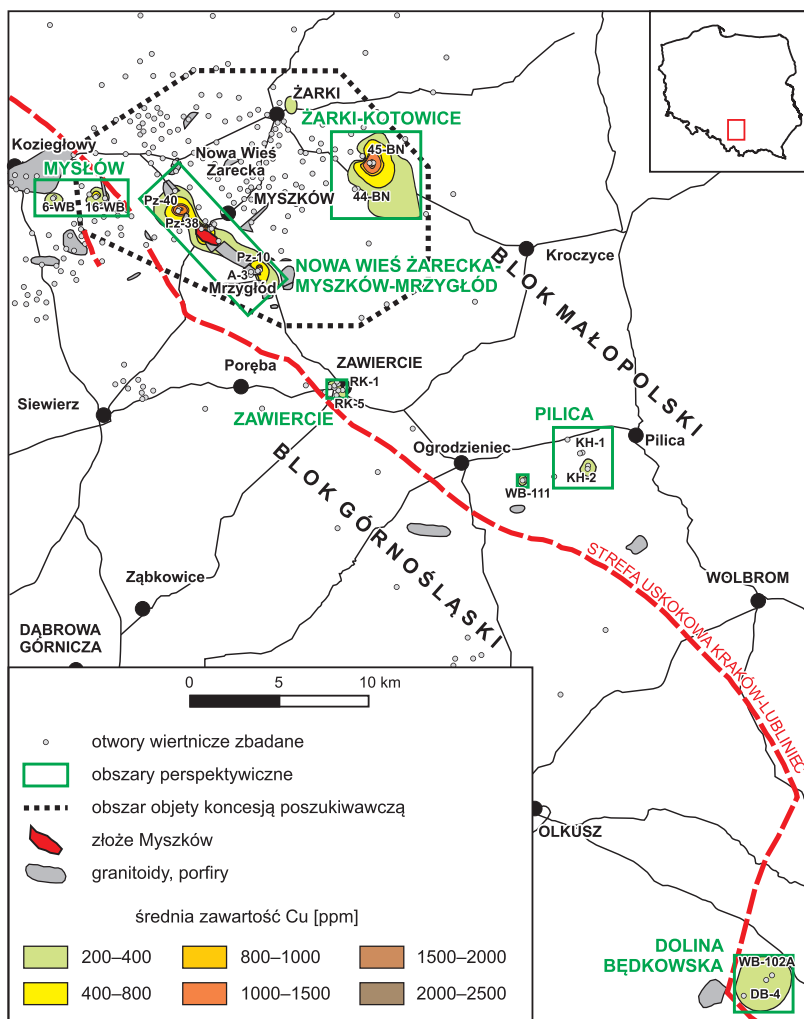


Fig. 8.2. Obszary perspektywiczne miedziowej mineralizacji porfirowej i skarnowej w strefie kontaktowej bloku górnosławskiego i małopolskiego (wg Oszczepalskiego i in., 2008)

Nowa Wieś Żarecka-Myszków-Mrzygłód. Jest to obszar o powierzchni 27 km² w formie pasa o rozciągłości NW–SE, długości 10 km i szerokości do 3 km, z zasobami prognostycznymi w najbliższym otoczeniu udokumentowanego złoża Myszków, na głębokości większej niż 170 m. Obszar ten wyznaczono czterema otworami o bogatym okruszczeniu: Pz-38 i Pz-40 w rejonie Nowej Wsi Żareckiej (na głębokości 206–1155 m) oraz Pz-10 i A-3 w rejonie Mrzygłodu (na głębokości 190–659 m). Najbogatsze okruszczenie typu porfirowego występuje w okolicy otworu Pz-40, gdzie stwierdzono mineralizację chalkopirytowo-pyritową z molibdenitem. Dla rejonu Nowej Wsi Żareckiej charakterystyczny jest znaczny udział pirotynu i obecność wolframitu (Markowiak i in., 1994). Stwierdzona mineralizacja ma charakter impregnacyjno-żyłowy i często związana jest z metasomatycznymi przeobrażeniami skał, głównie feldspatyzacją potasową, serycytazacją i chlorytazacją. W pojedynczych próbkach (o długości 0,5 m) zawartość miedzi dochodzi do 2%, a średnia zawartość miedzi w interwale o miąższości 166,5 m (299,5–466,0 m) wynosi nieco ponad 0,4% (Habryn i in., 1994). Średnia zawartość miedzi w najbogatszych interwałach omawianego obszaru (o miąższości najczęściej w granicach 1–10 m) zmienia się od 0,02% do 0,7%. Z kolei w otworze Pz-10 wyznaczono

szereg interwałów o miąższości 1,5–46,5 m z dość bogatym okruszczeniem chalkopirytem o zawartości 0,3–0,7% Cu, z najgrubszym interwałem na głębokości 222,0–268,5 m, o średniej zawartości Cu wynoszącej 0,42% (Markowiak i Habryn, 2003). Dominuje w nim mineralizacja skarnowa (Truszel i Ślósarz, 1997).

Mysłów. Ten rejon wyznaczono w strefie krawędziowej bloku górnośląskiego wokół otworów 6-WB i 16-WB, na powierzchni 11 km². W rejonie tym zwracają uwagę skarny w otworze 37-WB, które wykazują maksymalne zawartości 0,98% Cu w próbkach (także 1% Mo, 0,1% W, 1,05% Zn i 0,48% Pb), a średnia zawartość Cu w najbogatszym interwale z mineralizacją chalkopirytowo-magnetytową o miąższości 3,6 m dochodzi do 0,3% Cu i 0,2% Mo (Wielgomas, 1988; Markowiak i Habryn, 2003; Truszel i in., 2006). Okruszczenie występuje na głębokości poniżej 350 m. W skarnach i metasomatytach dominują piryt i chalkopiryt, którym towarzyszy magnetyt, galena, sfaleryt, pirotyt, molibdenit i markasyt, sporadycznie bornit, scheelit, arsenopiryt, chalkozyn, digenit, kowelin oraz tellurki Cu, Ag i Bi. Biorąc pod uwagę wszystkie przesłanki, można zakładać istnienie tu intruzji granitoidowej i związanej z nią mineralizacji typu porfirowego.

Pilica. Obszar ten składa się z dwóch subrejonów wokół otworów KH-2 i WB-111. Łączna powierzchnia wynosi ok. 12 km². Okruszczenie obecne jest na dużej głębokości, poniżej 380 m. W obu otworach okruszczone są utwory ediakaru, a w otworze KH-2 także granodioryt. Mineralizacji porfirowej towarzyszą skarny andradytowe z hematyt, magnetyt, pirotytem, wolframitem, scheelitem, sfalerytem, galeną i chalkopirytem, tellurkami Cu, Bi i Ag i żyłkami kwarcu złotożółtego (Harańczyk, 1978, 1983). Dominuje mineralizacja żyłkowa, reprezentowana przez magnetyt, pirotyt, wolframit, scheelit i tellurki srebra. Średnia zawartość Cu w najbogatszych interwałach (o miąższości 1,6–2,8 m) mieści się w granicach 0,2–1,1% (na głębokości 300–500 m; Piekarski, 1994c; Markowiak i Habryn, 2003).

Zawiercie. Obszar ten, o nieznacznej powierzchni 1,2 km², wyznaczono dziewięcioma otworami: RK-1, RK-3, RK-5, RK-9, ZMZ-6, ZMZ-7, ZMZ-9, ZMZ-13 i ZMZ-129. Występuje tu zarówno mineralizacja porfirowa (w skałach osadowych i metamorficznych ediakaru, syluru i dewonu dolnego oraz w monzogranitach i porfirach ryolitowych), jak i skarnowa (w skałach węglanowych ordowiku, syluru i dewonu środkowego). Głównym minerałem kruszcowym jest chalkopiryt, a podrzędnymi są piryt, pirotyt, lokalnie arsenopiryt (Wielgomas i in., 1972; Harańczyk, 1980; 1983; Harańczyk i in., 1980; Piekarski, 1994b; Markowiak i Habryn, 2003). Największą koncentrację Cu stwierdzono w otworze ZMZ-9 (ponad 1,4% w interwale o miąższości 34 m). W otworze tym dominuje mineralizacja impregnacyjno-żyłkowa (piryt, chalkopiryt, molibdenit, sfaleryt, galena, magnetyt, hematyt, pirotyt, arsenopiryt, scheelit, kasyteryt oraz tellurki i siarkosole Bi i Ag; Harańczyk, 1978, 1983; Harańczyk i in., 1980; Koszowska, 2000). W pozostałych otworach występują interwały o miąższości od 1 do 36 m, zawierające średnio 0,5–1,6% Cu. Istotną domieszkę w niektórych interwałach stanowi srebro, miejscami do 128 ppm.

Żarki-Kotowice. Wyznaczono tu obszar o znacznej powierzchni (ok. 20 km²), ponieważ przypuszcza się, że otwór ZW-1 usytuowany jest w peryferycznej strefie spodziewanego złoża porfirowego Mo-Cu-W, chociaż nie nawiercono dotychczas intruzji granitoidowej (Markowiak i Habryn, 2003). Rozpoznano tu złożoną, polimetaliczną mineralizację kruszczową, głównie typu żyłkowego, złożoną głównie z piritu, sfalerytu, galeny i chalkopirytu, lokalnie z molibdenitem (Lasoń i Markowiak, 2008; Karwowski i Markowiak, 2012; Markowiak, 2015), na znacznej głębokości (poniżej 430 m). W pojedynczych próbkach metapiaskowców ediakaru stwierdzono do 1,5% Cu. W trzech interwałach zmineralizowanych głównie molibdenitem, o miąższości 2 m, średnia zawartość miedzi nie przekracza 0,5% (Wołkowicz S., 1992a).

Dolina Będkowska. Obszar ten, o powierzchni 11 km², wyznaczono wokół dwóch otworów z bogatym okruszczeniem: WB-55 i WB-102A. Okruszczenie występuje tu na głębokości poniżej 100 m w skałach zaliczanych do kompleksu ediakarskiego, rozciętego bardzo licznymi intruzjami skał magmowych (diabazy, andezyty, porfiry ryodacytowe, granodioryty). Największą rolę odgrywa tu mineralizacja piritowo-chalkopirytowa w formie sztokwerkowych żył kwarcowo-kruszcowych. Cechuje ją urozmaicony zespół minerałów kruszcowych: chalkopiryt, molibdenit, piryt, hematyt, magnetyt, pirotyt, sfaleryt, galena, wolframit, scheelit, a także siarkosole bizmutu i srebra, srebro i złoto rodzime (Górecka, 1972; Harańczyk, 1978, 1983; Koszowska i Wolska, 2000; Mikulski S.Z. i in., 2007b, 2008). Maksymalną zawartość Cu (2,1%) stwierdzono w punktowej próbce z żyły kwarcowej w otworze WB-55 w interwale 267,5–267,8 m (Harańczyk, 1978).

8.1.5.4. Złoża hydrotermalne żyłowe, strątkoidalne Cu-(Pb-Zn-Ag) i hipergeniczne w dewońskiej formacji miedzionośnej Gór Świętokrzyskich

Złoża rud miedzi występujące w utworach dewonu eksploatowane były w Miedziance koło Chęcina oraz w Miedzianej Górze na NW od Kielc (fig. 8.3). Eksploatacja na omawianym obszarze trwała z przerwami,

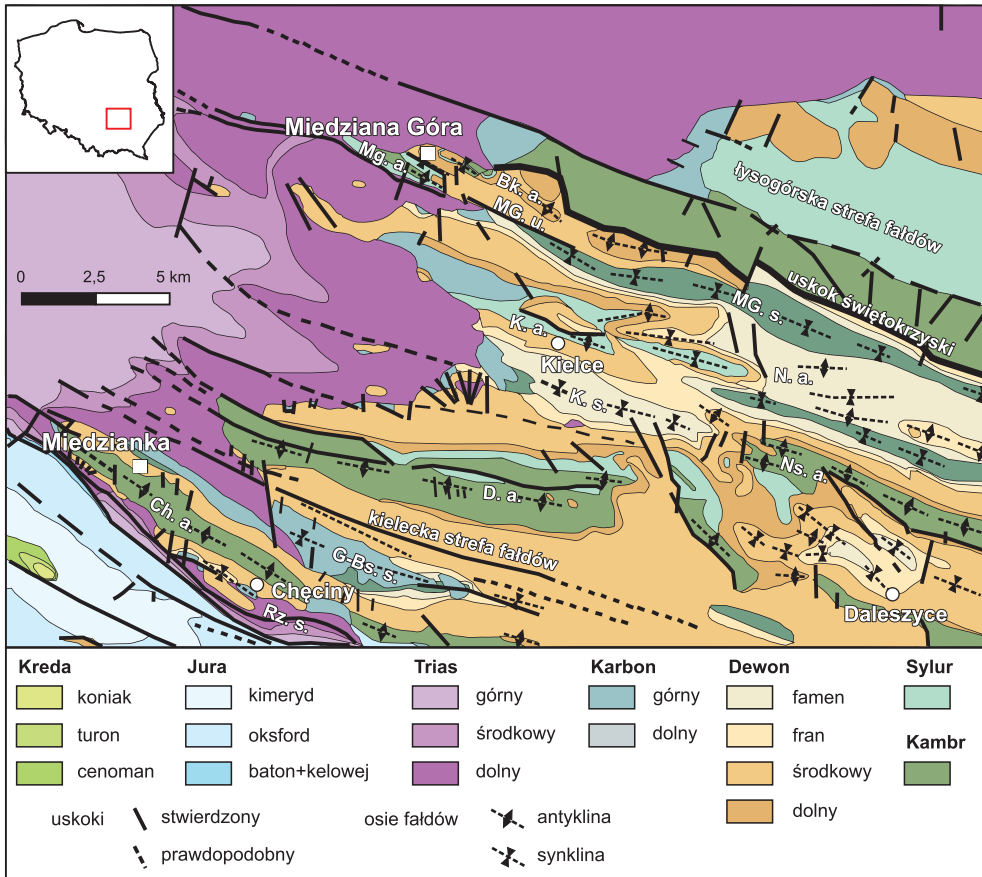


Fig. 8.3. Lokalizacja Miedzianej Góry i Miedzianki na tle mapy geologicznej Gór Świętokrzyskich (mapa geologiczna wg Konona, 2008)

Bk. a. – antyklina bukowska, Ch. a. – antyklina chęcińska, D. a. – antyklina dymińska, G-K. a. – antyklina kielecka, Mg. a. – antyklina miedzianogórska, N. a. – antyklina niewachłowska, Ns. a. – antyklina niestachowska, Bs. s. – synklina gałęzicko-bolechowska, K. s. – synklina kielecka, MG. s. – synklina miedzianogórska, Rz. s. – synklina Rzepki, MG. u. – uskoc miedzianogórski

co najmniej od XIII w. Do 1918 r. wydobyto 1238 Mg rudy o zawartości 8,4% Cu z kopalni w Miedziance oraz 3425 Mg rudy o zawartości ok. 8% Cu z kopalni w Miedzianej Górze (Wróblewski, 1962; Konstantynowicz, 1971; Rubinowski, 1971; Kowalczewski, 1972; Król i Urban, 2003). Przedmiotem eksploatacji były rudy hipergeniczne (wietrzeniowo-cementacyjne), związane z ilami rezydualnymi, tkwiącymi w kotłach i szczelinach krasowych, oraz wzbogacenia w strefie cementacji. Srebro odzyskiwano w trakcie procesów hutniczych przy rafinacji ołowiu i miedzi (Paulewicz, 1992).

Obszary perspektywiczne

Miedzianka. Złoże polimetaliczne znajduje się w utworach dewonu śródkowego w zachodnim fragmencie południowego skrzydła antykliny chęcińskiej w kieleckiej strefie fałdów (Dębowska, 2004; Konon, 2008). Związane jest z podłużną strefą dyslokacyjną rozwiniętą w południowo-zachodniej części masywu Miedzianki. Złoże rud żyłowych poddane zostało procesom krasowym oraz procesom wietrzeniowego utlenienia i cementacji do głębokości ok. 80 m. W złożu Miedzianka wyróżniono trzy typy rud (Rubinowski,

1971): rudy pierwotne (żyły kalcytowo-siarczkowe) pochodzenia hydrotermalnego, rudy związane ze strefą cementacji oraz rudy pochodzenia wietrzeniowego. W rudach hydrotermalnych występują chalkopiryt, tenantyt (tzw. miedziankit), piryt, galena, gersdorfit, hematyt i baryt. Rudy żyłowe nie były eksploatowane, gdyż znajdują się poniżej zwierciadła wód gruntowych. Istnienie powiązań między waryscyjskim etapem mineralizacji hydrotermalnej oraz strefą uskoków podłużnych o kierunkach hercyńskich i dajkami diabazowo-lamprofirowymi wskazuje, że zarówno dajki, jak i roztwory mineralizujące pochodzą ze wspólnego ogniska magmowego (Dębowska, 2004). Pozostałe typy rud typu hipergenicznego, najważniejsze z punktu widzenia ekonomicznego, mają bardzo urozmaicony i zmienny skład minerałów rudnych, zależny od typu rudy. W rudach ze strefy cementacji dominują: chalkozyn, digenit, kowelin i bornit, a w rudach wietrzeniowych – malachit, azuryt, kupryt, tenoryt oraz tlenki i wodorotlenki Fe i Mn. W późniejszych latach, w wyniku badań materiału pochodzącego z hałd po dawnym górnictwie, zidentyfikowano wiele minerałów charakterystycznych dla procesów wietrzenia kruszców polimetalicznych, a także złoto rodzime (Balcerzak i in., 1992; Wojciechowski, 2002; Kozłowski A., 2011; Swęd i in., 2015).

Miedziana Góra. Złoże stratoidalne znajduje się w zachodnim fragmencie antykliny bukowskiej, w północno-zachodniej części kieleckiej strefy fałdów. Związane jest ze strefą dyslokacji miedzianogórskiej. W złożu tym mineralizacja miedziova wykazuje związek z ilami rudonośnymi dewonu środkowego. Wskutek nasunięcia utworów dolnego i środkowego dewonu na utwory górnodewońskie złoże cechuje odwrócone następstwo warstw (Rubinowski, 1971; Malec i in., 1985). Powyżej serii ilastej franu i żywetu okruszczowanej miedzią występuje tzw. margiel, a wyżej czarne ilaste osady dolnego eiflu, ograniczone od stropu piaszczowcami i mułowcami dolnego dewonu. Najbogatsze w miedź są czarne iły występujące pomiędzy marglem i czarnymi wapieniami marglistymi – zawartość miedzi w strefie siarczków pierwotnych, rozpoznanej do głębokości ok. 100 m, jest bardzo zmienna, od śladowej do 1,7% (Rubinowski, 1971). Kruszcze reprezentowane są przez tetraedryt, chalkopiryt, chalkozyn i kowelin, którym towarzyszą piryt, sfaleryt i galena. Dane archiwalne dotyczące ilów rudonośnych potwierdzono na podstawie wyników oznaczeń zawartości miedzi w materiale zwałowym ze stanowisk dawnego górnictwa i hutnictwa metali nieżelaznych (Kowalczewski i Szczecińska, 1977; Wojciechowski, 2002). Pod koniec lat 60. XX w. w rejonie Miedzianej Góry wykonano 9 otworów badawczych, w tym w trzech (Miedziana Góra IG-1 i IG-2, Ławeczno 4) stwierdzono podwyższoną koncentrację miedzi. Dalsza penetracja wiertnicza na wschód od Miedzianej Góry wykazała znaczne rozprzestrzenienie horyzontu rudnego (o miąższości 0,5–10,0 m) w utworach żywetu i eiflu na odcinku 2,1 km, w perspektywnym rejonie o powierzchni ok. 60 km² (Kowalczewski i Wróblewski, 1974; Kowalczewski i in., 1976). Horyzont rudny obejmuje dwa lub trzy interwały rudne o miąższości 0,5–1,0 m i o średniej zawartości 0,5% Cu (Malec i in., 1985). W otworze Podgacie IG-1 stwierdzono zawartości 0,005–0,030% Cu w kompleksie ilowcowym górnego żywetu oraz 0,025–0,590% Cu i 1–5 ppm Ag (sporadycznie do 100 ppm) w czarnych ilowcach dolnego eiflu, natomiast w otworze Dąbrowa D-5 zawartość Cu wynosi 0,1–0,7% w stropowej części ilów syderytonośnych (głębokość 73,0–80,0 m). W profilu tym srebro (do 10 ppm) związane jest z obecnością galeny.

8.1.6. Stan rozpoznania geologicznego

Zarys historii poszukiwań. Rozpoznanie geologiczne cechsztyńskiej serii miedzionośnej w Polsce prowadzono w Państwowym Instytucie Geologicznym od momentu odkrycia w 1957 r. złoży Lubin-Sieroszowice (Wyżykowski, 1958). Realizowane w dalszych latach prace poszukiwawcze, rozpoznawcze i badawcze umożliwiły sporządzenie pierwszych syntez wyników prac poszukiwawczych (Preidl, 1971; Wyżykowski, 1971a, b), a poznanie prawidłowości występowania najbogatszego okruszczowania miedziovo-srebrowego w najbliższym otoczeniu utworów utlenionych *Rote Fäule*, zarówno na monoklinie przedsudeckiej, peryklinie Żar i w niecce północnosudeckiej sprawiło, że śledzenie przebiegu lateralnego kontaktu utworów utlenionych z redukcijnymi stało się podstawą strategii poszukiwawczej cechsztyńskich złóż Cu-Ag w skali regionalnej (Rydzewski, 1969, 1978; Oszczepalski i Rydzewski, 1983). W następnych latach systematycznie prowadzono poszukiwania wiertnicze oraz badania rdzeni otworów wiertniczych wykonywanych dla Państwowego Instytutu Geologicznego i przemysłu naftowego, sporządzano wyniki tych prac (Gospodarczyk i in., 1975a, b, 1978, 1980; Gospodarczyk, 1978) oraz opracowywano pierwsze oceny perspektyw zasobowych SW Polski (Bossowski, 1982, 1986; Gospodarczyk i Metlerski, 1986; Oszczepalski i Rydzewski, 1993; Rydzewski i in., 1996). Od 1992 r., w związku z transformacją ustrojową, Państwowy Instytut Geologiczny przestał realizować wiertnicze poszukiwania rud miedzi (Oszczepalski i in., 2018, wraz z literaturą). Jednak, w następstwie wyznaczenia północnej granicy udokumentowanych złóż monokliny przedsudeckiej,

zintensyfikowano badania dostępnych rdeni przemysłu naftowego, w celu precyzyjniejszego określenia perspektyw złożowych. Wraz ze stopniowym przyrostem informacji geologicznych podsumowano wyniki badań w formie atlasu map metalogenicznych (Oszczepalski i Rydzewski, 1997) oraz uściślono zasięgi obszarów perspektywicznych i szacunki zasobów w kolejnych ocenach (Speczik i in., 2007; Wirth i in., 2007; Bachowski i in., 2011). Różnice w zasięgach obszarów perspektywicznych i szacunkach zasobowych w kolejnych opracowaniach wynikają nie tylko ze zmian kryteriów wyznaczania tych obszarów, lecz przede wszystkim ze stałego wzrostu liczby zbadanych otworów wiertniczych. Znaczny przyrost danych nastąpił w ostatnich latach, co przełożyło się na opracowanie kolejnych wersji mapy występowania utworów utlenionych oraz dokonanie nowej oceny perspektyw zasobowych (Oszczepalski i Speczik, 2011a, b), inspirującej składanie wniosków koncesyjnych przez przedsiębiorstwa poszukiwawcze. Szczegółowe badania rdeni wiertniczych (np. Oszczepalski i in., 2010b; Speczik i in., 2011a, b; 2013; Chmielewski A. i Oszczepalski, 2013, 2015; Oszczepalski i Chmielewski A., 2013) pozwoliły na dalsze sprecyzowanie przebiegu granic wyróżnionych wcześniej obszarów oraz na wyznaczenie nowych obszarów perspektywicznych wraz z ich ocenami zasobowymi (Oszczepalski i Speczik, 2014; Speczik i in., 2014, 2015; Mikulski S.Z. i in., 2015b; Oszczepalski i Chmielewski A., 2015). Regionalna analiza perspektywiczności wskazuje, że na monoklinie przedsudeckiej nie tylko istnieją znane obszary perspektywiczne, lecz także możliwe jest znalezienie nieodkrytych jeszcze złóż (*permissive tracts*; Zientek i in., 2015). Ostatnią wersję oszacowania perspektyw, będącą podstawą niniejszego opracowania, zamieszczono w pracy Oszczepalskiego i in. (2016b). Największe zmiany dotyczące regionalnych trendów rozmieszczenia mineralizacji w stosunku do *Bilansu* z 2011 r. obejmują północną część monokliny przedsudeckiej, gdzie po raz pierwszy wyróżniono strefę mineralizacji piritowej związaną z wyniesieniem wolsztyńsko-pogorzelskim, i północno-wschodnią część perykliny Żar, korespondującą z wyniesieniem szprotawskim (fig. 8.1).

W wyniku badań 19 otworów wiertniczych z północno-zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich (Kowalczewski i in., 1990) w żadnym profilu nie stwierdzono interwału o zasobności powyżej 35 kg/m² (Oszczepalski i Rydzewski, 1997).

Pierwsze badania mineralizacji kruszcowej w północno-wschodnim obrzeżeniu GZW wykonano w otworach odwierconych w latach 1954–1957, którymi zapoczątkowano program badań budowy geologicznej tego rejonu. Dzięki tym pracom rozpoznano przejawy mineralizacji hydrotermalnej w utworach dolnego paleozoiku (Ekiert, 1957). W następnych latach prowadzono dalsze badania, w których wyniku wykazano obecność piritów miedzionośnych (Piekarski, 1971) oraz mineralizacji porfirowej i skarnowej (Banaś i in., 1972; Górecka, 1972; Harańczyk, 1978, 1980, 1983; Harańczyk i in., 1980; Ślósarz, 1982, 1983). W latach 1972–1975 w siedmiu profilach utworów prekambryjskich z rejonu Myszkowa–Mrzygłodu stwierdzono kilka interwałów z przejawami mineralizacji piritowo-miedziowej, a w jednym z nich (Pz-5), w porfirach i granitoidach, mineralizację porfirową Mo-Cu-W o zawartości 0,15–3,50% Cu, 0,02–0,95% Mo i 0,05–0,3% W (Piekarski, 1983, 1988). Najistotniejsze prace wiertnicze, zrealizowane w latach 1982–1992, potwierdziły obecność rud typu porfirowego w rejonie Myszkowa i zakończone zostały opracowaniem dokumentacji geologiczno-złożowej złoża rud molibdenowo-wolframowo-miedziowych Myszków (Piekarski i in., 1993). Pod względem wielkości zasobów złożo to zajmuje 6. pozycję na liście złóż porfirowych Europy, mimo że zawartość miedzi jest w porównaniu z innymi złożami bardzo niska (Sutphin i in., 2013). Mineralizacja kruszcowa w złożu Myszków występuje w granitowo-porfirowych intruzjach i w ich najbliższym otoczeniu. Główną formą występowania kruszców są sztokwerki i impregnacje molibdenitowo-chalkopiritowo-scheelitowe; miąższość stref złożowych wynosi 100–600 m, a zawartość Cu 0,02–2,50%, Mo 0,01–2,00% i W 0,01–1,20% (Piekarski i in., 1993). Przeciętna zawartość srebra w złożu Myszków sięga 10 ppm, natomiast w strefach okołozłożowych wynosi zwykle poniżej 1 ppm (Lasoń, 2003). Głównym nośnikiem srebra jest galena – w skarnach zawiera do 7% wag. Ag (Podemski, 2001). W rejonach o mniejszej intensywności okruszczowania dominują formy żyłkowe i rozproszone. Kruszcze są związane ze strefami przeobrażonymi hydrotermalnie wskutek feldspatyzacji, sylifikacji, epidotyzacji, karbonatyzacji, chlorytyzacji i serycytyzacji (Ślósarz, 1982, 1983, 1993; Lasoń, 1992, 2003; Markiewicz i in., 1993; Markowiak i in., 1994; Karwowski i in., 2005; Markowiak, 2005; Truszel i in., 2006). Typowa jest strefowość metaliczna W>Mo>Cu>Pb(-Zn-Ag) w formie wąskiej aureoli wolframowej, szerszej – molibdenowej i miedziowej oraz najszerszej – polimetalicznej (Ślósarz, 1983, 1993; Lasoń, 1992, 2003; Podemski, 2001; Markowiak, 2008; Oszczepalski i in., 2010a). W częściach peryferycznych względem złoża dominuje uboga mineralizacja rozproszona piritowo-miedziowo-molibdenowa, występująca w strefach o miąższości 1,5–12,0 m, o zawartości Cu od 0,3 do 3,8% i molibdenu od 0,05 do 0,20%, a w częściach dystalnych – mineralizacja polimetaliczna (piritowo-chalkopiritowa z podwyższoną koncentracją Zn, Pb, Au, Ag, Te, Bi, Ba), głównie w obrębie żyłek kalcytowych i barytowych przecinających dajki porfirowe

i zmetamorfizowane utwory piaszczysto-mułowcowe (Harańczyk, 1978, 1983; Lasoń, 2003; Lasoń i in., 2007; Lasoń i Markowiak, 2008; Karwowski i Markowiak, 2012).

Stan rozpoznania dewońskiej formacji miedzionośnej Gór Świętokrzyskich nie jest wystarczający, aby dokonać szacunków zasobowych i wyróżnić obszary prognostyczne i perspektywiczne. Dlatego na podstawie oceny jakościowej obszary w rejonie Miedzianki i Miedzianej Góry potraktowano jako obszary z zasobami hipotetycznymi.

Nowe prace poszukiwawcze. Począwszy od 2011 r., niemal wszystkie obszary perspektywiczne występowania mineralizacji stratooidalnej Cu-Ag, wyróżnione zarówno wcześniej (Oszczepalski i Speczik, 2011a), jak i w późniejszym okresie (Oszczepalski i Speczik, 2014; Oszczepalski i Chmielewski A., 2015; Oszczepalski i in., 2016b), były objęte koncesjami poszukiwawczymi, lecz ostatnio, z powodu licznych ograniczeń związanych z głębokością występowania mineralizacji, co przekłada się na niskie szanse udostępnienia kopaliny w sposób ekonomicznie uzasadniony, zaniechano realizacji koncesji na obszarach z mineralizacją na głębokości przekraczającej 2000 m oraz innych najslabiej rokujących koncesji.

W ostatnich latach prowadzono poszukiwania wiertnicze na obszarach perspektywicznych w obrębie koncesji: Jany, Nowa Sól i Zatonie (Zielona Góra Copper Sp. z o.o.), Janowo i Sulmierzyce (Ostrzeszów Copper Sp. z o.o.), Mozów-1 (Mozów Copper Sp. z o.o.), Wilcze (Wilcze Copper Sp. z o.o.), Niemstów-Wielowieś (Polmetal Sp. z o.o.), Iłowa-Bolesławiec i Nowiny (Śląsko Krakowska Kompania Górnictwa Metali Sp. z o.o.) oraz Peryklina Żar i Wrocław-Długoleka (Amarante Investments Sp. z o.o.).

Oprócz obszarów perspektywicznych z zasobami prognostycznymi do najbardziej interesujących rejonów, gdzie najintensywniej ostatnio prowadzono eksplorację wiertniczą, należą: Nowa Sól, Mozów, Sulmierzyce i obszary na peryklinie Żar i w niecce północnosudeckiej. Szczególną uwagę zwraca rejon koncesji Nowa Sól, położony na NW od złoża Bytom Odrzański, gdyż – podobnie jak złoża Lubin-Sieroszowice – przylega bezpośrednio do zielonogórskiego pola utlenionego. Na obszarze tym, typu *greenfield*, zbadano wcześniej zaledwie dwa otwory wiertnicze i do niedawna nie prowadzono na nim planowej eksploracji wiertniczej. Mimo to, uwzględniając przypuszczalny rozkład mineralizacji względem zielonogórskiego pola utlenionego, przewidywano, że obszar ten powinien stanowić fragment niezwykle bogatego pasa miedzionośnego, kontynuującego się od złoża Bytom Odrzański w kierunku północno-zachodnim wzdłuż granicy redoks (Oszczepalski i Rydzewski, 1983, 1993, 1997), a następnie sukcesywnie korygowano jego zasięg (Oszczepalski i Speczik, 2011a; Speczik i in., 2011a, b, 2014; Oszczepalski i Chmielewski A., 2015; Oszczepalski i in., 2016b, 2017a, b). Do niedawna wszystkie obszary perspektywiczne znajdujące się w tym przewidywanym pasie miedzionośnym były objęte koncesjami poszukiwawczymi przyznanymi firmom Zielona Góra Copper Sp. z o.o. i Wilcze Copper Sp. z o.o., należącym do grupy Miedzi Copper Corporation (Zieliński i Speczik, 2017), lecz obecnie istnieją tu aktywne koncesje Zatonie, Nowa Sól, Janów i Wilcze jedynie dla rejonów o najpłytszym występowaniu interwału rudnego (fig. 8.1). Na podstawie 24 otworów wykonanych w tym pasie w ostatnich latach wyznaczono nowe granice obszaru perspektywicznego Jany-Nowa Sól-Grochowice o powierzchni 320,07 km², dla którego oszacowano zasoby w wysokości ok. 35 mln Mg Cu i 148 tys. Mg Ag w średnim interwale o miąższości 1,93 m oraz o średniej zawartości 2,25% Cu i 96 ppm Ag, na głębokości 1600–2200 m (Oszczepalski i in., 2019). W granicach tego obszaru odkryto i rozpoznano 18 otworami złoża Nowa Sól o powierzchni ok. 90 km² (Zieliński i Speczik, 2017; Zieliński i in., 2017), którego zasoby w kategorii C₂ wynoszą 848 mln Mg rudy zawierającej 10,6 mln Mg Cu i 36 tys. Mg Ag (w uśrednionym interwale 2,69 m, o zawartości 2,03% Cu, na głębokości 1700–2100 m; Oszczepalski i in., 2019). Także w rejonie Mozowa wykonano dwa nowe wiercenia (Krzemiński i Speczik, 2013; Zieliński i Speczik, 2017), w pełni potwierdzające wykazaną wcześniej obecność bogatej mineralizacji Cu-Ag (Oszczepalski i in., 2016b). W najlepiej rozpoznanej części koncesji Mozów-1 zasoby obliczone w kategorii C₂ wynoszą 4,4 mln Mg Cu i 7,3 tys. Mg Ag, a zasoby w kategorii D₁ to ok. 8,4 mln Mg Cu i 11,9 tys. Mg Ag (Zieliński i Speczik, 2017; Zieliński i in., 2017). Z kolei w rejonie obszarów perspektywicznych wyznaczonych we wschodniej części monokliny przedsudeckiej w sąsiedztwie licznych pól utlenionych trwają poszukiwania wiertnicze skoncentrowane na obszarze koncesji Sulmierzyce (fig. 8.1). Uwzględnienie najnowszych wyników pozwala sądzić, że na powierzchni ok. 530 km² w granicach tej koncesji mogą znajdować się zasoby rzędu 40 mln Mg Cu i 100 tys. Mg Ag na głębokości 1400–2300 m (Zieliński i Speczik, 2017), przy czym zasoby obliczone w kategoriach C₁+C₂ wynoszą 7,2 mln Mg Cu i 15 tys. Mg Ag i występują w średnim interwale o miąższości 1,87 m i o zawartości 2,93% Cu (Zieliński i Speczik, 2017; Zieliński i in., 2017; Oszczepalski i in., 2019). W rejonie tym możliwe jest udokumentowanie złoża polimetalicznego (Zieliński i Wierchowicz, 2018).

Spośród pozostałych obszarów perspektywicznych na największą uwagę ze względu na nieznaczną głębokość zalegania spągu cechsztynu zasługują przede wszystkim obszary Żarków i Nowiny oraz centralna część perykliny Żar, objęte koncesjami poszukiwawczymi (fig. 8.1). Najintensywniejsze poszukiwania wiertnicze są prowadzone na koncesji Peryklina Żar o znacznej powierzchni 1184 km², gdzie na południowym skłonie wyniesienia szprotawskiego możliwe jest znalezienie i rozpoznanie bogatych ciał kruszcowych wzdłuż granicy redoks na korzystnej głębokości do 1250 m (fig. 8.1). W rejonie tym wykonano dotąd 28 otworów wiertniczych o głębokości 650–1100 m, którymi odkryto złoża rud miedzi Żary o zasobach w kategorii D w wysokości 1,276 mln Mg Cu i 5,8 tys. Mg Ag na obszarze o powierzchni 24,3 km² (Kompania Górnicza Amarante, 2019).

Poszukiwania wiertnicze prowadzono także w rejonie zakończonej koncesji Niemstów-Wielowieś, przylegającej od wschodu do udokumentowanego złoża Małomice. W wykonanych tam pięciu otworach stwierdzono bogatą mineralizację ołowiovą i ubogą mineralizację Cu-Ag na małej głębokości (500–600 m). W najbogatszym profilu wskazano interwał o miąższości 8,5 m ze średnią zawartością 0,36% Cu i 12 ppm Ag (Balamara Resources, 2013). Zakończono także poszukiwania na obszarze perspektywnym Mirków w obrębie koncesji Wrocław-Długoleka. Ponadto pojedyncze otwory rekonesansowe wykonano w rejonie Janowa oraz w SE części niecki północnosudeckiej, w rejonie na zachód od złoża Nowy Kościół (na zaniechaną już koncesji Lwówek-Pielgrzymka), w celu sprawdzenia hipotezy o łączeniu się tego złoża ze złożem Wartowice, lecz nie stwierdzono w tych otworach bogatej mineralizacji miedziowej (Krzemiński i Speczik, 2017; Zieliński i Speczik, 2017).

W wyniku prowadzonej od 2006 r. eksploracji strefy kontaktowej bloków górnośląskiego i małopolskiego wydzielono obszar złożowy Myszków o powierzchni 0,53 km², na którym znajdują się zasoby wstępnie zbadane (*inferred resources*) w wysokości 726 mln Mg rudy, o zawartości 0,12% Cu, 0,0617% Mo, 404 ppm W i 2 ppm Ag (przy granicznej zawartości 0,085% Mo), na głębokości co najmniej do 1000 m (Strzelecki Metals Limited, 2009). Uznano, że w najbogatszej strefie tego złoża znajduje się 878 tys. Mg Cu, 448 tys. Mg Mo i 293 tys. Mg W. Zasoby te pozwoliłyby na 20-letni okres eksploatacji górnictwa, co potwierdza wykonana w 2018 r. dokumentacja z robót geologicznych związanych z poszukiwaniem złoża Mo-W-Cu w rejonie Myszków-Żarki (Klimkiewicz i in., 2018). Poszukiwania wiertnicze prowadzono także w ramach koncesji Myszków-Żarki o numerze 5/2006/p (Śląsko Krakowska Kompania Górnictwa Metali Sp. z o.o.) na znacznym obszarze (234 km²) wokół złoża Myszków (fig. 8.2), obejmującym m.in. rejon Nowa Wieś Żarecka-Myszków-Mrzyglód oraz Żarki-Kotowice.

W ramach programu wierceń państwowej służby geologicznej realizowanego w strefie kontaktowej bloków małopolskiego i górnośląskiego wykonano trzy otwory: Trojanowice 2 (2006 r.), Cianowice 2 (2006 r.) i Bibiela PIG-1 (2016 r.). W otworze Cianowice 2, odwierconym na wschód od Doliny Będkowskiej (w metaosadach ediakaru), oraz w położonym dalej na południowy wschód otworze Trojanowice 2 (w utworach kambru) stwierdzono śladowe okruszcowanie (Markowiak, 2014). Urozmaicony zespół mineralny może wskazywać na bliską obecność skał magmowych i związaną z nimi mineralizację porfirową. W celu zlokalizowania hipotetycznej intruzji granitoidowej wykonano szczegółowe zdjęcie grawimetryczne i magnetyczne obszaru na NW od otworu Cianowice 2 oraz zaproponowano lokalizację nowego otworu poszukiwawczego (Markowiak i in., 2019). W otworze Bibiela PIG-1, usytuowanym na bloku górnośląskim, na SW od rejonu Mysłowa, stwierdzono mineralizację chalkopirytowo-pirytową w utworach osadowych ordowiku i ediakaru oraz w dajkach magmowych rozcinających skały ordowiku (Habryn z zespołem, 2017).

Znaczny obszar występowania węglanowych utworów środkowego dewonu w rejonie świętokrzyskim daje szansę na okonturowanie obszarów perspektywicznych głównie w zachodniej części Gór Świętokrzyskich, m.in. w rejonie Laskowej, Miedzianej Góry lub w rejonie Miedzianki, gdzie w ramach zadań państwowej służby geologicznej wykonany został otwór Miedzianka PIG-1 (Lenik i in., 2019).

Bariery i ograniczenia. Przy typowaniu obszarów perspektywicznych do dalszego rozpoznania istotne są nie tylko parametry złożowe (średnia zawartość metali, zasoby, miąższość), lecz także możliwość ich udostępnienia, na którą wpływają warunki geologiczno-górnictwe, koszty, uwarunkowania środowiskowe i społeczne.

Zasadniczymi barierami natury geologicznej w odniesieniu do przyszłych prac poszukiwawczo-rozpoznawczych stratoidalnych złóż rud Cu-Ag są: ograniczony zakres posiadanej informacji geologicznej (znacznie mniejszy niż w przypadku obszarów z zasobami bilansowymi), nieznaczną często miąższość złoża oraz niekorzystne warunki geologiczno-górnictwe (głębokość, wysoka temperatura, ciśnienie górotworu) i zagrożenia ropno-gazowe (węglowodory, azot, hel). Niemniej jednak udokumentowanie i ekonomicznie uzasadnione wydobycie rud miedzi i srebra z głębokich złóż staje się realne (Zieliński i Speczik, 2017; Oszczepalski i in., 2019). Wprawdzie głębokość występowania mineralizacji złożowej na obszarach z zasobami pro-

gnostycznymi przekracza 1400 m (z wyjątkiem Raciborowic), jednak istnieje możliwość zagospodarowania tych złóż, gdyż przewidziano zastosowanie wartości parametrów definiujących złoża kopaliny i jego granice inne niż określone w załączniku nr 8 do *Rozporządzenia...* (2015a). Bariere ekonomiczną wykorzystania głębokich złóż mogą stanowić wysokie koszty wydobycia kopaliny związane z gorszą jej jakością i przewagą cienkich pokładów, z naturalnym zubożeniem wybieranej rudy i głębokością jej zalegania oraz z potencjalnymi zagrożeniami dla konwencjonalnych prac górniczych (ciśnienie, chłodzenie wyrobisk, likwidacja zagrożeń ropno-gazowych). Udostępnienie przewidywanych zasobów będzie wiązało się także z uwzględnieniem ochrony środowiska przyrodniczego oraz barier związanych z wykorzystaniem przestrzeni, na której występują złoża i obszary perspektywiczne, a także ze stworzeniem sprzyjających warunków inwestycyjnych w ramach długoterminowej strategii surowcowej, poprzez korzystne regulacje dotyczące wielkości podatków od wydobycia kopaliny i rosnących kosztów wymaganych dokumentacji wraz z oceną uwarunkowań środowiskowych (Nieć i Radwanek-Bąk, 2009; Galos i in., 2012b).

Możliwość wykorzystania niektórych złóż w strefie kontaktu bloków górnośląskiego i małopolskiego jest ograniczona nie tylko grubością nadkładu, lecz także wymaganiami ochrony krajobrazu lub infrastruktury. W rejonach Zawiercie, Nowa Wieś Żarecka-Myszków-Mrzyglód i Dolina Będkowska strop strefy okruszczowanej znajduje się na względnie korzystnej głębokości (70–210 m), natomiast w rejonach Mysłów, Pilica i Żarki-Kotowice nadkład ma już grubość 350–500 m. Rejon Nowa Wieś Żarecka-Myszków-Mrzyglód obejmuje triasowy zbiornik wód podziemnych Lubliniec–Myszków, który podlega ścisłej ochronie przed zanieczyszczeniem, rejon Doliny Będkowskiej w całości położony jest na obszarze Parku Krajobrazowego „Dolinki Krakowskie”, rejon Żarki-Kotowice i Pilica na obszarze Parku Krajobrazowego Orlich Gniazd i jego otuliny, a rejon Zawiercia pod zabudową miejską.

W rejonie Miedzianki i Miedzianej Góry, zgodnie z obecnym stanem wiedzy, brak jest perspektyw, zarówno z powodu niskiego potencjału, jak i z powodu uwarunkowań sozologicznych – rejon Miedzianki stanowi rezerwat Góra Miedzianka, utworzony w granicach Chęcińskiego-Kieleckiego Parku Krajobrazowego, a Miedziana Góra leży w strefie ochronnej Suchedniowsko-Oblęgarskiego Parku Krajobrazowego.

8.1.7. Ocena zasobów i ich zmian

Zasoby perspektywiczne oszacowano jedynie dla rud stratoidalnych Cu-Ag, gdyż autorzy nie widzieli możliwości przeprowadzenia szacunków dla pozostałych rodzajów złóż. Łączne przewidywane zasoby prognostyczne rud w złożach stratoidalnych Cu-Ag do głębokości 2000 m liczone w metalu stanowią 65% udokumentowanych zasobów bilansowych, natomiast perspektywiczne – jedynie ok. 17% (tab. 8.6). Zasoby prognostyczne na obszarach stanowiących kontynuację udokumentowanych złóż na względnie małej głębokości (<1800 m) są możliwe do zagospodarowania w przyszłości (*potentially economic*), perspektywiczne są przypuszczalnie możliwe do zagospodarowania (*intrinsically economic*), natomiast zasoby hipotetyczne (*hypothetical, speculative*), wyznaczone na podstawie pojedynczych otworów, mogą mieć potencjał ekonomiczny jedynie w przypadku potwierdzenia występowania zasobów następnymi otworami lub połączenia z obszarami możliwymi do zagospodarowania. Rozmieszczenie obszarów perspektywicznych występowania rud Cu i Ag w Polsce ilustruje załącznik 4.

Tab. 8.6. Zasoby Cu i Ag w złożach stratoidalnych rud Cu-Ag do głębokości 2000 m wg stanu na 31.12.2018 r.

Metal	Zasoby bilansowe	Zasoby prognostyczne	Zasoby perspektywiczne	Zasoby hipotetyczne
Cu [mln Mg]	34,04	10,30	15,67	8,76
Ag [tys. Mg]	103,28	37,34	27,72	17,92

W porównaniu do stanu na 31.12.2009 r. zasoby bilansowe miedzi pozostają na zbliżonym poziomie (35,17 mln Mg Cu w 2009 r. i 34,04 mln Mg Cu w 2018 r.), natomiast zasoby prognostyczne uległy redukcji z 22,7 do 10,30 mln Mg, podobnie jak perspektywiczne i hipotetyczne, które łącznie wyniosły w 2018 r. 24,43 mln Mg Cu, podczas gdy w poprzedniej ocenie wynosiły 48,64 mln Mg Cu. Spadki te były wynikiem zmniejszenia powierzchni obszarów perspektywicznych wskutek lepszego rozpoznania przebiegu ich granic dzięki zbadaniu nowych otworów wiertniczych. Ostatnio prowadzone poszukiwania wiertnicze w rejonie na

NW od złoża Bytom Odrzański, skutkujące rozpoznaniem złoża Nowa Sól (Zieliński i Speczik, 2017; Zieliński i in., 2017), umożliwiły wyznaczenie bogatego w miedź i srebro obszaru perspektywnego Jany-Nowa Sól-Grochowice. W rezultacie ponownie oszacowano łączne zasoby prognostyczne dla monokliny przedsudeckiej, które wynoszą obecnie 42,49 mln Mg Cu i 174,03 tys. Mg Ag na obszarze o powierzchni 415 km² w zakresie głębokości 1400–2200 m (Oszczepalski i in., 2019), znacznie przekraczające wielkość wcześniej przewidywanych zasobów prognostycznych (por. tab. 8.6).

Dotychczas w wyniku światowej górniczej produkcji wydobyto ok. 700 mln Mg Cu (Singer, 2017), w tym 21 mln Mg Cu ze złóż monokliny przedsudeckiej (Oszczepalski i in., 2019). Rozpoznane zasoby złóż rud miedzi są ogromne i stale rosną. Jeszcze w 1970 r. zasoby wydobywalne (*reserves*) wynosiły 280 mln Mg Cu, a obecnie wynoszą 830 mln Mg Cu, co oznacza prawie trzykrotny wzrost zasobów mimo ich zubożenia w wyniku produkcji (USGS, 2019). Wzrostowi zasobów towarzyszy stały spadek średniej zawartości miedzi w rudzie (Mudd i Jowitt, 2018). Ciągły wzrost popytu, związany ze wzrostem gospodarczym, wzrostem liczby ludności i poziomu konsumpcji, równoważony jest stałym wzrostem produkcji (Elshkaki i in., 2016; Singer, 2017; Mudd i Jowitt, 2018). Z kolei wzrost produkcji stymuluje poszukiwania i dokumentowanie nowych zasobów, co skutkuje stałym ich powiększaniem. Popyt na miedź do 2050 r. wzrośnie ponad dwukrotnie i przewyższy wielkość produkcji, a podaż miedzi może nawet przewyższyć obecnie znane zasoby już w latach 2036–2040, lecz wzrost kosztów energii zużytej do produkcji miedzi może być jedną z największych barier zwiększania produkcji (Elshkaki i in., 2016). Przewiduje się, że rosnący trend produkcji miedzi będzie trwał przez 12–27 lat, ze szczytem (*peak copper*) przypadającym przypuszczalnie na 2036 r., a w przypadku srebra na 2030 r., a potem (za 31–46 lat) nastąpi znaczny spadek produkcji (Sverdrup i in., 2013, 2014). Osiągnięcie szczytowego poziomu produkcji może jednak zostać znacznie odwleczone w czasie w efekcie przeklasyfikowania zasobów udokumentowanych, lecz nieeksploatowanych (rezerwowych) do zasobów nadających się do bieżącej eksploatacji oraz ze względu na możliwość zagospodarowania ogromnych zasobów przewidywanych do eksploatacji w przyszłości (*identified and undiscovered resources*), które ocenia się łącznie na 5,6–6,4 mld Mg Cu (Meinert i in., 2016; Singer, 2017). W wyniku rozwoju technologicznego możliwe będzie także wykorzystanie złóż zalegających na większej głębokości. Ich zagospodarowanie w Polsce będzie uzależnione nie tylko od potencjału złożowego, lecz także od możliwości ich udostępnienia (Oszczepalski i in., 2017a, b; Zieliński i Speczik, 2017). Aby ich wykorzystanie było optymalne i opłacalne, konieczna jest stała analiza tych dwóch czynników w miarę rozwoju technologii górnictwa i przeróbki, w tym w zakresie zwiększenia odzyskiwalności, obniżenia kosztów podziemnego górnictwa (Zieliński i in., 2017) oraz wykozystania pierwiastków towarzyszących (Mikulski S.Z. i in., 2018b, 2020; Zieliński i Wierchowicz, 2018).

Wyczerpywanie się zasobów może ograniczyć wykorzystanie miedzi zgromadzonej we wtórnych złożach oraz zastosowanie substytutów miedzi. Jedynymi metalami, które mogą być rozpatrywane jako istotne substytuty miedzi są: żelazo, mangan, chrom, aluminium i cynk, gdyż roczna produkcja tych metali przekracza 10 mln Mg. W przemyśle elektronicznym, elektrycznym i energetycznym miedź może być zastępowana przez aluminium, a w produkcji elementów infrastrukturalnych i telekomunikacyjnych przez polimery, cynk i stal (żelazo, mangan, chrom). Jedynie produkcja żelaza i aluminium jest wystarczająca, aby pełniły one rolę substytutów miedzi, natomiast pozostałe metale, których produkcja jest niższa i które są także dla siebie substytutami, mogą odgrywać tę rolę tylko okresowo (Sverdrup i in., 2014; USGS, 2018). Tytan może zastępować miedź w wymiennikach ciepła. Z kolei sama miedź jest ważnym substytutem srebra (np. w solarach). Oprócz substytucji rozważana jest także możliwość wykorzystania zasobów zgromadzonych w złożach innych metali (koprodukty), w złożach niekonwencjonalnych (np. złoża podmorskie) i w odpadach oraz z recyklingu (Mudd i Jowitt, 2018). Ilość wtórnych surowców miedzi zwiększyła się ponad trzykrotnie w ciągu ostatnich 40 lat, ale produkcja miedzi ze starych złomów została zaledwie podwojona (Gomez i in., 2007). Mimo to ok. 17% światowej produkcji rafinowanej miedzi, a w Europie ok. 50% wykorzystywanej miedzi pochodzi z recyklingu (ICSG, 2019).

8.1.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Obecnie baza zasobowa polskiego przemysłu miedziowego jest związana ze stratoidalnymi złożami rud miedziowo-srebrowych monokliny przedsudeckiej. Wobec wyczerpywania się zasobów bilansowych oraz pojawiającej się możliwości prowadzenia eksploatacji na znacznych, nieosiągalnych dotąd w polskim górnictwie miedziowym głębokościach, z wykorzystaniem najnowszych technologii wydobywania i przeróbki, niezbędna jest wyprzedzająca analiza przewidywanego występowania mineralizacji kruszcowej w najbliższym otoczeniu udokumentowanych złóż, a także na pozostałych obszarach Dolnego Śląska i Wielkopolski,

w celu ustalenia dokładnego przebiegu granic obszarów perspektywicznych. Utrzymanie w przyszłości bezpieczeństwa surowcowego Polski, poprzez zapewnienie obecnego poziomu wydobywania rud Cu-Ag, wymagać będzie zagospodarowania nie tylko północnych fragmentów złóż udokumentowanych do głębokości 1250 m, lecz także złóż znajdujących się na głębokości do 1500 m, a nawet głębszych.

Obecnie priorytetowo traktowane są obszary z zasobami prognostycznymi przylegające do udokumentowanych złóż: Jany-Nowa Sól-Grochowice, Białoleka, Kulów i Luboszyce, objęte koncesjami poszukiwawczymi i rozpoznawczymi, stanowiące północne przedłużenie udokumentowanych złóż Bytom Odrzański, Głogów i Retków, gdyż mogą stanowić ich zaplecze zasobowe. Obszary te wyznaczano początkowo na podstawie badań dostępnych rdzeni z wierceń PIG-PIB i przemysłu naftowego, lecz ostatnio realizowana eksploracja wiertnicza, skutkująca udokumentowaniem złoża Nowa Sól, umożliwiła precyzyjniejsze wyznaczenie granic i wykazanie znacznych zasobów prognostycznych Cu i Ag w rejonie na NW od złoża Bytom Odrzański. Niewielkie zasoby prognostyczne występują na południowy zachód od złoża Radwanice (Kępą) oraz w rejonie przyległym do złoża Wartowice (Raciborowice). Zwracając także uwagę znaczne zasoby perspektywiczne we wschodniej części monokliny przedsudeckiej (na obszarach Dębica, Henrykowice, Janowo, Sulmierzyce), które zostaną wkrótce zweryfikowane prowadzoną tam eksploracją, skoncentrowaną obecnie w rejonie Sulmierzyc. Podobnie, po udokumentowaniu złoża Żary, na peryklinie Żar i jej pograniczu z nieką północnosudecką istnieją szanse na stwierdzenie następnych obszarów perspektywicznych oraz weryfikację obszaru Nowiny. Zasoby hipotetyczne, zarówno występujące na stosunkowo nieznacznej głębokości i rozpoznane pojedynczymi otworami, jak i te w różnym stopniu poznane i występujące na głębokości ponad 2000 m, niekiedy bardzo znaczne (np. Mozów, Kaleje, Żerków), przy obecnych możliwościach technologicznych górnictwa nie są możliwe do zagospodarowania.

Ze względu na odmienną niż w przypadku złóż rud metali metodykę prowadzenia poszukiwań złóż ropno-gazowych zbadane dotychczas otwory wiertnicze (z wyjątkiem otworów realizowanych zgodnie z projektami poszukiwań rud miedzi) są skupione w rejonach występowania brachyantyklin, natomiast poza nimi przeważnie brakuje otworów do badań. W rezultacie granice wielu obszarów perspektywicznych, wyznaczone na podstawie interpolacji geometrycznej danych z nierównomiernie rozrzuconych i nielicznych otworów wiertniczych, mają nieprecyzyjne przebiegi, niekiedy nie całkiem zgodne z kierunkami dyktowanymi przez fronty redoks. W celu zwiększenia dokładności rozpoznania tych obszarów i znalezienia nowych niezbędna jest kontynuacja badań dostępnych rdzeni z otworów wiertniczych, co pozwoli na precyzyjne okonturowanie obszarów utlenionych i perspektywicznych. W rejonach o największym potencjale złożowym od początku ostatniego dziesięciolecia prowadzona jest eksploracja wiertnicza przez przedsiębiorstwa poszukiwawcze w ramach przyznanych koncesji, mająca na celu rozpoznanie złóż, udokumentowanie zasobów oraz ocenę możliwości gospodarczego ich wykorzystania. Nowe poszukiwania wiertnicze są także szczególnie oczekiwane na takich obszarach jak: Kulów, Białoleka i Luboszyce, gdzie brakuje archiwalnych otworów do zbadania, a także w większości prospektywnych rejonów przyległych do obszarów utlenionych, o głębokości serii miedzionośnej nieprzekraczającej 2000 m.

Możliwość poszerzenia bazy zasobowej rud Cu w formacjach pozacechsztyńskich istnieje w bardzo ograniczonym zakresie. Najbardziej interesująca jest mineralizacja porfirowa Mo-Cu-W (wraz z towarzyszącą lokalnie mineralizacją skarnowo-metasomatyczną) związana ze strefą kontaktu bloków górnośląskiego i małopolskiego, gdzie wydzielono pięć rejonów perspektywicznych. Szczególnie perspektywnym rejonem, wymagającym szczegółowego rozpoznania, jest najbliższe otoczenie złoża Myszków, czyli obszar perspektywny Nowa Wieś Żarecka-Myszków-Mrzyglód, w którym po dokładniejszym rozpoznaniu trwającą tam prospekcją wiertniczą mogą zostać wyznaczone nowe reiony z zasobami prognostycznymi, rezerwowymi. W pozostałych rejonach strefy kontaktowej bloku górnośląskiego i małopolskiego także można oczekiwać występowania złóż porfirowych i skarnowo-metasomatycznych, lecz raczej o mniejszych zasobach, maksymalnie do kilkuset tysięcy megagramów miedzi i molibdenu oraz kilkudziesięciu tysięcy megagramów wolframu. W rejonie Zawiercia, Nowej Wsi Żareckiej-Myszkowa-Mrzyglodu i Doliny Będkowskiej strop strefy okruszczowanej znajduje się na względnie korzystnej głębokości (w granicach 70–210 m), natomiast trudna do oceny ekonomicznej jest mineralizacja w rejonie Mysłowa, Pilicy i Żarek-Kotowic, co wynika ze znacznej miąższości nadkładu (w granicach 350–500 m). Przy obecnej nierównomiernej i nieznacznej gęstości siatki otworów wciąż istnieje wiele rejonów bardzo słabo zbadanych. Z faktu, że strefa złożowa Myszkowa ma poziome wymiary od 500 do 800 m, wynika, że przy obecnej gęstości siatki otworów (szczególnie rzadkiej w rejonie Mysłowa, Żarek-Kotowic, Pilicy i Doliny Będkowskiej) istnieje jeszcze wiele obszarów słabo zbadanych (lub zupełnie nierozpoznanych), gdzie mogą występować obszary perspektywiczne o rozmiarach zbliżonych do złoża Myszków.

Stanisław Z. Mikulski, Wojciech Retman

8.2. RUDY CYNKU I OŁOWIU (*ZINC AND LEAD ORES*)

8.2.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Obecnie największe znaczenie zasobowe mają hydrotermalne złoża siarczkowych rud sfalerytowo $\pm$ galenowych ($\pm$ baryt $\pm$ Ag $\pm$ Cu) w skałach osadowych (*sediment-hosted massive Zn-Pb sulphide deposits* – SMS). Skupiają one odpowiednio ponad 50% i ponad 60% światowych zasobów cynku i ołowiu (Misra, 2000). Wydziela się także podtypy tych złóż, wśród których główne znaczenie mają złoża Zn $\pm$ Pb: ekshalacyjno-osadowe (*sediment-hosted submarine exhalative deposits* – *sedex*), stratoidalne w skałach węglanowych (*Missisipi Valley type* – MVT) oraz wulkaniczno-osadowe (*volcanogenic massive sulphides* – VMS, typ Kuroko). Mniejsze znaczenie (15–20% światowych zasobów) mają złoża hydrotermalne – metasomatyczne (głównie skarny) i żyłowe, a także zmetamorfizowane w seriach osadowych (ok. 15–20% światowych zasobów; Paulo i Strzelska-Smakowska, 2000). Złoża typu SMS zawierają na ogół ponad 30 mln Mg rudy (Zn+Pb >10%), złoża VMS 1–10 mln Mg rudy (Zn+Pb+Cu <10%), a złoża MVT 10–30 mln Mg rudy (Zn+Pb = 3–10%; Cox i Singer, 1986; Misra, 2000; Paulo i Strzelska-Smakowska, 2000). Za bogate rudy siarczkowe przyjmuje się zwykle rudy o zawartości Zn+Pb >7%, a za ubogie <4%. Zdecydowanie mniejsze znaczenie mają złoża Zn typu wietrzeniowego (galmany; Coppola i in., 2009, wraz z literaturą) oraz złoża stratoidalne Cu-Ag, w których cynk i ołów występują jako metale towarzyszące kopalinie głównej – miedzi (*sediment-hosted stratiform copper deposits* – SSC). Innymi potencjalnymi źródłami cynku w przyszłości mogą być solanki i muły oraz konkracje polimetaliczne występujące na dnach mórz i oceanów. Istotny jest również odzysk tych metali w procesie recyklingu, który dostarcza ponad 50% ogólnej ilości Pb i co najmniej 10% Zn (Paulo, 2019).

W Polsce stratoidalne złoża rud Zn-Pb typu MVT występują głównie w utworach węglanowych triasu w regionie śląsko-krakowskim, jednym z największych tego typu na świecie (Leach i in., 1996). Rudy Zn-Pb z tego regionu, o szacunkowych całkowitych zasobach ok. 0,7 mld Mg i przeciętnej zawartości 4–6% Zn+Pb, eksploatowane są już od ponad 1500 lat. W dawnych wyrobiskach w rejonie Bytomia zawartość Zn w rudach siarczkowych sięgała 30% (a nawet więcej i także w rejonie Olkusza). Występują w nich dwa rodzaje rud – siarczkowe Zn-Pb i utlenione Zn, które wymagają stosowania odmiennych technologii hutniczych ekstrakcji metali.

8.2.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Światowe zasoby geologiczne cynku są szacowane na ok. 1,9 mld Mg, a ołowiu na ponad 2,0 mld Mg. Zasoby kwalifikujące się obecnie do zagospodarowania wynoszą 230 mln Mg Zn i 83 mln Mg Pb (USGS, 2019). Światowa produkcja cynku w 2018 r. wyniosła 13,0 mln Mg i była wyższa o ok. 3% w stosunku do 2017 r. (*ibidem*). Z kolei światowa produkcja ołowiu w 2018 r. wyniosła 4,4 mln Mg. Kilkuprocentowy deficyt podaży ołowiu jest spowodowany szybszym wzrostem konsumpcji niż przyrost z produkcji.

Krajowe zasoby bilansowe w 20 udokumentowanych złożach Zn-Pb typu MVT w regionie śląsko-krakowskim według stanu na 31.12.2018 r. wynoszą 83,96 mln Mg rudy, zawierającej 3,59 mln Mg Zn oraz 1,41 mln Mg Pb. Zasoby pozabilansowe wynoszą 57,54 mln Mg rudy, zawierającej 2,04 mln Mg Zn i 0,64 mln Mg Pb (Malon i in., 2019). Ponadto szacunkowe zasoby bilansowe cynku i ołowiu jako składników towarzyszących rudom siarczkowym Cu-Ag w złożach stratoidalnych cechstyńskiej formacji miedzionośnej na Dolnym Śląsku wynoszą odpowiednio 315,79 tys. Mg Zn (zasoby pozabilansowe 267,26 tys. Mg Zn, 4 złoża) i 359,86 tys. Mg Pb (12 złóż; *ibidem*). Złoża Zn-Pb regionu śląsko-krakowskiego są rozmieszczone na powierzchni ok. 1000 km² i zgrupowane w kilku rejonach: olkuskim, chrzanowskim, bytomskim i zawierciańskim (fig. 8.4). Obecnie wydobywanie rud prowadzi się tylko w rejonie olkuskim ze złóż Pomorzany, Olkusz i Klucze I. Z kolei na udokumentowanych złożach występujących w rejonie północno-wschodnim (Zawiercie) i w złożu Laski koło Olkusza dotychczas nie podjęto wydobywania.

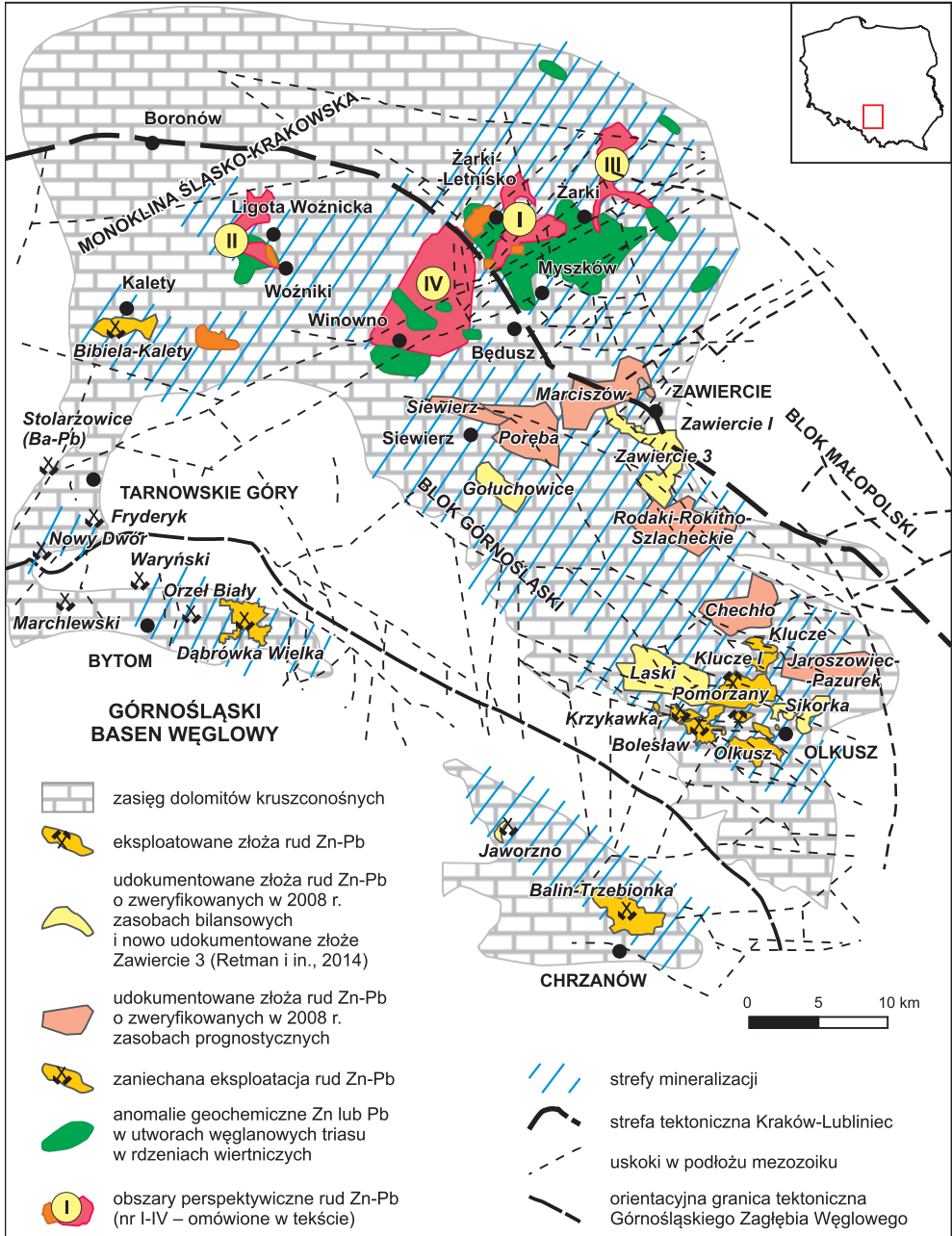


Fig. 8.4. Lokalizacja udokumentowanych złóż siarczkowych rud Zn-Pb, obszarów perspektywicznych oraz anomalii geochemicznych Zn i Pb w rdzeniach wiertniczych w regionie śląsko-kraakowskim (wg Mikulskiego S.Z. i in., 2011b, zmodyf.)

8.2.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Od ponad 10 lat obowiązują odmienne kryteria bilansowości dla rud siarczkowych Zn-Pb i rud utlenionych Zn występujących w złożach stratoidalnych regionu śląsko-krakowskiego. Kryteria te zawarto w *Rozporządzeniu...* (2007). Zgodnie z obowiązującym prawem geologicznym i górniczym (*Ustawa...*, 2011) od 1 stycznia 2012 r. zasoby rud siarczkowych i tlenowych wyznacza się na podstawie granicznych wartości parametrów definiujących złoża i granice (*Rozporządzenie...*, 2015a; tab. 8.7).

Tab. 8.7. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża rud cynku i ołowiu i ich granice
(*Rozporządzenie...*, 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Rudy cynku i ołowiu w formie siarczkowej		
Minimalna zawartość cynku i ołowiu (Zn+Pb) w formie siarczkowej w próbce konturującej złoża, niezależnie od stopnia utlenienia rudy	%	2
Minimalna średnia ważona zawartość cynku i ołowiu (Zn+Pb) w formie siarczkowej w profilu złoża wraz z przerostami	%	2
Minimalna zasobność interwału złożowego	m%	5
Maksymalna głębokość spągu złoża	m	500
Rudy cynku i ołowiu w formie tlenowej		
Minimalna zawartość cynku (Zn) w próbce konturującej złoża	%	5
Minimalna średnia ważona zawartość cynku (Zn) w profilu złoża wraz z przerostami	%	5
Minimalna zasobność interwału złożowego	m%	10
Maksymalna głębokość spągu złoża	m	500

8.2.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Zasoby prognostyczne rud Zn-Pb w części obszarów udokumentowanych złóż Zn-Pb określono na podstawie przejawów mineralizacji siarczkowej stwierdzonej w otworach wiertniczych, w poziomach zbliżonych do zalegania rud bilansowych. Obszary prognostyczne (odpowiadające kategorii D rozpoznania zasobów) wyznaczono pomiędzy granicami obliczenia zasobów bilansowych w kategorii C₂ (granice pól złożowych) a granicami hipotetycznych ciał rudnych (obszarów złożowych), z zastosowaniem pozostałych kryteriów bilansowości (Nieć i in., 2006; Mikulski S.Z. i in., 2013 wraz z literaturą; tab. 8.7).

Podstawą wydzielenia obszarów perspektywicznych było występowanie w otworach wiertniczych interwałów skał z mineralizacją sfalerytowo ± galenową o zawartości Zn+Pb >0,5%.

8.2.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

W Polsce za najbardziej perspektywiczny obszar występowania złóż rud cynku i ołowiu uznaje się region **śląsko-krakowski**, gdzie oprócz rud siarczkowych Zn-Pb (Ekiert, 1971; Smakowski i Wielgomas, 1986; Blajda i in., 2006; Kurek i Kmiecik, 2006a, b; Kurek i in., 2006; Retman, 2006; Wnuk i in., 2007; Strzelska-Smakowska i in., 2008; Mikulski S.Z. i in., 2011b, 2013, 2015b, 2016b) obecne są rudy tlenowe cynku (Radwanek-Bąk, 1985; Coppola i in., 2009; Strzelska-Smakowska i in., 2008a, b; Strzelska-Smakowska, 2010). Mimo że krajowe wydobycie Zn-Pb w ostatnim okresie wykazuje tendencję spadkową, region ten nadal jest praktycznie jedynym obszarem, gdzie możliwe jest rozpoznanie nowych złóż rud Zn-Pb nie tylko w utworach węglanowych triasu środkowego, ale także w ich podłożu, w utworach węglanowych dewonu i karbonu wy-

stępujących wzdłuż regionalnych stref tektonicznych (Gałkiewicz i in., 1960; Śliwiński, 1964; Ekiert, 1971; Gładysz i Śliwiński, 1979; Kurek, 1988; Górecka, 1991; Mikulski S.Z. i in., 2013; Retman i in., 2014). Pozostałe wystąpienia rud Zn-Pb i rud Pb w Polsce nie są samodzielnymi złóżami, stanowią one jedynie kopaliny towarzyszące (z wyjątkiem utworów dewońskich i mezozoicznych w zachodnim i północno-zachodnim obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich; Rubinowski, 1986, wraz z literaturą; Mikulski S.Z. i Strzelska-Smakowska, 2013). Weryfikacji wymagają izolowane koncentracje rud Zn stwierdzone powyżej permskich wysadów solnych w regionie śródkowopolskim, jak również możliwość występowania żył z polimetalicznymi siarczkami (Pb, Zn-Pb, Pb-Ag, BaSO₄-Pb) wokół waryscyjskich i postwaryscyjskich intruzji magmowych.

Rudy siarczkowe Zn-Pb. W regionie śląsko-krakowskim formacjami perspektywicznymi dla złóż rud Zn-Pb są skały węglanowe triasu środkowego i dolnego wykształcone głównie jako dolomity kruszczońskie, a podrzędnie skały węglanowe dewonu oraz przypuszczalnie piaskowce kwarcowe pstrego piaskowca (Przeniosło, 1974; Gruszczak i Paulo, 1976; Sass-Gustkiewicz, 1985, 1996; Sass-Gustkiewicz i in., 1982; Gruszczak i Wielgomas, 1990; Górecka, 1993; Szuwarzyński, 1996). Za najważniejsze przesłanki występowania złóż rud Zn-Pb uznano obecność dolomitów kruszczońskich, tektonikę blokowo-uskokową podłoża paleozoicznego i pokrywy permo- mezozoicznej, kawernistość, zmienność litologiczną i chemiczną dolomitów. Oznakami mineralizacji są anomalie hydro- i litogeochemiczne, anomalie geoelektryczne (IP) oraz obecność okruszczowania siarczkowego w otworach wiertniczych.

Po wyczerpaniu w wyniku wieloletniej eksploatacji bogatych rud Zn-Pb w rejonie bytomskim i chrzanowskim obecnie znaczenie złożowe mają rejon olkuski i zawierciański oraz rejon perspektywiczne I–IV (fig. 8.4) na północny zachód od Zawiercia. W rejonie oluskim udokumentowano 10 złóż, spośród których 5 dotychczas nie było zagospodarowanych (Klucze, Chechło, Laski, Sikorka i Jarosławiec-Pazurek). Szacunkowa łączna wielkość zasobów prognostycznych w poszczególnych złożach rejonu olkuskiego wynosi ok. 34,6–35,6 mln Mg rud Zn-Pb (na obszarze ok. 300 km²; tab. 8.8). Część złóż tego regionu – Chechło, Klucze, Klucze I, Jarosławiec-Pazurek, fragment złoża Pomorzany oraz północny fragment złoża Sikorka – znajduje się w granicach Parku Krajobrazowego Orlich Gniazd.

Tab. 8.8. Zasoby prognostyczne rud siarczkowych Zn-Pb w udokumentowanych złożach rejonu olkuskiego wg stanu na 31.12.2018 r.

Złoże	Zasoby prognostyczne rud Zn-Pb [mln Mg]
Laski	12
Klucze	7,5–8,5
Olkusz	5
Chechło	3
Sikorka	3
Krzykawa	2,2
Bolesław	1,7
Jarosławiec-Pazurek	0,2
Razem	34,6–35,6

W rejonie zawierciańskim udokumentowano dotąd 7 złóż rud Zn-Pb w pasie o długości ok. 20 km i szerokości ok. 12 km między Siewierzem na północnym zachodzie a Rodakami-Rokitnem Szlacheckim na południowym wschodzie. Zasoby prognostyczne określono na tych samych zasadach jak w przypadku rejonu olkuskiego. Szacuje się, że wynoszą one od kilkunastu do ok. 25 mln Mg rud Zn-Pb, zalegających w dolomitach kruszczońskich (poziomy DK1 i DK2) i diploporowych oraz w utworach węglanowych dewonu (tab. 8.9).

Rejon północny. Rejon północny ma powierzchnię ok. 2000 km² i leży na północnym i północno-wschodnim obrzeżeniu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, na północ od udokumentowanych złóż rud Zn-Pb rejonu zawierciańskiego, w województwie śląskim (Mikulski S.Z. i in., 2011b). Wyróżniono w nim

Tab. 8.9. Zasoby prognostyczne i perspektywiczne rud Zn-Pb w udokumentowanych złożach rejonu zawierciańskiego wg stanu na 31.12.2018 r.

Złoże	Zasoby prognostyczne	Zasoby perspektywiczne
Zawiercie 3	w DK1+DK2, DD i D – ok. 15 mln Mg rud Zn-Pb	w DK1+DK2 – powierzchnia ok. 2 km ²
Gołuchowice	w DK2 – 95 tys. Mg Zn i 23,8 tys. Mg Pb w DK1+DK2 – 7,2 mln Mg rud Zn-Pb	w DK1 – powierzchnia 0,77 km ²
Poręba	0,8 mln Mg rud Zn-Pb	–
Siewierz	0,3 mln Mg rud Zn-Pb	–
Marciszów	w DK2 i DD – 46,2 tys. Mg rud Zn-Pb oraz w D – 7,7 tys. Mg rud Zn-Pb	–
Rodaki-Rokitno Szlacheckie	w D – 0,3 mln Mg rud Zn-Pb (9,3 tys. Mg Zn i 1,7 tys. Mg Pb)	–

DK1 – dolomity kruszczone o miąższości do 20 m od stropu warstw gogolińskich; DK2 – wyższa część dolomitów kruszczonych powyżej poziomu DK1; DD – dolomity diploporowe; D – utwory węglanowe dewonu

cztery obszary perspektywiczne okonturowane izolinią 0,5% zawartości Zn w metalotekcie dolomitu kruszczonego trasiu dolnego oraz w dolomicie diploporowym (fig. 8.4):

- obszar I – na NW od Myszkowa,
- obszar II – koło Woźnik,
- obszar III – koło Żarek,
- obszar IV – na SE od Koziegłówek.

Najbardziej obiecujące wydają się obszary I i IV. Próby ilościowego oszacowania ich zasobów według aktualnych kryteriów bilansowości dla stratoidalnych złóż rud Zn-Pb nie powiodły się. Wydzielone na podstawie tych zbyt rygorystycznych kryteriów rejonu złożowe tworzyły nieliczne i izolowane wysepki o niewielkich wymiarach, otaczające pojedyncze otwory zakwalifikowane jako bilansowe (Strzelska-Smakowska i in., 2008). Obszary perspektywiczne cechują się dużą rozpiętością mineralizacji w profilu dolomitu kruszczonego, wielopoziomowością (prawdopodobnie gniazdowych) ciał rudnych oraz niskim stopniem rozpoznania (tab. 8.10), dlatego zasoby tych obszarów należy zaliczyć do perspektywicznych.

Wskazane jest przeprowadzenie dalszych badań, np. metodą geofizyki IP, szczególnie na obszarze IV, gdzie odległości pomiędzy pozytywnymi otworami wynoszą od 1 do 3 km.

Rudy tlenowe Zn (galmany). W Polsce rudy tlenowe, tzw. galmany, są związane ze strefą utlenienia rud siarczkowych obszaru śląsko-krakowskiego (Radwanek-Bąk, 1985; Strzelska-Smakowska, 2006, 2010; Wnuk i in., 2007; Wnuk i Walczak, 2007; Coppola i in., 2009). Galmany były znane z wychodni dolomitów kruszczonych w pasie Trzebinia-Krzeszowice-Olkusz-Siewierz, z obszaru Tarnowskich Gór oraz niecek bytomskiej i chrzanowskiej. Eksploatację największych z tych złóż w okolicy Bytomia zakończono w połowie lat 70. XX w., a na złożu Dąbrówka Wielka pod koniec lat 80., natomiast w rejonie olkuskim w 1985 r. Na obszarze zlikwidowanych kopalń Bolesław, Olkusz (część zrębowa), Krzykawa, Orzeł Biały i Dąbrówka nadal zalegają rudy tlenowe, stanowiące potencjalną rezerwę zasobową. Ich zasoby ustalone wedle starych kryteriów bilansowości z 1975 r., wynoszące ok. 48,59 mln Mg rudy, w tym ponad 2808,0 tys. Mg Zn i 402,1 tys. Mg Pb, można traktować jako prognostyczne (tab. 8.11). Także w złożach niezagospodarowanych rud siarczkowych Zn-Pb występują strefy rud utlenionych Zn, których zasoby perspektywiczne są trudne do oszacowania.

Do pełnej oceny zasobów prognostycznych złóż rud Zn-Pb w Polsce niezbędna jest weryfikacja zasobów rud galmanowych, uwzględniająca nowe graniczne wartości definiujące złoża. Osobne zagadnienie stanowią rudy utlenione Zn zgromadzone na zwalach byłych kopalń (tab. 8.12) o zasobach prognostycznych ok. 9,64 mln Mg rudy (w tym 447,2 tys. Mg Zn i 88,0 tys. Mg Pb), a także częściowo utlenione odpady flotacyjne kopalń ZGH Bolesław S.A. (ok. 42 mln Mg rudy o zawartości ok. 1,1% Zn i 0,7% Pb) i ZG Trzebinia S.A. (ok. 38 mln Mg rudy o zawartości ok. 0,9% Zn i 0,4% Pb).

Zasoby prognostyczne rud siarczkowych Zn-Pb i rud galmanowych Zn w regionie śląsko-krakowskim wynoszą po ok. 60 mln Mg (tab. 8.13) i są o prawie 30% mniejsze od zasobów udokumentowanych złóż rud siarczkowych w tym regionie.

Tab. 8.10. Charakterystyka obszarów perspektywicznych w północnej części regionu śląsko-krakowskiego

Cechy obszaru	Obszar I	Obszar II	Obszar III	Obszar IV
Zwartość	zwarty	zwarty	6 pól	12 pól
Liczba otworów	20	14	11	17
Powierzchnia	12 km ²	10 km ²	5,5 km ² (2 pola)	–
DK cynk				
Zasięg głębokościowy mineralizacji	54,1–168,6 m	130,0–251,0 m	168,7–403,6 m	75,0–195,9 m
Liczba interwałów rudnych w profilu	1–10	1–5	1–2	1–6
Mięższność interwałów*	0,3–3,3 m	0,2–2,9 m	0,1–0,9 m	0,2–4,3 m
Liczba interwałów w profilu z zawartością Zn >1%	1–6 w 9 otworach	1–3 w 6 otworach	1–2 w 2 otworach	1 w 3 otworach
Liczba interwałów w profilu z zawartością Zn >2%	1–7 w 5 otworach	1 w 2 otworach	1 w 1 otworze	1–3 w 10 otworach
DK ołów				
Liczba horyzontów rudnych w profilu	1–3 w 8 otworach	1 w 2 otworach	1–3 w 8 otworach	1–4 w 7 otworach
Mięższność interwałów	0,4–1,8 m	0,2–0,3 m	0,1–0,8 m	0,4–4,3 m
Liczba interwałów w profilu z zawartością Pb >1%	1 w 2 otworach	1 w 1 otworze	2 w 1 otworze	1–3 w 3 otworach
Liczba interwałów w profilu z zawartością Pb >2%	2 w 2 otworach	brak	1–2 w 3 otworach	1 w 4 otworach
DD cynk				
Zasięg głębokościowy mineralizacji	48,5–128,2 m	142,0–201,5 m	222,2–285,5 m	101,0–101,6
Liczba interwałów rudnych w profilu	1–4 w 10 otworach	1–2 w 3 otworach	1 w 2 otworach	1 w 1 otworze
Mięższność interwałów	0,4–3,0 m	0,3–1,0 m	0,4–0,5 m	0,6 m
Liczba interwałów w profilu z zawartością Zn >1%	po 1 w 4 otworach	brak	brak	brak
Liczba interwałów w profilu z zawartością Zn >2%	1 w 1 otworze	brak	brak	brak
DD ołów				
brak				

* głębokość od stropu najwyższego do spągu najniższego interwału rudnego w otworach; DK – dolomit kruszonośny; DD – dolomit diploporowy

Tab. 8.11. Zasoby prognostyczne rud tlenowych cynku (galmany)

Kopalnia/ Złoże	Zasoby rud tlenowych Zn [mln Mg]	Zasoby metalu [tys. Mg]		Średnia zawartość [%]	
		Zn	Pb	Zn	Pb
Kopalnia Orzeł Biały	5,96	342,8	51,0	5,7	0,8
Kopalnia Dąbrówka	12,24	753,3	133,2	6,2	1,1
Kopalnia Bolesław	19,07	1057,5	118,4	5,6	0,6
Kopalnia Olkusz	6,16	350,4	34,6	5,7	2,7
Kopalnia Pomorzany	3,58	210,3	53,6	5,9	1,5

Część II

Tab. 8.11. cd.

Kopalnia/ Złoże	Zasoby rud tlenowych Zn [mln Mg]	Zasoby metalu [tys. Mg]		Średnia zawartość [%]	
		Zn	Pb	Zn	Pb
Złoże Sikorka	0,70	42,3	6,6	6,0	0,9
Złoże Krzykawa	0,20	10,0	2,0	5,0	1,3
Rejon Zawiercie	0,68	41,4	2,7	6,1	0,4
Razem	48,59	2808,0	402,1	nd.	nd.

nd. – nie dotyczy

Tab. 8.12. Zasoby prognostyczne rud tlenowych cynku w zwałach kopalnianych
(wg Mikulskiego S.Z. i in., 2011b)

Lokalizacja	Zasoby rud tlenowych Zn [mln Mg]	Zasoby metalu [tys. Mg]		Średnia zawartość [%]	
		Zn	Pb	Zn	Pb
Miechowice zwał N/G/25	0,20	13,8	2,0	6,9	1,0
Miechowice-Bytom – pozostałe zwały	0,18	10,6	1,4	5,9	0,8
Pomorzany – zwały	0,10	6,9	1,9	6,9	1,9
Brzeziny – zwały	3,83	196,3	31,5	4,9–7,7	0,7–1,9
Piekary Śląskie – zwały	0,21	8,6	0,7	3,8–5,6	0,2–1,4
Bytom – zwał Nowa Wiktoria	0,87	31,1	6,3	3,6	0,7
Inne zwały łącznie (17)	4,25	179,9	44,2	nd.	nd.
Razem	9,64	447,2	88,0	nd.	nd.

nd. – nie dotyczy

Tab. 8.13. Zasoby rud Zn-Pb oraz rud Zn (galmany) w regionie śląsko-krakowskim
wg stanu na 31.12.2018 r.

Rodzaj	Region/ rejon	Zasoby	
		udokumentowane [mln Mg]	prognostyczne [mln Mg]
Rudy siarczkowe Zn-Pb	rejon olkuski	30,44	34,6-35,6
	rejon zawierciański	53,98	23,7
Razem		84,42	58,3-59,3
Rudy tlenowe Zn	region śląsko-krakowski	–	48,0 (w złóżach)
		–	9,6 (w zwałach kopalnianych)
Razem		–	57,6
Łącznie rudy siarczkowe Zn-Pb i rudy tlenowe Zn		84,42	115,9–116,9

8.2.5.1. Opis innych regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych cynku i ołowiu

Rudy ołowiu, a niekiedy cynku są kopalinami towarzyszącymi w złożach rud innych metali, głównie miedzi, niespełniającymi jednak kryteriów bilansowości dla rud Zn-Pb. Ze względu na możliwość ich pozyskiwania dopiero na etapie przeróbki lub przetwarzania metalurgicznego nie oszacowano ich zasobów perspektywicznych i hipotetycznych. Za interesujące pod względem wystąpień towarzyszących rud Zn i/lub Pb i/lub Zn-Pb o zawartości ponad 0,5% metali uznano cztery niżej opisane grupy formacji geologicznych.

Cechsztyńska formacja miedzionośna

Wydzielono w niej obszary o anomalnych zawartościach Pb i Zn (zob. rozdz. 8.1), z których na szczególną uwagę zasługują te leżące na głębokości do 2000 m wokół obszaru złożowego Lubin-Sieroszewice i Nowa Sól na monoklinie przedsudeckiej, na peryklinie Żar (na SW od Zielonej Góry) i w niecce północnosudeckiej (wokół złóż Konrad, Lena i Nowy Kościół oraz na N od Zgorzelca). Mniejszość interwału o podwyższonej zawartości Zn i Pb na obszarach „anomalnych” wynosi od poniżej 1 do 50 m, natomiast zasobność ołowiu zmienia się w granicach od 10 do 100 kg/m², a cynku od 5 do 50 kg/m² (Oszczepalski i Rydzewski, 1997). Średnia zawartość Pb w eksploatowanych złożach rud miedzi wynosi 0,14%, w tym w rudzie łupkowej średnio 0,67%, w rudzie węglanowej 0,11%, a w rudzie piaskowcowej 0,01% (Kijewski i Jarosz, 1987; Sobierajski i in., 1996; Banaś i in., 2007c).

Formacje towarzyszące granitoidom w strefie kontaktu bloków małopolskiego i górnośląskiego

Mineralizacji molibdenitowej w strefach brzeżnych oraz apikalnych intruzji lokalnie towarzyszy okruszcowanie siarczkami Zn i Pb (Lasoń, 1992; Podemski, 2001; Mikulski S.Z. i in., 2011b, 2013). Mniej bogate (ze średnimi zawartościami ok. 0,1% Zn i Pb) są drobne pola w utworach prekambryjsko-paleozoicznego podłoża na bloku małopolskim, wydodrębnione wokół pojedynczych otworów na SE od Żarek, w rejonie Doliny Będkowskiej i w szerokim otoczeniu Myszkowa. Na bloku małopolskim zawartość cynku w granicach 0,8–4,0% stwierdzono w granitach (rejon Myszkowa i Pilicy), metałłowcach ediakaru (Dolina Będkowska, Żarki) oraz metamulowcach, wapieniach krystalicznych, łupkach kwarcytowych i szarogłazach syluru (Zawiercie). Najwyższa zawartość ołowiu, rzędu 0,5–2,5%, występuje sporadycznie w metałłowcach ediakaru (Dolina Będkowska) i granitach (okolice Myszkowa; Oszczepalski i in., 2008).

Inny charakter mają koncentracje cynku i ołowiu w brekcjach dolomitowych dewonu i rzadziej w piaskowcach permu na bloku górnośląskim, gdzie zawartość Zn+Pb przekraczającą 2% stwierdzono w siedmiu otworach. Wydzielono tam cztery obszary o podwyższonej średniej zawartości cynku (0,2–2,5%) w rejonie Łaz, Poręby, Klucza i Siewierza. Pola o największej średniej koncentracji ołowiu (w granicach 0,1–3,0%) znajdują się na bloku małopolskim, w rejonie Żarek–Kotowic, i na bloku górnośląskim, w okolicach Siewierza, Poręby, Łaz i Klucza (*ibidem*).

Formacje paleozoiczne i mezozoiczne w Górach Świętokrzyskich

Liczne przejawy okruszczenia galeną stwierdzono głównie w zachodniej części trzonu paleozoicznego Gór Świętokrzyskich oraz w ich mezozoicznym obrzeżeniu (Rubinowski, 1971, 1986; Mikulski S.Z. i in., 2011b; Mikulski S.Z. i Strzelska-Smakowska, 2013). Wydzielono pięć obszarów perspektywicznych o powierzchni ok. 39 km². Za najciekawsze uznano impregnacje galenowe, lokalnie ze sfaleritem w utworach cechsztynu (synkliny: kajetanowska i gałęzicka), retu (synklina piekosiowska), wapienia muszlowego (antyklina Strawczyzna) oraz w marglisto-ilastych skałach dewonu na odcinku Dąbrowa–Porzecze (m.in. zaniechane złożo w Miedzianej Górze). W cechsztyńskich zlepieńcach w Nieczulicach koło Rudek stwierdzono impregnację galeną, a maksymalna zawartość Pb i Zn wynosi odpowiednio 2,4% i 0,34% (Nieć, 1966).

Formacje paleozoiczne i mezozoiczne w Sudetach oraz na bloku przedsudeckim

W Sudetach srebronośna galena była przedmiotem eksploatacji od średniowiecza do początków XX w. w Srebrnej Górze, Bolesławowie, Radzimowicach, Miedzianej Górze, Czarnowie, Lutyni, Marcinkowie, Boguszowie i innych miejscach (m.in. Fedak i Lindner, 1966; Dziekoński, 1972; Paulo, 1972; Jerzmański, 1976; Zimnoch, 1978; Mikulski S.Z., 2007b, 2010). Rudy ołowiu wydobywano głównie z niewielkich siarczkowo-kwarcowo-kalcytowo-barytowych złóż żyłowych zawierających również siarczki Zn, As, Cu

i Fe. Niewystarczające rozpoznanie głębokiej budowy geologicznej Sudetów i bloku przedsudeckiego nie pozwala na określenie perspektyw występowania małych, lecz stosunkowo bogatych złóż polimetalicznych rud Zn i Pb na większej głębokości oraz w sąsiedztwie dawniej eksploatowanych złóż.

8.2.6. Stan rozpoznania geologicznego

Pomimo stosunkowo dużej liczby otworów wykonanych w rejonie zawierciańskim w drugiej połowie XX w. rozpoznanie geologiczne niezagospodarowanych złóż jest niewystarczające. Wyniki prac wykonanych w latach 2010–2013 wskazują na znaczne możliwości rozpoznania nowych ciał rudnych po zagęszczeniu siatki rozpoznawczej do ok. 50 m pomiędzy otworami w strefach przecięcia trendów mineralizacji NW-SE i NE-SW w dolomitach kruszczońskich i węglanowych utworach dewonu (Retman i in., 2013a, b, 2014), a także m.in. przy zastosowaniu metody polaryzacji wzbudzonej (IP), która pozwala ograniczyć koszty wiercen rozpoznawczych (Retman i in., 2005–2008; Mikulski S.Z. i in., 2015b, 2017). Dalsze prace poszukiwawcze za stratoidalnymi złożami rud Zn-Pb na obszarze śląsko-krakowskim powinny objąć zwłaszcza rejon zawierciański, a następnie rejon perspektywiczny na północ od niego.

W rejonie Zawiercia i Rokitna od 2010 r. obszary złożowe Zn-Pb są objęte koncesjami poszukiwawczymi za rudami cynku i ołowiu firmy Rathdowney Polska Sp. z o.o.

Zasoby rozpoznanych złóż rud tlenowych cynku na obszarze śląsko-krakowskim należy zweryfikować zgodnie z aktualnymi granicznymi wartościami parametrów definiujących złoża i jego granice.

Siarczki Zn i Pb występujące w utworach cechsztyńskich Polski południowo-zachodniej stanowią duży potencjalny zasób, który powinien być brany pod uwagę jako kopalina towarzysząca przy zagospodarowaniu złóż rud miedzi.

Okruszcowanie siarczkami Zn i Pb towarzyszące strefom apikalnym wokół granitoidów w strefie kontaktu bloków małopolskiego i górnośląskiego wymaga dalszego rozpoznania przy okazji poszukiwań porfiryrowych rud Cu-Mo.

Na podstawie ostatnio wykonanych analiz chemicznych rud Zn-Pb oszacowano dla nich zasoby pierwiastków strategicznych i towarzyszących. W złożu Zawiercie 3 zasoby szacunkowe wynoszą: gal 130 Mg, german 30 Mg, kadm 12 tys. Mg, tal 150 Mg, siarka 1315 tys. Mg, srebro 510 Mg oraz nieoszacowywane dotychczas w rudach Zn-Pb znaczne zasoby arsenu w ilości 4,8 tys. Mg (Retman i in., 2014). W wyniku przeprowadzonych badań geochemicznych siarczkowych rud Zn-Pb z obszaru zawierciańskiego (Mikulski S.Z. i in., 2018a, 2020) stwierdzono, że gal występuje w stosunkowo wysokich koncentracjach (średnia geometryczna 22,3 ppm, $n = 66$). Oszacowane zasoby galu w złożach Zn-Pb regionu zawierciańskiego wynoszą ok. 1200 Mg. Zasoby talu wynoszą ok. 143 Mg, a skandu ok. 81 Mg (Mikulski S.Z. i in., 2018a). Dodatkowo w złożu obecny jest bar w postaci barytu, który teoretycznie mógłby być odzyskany w procesie technologicznym, gdyż łatwo ulega wzbogaceniu grawitacyjnemu. Zasoby kadmu oszacowano na ok. 13 tys. Mg, natomiast srebra na ok. 426 Mg (*ibidem*).

8.2.7. Ocena zasobów i ich zmian

Od ostatniego wydania *Bilansu* (Mikulski S.Z. i in., 2011b) nastąpiły istotne zmiany w zakresie rozpoznania złóż udokumentowanych, zwłaszcza w rejonie zawierciańskim, gdzie w wyniku prac w latach 2010–2013 na obszarach uprzednio udokumentowanych złóż Zawiercie I oraz Zawiercie Obszar Zawiercie II udokumentowano złoża Zawiercie 3 o zasobach bilansowych 32,20 mln Mg rud Zn-Pb (Retman i in., 2014), stanowiące pierwsze złoża udokumentowane na podstawie nowych otworów po wprowadzeniu nowej metodyki szacowania zasobów (Nieć i in., 2006). Złoża Zawiercie 3 stanowi do chwili obecnej największe złoża rud siarczkowych Zn-Pb w Polsce, w którym przyrost zasobów z dodatkowego rozpoznania w dolomitach kruszczońskich wyniósł ponad 40%. Po raz pierwszy udokumentowano w nim zasoby bilansowe na większym obszarze także w dolomitach diploporowych i wzdłuż uprzywilejowanych stref tektonicznych w węglanowych utworach dewonu. Równocześnie z bilansu zasobów wykreślono złoża Zawiercie Obszar Zawiercie II (Retman i in., 2013a).

Jak wspomniano, wydobycie siarczkowych rud Zn-Pb prowadzone jest do chwili obecnej jedynie ze złóż Olkusz, Pomorzany i Klucze I.

Rozmieszczenie obszarów perspektywicznych występowania rud Zn-Pb w Polsce ilustruje załącznik 4.

8.2.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

1. Największe perspektywy przyrostu zasobów rud cynku i ołowiu wiążą się z regionem śląsko-krakowskim, gdzie w skałach węglanowych triasu środkowego oraz dewonu występuje mineralizacja siarczkowa Zn-Pb typu MVT. W rejonie olkuskim szacunkowe zasoby prognostyczne wynoszą ok. 35 mln Mg rud Zn-Pb, a w rejonie zawierciańskim do ok. 25 mln Mg rud Zn-Pb.
2. W rejonie o powierzchni ok. 2000 km² usytuowanym na północ od rejonu zawierciańskiego wydzielono cztery obszary perspektywiczne, z których najbardziej obiecujące są następujące obszary: I na NW od Myszkowa oraz IV na SE od Koziegłowa. Jednak ze względu na słabe rozpoznanie wiertnicze tamtejsze zasoby rud Zn-Pb są trudne do oszacowania. Wskazane jest przeprowadzenie dalszych prac geofizycznych (np. metodą IP) oraz dalsze rozpoznanie wierceniami obszarów anomalnych.
3. Rudy tlenowe cynku (galmany) występujące w regionie śląsko-krakowskim od dawna już nie są eksploatowane, a ich zasoby prognostyczne w złożach zaniechanych wymagają analizy dostępności oraz weryfikacji zgodnie z aktualnymi granicznymi wartościami parametrów definiujących złożę i jego granice.
4. W cechsztyńskiej formacji miedzionośnej na monoklinie przedsudeckiej, na peryklinie Żar i w niecce północnosudeckiej znanych jest kilka obszarów występowania bogatszej mineralizacji Pb-Zn, zazębiającej się ze złożem miedzi, która może być jednak traktowana tylko jako kopalina towarzysząca rudom Cu-Ag.
5. Poważnym ograniczeniem prowadzenia dalszych prac poszukiwawczych i udostępniających za siarczkowymi rudami Zn-Pb, zwłaszcza w rejonach zawierciańskim i północnym, jest konflikt z planami zagospodarowania przestrzennego, np. w rejonie Zawiercia czy Gołuchowic, istniejącymi parkami krajozrazowymi, np. Orlich Gniazd i Dolinek Podkrakowskich, a także zbiornikami wód podziemnych w dewonie i triasie. Główną barierą dla wznowienia wydobycia rud tlenowych cynku jest postępująca urbanizacja oraz negatywne stanowisko władz lokalnych i społeczności dotyczące wznowienia działalności górniczej. Dla ewentualnych bogatych wystąpień siarczków Zn i Pb w utworach cechsztyńskich na obszarze Dolnego Śląska i Wielkopolski istotną barierą dla rozpoznania jest duża głębokość ich zalegania. W regionie sudeckim, ze względu na istnienie wielu obszarów chronionych programem Natura 2000, istnieją poważne ograniczenia przy prowadzeniu prac geologicznych, które mogłyby zweryfikować hipotetyczne zasoby rud Pb i/lub Zn typu żyłowego.

Stanisław Z. Mikulski, Rafał Malek

8.3. RUDY CYNY (*TIN ORES*)

8.3.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Największe znaczenie gospodarcze wśród złóż cyny mają okruchowe (wtórne) złoża kasyterytu (SnO_2) w utworach zwietrzelinowych (złoża eluwialne i deluwialne, *eluvial and colluvial deposits*) oraz osadach rzecznych (złoża aluwialne, *alluvial deposits*) i morskich (*Sn-bearing marine sands; off-shore Sn deposits*).

Wśród pierwotnych złóż cyny wyróżnia się złoża związane z postorogenicznym magmatyzmem kwaśnym – granitoidowym pochodzenia skorupowego (*S-type granite*) oraz magmatyzmem anorogenicznym (*A-type granite*) na obszarach skratonizowanych. Do głównych typów złóż pierwotnych cyny zalicza się złoża grejzenowe, pneumatolityczne i hydrotermalne występujące najczęściej w postaci żył (kwarcowo/krzemianowo-kasyterytowych $\pm$ siarczkowych $\pm$ turmalinowych $\pm$ topazowych $\pm$ łuszczykowych) w apikalnych częściach intruzji granitoidowych, porfirowych i w ich bezpośrednich osłonach (Bolewski, 1977; Lehman, 1990; Paulo i Strzelska-Smakowska, 2000). Duże znaczenie mają obecnie porfirowe złoża cyny ze srebrem i/lub wolframem występujące w tzw. boliwijskiej prowincji cynonośnej w centralnych Andach w Ameryce Południowej (*porphyry Sn deposits*; Misra, 2000). Wśród pozostałych pierwotnych typów złóż cyny wydziela się złoża stratoidalne, skarnowe oraz pegmatytowe. Głównym minerałem cyny w złożach pomagmowych jest kasyteryt, a w niektórych złożach występują siarczki cyny – stannin ($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$) oraz teallit (PbSnS_3). Zawartość cyny w złożach okruchowych waha się od 0,0008 do 0,1%, w złożach żyłowych wynosi 0,2–0,8%, a w złożach stratoidalnych 0,6–1,3%. Bardzo duże złoża cyny mają zasoby ponad 500 tys. Mg Sn, duże 100–500 tys. Mg Sn, a złoża małe poniżej 20 tys. Mg Sn (Bolewski, 1977). Kasyterytowi mogą towarzyszyć wolframit, scheelit, tantalit, rutyl, minerały REE oraz siarczki Cu, Bi, Ag, Pb, Zn, a także metale szlachetne i pierwiastki krytyczne takie jak Li, In, Ta, Sc, Nb oraz REE jako domieszki w innych minerałach lub w postaci minerałów własnych.

8.3.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Światowe zasoby cyny są szacowane na ok. 4,7 mln Mg (USGS, 2019), a wśród nich największy udział mają zasoby złóż okruchowych (ponad 60%). Złoża typu plażowego i aluwialnego występują w Azji południowo-wschodniej, w strefie brzegowej Indonezji i Malezji, południowych Chinach, Tajlandii oraz Jakucji i na szelfie Kornwalii (Bolewski, 1977; Cox i Singer, 1986). Zasoby cyny w południowo-wschodniej Azji stanowią ponad połowę zasobów światowych. Chiny mają największe zasoby cyny, które szacowane są na 1,1 mln Mg Sn, mniejsze zasoby mają Indonezja (0,8 mln Mg), Brazylia (0,7 mln Mg Sn), Australia (0,37 mln Mg Sn) oraz Boliwia (0,4 mln Mg Sn; USGS, 2019). Wśród złóż pomagmowych duże znaczenie gospodarcze mają złoża żyłowe, porfirowe i stratoidalne występujące w Ameryce Południowej oraz w Azji i Australii (Paulo i Strzelska-Smakowska, 2000; Smakowski i in., 2015). Światowa produkcja cyny wyniosła w 2018 r. ok. 310 tys. Mg. Przy zbliżonym poziomie konsumpcji udokumentowane niewielkie zasoby tego surowca mogą wystarczyć zaledwie na 15–20 lat. Jednak duży wzrost odzysku tego metalu w procesie recyklingu, stosowanie jego substytutów w przemyśle oraz odkrycia nowych złóż przekładają się na stabilizację rynku i zaopatrzenia w cynę (USGS, 2019).

W Polsce udokumentowane są dwa złoża cyny – Gierczyn i Krobica w paśmie łupkowym Starej Kamienicy w Sudetach. Ich zasoby są pozabilansowe i powinny być traktowane jedynie w kategorii złóż prognoptycznych. Zasoby pozabilansowe tych złóż wynoszą w sumie 5,49 mln Mg rudy kasyterytowej zawierającej 23 tys. Mg cyny metalicznej, przy czym w złożu Gierczyn udokumentowano 2,89 mln Mg rudy (14 tys. Mg Sn), a w złożu Krobica – 2,60 mln Mg (9 tys. Mg Sn; Malon i in., 2019).

8.3.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Obecnie obowiązujące graniczne wartości parametrów definiujących złożo i jego granice dla pierwotnych stratoidalnych złóż cyny są określone w *Rozporządzeniu...* (2015a; tab. 8.14).

Udokumentowane zasoby złóż rud cyny w Gierczynie i Krobicy były obliczone według kryteriów bilansowości z 1978 r., które zakładały m.in. średnią graniczną zawartość metalu w rudzie bilansowej dla złoża –

Tab. 8.14. Graniczne wartości parametrów definiujących pierwotne stratoidalne złoża rud cyny i jego granice (Rozporządzenie..., 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Maksymalna głębokość dokumentowania	m	500
Minimalna zawartość cyny (Sn) w próbce konturującej złożo	%	0,5
Minimalna średnia ważona zawartość cyny (Sn) w profilu złoża wraz z przerostami	%	0,5
Minimalna zasobność złoża (Sn)	m%	1

0,22% Sn, brzeżną zawartość metalu dla pojedynczego wyrobiska w rudzie bilansowej – 0,17% Sn, a w rudzie pozabilansowej – 0,13% Sn oraz maksymalną głębokość dokumentowania 500 m (Michniewicz, 2011). Ponadto obowiązywało wówczas kryterium dotyczące minimalnej wysokości furty eksploatacyjnej – 1,0 m oraz minimalnej ilości zasobów bilansowych 13 mln Mg rudy, a zasoby dla poszczególnych złóż nie mogły być mniejsze od 3 mln Mg (*Decyzja...*, 1978). Porównując te dawne kryteria z najnowszymi, należy stwierdzić, że obecne są uproszczone, ale niektóre wartości graniczne są ponad dwukrotnie wyższe od poprzednich (tab. 8.14).

8.3.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Cyna ma bardzo duże znaczenie dla gospodarki, zwłaszcza w przemyśle elektronicznym, zbrojeniowym oraz chemicznym. Wahanie cen cyny na rynkach światowych, wywołane głównie dużymi zmianami podaży i popytu, wpływały na prospekcję tego metalu na świecie i w Polsce. Prowadziło to również do istotnych zmian kryteriów bilansowości złóż rud cyny. Na lata 70. i 80. XX w. przypada okres hossy na rynku cyny z optimum na początku lat 80. (cena ok. 17 tys. USD/Mg Sn), co przełożyło się na przyjęcie w Polsce średniej granicznej zawartości metalu w rudzie dla złoża na poziomie 0,22% Sn. Natomiast od lat 90. ubiegłego stulecia na rynku cyny zaczęła się bess (cena spadła do 4–6 tys. USD/Mg Sn), co spowodowało wprowadzenie zaostrzonych kryteriów złożowych oraz przerwanie dokumentowania złóż rud cyny w paśmie łupkowym Starej Kamienicy w Sudetach, a zasoby złóż w Gierczynie i Krobicy uznano później za pozabilansowe (Michniewicz, 2011). W 2001 r. wprowadzono kryteria bilansowości, które zakładały m.in. minimalną średnią zawartość cyny w próbce konturującej złożo = 0,75%. W latach 2010–2019 cena cyny wahała się od ok. 13 do 33 tys. USD/Mg Sn, a w maju 2019 r. była na poziomie ok. 19–20 tys. USD/Mg Sn.

Obecnie cena cyny jest kilkukrotnie wyższa w porównaniu do ceny z lat 90., a nowe, obowiązujące od 2015 r. kryteria bilansowości zakładają minimalną zawartość Sn w próbce konturującej złożo = 0,5% (tab. 8.14). Nastąpiło więc obniżenie tej wartości granicznej w stosunku do wytycznych z 2001 r., ale i tak jest to wartość znacznie wyższa niż stosowana podczas dokumentowania złóż w Krobicy i Gierczynie (0,22% Sn). W *Bilansie* z 2011 r. udokumentowane zasoby złóż rud cyny w Gierczynie i Krobicy uznano za prognostyczne, a pozostałe obszary z udokumentowanymi pierwotnie pozabilansowymi rudami cyny – za perspektywiczne (Michniewicz, 2011). W związku z aktualną sytuacją cenową oraz niższymi kryteriami bilansowości za perspektywiczne należy uznać zawartości w zakresie 0,3–0,5% Sn. Dodatkowym argumentem za zwiększeniem atrakcyjności złożowej rud cyny w paśmie Starej Kamienicy jest fakt, że rudom kasytetytowym towarzyszy mineralizacja siarczokowa Cu-Zn-Pb, z którą związane jest występowanie pierwiastków krytycznych dla gospodarki Unii Europejskiej, takich jak kobalt, ind, gal, niob i in. (Mikulski S.Z. i in., 2018b; Mikulski S.Z. i Małek, 2019; Małek i in., 2019).

8.3.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Obszary perspektywiczne występowania złóż rud cyny w Polsce znajdują się w paśmie łupkowym Starej Kamienicy w Sudetach, od granicy państwa na zachodzie po okolice Przeczniczy na wschodzie (fig. 8.5). Na obszarze tym eksploatację górnictw rud cyny prowadzono już od XVI do połowy XIX w. (Dziekoński, 1972; Moczydłowska i Zagożdżon, 2013). Mineralizacja w postaci kasyterytu (SnO_2), któremu towarzyszy pod-

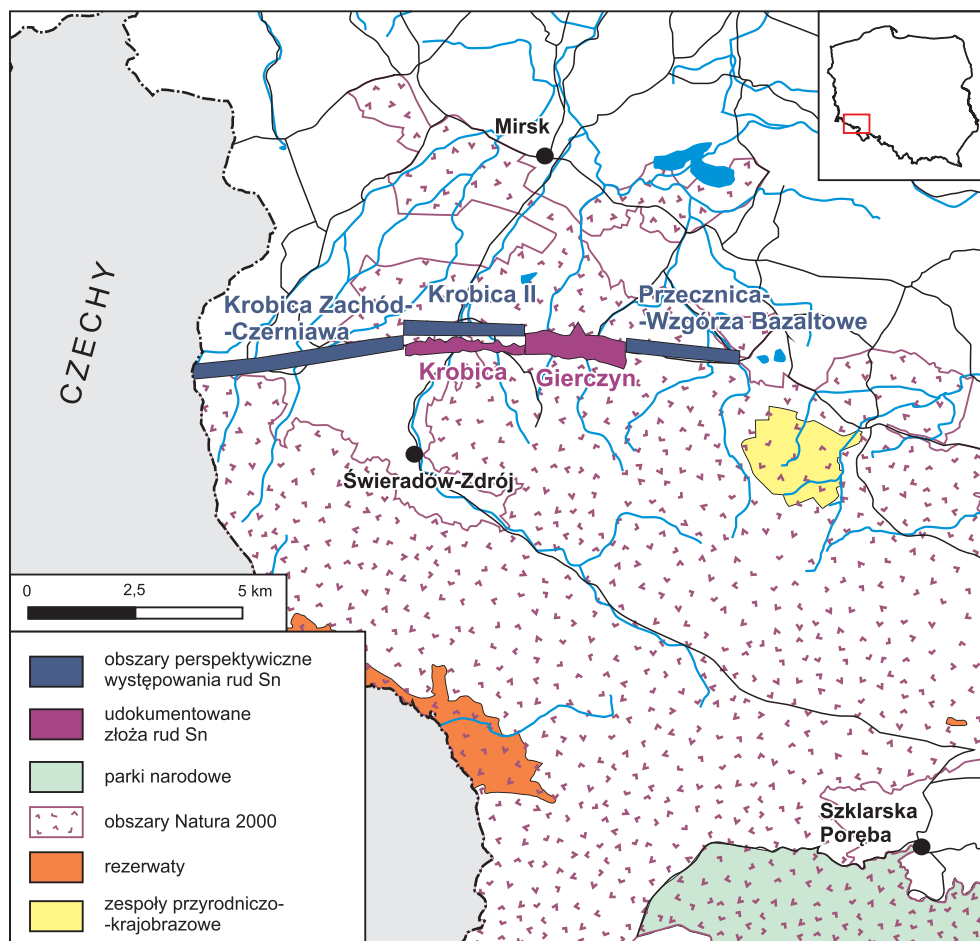


Fig. 8.5. Granice udokumentowanych złóż cyny Krobica i Gierczyn oraz przyległych obszarów perspektywicznych występowania rud cyny wraz z elementami konfliktów środowiskowych (wg Mikulskiego S.Z. i in., 2015b, zmodyf.)

rzędnie mineralizacja siarczkowa (Fe, Zn, Cu, Pb), jest związana z dolnopaleozoicznym metamorficznym kompleksem łupków kwarcowo-łyszczykowych (z granatami) zalegających w obrębie gnejsów izerskich (Szałamacha M. i Szałamacha J., 1974). Kompleks łupków cynonośnych zapada monoklinalnie pod kątem 40–60° ku północy i ma przebieg w przybliżeniu równoleżnikowy (Michniewicz i in., 2006).

Cynonośne pasmo Starej Kamienicy rozdziela główna dyslokacja podłużna, biegnąca równoleżnikowo przez cały rozpoznany obszar, oraz pięć dyslokacji poprzecznych o charakterze uskoków inwersyjnych, o rzutach od kilkudziesięciu do stu kilkudziesięciu metrów (Michniewicz i in., 2006). W profilu pionowym wydzielono 74 strefy cynonośne, które mają postać lamin, wstęg i soczewek tworzących cienie pseudopokłady o zróżnicowanej miąższości (0,04–8,07 m) i zawartości cyny (0,004–16,78% Sn; Szałamacha M. i Szałamacha J., 1974; Michniewicz i in., 2006). Pięć spośród tych stref, określanych jako strefy główne, występuje na całym dotychczas rozpoznanym obszarze i to w nich stwierdzono zdecydowaną większość, bo aż 85%, z ogólnej liczby wystąpień podwyższonych koncentracji cyny (>0,2%; Michniewicz i Sroga, 1987; Michniewicz, 1988, 1991; Michniewicz i in., 2006).

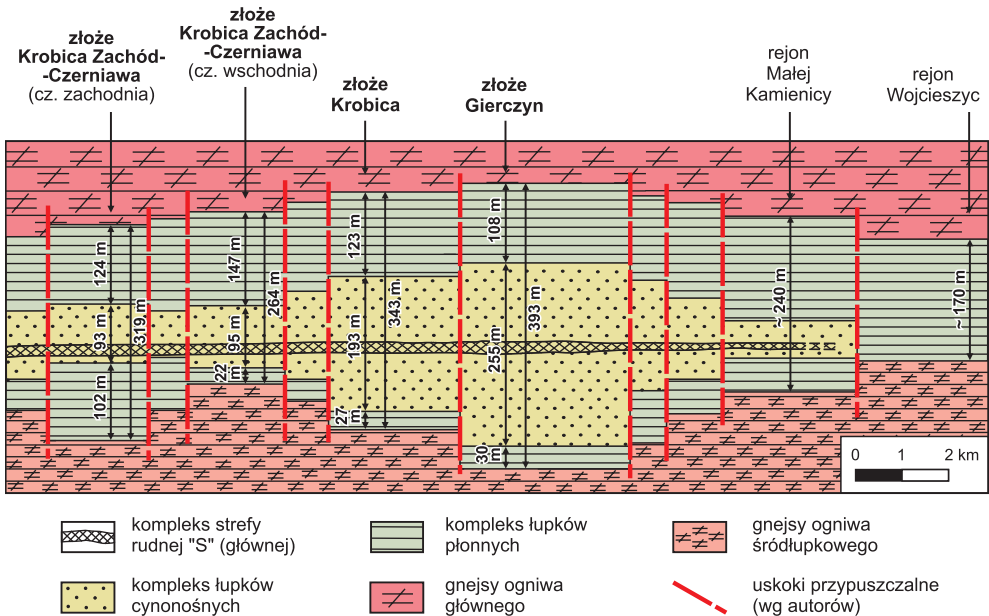


Fig. 8.6. Model rozprzestrzenienia mineralizacji cynowej w przekroju podłużnym pasma łupkowego Starej Kamienicy (wg Michniewicza i in., 2006, zmodyf.)

Granice między kompleksami cynonośnymi i płonnymi wyznaczono na podstawie analiz geochemicznych, z graniczną zawartością $\text{Sn} \geq 0,004\%$ w różnych odmianach skał łupkowych, ponieważ jego drobnoziarnista postać występowania (na ogół $< 0,1$ mm średnicy) uniemożliwia makroskopowe rozpoznanie. Model ten różni się od wprowadzonego wcześniej przez Szałamachów (1974) modelu dwustrefowego dla złóż w paśmie Starej Kamienicy, który zakładał obecność jedynie dwóch istotnych złóżowo, najbogatszych w cynę stref rudnych (oznaczanych jako strefa N i S; Szałamacha M., 1978; Szałamacha M. i in., 1979; Szałamacha M. i Szałamacha J., 1980; Janik i in., 1984a, b; Neuman i Olszewski, 1991; fig. 8.6). Dla pierwotnie udokumentowanych zasobów złóż (według modelu dwustrefowego) w Krobicy i Gierczynie przeprowadzono jednak reinterpretację stref rudnych w ujęciu modelu wielostrefowego (Michniewicz i in., 1990, 1994). Także dokumentacja obszaru Krobica Zachód-Czerniawa bazowała już na modelu złoża wielostrefowego (Michniewicz i Sroga, 1987).

Udokumentowane w kategoriach C_1 i C_2 złoża Gierczyn i Krobica niespełniające kryteriów bilansowości z 2002 i 2008 r. zaliczono do zasobów prognostycznych (tab. 8.15). Zasoby te udokumentowano do głębokości 234 m; średnia ważona miąższość stref rudnych wynosi od 0,97 do 1,35 m, a średnia ważona zawartość Sn w rudzie bilansowej – od 0,23 do 0,87% (Michniewicz i in., 2006).

Na podstawie robót wiertniczych przeprowadzonych przez Państwowy Instytut Geologiczny w latach 80. i 90. ubiegłego stulecia i udokumentowania wielowarstwowego modelu mineralizacji złożowej cyny na tym obszarze możliwe było udokumentowanie także nowych zasobów rud kasytetytowych oraz wskazanie obszarów perspektywicznych. Wydzielono następujące obszary perspektywiczne występowania złóż cyny w Polsce (Michniewicz, 2011):

- Złoża Krobica II i Krobica Zachód-Czerniawa, z zasobami ok. 4,3 mln Mg rudy kasytetykowej zawierającej 15,5 tys. Mg Sn . Zasoby udokumentowano w kategorii D_1 do głębokości 364 m. Średnia ważona miąższość stref rudnych wynosi od 0,99 do 1,32 m, a średnia ważona zawartość Sn w rudzie bilansowej – od 0,35 do 0,38%.
- Obszar złożowy Przecznicza-Wzgórza Bazaltowe oraz złożo Gierczyn. Na podstawie głębszego rozpoznania wiertniczego (do 500 m) oszacowano zasoby perspektywiczne w kategorii D_2 na ok. 5,2 mln Mg rudy zawierającej 25,6 tys. Mg Sn .

Tab. 8.15. Zasoby prognostyczne oraz perspektywiczne cyny w Polsce

Obszar	Zasoby prognostyczne ruda (Sn metal) [tys. Mg]	Zasoby perspektywiczne ruda (Sn metal) [tys. Mg]
Złoże Gierczyn	2890 (14)	–
Złoże Krobica	2603 (9)	–
Złoże Krobica II i Krobica Zachód-Czerniawa	–	4263 (15,5)
Złoże Gierczyn, Przecznicza-Wzgórze Bazaltowe	–	5185 (25,6)
Złoże Krobica Zachód-Czerniawa, Krobica, Przecznicza-Wzgórze Bazaltowe	–	5537 (21,2)
Wzgórze Bazaltowe-Mała Kamienica	–	4760 (16,8)
Razem	5493 (23)	19 745 (79,1)

- Obszary złożowe Krobica Zachód-Czerniawa, Krobica, Przecznicza-Wzgórze Bazaltowe. Ich zasoby perspektywiczne oszacowano w kategorii D₂ na 5,5 mln Mg rudy zawierającej 21,2 tys. Mg Sn.
- Obszar Wzgórze Bazaltowe-Mała Kamienica, dla którego zasoby oszacowano na 4,8 mln Mg rudy bilansowej zawierającej 16,8 tys. Mg Sn.

Łączne zasoby prognostyczne i perspektywiczne w polskiej części pasma łupkowego Starej Kamienicy, według kryteriów z 1978 r., wynoszą 25,24 mln Mg rudy kasyterytowej zawierającej ponad 102,1 tys. Mg Sn.

Ponadto stwierdzono, że na wschodzie, w okolicach Małej Kamienicy, kompleks łupków cynonośnych wyklinowuje się w gnejsach ogniwa głównego i śródlupkowego. Nie zaobserwowano okruszczowania kasyterytem w gnejsach oraz stwierdzono brak perspektyw na odkrycie nowych złóż cyny we wschodniej części pasma Starej Kamienicy (Seifert, 1983).

8.3.6. Stan rozpoznania geologicznego

W ostatniej dekadzie obszar występowania złóż rud kasyterytowych w paśmie Starej Kamienicy nie był przedmiotem prospekcji za rudami cyny, mimo jej wysokich cen na rynkach światowych. Dotychczasowy stan wiedzy geologicznej o zasobach cyny oparty jest na wynikach intensywnych prac rozpoznawczo-dokumentacyjnych (złoża Krobica, Gierczyn, Krobica Zachód-Czerniawa, Przecznicza-Wzgórze Bazaltowe) oraz badań o charakterze podstawowym, szczególnie zintensyfikowanych od połowy lat 70. do połowy lat 90. XX w. – Szałamacha M., 1978; Szałamacha M. i in., 1979; Szałamacha M. i Szałamacha J., 1980; Janik i in., 1984a, b; Michniewicz i Sroga, 1987; Michniewicz i in., 1990; Michniewicz, 1991; Neumann i Olszewski, 1991; Michniewicz i in., 1994; Neumann i Kwaśny, 1996. W tych archiwalnych opracowaniach wykorzystano informacje pozyskane z ponad 300 wierceń złożowych.

Można wyróżnić kilka rodzajów poglądów dotyczących genezy tych złóż: (I) osadowa (Szałamacha M., 1967, 1976a; Szałamacha M. i Szałamacha J., 1974); (II) hydrotermalna przedmetamorficzna (m.in. Szałamacha M., 1967; Michniewicz i in., 2006); (III) hydrotermalna pometamorficzna, związana z masywem Karkonoszy (Jaskólski i Mochnacka, 1959; Wiszniewska, 1984), oraz (IV) metasomatyczno-hydrotermalna, łączona z wieloetapowym rozwojem procesów intruzyjno-metamorficznych cyklu przedwaryscyjskiego i waryscyjskiego (Piestrzyński A. i Mochnacka, 2003; Mikulski S.Z. i in., 2007a).

Na podstawie przeprowadzonych ostatnio geochemicznych badań rud kasyterytowych z tego obszaru w Sudetach wykazano występowanie podwyższonej koncentracji pierwiastków śladowych, takich jak bizmut (maks. do 0,2%), czy pierwiastków krytycznych dla gospodarki Unii Europejskiej, takich jak: ind (≤ 8 ppm w próbce), gal (≤ 84 ppm) czy platyna (≤ 116 ppb), obecnych w mineralizacji siarczkowej towarzyszącej mineralizacji kasyterytowej (Mikulski S.Z. i in., 2018b). Głównym nośnikiem indu są sakurait (maks. 19,1% wag. In), chalkopiryt (do 1600 ppm In) i sfaleryt (do 1300 ppm In; Mikulski S.Z. i Małek, 2019).

8.3.7. Ocena zasobów i ich zmian

Zasoby prognostyczne i perspektywiczne cyny w Polsce nie uległy zmianie w porównaniu do poprzedniej edycji *Bilansu* (Michniewicz, 2011). Zasoby te wynoszą 25,24 mln Mg rudy kasyterykowej zawierającej ponad 102,1 tys. Mg Sn.

8.3.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Udokumentowane w paśmie łupkowym Starej Kamienicy zasoby prognostyczne i perspektywiczne rud cyny wymagają oceny pod względem ekonomicznym. Konieczne jest przeprowadzenie analizy ekonomicznej uwzględniającej zmienne ceny tego pierwiastka na rynkach światowych, różne minimalne zawartości cyny oraz występowanie metali ekwiwalentnych (Cu, Zn, Bi, In) towarzyszących mineralizacji kasyterykowo-siarczkowej. Istotne byłoby również zastosowanie innowacyjnych technologii przeróbki drobnoziarnistego kasyterytu, które umożliwiłyby co najmniej dwukrotne zwiększenie odzysku metalu z rudy, kształtującego się w próbach półtechnicznych z końca lat 70. XX w. na poziomie ok. 30%. Pewnym ograniczeniem w przypadku ewentualnej podziemnej eksploatacji złóż rud cyny mogą być warunki hydrogeologiczne, ze względu na ochronę wód leczniczych w Świeradowie-Zdroju i Czerniawie-Zdroju.

Stanisław Z. Mikulski, Katarzyna Sadłowska

8.4. RUDY NIKLU (*NICKEL ORES*)

8.4.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Aktualnie największe znaczenie gospodarcze mają złoża wietrzeniowe niklu typu laterytowego (*lateritic type*) i krzemianowego (*saprolitic type*) oraz złoża magmowe siarczków niklu wraz z siarczkami Cu i Co (*magmatic nickel-copper ± cobalt sulphide deposits*), którym mogą towarzyszyć platynowce (*Platinum Group Elements – PGE*). Wśród tego ostatniego typu złóż wydzielane są złoża siarczków związane z perydotytami (*komatititic association*) i gabroidami (*tholeiitic association*). W asocjacji toleitowej wydzielane są złoża intruzywne maficzno-ultramaficznych kompleksów (*intrusive mafic-ultramafic complexes*), dużych warstwowych kompleksów (*large layered-complexes*) oraz typu kompleksu Sudbury (Misra, 2000; Naldret, 2004). Obecnie zdecydowanie mniejsze znaczenie mają złoża żyłowe hydrotermalne polimetalicznych siarczków (*hydrothermal vein type with sulphides*) oraz złoża osadowe (*sedimentary deposits*), w których nikiel występuje jako metal towarzyszący kopalinie głównej (np. siarczkowe rudy Cu formacji cechsztyńskiej na monoklinie przedsudeckiej). Innym rodzajem złóż osadowych, który może mieć istotne znaczenie w przyszłości, są złoża naskorupień manganowych (*manganese crusts*) oraz kongregacji polimetalicznych (*polymetallic nodules*) zawierających wysokie koncentracje niklu. Występują one głównie w osadach na dnach mórz i oceanów (przede wszystkim Oceanu Spokojnego i Indyjskiego).

8.4.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Światowe zasoby niklu na obszarach lądowych są szacowane na ok. 130 mln Mg (przy średniej zawartości ok. 1% Ni), z czego 60% stanowią zasoby w złożach wietrzeniowych, a pozostałe prawie 40% jest związane ze złożami siarczkowymi (USGS, 2019). Światowa produkcja niklu kształtuje się ostatnio na poziomie 2,16–3 mln Mg, a zużycie wynosi ok. 2 mln Mg (*ibidem*). Wystarczalność udokumentowanych zasobów niklu przy zbliżonym rocznym poziomie konsumpcji szacuje się na co najmniej 35–40 lat. Prawdopodobnie może być ona jeszcze dłuższa, gdyż coraz powszechniej są stosowane substytuty niklu w przemyśle stalowym oraz wysoki jest poziom recyklingu. Szacuje się, że w polimetalicznych kongregacjach oraz naskorupieniach manganowych zalegających na dnach oceanicznych występują potencjalnie większe zasoby niklu od tych udokumentowanych na lądach (Szamałek, 2018d).

Krajowe zasoby bilansowe złóż rud krzemianowych niklu w rejonie Szklar wynoszą obecnie 17,21 mln Mg, a rudy te zawierają 125 tys. Mg Ni (Malon i in., 2019). W ubiegłym stuleciu w złożach niklu w Szklarach oraz w złożu magnezytu Grochów udokumentowano pozabilansowe zasoby rud krzemianowych Ni w ilości 21,32 mln Mg (84 tys. Mg Ni), przy czym w Szklarach 7,44 mln Mg (30 tys. Mg Ni), w złożu Grochów 13,88 mln Mg rud Ni (54 tys. Mg Ni). Szacunkowe zasoby bilansowe niklu jako składnika towarzyszącego rudom siarczkowym Cu-Ag w złożach stratoidalnych cechsztyńskiej formacji miedzionośnej na monoklinie przedsudeckiej wynoszą 69,92 tys. Mg Ni, a szacunkowe zasoby pozabilansowe 17,35 tys. Mg (*ibidem*).

8.4.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Obecnie obowiązujące kryteria bilansowości wietrzeniowych rud niklu zostały wprowadzone *Rozporządzeniem...* (2015a; tab. 8.16), jednak wyliczonych w ubiegłym stuleciu zasobów rud wietrzeniowych Ni w Polsce dotychczas nie zweryfikowano. Stare kryteria bilansowości zakładały m.in. zawartość Ni w złożu $\geq 0,7\%$, minimalną miąższość złoża 1 m oraz stosunek miąższości nadkładu do rudy w złożu 2:1. Porównując te kryteria z najnowszymi wytycznymi w tym zakresie, można oczekiwać znacznego przyrostu zasobów niklu w udokumentowanych złożach.

Tab. 8.16. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża wietrzeniowych rud niklu w Polsce i jego granice (Rozporządzenie..., 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Maksymalna głębokość dokumentowania	m	100
Minimalna zawartość niklu (Ni) w próbce konturującej złożo	%	0,3
Minimalna średnia ważona zawartość niklu (Ni) w profilu złoża wraz z przerostami	%	0,3
Minimalna zasobność złoża (Ni)	kg/m ²	30

8.4.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Ze względu na stosunkowo wysoką cenę niklu, która w ostatniej dekadzie kształtowała się na poziomie ok. 8–12 tys. USD/Mg, oraz opracowanie efektywnych technologii przeróbki ubogich rud wietrzeniowych (*chemical Ni leaching*) należy brać pod uwagę koncentracje tego metalu w zwietrzelinie na poziomie już ok. 0,3–0,5% i wyższe. Stwarza to coraz większe możliwości zagospodarowania ubogich, uważanych dotychczas za pozabilansowe rud niklu, które występują w zwietrzelinach masywów serpentynitowych wokół bloku gnejsowego Gór Sowich. Wszystkie te wystąpienia, które nie zostały umieszczone w wykazie udokumentowanych złóż w *Bilansie zasobów* (Szufficki i in., 2019), zgodnie z kryteriami przyjętymi w tej pracy należy uznać za prognostyczne lub perspektywiczne.

8.4.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

8.4.5.1. Złoża wietrzeniowe niklu

W Polsce perspektywy wystąpień złóż rud Ni należy wiązać z obszarem Dolnego Śląska, gdzie na bloku przedsudeckim już od ponad 100 lat wydobywane były rudy krzemianowe Ni (w Szklarach eksploatowano je do 1983 r.; fig. 8.7.). Złoża rud krzemianowych niklu typu wietrzeniowego są związane z paleozoicznymi masywami zserpentynizowanych skał maficznych i ultramaficznych dewońskiej formacji ofiolitowej otaczającej blok sowiogórski (Mikulski S.Z., 2012, wraz z literaturą). W kenozoiku serpentyny podlegały intensywnemu wietrzeniu, które doprowadziło do powstania krzemianowych rud niklu. Główne ich zasoby występują w masywie Szklar (Preidl, 1965; Preidl i Kluza, 1978; Wirth i Golczak, 1987), znajdującym się na wschód od kry sowiogórskiej i reprezentującym człon zmetamorfizowanych ultramafitów sekwencji ofiolitowej (Majerowicz i Pin, 1994).

Masyw ten tworzy kilka odizolowanych wzgórz rozciągających się południkowo, na długości ok. 5 km i szerokości 1 km. Ruda niklu typu saprolitowego występuje w zwietrzelinie skał serpentynitowych w formie gniazd, kieszeni, żył i soczewek rozmieszczonych nieregularnie wzdłuż stref spekań i uskoków w masywie. Zwietrzelina ma zmienną miąższość – od kilku do ponad 100 m, przeciętnie ok. 40 m (Niśkiewicz, 1967; Fedak i Niśkiewicz, 1979). Ruda niklu, którą tworzą głównie uwodnione krzemiany niklowo-magnezowe, zawiera od 0,3 do ok. 3% Ni. Bogate rudy występują przeważnie w przyspagowych partiach złoża, tam gdzie miąższość zwietrzeliny jest największa. Mineralami rudnymi są uwodnione krzemiany niklowo-magnezowe takie jak pimelit (17–31% NiO) i schuchardyt (faza mineralna zakwestionowana przez IMA) oraz montmorillonit niklowy, sepiolit i wermikulit, które zawierają do kilku procent tlenku niklu (Ostrowicki, 1965; Dubińska 1995). Powodem zaniechania eksploatacji złoża w Szklarach były aspekty ochrony środowiska oraz wysoka energochłonność procesu metalurgicznego.

W ubiegłym stuleciu, oprócz złoża w Szklarach, rozpoznano również nikłonośne zwietrzeliny rozwinięte na masywach Braszowice–Brzeźnica i Gogołów–Jordanów (Fedak, 1963; Gajewski, 1974), udokumentowane według starych kryteriów bilansowości jako kopalina towarzysząca w złożach magnezytów.

Na podstawie wyników archiwalnych prac prospekcyjnych z ubiegłego stulecia za najbardziej perspektywiczne pod kątem wystąpień krzemianowych rud niklu uznano następujące obszary:

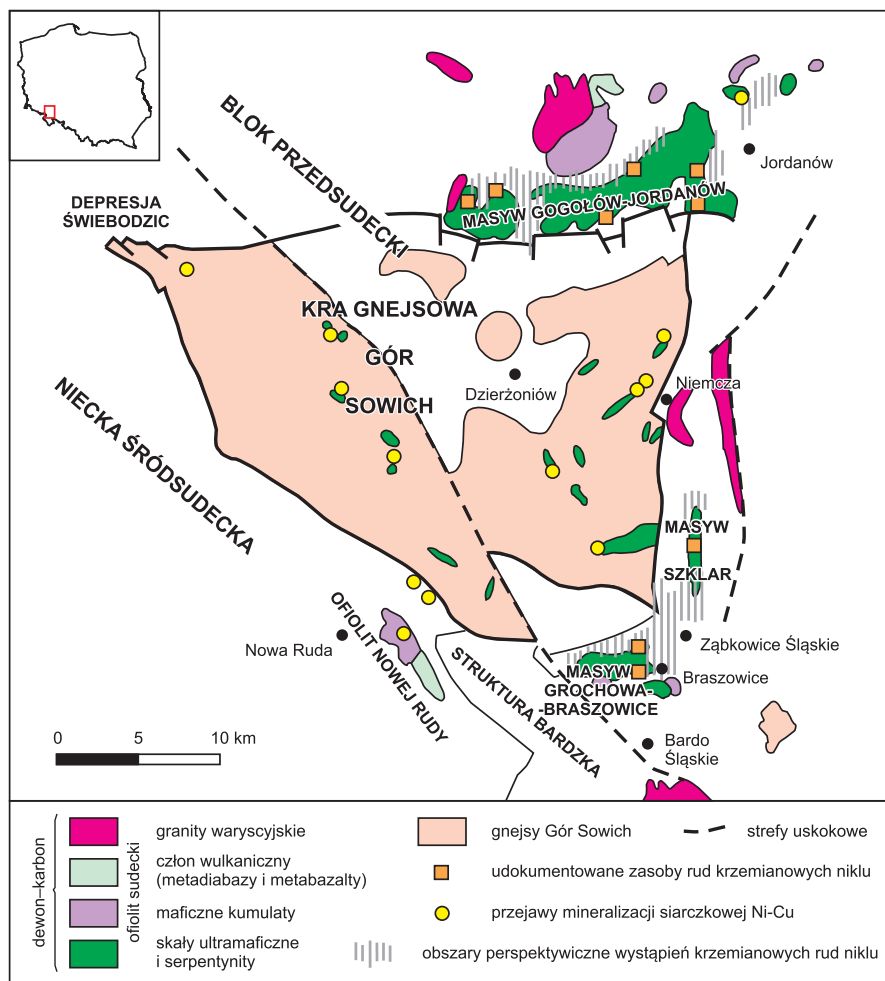


Fig. 8.7. Lokalizacja obszarów perspektywicznych wystąpień krzemianowych rud niklu wraz z udokumentowanymi wietrzeniowymi rudami Ni oraz przejawami magmowych mineralizacji siarczkowych Ni-Cu wokół masywu gnejsowego Gór Sowich (wg Mikulskiego S.Z., 2012)

- Sulisławice (na N od Szklar w kierunku Przerzecznia-Zdroju – jako kontynuacja masywu Szklar; fig. 8.8),
- Brzeźnica-Brąszowice (wokół masywu serpentynitowego Brzeźnica–Brąszowice),
- Gogołów-Wiry (w NW części pokrywy zwietrzelinowej masywu serpentynitowego Gogołów–Jordanów w rejonie Wirek),
- Słupica-Winna Góra (w S obrzeżeniu i E części masywu Gogołów–Jordanów; fig. 8.9),
- Sulistrowice (w N części masywu Gogołów–Jordanów),
- Grochów Blok nr 2 (na południowych zboczach masywu Brąszowice–Brzeźnica).

Obszary perspektywiczne masywu Grochowa–Brąszowice zajmują powierzchnię ok. 0,5 tys. ha, te znajdujące się na masywie Gogołów–Jordanów ponad 7-krotnie więcej, tj. ok 3,8 tys. ha, a na masywie Szklar zaledwie ok. 6 ha. Zasoby prognostyczne i perspektywiczne rud wietrzeniowych niklu na wymienionych obszarach perspektywicznych wynoszą 18,22 mln Mg rud Ni, a zasoby samego metalu 67,3 tys. Mg.

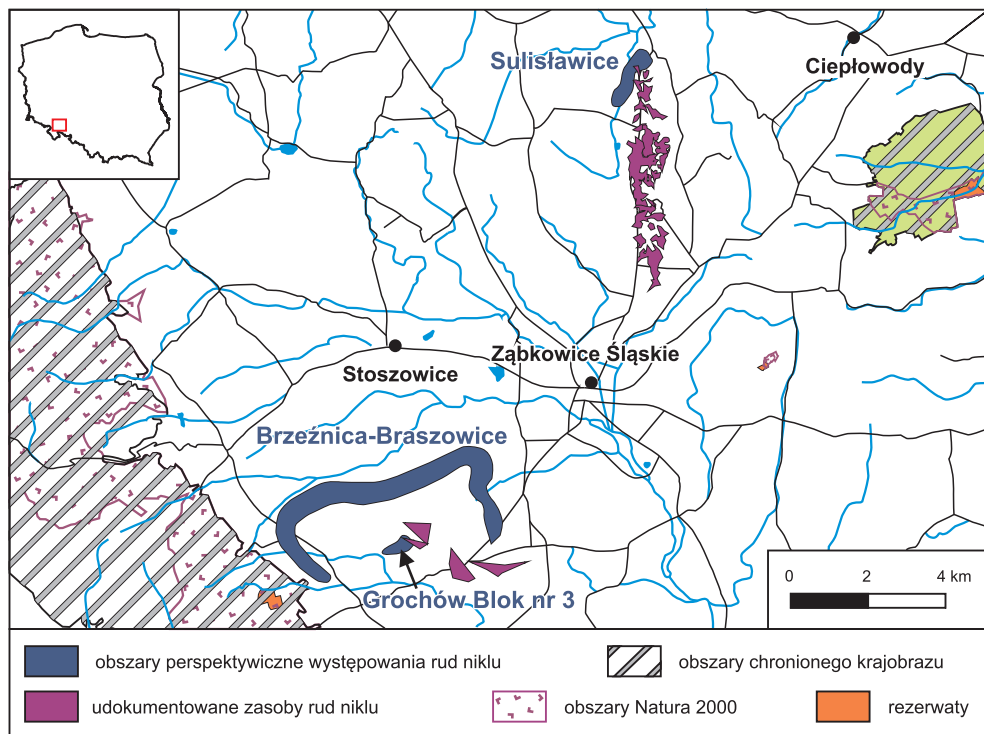


Fig. 8.8. Lokalizacja obszarów perspektywicznych występowania krzemianowych (sapolitowych) rud niklu w rejonie Szklar oraz Braszowice wraz z elementami konfliktów środowiskowych (wg Mikulskiego S.Z. i in., 2015b, zmodyf.)

Rudy krzemianowe niklu występujące w rejonie masywu serpentynitowego Gogołów–Wiry (podobnie jak w masywie Grochów–Braszowice) są uboższe niż w Szklarach. W rejonie Wir rudy te dodatkowo występują w niewielkich i odizolowanych gniazdach pod nakładem o zróżnicowanej grubości – od 2 do 90 m. Z tych względów wydobywanie z wykorzystaniem technologii stosowanej w połowie XX w. było nieopłacalne ekonomicznie i znacznie droższe niż eksploatacja ciągłej pokrywy zwietrzelinowej w Szklarach czy nawet w rejonie Grochowa.

8.4.5.2. Wystąpienia magmowych rud siarczkowych niklu

Wystąpienia siarczków niklu i miedzi w dolnym członie ofiolitowym w masywach Gogołów–Jordanów, Braszowice–Brzeźnica i Nowa Ruda można zakwalifikować do złóż domniemanych (hipotetycznych – Mikulski S.Z., 2012; fig. 8.7). Znane przejawy mineralizacji stanowią przesłanki do rozpoznania nagromadzeń rud siarczkowych Ni-Cu typu likwacyjnego, związanych z ultrazasadowymi ciągłymi poziomami kumulatów w sekwencji ofiolitowej. Dotychczas stwierdzone przejawy mineralizacji nie zawierają jednak więcej niż 1% niklu (Fedak, 1963; Ciemniowska i in., 1981; Majerowicz i Pin, 1994; Muszer i Speczik, 1997; Olszyński i in., 2001; Sadłowska, 2013), mimo istnienia anomalii hydrochemicznych i chemicznych zarówno w północnej, jak i w południowej osłonie gnejsów sowiogórskich (Kerber i in., 1965). Badania geofizyczne i wiercenia wykazały, że skały ofiolitowe zalegają również pod jednostką gnejsową Gór Sowich oraz w północnej części bloku przedsudeckiego, co wiąże się z możliwością występowania rud siarczkowych Ni-Cu w głębszych partiach ofiolitu sudeckiego. Siarczkowa mineralizacja Ni-Cu-(PGE) jest zwykle związana z wystąpieniami ultrazasadowych kumulatów sekwencji ofiolitowej (Olszyński i in., 2001).

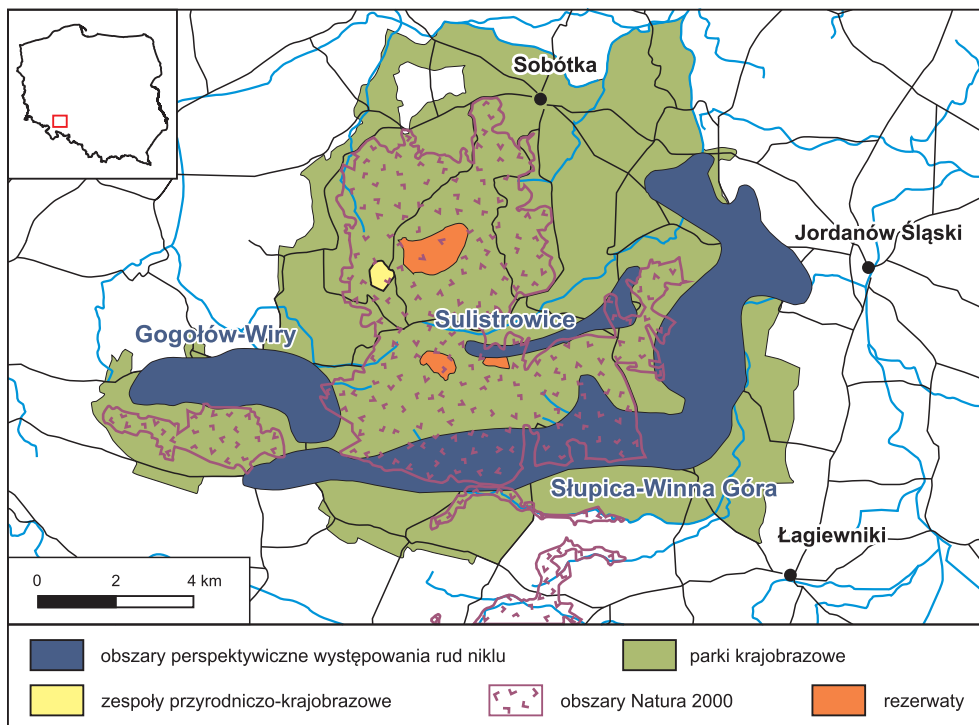


Fig. 8.9. Lokalizacja obszarów perspektywicznych występowania krzemianowych (saprolitowych) rud niklu w rejonie Gogółów-Wiry-Słupica wraz z elementami konfliktów środowiskowych (wg Mikulskiego S.Z. i in., 2015b, zmodyf.)

8.4.5.3. Nikiel jako kopalina towarzysząca cechsztyńskim rudom miedzi na monoklinie przedsudeckiej

Nikiel jest metalem współwystępującym w złożach rud miedzi monokliny przedsudeckiej (rozdz. 8.1). Nikiel koncentruje się wraz z siarczkami Cu-Fe-S w cechsztyńskich łupkach (tzw. smolistych) oraz w stropowych partiach piaskowca serii miedzionośnej, głównie w postaci siarkosoli i arsenków (Piestrzyński A., 2007c). Ponadto nikiel stwierdzono w postaci domieszek głównie w pirycie (do 6% wag.) i w melnikowicie oraz w substancji organicznej (do 1,2% Ni; Kijewski i Jarosz, 1987; Kucha, 1990; Banaś i in., 2007b). Średnia zawartość niklu w złożach rud miedzi wynosi 50,9 g/Mg (Kijewski i Jarosz, 1987), jednak jego średnia koncentracja w poszczególnych typach rud jest zróżnicowana – od 28,6 g/Mg w piaskowcach i ok. 37,9 g/Mg w rudach węglanowych do 164,4 g/Mg w rudach łupkowych (Spalińska i in., 2007). Najwyższą koncentrację Ni stwierdzono w pojedynczych próbkach rudy łupkowej z kopalni Lubin – do ok. 0,2% (Banaś i in., 2007b).

W 2018 r. zawartość niklu w nadawie wahała się od 28 g/Mg (Polkowice) do 52 g/Mg (Lubin).

Jak już wspomniano, szacunkowe zasoby bilansowe niklu w rudach Cu-Ag na monoklinie przedsudeckiej wynoszą 70,44 tys. Mg Ni, a szacunkowe zasoby pozabilansowe 17,35 tys. Mg (Szuflicki i in., 2019). Według przeprowadzonych badań w zakresie dystrybucji pierwiastków strategicznych w udokumentowanych złożach rud metali w Polsce szacunkowe zasoby niklu w rudach Cu-Ag na monoklinie przedsudeckiej mogą wynosić nawet ok. 168 tys. Mg (Mikulski S.Z. i in., 2018a, b).

8.4.6. Stan rozpoznania geologicznego

W latach 2006–2016 obszar złożowy w Szklarach był objęty koncesją poszukiwawczą KGHM Polska Miedź S.A. (obszar złoża Szklary-Szklana Góra; Kwaśny i Zielińska, 2013a, b), GEPCO Geologia i Ochrona Środowiska Sp. z o.o. (złoża: Szklary-Wzgórze Siodłowe i Szklary-Wzgórze Koźmickie; Marek i in., 2012). W wyniku przeprowadzonych prac geologicznych rozpoznano nowe zasoby rud.

Z kolei w rejonie Przerzeczyna-Zdroju PIG-PIB rozpoczął roboty geofizyczno-wiertnicze w celu rozpoznania budowy geologicznej przedłużenia masywu Szklar znajdującego się pod utworami kenozoiku.

Ponadto na podstawie ostatnio przeprowadzonych badań geochemicznych rud Ni ze Wzgórza Siodłowego w Szklarach oszacowano występujące w nich zasoby kobaltu i chromu (Mikulski S.Z. i in., 2018a). Pierwiastek strategiczny – kobalt – towarzyszy kopalinie głównej i występuje w rudach Ni w ilości 100–300 ppm. Szacunkowe zasoby kobaltu w złożu niklu w Szklarach w rudach bilansowych wynoszą 1,6 tys. Mg, a biorąc pod uwagę rudy pozabilansowe, w sumie oszacowano dla złoża Szklary 5,2 tys. Mg Co. Z kolei zasoby chromu, który obecny jest najczęściej w ilości 0,1–0,4%, można oszacować na 55,1 tys. Mg w zasobach bilansowych i 23,8 tys. Mg w zasobach pozabilansowych (*ibidem*).

8.4.7. Ocena zasobów i ich zmian

W ostatnich latach zasoby niklu w rejonie złoża Szklary nieznacznie wzrosły. Wynika to z wydzielenia w 2014 r. ze złoża Szklary-Szklana Góra złoża Szklary I, o zasobach 4,37 mln Mg rudy zawierającej ok. 24 tys. Mg niklu (średnia koncentracja 0,55% Ni; Kwaśny i Zielińska, 2013a, b). W sumie zasoby rud niklu na obszarach koncesyjnych w rejonie Szklar oceniono na 16,8 mln Mg rudy o średniej koncentracji 0,6% Ni (94 tys. Mg Ni), w tym 3,2 mln Mg rudy o zawartości 0,9% Ni (Smakowski i in., 2015).

8.4.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Udokumentowane w ubiegłym stuleciu zasoby niklu w Szklarach oraz niewielkie ilości pozabilansowych zasobów rud niklu w złożach Grochów i rejonie Gogołów-Wiry na Dolnym Śląsku wymagają weryfikacji według nowych kryteriów bilansowości.

Dalsze prace poszukiwawcze, obejmujące nowoczesne badania geofizyczne (magnetyka, polaryzacja wzbudzona – IP oraz VLF) i geochemiczne (podglebowe) oraz płytkie wiercenia (40–100 m), powinny objąć obszary występień zwietrzelin serpentynitowych na masywach: Szklar, Braszowice–Brzeźnica i Gogołów–Jordanów. Ograniczeniem dla poszukiwań i udostępnienia jest forma występowania rud wietrzeniowych Ni w postaci niewielkich odizolowanych gniazd o małych zasobach, dlatego prace geofizyczne i geochemiczne powinny mieć charakter szczegółowych profilowań. Zasoby prognostyczne i perspektywiczne rud wietrzeniowych niklu w obszarach perspektywicznych w kenozoicznych zwietrzelinach masywów serpentynitowych występujących wokół bloku gnejsowego Gór Sowich na Dolnym Śląsku wynoszą prawie 18,22 mln Mg rud Ni, a zasoby metalu ok. 67,3 tys. Mg.

Istnieją przesłanki występowania magmowych złóż rud Ni-Cu typu likwacyjnego związanych z sekwencją ofiolitową w masywach: Gogołów–Jordanów, Braszowice–Brzeźnica i Nowa Ruda. Jednak poważnym ograniczeniem w prowadzeniu prac poszukiwawczych za siarczkowymi rudami Ni-Cu typu likwacyjnego na Dolnym Śląsku jest występowanie chronionych obszarów środowiskowych, w tym rezerwatów, parków krajobrazowych i obszarów Natura 2000, oraz ich duże zalesienie (fig. 8.9; Mikulski S.Z. i in., 2015b).

Na monoklinie przedsudeckiej, ze względu na bardzo duże szacunkowe zasoby niklu i kobaltu, pierwiastków towarzyszących siarczkowym rudom Cu formacji cechsztyńskiej, konieczne są dalsze prace nad ekonomicznie opłacalnym odzyskiem niklu i kobaltu w hutach KGHM Polska Miedź S.A. Wdrożenie w ostatniej dekadzie technologii odzysku niklu w postaci siarczanu niklu oraz wodorotlenku niklu w trakcie przeróbki siarczkowych rud Cu-Ag umożliwiło ich produkcję w hutach KGHM Polska Miedź S.A. na poziomie 2,1–3,0 tys. Mg/rok. Konieczne są jednak dalsze prace nad zwiększeniem odzysku niklu i współwystępującego z nim w tych złożach kobaltu. Pierwiastki te wykazują silną korelację geochemiczną w cechsztyńskich rudach siarczkowych na monoklinie przedsudeckiej.

Stanisław Z. Mikulski, Sławomir Oszczepalski

8.5. RUDY ZŁOTA (*GOLD ORES*)

8.5.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Złóża złota dzieli się na dwa podstawowe typy genetyczne – złóża pierwotne i złóża wtórne (okruchowe). Wśród samodzielnych złóż pierwotnych złota wydziela się następujące główne ich typy (Cox i Singer, 1986, 1992, 2007; Mosier i in., 1992; Misra, 2000; Paulo i Strzelska-Smakowska, 2000): złóża żyłowe (*lode gold deposits*), orogeniczne żyły kwarcowe ze złotem (*orogenic gold*, np. w archaicznych pasach zieleńcowych bez związku z intruzjami), polimetaliczne związane z intruzjami (*polymetallic intrusion-related gold deposits* i *iron oxide-Cu-Au deposits* – IOCG), epitermalne złóża Au-Ag związane z ekstruzjami i intruzjami – niskolub wysokosiarkowe (*epithermal low-sulphidation* i *high sulphidation*; podtypy Comstock, Sado, Creede i kwarcowo-afunitowy), zmetamorfizowane, np. kwarcowe zlepnięcia złotonośne (*auriferous quartz pebble conglomerates* – typ Witwatersrand), warstwowane formacje żelaziste (*banded iron formations*), złóża związane z intruzjami (*intrusion-related gold deposits* i *porphyry Cu-Au, Cu-Mo-Au deposits*), metasomatyczne w skałach osadowych (*sediment-hosted disseminated gold deposits*), złóża z zastąpienia węglanów (*carbonate-replacement gold deposits* – typ Carlin, skarny – *skarns*, berezyty – *beresites*) oraz ekshalacyjno-osadowe (pirytoowo-polimetaliczne, podtyp cypryjski i Kuroko). Wśród złóż okruchowych wydziela się złóża współczesne i kopalne, a pod względem genetycznym złóża aluwialne i fluwioglacjalne, w pokrywach zwietrzelinowych, piaskach plażowych oraz wydymach. Oddzielne grupy stanowią złóża antropogeniczne i złóża, w których kopaliną główną są inne metale, a złoto jest odzyskiwane w procesie przeróbki rudy (np. złóża Ni-Cu w skałach maficznych typu Sudbury, złóża porfirowe Cu, złóża wulkaniczno-osadowe masywnych siarczków typu VMS (*volcanogenic massive sulphides*), czy złóża wietrzeniowe Ni – *laterite-saprolite gold deposits*).

8.5.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Obecnie światowe zasoby złota są szacowane na ok. 54 tys. Mg, a wydobyte w 2018 r. wyniosło 3,26 tys. Mg Au (USGS, 2019). Szacuje się, że ok. 18% całkowitych zasobów znajduje się w Australii, ok. 11% w RPA, 9% w Rosji i 5% w USA, a pozostałe zasoby w ponad 100 innych krajach (*ibidem*). W 2018 r. największym producentem złota były Chiny (400 Mg; głównym źródłem złota są tam złóża metasomatyczne w skałach osadowych i złóża żyłowe). Kolejne miejsca zajmowały: Australia (310 Mg), Rosja (295 Mg), USA (210 Mg), Kanada (185 Mg), Peru (145 Mg), Ghana (130 Mg) oraz RPA (120 Mg). Podaż złota pochodzi w 80–85% z samodzielnych jego złóż, a pozostała część ze złóż, w których złoto stanowi kopalinę towarzyszącą. Największe zasoby złota (ponad 40% wszystkich zasobów) występują w zmetamorfizowanych złotonośnych zlepnięciach kwarcowych (RPA, Ghana) oraz w złóżach żyłowych (ok. 30%; Paulo i Strzelska-Smakowska, 2000). Udział złóż metasomatycznych (ok. 10% zasobów) i złóż porfirowych Cu-Au i Cu-Mo-Au (>10%) w produkcji złota systematycznie wzrasta. Koncentracje złota w rudach złóż porfirowych są niskie (0,1–1,0 g/Mg Au), ale zasoby tych złóż są duże (50–2000 Mg Au). Bogate w złoto są złóża żyłowe, w których zawartość złota w rudzie wynosi 3–40 g/Mg. Znaczenie nadal mają samodzielne złóża okruchowe złota eksploatowane w niektórych regionach od ponad 150 lat (USA, Australia, Rosja, Kanada; Mikulski S.Z., 2009). Wtórnymi źródłami złota są wyroby i złom jubilerski oraz numizmatyczny, a także odpady elektroniczne (odzysk 30–50 Mg/rok) oraz rezerwy bankowe (30,8 tys. Mg w 2013 r.; Smakowski i in., 2015).

Biorąc pod uwagę produkcję i straty, wystarczalność statyczną światowych zasobów złota ocenia się na ok. 20 lat (Paulo i Strzelska-Smakowska, 2000). Jednak zarówno oceny zasobowe, jak i przewidywania wielkości produkcji oraz szacunki wystarczalności podlegają znacznym wahaniom związanym z nowymi inwestycjami, ze zmiennymi kosztami pozyskiwania oraz z krótko- i długoterminowymi zmianami popytu i podaży, które kształtują cenę na rynku. Światowa produkcja złota wzrasta od 2008 r. i trudno jest określić, kiedy nastąpi szczytowy poziom produkcji (*peak gold*), po którym może nastąpić jej spadek. W długim terminie przewiduje się przejście od eksploatacji rud bogatych do rud o niskiej jakości w ciągu najbliższych 50 lat, niemniej jednak ocenia się, że produkcja złota nie ustanie przez następne 4000 lat, przy czym recykling stanie się w przyszłości najważniejszym źródłem złota na rynku (Sverdrup i in., 2012).

W Polsce nie ma udokumentowanych samodzielnych pierwotnych ani okruchowych złóż złota. Zasoby złota jako kopaliny towarzyszącej udokumentowano w 1954 r. w złożu rud arsenu w Złotym Stoku na Dol-

nym Śląsku. Pozostałe, po zamknięciu kopalni w 1960 r., zasoby wynoszą 0,54 mln Mg bilansowej rudy arsenowej zawierającej 1500 kg Au, o średniej zawartości złota 2,8 g/Mg, a w rudzie pozabilansowej znajduje się 490 kg Au (Malon i in., 2019). Od 1996 r. część kopalni udostępniona jest w celach turystycznych. Obecnie złoto w Polsce jest pozyskiwane jedynie ze szlamów po rafinacji miedzi i srebra w hutach KGHM Polska Miedź S.A. (Rapacz, 1998), jako składnik towarzyszący rudom siarczkom w stratoidalnych złożach Cu-Ag na monoklinie przedsudeckiej (Banaś i in., 1976; Kucha, 1982, 2007; Kucha i in., 1993). W 2018 r. wyprodukowano 2587 kg złota (włącznie z platyną i palladem; Malon i in., 2018). Zasoby prognostyczne i perspektywiczne złota w Polsce dla różnych jego wystąpień oszacowane zostały na ok. 350 Mg (Mikulski S.Z. i in., 2011c).

8.5.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Obecnie obowiązujące graniczne wartości parametrów definiujących złożo i jego granice dla złóż złota pierwotnych i okruchowych określono w *Rozporządzeniu...* (2015a; tab. 8.17).

Tab. 8.17. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża złota i ich granice (*Rozporządzenie...*, 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Złoża pierwotne (żyłowe, skarnowe, stratoidalne)		
Maksymalna głębokość dokumentowania	m	1250
Minimalna średnia ważona zawartość złota (Au) w profilu złoża wraz z przerostami, a w przypadku obecności miedzi, której średnia zawartość w profilu złoża jest większa od 0,5%, minimalna średnia ważona zawartość ekwiwalentna złota (Au) z uwzględnieniem zawartości miedzi (Cu) i srebra (Ag) $Au_e = (g/Mg\ Au) + 2\ (\% \ Cu) + 0,01\ (g/Mg\ Ag)$	g/Mg	2,5
Minimalna zasobność złoża (Au), w przypadku obecności miedzi, której średnia zawartość w profilu złoża jest większa od 0,5% (Au_e)	g/m ²	5
Złoża wtórne (okruchowe)		
Maksymalna głębokość dokumentowania	m	50
Minimalna średnia ważona zawartość złota (Au) w profilu złoża wraz z przerostami	g/m ²	0,5
Minimalna zasobność złoża (Au)	g/m ²	5

8.5.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Obszar perspektywiczny występowania złota w złożach rud Cu-Ag na monoklinie przedsudeckiej wyznaczono na podstawie zawartości brzeżnej 100 ppb Au w próbce (Oszczepalski, 2007), z kolei na obszarze złożowym Polkowice wyodrębniono bloki z najbogatszą mineralizacją metalami szlachetnymi na podstawie brzeżnej zawartości 500 ppb Au w próbce (Pieczonka i in., 1998, 2008). W celu oszacowania zasobów perspektywicznych złóż pierwotnych i żyłowych uwzględniono dane archiwalne dotyczące mineralizacji złotonosnej w Polsce oraz założono odpowiednie modele ilościowe złóż złota (Mikulski S.Z., 2015). Pod uwagę wzięto próbki z zawartością $\geq 2,5$ ppm Au, a oszacowanie zasobów rud żyłowych złota przyjęto według Niecia (2012). W przypadku obszarów perspektywicznych zasoby szacunkowe złóż metasomatycznych i żyłowych w zaniechanych złożach złota oraz na obszarach bezpośrednio przyległych przyjęto jako zasoby perspektywiczne.

Zasoby złota okruchowego zostały oszacowane według obowiązujących w latach 80. XX w. kryteriów bilansowości dla tego rodzaju złóż. Nagromadzenia złota powstałe na drodze różnorodnych procesów technologicznych cechują się skomplikowaną budową i losowym rozmieszczeniem metalu w profilu utworów antropogenicznych. Zasoby złota w tych utworach zaklasyfikowano do perspektywicznych, a kryteria są różne w zależności od rodzaju odpadów. Na przykład dla hałd pogórnictwa kopalnictwa złota w Sudetach

brano pod uwagę zawartość Au powyżej 0,5 ppm w próbce (Wojciechowski, 1994), z kolei dla przemitych okruchowych zwałów pogórnich w rejonie Kopacza czy Głucholazów w Sudetach – zawartość na poziomie kilkudziesięciu ppb Au w 1 m³ osadu (Grodzicki, 2011, wraz z literaturą).

8.5.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywnych

Rozpoznanie wystąpień złota pierwotnego w Polsce jest słabe i stosunkowo nierównomierne. Za najbardziej perspektywiczne dla jego nagromadzeń należy uznać:

- piaskowcowo-ilaste utwory z pogranicza czerwonego spągowca i cechsztynu oraz zalegające powyżej łupki miedzionośne cechsztynu w SW Polsce,
- strefy kontaktowo-metasomatyczne wokół intruzji granitoidowych i porfirowych w waryscydach Polski południowej,
- zmetamorfizowane osadowe i wulkaniczne (bimodalne) formacje paleozoiczne Sudetów i bloku przedsudeckiego.

8.5.5.1. Pierwotne złoża złota

Monoklina przedsudecka i peryklina Żar

W cechsztyńskiej serii miedzionośnej złoto występuje w utworach o cechach redukcyjnych (z mineralizacją siarczkową), a przede wszystkim w utworach utlenionych *Rote Fäule* (z mineralizacją hematytową i relikami siarczku miedzi; fig. 8.10). Złoto stwierdzono zarówno na obszarach udokumentowanych złóż rud miedziowo-srebrowych, jak i poza nimi. Ze względu na pomijanie podczas eksploatacji rud Cu-Ag rejonów ze złotoznośnymi utworami utlenionymi znaczna ich część wciąż może zostać wykorzystana w trakcie przyszłego zagospodarowania udokumentowanych złóż. Z tych względów występowanie złota w utworach utlenionych na obszarach górniczych można rozpatrywać w kategoriach ich perspektywności. Na obszarach dokumentacyjnych Nowego Zagłębia Miedziowego zawartość złota jest największa w brzeżnych partiach obszarów utlenionych w pasie od Bytomia Odrzańskiego przez centrum Gaworzyc do Radwanic i jego pogranicza z obszarami górniczymi Sieroszowice i Polkowice, a następnie – już na obszarach górniczych – przez Polkowice aż do zachodnich krańców obszaru Lubina. Złoto w utworach utlenionych występuje głównie w formie drobnodispersyjnej (<5 µm średnicy) w postaci własnych faz mineralnych (złoto rodzime, elektum), w paragenezie z hematytem, kowelinem, bornitem i materiałem organicznym lub z chalkozynem, digenitem, clausthalitem i arsenkami Ni, Co i Pd, oraz w postaci podstawień izomorficznych w siarczku Cu, Ag i arsenkach Pd (Piestrzyński A. i in., 1996a, b; Pieczonka i Piestrzyński A., 1997; Pieczonka i in., 1998, 2008; Kucha i Przybyłowicz, 1999).

Największe koncentracje złota stwierdzono w zachodniej części rejonu Polkowice (przede wszystkim w spągu utlenionego łupku miedzionośnego i w utlenionych piaskowcach białego spągowca). W próbkach z większości tamtejszych profili z utworami utlenionymi stwierdzono ponad 1 ppm Au. Najczęściej zawartość złota wynosi od 0,2 do 10 ppm, maksymalnie do 100 ppm (Oszczepalski i in., 1997; Piestrzyński A. i in., 1997; Oszczepalski i Rydzewski, 1998). Na podstawie brzeżnej zawartości w próbce 5 ppb Au dla obszaru perspektywnego Polkowice, Sieroszowice i Radwanice, ograniczonego izolinią wydajności 0,1 g/m² Au, o łącznej powierzchni ok. 130 km², oszacowano zasoby na 156 Mg Au w pokładzie o średniej miąższości 1,01 m, o średniej zawartości 0,5 ppm Au i o zasobności 1,2 g/m² (Oszczepalski i Rydzewski, 1998). Wraz ze złotem występuje na tym obszarze ok. 17 Mg Pt i 7 Mg Pd. Nowsze badania wykazały, że mineralizacja Au występuje nie tylko na obszarach utlenionych Polkowice, Sieroszowice i Radwanice, lecz także w zachodnich częściach rejonów Gaworzyc i Bytom Odrzański. Średnia miąższość i zawartość złota (przy minimalnej zawartości w próbce konturującej interwał złotoznośny 100 ppb Au) zmienia się od 1,05 m i 105 ppb na obszarze Bytomia Odrzańskiego, poprzez 1,39 m i 403 ppb Au w rejonie Gaworzyc, do 1,26 m i 495 ppb w rejonie Radwanic (Oszczepalski, 2002, 2007). Ogółem na tych trzech obszarach o łącznej powierzchni 184 km² znajduje się ok. 256 Mg Au (oraz 29 Mg Pt i 39 Mg Pd), przy czym największe przypuszczalne zasoby przypadają na obszar perspektywny Gaworzyc (ok. 130 Mg Au), a nieco mniejsze na obszary Radwanice (75 Mg Au) i Bytom Odrzański (51 Mg Au). Uwzględniając oszacowane wcześniej przypuszczalne zasoby obszaru perspektywnego Polkowice-Sieroszowice, można uznać, że na wszystkich obszarach perspektywnych w obrębie udokumentowanych złóż Cu-Ag monokliny przedsudeckiej (fig. 8.10), o łącznej powierzchni ok. 310 km², znajduje się ok. 400 Mg Au (wraz z towarzyszącymi platynowcami w ilości 45 Mg Pt i 45 Mg Pd),

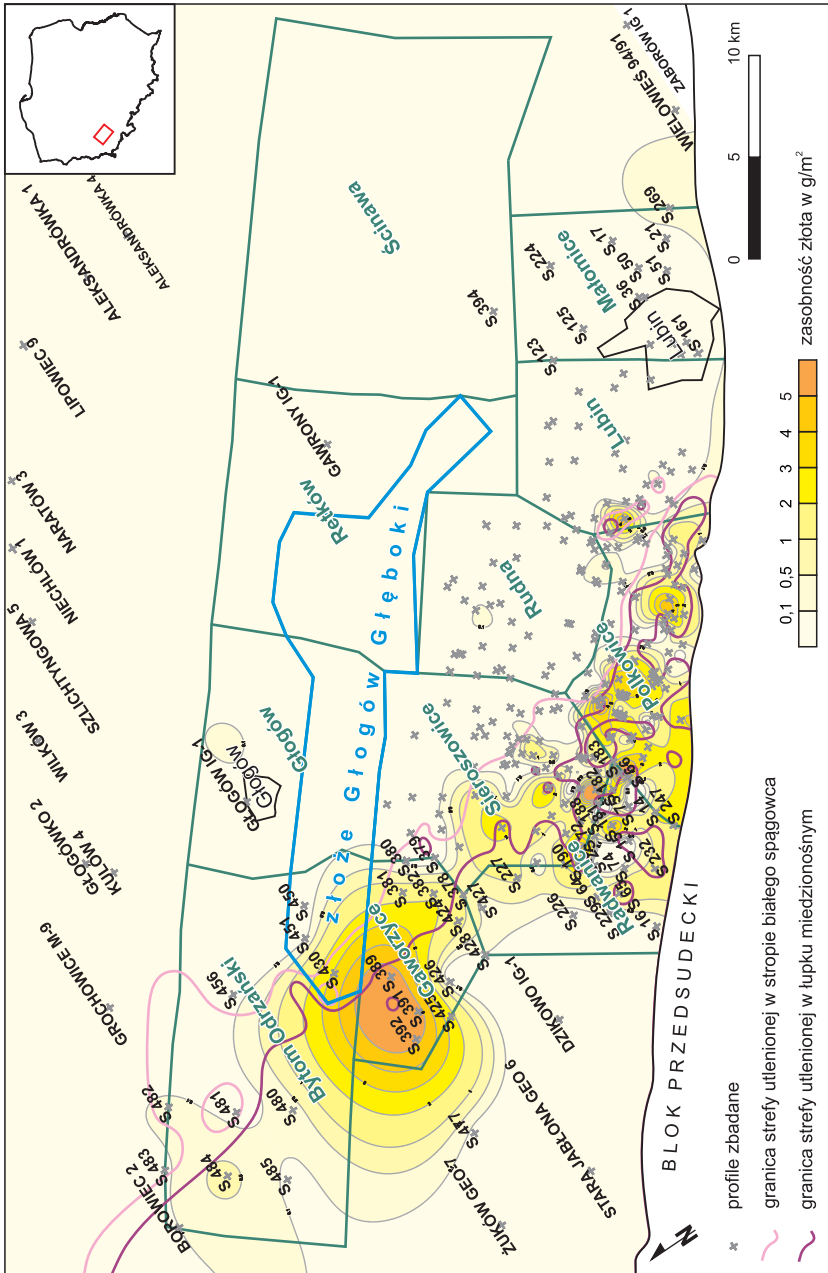


Fig. 8.10. Mapa zasobności złota w cechsztyńskim interwale złotoносnym na obszarach dokumentacyjnych złoža rud Cu-Ag monokliny przedsudeckiej i jego najbliższym otoczeniu (wg Oszczepalskiego, 2007)

z czego dotychczas wyeksploatowano ok. 25 Mg Au. Oznacza to, że w utworach utlenionych (czyli pozaeksploatacyjnych) na obszarze dokumentacyjnym monokliny przedsudeckiej znajduje się wciąż ok. 40% całkowitej ilości Au i platynowców (Oszczepalski, 2007).

Uwzględniając wszystkie dostępne informacje, na obszarze złożowym Polkowice wyodrębniono bloki z najbogatszą mineralizacją metalami szlachetnymi na podstawie brzeżnej zawartości 500 ppb Au w próbce (Pieczonka i in., 1998; Piestrzyński A. i in., 1997, 2002; Piestrzyński A. i Sawłowicz, 1999). Stwierdzono, że mineralizacja Au występuje w tych blokach w formie pokładu o średniej miąższości 0,23 m i o średniej zawartości 2,37 ppm Au (0,90–5,25 ppm Au w profilu) z zasobami w ilości ok. 86 Mg Au (9 bloków z zasobami w ilości 34,33 Mg Au oraz z zasobami perspektywicznymi w ilości 51,56 Mg Au; Pieczonka i in., 1998, 2008). W poszczególnych blokach występują znaczne zasoby (od 0,6 do 6,6 Mg Au), a średnia zawartość Au przekracza 1 ppm (Pieczonka i in., 2008). Testy wzbogacalności metodą separacji grawitacyjnej i flotacji wykazały, że opłacalny jest odzysk złota z rudy zawierającej ponad 1,63 ppm Au i 0,67% Cu (Łuszczkiewicz, 1998; Wieniewski i in., 1998) oraz poprzez ługowanie cyjankowe (Chmielewski T., 1998).

W 1998 r. rozpoczęto badania archiwalnych rdzeni z otworów wiertniczych poza udokumentowanymi obszarami złóż Cu-Ag. Zbadanie rdzeni z kilkudziesięciu otworów umożliwiło opracowanie pierwszej regionalnej oceny mineralizacji Au (Oszczepalski i in., 1999; Oszczepalski, 2002). Podobnie jak na obszarze złóż rud Cu-Ag Lubin–Sieroszowice, także w innych rejonach na monoklinie przedsudeckiej utlenione odmiany białego spągowca i łupku miedzianożelaznego są wzbogacone w złoto. Na podstawie brzeżnej zawartości Au w próbce na poziomie 100 ppb wyznaczono obszary perspektywiczne ograniczone izolinią średniej zawartości 100 ppb Au (fig. 8.11) – wszystkie są związane z obszarami utlenionymi. Na monoklinie przedsudeckiej wyznaczono 10 obszarów perspektywicznych: Brzostowo, Chojnik, Chwaliszew, Czarna Wieś, Grochowice, Kłęka, Pakosław, Radziądz, Wilcze i Zielona Góra, a na peryklinie Żar trzy obszary: Dachów (na pograniczu perykliny z monokliną przedsudecką), Dębinka (w SW części perykliny) oraz Nowa Wieś (na pograniczu perykliny z niecką północnosudecką; Oszczepalski, 2002; Mikulski S.Z. i in., 2015b; Oszczepalski i Chmielewski A., 2015). Średnia miąższość interwału złotonożelaznego w tych obszarach zmienia się od 0,02 do 1,55 m, a średnia zawartość złota w zakresie od 128 do 865 ppb. Najwyższe zawartości (od 500 do 2000 ppb) stwierdzono w próbkach utlenionego łupku miedzianożelaznego z zielonogórskiego obszaru utlenionego oraz z rejonu Ostrzeszowa. Można szacować, że w utworach utlenionych monokliny przedsudeckiej i perykliny Żar, znajdujących się poza obszarami udokumentowanych złóż miedzi, znajduje się ok. 1800 Mg Au na łącznej powierzchni 14 800 km² (Oszczepalski, 2002), a wraz z zasobami rejonu dokumentacyjnego Lubin–Sieroszowice na obszarze o łącznej powierzchni 15 110 km² może znajdować się 2200 Mg Au.

Niecka północnosudecka

W niecce północnosudeckiej złoto związane jest z utworami utlenionymi w dwóch rejonach: Lena–Nowy Kościół i Konrad–Wartowice. Poziom złotonożelazny występuje między szaro-czerwonymi piaskowcami czerwonego spągowca a dolnocechsztyńskim wapieniem podstawowym (Speczik i Wojciechowski, 1997; Wojciechowski, 2001). Przestrzennie jest on związany z regionalną transgresywną powierzchnią niezgodności, która uformowała się w wyniku długotrwałego działania procesów wietrzeniowo-denuwacyjnych w schyłkowej fazie powstawania utworów czerwonego spągowca i transgresji morza cechsztyńskiego. Zbadano tu profile przypowierzchniowe w odsłonięciach naturalnych. Interwał złotonożelazny budują od dołu utlenione lub odbarwione (wybielone) piaskowce (biały spągowiec) i wapienie z czerwonymi plamami (wapienie podstawowe) oraz pstrykły z domieszką tlenków Fe i Mn oraz podwyższoną zawartością Ba i Hg, występujące na kontakcie piaskowców z wapieniem podstawowym. Zawartość złota w zbadanych próbkach jest bardzo zmienna i waha się od kilku do kilkuset ppb, miąższość interwału złotonożelaznego zaś od kilku do kilkudziesięciu centymetrów. Najwyższa zawartość złota w próbce pstrykły iłowców przekracza 5 ppm. Na obszarze perspektywicznym Lena–Nowy Kościół występuje interwał o średniej miąższości 0,32 m i o średniej zawartości 0,87 ppm Au, co pozwala oszacować przypuszczalne zasoby złota w ilości 32 Mg na powierzchni 47,5 km² (Oszczepalski, 2002; Oszczepalski i in., 2011; Oszczepalski i Chmielewski A., 2015; Mikulski S.Z. i in., 2015b). Mineralizacja występuje przy powierzchni lub na korzystnej głębokości do kilkuset metrów, lecz wychodnie utworów złotonożelaznych są zamaskowane lub przykryte osadami kenozoiku (Speczik i Wojciechowski, 1997; Wojciechowski, 2001). Obszar ten był już w przeszłości objęty koncesjami poszukiwawczymi złota.

Obszar perspektywiczny Konrad–Wartowice znajduje się w przeważającej części na obszarze złoża Cu-Ag Niecka Grodziecka, a jedynie niewielki jego fragment zachodni wchodzi na obszar złoża Wartowice (Oszczepalski, 2002; Oszczepalski i in., 2011). Na tym obszarze perspektywicznym o łącznej powierzchni

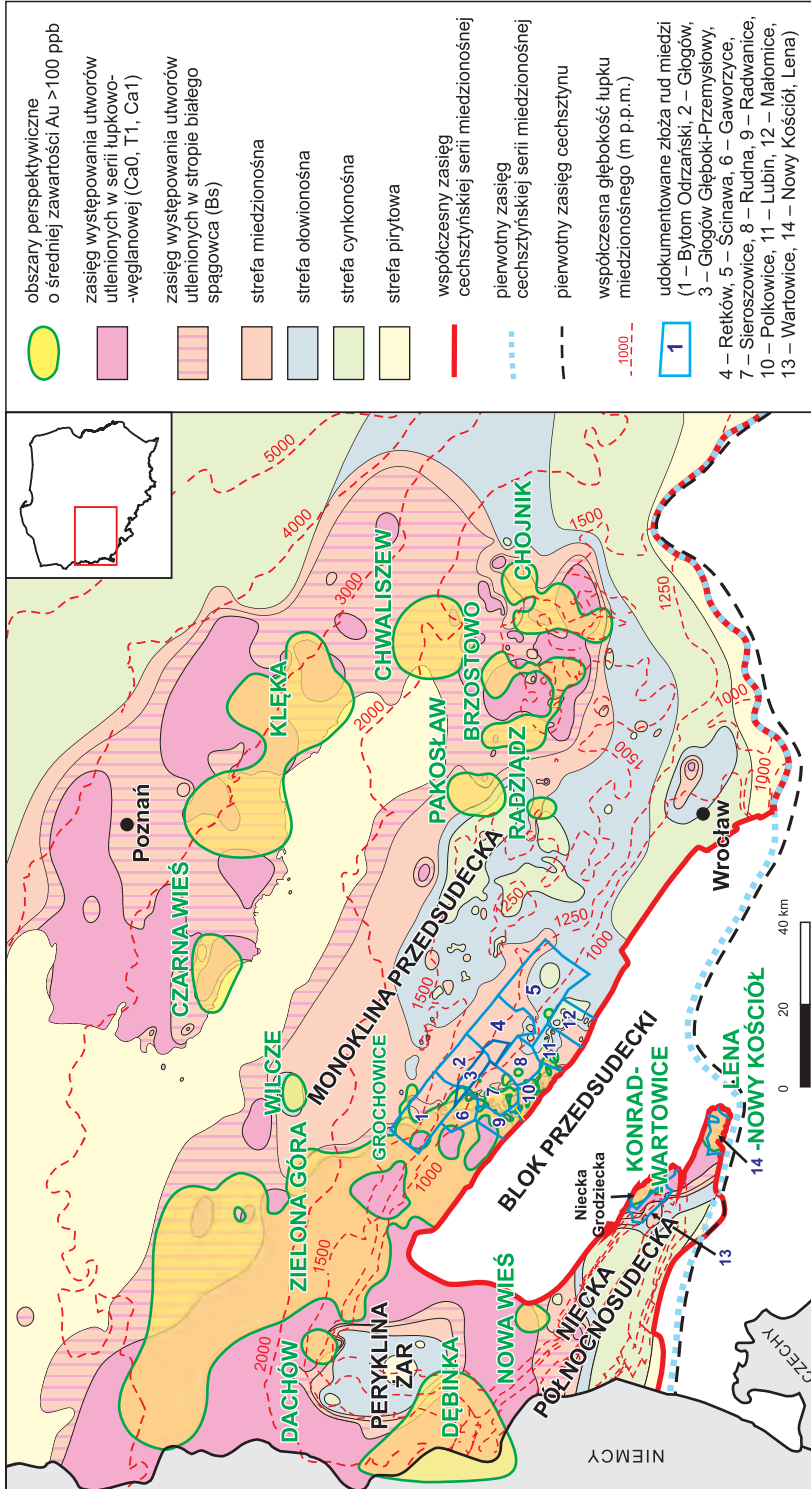


Fig. 8.11. Obszary perspektywiczne występowania mineralizacji Au na tle rozmieszczenia utworów utlenionych i strefowości metalicznej w utworach cechstyńskiej serii miedzionośnej SW Polski (wg Oszczepalskiego i Chmielewskiego A., 2015)

ok. 30 km² występuje ok. 10 Mg Au, w interwale o średniej miąższości 0,43 m i o zawartości 0,32 ppm, co wskazuje na możliwość odzysku części towarzyszącego złota w przypadku wznowienia wydobywania rud Cu-Ag w tym rejonie. Zgodnie z prawdopodobnym rozprzestrzenieniem utworów utlenionych (fig. 8.12.) można przypuszczać, że obszar ten łączy się z obszarem Lena-Nowy Kościół, choć brak otworów do badań nie pozwala obecnie na weryfikację tej hipotezy.

Na obszarach perspektywicznych niecki północnosudeckiej o łącznej powierzchni ok. 80 km² może znajdować się ok. 40 Mg Au.

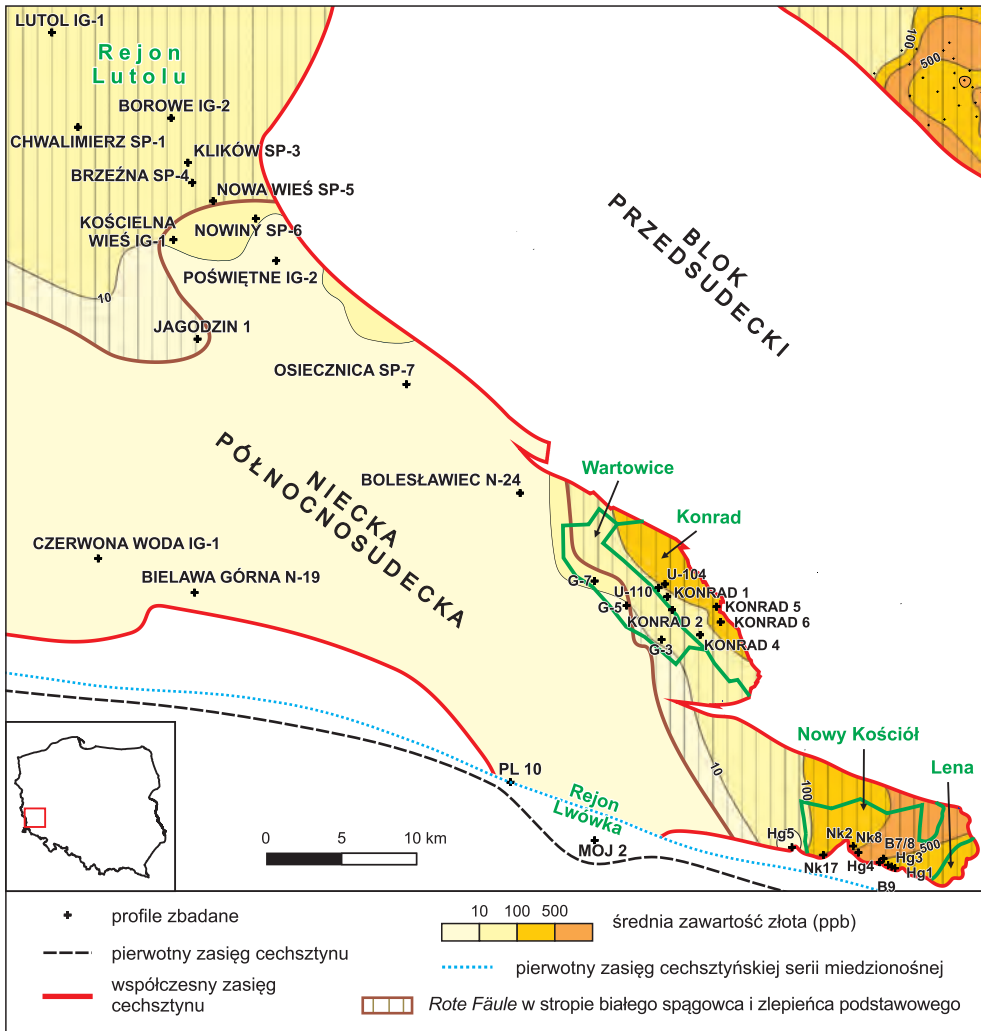


Fig. 8.12. Mapa średniej zawartości złota w utlenionych utworach kontaktu czerwonego spągowca i cechsztynu w niecce północnosudeckiej (wg Oszczepalskiego i in., 2011)

Sudety i blok przedsudecki

Na obecnym etapie rozpoznania za najbardziej perspektywiczne dla złóżowych koncentracji złota typu żyłowego i metasomatycznego w Sudetach i na bloku przedsudeckim uznano obszary (Mikulski S.Z., 2015):

- południowokaczawski,
- rudawski (wschodnia osłona granitu Karkonoszy),
- złotostocki (strefa granitu kłodzko-złotostockiego),
- Wądroże Wielkie (blok przedsudecki).

Wystąpienia te są związane ze zmetamorfizowanymi skałami w osadowych i wulkanicznych (bimodalnych) formacjach paleozoicznych, najczęściej w strefie bezpośredniego kontaktu z waryscyjskimi intruzjami granitoidowymi lub porfirowymi na obszarze Sudetów i bloku przedsudeckiego.

Największą powierzchnię, ponad 250 km², mają obszary perspektywiczne w Sudetach (obszar południowokaczawski – ok. 155 km², Złoty Stok – ok. 62 km² i rudawski – ok. 34 km²; fig. 8.13). Na bloku przedsudeckim wydzielono jeden obszar (Wądroże Wielkie), który ma ok. 22 km².

W strefach wokół waryscyjskich intruzji granitoidowych i porfirowych mogą występować złoża złota typu metasomatycznego (skarny, berezyty) i żyłowego. Na dawnych sudeckich obszarach górnictwa złoto-nośnych rud siarczkowych (Złoty Stok, Czarnów) są szanse na udokumentowanie nowych zasobów rud siarczkowych złota (tzw. rud trudno wzbogacalnych – *refractory gold*), zalegających w postaci gniazd, soczewek i żył w głębszych partiach (do 300 m głębokości), które nie odsłaniają się na powierzchni (Lindner, 1976; Muszer, 1992; Niczyporuk i Speczik, 1993; Mikulski S.Z., 1996, 1997, 1998, 2000a, b, 2010; Mikulski S.Z. i in., 2007a; Mikulski S.Z. i Speczik, 2016). Pozostałe w złożu Złoty Stok zasoby złota w rudach arsenu wynoszą ok. 1500 kg (Malon i in., 2019). Szczególnie interesujący jest obszar w północno-zachodnim i wschodnim otoczeniu intruzji kłodzko-złotostockiej, jak również na bloku przedsudeckim wzdłuż sudeckiego uskoku brzeżnego (fig. 8.13) oraz rejon wschodniej osłony metamorficznej intruzji karkonoskiej na odcinku od Czarnowa do Miedzianki (Mikulski S.Z., 2010). Można oczekiwać tam obecności złóż złota głównie w metasomatycznych i żyłowych rudach siarczkowych, zawierających od 1 do 10 ppm Au i zalegających na głębokości od kilkudziesięciu do 200–300 m. Największe zasoby perspektywiczne złota występują w obszarze złotostockim i są szacowane na ok. 6 Mg (Mikulski S.Z. i in., 2015b).

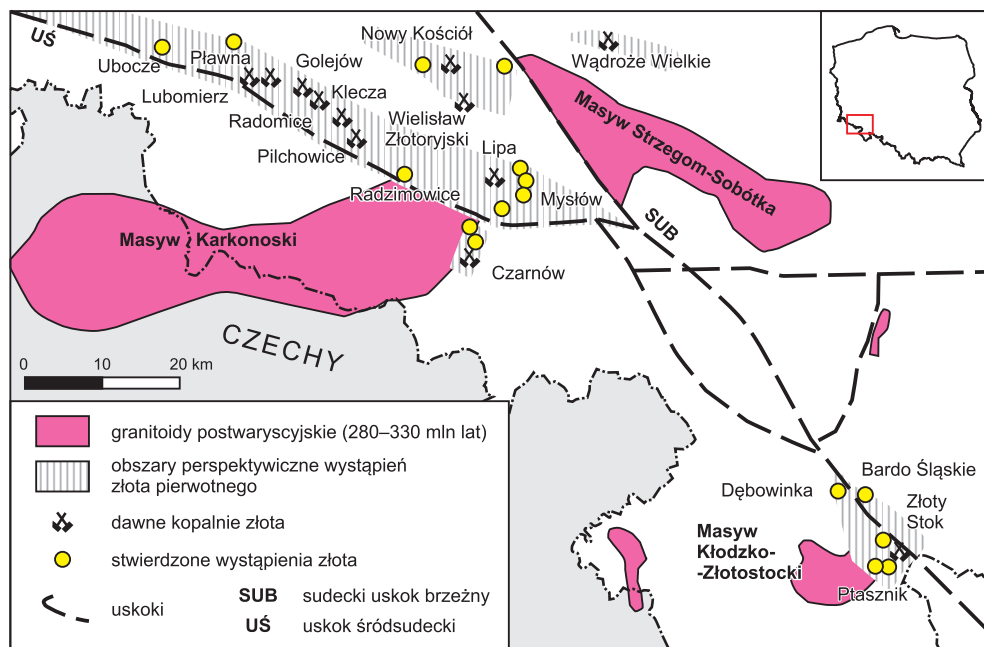


Fig. 8.13. Obszary perspektywiczne dla pierwotnych wystąpień złota w Sudetach i na bloku przedsudeckim (wg Mikulskiego S.Z. i in., 2015b)

Drugi pod względem zasobów perspektywicznych złota jest obszar południowokaczawski, gdzie w zależności od przyjętych parametrów żył (takich jak grubość, rozciągłość po biegu i upadzie) oraz zawartości złota w rudzie można szacować zasoby na ok. 1–5 Mg złota (Mikulski S.Z., 2015). W Górach Kaczawskich istnieją perspektywy występowania niewielkich orogenicznych złóż żyłowych złota zalegających w zmetamorfizowanych osadowo-wulkanicznych (bimodalnych) formacjach paleozoicznych. W południowej części struktury kaczawskiej perspektywiczny dla wystąpień złóż Au jest obszar skataklastycznych łupków paleozoicznych o szerokości ok. 10 km i długości ok. 50 km na odcinku od Ubocza po Mysłów (fig. 8.13). Można spodziewać się tam zasobów perspektywicznych złota nie tylko w obrębie starych obszarów kopalnictwa Au, ale również pomiędzy tymi obszarami, gdzie żyły złotonośne nie wychodzą na powierzchnię.

Podobnie w rejonie opuszczonego złoża w Radzimowicach znajdującego się w strefie górnokarbońskiej intruzji porfirów mogą występować nieodkryte dotychczas mezo- i epitermalne żyły kwarcowo-siarczkowe ze złotem. Zasoby perspektywiczne tego rejonu można ocenić na 0,5–4,2 Mg Au. W sumie zasoby perspektywiczne w tym rejonie mogą być bardzo różne, ich szacunkowa wielkość zależy od przyjętych do obliczeń parametrów żył rudnych (Mikulski S.Z., 2015). Przykładowo przy założeniu udokumentowania jednej żyły złotonośnej zasoby złota można szacować na od 0,135 Mg (dla żyły o długości 100 m) do 0,54 Mg (długość żyły 200 m), a przy udokumentowaniu pięciu żył złotonośnych – od 0,54 do 2,70 Mg Au w rejonie Klecza-Radomice. Z kolei dla rejonu Radzimowic przy założeniu udokumentowania jednej żyły złotonośnej o długości 300 m zasoby złota mogą wynieść 0,5 Mg (lub 2,5 Mg dla 5 żył), a dla żyły dłuższej (do ok. 500 m) – 0,8 Mg (lub 4,2 Mg dla 5 żył). Złoto występuje w obydwu tych rejonach głównie w formie drobnodyspersyjnej i drobnodziarnistej w siarczkach As, Fe, Cu i Pb (Paulo i Salamon, 1973; Mikulski S.Z., 1996, 1997, 1998, 2000a, b, 2005, 2007b, 2010, 2011a; Olszyński i Mikulski S.Z., 1997). Rudy siarczkowe zawierają złoto w ilości od kilku do kilkunastu ppm, a lokalnie jego zawartość może osiągać nawet ponad 100 ppm. Rudzie złota (np. w Radzimowicach, Bardzie Śląskim) w zmiennych ilościach towarzyszą domieszki Ag, Bi i Te (Mikulski S.Z., 2014; Mikulski S.Z. i Speczik, 2016).

Na bloku przedsudeckim w rejonie Wądroża Wielkiego występują silnie zwietrzałe złotonośne żyły kwarcowe w zmetamorfizowanych dolnopaleozoicznych gnejsach oraz łupkach kwarcowo-luszczkowych (Hefton, 1999; Wierchowicz i in., 2018). Złoto występuje w nich w postaci mikroziarenek oraz najprawdopodobniej jako domieszki w siarczkach, a także w postaci bardzo drobnych okruchów w silnie skaolinizowanych pokrywach zwietrzelinowych (Janczyszyn i Wyszomirski, 1986).

W sumie zasoby rud złota typu żyłowego i metasomatycznego (skarny, berezyty) w Polsce oszacowano na od ok. 9,4 Mg Au (dla 16 ciał rudnych) do 21,5 Mg Au (dla 64 ciał rudnych; Mikulski S.Z., 2015).

Obszarami hipotetycznymi wystąpień złóż złota są słabo rozpoznane, znajdujące się pod przykryciem utworów kenozoicznych, jednostki bloku przedsudeckiego oraz Sudetów Wschodnich. W rejonie Głucholazów istnieją szanse na przedłużenie występującej w Czechach formacji złóż piritowo-polimetalicznych ze złotem typu *sedex* (Morávek, 1992).

Blok małopolski i górnośląski

W strefie kontaktu bloku małopolskiego i górnośląskiego wydzielono trzy obszary perspektywiczne o łącznej powierzchni ok. 12 km², związane z utworami strefy kontaktowo-metasomatycznej wokół intruzji granitoidowych i porfirowych w waryscydach południowej Polski: Dolina Będkowska (ok. 4 km²), Pilica (ok. 6 km²), Mysłów (ok. 2 km²; Mikulski S.Z. i in., 2015b; fig. 8.14).

Najbardziej perspektywiczne są obszary Doliny Będkowskiej i Pilicy. W rdzeniach z głębokości ok. 250–600 m z odwierconych tam otworów wiertniczych stwierdzono złoto w ilości kilkunastu ppm w pojedynczych próbkach w żyłkach kwarcowo-siarczkowych, związanych ze strefami peryferycznymi wokół górnokarbońskich intruzji granitoidowych (Mikulski S.Z. i in., 2008; Oszczepalski i in., 2008, 2010a; Mikulski S.Z. i Markowiak, 2011; fig. 8.14). Szacunkowe zasoby perspektywiczne rud złota w strefie kontaktu bloku małopolskiego z blokiem górnośląskim na obecnym etapie rozpoznania mogą wynosić od 1,2 do 3,5 Mg Au.

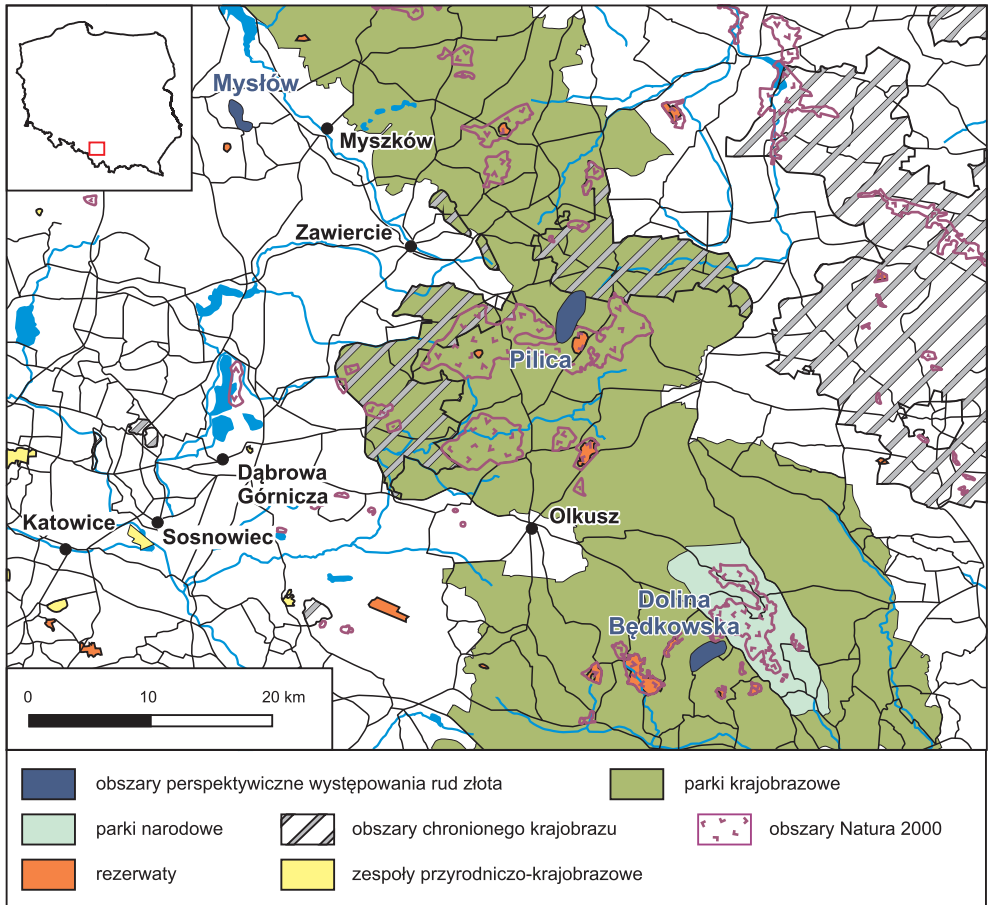


Fig. 8.14. Lokalizacja obszarów perspektywicznych występowania rud złota w strefie kontaktu bloków małopolskiego i górnośląskiego wraz z elementami konfliktów środowiskowych (wg Mikulskiego S.Z. i in., 2015b, zmodyf.)

8.5.5.2. Okruchowe złoża złota

Wystąpienia złota okruchowego w Polsce są związane ze zwirowo-piaszczystymi formacjami kenozoiku w Sudetach i na bloku przedsudeckim. W Sudetach złoto okruchowe pospolicie występuje w postaci od śladów (pojedynczych złocin w 1 m^3 osadu) do maksymalnie kilkuset miligramów na 1 m^3 we współczesnych osadach aluwialnych. Złoto okruchowe, wraz z towarzyszącymi mu minerałami ciężkimi, było przedmiotem prowadzonych na dużą skalę regionalnych prac rozpoznawczych (m.in. Grodzicki, 1963, 1967, 2011; Kanasiewicz i Sylwestrzak, 1968; Kanasiewicz i in., 1977; Rutkowski E. i Wojciechowski, 1987; Mikulski M. i in., 1989; Wojciechowski, 1989, 1992a, b; Kanasiewicz i in., 1990a, b, c; Muszer i Łuszczkiewicz, 1997; Wierchowicz, 2002, 2006, 2007). W atlasie metalogenicznym złota Sudetów i bloku przedsudeckiego, na podstawie wyników prac prospekcyjnych prowadzonych po II wojnie światowej, opisano ponad 100 anomalii złota we współczesnych osadach korytowych rzek i potoków oraz ponad 70 rejonów zaniechanych złóż złota okruchowego (Mikulski S.Z., 2006). Liczne przejawy wystąpień złota okruchowego w Sudetach i na bloku przedsudeckim, o średniej zawartości nieprzekraczającej z reguły $0,1 \text{ g/m}^3$, są związane z plejstoceńskimi i holoceniowymi osadami tarasów rzecznych Bobru, Kaczawy, Kwisy i Nysy Kłodzkiej oraz ich dopływów, jak z również neogeńskimi kwarcowymi, oligomiktycznymi rzeczными zwirowymi okolic Lwówka Ślą-

Tab. 8.18. Zasoby perspektywiczne złota okrucowego w osadach dolin rzecznych Bobru i Kwisy w Sudetach (Wojciechowski, 1993)

Obszar perspektywny	Zasoby perspektywiczne [kg]	Powierzchnia [km ²]	Miąższość [m]	Zawartość [mg/m ³]	Liczba wierceń
Rakowice	226,4–376,6	1,0	3,5–11,5	5,4	18
Winna Góra	1000	4,5	2,9	84,2	6
Kraszowice	400	2,0	2,5	88,8	4
Suszki-Włodzice	600	1,6	3,8	97,6	7
Dolina Oldzy	88	2,0	2,6	ok. 17	7

skiego i Bolesławca. Jedynie kilka z tych tarasów, charakteryzujących się szerokim rozprzestrzenieniem poziomu złotonosnego, ma zasoby perspektywiczne rzędu od kilkudziesięciu do kilkuset kilogramów (Wojciechowski, 1993; tab. 8.18). Na wielu obszarach (np. Rakowice, Kraszowice) zostały one w znacznym stopniu uszczuplone wskutek wybierania piasków i żwirów w ostatnim dwudziestolecu. Według oszacowań Muszera (2011) w tarasach rzek w rejonie Iwóweckim może znajdować się od 2,6 do 12,0 Mg złota w żwirach i odpadach produkcyjnych.

Sudeckie punktowe przejawy złota okrucowego w redeponowanych eluwiach glin zwałowych złodowaceń skandynawskich i w brukach morenowych z okolic Lubomierza, z zawartością złota dochodzą do 0,2–0,3 g/m³, można uznać jedynie za ważną przesłankę poszukiwawczą (Rutkowski E. i Wojciechowski, 1987).

8.5.5.3. Złoto antropogeniczne

Złoto antropogeniczne (technogeniczne) w Polsce występuje w następujących typach odpadów przemysłowych: w szlamach poflotacyjnych dawnego górnictwa rud arsenu w Złotym Stoku (tab. 8.19), w szlamach poflotacyjnych górnictwa rud miedzi w Lubińsko-Głogowskim Zagłębiu Miedziowym, w odpadach górniczych (kamieniu) i żużlach hutniczych dawnych sudeckich kopalń i hut arsenu, złota oraz metali kolorowych (Złoty Stok, Czarnów, Miedzianka, Klecza–Radomice, Radzimowice i Muchów–Myślibórz), w odpadach po średniowiecznej eksploatacji złota okrucowego (Suszki–Włodzice, Bielanka, Płakowice–Nowy Dworek, Złotoryja, Głuchołazy), jak również we współczesnych odpadach po eksploatacji złóż kruszywa naturalnego (m.in. Rakowice, Bolesławiec, Sędziszów; Wojciechowski, 1992a, 1994; Muszer i Łuszczkiewicz, 1997; Wierchowicz i Wojciechowski, 2009; Wierchowicz, 2010; Muszer 2011). Złoto okrucowe z odpadów poeksploatacyjnych złóż kruszywa naturalnego w trakcie transportu i przeróbki kruszywa wraz z innymi minerałami ciężkimi koncentruje się w ścierach wzdłuż tras przenośników górniczych, we wnętrzu odwadniaczy i w osadach powstałych na skutek ich czyszczenia, w piaskach i piasko-mułach odpadowych. Jako przykład można podać, że w kopalni kruszywa naturalnego Rakowice jego zawartość w pulpie ścierów wynosiła w la-

Tab. 8.19. Zasoby perspektywiczne złota antropogenicznego w Polsce (Mikulski S.Z. i in., 2011c)

Obszar	Rodzaj odpadów	Zasoby Au [kg]
Złoty Stok	szlamy arsenowe	1200–1380
Lubińsko-Głogowskie Zagłębie Miedziowe	szlamy anodowe, szlamy flotacyjne	< 200
Sudety (Radzimowice Czarnów, Miedzianka, Klecza–Radomice, Muchów–Myślibórz)	hałdy odpadów górniczych (tzw. kamień)	100–150
Kopacz k. Złotoryji i Głuchołazy	przemyte okrucowe zwały pogórnice	30–50
Miedzianka–Janowice Wlk.	żużle hutnicze	kilka
Razem		1530–1780

tach 90. ubiegłego stulecia średnio 64,0 mg/m³ (w zakresie 1,5–606,4 mg/m³; Wojciechowski, 1992a). Technologia przeróbki kruszywa naturalnego stosowana w tej i w innych polskich kopalniach kruszywa naturalnego pozwala na uboczne pozyskiwanie złota okrucowego oraz innych użytecznych minerałów ciężkich przy użyciu prostych wzbogacalników strumieniowych (Wojciechowski, 1992c).

Wystąpienia złota antropogenicznego były również notowane z innych kopalń kruszywa naturalnego, m.in. w dolinie Bobru w Bolesławcu i Olszynie, w dolinie Kaczawy w Szczytnikach, w dolinie Nysy Kłodzkiej w Pilcach i Wójcicach oraz w innych kopalniach na terenie całego kraju, w tym również w dolinie Dunajca w rejonie Tarnowa i Nowego Sącza (Jęczmyk i Wojciechowski, 1994).

8.5.6. Stan rozpoznania geologicznego

W latach 2007–2012 obszar złożowy w Radzimowicach był objęty koncesją poszukiwawczą. W wyniku prac geologiczno-wiertniczych zweryfikowano złotoność znanych dotychczas żył rudnych oraz rozpoznano ich przedłużenia (Kanasiewicz i in., 2012).

Z kolei na obszarach koncesyjnych na monoklinie przedsudeckiej w rejonie Nowej Soli, Sulmierzyc i Mozowa od 2012 r. prowadzone są prace geologiczno-wiertnicze w celu udokumentowania nowych zasobów Cu-Ag (Oszczepalski i in., 2017a, b, 2019; Zieliński i Speczik, 2017). W wyniku tych prac możliwe będzie dokładniejsze określenie zasięgu dotychczasowych obszarów perspektywicznych.

Na podstawie badań geochemicznych rud z obszarów złotoności w Sudetach wykazano współwystępowanie ze złotem srebra oraz pierwiastków rzadkich, takich jak tellur i bizmut (Mikulski S.Z., 2014), czy pierwiastków strategicznych, jak np. kobalt (Mikulski S.Z. i in., 2018a). Obecność rzadkich pierwiastków towarzyszących Au podnosi wartość złotoności złóż polimetalicznych.

8.5.7. Ocena zasobów i ich zmian

W poprzedniej edycji *Bilansu* (Mikulski S.Z. i in., 2011c) zasoby prognostyczne i perspektywiczne złota pierwotnego w Polsce oszacowano na ok. 350 Mg. W utworach utlenionych cechsztyńskiej serii miedzionośnej na obszarze monokliny przedsudeckiej, perykliny Żar i niecki północnosudeckiej zgromadziły się ogromne ilości złota, szacowane na ponad 2200 Mg. Jednak należy stwierdzić, że tylko nieznaczna część znajdującego się w tych utworach złota może zostać pozyskana, gdyż z wyjątkiem rejonu Lena-Nowy Kościół koncentracje te nie stanowią samodzielnych nagromadzeń i mało realna jest możliwość ich zagospodarowania. Występowanie złota bezpośrednio pod rudami Cu-Ag stwarza możliwość wybierania skał złotoności, lecz jedynie wraz z eksploatacją rud srebrno-miedziowych w aktywnych kopalniach rud Cu-Ag. Taka możliwość istnieje w przypadku zasobów na obszarach dokumentacyjnych złoża Cu-Ag monokliny przedsudeckiej, gdzie zasoby prognostyczne złota wynoszą 34,3 Mg (tab. 8.20). Pozyskiwanie złota jako metalu towarzyszącego może napotkać trudności ze względu na dużą zmienność zawartości złota w profilu pionowym, małą miąższość interwału złotoności, lateralną nieciągłość pokładu złotoności oraz dość niską średnią zawartość złota, na ogół nieznacznie przekraczającą 100 ppb.

Tab. 8.20. Zasoby prognostyczne oraz perspektywiczne złota w Polsce

Rodzaj/ obszar	Zasoby prognostyczne [Mg]	Zasoby perspektywiczne [Mg]
Utwory utlenione cechsztyńskiej serii miedzionośnej/ obszar dokumentacyjny złóż Cu-Ag monokliny przedsudeckiej	34,3	366,0
Utwory utlenione cechsztyńskiej serii miedzionośnej/ niecka północnosudecka	–	40,0
Złóża żyłowe i metasomatyczne w Sudetach i na bloku przedsudeckim	–	9,4–21,5
Złoto okrucowe/ Sudety	–	2,3–2,5
Złoto antropogeniczne/ Dolny Śląsk	–	1,5–1,8
Razem	34,3	419,2–431,8

Zasoby perspektywiczne złota pierwotnego (metasomatyczne, żyłowe) w innych formacjach geologicznych Sudetów w zarzuconych ośrodkach dawnego górnictwa złota (Radzimowice, Klecza–Radomice i inne) oszacowano na powyżej 5 Mg złota.

W obecnej wersji *Bilansu* zasoby rud złota typu żyłowego i metasomatycznego (skarny, berezyty) w Polsce przyjęto zgodnie z obliczeniami dla zmiennych parametrów złożowych (Mikulski S.Z., 2015). Oszacowano, że zasoby perspektywiczne złota typu żyłowego i metasomatycznego w Polsce wynoszą od 9,4 do 21,5 Mg złota, a zasoby perspektywiczne w utworach utlenionych cechsztyńskiej serii miedzionośnej oszacowano na 406 Mg (tab. 8.20).

Zasoby złota, zarówno żyłowego i metasomatycznego, jak i okrucowego i antropogenicznego na Dolnym Śląsku nie uległy zasadniczej zmianie w odniesieniu do poprzedniej wersji *Bilansu* (Mikulski S.Z. i in., 2011c). Wprawdzie całkowite zasoby perspektywiczne złota we wszystkich rozpatrywanych obszarach perspektywicznych SW Polski są szacowane na 419,2–431,8 Mg (tab. 8.20), a więc są nieco wyższe w porównaniu z poprzednią oceną, jednak mimo prowadzonego rozpoznania niektórych złóż pierwotnych, okrucowych i antropogenicznych, także w ramach przyznanych w latach ubiegłych koncesji poszukiwawczych, ich zagospodarowanie wydaje się mało realne. Do głównych ograniczeń należy zaliczyć występowanie obszarów perspektywicznych w granicach licznych obszarów chronionych programem Natura 2000 oraz słabe odślonięcie formacji rudonośnych, co wymaga nowych inwestycji.

8.5.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Obszarami perspektywnymi występowania różnorodnych pierwotnych złóż złota w Polsce są piaszczowo-ilaste utwory z pogranicza czerwonego spągowca i cechsztynu oraz zalegające powyżej łupki miedzionośne basenu cechsztyńskiego w SW Polsce, strefy kontaktowo-metasomatyczne wokół intruzji granitoidowych i porfirowych w waryscydach Polski południowej oraz zmetamorfizowane osadowe i wulkaniczne (bimodalne) formacje paleozoiczne Sudetów i bloku przedsudeckiego. W ramach zadań państwowej służby geologicznej należy przeprowadzić tam nowoczesne badania geochemiczne, geofizyczne, a w dalszym etapie rozpoznanie robotami wiertniczymi, w celu weryfikacji wyników i zebrania jak najpełniejszych informacji o tych obszarach przed wyznaczeniem obszarów koncesyjnych poszukiwawczo-dokumentacyjnych.

Największe zasoby perspektywiczne złota występują w strefach bezpośredniego kontaktu cechsztyńskich utworów facji utlenionej z facją redukcyjną. Jednak są one trudne do oszacowania ze względu na dużą zmienność zawartości złota w profilu litologicznym oraz w rozprzestrzenieniu lateralnym. Pod względem możliwości wykorzystania złota obecnego w utworach utlenionych największe znaczenie mogą mieć obszary perspektywiczne: Lena-Nowy Kościół (ze względu na przypowierzchniowe występowanie), rejony utlenione w obrębie obszarów złożowych Cu-Ag: Polkowice, Sieroszowice, Radwanice, Gaworzyce i Bytom Odrzański (gdy zaistnieje możliwość opłacalnej selektywnej eksploatacji) oraz Konrad-Wartowice (w przypadku wznowienia górniczej produkcji). Znaczenia mogą nabrać także utwory ze wschodniej części zielonogórskiego obszaru utlenionego i wokół ostrzeszowskiego obszaru utlenionego, jeśli zagospodarowane zostaną w przyszłości przylegające do nich obszary perspektywiczne rud Cu-Ag. Występowanie mineralizacji złota oddzielnie – obocznie względem rud miedziowo-srebrowych (z wyjątkiem mineralizacji Au-Pt-Pd podścielającej rudy Cu-Ag) – pociąga za sobą konieczność oddzielnego rozpoznania i udokumentowania zasobów. Odzysk złota ze stref utlenionych towarzyszących cechsztyńskim rudom miedzi będzie wymagał opracowania innego niż w przypadku rud siarczkowych procesu przeróbki rud, np. zastosowania metody hydrometalurgicznej (Chmielewski T., 1998), poprzedzonej separacją grawitacyjną i odpowiednią flotacją (Wieniewski i in., 1998; Mączka i in., 2003; Krawczykowska, 2017).

Na dawnych obszarach górnictwa złota w Sudetach istnieją szanse na rozpoznanie nowych zasobów trudno wzbogacalnych rud siarczkowych bogatych w złoto, zalegających w postaci żył, gniazd lub soczew w głębszych partiach górotworu. Zasoby perspektywiczne występują w poszczególnych zarzuconych ośrodkach dawnego górnictwa złota typu żyłowego i metasomatycznego w Polsce (Złoty Stok, Radzimowice, Klecza–Radomice i inne). Szczególnie interesujące są regionalne strefy ścinania intrudowane przez górnokarbońskie i/lub dolnopermskie kwaśne intruzje, zarówno w Sudetach i na bloku przedsudeckim, jak i w strefie kontaktu bloku małopolskiego z blokiem górnos Śląskim. W południowej części struktury kaczawskiej perspektywiczny dla złóż żyłowych Au jest obszar skatakazowanych łupków paleozoicznych o szerokości ok. 10 km i długości ok. 50 km na odcinku od Ubocza po Mysłów. Należałoby zweryfikować kontynuację złóż typu *sedex* ze złotem w polskiej części Sudetów Wschodnich oraz sprawdzić potencjalną złotono-

śność słabo rozpoznanych jednostek bloku przedsudeckiego, znajdujących się pod przykryciem utworów kenozoicznych, w tym i w obrębie pokryw zwietrzelinowych (gliny kaolinowe i/lub piaski kwarcowe).

W przypadku dolnośląskich złóż kruszywa naturalnego pełniejsze gospodarcze wykorzystanie złota okrucowego (i towarzyszących mu ciężkich minerałów użytecznych) wymagałoby uwzględnienia w dokumentacjach geologicznych jego zasobów jako kopaliny towarzyszącej. Z uwagi na koncentrację przeważającej masy złota okrucowego w najgłębszych, spągowych partiach tych złóż w trakcie eksploatacji poszczególnych złóż kruszywa naturalnego należałoby dążyć z jednej strony do maksymalnie pełnej ich odbudowy, z drugiej zaś do optymalnego odzysku złota w trakcie przeróbki kruszywa naturalnego – z pulpy ścierów oraz pulpy piaskowej i mułowej (mułowo-piaskowej).

Złoto okrucowe występujące w dotychczas wytworzonych odpadach (zarówno w kopalniach kruszywa naturalnego, jak i w odpadach po średniowiecznych robotach górniczych) wymaga opracowania stosownej metodyki jego dokumentowania.

Obszary perspektywiczne wystąpień różnych typów złóż złota powinny być przedmiotem nowoczesnych prac poszukiwawczych, uwzględniających jednak aspekty ochrony środowiska naturalnego, zarówno na etapie poszukiwań, jak i podczas ewentualnej przeróbki rud, która w przypadku trudno wzbogacalnych rud siarczkowych jest szczególnie szkodliwa dla środowiska ze względu na stosowanie szkodliwych substancji chemicznych.

Stanisław Z. Mikulski, Marek Markowiak, Sławomir Oszczepalski

8.6. RUDY MOLIBDENU (*MOLYBDENUM ORES*) I WOLFRAMU (*TUNGSTEN ORES*)

8.6.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Istnieje kilka podstawowych typów genetycznych złóż molibdenu wydzielonych na podstawie procesów formowania się molibdenitu (MoS_2) oraz skał otaczających (Ekiert, 1985; Cox i Singer, 1986; Guilbert i Park, 1986; Carten i in., 1993; Singer i in., 2008; Pirajno, 2009; Sillitoe, 2010). Podstawowe znaczenie ekonomiczne mają złoża typu porfirowego, a wśród nich *porphyry molybdenum* i *porphyry copper-molybdenum*, z których pochodzi ok. 95% światowej produkcji molibdenu (Carten i in., 1993). W zależności od koncentracji głównych metali wyróżnia się podtypy złóż porfirowych, takie jak: Mo, Mo-Cu, Cu-Mo, Mo-W czy Mo-Pb-Zn-Ag (Cox i Singer, 1986; Singer i in., 2008). Najczęstszym podtypem złóż porfirowych są złoża Cu-Mo związane z intruzjami granodiorytowo-porfirowymi. Ich cechą charakterystyczną jest występowanie stref hydrotermalnych przeobrażeń, od strefy potasowej w centrum systemu przez propylitową i serycytowo-chlorytową do argilitowej w partiach dystalnych (Lowell i Guilbert, 1970; Sillitoe, 2010). Ze strefowości przeobrażeń hydrotermalnych jest związana strefowość występowania metali: w centralnych partiach złóż dominują Mo lub Cu oraz Mo, W i Sn, a w zewnętrznych partiach istotnymi składnikami są Au, Ag, Pb, Zn i Bi (Sillitoe, 2010; John i Taylor R.D., 2016). Przeważa mineralizacja sztokwerekowa, żyłowa i impregnacyjna. Głównymi minerałami są: molibdenit, scheelit (rzadziej wolframit), chalkopiryt i piryt. Złożom porfirowym często towarzyszą złoża skarnowe, przeważnie Cu-Au, Au i Zn-Pb (Sillitoe, 2010), często ze znacznym udziałem scheelitu (Singer i in., 2008; Ludington i in., 2009; John i in., 2010). W porfirowych złożach Cu średnia zawartość molibdenu to przeważnie 0,002–0,030%, a w złożach typu Cu-Mo – 0,010–0,076%, z medianą dla 422 złóż w wysokości 0,031% (Singer i in., 2008). Zdecydowanie mniejsze znaczenie ekonomiczne mają inne typy złóż Mo, takie jak złoża pegmatytowe i aplitowe, skarnowe, złoża żył kwarcowo-molibdenitowych oraz molibdenonośne czarne łupki.

Wśród genetycznych typów złóż rud wolframu wyróżnia się głównie złoża typu skarnowego, porfirowego, grejzenowego, pegmatytowo-pneumatolitycznego, hydrotermalnego, stratoidealnego zmetamorfizowanych serii wulkaniczno-osadowych i okrucowego, w których występują scheelit i/lub wolframit (Gruszczuk i in., 1985; Cox i Singer, 1986; Guilbert i Park, 1986; Kwak, 1987; Singer i in., 2008).

8.6.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Główne światowe zasoby molibdenu (ok. 95%) związane są ze złożami siarczkowymi typu porfirowego Cu-Mo, w których ruda molibdenu jest kopaliną towarzyszącą rudom miedzi lub kopaliną główną w samodzielnych złożach porfirowych molibdenu. Przeciętne zasoby poszczególnych złóż wynoszą 200–400 mln Mg rudy i występują w złożu o rozmiarach 0,5–2 km². Całkowite światowe zasoby molibdenu są szacowane na 25,4 mln Mg, a roczne wydobycie kształtuje się na poziomie ok. 290–300 tys. Mg Mo (USGS, 2019). Szacuje się, że zasoby wydobywalne są znacznie większe. Obecnie 55–60% molibdenu powstaje jako produkt uboczny wydobycia porfirowych rud miedzi, w związku z czym można przypuszczać, że całkowite wydobywalne zasoby molibdenu wahają się od 50 do 180 mln Mg (Henckens i in., 2018). W latach 1950–2015 średnia roczna stopa wzrostu produkcji Mo wyniosła 4,4%. Przy założeniu, że ta stopa wzrostu będzie się utrzymywać przez kolejne 35 lat (do 2050 r.), roczna wielkość produkcji znacznie wzrośnie i będzie wynosić ok. 3 mln Mg, czyli ok. 11 razy więcej niż wynosi obecna wielkość produkcji (Henckens i in., 2018). Następnie stopa wzrostu produkcji Mo będzie powoli spadać do ok. 0% w 2100 r. (*ibidem*). Oznacza to okres prawie tysiąca lat jako przewidywany czas wyczerpania światowych wydobywalnych zasobów molibdenu. Według Sverdrupa i in. (2013), produkcja Mo osiągnie wartość szczytową ok. 2050 r., a następnie będzie spadać do 2150 r. Możliwe, że wystarczalność zasobów wzrośnie, jeśli stopa odzysku molibdenu jako produktu ubocznego w produkcji miedzi wzrośnie z obecnych 45 do 80% w przyszłości, co zdaniem Henckensa i in. (2018) wydaje się realne.

Główne zasoby wolframu związane są ze złożami typu skarnowego i hydrotermalnego (Singer i in., 2008). Porfirowe złoża W są rzadkie, a podwyższona zawartość wolframu występuje głównie w złożach porfirowych molibdenu (Ludington i in., 2009; John i Taylor R.D., 2016). Najczęściej odzyskiwany jest on z wolframitu, natomiast scheelit bywa odzyskiwany z odpadów poflotacyjnych ze złóż porfirowych (John i Taylor

R.D., 2016). Scheelit w złożach porfirowych miedzi jest niezbyt częstym składnikiem towarzyszącym – został stwierdzony w 51 z 691 porfirowych złóż Cu (Singer i in., 2008). Roczna światowa produkcja górnicza wolframu wynosi ok. 82 tys. Mg, a światowe zasoby to ok. 3,3 mln Mg (USGS, 2019).

Złoża omawianych rud są eksploatowane odkrywkowo do głębokości 200 m i podziemnie do głębokości 600 m. Wyjątkiem są duże porfirowe złoża rud Cu-Mo eksploatowane odkrywkowo nawet do 1000 m w gorzystych, pustynnych obszarach (Paulo i Strzelska-Smakowska, 2000).

W Polsce, w wyniku intensywnych prac wiertniczych (1975–1992), rozpoznano złożo rud Mo-W-Cu w Myszkowie (Piekarski i in., 1993; Mucha i in., 1994; Podemski, 2001). Złożo to reprezentuje sztokwero-owy typ mineralizacji molibdenitowo-scheelitowej z Cu i jest związane z waryscyjskim kwaśnym magmatyzmem. W złożu Myszków, o powierzchni ok. 0,5 km², stwierdzono obecność 800 mln Mg rudy (700 tys. Mg Cu, 350 tys. Mg Mo, 200 tys. Mg W) o średniej zawartości 0,152% Cu, 0,049% Mo (0,156% Mo_e) i 0,041% W na głębokości 200–1200 m (Piekarski i in., 1993). Zweryfikowane w ostatnich latach zasoby bilansowe tego złoża (według kryteriów z 2005 r.) wynoszą 550,8 mln Mg rudy zawierającej 295 tys. Mg Mo, 238 tys. Mg W i 804 tys. Mg Cu (Siata, 2007).

W 2018 r. wykonana została dokumentacja z robót geologicznych związanych z poszukiwaniem złoża Mo-W-Cu w rejonie Myszków–Żarki (Klimkiewicz i in., 2018). Wynikiem tych poszukiwań jest wydzielanie obszaru złożowego Myszkowa o powierzchni 0,53 km², z zasobami wstępnie zbadanymi (*inferred resources*) w ilości 726 mln Mg rudy (880 tys. Mg Cu) o zawartości 0,121% Cu, 0,0617 ppm Mo, 0,0404% W oraz 2 ppm Ag (przy granicznej zawartości 0,085 ppm Mo_e) na głębokości co najmniej do 1000 m w kategorii C₂ (Strzelecki Metals Limited, 2009).

8.6.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Obecnie obowiązujące kryteria wyznaczania złóż rud molibdenowo-wolframowo-miedziowych (porfirowych) określono w *Rozporządzeniu...* (2015a). Nie różnią się one od kryteriów bilansowości z 2011 r. (*Rozporządzenie...*, 2011; tab. 8.21), natomiast różnią się od wcześniejszych kryteriów bilansowości (*Rozporządzenie...*, 2001), na których podstawie obliczono zasoby złoża Myszków (Siata, 2007). Obowiązywał wówczas wzór na zawartość Mo ekwiwalentnego: Mo_e = (%Mo) + 1,5 (%W) + 0,3 (%Cu).

Tab. 8.21. Graniczne wartości parametrów definiujących złożo rud molibdenowo-wolframowo-miedziowych (porfirowych) i jego granice (*Rozporządzenie...*, 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Maksymalna głębokość dokumentowania złoża	m	1200
Minimalna zawartość ekwiwalentna molibdenu (Mo) z uwzględnieniem zawartości wolframu (W) i miedzi (Cu) w próbce konturującej interwał rudy Mo _e = (%Mo) + 1,5 (%W) + 0,2 (%Cu)	%	0,1
Minimalna średnia ważona zawartość ekwiwalentna molibdenu Mo _e w profilu wydzielonej części (bloku) złoża	%	0,1
Minimalna zasobność wydzielonej części (bloku) złoża (Mo _e)	m%	0,15

8.6.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

W pierwszych regionalnych ujęciach mineralizacji kruszcowej w podłożu mezozoiku wyróżniano obszary perspektywiczne na podstawie przejawów okruszcowania oraz obecności podwyższonej zawartości Cu i Mo (Piekarski, 1971, 1983, 1994a, b, c; Harańczyk, 1979; Nieć, 1988; Markowiak i in., 1994; Markowiak, 2005; Truszel i in., 2006). W ostatnich latach ponownie zbadano 66 km biejących rdzeni z 284 otworów wiertniczych wykonanych w strefie kontaktu bloku górnośląskiego z blokiem małopolskim (Oszczepalski i in., 2008, 2010a). W każdym z otworów nawierających utwory podłoża prekambryjsko-paleozoicznego stwierdzono obecność różnorodnych przejawów mineralizacji kruszcowej. Dotyczy to także licznych otworów wiertniczych wykonywanych podczas poszukiwań złóż Zn-Pb w utworach triasu w latach 1972–1986 i nawierających podmezozoiczne podłożo (Wielgomas, 1988; Wołkowicz S. i zespół, 1992). Obecny stan roz-

poznania nie jest wystarczający, aby dokonać oceny zasobowej na obszarach występowania potencjalnych złóż, przede wszystkim z powodu występowania w profilach wielu interwałów o niezbyt wysokiej koncentracji metali, które dla większości otworów nie pozwalają na zastosowanie granicznych wartości parametrów definiujących porfirowe złoża rud Mo-W-Cu i jego granice (tab. 8.21). Z tych względów wyróżnienia obszarów perspektywicznych dokonano poprzez okonturowanie rejonów o średniej zawartości ponad 0,001% Mo i 0,001% W w najbogatszych interwałach zbadanych otworów wiertniczych (fig. 8.15), z uwzględnieniem usytuowania tych obszarów względem złoża Myszków, strefy uskokowej Kraków–Lubliniec i intruzji granodiorytowo-porfirowych oraz stosownie do oceny ilościowo-jakościowej mineralizacji kruszcowej, obejmującej m.in. informacje o zawartości molibdenitu i scheelitu, ich cechach strukturalno-teksturalnych oraz o składzie minerałów towarzyszących. Na tej podstawie wyróżniono sześć obszarów perspektywicznych: Dolina Będkowska (11 km²), Mysłów (11 km²), Nowa Wieś Żarecka-Myszków-Mrzygłód (27 km²), Pilica

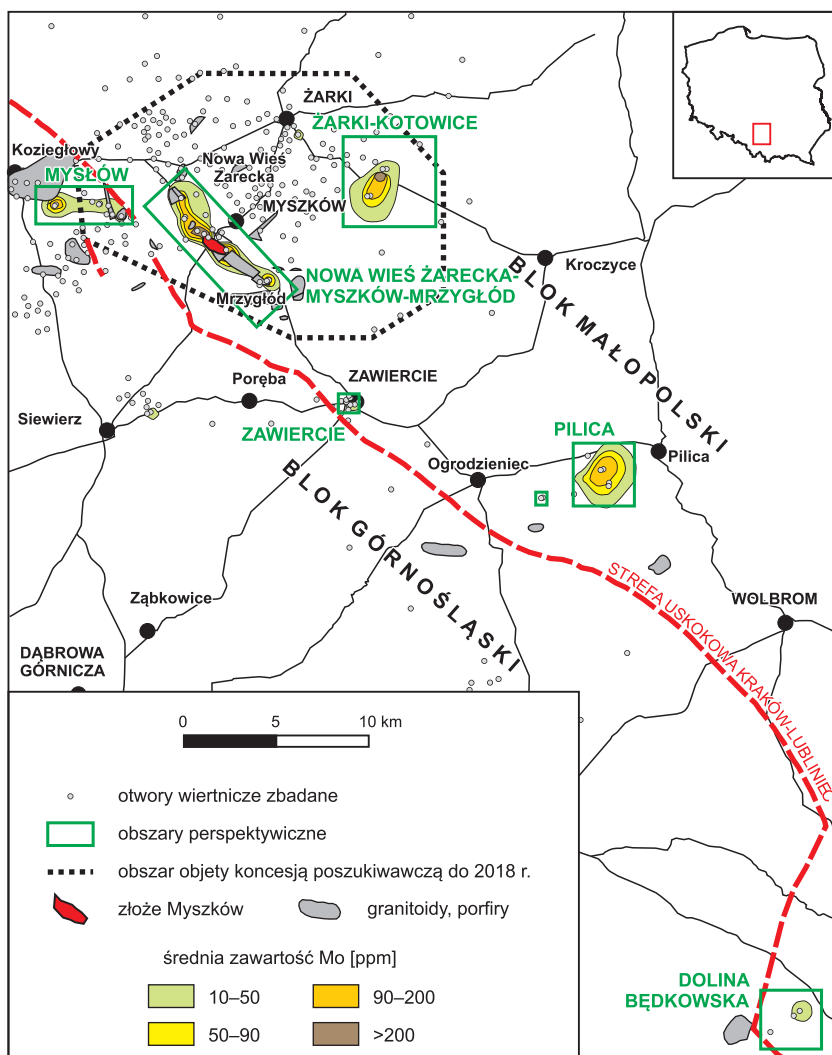


Fig. 8.15. Obszary perspektywiczne dla wystąpień złóżowych koncentracji Mo-Cu-W w rejonie kontaktu bloku małopolskiego z górnośląskim pod powierzchnią pokrywy permsko-mezozoicznej-kenozoicznej (wg Oszczepalskiego i in., 2008, zmodyf.)

(12 km²), Zawiercie (1,2 km²) i Żarki-Kotowice (20 km²). Na każdym wyróżnionym obszarze perspektywnym znajdują się otwory, przewiercające nie tylko otwory o zawartości ponad 0,001% Mo, lecz także interwały spełniające kryterium minimalnej średniej ważonej zawartości ekwiwalentnej molibdeniu Mo_e w profilu. Uwzględnienie interwałów o miąższości od 1,5 do 30,0 m (maksymalnie w rejonie Nowa Wieś Żarecka-Myszków-Mrzygłód, poza złożem Myszków) ze średnią zawartością ponad 0,1% Mo_e podnosi wartość danego obszaru perspektywnego. Zawartość Mo_e w wysokości 0,1% stwierdzono łącznie w 71 próbkach punktowych z 21 otworów, głównie w rejonie Nowej Wsi Żareckiej-Myszkowa-Mrzygłodu (Markowiak i Habryn, 2003; Oszczepalski i in., 2008), lecz dane te nie są wystarczające do okonturowania tam obszarów perspektywnych.

8.6.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywnych

8.6.5.1. Złoża porfirowe rud Mo-Cu-W i skarnowo-metasomatyczne rud Cu(-Mo-W-Zn-Pb-Fe-Bi-As-Te) strefy kontaktu bloków górnośląskiego i małopolskiego

Największe perspektywy występowania rud Mo i W należy wiązać z utworami prekambryjsko-paleozoicznymi w strefie kontaktu bloków małopolskiego i górnośląskiego (fig. 8.16), gdzie obecna jest mineralizacja Mo-Cu-W typu porfirowego (Ślósarz, 1982, 1983, 1993; Piekarski, 1983; Markiewicz i in., 1993; Podemski, 2001; Markowiak i Habryn, 2003; Truszel i in., 2006; Markowiak i in., 2009; Oszczepalski i in., 2010; Mikulski S.Z. i in., 2011a, 2012, 2015b, 2019). Związki między okruszczowaniem, wartyjskim magmatyzmem, intensywnością i charakterem przeobrażeń oraz wiek molibdenitu (296–301 mln lat oznaczony metodą Re-Os – Stein i in., 2005; Mikulski S.Z. i Stein, 2012) wskazują na pomagmowe, hydrotermalne pochodzenie tej mineralizacji z roztworów o temperaturze 160–800°C (Karwowski, 1988; Karwowski i in., 2005). Rudy Mo (molibdenit) i W (scheelit) nie tworzą tu samodzielnych koncentracji, lecz współwystępują na ogół w asocjacji z chalkopirytym i pirytem w intruzjach granitoidów i w dajkach porfirowych oraz w utworach ich osłony metamorficznej, reprezentowanej głównie przez metalowce i metamulowce ediakaru, w mniejszym stopniu syluru, a także przez skały węglanowe i węglanowo-klastyczne ordowiku i dewonu.

W ocenie przejawów mineralizacji oparto się na dokumentacjach otworowych dotyczących poszczególnych rejonów, jak i na wynikach badań 284 otworów wiertniczych wykonanych w strefie kontaktu bloku górnośląskiego z blokiem małopolskim (Oszczepalski i in., 2008, 2010a).

Najbardziej interesujący jest rejon **Nowa Wieś Żarecka-Myszków-Mrzygłód**, usytuowany w bezpośrednim otoczeniu złoża Myszków. Na obszarze tym pobrano do analizy ponad 200 próbek bruzdowych z rdzeni, w których zawartość Mo wynosiła maksymalnie do 1,82% (Oszczepalski i in., 2008). W sześciu otworach z tego obszaru występują otwory o zawartości ponad 0,1% Mo_e. W subrejonie Mrzygłód są trzy otwory (A-3, Pz-5, Pz-10) z 12 interwałami o miąższości 1,2–45,5 m i o średniej zawartości Mo_e 0,10–0,25%, natomiast w subrejonie Nowa Wieś Żarecka – trzy otwory (Pz-30, Pz-37, Pz-40) z 22 interwałami o miąższości i średniej zawartości Mo_e odpowiednio 2,5–572,5 m i 0,10–0,14%. W subrejonie Nowa Wieś Żarecka najbogatsza mineralizacja kruszczowa występuje w otworze Pz-40, zlokalizowanym ok. 2 km na NW od złoża Myszków. Występują tu niezbyt liczne, ale bardzo bogate żyłki kwarcowe z molibdenitem – maksymalna zawartość Mo w próbce o długości 0,5 m wynosi 0,9% (Habryn i in., 1994). Najgrubszy interwał w tym otworze (o miąższości 572,5 m, na głębokości 277,5–850,0 m) zawiera średnio niemal 0,02% Mo i 0,10% Mo_e. Uboższa jest mineralizacja wolframowa, zarówno w postaci scheelitu, jak i wolframitu (maksymalnie nieco ponad 0,09% W). Jednak głównym minerałem kruszczowym w tym otworze jest chalkopiryt. W pojedynczych próbkach zawartość miedzi dochodzi do 2%, a średnia zawartość miedzi w interwale o miąższości 166,5 m (299,5–466,0 m) wynosi 0,42% (Habryn i in., 1994). W subrejonie Mrzygłód szczególną uwagę zwraca otwór Pz-10, w którym istnieje sześć interwałów o miąższości 2,0–45,5 m i o średniej zawartości 0,001–0,117% Mo_e. Najbogatszy interwał stwierdzono w intruzji porfirowej rozciętej przez żyły diabazów.

W rejonie Zawiercia rozpoznano głównie porfirowo-skarnową mineralizację miedziową. Udział Mo i W nie jest znaczny – ich koncentrację stwierdzono tylko w pojedynczych próbkach (maksymalna zawartość Mo dochodzi do 0,4%, a W do 0,5%), a średnia zawartość w większych interwałach jest niska (Harańczyk i in., 1980; Piekarski, 1994b; Markowiak i Habryn, 2003). Niemniej jednak w dziewięciu otworach stwierdzono łącznie 14 interwałów o zawartości 0,11–0,74% Mo_e i o miąższości 1–36 m (Oszczepalski i in., 2008). Mineralizacji miedziowo-molibdenowej towarzyszy podwyższona zawartość Zn, Pb oraz Sn, As i Bi.

W rejonie Pilicy (fig. 8.15) mineralizację molibdenowo-miedziową stwierdzono głównie trzema otworami, w dwóch sąsiadujących subrejonach, wyznaczonych otworami KH-1 i KH-2 oraz otworem WB-111. W otworach WB-111 i KH-2 stwierdzono pojedyncze interwały o średniej zawartości odpowiednio Mo 0,10 i 0,23% i o miąższości 1,6 i 2,0 m. Ponadto w otworze WB-115, w najbogatszym interwale o miąższości 2,6 m, stwierdzono średnią zawartość Mo 0,1% Mo (Markowiak i Habryn, 2003). Wolfram występuje w ilościach śladowych (Ślósarz, 1988; Piekarski, 1994c). W otworze WB-111 obecne są skarny andradytowe z hematytem, magnetytem, sfalerytem, galeną i chalkopirytem i śladową mineralizacją Mo-W oraz tellurkami Cu, Bi i Ag. Spotyka się tu również żyłki kwarcu złotonośnego (Harańczyk, 1983). Rozległość strefy występowania skał przeobrażonych kontaktowo w rejonie Pilicy sugeruje, że intruzja granitoidu zalega tu dość płytko (na głębokości do 1 km) pod powierzchnią wychodni skał ediakarskich, w pasie o długości i szerokości do 4–5 km (Markowiak, 2015). Przy obecnym, słabym rozpoznaniu wiertniczym wyznaczenie najbardziej perspektywicznego obszaru jest bardzo trudne, w tym celu konieczne byłoby wykonanie szczegółowych badań geofizycznych.

Rozpoznanie obszaru Doliny Będkowskiej dziesięcioma odwiertami zlokalizowanymi w większości na jednej linii o kierunku SW-NE nie daje podstaw do sporządzenia wiarygodnej oceny możliwości występowania tu złoża rud polimetalicznych typu porfirowego. W otworze WB-102A, wokół którego wyznaczono

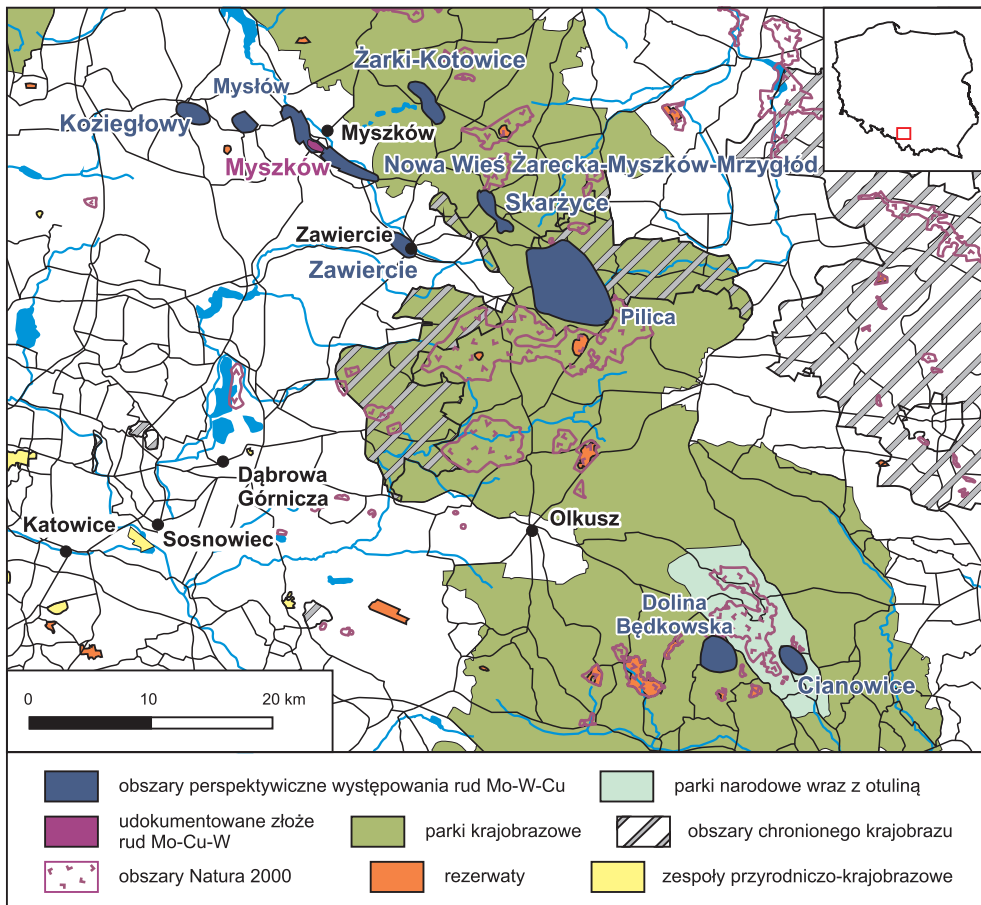


Fig. 8.16. Lokalizacja obszarów perspektywicznych występowania rud Mo-Cu-W w strefie kontaktu bloków małopolskiego i górnośląskiego wraz z elementami konfliktów środowiskowych (wg Mikulskiego S.Z. i in., 2015b, zmodyf.)

ten obszar, stwierdzono zaledwie jeden interwał o miąższości 3,1 m i średniej zawartości 0,125% Mo_g z dominującym okruszczowaniem miedzią. Natomiast średnia zawartość w najbogatszym w Mo interwale otworu WB-102, o miąższości 2,3 m, nie przekracza 0,083% Mo (Markowiak i Habryn, 2003). Największych koncentracji rud metali można się spodziewać ok. 500 m na SE od otworu WB-102A, na co wskazuje ujemna anomalia grawimetryczna (Piekarski i in., 1988), świadcząca o występowaniu w tym miejscu apikalnej strefy intruzji granitoidowej. W rejonie tym zwraca uwagę żyłkowe złotożoność okruszczowanie polimetaliczne Cu-Mo(-W-Zn-Pb-Au), związane z płytko występującymi żyłami porfirowymi i andezytowymi rozcinającymi utwory ediakaru (Mikulski S.Z. i in., 2008).

W rejonie Żarek-Kotowic najbogatsze okruszczowanie Mo obserwuje się w otworze ZW-1 odwierconym w 2008 r. Stwierdzono w nim trzy interwały o miąższości 2 m i zawartości 0,16–0,38% Mo_g i do 0,06% W. Najbogatszy interwał, na głębokości 650,0–652,0 m, zawiera 0,379% Mo (0,384% Mo_g), 0,0018% W i 0,0114% Cu (Markowiak, 2015). Molibdenit, wolframit i scheelit wchodzi w skład polimetalicznej asocjacji (Lasoń i Markowiak, 2001; Markowiak i Habryn, 2003; Karwowski i Markowiak, 2012). W innych, bardziej peryferycznych otworach dominuje okruszczowanie Cu-Zn-Pb. Na podstawie wcześniejszych danych (Lasoń i Markowiak, 2008) i danych z otworu ZW-1 bogatszego okruszczowania można oczekiwać w odległości co najmniej 750 m na południowy wschód od tego otworu (Markowiak, 2015).

W rejonie Mysłowa mamy do czynienia, w porównaniu z rejonami na bloku małopolskim, ze względnie ubogą skarnową mineralizacją Cu-Mo z towarzyszącym magnetytem (Wielgomas i in., 1988; Markowiak i Habryn, 2003; Truszel i in., 2006). Średnia zawartość Mo w najbogatszym interwale otworu 37-WB o miąższości 2,3 m (na głębokości 283,0–285,3 m) wynosi 0,207%. W otworze tym stwierdzono dwa interwały o zawartości Mo_g nieznacznie przekraczającej 0,1%. Zawartości wolframu są śladowe. Największe perspektywy odkrycia bogatych rud skarnowych są w rejonie ok. 0,5 km na E od otworu 37-WB, na co może wskazywać silna anomalia magnetyczna (Piekarski i in., 1993).

W 2006 r. kilkanaście kilometrów na NW od Krakowa odwiercono otwór Cianowice 2, w którym w utworach ediakaru zaobserwowano interesujące przejawy mineralizacji polimetalicznej reprezentowanej przez zespół kilkunastu minerałów kruszcowych. Okruszczowanie to wraz z lokalnymi przeobrażeniami metasomatycznymi skał wskazuje, że znalazły się one w zasięgu słabych oddziaływań hydrotermalnych, prawdopodobnie związanych z pobliską intruzją kwaśnych skał magmowych (Markowiak, 2012, 2014).

Na podstawie okonturowanych przestrzennych rozmiarów złoża Myszków (o długości 800 m, szerokości 500 m i głębokości do 1000 m) można sądzić, że przy obecnej gęstości siatki otworów wiertniczych istnieje jeszcze wiele rejonów bardzo słabo zbadanych, gdzie mogą istnieć ciała rudne porównywalne z tym złożem oraz z klasycznymi złożami porfirowymi Mo-Cu(±W), którymi są zwykle złoża o średniej wielkości (do 4 km²) i o zmiennych zawartościach metali Mo, Cu, W w rudzie.

8.6.5.2. Porfirowe i żyłowe rudy Mo(-Cu) i Mo-W-Sn na bloku przedsudeckim i w Sudetach

Na bloku przedsudeckim wystąpienia molibdenu (rzadziej wolframu) stwierdzono przede wszystkim w granitoidowym masywie Strzegom-Sobótka, którego zachodnia część uważana jest za molibdenonośną (Pendias i Walenczak, 1956; Sałaciński, 1978; Kanasiewicz i Mikulski S.Z., 1989; fig. 8.17). Można przyjąć, że przy obecnym stanie znajomości przejawów mineralizacji molibdeniowej cały obszar pomiędzy Paszowicami i Strzegomem, o powierzchni ok. 120 km², jest rejonem domniemanym (hipotetycznym) dla wystąpienia koncentracji Mo(-Cu) typu porfirowego (Mikulski S.Z. i in., 2015b). Główną przesłanką takich przypuszczeń są rozwinięte procesy pomagmowe w NW części masywu strzegomskiego, które przejawiają się występowaniem licznych pegmatytów z różnorodnym zespołem mineralnym, żył aplitowych oraz żył kwarcowych i kwarcowo-siarczkowych z molibdenitem.

W Sudetach liczne przejawy mineralizacji Mo-W-Sn wraz z REE i Th rozpoznano w wielu miejscach masywu karkonoskiego, m.in. w Szklarskiej Porębie, Michałowicach, Łomnicy (Gajda, 1960; Karwowski i in., 1973; Kozłowski A. i in., 1975, 2016; Kozłowski A. i Sachanbiński, 2007; Mikulski S.Z. i Stein, 2012). Mineralizacja występuje w pegmatytach, żyłkach kwarcowych oraz na powierzchniach spękań – głównie w aplogranitach i granitach typu porfirowego. Dane geochemiczne oraz liczne przejawy okruszczowania w granitach karkonoskich wskazują na silny rozwój procesów hydrotermalnych oraz na możliwość uformowania się złóż rud Mo, które zostały najprawdopodobniej zerodowane w kenozoiku, lecz mogły zachować się niekiedy ze złóż żyłowych lub skarnowo-metasomatycznych molibdenitu w strefach jego kontaktów ze skałami metamorficznymi (Mikulski S.Z., 2007a).

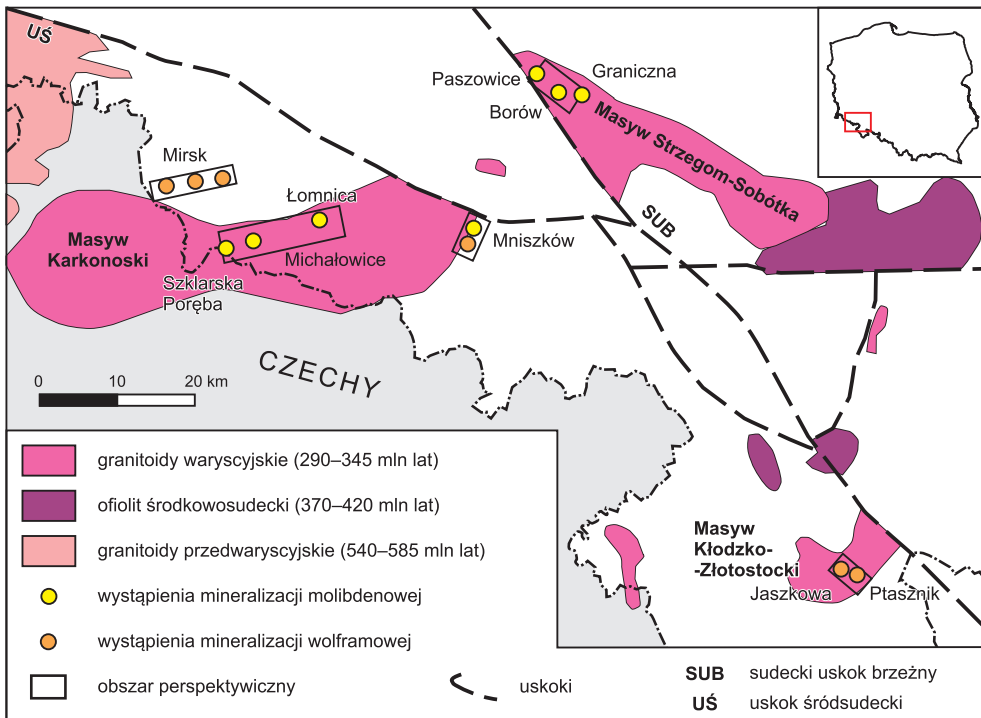


Fig. 8.17. Obszary perspektywiczne wraz z lokalizacją najciekawszych punktów z mineralizacją Mo-W na bloku przedsudeckim i w Sudetach (wg Mikulskiego S.Z. i in., 2012, zmodyf.)

8.6.5.3. Formacje czarnych łupków molibdenonośnych

Molibden jest jednym z metali towarzyszących w rudach stratoidalnych złóż Cu-Ag formacji cechsztyńskiej i osiąga największą koncentrację w redukcyjnych odmianach łupku miedzionośnego oraz lokalnie w dolomitach granicznym i w stropie białego spagowca (Banaś i in., 1976). Średnia zawartość Mo w złożu rud miedzi wynosi 38–140 ppm w rudzie łupkowej, 19–24 ppm w rudzie węglanowej i piaszczystej (Kijewski i Jarosz, 1987; Banaś i in., 2007a), a lokalnie w najniższej części łupku miedzionośnego do 600 ppm (Kucha, 2007) lub nawet do 2400 ppm w łupkach smolistych (Kijewski i Jarosz, 1987). W złożach rud Cu-Ag na monoklinie przedsudeckiej szacunkowe zasoby Mo w rudach bilansowych wynoszą 66,43 tys. Mg (Malon i in., 2019) lub nawet ok. 100 tys. Mg (Mikulski S.Z. i in., 2018a, b). Zasoby Mo są związane głównie ze spagowymi partiami łupku miedzionośnego, gdzie współwystępuje on z materią organiczną, tworzy domieszki w siarczankach miedzi (głównie w pirycie, chalkozynie i bornicie) oraz występuje w formie własnych minerałów (głównie jako castaingit i molibdenit; Kucha i Marcinkowski, 1976; Salamon, 1979; Kucha, 2007; Piestrzyński A., 2007a). Zawartość Mo w koncentracie wynosi średnio 272 ppm Mo (Sobierajski i in., 2007). Podczas przeróbki hutniczej koncentratu miedziowego molibden gromadzi się w niewielkiej ilości w odpadach procesu przeróbki, głównie w pyłach szybowych i żużlach (średnio 11 ppm), z których nie jest odzyskiwany ze względu na brak opłacalnej ekonomicznie technologii (Rapacz, 1998).

Podwyższone zawartości molibdenu oraz wanadu i miedzi występują w sylurskiej formacji czarnych łupków grafitowych w metamorficznym kompleksie Gór Kaczawskich (Fedak i Lindner, 1966) oraz w bogatych w substancję organiczną ordowickich czarnych łupkach dictyonemowych obniżenia podlaskiego w NE Polsce (Bareja, 1974, 1984). Z uwagi na niską zawartość Mo oraz brak odpowiedniej technologii jego odzysku z tego typu skał powyższe formacje czarnych łupków należy uznać za nieperspektywiczne.

Molibden w ilościach śladowych występuje również w złożach węgla kamiennego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym, jednak nie jest przedmiotem jakichkolwiek prac zmierzających do jego odzysku.

8.6.5.4. Mineralizacja scheelitowa w strefach kontaktowych intruzji granitoidowych z osłonami metamorficznymi w Sudetach

Dotychczasowe rezultaty prac poszukiwawczych we wschodniej osłonie metamorficznej intruzji karkonoskiej wskazują na obecność wystąpień małych ciał skarnowych z scheelitem oraz molibdenitem, a także żył kwarcowych z molibdenitem wzdłuż kontaktu granitu karkonoskiego ze skałami wschodniej osłony metamorficznej, na odcinku od rejonu Miedzianki i Mniszkowa po Czarnów (Lindner, 1976, 1987).

Pojedyncze przejawy mineralizacji scheelitowej (średnio 0,184–0,223% WO_3) w rejonie Ptasznika (fig. 8.17) w obrębie żyłek kwarcowych i kwarcowo-skaleniowych tnących silnie zmienione skały (hornfelsy) pierwotnej osłony metamorficznej na masywie kłodzko-złotostockim są uboższe w porównaniu z notowanymi w kontaktowo-metasomatycznych złożach scheelitu na świecie (Mikulski S.Z., 2000a). Jednak ze względu na słabe rozpoznanie powierzchniowe wystąpienia scheelitu w strefie Ptasznika można zakwalifikować do zasobów hipotetycznych.

8.6.5.5. Mineralizacja wolframowa w strefach grejzenizacji w Sudetach

Rozproszona mineralizacja wolframowa, głównie w formie scheelitu, występuje w grejzenach w zachodniej części Pogórza Izerskiego na południe od Mirska (fig. 8.17), w strefie równoleżnikowej o długości do 12 km i szerokości 0,3 km – od Pobiednej poprzez Kamień do Rębiszowa. W pojedynczych próbkach koncentracje wolframu osiągają 1% WO_3 i są związane głównie z grejzenami kwarcowo-topazowymi oraz ze strefami muskowitowymi (Karwowski, 1975).

8.6.6. Stan rozpoznania geologicznego

Obszary perspektywiczne wystąpień złóż porfirowych Mo-Cu-W w rejonie waryscyjskiego kwaśnego magmatyzmu i wulkanizmu grupują się wzdłuż regionalnej strefy tektonicznej Kraków–Lubliniec, dzielącej bloki małopolski i górnośląski, oraz po obydwu stronach wzdłuż sudeckiego uskoku brzeźnego w wybranych rejonach Sudetów Zachodnich i bloku przedsudeckiego. Stopień ich rozpoznania geologicznego jest nadal niewystarczający, ponieważ wystąpienia mineralizacji znajdują się pod zmiennej miąższości pokryw osadów, głównie mezozoicznych i kenozoicznych.

8.6.7. Ocena zasobów i ich zmian

Zasoby molibdenu i wolframu w Polsce nie uległy zmianie od publikacji ostatniego *Bilansu* (Mikulski S.Z. i in., 2011a) pomimo przeprowadzenia przez Śląsko Krakowską Kompanię Górnictwa Metali Sp. z o.o. robót poszukiwawczych za rudami Mo-Cu-W na obszarze koncesyjnym Myszków-Żarki. W 2018 r. została wykonana dokumentacja robót geologicznych na tym obszarze, która potwierdziła znane oraz wykazała nowe miejsca z mineralizacją Mo-Cu-W na obszarach perspektywicznych, jednak nie zatwierdzono nowych zasobów metali (Klimkiewicz i in., 2018).

8.6.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Dalsze bardziej szczegółowe prace poszukiwawcze za rudami Mo-Cu-W typu porfirowego oraz innych typów w rejonach wystąpień waryscyjskich intruzji granitoidowych i porfirowych w strefie kontaktu bloku małopolskiego z blokiem górnośląskim (fig. 8.15) powinny w pierwszej kolejności objąć dotychczas wydzielone obszary z anomaliami zawartościami metali (Żarki–Kotowice, Zawiercie, Pilica, Dolina Będkowska i Mysłów). Rejon Nowa Wieś Żarecka–Myszków–Mrzygłód, przylegający do złoża Myszków, po dokładniejszym rozpoznaniu wiertniczym może zostać zakwalifikowany do obszarów prognostycznych. Prace te powinny być wsparte wykonaniem nowoczesnego i szczegółowego zdjęcia geofizycznego, z uwzględnieniem grawimetrii i magnetyki. Ich pozytywna interpretacja, wraz z rezultatami z prac archiwalnych i bieżącej eksploracji, powinna być podstawą zaprojektowania uzupełniających prac wiertniczych.

Poszukując złóż rud Mo-Cu-W, należy również mieć na uwadze możliwość znalezienia innych typów mineralizacji (skarny Zn-Pb, żyły kwarcowe z Au) w strefach peryferycznych intruzji granitoidowych oraz skarnów z mineralizacją polimetaliczną na kontakcie granitoidów ze skałami węglanowymi ordowiku i dewonu.

Istotną barierą poszukiwań złóż rud Mo-Cu-W w strefie kontaktu bloku małopolskiego z blokiem górnośląskim w aspekcie możliwości ich zagospodarowania jest stosunkowo duża głębokość obiektów perspektywicznych. Dodatkowym ograniczeniem prac poszukiwawczych, a potem eksploatacji są uwarunkowania środowiskowe, ponieważ Dolina Będkowska znajduje się na obszarze Parku Krajobrazowego Dolinki Krakowskie, a rejony Żarek-Kotowic i Pilicy zlokalizowane są na obszarze Parku Krajobrazowego Orlich Gniazd i jego otuliny (fig. 8.16).

Liczne przejawy mineralizacji molibdenowej i wolframowej w Sudetach i na bloku przedsudeckim zaliczono do kategorii domniemanych (hipotetycznych). Stanowią one przesłanki lub pojedyncze oznaki dla poszukiwań rud Mo i (lub) W typu grejzenowego, kontaktowo-metasomatycznego, porfirowego lub żyłowego (fig. 8.17). Istotne dla dalszych poszukiwań mineralizacji Mo i/lub W powinno być powierzchniowe zdjęcie geochemiczne i geofizyczne (np. szczegółowa grawimetria i magnetyka) poszczególnych obszarów pozytywnych anomalii (np. w zachodniej części masywu strzegomskiego, w strefach grejzenizacji na Pogórzu Iżerskim). Wykazane strefy anomalne należy zweryfikować płytkimi wierceniami (do 300 m). Na obszarze dolnośląskim barierę poszukiwań stanowią rejony objęte programem Natura 2000 oraz obszary chronionego krajobrazu, a w Karkonoszach – park narodowy, zatem działalność poszukiwawcza i ewentualnie eksploatacyjna mogą tam mieć jedynie ograniczony zakres.

Stanisław Wołkowicz, Stanisław Z. Mikulski, Karol Zglinicki

8.7. PIERWIASTKI ZIEM RZADKICH (*RARE EARTH ELEMENTS – REE*), METALE ZIEM RZADKICH (*RARE EARTH METALS – REM*), PIERWIASTKI ZIEM RZADKICH I ITR (*RARE EARTH ELEMENTS AND YTTRIUM – REY*)

8.7.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Wśród złóż REE wyróżnia się (Möller, 1986; Long i in. 2010; Weng, 2013):

- złoża pierwotne związane z wysokotemperaturowymi procesami magmowymi (karbonatyty, kompleksy alkaliczne, pegmatyty i granity pegmatytowe, hematytowo-magnetytowe brekcje) oraz z procesami hydrotermalnymi – żyły polimetaliczne (*iron oxide-copper gold* – IOCG; *iron oxide apatite* – IOA) oraz skarny (REE-Nb);
- złoża wietrzeniowe – ily rezydualne z zaabsorbowanymi REE, laterytowe i okrucowe.

8.7.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Metale ziem rzadkich są szeroko rozpowszechnione w skorupie ziemskiej, lecz rzadko tworzą złoża o wysokich koncentracjach. Udokumentowane zasoby występują jedynie w 11 państwach świata i wynoszą 120 mln Mg, co przy rocznym wydobyciu 170 tys. Mg (USGS, 2019) daje wystarczalność statyczną na poziomie ponad 700 lat. Należy zauważyć, że potencjalne zasoby na świecie mogą być znacznie wyższe, gdyż nierozpoznane geologicznie są intruzje karbonatytowe i alkaliczne licznie występujące na kontynencie afrykańskim, a także osady morskie, głównie ily głębokomorskie (Kato i in., 2011; Takaya i in., 2018). W Polsce dotychczas nie udokumentowano złóż REE. Zapotrzebowanie gospodarki krajowej na metale z grupy REE oraz skandu i itru w 2018 r. wyniosło łącznie 1357,5 Mg, w tym 1335,6 Mg związków ceru oraz 21,9 Mg pozostałych metali ziem rzadkich, skandu i itru (http://geoportal.pgi.gov.pl/surowce/export_import).

8.7.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

W Polsce nie opracowano kryteriów bilansowości dotyczących złóż pierwiastków ziem rzadkich.

8.7.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Do wyznaczenia obszarów prognostycznych i perspektywicznych przyjęto własne kryteria na podstawie analizy światowych złóż pierwiastków ziem rzadkich. Dla złóż pierwotnych określono głębokość występowania do 200 m i minimalną zawartość sumy REO (*rare earth oxides*) wynoszącą 0,2%. Dla złóż okrucowych minimalna zawartość sumy REO nie powinna być niższa niż 0,05%.

8.7.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Na obszarze Polski podwyższoną koncentrację REE stwierdzono w Sudetach, w rejonie Szklarskiej Poręby i Markocic koło Bogatyni oraz w podłożu krystalicznym Polski NE w intruzjach Tajna i Elku.

W rejonie Szklarskiej Poręby koncentracje REE stwierdzono w paśmie hornfelsów Wysokiego Grzbietu (Góry Izerskie). Rozpoznano tam trzy ciała rudne w formie soczew o rozciągłości 50–100 m i miąższości od kilku do kilkunastu metrów. Oszacowane zasoby REO wynoszą 305 Mg. Zawartość sumy REO wynosi maksymalnie 0,5% (Kanasiewicz i in., 1976). Okruszczowaniu REE towarzyszy tor. Mineralami użytecznymi są monacyt, ksenotym, cyrkon i toryt (Bareja i in., 1982; Kanasiewicz, 1987). W rejonie Markocic stwierdzono okruszczowanie REE w formie sztokwerku i związane jest ono ze strefami feldspatyzacji rozwiniętej w strefie uskokowej w gnejsach i granitach izerskich. W strefie rudnej o rozmiarach 500 × 100 m zasoby perspektywiczne REE oszacowano na 150 Mg (zawartość sumy REO sięga 1,55%). W tym wystąpieniu stwierdzono również obecność toru. Mineralami rudnymi są toryt i fosforany pierwiastków ziem rzadkich (Jęczyński i in., 1982; Kanasiewicz, 1987).

Alkaliczno-ultrazasadowy masyw Tajna znajduje się na SW od Augustowa, ma powierzchnię ok. 5 km², a jego strop występuje na głębokości 600 m (Ryka, 1992). Masyw ten był poddany szczegółowym badaniom w latach 80. XX w. W obrębie anomalii geofizycznej wykonano 12 otworów wiertniczych o głębokości 1200–1781 m. Stwierdzono dwa rodzaje żył karbonatytowych zawierających REE. W żyłach kalciokarbonatytów o niewielkiej miąższości zawartość REE jest niska i waha się od 0,1 do 0,5%. Bogatszą mineralizację zawierają nieliczne żyły ferrokarbonatytów, w których zawartość REO sięga 2% (Kubicki, 1992). Według Kubickiego (1992) zasoby REO przy wartości brzegowej 0,25% REO dla obszaru o powierzchni 0,216 km² wynoszą 34 tys. Mg. Zawartość średnia ważona wynosi 0,37%. W drugim wariancie szacowania zasobów – wartość brzegowa 0,5%, obszar o powierzchni 0,136 km² – zasoby wyniosły 6,6 tys. Mg. Około 50% zasobów znajduje się na głębokości poniżej 1000 m. W centralnej części masywu, w brekcji kominowej, zawartość sumy REO sięga 0,1%, a obliczone zasoby wynoszą ok. 50 tys. Mg.

Peralkaliczna intruzja Elku jest rozległą jednostką o powierzchni 400 km² występującą na głębokości większej od 800 m (Ryka, 1994). Zawiera tlenkowe i krzemianowe okruszczowanie pierwiastkami ziem rzadkich, niobu, cyrkonu i toru. Szczegółowe badania mineralogiczno-geochemiczne wykonane dla otworów Elk IG-3 i Elk IG-4 wykazały obecność licznych anomalii promieniowania gamma (Bareja i Kubicki, 1983). W analizowanych próbkach uzyskano średnią ważoną zawartość sumy REO od 0,22 do 0,38% w strefach o miąższości 1–3 m. Maksymalnie w pojedynczych próbkach stwierdzono zawartość REO do 1,4%. Koncentracjom tym towarzyszą podwyższona zawartość niobu (0,09–0,86% Nb₂O₅; średnia ważona 0,12%) i cyrkonu (średnia ważona zawartość od 0,38 do 0,58%). Cyrkonowi towarzyszy hafn. W rejonie Mławy także została stwierdzona alkaliczna intruzja ze wzbogaceniem w minerały nośniki REE, jednak głębokość jej zalegania – ok. 3 km – znacznie ogranicza możliwości jej rozpoznania (Krzemińska i Krzeziński, 2012).

8.7.6. Stan rozpoznania geologicznego

Analiza budowy geologicznej Polski z uwzględnieniem warunków występowania złóż REE na świecie wskazuje, że jedynie w Sudetach mogą występować złoża o marginalnym znaczeniu gospodarczym (zał. 4). Należy jednak brać pod uwagę, że możliwe do udokumentowania ich zasoby dalece odbiegałyby od zasobów złóż będących przedmiotem eksploatacji na świecie. Intruzje magmowe znajdujące się na platformie wschodnioeuropejskiej, z uwagi na głębokość ich występowania, zmienność okruszczowania i niską zawartość REE, nie mają aktualnie znaczenia surowcowego (Paulo, 1993, 1999; Paulo i Krzak, 2015; zał. 4). W ostatnich latach pod kątem występowania REE zbadano cechsztyńskie łupki miedzionośne (Oszczepalski i in., 2016a), strefę kontaktu bloków górnośląskiego i małopolskiego (Mikulski S.Z. i in., 2015a), bałtyckie piaski (Mikulski S.Z. i in., 2016a) i konkrety Fe-Mn południowego Bałtyku (Szamałek i in., 2018). Badania wykazały, że zawartość REE w tych utworach jest na poziomie lub nieznacznie powyżej tła geochemicznego poszczególnych rodzajów badanych skał.

8.7.7. Ocena zasobów i ich zmian

W Polsce nie występują udokumentowane złoża REE (Wołkowicz S. i in., 2015, 2016b).

8.7.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Polska jest krajem dobrze rozpoznanym pod względem możliwości występowania złóż REE.

W podłożu krystalicznym Polski północno-wschodniej występują intruzje skał ultrazasadowych z żyłami karbonatytowymi i sjenitów alkalicznych (intruzje Tajna, Elku i Mławy), czyli skały, w których na świecie występują złoża REE, lecz z uwagi na głębokość ich występowania, jak również niską oraz zmienną zawartość REE, obszar ten nie może być brany pod uwagę jako potencjalnie złożowy.

Koncentracje REE stwierdzone w łupku miedzionośnym, konkrety Fe-Mn i piaskach plażowych Bałtyku są na poziomie tła geochemicznego, dlatego też utwory te nie są perspektywiczne jako potencjalne źródła REE. Rekomendowane może być jedynie przeprowadzenie prac weryfikacyjnych na obszarach, na których dotychczas stwierdzono występowanie rud pierwiastków ziem rzadkich i toru, w rejonie Szklarskiej Poręby i Markocic (Mikulski S.Z. i in., 2014).

Potencjał surowcowy wykazują antropogeniczne nagromadzenia REE w fosfogipsach powstałych po przeróbce fosforytów i apatytów (składowiska w Wizowie, Wiślince i Policach), jednakże niezbędne jest wykonanie analizy ekonomicznej kompleksowego odzysku wszystkich surowców znajdujących się w odpadach. Składowisko w Wizowie zawiera 8,28 tys. Mg REE o koncentracji 0,69% REO (Paulo i Krzak, 2015, wraz z literaturą). Wykorzystanie tych odpadów spowodowałoby zmniejszenie negatywnego oddziaływania na środowisko tych obiektów.

8.8. RUDY ŻELAZA (*IRON ORES*)

Rudy żelaza występują w różnowiekowych formacjach geologicznych, od archaiku do neogenu, w nagromadzeniach o różnej jakości i zasobności, w zależności od genezy i rodzaju skały macierzystej.

8.8.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Zgodnie z klasyfikacją złóż rud żelaza wyróżnia się następujące typy genetyczne (Bolewski, 1979; Gruszczyk, 1984; Paulo i Strzelska-Smakowska, 1993; Gabzdyl, 1999; Arndt i in., 2015; Charlier i in., 2015; Paulo i Krzak, 2018):

- magmowe,
- osadowe,
- kontaktowo-metasomatyczne,
- metamorficzne,
- wietrzeniowe.

Najwyższą zawartość żelaza (nawet do 70%) mają rudy zbudowane z magnetytu i hematytu, występujące w skałach magmowych lub metamorficznych. Znacznie mniej zasobne są limonity i syderyty występujące w skałach osadowych.

Magmowe złoża rud Fe-Ti-V (*Fe-Ti-V ore deposits*) i złoża tlenkowo-apatytowe (*iron oxide apatite – IOA*) zawierają ekonomiczne zasoby żelaza, tytanu, wanadu oraz fosforu związane z anortozytami typu masywowego i pokrewnymi skałami facji MCG (mangeryt–czarnockit–granit rapakiwi), występującymi w magmowych formacjach proterozoicznych. Złoża magmowe rud żelaza pojawiają się głównie w obrębie kratonów prekambryjskich Kanady, Skandynawii, Ukrainy, Brazylii, Afryki i Australii. Rudy żelaza z tytanem i wanadem są stowarzyszone z masywami anortozytowymi, jak np. złożo Lac Tio w Kanadzie, złożo Tellnes w Norwegii lub złożo Taberg w Szwecji. Duże znaczenie ekonomiczne mają magmowe, iniekcyjne złoża magnetytowo-apatytowe. Doskonałym ich przykładem są wielkie złoża północnej Szwecji – Kiruna i Gällivare. Złoża te występują w skałach zmetamorfizowanych w formie wielkich ciał rudnych w postaci płyt, żył lub soczew. Złożo Kiruna jest światowym unikatem o zasobach ok. 2 mld Mg rud magnetytowych, zawierających od 58 do 70% Fe, zgromadzonych na obszarze ok. 30 ha. Roczne wydobycie rud z tego złoża wynosi 20 mln Mg rudy. Podobne złoża magmowe występują w Rosji na Uralu, w Armenii i USA.

Znajomość procesów geochemicznych i mechanizmów powstawania złóż ilmenitu, magnetytu i apatytu jest kluczowa dla zastosowania odpowiednich technologii wydobycia i przetwarzania rudy. Obecnie złoża rud Fe-Ti, z których nie można tanio otrzymać koncentratów zawierających ponad 50% Fe, tracą znaczenie ekonomiczne. Do przewozów długodystansowych kwalifikują się rudy i spieki zawierające ponad 60% Fe.

Osadowe złoża żelaza (*sedimentary iron deposits*) miały największe znaczenie wśród złóż żelaza i historycznie większość wydobywanych rud żelaza pochodziła właśnie ze złóż osadowych. Złoża tego typu mają formę pokładową, rzadziej soczewkową i występują w formacjach syluru, jury, kredy i neogenu. Wymiary złóż są zróżnicowane. Wiele pokładów rozciąga się na długości kilkudziesięciu, a niekiedy kilkuset kilometrów, zaś miąższość serii rudonośnych osiąga od kilkudziesięciu do nawet 100 m. Miąższość poszczególnych pokładów waha się od kilkunastu centymetrów do nawet kilku metrów. Udział złóż tego typu w wydobyciu światowym rud żelaza w połowie XX w. oceniano na 25%; obecnie jest niski. Osadowe złoża żelaza występują m.in. w USA – Clinton (Appalachy), w Wielkiej Brytanii (Cleveland), we Francji (Lotaryngia), w Rosji oraz w Australii (Robe River).

Procesy sedymentacyjne (w szerokim tego słowa znaczeniu) obejmują procesy wietrzenia i przemiany materii rudnej, takie jak wtórne wzbogacenie, redystrybucja w strefach wietrzeniowych, mobilizacja, redepozycja w skorupie kontynentalnej, akumulacja w różnych strefach (np. jeziora i rzeki) i wreszcie nagromadzenia w basenach finalnych (morzach i oceanach). Wyróżnia się dwa główne typy złóż osadowych:

- wstęgowe formacje żelaza (*banded iron formation – BIF*), o największym znaczeniu ekonomicznym;
- morskie formacje żelaza oolitowego – typu Minette (Europa) lub Clinton (USA).

Wstęgowe rudy żelaziste charakteryzują się naprzemiennym warstwowaniem lub laminacją tlenkami żelaza (hematytu lub magnetytu), siarczków lub węglanów żelaza (np. syderytu), przedzielonych warstewkami czertów lub utworów wulkanogenicznych. Poszczególne warstwy mogą mieć grubość zaledwie 0,5 mm. Są to skały występujące przeważnie w prekambrze, od archaiku po proterozoik (1,9–3,5 mld lat). Większość

z tych skał została sfaldowana lub zmetamorfizowana i tworzy pokłady jaspilitów i takonitów. Wyróżniono dwa odmienne typy złóż BIF: typu Jeziora Superior, występujące w Kanadzie (wieku 1,8–2,7 mld lat), i typu Algoma, znane z Liberii i zachodniej Australii (od kilkuset milionów do 3,8 mld lat), różniące się nieco składem mineralnym i genezą.

Złoża kontaktowo-metasomatyczne występują na kontakcie średnio kwaśnych skał (np. granodiorytów) ze skałami węglanowymi lub tufami. Mają postać gniazd, pni i nieregularnych wkładek rozmaitej grubości, powtarzających się w seriach wapieni. Udział tych złóż w światowej produkcji żelaza wynosi ok. 3%. Główne miejsca występowania i wydobywania tego typu złóż żelaza to Rosja (rejon Magnitogorska), USA (Nowy Meksyk, Utah), Maroko, Japonia, Rumunia.

Złoża metamorficzne kwarcytów żelazistych (jaspilitów, itabirytów, takonitów) należą do największych światowych złóż rud żelaza – mają ponad 35% udziału w światowych zasobach tego surowca. Najlepiej poznane i od dawna eksploatowane złożo kwarcytów żelazistych występuje na Ukrainie w rejonie Krzywego Rogu. Głównymi minerałami rudnymi są magnetyt, hematyt i martyt, zawierające około 70% żelaza. Podobne złoża są eksploatowane w Rosji na Półwyspie Kolskim oraz koło Kurska, nad Jeziorem Górnym w USA, w Kanadzie (Labrador), w Brazylii, w Indiach, w RPA, w Australii i w Chinach (Mandżuria).

Wietrzeniowe złoża żelaza mają podrzędne znaczenie gospodarcze i są związane z ultrazasadowymi i zasadowymi skałami oraz ze strefami utleniania złóż siarczkowych. Występują w strefach klimatu ciepłego i wilgotnego. Rudę tworzą głównie uwodnione tlenki żelaza: hematyt, goetyt i lepidocrokit. Złoża mają przeważnie formy soczewkowe i gniazdowe i zawierają od 35 do 60% Fe z domieszkami siarki i fosforu. W większych nagromadzeniach występują w Rosji na Uralu (prawie bez domieszek S i P), na Kubie, w Indonezji, w USA i na Filipinach. Do złóż wietrzeniowych zalicza się **darniowe złoża rud żelaza** (*bog iron ores, ochre*), które tworzyły się w wyniku procesów biochemicznych na mało urozmaiconych morfologicznie, podmokłych terenach, głównie w strefie klimatu umiarkowanego. Występują tuż pod powierzchnią ziemi w formie okruchowej (rudy kawałkowe) lub sypkiej (rudy miałkie) i są kopaliną odnawialną. Do niedawna uważano, że głównym składnikiem rud darniowych jest limonit, jednak prowadzone w ostatnich latach badania wykazały, że w składzie mineralnym rud darniowych dominują skrytokrystaliczne tlenowodorotlenki, wodorotlenki i tlenki żelaza, a podrzędnie pojawiają się substancja organiczna, amorficzne tlenki manganu, minerały węglanowe i fosforanowe (Brański, 2011a; zob. też rozdz. 12.4).

8.8.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Według najnowszych raportów USGS wystarczalność światowych zasobów przemysłowych rud żelaza to niemal 80 lat. Zasoby geologiczne są szacowane na 800 mld Mg rudy, zawierających ponad 230 mld Mg żelaza, co powinno zapewnić podaż rud i koncentratów przez ponad 240 lat (Krzak i Paulo, 2017).

Obecnie udokumentowane zasoby rud żelaza w Polsce występują jedynie w trzech złożach, przy czym dwa z nich to złoża magmowe formacji Fe-Ti-V z pozabilansowymi zasobami Fe, a jedno to złożo rud darniowych, które przeznaczone jest do innych zastosowań niż metalurgia żelaza (Malon i in., 2019).

8.8.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Kryteria bilansowości i/lub przemysłowości złóż rud żelaza są opracowywane dla konkretnych obiektów i są bardzo zróżnicowane regionalnie. Uwzględniają one zazwyczaj następujące parametry:

- minimalna średnia zawartość w złożu: 27–55% Fe, w rudach kompleksowych Fe-V – 15–16% (20–22% magnetytu, który zawiera ponad 0,25% V_2O_5);
- brzeżna zawartość Fe:
 - kwarcyty magnetytowe 20–25%, w Indiach 38%;
 - inne rudy magnetytowe (Fe-P, Fe-Ti-V) 15–30%;
 - kwarcyty hematytowe 35–50%;
 - inne rudy hematytowe 30–45%, w Indiach >60%;
 - rudy syderytowe (w tym Fe-Mn) 22–30%;
 - rudy limonitowe 30–35%;
- minimalna miąższość ciała rudnego 2–10 m;
- maksymalna miąższość przewarstwień płonnych lub rud pozabilansowych;
- minimalna wielkość zasobów 50–1000 mln Mg rudy (20–200 mln Mg uzyskiwalnego Fe);
- maksymalna głębokość występowania zasobów: zwykle 150–1200 m.

Obecnie w Polsce nie występują zasoby żelaza uznane za bilansowe zgodnie z kryteriami określonymi w *Rozporządzeniu...* (2015a; tab. 8.22; Krzak i Paulo, 2017).

Tab. 8.22. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża żelaza i ich granice (*Rozporządzenie...*, 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Magmowe rud żelaza, tytanu i wanadu typu suwalskiego		
Maksymalna głębokość dokumentowania	m	1500
Minimalna miąższość strefy rudnej	m	2,0
Minimalna zawartość ekwiwalentna wanadu (jako V_2O_5) z uwzględnieniem zawartości tytanu (jako TiO_2) w próbce konturującej złoża ($(V_2O_5)_e = (\%V_2O_5) = 0,0188 (TiO_2)$)	%	0,6
Minimalna średnia ważona zawartość ekwiwalentna wanadu ($(V_2O_5)_e$) w profilu złoża rudnego wraz z przerostami	%	0,6
Rudy żelaza typu osadowego		
Maksymalna głębokość dokumentowania	m	500
Minimalna średnia ważona zawartość żelaza (Fe) w profilu złoża wraz z przerostami	%	25
Minimalna zasobność złoża	Mg/m ²	2,5

8.8.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Obecne kryteria wyznaczania złóż perspektywicznych dla złóż magmowych Fe-Ti-V przedstawiono w tab. 8.22. Podobnie wygląda sytuacja w przypadku złóż osadowych w rejonie Częstochowy, Zawiercia, Końskich i Starachowic, gdzie wartości parametrów definiujących złoża są niższe niż graniczne i nie spełniają wymaganych założeń zasobowych.

W suwalskim proterozoicznym masywie zasadowym występują złoża magmowe Fe-Ti-V, jednak ewentualna ich eksploatacja jest oceniana jako wybitnie konfliktowa ze względu na występowanie złóż w granicach Suwalskiego Parku Krajobrazowego oraz obszarów Natura 2000. Można natomiast sprawdzić, czy zasoby zaliczone do pozabilansowych nie zasługują na przekwalifikowanie, tj. sprawdzić, według jakich kryteriów były wyliczone i czy te kryteria nie powinny zostać uaktualnione.

8.8.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Polskie złoża rud żelaza są zaliczane do złóż typu magmowego, osadowego i wietrzeniowego. Duże zasoby rud żelaza pochodzenia magmowego, tytanomagnetytu z wanadem (rudy Fe-Ti-V), występujące w anortozytowo-norytowych skałach zasadowych, odkryto w rejonie Suwałk i udokumentowano w latach 70. XX w. na głębokości 850–2300 m. Rudy suwalskie są zbudowane z tlenków Fe-Ti i reprezentują dwie serie rozтворów stałych: magnetyt-ulwöspinel i ilmenit-hematyt, w zależności od warunków utlenienia oraz ciśnienia i temperatury w ferrolitach i skałach macierzystych. Głównymi minerałami rud są ubogi w wanad tytanomagnetyt z licznymi produktami odmieszania rozтворów stałych, któremu towarzyszy jednorodny ilmenit i spinel glinowy – pleonast. Stosunek magnetytu do ilmenitu w rudach wynosi od 3:1 do 6:1. Większość pokładów i soczew rudnych zapada w kierunku SW pod kątem 45°. Minerały rudne w skałach macierzystych to hemoilmenit i magnetyt bez odmieszania, są one równomiernie rozproszone. Stosunek między tymi dwiema fazami wynosi prawie 1:1.

Dla złóż Fe typu magmowego w Polsce w 1996 r. na nowo opracowano i przyjęto kryteria bilansowości i na ich podstawie zasoby złoża Krzemianka i Udryń zakwalifikowano wówczas do pozabilansowych ze względu na niskie zawartości metali, a głównie wanadu (średnio w złożu 0,26–0,31% V_2O_5). Z uwagi na

znaczną głębokość zalegania oraz ochronę środowiska naturalnego nie podjęto eksploatacji (Wiszniewska, 2002; Wiszniewska i in., 2018; Oszczepalski i in., 2018). Złoża Fe-Ti-V na Suwalszczyźnie należy traktować jako interesujący obiekt geologiczny bez znaczenia praktycznego.

Osadowe rudy żelaza, które występują pomiędzy Kłobuckiem, Częstochową a Zawierciem w środkowej jurze, po kilku wiekach eksploatacji nie są obecnie wydobywane.

W rejonie świętokrzyskim wyróżniono złoża paleozoiczne i mezozoiczne. Oolity i szamozyty paleozoiczne występują w dewonie (okolice Miedziana Góra – Dąbrowa i Daleszyce–Łagów) i nie są eksploatowane ze względu na małe zasoby, zaś rudy jurajskie z północy i NE Gór Świętokrzyskich eksploatowano do niedawna przede wszystkim w strefie Końskie–Starachowice. Głównymi rudami były tam tzw. żelaziak ilasty, czyli syderyt zawierający 20–37% Fe (średnio 22,3% Fe), oraz łatwo wzbogacalne, lecz „kwaśne” piaski żelaziste (o miąższości pokładów 10–13 m, ale zawierające przeciętnie 16,6–17,6% Fe, zatem też nie spełniające kryteriów bilansowości). Podobnie jak w przypadku rud paleozoicznych, ich eksploatację uznano za nieopłacalną.

Stopień rozpoznania zasobów i stan zagospodarowania złóż rud Fe w Polsce zestawiono w tabeli 8.23.

Tab. 8.23. Udokumentowane złoża rud żelaza typu magmowego w Polsce (Malon i in., 2019)

Nazwa złoża	Stan zagospodarowania złoża	Zasoby geologiczne [tys. Mg]	
		bilansowe	pozabilansowe
Krzemianka	R	–	1 076 600,0 78 200,0 3400,0 314 900,0
Udryn	P	–	263 500,0 19 500,0 700,0 73 300,0
Razem		–	1 340 100,0 97 700,0 4100,0 388 200,0

P – złożo o zasobach rozpoznanych wstępnie (w kat. C₂+D), R – złożo o zasobach rozpoznanych szczegółowo (w kat. A+B+C₁)

8.8.6. Stan rozpoznania geologicznego

Analiza stanu rozpoznania geologicznego Polski i ocena zasobowa rud żelaza wskazuje, że do niedawna wydobywane osadowe złoża rud żelaza z rejonu częstochowskiego i obrzeżenia Gór Świętokrzyskich utraciły znaczenie ze względu na wzrost wymagań względem wsadu BOF, CSC i EAF (Krzak i Paulo, 2017).

Udokumentowane złoża magmowe Fe-Ti-V na Suwalszczyźnie, występujące w obrębie platformy wschodnioeuropejskiej, z uwagi na głębokość ich występowania, oraz walory środowiskowe obszaru Suwalszczyzny, nie mogą być aktualnie uznane za interesujące złożowo (Nieć, 2003a; Smakowski i in., 2015; Malon i in., 2019; Wiszniewska i in., 2018).

8.8.7. Ocena zasobów i ich zmian

Polska ma udokumentowane zasoby złóż rud żelaza pochodzenia magmowego, występujące na znacznej głębokości (850–1000 m), które warunkowo można uznać jako perspektywiczne w dalszej przyszłości, przy zastosowaniu nowoczesnych technologii wydobywczych, niekolidujących z ochroną środowiska, szczególnie w rejonie Suwalskiego Parku Krajobrazowego (Nieć, 2003a; Wiszniewska i in., 2018).

Wystąpienia osadowych rud żelaza zostały skreślone z krajowego bilansu zasobów kopalin w 1994 r., gdyż parametry tych złóż nie spełniały warunków dla rud bilansowych.

Z weryfikacji przeprowadzonej w latach 1996–1998 wynika, że obecnie realne zasoby rud darniowych w całej Polsce są niewielkie i wynoszą nieco ponad 500 tys. Mg. Trudne do liczbowego określenia, aczkolwiek realne perspektywy można też wiązać z bardzo słabo zbadanym obszarem północno-zachodniej Polski, a zwłaszcza województwami zachodniopomorskim i lubuskim. Pod koniec lat 60. XX w. projektowano tam prace poszukiwawcze, których nigdy nie zrealizowano (Brański, 2011a).

8.8.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Polska jest krajem z dobrym rozpoznaniem geologicznym pod względem możliwości występowania złóż rud żelaza, zarówno typu magmowego, osadowego, jak i wietrzeniowego.

W podłożu krystalicznym północno-wschodniej Polski występują intruzje skał zasadowych, anortozyto-wo-norytowych, z bogatą mineralizacją żelazowo-tytanową z wanadem, lecz z uwagi na głębokość ich występowania i niskie zawartości domieszek Ti-V obszar ten nie jest obecnie brany pod uwagę jako źródło rud żelaza, tytanu i wanadu.

Ze względu na dobre rozpoznanie rud żelaza w Polsce oraz niespełnianie przez nie kryteriów bilansowości nie rekomenduje się żadnych nowych prac geologicznych.



9. KOPALINY CHEMICZNE

pod redakcją Grzegorza Czapowskiego

Cezary Sroga

9.1. BARYT (*BARITE, BARYTE*) I FLUORYT (*FLUORITE, FLUORSPAR*)

9.1.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Baryt (siarczan baru BaSO_4) i fluoryt (fluorek wapnia CaF_2) występują najczęściej we wspólnej paragenizie mineralnej, a w złożach żyłowych są kopalinami współwystępującymi, dlatego w większości krajowych opracowań surowcowych są omawiane łącznie. W Polsce złoża barytu i barytowo-fluorytowe występują głównie na Dolnym Śląsku, a także w regionie świętokrzyskim. Dotychczas nie rozpoznano samodzielnych złóż fluorytu o znaczeniu ekonomicznym. Złoża i wystąpienia w Sudetach są związane z różnowiekowymi procesami hydrotermalnymi i metasomatycznymi (podrzednie hipergenicznymi) w strefach tektonicznych z reguły o głębokich założeniach (Paulo, 1973; Jerzmański, 1976, 1982). Z kolei wystąpienia barytu w Górach Świętokrzyskich są związane przede wszystkim z endogeniczną (hydrotermalną) mineralizacją kruszcową, a także z mineralizacją egzogeniczną: osadowo-katageniczną i wietrzeniową (Pawłowska J., 1970b, 1987; Rubinowski, 1970, 1993).

Różnorodność form występowania barytu i fluorytu utrudnia wypracowanie jednolitego podziału genetycznego mineralizacji barytowo-fluorytowej. W regionie dolnośląskim nadal aktualny jest podział tej mineralizacji na wcześniej wyróżnione formacje złożowe: charakterystyczne typy złóż i wystąpień o określonym składzie chemicznym, podobnych cechach morfogenetycznych i zbliżonych warunkach powstawania (Sroga, 2011a). Wyróżnia się tu trzy grupy formacji: polimetaliczno-barytowo-fluorytową, pierwiastków rzadkich z fluorytem oraz barytu i fluorytu. W pierwszej grupie, najistotniejszej ze złożowego punktu widzenia, wydzielono formację barytowo-fluorytową (złoża: Stanisławów i Jeżów Sudecki – fig. 9.1), formację barytowo-kwarcową (złoża: Boguszów i Głuszyca), formację barytowo-węglanową (Jedlinka, Srebrna Góra) i for-

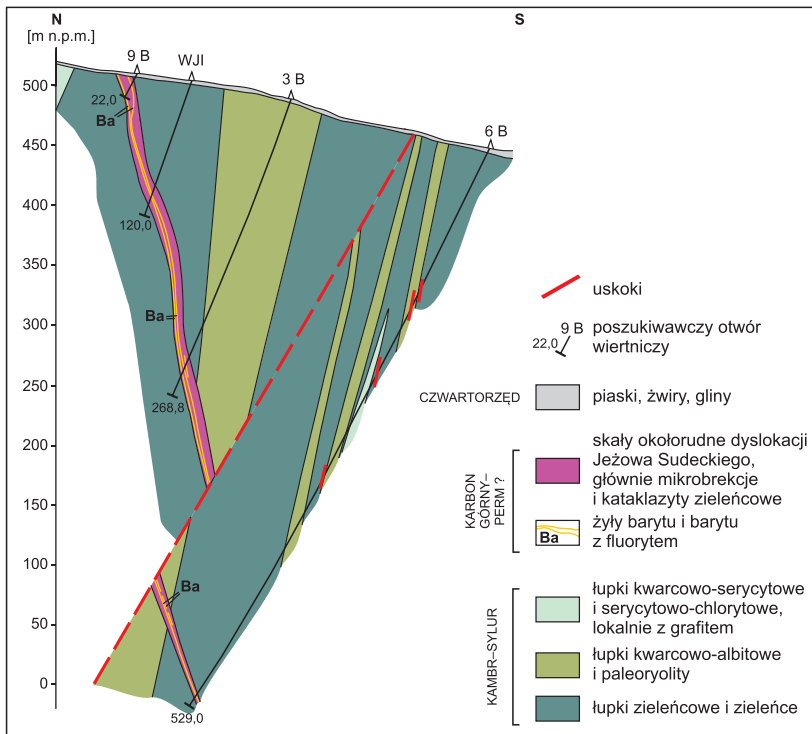


Fig. 9.1. Schematyczny przekrój przez złożo barytu z fluorytem Jeżów Sudecki (wg Srogi i in., 2018)

mację fluorytowo-kwarcową (Kletno, Śnieżnik Kłodzki). Wszystkie formacje tej grupy są związane z procesami hydrotermalnymi niskich i średnich temperatur. Do grupy formacji pierwiastków rzadkich z fluorytem należy formacja łyszczykowo-fluorytowa, reprezentowana przez liczne wystąpienia fluorytu na bloku iżerskim, związane z procesami pneumatolizy i metasomatozy. Z kolei grupa formacji barytu i fluorytu obejmuje monomineralne wystąpienia barytowe i fluorytowe oraz barytowo-fluorytowe o genezie katagenicznie-sekrecyjnej i infiltracyjnej (wystąpienia: Leszczyna, Kopaniec i Mała Kamienica – Jerzmański, 1982, 1987).

9.1.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Światowe zasoby wydobywalne barytu są oceniane na ok. 740 mln Mg. Większość z nich znajduje się w Azji. Podaż barytu jest ściśle związana z intensywnością poszukiwań i eksploatacji złóż ropy i gazu, gdyż 85–95% światowej produkcji barytu jest zużywane w wiertnictwie (USGS, 2019). W ostatnich latach nastąpiła stabilizacja światowej produkcji barytu na poziomie ok. 9 mln Mg/rok, co zapewnia wystarczalność zasobów na ok. 80 lat. Największym producentem barytu są Chiny i Indie. Z kolei światowe zasoby fluorytu są szacowane na ok. 310 mln Mg. Produkcja fluorytu ustabilizowała się w ostatnich latach na poziomie 6–7 mln Mg/rok, co zapewnia wystarczalność zasobów na ok. 50 lat. Pod względem podaży fluorytu dominują Chiny i Meksyk, które dostarczają ponad 80% tej kopaliny na rynek światowy (USGS, 2019).

Krajowe zasoby barytu i fluorytu według stanu na 31.12.2018 r. i ich rozmieszczenie ilustruje tabela 9.1.

W Polsce do 1997 r. baryt z fluorytem wydobywano sposobem podziemnym w dwóch dolnośląskich złożach – Stanisławów i Boguszów, a koncentrat barytowy produkowano w zakładzie wzbogacania w Boguszowie-Gorcach. Fluoryt nigdy nie był w Polsce wykorzystywany gospodarczo. Wydobycia zaniechano w 1998 r., a mączki barytowe produkowano do 2008 r. z wykorzystaniem materiału odpadowego ze stawów osadowych (Sroga, 2011a). Całość zapotrzebowania na baryt i fluoryt jest więc w ostatnich latach pokrywana z importu. Krajowe zużycie barytu wykazuje silne fluktuacje i jest uwarunkowane popytem na mączki barytowe dla wiertnictwa. Biorąc pod uwagę przeciętne roczne zużycie barytu w ilości ok. 10–15 tys. Mg, można określić potencjalną wystarczalność jego krajowych zasobów geologicznych na ok. 450–650 lat. Import (i zużycie) fluorytu kształtuje się w Polsce na ok. 10 tys. Mg rocznie. Biorąc pod uwagę zasoby fluorytu w nieczynnych złożach, można ich wystarczalność określić na ok. 60 lat.

Tab. 9.1. Krajowe zasoby geologiczne barytu i fluorytu (Bońda, 2019c)

Nazwa złoża	Zasoby [tys. Mg]	
	bilansowe	pozabilansowe
Baryt		
Boguszów	–	663
Jedlinka	37	80
Jeźów Sudecki	364	–
Stanisławów	5156	142
Strawczynek	110	–
Razem	5667	885
Fluoryt		
Jeźów Sudecki	–	61
Stanisławów	542	–
Razem	542	61

9.1.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

O jakości kopaliny i możliwościach jej wykorzystania decyduje udział dwóch głównych składników użytecznych: barytu i fluorytu. Na podstawie wzajemnego stosunku ilościowego CaF_2 do BaSO_4 w złożu (k) wyróżnia się: złoża barytu ($k < 0,5$), barytowo-fluorytowe ($k = 0,5–1,5$) i fluorytu ($k > 1,5$). Jako domieszki

w kopalinie występują siarczki Pb-Zn, a także niepożądane siarczki Cu i Fe, tlenki i wodorotlenki Mn i Fe oraz węglany i kwarc. Obowiązujące kryteria bilansowości dla poszczególnych rodzajów złóż wprowadzono *Rozporządzeniem...* (2015a; tab. 9.2)

Tab. 9.2. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża barytu i fluorytu i ich granice
(*Rozporządzenie...*, 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Złoże barytu		
Maksymalna głębokość dokumentowania	m	500
Minimalna średnia zawartość BaSO ₄ w profilu złoża	%	50
Minimalna zasobność złoża (BaSO ₄)	m%	30
Stosunek wagowy CaF ₂ /BaSO ₄	–	<0,5
Złoże barytowo-fluorytowe		
Maksymalna głębokość dokumentowania	m	500
Minimalna średnia zawartość CaF ₂ w profilu złoża	%	15
Minimalna ekwiwalentna zawartość (BaSO ₄) _e z uwzględnieniem zawartości CaF ₂ w profilu złoża (BaSO ₄) _e = BaSO ₄ + CaF ₂	%	50
Minimalna zasobność złoża [(BaSO ₄) _e]	m%	30
Stosunek wagowy CaF ₂ /BaSO ₄	–	0,5–1,5
Złoże fluorytu		
Maksymalna głębokość dokumentowania	m	500
Minimalna średnia zawartość CaF ₂	%	20
Minimalna zasobność złoża (CaF ₂)	m%	30
Stosunek wagowy CaF ₂ /BaSO ₄	–	>1,5

9.1.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Autor nie widzi merytorycznej potrzeby stosowania innych kryteriów niż wskazane w rozdziale 9.1.3

9.1.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych i stan ich rozpoznania

Stan rozpoznania zasobów prognostycznych i perspektywicznych barytu i fluorytu w Polsce w ostatnim dziesięcioleciu nie zmienił się. Zasoby prognostyczne zarówno barytu, jak i fluorytu występują wyłącznie w regionie sudeckim i niemal wszystkie są związane z najbliższym otoczeniem eksploatowanych dawniej złóż. Z kolei zdecydowana większość zasobów perspektywicznych barytu występuje w sąsiedztwie zaniechanego złoża Strawczynek w regionie świętokrzyskim (Sroga, 2011a).

Na Dolnym Śląsku jako najbardziej perspektywiczną wskazano grupę formacji polimetaliczno-barytowo-fluorytową, co zostało potwierdzone późniejszymi pracami geologiczno-złożowymi i wynikami ostatniej analizy metalogenicznej dla tego regionu (Cwojdzinski i in., 2008).

Do obszarów prognostycznych można zaliczyć otoczenie udokumentowanych złóż: Stanisławów, Jeżów Sudecki i Głuszycza, a do perspektywicznych – otoczenie złoża Jedlinka i rejon Kletno-Śnieżnik (tab. 9.3).

Obszar prognostyczny w Stanisławowie wyznaczono w SE części złoża, w jego głębszych poziomach. Wiązkę żył barytowych i barytowo-fluorytowych rozpoznano wierceniami do głębokości ok. 1000 m, a ciągłość złoża potwierdzono do głębokości 650–800 m. Mineralizacja jest związana z wielokrotnie odnawianą

Tab. 9.3. Zasoby prognostyczne i perspektywiczne barytu i fluorytu w Polsce

Nazwa obszaru	Zasoby [tys. Mg]	
	prognostyczne	perspektywiczne
Baryt		
Woj. dolnośląskie		
Stanisławów	2090	–
Jeżów Sudecki	300	–
Głuszycza	100	–
Jedlina-Zdrój	–	100
Woj. świętokrzyskie		
Strawczynek II	–	1570
Razem	2490	1670
Fluoryt		
Woj. dolnośląskie		
Stanisławów	242	–
Jeżów Sudecki	50	–
Kletno-Śnieżnik	–	100
Razem	292	100

drugorzędną strefą uskokową o przebiegu NW-SE, wzdłuż tzw. dyslokacji parasudeckiej, w metałupkach i diabazach (Jerzmański, 1974). Udział fluorytu wzrasta wraz z głębokością i w żyłach towarzyszących głównej strefie mineralizacji. Zasoby kopaliny oszacowano dla sześciu żył (ekstrapolacja miąższości i jakości złoża z otworów brzeżnych dla poszczególnych rodzajów kopaliny). Zasoby prognostyczne kopaliny barytowej szacuje się na 2090 tys. Mg, przy zawartości BaSO_4 od 66,72 do 75,61%. Zasoby kopaliny barytowo-fluorytowej szacuje się na 141 tys. Mg przy zawartości BaSO_4 rzędu 40% i CaF_2 rzędu 25–30%. Zasoby kopaliny fluorytowej oszacowano na 242 tys. Mg, przy zawartości CaF_2 od 43,37 do 56,67% (Gałwa, 1999). Obszar prognostyczny w Jeżowie Sudeckim wyznaczono w zachodnim przedłużeniu złoża barytu z fluorytem. Mineralizacja występuje w obrębie równoleżnikowej dyslokacji, nawiązującej do przebiegu uskoku śródsudeckiego, w formie jednej (lokalnie dwóch) nieciągłej żyły i soczew (Szalamacha M., 1976b). Zasoby prognostyczne barytu szacuje się tu na 300 tys. Mg, a fluorytu na 50 tys. Mg, przy zawartości BaSO_4 od 18 do 99% i CaF_2 ok. 8%. Oba wystąpienia należą do formacji barytowo-fluorytowej.

Wzdłuż południowo-zachodniej strefy krawędziowej bloku Gór Sowich stwierdzono liczne przejawy dwóch typów mineralizacji: żyłowej barytowo-polimetalicznej w obrębie bloku sowiogórskiego i uranowej, rozproszonej i drobn żyłkowej w osadowych utworach depresji śródsudeckiej. Strefa ta ma charakter skomplikowanego systemu dyslokacyjnego. W rejonie Głuszycy wyznaczono obszar prognostyczny, który obejmuje całe niezagospodarowane złożo barytu Głuszycza (jego niewielkie zasoby w ilości 15 tys. Mg zaliczono do pozabilansowych), wraz z przedłużeniem złoża po biegu i upadzie. Żyły stanowią wypełnienie systemu szczelin dyslokacyjnych niższego rzędu o przebiegu NW-SE. Do głębokości 20 m na podstawie robót górniczych stwierdzono istnienie ośmiu żył i ich odgałęzień o biegu w granicach $290\text{--}350^\circ$ i kącie upadu od 50° do pionowego. Długość wychodni wynosi do 220 m, grubość żył jest zmienna (0,1–1,6 m). Średnia zawartość BaSO_4 wynosi 84,78%, a zawartość Fe_2O_3 jest stosunkowo niska (śr. 4,58%). W otoczeniu występują gnejsy, a także mylonity gnejsowe, leptyty, granity i żyły pegmatytowe. Łupinę żył stanowią brekcja oraz czarne iły. Zasoby prognostyczne oszacowano na 100 tys. Mg (Birkenmajer-Geringer, 1964). Wystąpienie należy do formacji barytowo-kwarcowej.

Obszar perspektywiczny w rejonie Jedliny-Zdroju wyznaczono na północnym przedłużeniu złoża barytu Jedlinka. Strefa mineralizacji, o szerokości kilkunastu metrów i długości 900 m, obejmuje dwie żyły – tzw. środkową i północną – o generalnym przebiegu NW-SE. Stanowi ona wypełnienie szczeliny tektonicznej

pokrywającej się z przebiegiem uskoku śródsudeckiego (tzw. dyslokacja Szczawno-Głuszyca). Żyła środkowa o długości kilkuset metrów jest nieciągła i ma zmienną grubość; jej bieg wynosi 150–160°, upad ok. 60° ku NE. Żyła północna – eksploatowana przed II wojną światową – na wielu odcinkach jest ślepa. Jej maksymalna grubość (3 m) została stwierdzona na głębokości 25 m, przeciętnie wynosi 1,2 m; bieg żyły wynosi 140–160°, upad 60° ku NE. Skały otaczające to gnejsy, żyła porfiry i skała porfirowo-kwarcowa. Strefa dyslokacyjna wypełniona jest czarnym i wiśniowym iłem, ankerytem (dolomitom), kwarcem, barytem i kalcytem. Średnia zawartość BaSO_4 w złożu wynosi 60% (Benko, 1961) i jest określona z dużym przybliżeniem. Zasoby perspektywiczne oszacowano na ok. 100 tys. Mg barytu. Wystąpienie to należy do formacji baryto-węglanowej (Jerzmański, 1987).

Pozostałe, choć liczne wystąpienia mineralizacji barytowej, będące obiektem prac badawczo-rozpoznawczych po II wojnie światowej, nie mają dziś żadnego znaczenia ekonomicznego. Część znanych żył została wyeksploatowana łącznie z mineralizacją kruszczową, np. żyły w Lubachowie, Bystrzycy Górnej, Przegorzałach, Dzieńmorowicach, Srebrnej Górze. Inne zostały zniszczone w czasie dawnych robót górniczych – np. żyły w Kamionkach koło Pieszc, w Zagórzu Śląskim, na wzgórzu Kokotna Łąka, w rejonie Jabłowa (Sroga, 2008). Do znaczniejszych, lecz słabo zbadanych, należy wystąpienie barytu w dolnopermskim ryolicie w Kwietnikach koło Bolkowa. Oprócz niewielkich gniazd barytu w ryolicie występują tam nieregularne żyły barytu, które tworzą strefę o szerokości 2 m i długości co najmniej 50 m (Paulo, 1973).

W obrębie grupy formacji polimetaliczno-baryto-fluorytowej znaczenie złożowe ma w Sudetach formacja fluorytowo-kwarcowa. Należy do niej złożowe wystąpienie fluorytu w Kletnie i pod Śnieżnikiem Kłodzkim (metamorfik Łądku i Śnieżnika). W Kletnie w strefie nasuniętej o kierunku NNW-SSE na kontakcie marmuru i gnejsu oraz w kwarcytach występuje okruszczowanie uranowe i polimetaliczne, z którym współwystępuje fluoryt w formie gniazd i żył w brekcji kwarcowej (Banaś, 1965). Rozmiary gniazd i żył miejscami są znaczne: do kilkudziesięciu metrów długości i 5 m grubości. Mineralizacja kwarcowo-fluorytowo-polimetaliczna śledzona była do głębokości ok. 260 m. Średnia zawartość CaF_2 w gniazdach wynosiła od 45,61 do 91,30% (miejscami do 99%). Z kolei mineralizacja fluorytowa na stoku Śnieżnika, stwierdzona w sztolni poszukiwawczej, rozwinięta jest w brekcji na kontakcie tektonicznym z gnejsami, w żyłach kwarcowej z fluorytem o długości 70 m i maksymalnej grubości 13 m. Fluoryt tworzy cienkie soczewy i gniazda do 30 cm średnicy, w których zawartość CaF_2 dochodzi do 80% (Przeniosło i Sylwestrzak, 1971). Oba wystąpienia tworzą obszar perspektywiczny wzdłuż strefy tektonicznej w obrębie gnejsów (tzw. nasunięcie Kletna), którego zasoby można określić na ok. 100 tys. Mg fluorytu (Jerzmański i Sroga, 1993).

Do grupy formacji monomineralnej (barytu) należy wystąpienie w Leszczynie, które ma jedynie znaczenie mineralogiczne. Niewielkie żyły i gniazda barytu o dużej czystości występują w zaburzonej tektonicznie strefie wapieni i dolomitów cechsztynu (Jerzmański i in., 1973). Podobne skupienia są znane z otworów wiertniczych rejonu Lubina i Polkowic na monoklinie przedsudeckiej, gdzie ta grupa formacji jest prawdopodobnie szerzej rozwinięta, lecz jest słabo zbadana. Powyższe względy nie pozwalają wyznaczyć w tych rejonach obszarów perspektywicznych.

Wystąpienia mineralizacji fluorytowej w Sudetach należące do grupy formacji pierwiastków rzadkich z fluorytem związane są z leukogranitami Pogórza Izerskiego (Pawłowska J., 1966). Zawartość fluorytu w skale jest mała, miejscami dochodzi do 23%. W wyniku próbnego wzbogacania uzyskiwano koncentraty o zawartości 99,6% CaF_2 . Formacja ta jest związana z przeobrażeniami metasomatycznie-hydrotermalnymi gnejsów izerskich. Ze względu na stosunkowo małe rozmiary skupień fluorytowych nie można jej traktować jako perspektywicznej, a jedynie jako hipotetyczną, bez określania zasobów.

Spośród licznych, lecz punktowych wystąpień mineralizacji fluorytowej związanej z grupą formacji fluorytowej żadne nie ma dziś znaczenia przemysłowego ani nie może stanowić obszaru prognostycznego czy też perspektywicznego. Przesądza o tym zbytne rozproszenie mineralizacji, np. fluoryt akcesoryczny w strefach grejzenizacji w okolicach Mirska, bądź też całkowite wyeksploatowanie kopaliny, np. mineralizacja uranowo-polimetaliczna w żyłach fluorytowych w dawnej kopalni Rübezahle koło Kowar (Cwojdzinski i in., 2008).

W Górach Świętokrzyskich złoża barytu są całkowicie wyeksploatowane, za wyjątkiem Strawczynka, gdzie znajdują się jeszcze znaczne zasoby niskoprocentowej kopaliny. W rejonie Strawczynek II zasoby pozabilansowe barytu do głębokości ok. 150 m oszacowano na 1570 tys. Mg, przy grubości stref zmineralizowanych od 1,7 do 20,4 m i średniej zawartości BaSO_4 28% (Kozłowski S. i in., 1966; Rubinowski, 1993). Wykorzystanie kopaliny jest możliwe po odpowiednim wzbogaceniu. Przy średniej zawartości barytu w nadawie 15%, po wieloetapowej przeróbce uzyskano koncentrat o zawartości ok. 65%, lecz koszty wzbogacania czynią cały proces nierentownym (Kozłowski S. i Gawlik, 1970). Tym niemniej zasoby pozabilansowe tego rejonu należy rozpatrywać obecnie jako perspektywiczne.

9.1.6. Ocena zasobów i ich zmian

Stan krajowych zasobów barytu i fluorytu nie zmienił się w ciągu ostatnich 20 lat. Od 1998 r. nie prowadzi się wydobycia kopaliny, zlikwidowano kopalnię barytu w Boguszowie i Stanisławowie, a znaczną część zasobów przekwalifikowano do pozabilansowych. Nie prowadzono też żadnych prac poszukiwawczych i rozpoznawczych za barytem i fluorytem. Rozmieszczenie obszarów perspektywicznych występowania barytu i fluorytu w Polsce ilustruje załącznik 5.

9.1.7. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Wzrost popytu na mączkę barytową stosowaną w głębokich wierceniach (w tym w Polsce – przy poszukiwaniach gazu i ropy naftowej), a więc na surowiec o nieco obniżonej jakości, upoważnia do podjęcia prac studialnych nad wznowieniem krajowego górnictwa barytowego. W tym świetle najbardziej uzasadnione ekonomicznie wydaje się ponowne uruchomienie eksploatacji zaniechanego złoża Stanisławów – jednego z większych złóż w Europie (ok. 9 mln Mg rozpoznanych zasobów kopaliny barytowej, barytowo-fluorytowej i fluorytowej; w tym ponad 5 mln Mg bilansowego barytu). Perspektywy powiększenia zasobów barytu należy też wiązać z drugorzędnymi strefami tektonicznymi wzdłuż uskoku śródsudeckiego: w zachodnim przedłużeniu złoża Jezów Sudecki i w północnym przedłużeniu złoża Jedlinka (Sroga, 2011a). Jednakże w świetle zmian ekonomicznych, jakie zachodzą na światowym, a w konsekwencji na krajowym rynku chemicznych surowców mineralnych (utrata znaczenia kopaliny barytowej w przemyśle i stopniowe odchodzenie od wykorzystywania związków fluoru w gospodarce krajowej), coraz większego znaczenia dla oceny perspektyw nabierają uwarunkowania sozologiczne eksploatacji.

Andrzej Gąsiewicz

9.2. SIARKA, SIARKA RODZIMA (NATIVE SULPHUR)

9.2.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Polskie złoża siarki rodzimej (S^0) występują w południowej Polsce, w brzeżnej części zapadliska przedkarpackiego (fig. 9.2). Złoża znajdują się w południowej części synklinorium szczecińsko-miechowskiego (segment miechowski) i antyklinorium śródpolskiego (segment szydlowiecki – por. Żelaźniewicz i in., 2011). Historyczne miejsca eksploatacji siarki, a przede wszystkim większość istotnych gospodarczo złóż siarki odkrytych w drugiej połowie XX w., znajdują się w zapadlisku na odcinkuciągającym się od Krakowa po Tarnobrzeg. W brzeżnej strefie zapadliska występuje pięć dużych obszarów złożowych siarki różnej wielkości (fig. 9.2). Od wschodu na zachód są to kolejno obszary: Basznia, tarnobrzezski (największy), Osiek-Baranów Sandomierski, Rudniki (najmniejszy) i Grzybów. W rejonach tych znajduje się 15 złóż, których zasoby są wykazywane w kolejnych wydaniach *Bilansu zasobów* (np. Bońda, 2019d). Spośród wymienionych obszarów jedynie złożo Rudniki jest pojedynczym złożem siarki, pozostałe składają się z 2–7 złóż. W skład największego obszaru złożowego – tarnobrzezskiego – wchodzi następujące złoża: Piaseczno, Świniary, Machów I, Machów II, Grębów, Jeziórko-Grębów-Wydrza i Jamnica. W skład obszaru złożowego Osiek-Baranów Sandomierski wchodzi złoża Osiek i Baranów Sandomierski-Skopanie, a obszaru grzybowski – Grzybów-Gacki, Solec i Wola Żyzna, natomiast obszar złożowy Basznia tworzą złoża Basznia i Basznia-1.

Wszystkie złoża siarki rodzimej w Polsce są związane z bażeńskim poziomem ewaporatowym – serią chemiczną środkowego miocenu (Pawłowski i in., 1976, 1987). W tej części zapadliska przedkarpackiego charakterystycznymi i regionalnie rozległymi utworami, o miąższości dochodzącej do ok. 60 m, są różnie

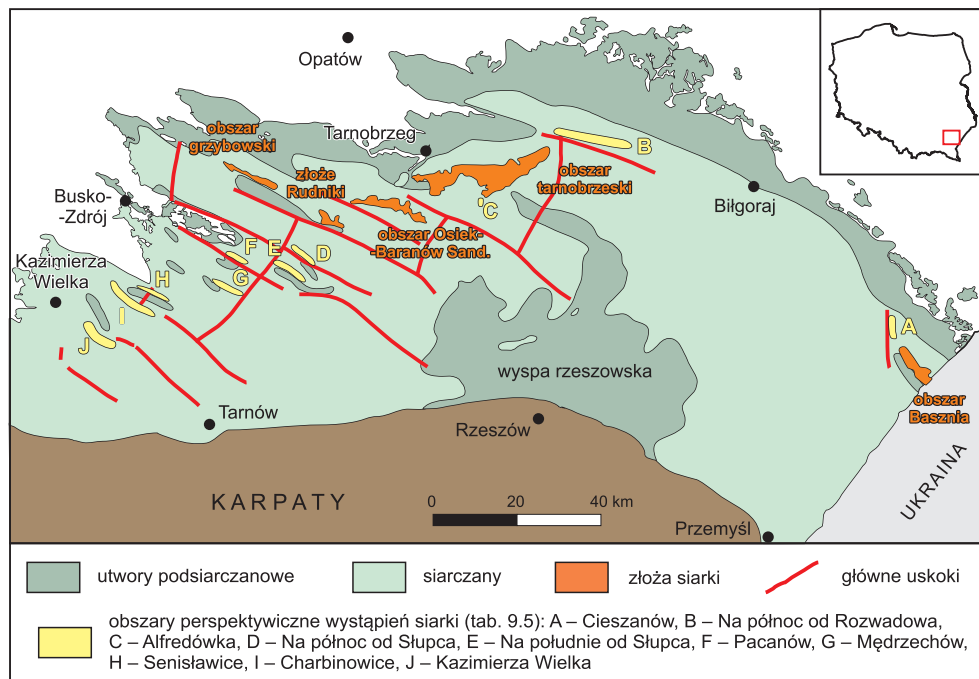


Fig. 9.2. Udokumentowane złoża i obszary perspektywiczne siarki rodzimej w zapadlisku przedkarpackim. Mapa zasięgu utworów miocenijskich i plan tektoniczny wg Pawłowskiego i in. (1986), uzupeł. i zmodyf.

wykształcone gipsy (Pawłowski i in., 1976, 1985; Kubica, 1992; Kasprzyk, 1991; Bąbel, 1999). Złoża siarki należą do złóż biochemicznych typu pokładowego (Pawłowski i in., 1976; Nieć, 1992).

Szczegółowe rozpoznanie sedimentologiczne i geochemiczne zrębu wapiennego (osiarkowanego i płonnego) wskazuje na brak analogii pomiędzy litofacjami wapiennymi w rejonach złożowych a otaczającymi facjami gipsowymi (Gąsiewicz, 1994a, b, 2000a, b). W utworach wapiennych tego obszaru występują różne facje osadowe powstałe w wyniku procesów sedimentacyjno-diagenetycznych typowych dla płytkowodnej depozycji okołoevaporatowej, w środowisku biochemicznym odznaczającym się zmiennymi warunkami redoks, na przejściu do głębiej powstających litofacji gipsowych (Gąsiewicz, 2000a, b, 2010; Olchowy, 2015a, b). Zdaniem autora cechy te wykluczają dotychczas przyjmowaną hipotezę epigenetycznego przeobrażenia gipsów w wapień i siarkę rodzimą (np. Pawłowska K., 1962; Pawłowski i in., 1976, 1985, 1987; Kubica, 1992; Nieć, 1992) i wskazują na syngenetyczne pochodzenie wapieni siarkonośnych. Współcześnie brak jest analogów środowiskowych powstawania złóż siarki rodzimej. Niewielkie ilości siarki rodzimej tworzą się, poza ekshalacjami wulkanicznymi, w środowiskach jeziornych w Azji, północnej Afryce i Australii.

Polskie obszary złożowe siarki są przeważnie wyraźnie wydłużone w kierunku NW-SE, co jest związane z budową blokową podłoża (Pawłowski i in., 1976, 1985). Wyjątek stanowi największy obszar – tarnobrzeski, którego zasięg odznacza się nieregularnością i rozciągłością w kierunku W-E. Obszar ten, stosunkowo najpłycej położony, występuje w obrębie dość szerokiego podniesienia zrębowego (Pawłowski i in., 1985, 1987). Bardzo zmienna głębokość występowania złóż siarki jest wynikiem późnobałtyckich i sarmackich ruchów tektonicznych.

Pod względem litologicznym utwory siarkonośne są niejednolite. Głównie są to wapień nieco zailone, stanowiące średnio ok. 80% masy skalnej, które poza przewarstwieniami siarczanów (głównie gipsów) zawierają podrzędne ilości wkładek margli (ok. 15%) i ilów (ok. 5%; por. Pawłowski i in., 1985). Odznaczają się bardzo zmienną porowatością (od 0,5 do ok. 32%, najczęściej 2–12%, średnio 10%; Rybicki, 1973), dochodzącą miejscami do ok. 40% – wapień kawerniste (Gąsiewicz, 2000b).

W skład formacji siarkonośnej wchodzi utwory siarkonośne i płonne. Te ostatnie są znacznie cieńsze niż utwory osiarkowane i zajmują ogólnie większe obszary (fig. 9.3). Analiza sedimentologiczna zrębu wapiennego pozwala wyróżnić facje o cechach wskazujących na powstawanie w otwartym, powierzchniowym systemie depozycyjno-diagenetycznym odpowiedzialnym także za bardzo zmienną intensywność osiarkowania (Gąsiewicz, 2000a, b; Olchowy, 2015a).

Głównymi składnikami mineralnymi wapieni siarkonośnych są kalcyt (średnio ok. 62%) i siarka rodzima (średnio ok. 35%; por. Pawłowski i in., 1987). Pozostałą część rudy stanowią przerosty ilaste, margliste i gipsowe. Te ostatnie występują zwykle przy rozległych regionalnie kompleksach siarczanowych. Lokalnie w większej ilości występują celestyn, pirit i baryt, domieszki kryształów gipsu i kwarcu oraz minerałów akcesorycznych (stroncjany, witeryt i inne).

Osiarkowanie w koncentracji przemysłowej występuje z reguły w zmiennej szerokości, nieregularnej i niekiedy względnie rozległej strefie (np. obszar tarnobrzeski) na pograniczu między utworami płonnymi a gipsowymi (fig. 9.3). Miąższość serii siarkonośnej w rejonach złożowych jest zmienna i wynosi od poniżej 0,5 do ok. 45 m, a średnio ok. 10 m. Średnie osiarkowanie złóż siarki wynosi 25–36% (Pawłowski i in., 1987). Koncentracja siarki zmienia się bardzo silnie i nieregularnie na bardzo niewielkich odległościach w kierunku poziomym i w profilach pionowych złóż, a stosunkowo największa jest w utworach wapiennych. Miejscami siarka może stanowić do ok. 70% rudy, a kawerny wypełnione czystą siarką mogą mieć do ok. 1 m grubości. Ze wzrostem zawartości substancji ilastej w litofacjach ilość siarki szybko się zmniejsza (Rybicki, 1973). Osiarkowanie nie wykazuje związku z głębokością zalegania poziomu złożowego, a stopień zmineralizowania nie jest związany z siecią uskokową (Pawłowski i in., 1985). Zaznacza się natomiast związek osiarkowania z teksturami serii rudnej – najbardziej zmineralizowane są utwory warstwowe (od lamin po warstewki siarki) o teksturze gruzłowej (Gąsiewicz, 1991) wykazujących cechy sedimentacyjne.

Siarka rodzima występuje głównie w wapieniach w różnych formach. Pospolite są nieregularne skupienia bardzo drobnych (<1 mm) kryształów, mniej więcej równomiernie rozsianych (siarka impregnacyjna) lub laminarnie ułożonych (siarka laminacyjna i drobnowarstwowa) w matriks, oraz jednorodne mineralne skupienia ziarnowe (drobne) i niekiedy gruzłowe o wielkości do kilkunastu centymetrów. Te formy morfologiczne siarki mogą być bezładnie rozsiane w tle skalnym lub tworzyć bardziej regularne smugi, laminy, warstewki i warstwy. Siarka występuje pospolicie również jako nieregularne wypełnienia różnego rodzaju i wielkości próżni skalnych i między- i poziarnych, a rzadziej jako użylenia.

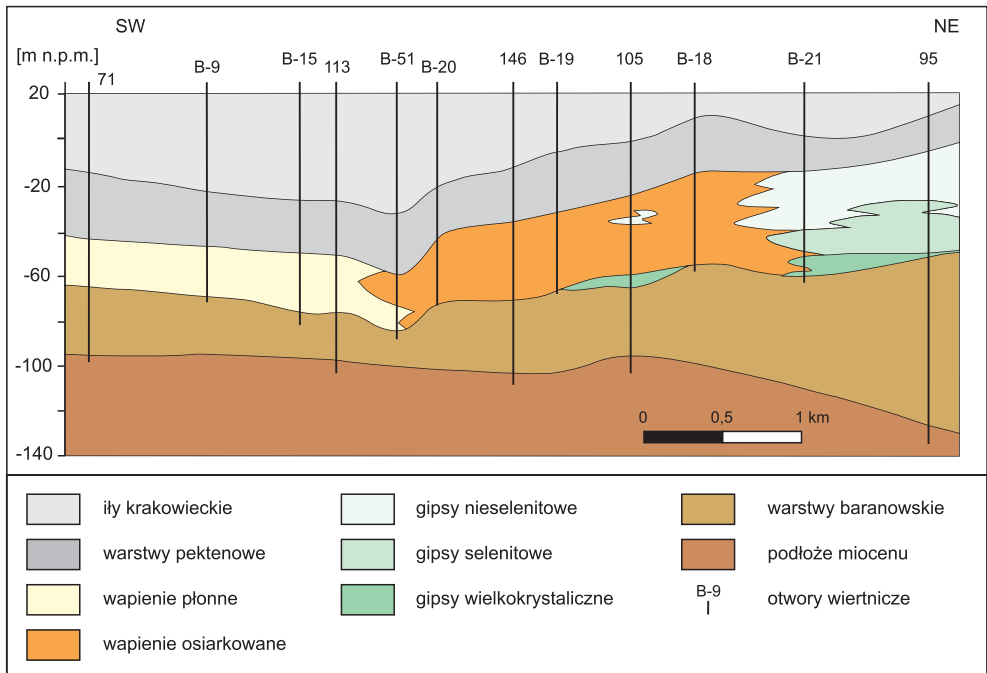


Fig. 9.3. Przekrój geologiczny poprzeczny do rozciągłości obszaru złożowego Osiek-Baranów Sandomierski (wg Gąsiewicza, 2000b)

9.2.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Nadal utrzymuje się tendencja spadkowa wydobycia siarki rodzimej na świecie zapoczątkowana w latach 90. XX w. Wydobycie kopalnej siarki rodzimej jest kosztowne, dlatego jest ona zastępowana tanio pozyskiwaną siarką z odzysku, tj. z odsiarczania węglowodorów płynnych i gazowych. Jedyną kopalnię siarki rodzimej w kraju (i na świecie), w której prowadzona jest eksploatacja – Osiek na złożu Osiek (na zachód od Tarnobrzega) – w pełni pokrywa zapotrzebowanie krajowe, a część pochodzącego z niej surowca jest ponadto eksportowana. W 2019 r. uruchomiono nową kopalnię – Basznia II na złożu Basznia.

Udokumentowane krajowe złoża siarki rodzimej zapewniają długookresowe bezpieczeństwo surowcowe. Zasoby 15 krajowych złóż siarki rodzimej to niemal 503 mln Mg zasobów bilansowych (w tym ok. 22,9 mln Mg zasobów przemysłowych) i blisko 36 mln Mg zasobów pozabilansowych (Bońda, 2019d).

9.2.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Kryteria bilansowości polskich złóż siarki zostały określone w *Rozporządzeniu...*, 2015a; tab. 9.4).

Tab. 9.4. Graniczne wartości parametrów definiujących złożę siarki rodzimej i jego granice (*Rozporządzenie...*, 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Maksymalna głębokość spagu złoża	m	400
Minimalna zawartość siarki (S) w próbce konturującej złożę	%	10
Minimalna średnia zawartość siarki (S) w serii złożowej	%	10
Minimalna zasobność złoża (S)	m%	75

9.2.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Do szacowania zasobów siarki rodzimej w Polsce przyjęto kryteria określone w *Rozporządzeniu...* (2015a; tab. 9.4). Zgodnie z tymi zapisami z oceny zasobów perspektywicznych siarki rodzimej wyłączoneo wewnętrzną część zapadliska przedkarpackiego, położony poniżej głębokości 400 m. Z oceny wyeliminowano obszar wyspy rzeszowskiej, pozbawiony utworów ewaporatowych i położony w głębszej części zapadliska (fig. 9.2). W jej otoczeniu mogą występować niewielkie obszary perspektywiczne koncentracji siarki (zob. Pawłowski i in., 1986).

Przyjęto, że rejon perspektywiczne stanowią elementy silnie wydłużone, co jest zgodne z kształtem większości złóż siarki w zapadlisku przedkarpackim i zgodne z przebiegiem pierwotnych progów strukturalnych i paleomorfologicznych w podłożu. Wytypowane rejon perspektywiczne występują w obrębie struktur zrębowych, na głębokości do 300–400 m i są słabo rozpoznane wiertniczo (fig. 9.2, tab. 9.5).

Cechy większości (A–B i D–J) wyróżnionych rejonów perspektywicznych zostały przedstawione w osobnym opracowaniu archiwalnym Mikulskiego S.Z. i in. (2015b) oraz w publikacji Czapowskiego i in. (2015).

Tab. 9.5. Zestawienie zasobów perspektywicznych siarki rodzimej w strefie brzeżnej zapadliska przedkarpackiego

Lokalizacja obszaru	Lokalizacja obszaru na fig. 9.2	Przyjęta powierzchnia [km ²]	Przewidywana miąższość [m]	Przyjęta zasobność [mln Mg/km ²]	Zasoby prognostyczne [mln Mg]	Zasoby hipotetyczne [mln Mg]
Region wschodni						
Cieszanów*	A	9	3–22	5,0	45	–
Region północny						
Na północ od Rozwadowa	B	15	do ok. 20	3,5	–	52
Alfredówka**	C	3	śr. ok. 12	–	27	–
Region zachodni						
Na północ od Słupca	D	7	do ok. 15	3,5	–	25
Na południe od Słupca	E	7	do ok. 15	3,5	–	25
Pacanów	F	5	do ok. 15	3,5	–	17
Mędrzechów	G	7	do ok. 15	3,5	–	25
Senisławice*	H	3	4–10	3,5	10	–
Charbinowice	I	10	do ok. 15	3,5	–	35
Kazimierza Wielka	J	15	do ok. 15	3,5	–	52
Razem					82	231

* dane do szacowania przyjęto wg Kubicy (1993)

** dane wg Pawłowskiej K. i in. (1987)

9.2.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Wytypowane obszary perspektywiczne są, podobnie jak polskie złoża siarki, związane z poziomem ewaporatowym środkowego miocenu. Występują one w trzech regionach (fig. 9.2): wschodnim, północnym i zachodnim. We wschodnim regionie siarkonośnym, przy granicy z Ukrainą, obszar perspektywiczny A stanowi północne przedłużenie złoża siarki Basznia w rejonie Cieszanowa. Na podstawie otworów wiertniczych stwierdzono tam wapienie płonne i w zmiennym stopniu osiarkowane o bardzo zróżnicowanej miąższości, maksymalnie do ok. 40 m.

W regionie północnym pierwszy wydłużony obszar perspektywiczny (B) znajduje się na północ od Rozwadowa. Mieści się on na przedłużeniu paleoprogu uwarunkowanego tectonicznie. Stwierdzone tam nielicznymi wierceniami osiarkowane wapienie (Kubica, 1993) zaklasyfikowano jako zasoby hipotetyczne w kategorii D₂. Drugi niewielki obszar perspektywiczny (C), o dość regularnym kształcie, występuje na południe od tarnobrzęskiego obszaru złożowego. Stosunkowo licznymi wierceniami okonturowano tam bilansowe koncentracje siarki rodzimej według ówczesnych kryteriów dla kategorii C₂ (Pawłowska K. i in., 1987).

Najwięcej obszarów perspektywicznych (D–I) znajduje się w regionie zachodnim (fig. 9.2). Występują one w pasie o szerokości ok. 20 km i długości ok. 60 km rozciągającym się na SW od Połańca w kierunku SW do Kazimierzy Wielkiej. Ta część strefy brzeżnej zapadliska o dość złożonym planie strukturalnym (liczne zręby i rowy tektoniczne generalnie o kierunku NW-SE i poprzecznym do nich) obejmuje kilka wydłużonych obszarów występowania gipsów o wyraźnie zmieniających się miąższościach i litofacjach. Są tam też strefy pozbawione gipsów (Pawłowski i in., 1986), co wskazuje na obecność struktur blokowych w podłożu miocenu warunkujących obecność paleopłytyczn lub obszarów wynurzonych w trakcie depozycji serii chemicznej (por. Olchowy, 2015a). W ich sąsiedztwie można oczekiwać niewielkich wystąpień wapieni osiarkowanych, podobnie jak w rejonach, w których udokumentowano złoża siarki. W tym regionie wytypowano następujące rejon perspektywiczne: na północ (D) i na południe (E) od Słupca, Pacanów (F), Mędrzechów (G), Senisławice (H; rejon wcześniej rozpoznany wiertniczo w związku ze stwierdzonym osiarkowaniem wapieni w Czarkowych – Osmólski, 1972), Charbinowice (I), Kazimierza Wielka (J).

Zasoby perspektywiczne wymienionych rejonów w brzeżnej części zapadliska przedkarpacciego przedstawiono w tabeli 9.5. Zestawienie to wskazuje, że możliwości zwiększenia zasobów geologicznych siarki rodzimej w Polsce są niewielkie.

9.2.6. Stan rozpoznania geologicznego

Stan rozpoznania geologicznego obszarów perspektywicznych występowania siarki rodzimej uległ niewielkiej zmianie od czasu wykonania oceny jej zasobów perspektywicznych w zapadlisku przedkarpaccim (Gąsiewicz, 2011; Czapowski i in., 2015). Do wcześniej wyróżnionych obszarów perspektywicznych dołączono, dotychczas pomijany w tego rodzaju analizach, niewielki, dobrze rozpoznany wiertniczo obszar Alfredówka o rozpoznanych zasobach bilansowych w kategorii C₂ (Pawłowska K. i in., 1987). Niemniej jednak od czasu ostatniej analizy zasobów perspektywicznych (Czapowski i in., 2015) nie wykonano nowych wierceń rdzeniujących utwory miocénskie w wyróżnionych regionach, co pozwoliłoby na zweryfikowanie dotychczasowych ustaleń.

9.2.7. Ocena zasobów i ich zmian

Wobec braku nowych danych wiertniczych z rejonów perspektywicznych występowania siarki stan zasobów perspektywicznych nie uległ istotnej zmianie od czasu publikacji poprzedniego *Bilansu* (Gąsiewicz, 2011). Rozmieszczenie obszarów perspektywicznych występowania siarki w Polsce ilustruje załącznik 5.

Rezerwuár geologiczny siarki jest bardzo duży. Siarka, poza siarką kopalną (rodzimą), jest składnikiem wielu skał i minerałów, do których należą np. obficie występujące na lub przy powierzchni siarczany (gipsy, anhydryty) oraz węgle i siarczki metali. Uruchomienie z nich produkcji siarki wymaga jednak wprowadzenia niskokosztowych metod pozyskiwania tego pierwiastka. Siarka ekshalacyjna, związana z czynnymi wulkanami, z oczywistych powodów nie stanowi istotnego, poza punktowym, źródła zaopatrzenia gospodarczego. Siarka w procesach przemysłowych nie ma obecnie substytutów.

9.2.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Swoistym substytutem siarki kopalnej jest siarka pozyskiwana z odsiarczania węglowodorów. Spodziewany w ciągu kilku następnych lat wzrost produkcji węglowodorów (szczególnie w krajach azjatyckich) będzie wiązał się ze zwiększeniem ilości pozyskiwanej siarki (<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/sulfur>). Jest to zbieżne z oczekiwanym wzrostem światowego zapotrzebowania na ten surowiec (rosnący popyt na siarkę do produkcji nawozów sztucznych w niektórych krajach azjatyckich i afrykańskich; *ibidem*). W efekcie trendów rynkowych związanych z ekonomiką i możliwościami produkcji siarki z innych źródeł można założyć dalszy spadek zainteresowania siarką kopalną, co łączy się ze stopniowym zaniechaniem prac poszukiwawczych i planistycznych.

Grzegorz Czapowski, Krzysztof Bukowski, Sławomir Mazurek

9.3. SÓL KAMIENNA (*ROCK SALT, SALT, HALITES*) I SOLE POTASOWO-MAGNEZOWE (*POTASH SALTS, POTASSIUM SALTS, POTASSIUM-MAGNESSIUM SALTS*)

9.3.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Złoża soli kamiennej (chlorek sodu – NaCl halit; halityt) i soli potasowo-magnezowych (sole K-Mg; chloroki – np. KCl – sylwin, $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – karnalit i siarczany potasu i magnezu – np. $\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – kainit, $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – heksahydrat, $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$ – langbajnit, $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – polihalit, $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – kizeryt) pod względem genezy należą do grupy złóż egzogenicznych, a w jej obrębie reprezentują typ złóż osadowych chemicznych i kategorię złóż ewaporacyjnych (Gruszczuk, 1984). Powstają one w procesie ewaporacji roztworów zawierających związki mineralne (woda morska, wody lądowe), gdy wraz ze wzrostem stężenia solanki z roztworu wytrącają się minerały coraz łatwiej rozpuszczalne. Normalną sukcesję osadów powstałych wskutek ewaporacji wody morskiej (cyklotem) rozpoczynają węglany, następne wytrącają się siarczany wapnia, chlorki sodu, a na końcu siarczany i chlorki potasu i magnezu. Powtarzalność tego procesu w warunkach klimatu ciepłego i suchego wraz z szybkim tempem przyrostu danej fazy mineralnej (od milimetrów na rok dla węglanów, do centymetrów/decymetrów na rok w przypadku soli) skutkuje wielokrotnym powtarzaniem się tych sukcesji i utworzeniem serii osadów ewaporatowych o miąższości od kilkudziesięciu metrów do kilku kilometrów w zbiornikach o odpowiedniej skali subsydencji (np. rowy tektoniczne).

Naturalnymi środowiskami powstania nagromadzeń obu rodzajów soli są zatoki, laguny i saliny, zasilane wodami zbiorników morskich, np. salina MacLeod u zachodnich wybrzeży Australii (Logan, 1987) czy część Zatoki Kalifornijskiej (Baja California) na wschodnim wybrzeżu Ameryki Północnej (Holser, 1966). Sole wytrącają się też w bezodpływowych zbiornikach jeziornych, do których spływają wody śródlądowe, niosące rozpuszczone sole mineralne, m.in. przemieniona w salinę zatoka Kara Bogaz Göl na Morzu Kaspijskim (Sonnenfeld, 1984; Konstantynowicz, 1989; Melvin, 1991; Warren, 2016), Wielkie Jezioro Słone i słone jeziora południowego i północnego obszaru Wielkich Równin w Ameryce Północnej (w USA – Gwynn, 1980; Hovorka, 1995; w Kanadzie – Last, 1989), Morze Martwe w Izraelu (Melvin, 1991; Burliga i in., 2007), wielkie słone jeziora (saliny) na obszarze Altiplano w Ameryce Południowej (Urbańczyk, 2011; Warren, 2016), słone jeziora w środkowej Turcji (np. Jezioro Tuz Gölü – Poborska-Młynarska i Tomassi-Morawiec, 2012; Tomassi-Morawiec i in., 2013) czy na wyżynach zachodnich Chin (Liu i in., 2007; Warren, 2016). W wielu tych naturalnych zbiornikach ewaporacyjnych utworzono instalacje (saliny) ułatwiające i intensyfikujące pozyskiwanie soli – np. saliny u wybrzeży Sycylii w rejonie Trapani (Czapowski i in., 2008c) czy w południowej części Morza Martwego (Burliga i in., 2007).

W historii Ziemi sole pojawiały się we wszystkich erach i okresach geologicznych, powstawały często na ogromną skalę na rozległych obszarach płytkich epikontynentalnych mórz bądź w wielkich zapadliskach przed- i śródgórskich i tworzyły tzw. giganty solne (*saline giant*; Sonnenfeld, 1984; Melvin, 1991; Warren 2016). Przykładem takiego giganta jest basen Morza Śródziemnego, gdzie 5,5–5,6 mln lat temu osadziły się miąższe sole kamienne (np. w basenie sycylijskim blisko 1,2 km miąższości; Warren, 2016).

Sole kamienne oraz towarzyszące im sole potasowe i potasowo-magnezowe są znane ze wszystkich kontynentów i należą do kopalin najobficiej występujących w skali całego globu (np. Gruszczuk, 1984; Konstantynowicz, 1989; Bolewski i in., 1990; Warren, 2006, 2016).

Złoża soli klasyfikuje się jako złoża pierwotne. Jednak pewne cechy soli, takie jak ich wysoka plastyczność, prowadząca do przemieszczenia soli pod wpływem naprężeń (halokineza), oraz podatność minerałów solnych na przemianę, powodują, że pod wpływem naprężeń i deformacji tektonicznych uwalniane są solanki uwięzione w kryształach, co skutkuje przemianą pierwotnych minerałów potasowo-magnezowych w minerały wtórne (np. kizeryt). Dlatego też stosunkowo rzadko spotykane są kopalne sole potasowo-magnezowe, które zachowały swój pierwotny skład mineralny. Uruchamiane podczas tych przemian solanki infiltrują w inne skały, w których tworzą nowe koncentracje mineralne (soczewy, gniazda, żyły czy rozproszone skupienia) o charakterze epigenetycznym. Do takich nagromadzeń o znaczeniu ekonomicznym należą udokumentowane w północnej Polsce nad Zatoką Pucką złoża siarczanowych soli potasowo-magnezowych (polihalitu – Czapowski i in., 2008a, b; Czapowski i Bukowski, 2009, 2010), mające charakter złóż wczesnodia-

genetycznych i powstałe wskutek infiltracji solanek bogatych w potas i magnez w osady siarczanowe w zbiorniku depozycyjnym (Pizon i in., 1985; Peryt i in., 1998, 2005; Peryt i Smakowski, 2006).

Przyjmując kryterium formy geometrycznej, złoża soli można podzielić na:

- złoża pierwotnie niezdeformowane, obejmujące formy (por. Gruszczyk, 1984):
 - pokładowe;
 - soczewowe;
- złoża zdeformowane, obejmujące formy:
 - poduszkowe (miejscowy wzrost miąższości pierwotnego pokładu soli powoduje ugięcie utworów nadkładu bez przerywania ich ciągłości, możliwe są zaburzenia wewnętrznej stratyfikacji pokładu soli);
 - fałdowe;
 - wysadowe/ diapirowe (znaczny wzrost miąższości pierwotnego pokładu soli powoduje przerywanie utworów nadkładu i ich ugięcie przy kontakcie z przebijającą się serią solną, a wewnętrzna struktura utworów solnych jest silnie zaburzona).

Ponadto wśród złóż o formie niezgodnej z układem skał otoczenia wyróżniono także takie struktury jak intruze szczelinowe, lodowce solne czy struktury bezkorzeniowe (*detached salt stock*; por. Gruszczyk, 1984).

Na obszarze Polski sole kamienne występują w utworach czterech jednostek stratygraficznych (por. Hodob i Czapowski, 2018): w górnym permie (cechsztyń, w obrębie 4 cyklotemów od PZ1 do PZ4 – np. Wagner, 1994), w dolnym i górnym triasie oraz w środkowym miocenie (baden).

Znaczenie ekonomiczne mają obecnie jedynie sole wieku permiego, występujące na ponad połowie obszaru kraju, oraz wieku miocenijskiego, skupione w południowej części Polski (fig. 9.4). Sole potasowo-magnezowe znane są jedynie z utworów górnego permu (por. Mizerska, 2018).

Udokumentowane złoża soli mają formę pokładową (permskie sole kamienne i sole potasowo-magnezowe w Polsce północnej i na obszarze przedśudeckim oraz miocenijskie sole kamienne na Górnym Śląsku), soczewkową (niektóre wystąpienia soli K-Mg w Zatoce Puckiej), fałdową (złoża soli kamiennej w zapadli-sku przedkarpackim) i wysadową (sole permskie strefy wysadów solnych na Niżu Polskim).

9.3.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność (Sławomir Mazurek)

9.3.2.1. Sól kamienna

W przypadku soli kamiennej trudno jest używać terminu wystarczalność zasobów. Amerykańska służba geologiczna (USGS) stwierdza w swoich raportach (USGS, 2018), że „...lądowe zasoby soli są olbrzymie, zaś zawartość soli w oceanach prawie nieograniczona” (oryg. cyt.: „...world continental resources of salt are vast, and the salt content in the oceans is nearly unlimited”). Jest to związane z pochodzeniem całej wydobywanej na świecie soli, zarówno z nagromadzeń tworzących się obecnie w salinach (tzw. sól morska – *solar salt*), jak i z kopalnych utworów solnych (sól kamienna – *rock salt*). Obecność soli w wodzie morskiej pozwala uznać światowe zasoby soli nie tylko za „bliskie nieograniczonym”, ale i za odnawialne.

Światowa produkcja soli wzrosła w latach 2016–2017 z 270 do 280 mln Mg (głównie wskutek wzrostu zapotrzebowania na sodę kaustyczną w krajach azjatyckich – por. dane wg USGS: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/salt/>), zaś do największych producentów soli w 2017 r. należały Chiny (68 mln Mg), USA (43 mln Mg), Indie (26 mln Mg), Kanada i Niemcy (po 13 mln Mg). Łączna światowa produkcja obejmuje sól zebraną w salinach, kruszoną, warzoną i w formie solanki (*op. cit.*).

Podobnie jak w przypadku zasobów światowych, również polskie zasoby soli kamiennej należy uznać za największe pod względem wystarczalności spośród wszystkich zasobów kopaliny w Polsce. Udokumentowanych jest 19 złóż soli kamiennej (fig. 9.4), o łącznych zasobach (bilansowych i pozabilansowych) w ilości ponad 110 mld Mg (tab. 9.6), z czego 6 złóż o zasobach blisko 15 mld Mg jest obecnie eksploatowanych. Większość (95,2%) udokumentowanych zasobów bilansowych soli to zasoby złóż soli permskich, w tym zasoby bilansowe 5 złóż pokładowych wynoszą 26,16 mld Mg (ok. 30% krajowych zasobów soli), zaś 9 złóż typu wysadowego – 59,84 mld Mg (ok. 66%). Z tych złóż soli permskich pochodzi całe krajowe wydobycie soli kamiennej, które w 2018 r. wyniosło ponad 4,12 mln Mg (Czapowski, 2019a). Z kolei udokumentowane zasoby bilansowe 4 złóż soli miocenijskich wynoszą ponad 4,36 mld Mg (ok. 5% krajowych zasobów soli – *op. cit.*).

Produkcja soli w Polsce prowadzona jest przez KS Kłodawa S.A. i KGHM Polska Miedź S.A. O/ZG Polkowice Sieroszowice (sól kamienna kruszona) oraz IKS Solino S.A. (solanka), PGWiR Zakład Odsalania

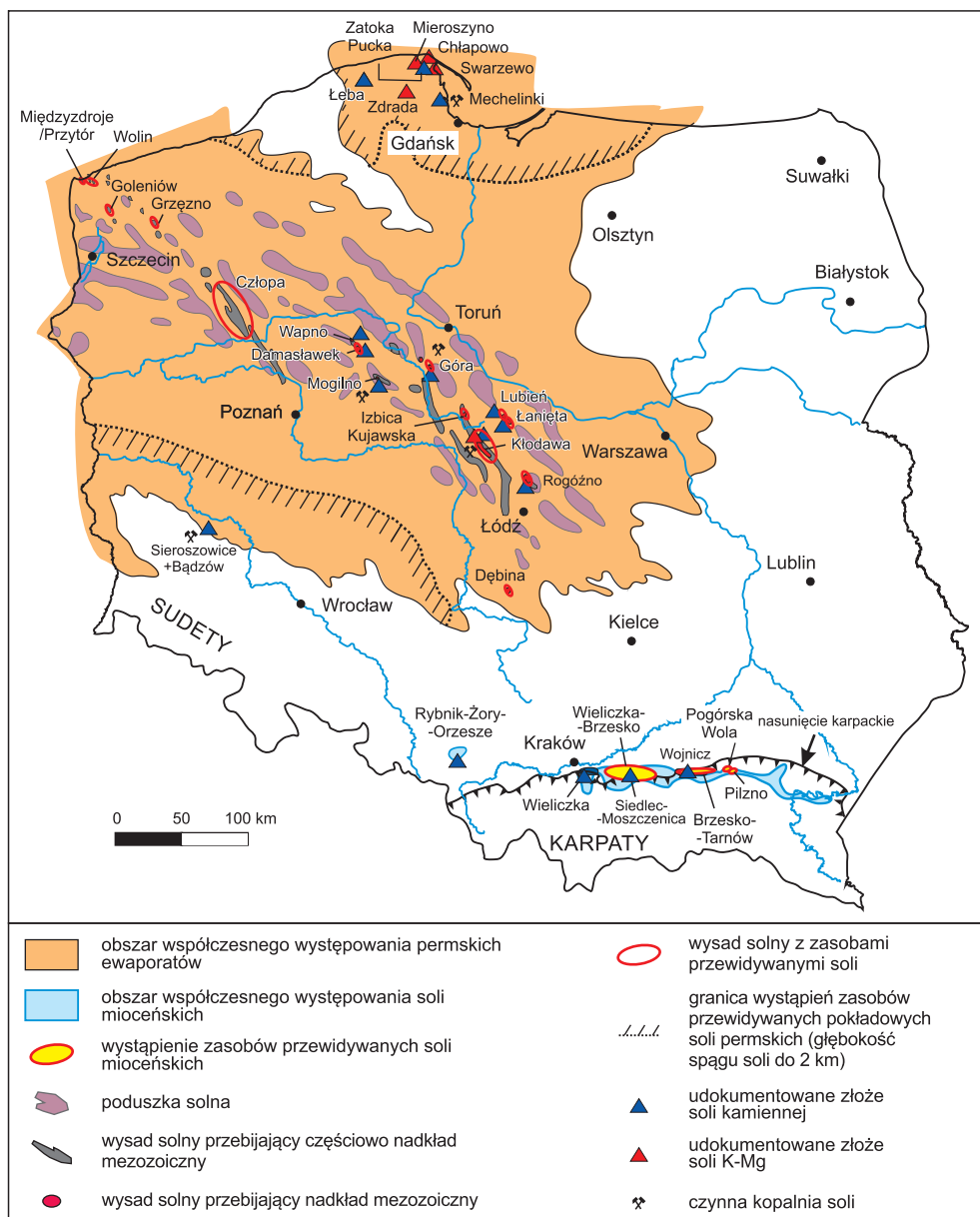


Fig. 9.4. Mapa rozmieszczenia na obszarze Polski udokumentowanych złóż soli kamiennej i soli potasowo-magnezowej oraz ich wystąpień perspektywicznych o zasobach przewidywanych (wg Czapowskiego i in. w: Nawrocki i Becker, 2017, zmodyf.)

Tab. 9.6. Zestawienie udokumentowanych złóż i zasobów soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych w Polsce wg stanu na 31.12.2018 (wg Czapowskiego, 2019a, b, zmodyf.)

Złoża eksploatowane	Złoża rozpoznane nieeksploatowane	Złoża o zaniechanej eksploatacji	Zasoby bilansowe	Zasoby pozabilansowe	Zasoby łącznie
Sól kamienna [mld Mg]					
6	–	–	14,98	–	14,98
–	10	–	75,19	19,97	95,16
–	–	3	0,19	0,19	0,38
Liczba złóż łącznie	19	Zasoby łącznie	90,36	20,16	110,52
Sole potasowo-magnezowe [mln Mg]					
–	5	–	686,15	18,85	705,00

Dębieńsko Sp. z o.o (odzysk z solanek kopalnianych i KS Wieliczka S.A. (z odwadniania wyrobisk). Oprócz IKS Solino S.A., na bazie jej solanek produkcję prowadzi Ciech S.A i Anwil Włocławek.

Wykorzystanie soli z solanek do produkcji chemicznej powoduje, że zużycie soli suchej kształtuje się w Polsce na poziomie 1,8–2,4 mln Mg/rok. Bilans ten nie uwzględnia ługowania solanki ze złóż soli kamiennej Mechelinki i jej zrzutu do zatoki Puckiej (w celu budowy kawern magazynowych).

9.3.2.2. Sole potasowo-magnezowe

Światowe zasoby soli potasowo-magnezowych, ze względu na znaczenie gospodarcze rozpatrywanych jako potasowe, obejmują właściwie różne sole siarczanowe i chlorkowe potasu, wapnia i magnezu (K-Ca-Mg). Z tego powodu najczęściej przeliczane są do procentowej zawartości K_2O i wynoszą, w złożach objętych prawami eksploatacji (*recovery ore*), niecałe 4 mld Mg K_2O (dane wg USGS: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/potash/>). Z uwagi na to, że zwykle zawartość potasu w przeliczeniu na K_2O wynosi od ok. 10% (i mniej) do ponad 20%, zasoby soli w tych złożach jako skały zawierającej sole K-Ca-Mg należy szacować na ok. 20–25 mld Mg. Szacuje się jednak, że wszystkie zasoby tych soli na świecie (*estimated resources*) mogą wynosić nawet 250 mld Mg, zatem wystarczalność (liczona dla *reserves*, a nie *resources*) przy rocznym wydobyciu ok. 40 mln Mg wynosi kilkaset lat.

Największymi producentami (w przeliczeniu na K_2O) na świecie w 2018 r. były: Kanada (12 mln Mg), oraz Rosja (7,5 mln Mg), Chiny (5,5 mln Mg) i Białoruś (7,1 mln Mg). Łączne światowe wydobycie wzrosło od ok. 39 mln Mg w 2016 r. do 42 mln Mg w 2018 r. (*op. cit.*).

W Polsce udokumentowano 5 złóż soli potasowo-magnezowych (fig. 9.4) o łącznych zasobach 705 mln Mg (tab. 9.6), przeliczonych dla skały zawierającej ok. 8–10% K_2O (Czapowski, 2019b).

Jedno z tych złóż, kamalitowo-kizerytowe, występuje na kłódawskim wysadzie solnym, gdzie towarzyszy wysadowemu złożu soli kamiennej Kłodawa 1. Jest to jedyne złożo soli K-Mg w Polsce z zasobami przemysłowymi i w czynnej kopalni (Mazurek S., 2016). Cztery pozostałe złoża pokładowe w rejonie Zatoki Puckiej na Kaszubach są zbudowane z niepoddających się ługowaniu polihalitytów.

Eksploatacja soli K-Mg w Kłodawie była prowadzona na niewielką skalę w ubiegłym wieku. Obecnie w kraju nie prowadzi się ich eksploatacji. Do Polski sprowadzane jest rocznie do 1 mln Mg nawozów potasowych w postaci handlowej MOP (*nitrate of potash* – chlorek potasu) i SOP (*sulfate of potash* – siarczan potasu).

9.3.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Ustalone w 2015 r. (*Rozporządzenie...*, 2015a; tab. 9.7) graniczne wartości parametrów definiujących różne typy złóż soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych są identyczne z kryteriami bilansowości z 2001 r. (*Rozporządzenie...*, 2001).

Tab. 9.7. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża soli kamiennej i soli potasowo-magnezowej i ich granice (Rozporządzenie..., 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Złoże pokładowe soli kamiennej		
Maksymalna głębokość spągu złoża	m	1200
Minimalna miąższość złoża wraz z przerostami	m	30
Minimalna średnia ważona zawartość NaCl w profilu złoża wraz z przerostami	%	80
Złoże wysadowe soli kamiennej		
Maksymalna głębokość dokumentowania	m	1400
Minimalna miąższość złoża wraz z przerostami	m	30
Minimalna odległość stropu złoża od zwierciadła solnego (najniżej położonego punktu jego stwierdzenia)	m	150
Minimalna średnia ważona zawartość NaCl w profilu złoża wraz z przerostami	%	80
Złoże pokładowe soli potasowo-magnezowej		
Maksymalna głębokość: spągu złoża – w złożach pokładowych, dokumentowania – w złożach wysadowych	m	1200
Minimalna miąższość złoża wraz z przerostami	m	2
Minimalna średnia ważona zawartość K ₂ O w profilu złoża wraz z przerostami	%	8

9.3.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Ostatnie szacunki zasobów perspektywicznych wybranych kopalin (Mikulski S.Z. i in., 2015b, 2016b) różnią się znacznie od wcześniejszych (Bąk i Przeniosło, 1993; Czapowski i Bukowski, 2011) w konsekwencji przyjęcia nowych kryteriów oceny i dokładniejszej skali rozpoznania ich wystąpień. W przypadku wystąpień soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych ustalono nowe kryteria (tab. 9.8) szacowania wielkości zasobów prognostycznych i perspektywicznych (określanych łącznie jako zasoby przewidywane – por. Czapowski i in., 2015; Czapowski i Bukowski, 2015). Nawiązują one zarówno do kryteriów wyznaczania złóż, jak i do parametrów przyjętych przy ustalaniu wielkości zasobów perspektywicznych w latach 90. XX w. (Bąk i Przeniosło, 1993).

Przyjęta w szacunkach gęstość soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych to 2,1 Mg/m³. Zasoby obszarów, gdzie istotną rolę w formowaniu wystąpień soli odegrała tektonika, np. obszar przedsudecki, zapadlisko przedkarpackie czy strefa wysadów solnych, oszacowano z uwzględnieniem wykorzystywanego wcześniej współczynnika komplikacji budowy geologicznej.

Zakwalifikowanie zasobów do kategorii prognostycznych lub perspektywicznych było uwarunkowane budową geologiczną rejonu i parametrami wystąpienia soli. Zasoby soli kamiennej występujące w zapadlisku przedkarpackim do głębokości 1,5 km są rozpoznane geofizycznie i wierceniami w stopniu nieupoważniającym do uznania ich za zasoby w kategorii C₂, dlatego zaliczono je do zasobów prognostycznych, natomiast zasoby zalegające na głębokości 1,5–2,0 km zaliczono do zasobów perspektywicznych (tab. 9.8).

Z kolei w przypadku pokładowych wystąpień soli kamiennej na terenie wyniesienia Łeby (NW część monokliny mazursko-podlaskiej – Żelaźniewicz i in., 2011) do zasobów prognostycznych zaliczono zasoby soli zalegające na głębokości 0,7–1,0 km, zaś zasoby występujące głębiej uznano za perspektywiczne (tab. 9.8). Sole pokładowe występujące do głębokości 1,2 km na monoklinie przedsudeckiej zaliczono do zasobów prognostycznych, zaś te z głębokości 1,2–2,0 km – do perspektywicznych. W przypadku wysadów solnych na obszarze antyklinorium śródpolskiego przyjęte kryterium głębokości zależy od rozpoznania wy-

Tab. 9.8. Kryteria szacowania zasobów przewidywanych (prognostycznych i perspektywicznych) wystąpień soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych

Forma wystąpienia/ typ kopaliny	Przyjęta miąższość wystąpienia [m]	Przedział głębokości zalegania wystąpienia [km]	Gęstość kopaliny [Mg/m³]
Sól kamienna			2,1
Wystąpienia pokładowe	średnia miąższość ≥30 m	≤1,2 = zasoby prognostyczne	
		od >1,2 do 2,0 = zasoby perspektywiczne	
Wystąpienia pokładowe i fałdowe w zapadlisku przedkarpackim	średnia miąższość ≥35 m × 0,3 (WKBE)	≤1,5 = zasoby prognostyczne	
		od >1,5 do 2,0 = zasoby perspektywiczne	
Wystąpienia w wysadach solnych	grubość wystąpienia × 0,3 (WKBE)	≤1,4 = zasoby prognostyczne	
		od >1,4 do 2,0 = zasoby perspektywiczne	
Sole potasowo-magnezowe			
Wystąpienia pokładowe	średnia miąższość ≥2 m, ew. × 0,3 (WKBE)	≤1,2 = zasoby prognostyczne	
		od >1,2 do 2,0 = zasoby perspektywiczne	

WKBE – współczynnik komplikacji budowy geologicznej

sadu. Dla struktur solnych nieudostępnionych górniczo, których zasoby oszacowano w dokumentacjach geologicznych, przyjęto zwykle głębokość 1,4 km jako graniczną dla zasobów prognostycznych. W przypadku struktur powierzchniowo rozpoznanych wszystkie zasoby występujące do głębokości 2,0 km uznano za perspektywiczne. Podobne kryteria głębokościowe dla poszczególnych kategorii zasobów przyjęto – stosownie do typu złoża – w przypadku soli potasowo-magnezowych (tab. 9.8).

Podstawowym źródłem informacji do wyznaczenia perspektywicznych wystąpień soli i oszacowania ich zasobów były dane z kilku tysięcy głębokich otworów wiertniczych, zawarte w Centralnej Bazie Danych Geologicznych (CBDG) i w opracowaniach archiwalnych. Kontury wystąpień przedstawiono na arkuszach map w skali 1:200 000 (por. Czapowski i in., 2015; Mikulski S.Z. i in., 2015b, 2016b; Czapowski i Bukowski, 2015; Czapowski, 2017).

W najnowszych szacunkach zasobów przewidywanych (Czapowski i in., 2015; Mikulski S.Z. i in., 2015b, 2016b; Czapowski i Bukowski, 2015; Czapowski, 2017) zrezygnowano z oceny zasobów soli potasowo-magnezowych w wysadach solnych ze względu na ich zwykle wyjątkowo skomplikowaną budowę wewnętrzną (por. kłodawski wysad solny), wymagającą szczegółowego rozpoznania.

9.3.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania obszarów perspektywicznych

Obszary perspektywicznych wystąpień permskiej soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych wyznaczono w Polsce północnej, środkowej i południowo-zachodniej (fig. 9.4). W Polsce północnej rozmieszczone są one w północnej części wielkiej podkenozoicznej regionalnej jednostki tektonicznej – monokliny mazursko-podlaskiej – oraz na terenie pogranicza segmentu kościerzyńskiego synklinorium kościerzyńsko-puławskiego i segmentu pomorskiego antyklinorium śródpolskiego (Żelaźniewicz i in., 2011). Z kolei w Polsce centralnej wysady solne z zasobami przewidywanymi występują w segmentach pomorskim i kujawskim antyklinorium śródpolskiego (wysady solne: Międzyzdroje/ Przytór, Wolin, Goleniów, Grzęzno, Góra, Izbica

Kujawska, Kłodawa, Łanięta, Lubień i Rogóźno) oraz w segmentach mogileńsko-lódzkim (wysady Człopa i Damasławek) i miechowskim (wysad Dębina) synklinorium szczecińsko-miechowskiego. W Polsce południowo-zachodniej perspektywiczne wystąpienia pokładowe soli permskich skupione są na obszarze monokliny przedsudeckiej i synklinorium północnosudeckiego (peryklina Żar).

Obszary perspektywicznych wystąpień miocieńskiej soli kamiennej wyznaczono w Polsce południowej (fig. 9.4) – w zapadlisku przedkarpackim (obszar Wieliczka-Brzesko) i pod nasunięciem karpackim (obszary: Brzesko-Tarnów, Pogórska Wola i Pilzno).

9.3.6. Stan rozpoznania geologicznego

9.3.6.1. Sól kamienna

Utwory górnego permu (cechsztyń)

Wystąpienia perspektywiczne soli kamiennej cechsztynu (górny perm) podzielono na wystąpienia w postaci wysadów solnych (o wyjątkowo skomplikowanej budowie wewnętrznej) i wystąpienia w formie pokładu (o budowie w różnym stopniu zaburzonej przez czynniki tektoniczne).

Na terenie północnej Polski w przypadku cyklotemu PZ1 wyróżniono pięć obszarów perspektywicznych z wystąpieniami pokładowymi soli, ujętych w jeden rejon perspektywiczny, zaś w przypadku cyklotemu PZ2 – cztery obszary, ujęte w dwa rejon (tab. 9.9). Ich łączne zasoby przewidywane – głównie perspektywiczne – oszacowano na 2871,2 mld Mg. Rozpoznanie geologiczne otworami wiertniczymi tych rejonów jest bardzo zróżnicowane, obejmuje dane z 129 otworów wykonanych w rejonie od Koszalina po Olsztyn. Najlepiej rozpoznany (64 otwory) jest obszar perspektywiczny Leba-Puck, najsłabiej – obszary Gałajny i Rodnowo (po 1 otworze – tab. 9.9; Czapowski i in., 2015; Mikulski S.Z. i in., 2015b; Czapowski i Bukowski, 2015).

Na obszarze przedsudeckim i w synklinorium północnosudeckim (peryklina Żar) wyróżniono łącznie 42 obszary perspektywiczne wystąpień pokładowych soli kamiennej w utworach cyklotemów od PZ1 do PZ4, częściowo zgrupowane w 8 rejonów perspektywicznych (tab. 9.10). Ich łączne zasoby przewidywane – głównie perspektywiczne – oszacowano na blisko 1040,9 mld Mg. Rozpoznanie geologiczne otworami wiertniczymi tych rejonów jest różne, obejmuje dane z 1487 otworów rozmieszczonych od granicy z Niemcami po okolice Ostrowa Wielkopolskiego i Kalisza. Najlepiej rozpoznany (634 otwory) jest obszar perspektywiczny Zielona Góra-Lesno-Milicz-Sokolniki, najsłabiej – m.in. obszary Roszki, Bogdaj czy Zarzewo (po 1 otworze – tab. 9.10).

Na obszarze Niżu Polskiego, w strefie występowania wysadów solnych, oszacowano wielkość zasobów – głównie perspektywicznych – dla 13 wysadów, skupionych w 3 rejonach i 3 obszarach (tab. 9.11). Spośród tych wysadów jedynie trzy (Mogilno, Góra i Kłodawa), dzięki prowadzeniu w nich eksploatacji, są dobrze poznane. Pozostałe albo są rozpoznane w różnym stopniu (od 1 do 15 otworów wiertniczych – por. tab. 9.11) bez oceny wielkości zasobów, albo zostały ujęte w dokumentacjach geologicznych (wysady: Goleniów, Damasławek, Łanięta, Lubień, Rogóźno i Dębina). Łączne zasoby przewidywane soli kamiennej w tych wysadach oszacowano na ponad 139,9 mld Mg.

Utwory środkowego miocenu (baden)

Na obszarze zapadliska przedkarpackiego, w jego wewnętrznej i zewnętrznej części, wskazano 4 perspektywiczne obszary wystąpienia soli miocieńskich o zasobach przewidywanych – głównie prognostycznych – które wynoszą łącznie ok. 6,9 mld Mg (tab. 9.12). Obszary te są rozpoznane w różnym stopniu: od 3 otworów (obszary Pogórska Wola i Pilzno) do 18 otworów wiertniczych (obszar Brzesko-Tarnów – por. tab. 9.12).

Łączne zasoby przewidywane soli kamiennej w Polsce oszacowano na ponad 4 bln Mg, w tym zasoby prognostyczne wynoszą ponad 951 mld Mg a perspektywiczne – ponad 3 bln Mg (tab. 9.13). Zasoby soli miocieńskich w ilości 6,9 mld Mg stanowią jedynie drobny ułamek (0,17%) całości zasobów przewidywanych soli. Podobnie jest z powierzchnią obszarów perspektywicznych, która w przypadku soli miocieńskich (ponad 137 km²) stanowi jedynie 0,43% całkowitej powierzchni perspektywicznych obszarów wystąpień soli kamiennej w Polsce (ponad 31,7 tys. km² – tab. 9.13).

Tab. 9.9. Zasoby przewidywane permskiej soli kamiennej (cyklotemy PZ1 i PZ2 cechsztynu) w wystąpieniach pokładowych w północnej Polsce

Rejon/ obszar perspektywiczny		Jednostka tektoniczna	Liczba otworów wiertn.	Powierzchnia obszaru [km²]	Zasoby [mln Mg]	Kategoria zasobów
Sól kamienna cyklotemu PZ1 – najstarsza sól kamienna (Na1)						
Rejon Koszalin-Słupsk-Łeba-Puck-Gdańsk-Elbląg-Lidzbark Warmiński	obszar Koszalin	segment kościerzyński	3	325,39	32 341,53	PE
	obszar Bytów-Lębork	monoklina mazursko-podlaska	5	2693,00	916 837,24	PR
	obszar Łeba-Puck		64	113,16	27 739,36	PR
	obszar Gdańsk-Elbląg Na1		18	5359,00	1 295 098,81	PE
	obszar Żelazna Góra-Bartoszyce		18	119,57	31 505,59	PE
Razem			108	8610,12	2 303 522,53	
Sól kamienna cyklotemu PZ2 – starsza sól kamienna (Na2)						
Rejon Gdańsk-Elbląg-Orneta	obszar Gdańsk-Elbląg Na2	monoklina mazursko-podlaska	11	3462,00	517 638,24	PE
	obszar Żelazna Góra-Orneta		8	564,75	48 992,74	PE
Rejon Lidzbark Warmiński	obszar Gałajny		1	4,49	311,43	PE
	obszar Rodnowo		1	11,26	756,77	PE
Razem			21	4042,50	567 699,18	
Ogółem Polska północna			129	12 652,62	2 871 221,71	

PR – zasoby prognostyczne; PE – zasoby perspektywiczne

Tab. 9.10. Zasoby przewidywane permskiej soli kamiennej (cyklotemy PZ1 do PZ4 cechsztynu) w wystąpieniach pokładowych w południowo-zachodniej Polsce

Rejon/ obszar perspektywiczny	Jednostka tektoniczna	Liczba otworów wiertn.	Powierzchnia obszaru [km²]	Zasoby [mln Mg]	Kategoria zasobów
Sól kamienna cyklotemu PZ1 – najstarsza sól kamienna (Na1)					
Obszar Maszewo-Raduszeć-Dachów-Dębinka-Gubin	synklinorium północno-sudeckie (peryklina Żar)	54	119,22	10 320,18	PE
Obszar Zielona Góra-Leszno-Milicz-Sokolniki	monoklina przedsudecka	634	6449,00	409 699,81	PE
Obszar Czeszów		1	2,39	56,45	PE
Obszar Bukowinka		1	1,39	32,42	PE
Obszar Mąkoszyce		3	3,78	120,18	PE
Razem		693	6575,78	420 229,04	
Sól kamienna cyklotemu PZ2 – starsza sól kamienna (Na2)					
Obszar Gubin-Zielona Góra-Sława	synklinorium północno-sudeckie (peryklina Żar)	212	3038,00	135 698,35	PE

Część II

Tab. 9.10. cd.

Rejon/ obszar perspektywiczny		Jednostka tektoniczna	Liczba otworów wiertn.	Powierzchnia obszaru [km²]	Zasoby [mln Mg]	Kategoria zasobów
Rejon Leszno Na2	obszar Leszno	monoklina przedsudecka	2	13,30	274,43	PE
	obszar Załęcze-Wiewierz Na2		3	0,49	61,07	PR
	obszar Żmigród Na2		1	0,36	8,02	PE
Rejon Ostrów Wielkopolski Na2	obszar Brzostowo	monoklina przedsudecka	1	0,68	19,60	PE
	obszar Uciechów		1	0,49	40,55	PE
	obszar Roszki		1	10,05	189,86	PE
	obszar Wysocko		2	4,88	145,15	PR
	obszar Klonów		1	0,51	14,07	PE
Razem			224	3068,76	136 451,10	
Sól kamienna cyklotemu PZ3 – młodsza sól kamienna (Na3)						
Obszar Gubin-Zielona Góra-Leszno-Krotoszyn		synklinorium północno-sudeckie (peryklina Żar)	412	7956,00	460 528,29	PE
Rejon Leszno Na3	obszar Głubice	monoklina przedsudecka	1	0,62	17,86	PR+PE
	obszar Załęcze-Wiewierz Na3		16	0,52	314,40	PR+PE
	obszar Rawicz		3	13,35	311,10	PE
	obszar Żmigród Na3		5	8,38	224,32	PE
Rejon Ostrów Wielkopolski Na3	obszar Ślabocin	monoklina przedsudecka	1	1,86	39,78	PE
	obszar Henrykowice		1	0,52	12,57	PE
	obszar Bogdaj		1	0,27	7,09	PE
	obszar Wierzchowice		15	21,66	970,24	PE
	obszar Konradów		6	42,86	1723,33	PE
	obszar Topola		7	18,01	538,90	PE
	obszar Chynowo		15	62,56	2204,37	PE
	obszar Szklarka Myśleniewska		1	1,02	35,18	PE
Rejon Kalisz	obszar Książenica		1	3,04	71,93	PE
	obszar Grabów		1	3,44	84,59	PE
	obszar Ostrów Kaliski		2	13,46	326,47	PE
	obszar Uników		1	2,26	63,22	PE
Razem			489	8149,83	467 473,64	
Sól kamienna cyklotemu PZ4 – najmłodsza sól kamienna (Na4)						
Rejon Ślubice-Gubin	obszar Sękowice	synklinorium północno-sudeckie (peryklina Żar)	2	11,07	287,78	PE
	obszar Kosarzyn-Gubin	monoklina przedsudecka	8	33,25	676,73	PE
	obszar Wężyska		3	13,52	295,35	PE
	obszar Cybinka-Rybaki		15	189,99	4492,19	PE

Tab. 9.10. cd.

Rejon/ obszar perspektywiczny		Jednostka tektoniczna	Liczba otworów wiertn.	Powierzchnia obszaru [km²]	Zasoby [mln Mg]	Kategoria zasobów
Rejon Świebodzin-Zielona Góra	obszar Krosno Odrzańskie	monoklina przedsudecka	17	314,31	7510,81	PE
	obszar Sulechów		20	64,61	1368,91	PE
	obszar Droszków		1	3,64	69,90	PE
	obszar Babimost		9	77,19	1742,48	PE
	obszar Kargowa		4	7,77	160,94	PE
Rejon Leszno Na4	obszar Zarzewo		1	1,83	70,22	PE
	obszar Załęczce		1	1,24	65,92	PR
Razem			81	718,42	16 741,23	
Ogółem Polska południowo-zachodnia			1487	18 512,79	1 040 895,01	

PR+PE – zasoby przewidywane; PR – zasoby prognostyczne; PE – zasoby perspektywiczne

Tab. 9.11. Zasoby przewidywane permskiej soli kamiennej w wydajach solnych na Niziu Polskim

Rejon/ obszar perspektywiczny	Wysad solny	Liczba otworów wiertn.	Powierzchnia obszaru [km ²]	Zasoby [mln Mg]	Kategoria zasobów
Rejon Świnoujście-Szczecin-Nowogard	Międzyzdroje/ Prztytór	3	3,03	715,88	PE
	Wolin	15	10,74	2165,93	PE
	Goleniów	1	25,37	9591,15	PE
	Grzęzno	1	4,30	1538,77	PE
Obszar Trzcianka	Człopa	3	231,35	53 708,79	PE
Rejon Żnin-Mogilno-Inowrocław	Damasławek	14	14,36	1808,89	PE
	Góra	kopalnia ługownicza	1,34	252,54	PE
Rejon Kłodawa-Kutno	Izbica Kujawska	8	4,40	1692,56	PR+PE
	Kłodawa	kopalnia podziemna	64,19	40 439,09	PR+PE
	Łanięta	16	10,67	6719,59	PR+PE
	Lubień	15	5,43	683,88	PE
Obszar Łódź	Rogóźno	182	30,39	19 142,77	PR+PE
Obszar Bełchatów	Dębina	4	1,30	1485,95	PR+PE
Razem		262	406,87	139 945,79	

PR+PE – zasoby przewidywane; PR – zasoby prognostyczne; PE – zasoby perspektywiczne

Tab. 9.12. Zasoby przewidywane miocenijskiej soli kamiennej w południowej Polsce

Obszar perspektywiczny	Liczba otworów wiertniczych	Powierzchnia obszaru [km ²]	Zasoby [mln Mg]	Kategoria zasobów
Wieliczka–Brzesko	7	75,26	1944,05	PR
Brzesko-Tarnów	18	53,54	3541,89	PR
Pogórska Wola	3	1,75	270,69	PE
Pilzno	3	6,58	1140,66	PR
Razem	31	137,13	6897,29	

PR – zasoby prognostyczne; PE – zasoby perspektywiczne

Tab. 9.13. Zasoby przewidywane soli kamiennej w Polsce

Wiek	Kategoria zasobów	Zasoby [mld Mg]	Powierzchnia obszarów [km ²]
Sole cechsztynu	PR	944,85	2812,77
	PE	3037,40	28 647,42
	PR+PE	69,81	112,09
Razem		4052,06	31 572,28
Sole miocemu	PR	6,63	135,38
	PE	0,27	1,75
Razem		6,90	137,13
Ogółem		4058,96	33 709,41

PR+PE – zasoby przewidywane; PR – zasoby prognostyczne; PE – zasoby perspektywiczne

9.3.6.2. Sole potasowo-magnezowe

Obszary perspektywiczne wystąpień soli potasowo-magnezowych w Polsce wskazano jedynie dla ich wystąpień pokładowych w Polsce północnej i południowo-zachodniej, a pominięto wysady solne o bardzo skomplikowanej budowie wewnętrznej, w których sole te stanowią komponent podrzędny w stosunku do soli kamiennej budującej wysad.

Na terenie północnej Polski wyróżniono 3 obszary perspektywiczne występowania soli K-Mg w utworach cyklotemu PZ1 (tab. 9.14; Czapowski i in., 2015; Mikulski S.Z. i in., 2015b; Czapowski i Bukowski, 2015). Ich łączne zasoby przewidywane – głównie prognostyczne – oszacowano na 351 mln Mg kopaliny (skały zawierającej sole potasowo-magnezowe). Rozpoznanie geologiczne otworami wiertniczymi tych rejonów jest słabe (łącznie tylko 7 otworów; tab. 9.14).

Na obszarze przedsudeckim i w synklinorium północnosudeckim (peryklina Żar) wyróżniono łącznie 9 obszarów perspektywicznych występowania soli K-Mg: 7 obszarów w utworach cyklotemu PZ2 i 2 obszary w utworach cyklotemu PZ3 (tab. 9.14). Ich łączne zasoby przewidywane – głównie perspektywiczne – oszacowano na blisko 3,29 mld Mg kopaliny. Wystąpienia te rozpoznano łącznie 97 otworami wiertniczymi, z czego 79 otworami nawiercono sole w utworach cyklotemu PZ2 a 18 otworami – w utworach cyklotemu PZ3. Najlepiej rozpoznany został obszar Chlebowo-Luboszyce (40 otworów), najsłabiej – obszar Dachów (1 otwór – tab. 9.14).

Łączne zasoby przewidywane pokładowych wystąpień soli potasowo-magnezowych w Polsce oszacowano na blisko 3,64 mld Mg kopaliny, zaś ich powierzchnia to ponad 466 km² (tab. 9.14).

Tab. 9.14. Zasoby przewidywane permskich soli potasowo-magnezowych (cyklotemy PZ1 do PZ3 cechsztynu) w wystąpieniach pokładowych w Polsce

Rejon/ obszar perspektywiczny	Jednostka tektoniczna	Liczba otworów wiertniczych	Powierzchnia obszaru [km²]	Zasoby [mln Mg]	Kategoria zasobów
Polska północna – sól potasowo-magnezowa cyklotemu PZ1					
Obszar Chłapowo- Władysławowo-Chałupy	monoklina mazursko- -podlaska	3	1,54	48,30	PR
Obszar Lisewo		1	0,35	9,64	PR
Obszar Żelazna Góra		3	8,05	293,12	PE
Ogółem Polska północna		7	9,94	351,06	
Polska południowo-zachodnia – sól potasowo-magnezowa cyklotemu PZ2					
Obszar Chlebowo- Luboszyce	synklinorium północnosudeckie (peryklina Żar)	40	290,86	2103,61	PE
Obszar Dachów		1	1,22	2,30	PR
Obszar Radnica-Chyże		2	5,57	99,19	PE
Obszar Pomorsko K2	monoklina przedsudecka	6	11,96	82,90	PE
Obszar Drzonków- Droszków		5	14,15	91,84	PE
Obszar Piaski-Jeleniów		14	51,25	336,77	PR
Obszar Nowa Sól K2		11	23,11	131,60	PE
Razem		79	398,12	2848,21	
Polska południowo-zachodnia – sól potasowo-magnezowa cyklotemu PZ3					
Obszar Pomorsko K3	monoklina przedsudecka	2	1,38	14,31	PE
Obszar Nowa Sól K3		16	57,20	424,50	PR
Razem		18	58,58	438,81	
Ogółem Polska południowo-zachodnia		97	456,70	3287,02	
Ogółem na obszarze Polski		104	466,64	3638,08	

PE – zasoby perspektywiczne; PR – zasoby prognostyczne

9.3.7. Ocena zasobów i ich zmian

Przeprowadzone w latach 1990–2011 (Bąk i Przeniosło, 1993; Czapowski i Bukowski, 2011) szacunki zasobów perspektywicznych soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych w Polsce miały bardzo przybliżony charakter ze względu na zakres dostępnej informacji geologicznej oraz operowanie mapami w skali 1:500 000 (Czapowski i Bukowski, 2012, 2013). Bardziej precyzyjne wyliczenia, oparte o okonturowane na mapach w skali 1:200 000 obszary wystąpień perspektywicznych i uaktualnione bogate dane otworowe, przedstawiono w 2015 r. (Mikulski S.Z. i in., 2015b, 2016b). Na podstawie porównania tych nowych danych z informacjami o zasobach perspektywicznych z 2009 r. (Czapowski i Bukowski, 2011) określono skalę zmian w wielkości tych zasobów.

Najnowsze szacunki zasobów przewidywanych soli kamiennej w Polsce wskazują na ich przyrost w ilości ponad 1802 mld Mg i wzrost powierzchni ich występowania o ponad 12 tys. km² (tab. 9.15). W przypadku wystąpień soli permskich w wysadach solnych odnotowano przyrost zasobów o ponad 66 mld Mg i po-

Tab. 9.15. Porównanie zmian wielkości zasobów przewidywanych soli kamiennej w Polsce w latach 2009–2018

Rok szacunku zasobów	Rejon Polski	Zasoby przewidywane	
		Powierzchnia [km²]	Zasoby [mln Mg]
Permska sól kamienna			
wysady solne			
2018	Polska północno-zachodnia i centralna (Niż Polski)	406,87	139 945,79
2009		136,80	73 942,00
Przyrost		270,07	66 003,79
wystąpienia pokładowe			
2018	Polska północna i wschodnia	12 652,62	2 871 221,71
2009		12 791,00	1 213 835,00
Przyrost/ ubytek		–138,38	1 657 386,71
2018	Polska południowo-zachodnia	18 512,79	1 040 895,01
2009		6649,40	966 435,70
Przyrost		11 863,39	74 459,31
Miocenińska sól kamienna			
2018	Zapadlisko przedkarpackie	137,13	6897,29
2009		115,00	2491,00
Przyrost		22,13	4406,29
Zasoby przewidywane soli kamiennej w Polsce ogółem			
2018		31 709,41	4 058 959,80
2009		19 692,20	2 256 703,70
Przyrost		12 017,21	1 802 256,10

wierzchni o 270 km². Zasoby wystąpień pokładowych tych soli w Polsce północnej przyrosły o ponad 1657 mld Mg, przy zmniejszeniu ich powierzchni o ponad 138 km², zaś w Polsce południowo-zachodniej zasoby wzrosły o blisko 74,46 mld Mg, a ich powierzchnia wzrosła o blisko 12 tys. km² (tab. 9.15). W przypadku miocenskiej soli kamiennej w zapadlisku przedkarpackim odnotowano przyrost zasobów o ponad 4,4 mld Mg i powierzchni o 22 km².

W odniesieniu do permskich soli potasowo-magnezowych aktualne (2018 r.) szacunki ich zasobów przewidywanych w Polsce wskazują na przyrost w ilości ponad 2,6 mld Mg kopaliny i wzrost powierzchni obszarów perspektywicznych o ponad 348 km² (tab. 9.16), mimo pominięcia w wyliczeniach wystąpień w wysadach solnych. Zasoby wystąpień pokładowych tych soli w Polsce północnej zmniejszyły się o ponad 268 mln Mg, a ich powierzchnia o blisko 8 km², zaś w Polsce południowo-zachodniej odnotowano przyrost zasobów o ponad 2,98 mld Mg i powierzchni o ponad 356 km² (tab. 9.16).

Sól kamienna jest surowcem niezbędnym w ponad 1500 dziedzinach produkcji (Gruszczyk, 1984; Konstantynowicz, 1989), np. w przemyśle spożywczym (sól jadalna), chemicznym, farbiarskim, kosmetycznym, metalurgicznym, rafineryjnym, w rolnictwie (np. sól pastewna) czy w drogownictwie (sól drogowa). Z kolei sole potasowo-magnezowe wykorzystywane są głównie w rolnictwie jako nawozy sztuczne (szczególnie cenne są polihality), ponadto w przemyśle chemicznym, kosmetycznym, szklarskim czy skórzanym.

Tab. 9.16. Porównanie zmian wielkości zasobów przewidywanych soli potasowo-magnezowych w Polsce w latach 2009–2018

Rok szacunku zasobów	Rejon Polski	Zasoby przewidywane	
		Powierzchnia [km²]	Zasoby [mln Mg]
Permska sól potasowo-magnezowa			
wysady solne			
2018	Polska północno-zachodnia i centralna (Niż Polski)	b.d.	b.d.
2009		0,01	100,00
Przyrost/ ubytek		b.d.	b.d.
wystąpienia pokładowe			
2018	Polska północna	9,94	351,06
2009		17,75	619,44
Ubytek		-7,81	-268,38
2018	Polska południowo-zachodnia	456,70	3287,02
2009		100,00	300,00
Przyrost		356,70	2987,02
Zasoby przewidywane soli potasowo-magnezowej w Polsce ogółem			
2018		466,64	3638,08
2009		117,76	1019,44
Przyrost		348,88	2618,64

b.d. – brak danych

Od połowy ubiegłego wieku coraz większego znaczenia nabiera wtórne zagospodarowanie podziemnych wyrobisk powstałych po eksploatacji soli kamiennej. Zamiast likwidacji przez zalanie solanką czy podszadanie, są one często zamienione w atrakcyjne obiekty muzealno-turystyczno-sanatoryjne (np. podziemne zabytkowe kopalnie soli w Wieliczce czy Bochni) czy łączące działalność wydobywczą z turystyczną (np. podziemna kopalnia soli w Kłodawie). Ponadto sól kamienna ze względu na swoje właściwości (ługowność, plastyczność gwarantującą szczelność, wysokie przewodnictwo cieplne, brak reakcji z gazami i węglowodorami oraz produktami ich przetworzenia) doskonale spisuje się jako ośrodek skalny do przechowywania (magazynowania) mediów gazowych (np. gaz ziemny, wodór, hel) czy paliw oraz do składowania uciążliwych bądź niebezpiecznych (w tym promieniotwórczych) odpadów (np. Herrmann i Knipping, 1993; Garlicki, 1997; Ślizowski K. i in., 2004; Kukiałka, 2015). Stąd coraz większe zainteresowanie w Polsce wytworzeniem odpowiednich pustek (tzw. kawern) w złożach soli, mogących funkcjonować jako podziemne magazyny (np. Grabania, 1992; Mazur M. i in., 1994; Ślizowski J. i Urbańczyk, 2001; Jasiński, 2004; Ślizowski K. i in., 2004, 2006; Kleczek i in., 2005; Brańka i in., 2006; Maciejewski, 2008; Brańka, 2009; Kunstman i in., 2009; Ślizowski K. i Lankof, 2009; Czapowski i Tomassi-Morawiec, 2012) lub składowiska (np. Poborska-Młynarska, 2000; 2008; Kleczek i Zejlaś, 2004; Lankof i in., 2013; Ślizowski K. i Lankof, 2009). Powstanie tych przestrzeni wiąże się zarazem z pozyskiwaniem soli niezbędnej do rozwoju gospodarki.

W Polsce funkcjonuje już magazyn gazu ziemnego w kawernach solnych w wysadzie solnym Mogilno (np. Reinisch, 2000; Gąska i in., 2012) i rozbudowywany jest kawernowy magazyn gazu Kosakowo w pokładowym złożu soli kamiennej Mechelinki (np. Laskowska i in., 2009; Gąska i in., 2012). W części wyeksploatowanych kawern solnych w wysadzie solnym Góra magazynowane są ciekłe paliwa (np. Jasiński, 2000), rozpatrywano także możliwości składowania w kawernach solnych skroplonego dwutlenku węgla (Poborska-Młynarska, 2008). Najnowszą koncepcją wykorzystania kawern solnych jako swoistych „magazynów energii” jest propozycja zatłaczania do nich wodoru, uzyskanego z hydrolizy wody podczas okresów

nadwyżek energii w sieci, a następnie jego uwalnianie i bezemisyjne spalanie w instalacjach energetycznych celem uzupełnienia deficytu energii (np. Kaliski i Sikora, 2013; Kunstman i Urbańczyk, 2013; Chromik, 2015, 2016; Czapowski i Tarkowski, 2018; Tarkowski i Czapowski, 2018). Istotnym problemem jest właściwe zagospodarowanie solanki ługowniczej, powstałej przy budowaniu kawern solnych (np. Kunstman i in., 2002, 2009; Gąska i in., 2012). Zwykle jest ona przetwarzana w pobliskich zakładach warzelniczych, ale przy ich braku zrzucana jest do rzek lub zbiorników morskich. W ostatnim przypadku taki zrzut napowietrzonej solanki ługowniczej może pozytywnie oddziaływać na środowisko wysłodzonych i słabo utlenionych wód przybrzeżnych Bałtyku (np. Zatoka Pucka), przywracając im naturalne zasolenie i pierwotną morską biocenozę (Pieńkowski, 2009).

Zapotrzebowanie na bezemisyjną energetykę może wpłynąć na dalszy wzrost zainteresowania bardzo efektywnym magazynowaniem gazu ziemnego czy wodoru oraz paliw w kawernach solnych, zarówno w ramach tworzenia rezerw strategicznych, jak i szybkiego operowania tymi mediami na bieżącym rynku energii. Także w przypadku uruchomienia elektrowni jądrowych w Polsce wystąpienia soli kamiennej stanowią w dalszej przyszłości korzystne obiekty geologiczne do lokowania w ich obrębie w pełni bezpiecznych składowisk odpadów promieniotwórczych, niepodlegających innej utylizacji. Należy się również liczyć z wpływem na środowisko postępujących zmian klimatycznych (globalne ocieplenie), które mogą w przyszłości bardziej zróżnicować zapotrzebowanie na poszczególne typy soli, np. w związku ze spadkiem popytu na tzw. sól drogową.

Rozmieszczenie obszarów perspektywicznych występowania soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych w Polsce ilustruje załącznik 5.

9.3.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Udokumentowane i przewidywane zasoby soli kamiennej w Polsce są bardzo duże (ponad 4,16 bln Mg) i gwarantują zaspokojenie zapotrzebowania na ten surowiec przez wiele dziesięcioleci. Udokumentowane złoża w wielu dotąd niezagospodarowanych wysadach solnych (np. Damasławek, Lubień czy Łanięta) oraz w wystąpieniach pokładowych (Łeba, Rybnik-Zary-Orzesze, Zatoka Pucka) umożliwiają – po aktualizacji starszych dokumentacji – budowę nowych obiektów górniczych.

Rosnącego znaczenia nabiera też wykorzystanie wytworzonych w masywach solnych pustek, jako w pełni bezpiecznych, operacyjnych (krótki okres odzyskiwania zatłoczonego medium) podziemnych magazynów węglowodorów czy składowisk odpadów uciążliwych (w tym promieniotwórczych), nie podlegających prostej utylizacji. Magazyny takie można budować we wspomnianych wcześniej wysadach solnych i złożach pokładowych. W program „czystej” energii (zero emisyjnej) wpisuje się też koncepcja magazynowania wodoru w niewielkich kawernach solnych, gazu spalanego bez szkodliwych emisji w odpowiednich instalacjach w okresach niedoboru energetycznego (np. Tarkowski, 2017, 2018).

W przypadku soli K-Mg ich udokumentowane wystąpienia w rejonie Zatoki Puckiej należy zweryfikować (głównie dzięki wykonaniu i zbadaniu otworów wiertniczych) i oszacować realną wielkość ich zasobów wraz z oceną opłacalności wydobywania kopaliny (np. Czapowski i in., 2008b; Czapowski i Bukowski, 2009, 2013). Zarejestrowane na obszarze przedsudeckim wystąpienia soli K-Mg wymagają dalszego kompleksowego rozpoznania geologicznego i udokumentowania ich zasobów.

Andrzej Gąsiewicz

9.4. FOSFORITY (*PHOSPHORITES*)

9.4.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Wyróżnia się dwa główne typy skał fosforytowych – powstałe na skutek procesów magmowych lub procesów osadowych. Fosforyty pochodzenia osadowego należą do skał biochemicznych i są efektem wytrącania fosforanów w osadach. Tworzą one złoża typu pokładowego złożone z horyzontów, warstw oraz mniej lub bardziej upakowanych, mniejszych i większych ziaren, skupień i kongregacji fosforytowych zawierających zmienną domieszkę różnych ziaren detrytycznych i mineralnych.

Pod względem ilościowym na świecie dominują złoża fosforytów pochodzenia osadowego (USGS, 2018). Należą do nich koncentracje kongregacji fosforytowych w różnowiekowych kopalnych osadach pochodzenia morskiego. Utworzyły się one na drodze erozji, przesiewania i akumulacji przez prądy wodne (np. Baturin, 1981; Föllmi, 1996).

Fosforyty na obszarze Polski są dość powszechne i rozproszone w osadowych skałach klastycznych i węglanowych różnego wieku, od kambru po eocen. Największe koncentracje fosforytów występują w utworach kredy Niżu Polskiego (Uberna, 1970, 1982, 1987; Morawiecki, 1971).

9.4.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Główne światowe zasoby fosforytów są związane z morskimi formacjami osadowymi i znajdują się w krajach północnej Afryki, w Chinach, na Środkowym Wschodzie i w USA. Światowe zasoby skał fosforytonośnych wynoszą ponad 300 mld Mg, a największe wydobycie utrzymywało się w 2018 r. w Chinach (USGS, 2019).

W Polsce, ze względu na znaczną głębokość występowania (ok. 50–300 m), niewielką miąższość warstwy złożowej (średnio 0,5–1,5 m), ogólnie niewielką zasobność kongregacji fosforytowych (ok. 350–900 kg/m², tj. znacznie poniżej minimalnej zasobności określonej w *Rozporządzeniu...*, 2015a; tab. 9.17), a szczególnie ze względu na duże zawodnienie złóż, fosforyty nie mają wartości ekonomicznej. W związku z powyższym złoża fosforytów nie są obecnie uwzględniane w *Bilansie zasobów*.

Tab. 9.17. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża fosforytów i jego granice
(*Rozporządzenie...*, 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Maksymalna głębokość dokumentowania	m	400
Minimalna średnia zawartość P ₂ O ₅ w kongregacjach fosforytowych w profilu złoża	%	15
Minimalna zasobność kongregacji fosforytowych	Mg/m ²	1,8

9.4.3. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

W Polsce większe pokładowe nagromadzenia fosforytów, których eksplorację i eksploatację prowadzono w XX w., występują w północnym obrzeżeniu mezozoicznym Gór Świętokrzyskich, w południowo-zachodnim obrzeżeniu niecki łódzkiej, na północnej Lubelszczyźnie i w rejonie Zatoki Puckiej (fig. 9.5). W podziale na jednostki tektoniczne Polski (Żelaźniewicz i in., 2011) obszary te znajdują się odpowiednio w: południowej części antyklinorium śródpolskiego (segment szydlowiecki), południowej części synklinorium szczecińsko-miechowskiego (południowa część segmentu mogileńsko-łódzkiego), południowej części synklinorium kościerzynsko-puławskiego (segment puławski), a także w południowej i północnej części monokliny mazursko-podlaskiej.



Fig. 9.5. Obszary perspektywiczne występowania fosforytów w Polsce (wg Uberny, 1987, zmodyf.)

Najpospolitszą formą występowania fosforytów są różnej wielkości konkrecje (od kilku milimetrów do kilkudziesięciu centymetrów), a znacznie rzadziej nieregularne i większe zlepy fosforytowe. Są one złożone z fosforanów wapnia, w tym z anizotropowego frankolitu.

Koncentracje fosforytów są lokalnie bardzo zróżnicowane i tworzą mniej lub bardziej ciągle horyzonty i pokłady. Głównymi składnikami konkrecji fosforanowych są minerały fosforanowe (do 20–35%) i kwarc (do 30–40%), ze zmienną domieszką substancji organicznej (lokalnie do 20%) i glaukonitu (<10%; Uberna, 1970, 1982, 1987; Uberna i in., 1971).

W Polsce najważniejsze są dwie osadowe formacje fosforytonośne: albska i eoceńska (Uberna, 1970, 1982, 1987). Różnią się pod względem litologii, sposobu występowania i koncentracji fosforytów oraz zawartości głównego ich składnika (P_2O_5).

Utwory albu

Ze względu na zawartość P_2O_5 znaczenie (dokumentacje geologiczne w XX w.) przypisywano fosforytom powszechnie występującym w datowanych na alb piaskach kwarcowo-glaukonitowych, lokalnie zailonnych i marglistych, znanych z obszaru Nizy Polskiego (Uberna, 1970, 1982, 1987; Uberna i in., 1971). Dwa główne obszary większych nagromadzeń fosforytów albskich to północne obrzeżenie Gór Świętokrzyskich i południowo-zachodnie obrzeżenie niecki łódzkiej.

W północnym obrzeżeniu mezozoicznym Gór Świętokrzyskich fosforyty występują w wąskim pasie wychodni utworów kredowych, pod cienką pokrywą gez, margli i wapieni cenomanu i turonu (fig. 9.6). Pas ten ma długość ok. 150 km i ciągnie się od Pilicy na NW do Janowa Lubelskiego w kierunku SE (Uberna, 1970, 1982, 1987; Morawiecki, 1971). Konkrecje fosforytowe tworzą dwa pokłady fosforytonośne, przedzielone warstwą gezy lub piasku glaukonitowego. Pokłady fosforytonośne nie są ciągłe na większych odległościach, ulegają wyklinowywaniu lub zanikają. W efekcie nierzadko występuje tylko jeden pokład

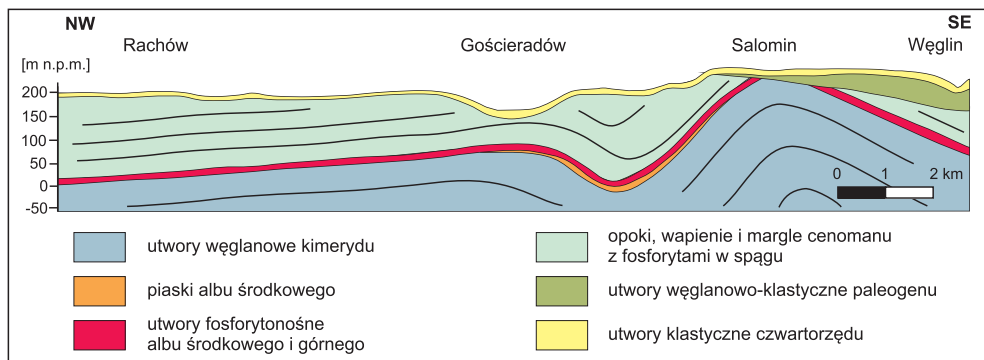


Fig. 9.6. Przekrój geologiczny przez utwory kredowe z fosforytami w rejonie Rachoń-Salomin (południowa część świętokrzyskiego obszaru fosforytonośnego; wg Uberny, 1970, uproszczone)

dolny jest grubszy (średnio do 2,2 m miąższości) niż górny (średnia miąższość nie przekracza 1,1 m). Miąższość tych pokładów jest bardzo zmienna, wynosi od 0,3 do 3,6 m. Udział konkrecji o średnicy ponad 2 mm w warstwie fosforytonośnej jest bardzo zróżnicowany i zależnie od regionu waha się od ok. 2 do 72%, średnio od 3 do ok. 42%, choć lokalnie średnia może dochodzić do 52%.

Na południowo-zachodnim obrzeżeniu niecki łódzkiej fosforyty występują w rejonie Burzenina, po obu stronach Warty. Są związane z wąskim pasem wychodni utworów albu, ciągnącym się od Sieradza po Koniecpol (Uberna, 1970, 1982, 1987). Fosforyty występują tu w stropowej części piasków albu, tworząc pokład o zmiennej miąższości (od 0,8 do 2,0 m) i są przykryte utworami ilasto-wapiennymi i marglistymi cenomanu. Seria fosforytonośna jest nachylona pod kątem do 3° ku NE.

Utwory eocenu

Fosforyty eoceńskie występują na dużej części Niżu Polskiego. Większe koncentracje konkrecji fosforytów rozpoznano na terenie północnej Lubelszczyzny (między Wisłą, Bugiem i Wieprzem) i w rejonie Zatoki Puckiej, gdzie pojawiają się w piaszczystych utworach kwarcowo-glaukonitowych, lokalnie wapienistych i żyłonowych górnego eocenu (fig. 9.7) i są przykryte utworami czwartorzędu i/lub młodszego neogenu (Uberna, 1970, 1982, 1987). Fosforyty występują tu jako pojedyncze (nierzadko duże, do 12 cm średnicy), a lokalnie obficie rozsiane konkrecje, tworzące mało wyraźne poziomy lub warstwy. W rejonie Zatoki Puckiej konkrecje fosforytowe występują nieregularnie na głębokości ponad 120 m i tworzą do kilku poziomów fosforytonośnych (przeważnie 1–2) o łącznej miąższości od 0,4 m do 4,0 m.

Na północnej Lubelszczyźnie fosforyty tworzą jeden pokład o zmiennej miąższości, zwykle malejącej w kierunku NE. Warstwa fosforytonośna ma przeważnie miąższość 20–40 cm, a między Kockiem i Puławami osiąga do 1,0–1,3 m i jest najlepiej rozwinięta w Michowie (do 3,3 m miąższości w rejonie Łakoci). Fosforyty występują tam w formie konkrecji (o wymiarach do kilku centymetrów), a czasem jako zlepy fosforytowe. Koncentracja konkrecji jest niekiedy znaczna i stanowi do 60% składników warstwy.

9.4.4. Ocena zasobów i ich zmian

Udokumentowane złożowe koncentracje fosforytów w utworach albu w pasie od Radomia po Gościeradów (rejon Janowa Lubelskiego) wynoszą 42 410 tys. Mg (Przeniosło i Malon, 2006). W fosforytach tego regionu zawartość P_2O_5 jest zmienna i waha się od 3,9 do 23,2%, średnio od 11,4 do 19,6%. W związku ze zmienną zawartością konkrecji fosforytowych, zmienna jest również wydajność konkrecji fosforytowych na obszarach ich występowania. Największą zawartość P_2O_5 w fosforytach zanotowano w rejonie Ilży – ok. 150 kg/m² (Uberna, 1987).

Na opisanym obszarze udokumentowano szereg blisko siebie położonych, szczególnie w rejonie Radomia-Ilży, wystąpień złożowych fosforytów. Do najważniejszych należą rejony Radomia-Ilży, Chałupek, Annapola i Gościeradowa. Dla tych obszarów wykonano dokumentacje w kategorii C₂ oraz dokonano oceny zasobów prognostycznych (kategoria D₁) i potencjalnych (D₂; Uberna, 1970, 1982, 1987; Uberna i in., 1971).

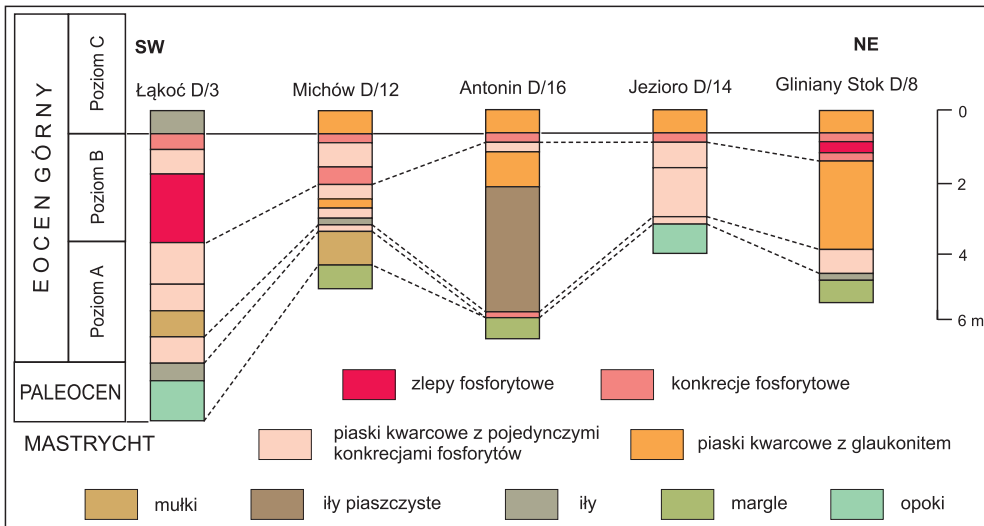


Fig. 9.7. Profile utworów fosforytonośnych paleogenu w południowej części obszaru fosforytonośnego Lubelszczyzny (wg Ubrny, 1982, zmodyf.)

Zasoby geologiczne 7 udokumentowanych złóż w kategorii C_2 w rejonie Radomia-Iłży wynoszą 30 220 tys. Mg (Przeniosło i Malon, 2006). Dla obszarów położonych nieco dalej na południe, w rejonie Annapola (obejmującego 3 obszary złożowe: Annapol, Chałupki i Gościeradów-Modliborzyce), zasoby wynoszą łącznie 12 190 tys. Mg.

Zasoby najbogatszych obszarów złożowych fosforytów albu zawierają zmienne ilości P_2O_5 (od 13,5 do 22,3%) i przy wydajności konkrecji o wielkości ponad 2 mm od 280 do 900 kg/m² wynoszą 42,4 mln Mg, w tym 7,35 mln Mg P_2O_5 (Przeniosło, 1999). Zasoby perspektywiczne tych obszarów wedle kryteriów zasobowych z lat 80. XX w. oceniono na ok. 100 mln Mg, zaś teoretyczne na 4–5 mld Mg (Ubrna, 1987). Po zastosowaniu technologii wzbogacenia fosforytów otrzymano koncentraty o zawartości 28–32% P_2O_5 oraz pewne ilości kwasu fosforowego i inne produkty fosforanowe (Morawiecki, 1971; Ubrna, 1982).

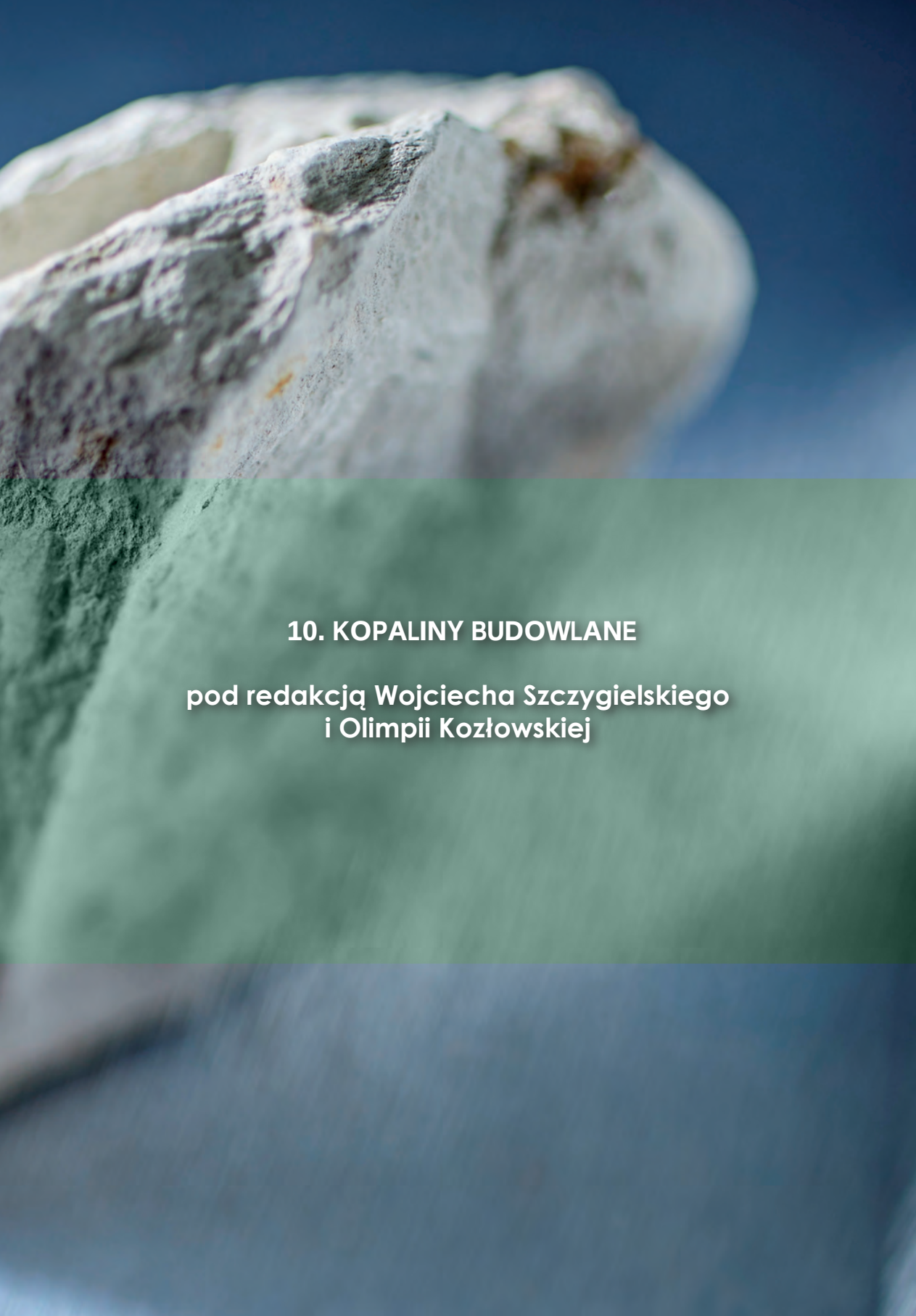
Na obszarze zachodniego obrzeżenia niecki łódzkiej wykonano dokumentację geologiczną złoża fosforytów w Burzeninie (kategorie C_1 i C_2). Albskie konkrecje fosforytowe z tego obszaru zawierają średnio ok. 17–20% P_2O_5 i cechują się bardzo zmienną zawartością P_2O_5 (do ok. 60 kg/m²).

Na terenie północnej Lubelszczyzny koncentracje fosforytów eoceńskich rozpoznane w kategorii D_2 występują w rejonie Glinnego Stoku i Łąkości (Ubrna, 1970, 1982, 1987). W rejonie Mielnika nad Bugiem stwierdzono średnią zawartość P_2O_5 w fosforytach o frakcji >2 mm wynoszącą od ok. 12 do 17%, średnio 15%. Natomiast średnia wydajność fosforytów jest tam wysoka i wynosi 600 kg/m². W rejonie Zatoki Puckiej wydajność fosforytów wynosi 85–204 kg/m², a zawartość P_2O_5 – 17–35 kg/m².

9.4.5. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Brak jest przesłanek ekonomicznych do kwalifikacji wystąpień fosforytów w Polsce jako zasobów prognostycznych. Ich eksploatacji zaprzestano w drugiej połowie XX w. Późniejsze prace dokumentacyjne w latach 80. XX w. potwierdziły brak uzasadnienia ekonomicznego prowadzenia dalszych prac poszukiwawczych na Niżu Polskim. W świetle obecnych kryteriów bilansowości nie mają one znaczenia ekonomicznego. Fosfor, będący powszechnym składnikiem nawozów sztucznych stosowanych w rolnictwie, nie ma substytutów. Krajowe zapotrzebowanie na fosforyty jest w całości pokrywane importem.

Obniżenie wymagań dotyczących zawartości P_2O_5 w kopalinach eksploatowanych (nawet do 6%) stworzyłoby podstawę do weryfikacji oceny dawniej udokumentowanych złóż fosforytów. Pozwoliłoby to obecnie zakwalifikować ich zasoby do perspektywicznych.



10. KOPALINY BUDOWLANE

pod redakcją Wojciecha Szczygielskiego
i Olimpii Kozłowskiej

Wojciech Szczygielski, Iwona Walentek

10.1. SUROWCE CERAMIKI BUDOWLANEJ (*BUILDING CERAMICS RAW MATERIALS*), SUROWCE DO PRODUKCJI KRUSZYW CERAMICZNYCH I CEMENTU (*MINERAL RAW MATERIALS FOR PRODUCTION OF CLAY AGGREGATES AND CEMENT CLINKER*)

10.1.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Do surowców ilastych stosowanych w przemyśle ceramiki budowlanej, do produkcji kruszywa lekkiego i cementu zalicza się różnorodne skały bogate w minerały ilaste: iły, iłowce, iłolupki, mułki, gliny i ilaste zwietrzeliny. Zalicza się do nich także lessy, które zawierają zaledwie kilka procent minerałów ilastych, ale są przydatne do produkcji cegły, cementu i były brane pod uwagę jako surowiec do produkcji kruszyw lekkich. Minerały ilaste mają istotny, a nawet dominujący, wpływ na właściwości surowcowe kopaliny i jej zastosowanie przemysłowe. Genetycznie są to skały pochodzenia osadowego. Powstawały w rozmaitych warunkach i środowiskach: morskim, jeziornym, rzeczonym, lądowym i lodowcowym. Na podstawie wieku, genezy, wykształcenia osadów oraz właściwości surowca i jego przemysłowego zastosowania wyróżnia się kilkanaście jednostek litologiczno-surowcowych (Kozydra i Wyrwicki, 1970; Nieć i Ratajczak, 2004d). W Polsce są znane złoża surowców ilastych o wieku od kambru po czwartorzęd, poza ordowickimi i sylurskimi.

10.1.1.1. Surowce czwartorzędowe

Iły i gliny aluwialne (rzeczne) występują przede wszystkim w dolinach większych rzek, w delcie Wisły na Żuławach Wiślanych oraz w Karpatach i Sudetach. Rozpoznano złoża holoceniskie oraz plejstoceniskie. Na ogół pokłady cechują się niewielką miąższością wynoszącą kilka metrów. Duże zróżnicowanie litologiczne osadów powoduje zmienność jakości surowca.

Utwory aluwialne są przydatne do produkcji grubościennych i cienkościennych wyrobów ceramiki budowlanej, czasami wyrobów spieczonych i dachówki. Jest to surowiec o znaczeniu lokalnym.

Obecnie jest eksploatowanych kilkanaście złóż w rejonie Sandomierza i Tarnobrzega.

Lessy i utwory lessopodobne występują na Wyżynie Lubelskiej i Rostoczu, w Górach Świętokrzyskich, w Niece Nidziańskiej, w Karpatach i na Podkarpaciu, w Sudetach i na Pogórzu Sudeckim oraz na Opolszczyźnie. Pokrywy lessowe utworzyły się w plejstocenie. Ich miąższość wynosi od 1 do ponad 30 m, zazwyczaj od kilku do kilkunastu metrów. Wyróżnia się lessy eoliczne (właściwe) oraz gliny lessowe (lessy zglinione) zazwyczaj pozbawione pierwotnej struktury i zmienione w wyniku procesów wietrzeniowych i erozyjnych. Gliny lessowe mają lepsze właściwości niż lessy właściwe. Są bardziej plastyczne i zawierają więcej topników. Surowce lessowe charakteryzuje niska plastyczność, która nie pozwala na formowanie wyrobów maszynowo metodą plastyczną. Skurczliwość wysychania glin lessowych wynosi 1,5–5,4%, śr. 3,4%. W ceramice budowlanej mogą być stosowane do produkcji wyrobów grubościennych: cegły pełnej (formowanie ręczne) oraz klinkieru drogowego (prasowanie na sucho). Gliny lessowe wypalone w temperaturze 850°C cechuje nasiąkliwość 13,5–19,1% i wytrzymałość na ściskanie 3,8–11,6 MPa. Gliny lessowe z Izbicy wypalone w temperaturze 1180–1230°C odznaczają się niską nasiąkliwością 1,1–3,9% oraz wytrzymałością 72–156 MPa (System... MIDAS – <http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/midas>).

Surowce lessowe były szeroko wykorzystywane na Lubelszczyźnie i Rostoczu ze względu na łatwą dostępność oraz brak lepszych surowców. Obecnie ich znaczenia gospodarcze jest bardzo małe. W 2018 r. eksploatowano dziewięć złóż na Lubelszczyźnie oraz jedno w Radymnie na Podkarpaciu. Produkcja obejmuje cegłę pełną, cegły i kształtki do konserwacji zabytków, płytki ceglane. Oferowane są także gliniane tynki (<http://santerra.pl/produkty>). Klinkieru drogowego nie produkuje się od 2001 r. Kilka złóż udokumentowano w latach 60. i 70. XX w. pod kątem wytworzenia kruszywa ceramicznego – glinoporytu, ale produkcji nie podjęto. Surowce te są także wykorzystywane do wypału klinkieru cementowego i obecnie jest to najbardziej perspektywiczny kierunek zastosowania tego surowca w przemyśle (Szczygielski, 2019a–c).

Iły i mułki elbląskie (iły yoldiowe) występują na Wyżynie Elbląskiej na północ od Elbląga w pasie o długości kilkunastu kilometrów, wzdłuż brzegu Zalewu Wiślanego. Pokłady mają bardzo zmienną miąższość – od kilkudziesięciu centymetrów do 30 m. Są silnie zaburzone w wyniku procesów glacytektonicznych i czasami zalegają pod stromym kątem. Ich jakość jest bardzo zmienna. Przeważają surowce średnio-

plastyczne i plastyczne. Skurczliwość wysychania wynosi 3,0–11,1%. Zawierają dużo topników, co powoduje, że są niskotopliwe. Można uzyskać z nich trzy rodzaje tworzywa ceramicznego: porowate, spieczone i spiecznione. Współczynnik pęcznienia wynosi od 2,16 dla mułków do 3,0 dla ilów tłustych. Surowce te wykorzystywano do produkcji ceramiki budowlanej, w tym wyrobów częściowo spieczonych, a także wyrobów majolikowych w słynnej wytwórni w Kadynach (Kozydra i Wyrwicki, 1970; Nieć i Ratajczak, 2004d).

Obecnie iły i mułki elbląskie nie są eksploatowane. Ich udokumentowane zasoby są niewielkie, a zmienność zalegania i jakości raczej wyklucza eksploatację na większą skalę.

Iły i mułki zastoiskowe występują najczęściej w północnej i środkowej oraz południowo-zachodniej Polsce na obszarze zlodowaceń środkowo- i północnopolskich. Rzadziej są spotykane w południowej części kraju. Powstały w plejstocenie z nagromadzenia drobnego materiału w jeziorach lodowcowych (zastoiskowych) tworzących się przed czołem lądolodu. Największe jezioro tego typu, zastoisko warszawskie, obejmowało powierzchnię tysięcy kilometrów kwadratowych. Mniejsze istniały m.in.: w rejonie Poznania, Złocieńca, Łęborka, Gniewu, Olsztyna, Suwałk, Białegostoku, Włocławka oraz między Pasłękiem i Ornetą. Miąższość pokładów ilastych zazwyczaj waha się w granicach 5–10 m, ale może dochodzić do 30 m. Często są wyraźnie warstwowane (iły warwowe). Według klasyfikacji petrograficznej są to najczęściej iły i mułki ilaste, wapniste, poliminerálne. Głównymi składnikami są: pelit kwarcowy do 50%, minerały ilaste 30–80% (illit, beidellit, chloryt i domieszki montmorillonitu) oraz węglany (kalcyt i niekiedy dolomit) 1–25%, średnio 8–14%. Zawierają zwykle do 10% frakcji piaszczystej. Frakcja >2 mm prawie nie występuje. Charakteryzują się zmienną plastycznością uzależnioną od zawartości minerałów ilastych. Skurczliwość wysychania waha się od kilku do 10%, rzadko więcej. Ze składników szkodliwych dość często jest obecny margiel ceramiczny, który może uniemożliwić wykorzystanie pewnych partii surowca do produkcji wyrobów ceramicznych, natomiast inne składniki szkodliwe nie występują w ogóle, albo w minimalnych ilościach.

Ze względu na wapnisty charakter i wąski interwał spiekania iły i mułki zastoiskowe są wykorzystywane tylko do produkcji wyrobów o czerepie porowatym. Tworzywo wypalone w temperaturze rzędu 850–1000°C ma nasiąkliwość ok. 15–17% i wytrzymałość na ściskanie 21–26 MPa. Odmiany bogate w minerały ilaste są stosowane do produkcji keramzytu (Kozydra i Wyrwicki, 1970; Nieć i Ratajczak, 2004d). Współczynnik pęcznienia ilów z rejonu Gniewu wynosi śr. 5,2 (System... MIDAS).

Iły i mułki zastoiskowe to bardzo ważny surowiec do produkcji wszystkich rodzajów wyrobów o czerepie porowatym: grubościennych, drażonych i cienkościennych, a także do produkcji kruszywa ceramicznego – keramzytu.

Gliny lodowcowe (zwałowe, morenowe) pospolicie występują na terenie prawie całego kraju, z wyjątkiem Karpat, części Sudetów, Gór Świętokrzyskich i Wyżyny Lubelskiej. Utwory odsłaniające się na powierzchni są głównie pozostałościami zlodowaceń północno- i środkowopolskich, a tylko nieliczne zlodowaceń południowopolskich (w południowo-wschodniej części Polski). Miąższość pokładów jest zróżnicowana – od kilku do kilkudziesięciu metrów. Gliny są bardzo zróżnicowane litologicznie, charakterystyczne jest występowanie w nich materiału skalnego o różnych frakcjach (od ilastej do żwirowej), głazów, soczewek piasków czy porwaków ilów. Zawierają znaczne ilości szkodliwych składników ziarnistych >2 mm i margla ceramicznego. Dlatego często eksploatowano tylko przypowierzchniową (0,5–2,5 m) warstwę glin odwapnionych w wyniku działania czynników hipergenicnych, pozbawioną szkodliwego margla. Zawartość minerałów ilastych wynosi przeciętnie ok. 10%. Są to surowce chude, ale dają się formować metodą plastyczną (Kozydra i Wyrwicki, 1970; Nieć i Ratajczak, 2004d).

Gliny lodowcowe były w przeszłości powszechnie wykorzystywane w setkach małych cegielni, głównie do produkcji cegły pełnej. Używano ich także jako surowca schudzającego (uzupełniającego) plastyczne iły płoceńskie i zastoiskowe (o ile nie pogarszały jakości wyrobów) oraz do produkcji glinoporytu. Obecnie tylko kilka cegielni w Polsce produkuje wyroby z tego surowca. Współcześnie gliny lodowcowe nie znajdują szerszego zastosowania w przemyśle.

10.1.1.2. Surowce neogenu i paleogenu

Iły serii poznańskiej są znane ze środkowej i południowo-zachodniej Polski. Powstały w rozległym śródlądowym zbiorniku sedymentacyjnym od miocenu do pliocenu. Miąższość całego kompleksu przeciętnie wynosi 40–60 m, a maksymalnie osiąga 160 m. W obrębie formacji wyróżnia się trzy poziomy litostratygraficzne: iły płomieniste (pstre), iły zielone, iły szare. W profilu litologicznym iły stanowią ok. 60%, mułki 20%, a piaski średnio- i drobnoziarniste – 20%. Udział piasków wzrasta w brzeżnych częściach obszaru występowania serii poznańskiej, zwłaszcza na przedpolu Sudetów.

Złoża występują na powierzchni „punktowo”, co wynika z tego, że bardzo często znajdują się w obrębie elewacji i diapirów o genezie glaciektonicznej.

Wysztalcone są przeważnie jako bezwapienne iły i mułki, mniej lub bardziej zapiaszczone. Dość często zawierają rozproszone konkrety wapienne i wapienno-dolomityczne, które czasami tworzą przewarstwienia i poziomy. Występują w nich także: siarczki żelaza, syderyt, gips i siarczany. Zawartość minerałów ilastych wynosi 35–90%, przeciętnie 50–60%. Są to głównie smektyty szeregu beidellit–nontronit i minerały mieszanopakietowe smektyt–illit. W centralnej części obszaru występowania iłów dominuje beidellit, w brzeżnych partiach wzrasta udział illitu i minerałów mieszanopakietowych, a na przedpolu Sudetów dominuje kaolinit. Surowiec zalicza się do plastycznych i bardzo plastycznych. Skurczliwość wysychania wynosi zazwyczaj powyżej 8,1% (2,0–16,2%). Z tego surowca można otrzymać trzy rodzaje tworzywa ceramicznego: porowate, spieczone i spęcznione. Tworzywo spieczone cechuje nasiąkliwość 0,1–4,0% oraz wytrzymałość mechaniczna 25–150 MPa. Iły serii poznańskiej wykorzystywano do produkcji keramzytu. Współczynnik pęcznienia najlepszych odmian zawierających siarczki żelaza wynosi 5,2–7,3.

Iły serii poznańskiej są bardzo ważnym surowcem do produkcji porowatych i spieczonych (w tym dachowych) wyrobów ceramiki budowlanej. Eksploatacja jest prowadzona w kilkudziesięciu miejscach. Dodatkowym źródłem tego surowca są złoża węgla brunatnego, w których iły stanowią kopalinę towarzyszącą i są selektywnie wydobywane podczas udostępniania i eksploatacji pokładów węgla (Ratajczak i Hycnar, 2017).

Morskie iły miocenne występują na obszarze zapadliska przedkarpackiego. Jednostka ta rozciąga się na długości tysięcy kilometrów wzdłuż łuku Karpat. W granicach Polski długość zapadliska przedkarpackiego wynosi ok. 300 km, szerokość – maksymalnie do 100 km, a miąższość wypełniających go utworów – do 3000 m. Obszar ciągnie się od wschodniej granicy kraju, aż po okolice Rybnika na Górnym Śląsku. Południową granicę wyznacza nasunięcie Karpat, a od północy obszar graniczy z wyżynami środkowopolskimi (Oszczypko, 2006).

Znaczenie surowcowe mają utwory młodszego miocenu (baden–sarmat), wśród których wyróżnia się szereg jednostek litostratygraficznych, m.in.: warstwy grabowieckie, warstwy chodenickie i iły krakowieckie.

Budowa geologiczna złóż jest na ogół prosta, a wysztalcenie litologiczne i jakość kopaliny są jednorodne. Warstwy zalegają prawie poziomo, jedynie przy granicy Karpat są intensywnie zaburzone tektonicznie i sfałdowane, a w obrębie iłów występują przewarstwienia zlepieńców, piaskowców, łupków, margli i wapieni.

W profilu geologicznym dominują wapieniste, czasami słabo wapieniste iły mułkowe, mułki ilaste i mułki ilasto-piaszczyste. Frakcja piaszczysta stanowi na ogół mniej niż 1%, a frakcja >2 mm prawie nie występuje. Wśród minerałów ilastych dominują illit oraz minerały mieszanopakietowe illit–smektyt, smektyt–illit, beidellit–nontronit, a podrzędnie występują kaolinit, chloryt i montmorillonit. Minerały nieilaste to: kwarc, kalcyt, dolomit i tlenyżelazo. Ze składników szkodliwych są obecne siarczki żelaza, siarczany, czasami margiel i kryształy gipsu. Zazwyczaj margiel jest spotykany tylko w przystropowych partiach iłów, natomiast głębiej węglany występują w nieszkodliwej formie rozproszonej. Większą ilość marglu i innych składników ziarnistych stwierdzono w złożach zaburzonych tektonicznie usytuowanych wzdłuż brzegu nasunięcia Karpat. Iły są zaliczane do średnioplastycznych i plastycznych: wartość wody zarobowej waha w zakresie 19–44 %, średnio 30%, skurczliwość wysychania w ok. 90% przypadków wynosi 5–10%. Tworzywo wypalone w 1000°C ma wytrzymałość na ściskanie 20–60 MPa, średnio 30 MPa i nasiąkliwość 6–18%.

Morskie iły miocenne stanowią bardzo dobry surowiec do produkcji wyrobów drążonych i cienkościennych o czerepie porowatym. Nie są wykorzystywane do produkcji wyrobów spieczonych ze względu na wapienisty charakter i wąski interwał spiekania. Niektóre odmiany wykazują skłonność do termicznego pęcznienia (współczynnik pęcznienia wynosi 1,48–3,70) i potencjalnie stanowią surowiec do produkcji keramzytu, ale na skalę przemysłową nie były dotąd stosowane (Kozydra i Wyrwicki, 1970; Nieć i Ratajczak, 2004d). Eksploatowane są pokłady zalegające do głębokości maksymalnie 40 m.

Iły oligocenne pochodzenia morskiego (iły septariowe) występują jedynie w północno-zachodniej części Polski w okolicach Szczecina. Miąższość pokładów dochodzi do 60 m. Często są silnie zaburzone glaciektonicznie.

Pod względem petrograficznym są to bezwapienne iły i mułki, mniej lub bardziej zapiaszczone. W skład minerałów ilastych wchodzi głównie: illit, smektyt i kaolinit, a podrzędnie występują chloryty i glaukonit. Iły zawierają różne składniki szkodliwe: konkrety węglanowe o średnicy od kilku do kilkudziesięciu centymetrów (septarie), siarczki żelaza, kryształy gipsu oraz siarczany rozpuszczalne w wodzie w ilościach powodujących wykwyty na wypalonych wyrobach. Iły septariowe są zaliczane do surowców plastycznych i bardzo plastycznych: ilość wody zarobowej wynosi 38–41%, skurczliwość wysychania 8–10% lub więcej,

są bardzo wrażliwe na suszenie. Możliwe jest uzyskanie z nich tworzywa porowatego, spieczonego i spęsnionego. Iły oligoceńskie stosowano do produkcji wyrobów grubościennych, drążonych i cienkościennych, a także do produkcji keramzytu. Współczynnik ich termicznego pęcznienia wynosi 1,25–9,36, str. 3,3.

Warunki eksploatacji iłów mogą być utrudnione ze względu na skomplikowaną budowę geologiczną złóż i warunki hydrogeologiczne oraz niejednorodne wykształcenie pokładów i zmienną jakość kopaliny. Obecnie iły oligoceńskie nie są eksploatowane.

Iłolupki fliszu karpackiego występują na całym obszarze Karpat. Są to paleogeńskie i kredowe utwory pochodzenia morskiego. Znaczenie surowcowe mają przede wszystkim łupki pstre i łupki menilitowe w obrębie warstw hieroglifowych i krośnieńskich. Pokłady cechują się zmienną miąższością i wykształceniem litologicznym. Często są przewarstwienia piaskowców. Warstwy są tektonicznie zaburzone, sfałdowane i zazwyczaj stromo zalegają. Eksploatację dodatkowo utrudniają zróżnicowane ukształtowanie terenu i osuwiska.

Jakość surowca jest zmienna. Z iłolupków i ich zwietrzliny oraz innych utworów pokrywy osadowej, np. glin lessopodobnych, produkowano głównie wyroby grubościenne i drążone.

W obrębie łupków pstrych występują iły bentonitowe, które używano do płuczek wiertniczych, oraz iły zeolitowo-montmorillonitowe, które mogą znaleźć zastosowanie do produkcji sorbentów i kruszyw ceramicznych – keramzytu (Nieć i Ratajczak, 2004c).

Obecnie niemal całkowicie zaprzestano wydobycia iłolupków karpackich.

10.1.1.3. Surowce mezozoiczne

Iły kredowe występują na Dolnym Śląsku na północ od Bolesławca w obrębie niecki północnosudeckiej (kreda górna–santon), na Opolszczyźnie w rejonie Komprachcic (kreda górna–turon) oraz w centralnej Polsce w rejonie Tomaszowa Mazowieckiego (kreda dolna: hoteryw, walanżyn; Kozydra i Wyrwicki, 1970; Nieć i Ratajczak, 2004d).

W niecce północnosudeckiej występują rozsypliwie piaskowce o spoiwie kaolinowym z pokładami i przewarstwieniami iłów. Surowiec ilasty pozyskiwano selektywnie przez eksploatację pokładów iłów metodą odkrywkową lub podziemną, a także przez szlamowanie piaskowców. Obecnie zaniechano selektywnej eksploatacji iłów. Urobek jest w całości klasyfikowany i szlamowany, w wyniku czego uzyskuje się kaolino-we surowce ilaste, piaski szklarskie i formierskie oraz kruszywa. Surowce ilaste są stosowane do produkcji wyrobów biało wypalających się, kamionkowych i do produkcji płytek. Mogą być także stosowane do produkcji wyrobów klinkierowych ceramiki budowlanej.

Na Opolszczyźnie, w okolicach Komprachcic występują morskie, wapniste mułki ilasto-piaszczyste. Do 1999 r. były wydobywane ze złoża Komprachcice. Jest to surowiec przydatny do produkcji grubościennych, drążonych i cienkościennych wyrobów ceramiki budowlanej o czerepie porowatym (Kozydra i Wyrwicki, 1975a).

W rejonie Tomaszowa Mazowieckiego, na skrzydłach niecki tomaszowskiej występują morskie ciemne iły zawierające szczątki organiczne, sferosyderyty i piryty (Kozydra i Wyrwicki, 1975a; Wyrwicki, 1988). Były wydobywane do 2000 r. w rejonie miejscowości Wąwał (złoża: Wąwał, Wąwał 1). Surowiec stosowano do wyrobu cegły pełnej i dziurawki. Ze względu na występowanie kongrecji syderytowych i wysokie zawartości związków siarki utwory te mają niewielki potencjał surowcowy.

Iły środkowojurajskie (doggeru) występują w regionie krakowsko-wieluńskim od Ogrodzieńca na wschodzie do Wielunia na zachodzie. Ich miąższość waha się od kilku do 200 m. Są to osady morskie wykształcone zazwyczaj jako ciemnoszare mułowce ilaste, zwykle wapniste, z przewarstwieniami piasków i piaskowców oraz syderytów, które były kiedyś przedmiotem eksploatacji jako rudy żelaza. Warstwy zapadają monoklinalnie pod niewielkim kątem na NE. Utwory doggeru w formie kier lodowcowych występują także w okolicach Łukowa na Podlasiu.

Składnikami podstawowymi tych skał są kwarc i minerały ilaste (illit, podrzędnie kaolinit, chloryt, szamoyt), a pobocznymi: kalcyt, dolomit, syderyt, uwodnione tlenki żelaza, siarczki żelaza, gips, muskowit i substancje organiczne. Ze składników szkodliwych występują węglanowe skamieniałości, zwęglone szczątki roślinne, pokłady i kongrecje syderytowe, siarczki żelaza, a w warstwach przypowierzchniowych kongrecje wapienne i kryształy gipsu (Kozydra i Wyrwicki, 1970; Nieć i Ratajczak, 2004d).

Iły doggeru mają dobre właściwości ceramiczne i są szeroko stosowane do produkcji ceramiki budowlanej o czerepie porowatym. Były także używane w przemyśle cementowym. Iły ze złoża Golaszyn koło Łu-

kowa są przydatne do produkcji keramzytu – ich współczynnik pęcznienia wynosi śr. 3,9 (System... MIDAS).

Iły dolnojurajskie (lias) występują w regionach świętokrzyskim oraz krakowsko-wieluńskim (Kozydra i Wyrwicki, 1970; Nieć i Ratajczak, 2004d). W regionie świętokrzyskim tworzą pas wychodni od Opatowa na wschodzie, przez Starachowice i Skarżysko-Kamienną, po Opoczno, Końskie i Łopuszno na zachodzie. W regionie krakowsko-wieluńskim obszar o znaczeniu surowcowym znajduje się pomiędzy Zawierciem a Wieluniem. Genetycznie są to utwory częściowo śródlądowe – jeziorne i jeziorno-bagienne, a częściowo lądowo-morskie.

W regionie świętokrzyskim miąższość w pełni rozwiniętej formacji osiąga 900 m, z czego ok. 13% przypada na osady ilaste, iły i iłowce, a resztę stanowią osady piaskowcowo-mułowcowe ze zlepieńcami, syderytami i wkładkami węgla brunatnego. W regionie krakowsko-wieluńskim miąższość utworów dolnojurajskich wynosi przeważnie od kilku do kilkunastu metrów, maksymalnie do 200 m. Iły i iłowce stanowią 30–50% profilu, a resztę piaski i piaskowce, żwiry, zlepieńce, mułowce i utwory węgliste.

Osady ilaste są bezwapienne. Głównymi składnikami są illit i kaolinit występujące w zmiennych proporcjach oraz kwarc, a podrzędnymi minerały żelaza (syderyt, rzadziej getyt i piryty) i czasem detrytus roślinny.

Są to surowce średnioplastyczne: skurczliwość wysychania wynosi 5–9%, a woda zarobowa 17–33%. Tworzywo ceramiczne wypalone w 1000°C cechuje nasiąkliwość od <1% do ok. 15% oraz wysoka wytrzymałość do 40 MPa.

W obrębie formacji dolnojurajskiej występują złoża surowców dla przemysłu ceramiki budowlanej, a także glin ogniotrwałych i kamionkowych jasno wypalających się. Te pierwsze stosuje się do produkcji wyrobów drążonych i cienkościennych, a gliny ogniotrwałe i kamionkowe wykorzystuje się głównie do produkcji płytek ceramicznych.

Iły triasowe występują w dwóch rejonach: w obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich oraz na monoklinie śląsko-krakowskiej. W pierwszym z nich znaczenie surowcowe mają utwory środkowo- i górnotriasowe (retyk, kajper), a w drugim – dolnotriasowe (ret) oraz środkowo- i górnotriasowe (Kozydra i Wyrwicki, 1970; Nieć i Ratajczak, 2004d).

Utwory będące przedmiotem zainteresowania przemysłu ceramicznego ze względu na intensywne czerwone zabarwienie spowodowane obecnością hematytu (zawartość Fe_2O_3 5,8–8,6%) są nazywane „czerwonymi iłami triasowymi” (Wyszomirski i Galos, 2007a). Charakteryzują się składem poliminerálním. Głównymi minerałami ilastymi są: illit, kaolinit, minerały mieszanopakietowe – illit/smekttyt, wermikulit/chloryt, oraz chloryt/smekttyt i chloryt. Zawierają kwarc, plagioklasy, hematyt oraz substancje amorficzne. Substancja organiczna występuje w minimalnej ilości, co pozwala na wypał zarówno metodą tradycyjną, jak też szybkościową. Zazwyczaj utwory te są bezwapienne, czasami zawierają niewielkie ilości kalcytu. Tworzywo porowate jest uzyskiwane w zakresie wypału do 1000–1100°C, natomiast w wyższej temperaturze można uzyskać tworzywo spieczone o nasiąkliwości <6%. Przeważnie są to surowce średnioplastyczne o skurczliwości wysychania 2,6–11,3%, śr. 6% (System... MIDAS). Nie wykazują skłonności do termicznego pęcznienia, a więc nie nadają się do produkcji keramzytu.

Iły triasowe to obecnie jeden z najważniejszych surowców przemysłu ceramicznego, który ma duży udział w krajowym wydobywaniu. Ze względu na dobre właściwości technologiczno-ceramiczne, a zwłaszcza dobrą spiekalność, iły triasowe znajdują wszechstronne zastosowanie w produkcji wyrobów o czerepie barwnym: porowatym (wyroby ścienne i inne) i spieczonym (wyroby klinkierowe, dachówki, płytki ceramiczne ścienne i podłogowe, kamionka, wyroby ługoodporne i kwasoodporne; Wyszomirski i Galos, 2007a).

W 2018 r. eksploatowano 10 złóż iłów triasowych: dziewięć w regionie świętokrzyskim i jedno na monoklinie śląsko-krakowskiej.

Surowce górnotriasowe były stosowane w przemyśle cementowym. Eksploatowano złoża Krasiejów koło Opola oraz Wieluń-Widoradz koło Wielunia (monoklina śląsko-krakowska). Trzecie, nieeksploatowane złożo Gnieździska, znajduje się w Górach Świętokrzyskich niedaleko Małogoszcza.

10.1.1.4. Surowce paleozoiczne

Iły permskie występują na Dolnym Śląsku oraz na Wyżynie Śląsko-Krakowskiej na pograniczu województw małopolskiego i śląskiego. Reprezentują osady permu dolnego powstałe w środowisku lądowym.

Na Dolnym Śląsku iłolupki i ich zwietrzeliny były eksploatowane w okolicach Nowej Rudy. Obecnie nie mają znaczenia surowcowego.

Na Wyżynie Śląsko-Krakowskiej wschodnie ilów permskich znajdują się w okolicach Sławkowa i Strzemieszyc. Miąższość formacji osiąga 80–100 m. Są to wapniste lub bezwapienne iły i mulki, zapiaszczone. Zawartość frakcji piaskowej wynosi 11,4–30,3%, średnio 16%, a frakcji żwirowej – 0,1–1,6%, średnio 0,5% (miejscami do 20%). Iły zawierają także szkodliwy margiel oraz żyły włóknistego gipsu. Czerwone iły są zaliczane do surowców średnioplastycznych. Ich skurczliwość wysychania wynosi 4,2–7,0%, średnio 5,6%, a woda zarobowa 14,7–25,4%, średnio 19,4%. Tworzywo ceramiczne wypalone w temperaturze 1000°C cechuje wytrzymałość na ściskanie 180–340 MPa i nasiąkliwość 6,4–15,9% (Kozydra i Wyrwicki, 1970; Nieć i Ratajczak, 2004d).

Iły permskie są stosowane do produkcji wyrobów grubościennych i cienkościennych. Obecnie jest eksploatowane jedno złożo w miejscowości Sławków. Ze względu na niewielkie rozprzestrzenienie omawiane iły nie mają większego znaczenia surowcowego w skali kraju.

Iły i iłolupki karbońskie to osady ilasto-mulkowe utworów węglonośnych (karbon górny) występujące w Dolnośląskim Zagłębiu Węglowym (DZW), Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (GZW) i Lubelskim Zagłębiu Węglowym (LZW).

W DZW zaniechano wydobycia węgla kamiennego oraz surowców ilastych.

Na Górnym Śląsku (GZW) utwory karbońskie tworzą rozległe wschodnie. Na ich obszarze znajdowały się w przeszłości liczne cegielnie, w których produkowano głównie cegłę pełną, a w niektórych klinkier drogowy. Surowiec ten nie nadaje się do produkcji wyrobów cienkościennych, ponieważ jest nisko lub średnioplastyczny, zawiera znaczne ilości szkodliwych składników ziarnistych (co wynika z jego lityfikacji), a także siarczków żelaza, siarczanów, syderytu i substancji węglistej. Wydobycia z kopalń odkrywkowych całkowicie zaniechano. Obecnie surowiec ilasty dla przemysłu ceramicznego i cementowego jest odzyskiwany z odpadów w trakcie przeróbki węgla kamiennego wydobywanego metodą podziemną.

Na Lubelszczyźnie (LZW) osady karbońskie występują na znacznej głębokości. Wydobycie węgla jest prowadzone przez kopalnię Bogdanka – jedyną w tym rejonie. Iłolupki towarzyszące pokładowi węgla stanowią produkt uboczny eksploatacji. Ich skład stanowią głównie: kaolinit, illit, chloryt i kwarc, a podrzędnie występują: muskowit, skalenie, syderyt i piryt. Iłolupki są wykorzystywane do produkcji klinkierowych elementów budowlanych (Ekoklinkier), a także do produkcji cementu (Nieć i Ratajczak, 2004d).

Dolnodewońskie utwory ilaste występują w Górach Świętokrzyskich. Stopień ich rozpoznania surowcowego jest słaby. Pod kątem możliwości wykorzystania, właściwości ceramicznych i składu mineralnego były badane utwory występujące we wschodniej części Gór Świętokrzyskich, tworzące wschodnie pomiędzy miejscowościami Łagów i Międzygórz (Olkowicz-Paprocka i in., 1985). Seria detrytyczna dolnego dewonu we wschodniej części Gór Świętokrzyskich ma miąższość 100–260 m i tworzą je kompleksy skał mulowcowo-ilastych i piaszkowcowych. Iłowce i mulowce są bezwapienne o różnym stopniu diagenety od słabo do silnie zlityfikowanych. Minerale ilaste stanowią 40–60% (illit i podrzędnie kaolinit), kwarc 30–60%, getyt i hematyt 10–15%, kalcyt i dolomit 0–3% oraz syderyt 0–1%. Składniki szkodliwe nie występują. Utwory te zaliczają się do surowców chudych: skurczliwość suszenia wynosi 2,0–4,9%, a woda zarobowa 10–20%. Skały słabo zlityfikowane uznano za przydatne do produkcji wyrobów grubościennych o szerepie porowatym i spieczonym oraz ewentualnie do produkcji wyrobów drażonych i cienkościennych. Skały silnie zlityfikowane uznano za nieprzydatne samodzielnie do produkcji ceramiki budowlanej ze względu na brak plastyczności oraz niską wytrzymałość wypalonego tworzywa ceramicznego, ale po zmieleniu są potencjalnie przydatne jako surowiec uzupełniający do produkcji wyrobów kamionkowych ze względu na niską temperaturę maksymalnego spiekania 1050–1100°C, illitowy charakter i znaczną zawartość silnie zdyspergowanych tlenków żelaza. Ze względu na niski współczynnik pęcznienia (<1,5%) iły uznano za nieprzydatne do produkcji keramzytu.

Dotychczas udokumentowano jedno złożo dolnodewońskich iłowców i mulowców dla przemysłu ceramiki budowlanej – Kopiec, które nie jest eksploatowane. Surowiec ma następujące parametry: skurczliwość wysychania 4,5–5,2%, woda zarobowa 20–21%, tworzywo ceramiczne wypalone w 1000°C osiąga wytrzymałość 31–41 MPa, a jego nasiąkliwość wynosi 8,3–12,3% (System... MIDAS).

Iłowce kambryjskie występują w Górach Świętokrzyskich. W wielu miejscach pojawiają się na powierzchni lub pod niewielkim nadkładem. Dotychczas wykonano tylko pojedyncze badania przydatności dla przemysłu ceramicznego i cementowego utworów występujących w rejonie Tenczynopola i Przybysławic na wschód od Klimontowa (Radwan, 1981).

Iłowce dolnokambryjskie były wydobywane ze złoża Tenczynopol koło Klimontowa we wschodniej części Gór Świętokrzyskich i wykorzystywane do produkcji cegły (Kozydra i Wyrwicki, 1975b). Iłowce te są bezwapienne, słabo zdiagenezowane. Minerale ilaste (illit i towarzyszący chloryt) stanowią 60–85%,

kwarc ok. 30%, podrzędnie występują uwodnione związki żelaza i prawdopodobnie syderyt, substancja organiczna i jasne łyszczyki. Surowiec jest niewrażliwy na suszenie, średnioplastyczny (skurczliwość suszenia wynosi 5,8%, woda zarobowa 28,6%). Z surowca otrzymano trzy rodzaje tworzywa ceramicznego: porowate w zakresie 850–1065°C o nasiąkliwości 6,0–13,2 i wytrzymałości 18–43 MPa, spieczone w zakresie 1065–1150°C o nasiąkliwości 2,9–6,0% i wytrzymałości 43–100 MPa oraz spiecznione w zakresie 1150–1250°C o nasiąkliwości 2,6–2,9% i wytrzymałości 62–100 MPa. Stwierdzono przydatność surowca do produkcji porowatych i spieczonych wyrobów ceramiki budowlanej. Surowiec ten nie nadaje się do produkcji keramzytu ze względu na niski współczynnik pęcznienia.

Badania iłolupków z Przybysławic potwierdziły ich przydatność w przemyśle cementowym (Radwan, 1981).

10.1.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Skały ilaste, które stanowią potencjalny surowiec do produkcji ceramiki budowlanej, kruszyw ceramicznych lub klinkieru cementowego, występują dość powszechnie na znacznych obszarach, na całym świecie. Wydobycie jest uzależnione od miejscowych potrzeb, a złoża mają znaczenie lokalne lub regionalne. Nie ma ogólnosiwiatowych zestawień odnośnie do zasobów i wydobycia. Częściowo są dostępne dane regionalne i krajowe. Zasoby i wystarczalność są niemal nieograniczone ze względu na powszechność występowania, ale dostępność jest zróżnicowana w zależności od regionalnej budowy geologicznej. O potrzebie i możliwościach eksploatacji decydują głównie: popyt, infrastruktura, warunki geologiczne i ochrona środowiska (Galos, 2015a, b).

W Polsce jest 1148 udokumentowanych złóż surowców ilastych do produkcji ceramiki budowlanej, kruszyw ceramicznych i klinkieru cementowego. Wielkość zasobów i wydobycia oraz wystarczalność zasobów przedstawiono w tabelach 10.1–10.4.

Surowce ceramiki budowlanej i do produkcji keramzytu są nierównomiernie rozmieszczone na terenie kraju. Wynika to z budowy geologicznej i ograniczonych obszarów występowania określonych utworów geologicznych, wyróżnianych jako jednostki litologiczno-surowcowe. W południowej i centralnej części Polski występują surowce do produkcji pełnego asortymentu wyrobów porowatych i spieczonych: grubo- i cienkościennych, dachowych, klinkierowych oraz innych. W północnej części kraju występują natomiast głównie surowce do produkcji wyrobów grubościennych i cienkościennych o czerepie porowatym (Wyrwicka i Wyrwicki, 1994; Brański i Szczygieski, 2002).

Pod względem udziału w krajowym wydobyciu najważniejsze znaczenie mają: iły neogeńskie serii poznańskiej (32,7% wydobycia krajowego w 2018 r.), miocenne iły morskie (28,6%), plejstocenne iły zastoisowe (16,1%), iły jurajskie (9,5%), iły triasowe (9,5%). Podrzedne znaczenie mają: utwory aluwialne (1,2%), gliny lodowcowe (0,7%), karpackie utwory fliszowe i pokrywy zwietrzelinowo-osadowe (0,7%), iły permskie (0,4%), lessy i gliny lessowe oraz lessopodobne (0,3%), pozostałe (0,3%; Szczygieski, 2019a).

Surowce do produkcji glinoporytu i dla przemysłu cementowego występują pospolicie na terenie całego kraju. Większość złóż do produkcji glinoporytu stanowią czwartorzędowe gliny lodowcowe i lessy (gliny lessowe), rzadziej czwartorzędowe iły zastoisowe, neogeńskie iły morskie lub iły poznańskie.

Tab. 10.1. Zasoby krajowe i wystarczalność wg stanu na 31.12.2018 r. (Szczygieski, 2019a–c, zmodyf.)

Surowce ilaste	Liczba złóż	Zasoby bilansowe [tys. m ³]	Wydobycie w 2018 r. [tys. m ³]	Wystarczalność statyczna [lata]
Ceramiki budowlanej	1148	2 044 252	2042	1001
Do produkcji kruszywa lekkiego	41	168 078	100	1681
w tym keramzytu	8	39 971	100	1681
w tym glinoporytu	33	128 107	0	–
w tym cementu	25	279 641 tys. Mg	114 tys. Mg	2453

obliczenia własne

Tab. 10.2. Surowce ilaste ceramiki budowlanej wg stanu na 31.12.2018 r. (Szczygielski, 2019a, zmodyf.)

Województwo	Liczba złóż	Zasoby [tys. m³]		Wydobycie [tys. m³]	Wystarczalność zasobów geologicznych bilansowych [lata]
		geologiczne bilansowe	przemysłowe		
Dolnośląskie	59	787 320	20 100	276	2852
Kujawsko-pomorskie	19	27 139	3106	24	1117
Lubelskie	121	93 938	7133	62	1513
Lubuskie	38	39 813	2751	43	922
Łódzkie	101	43 614	8174	31	1412
Małopolskie	68	113 526	16 767	188	603
Mazowieckie	129	100 533	19 371	131	768
Opolskie	42	56 487	7528	160	352
Podkarpackie	155	161 816	10 383	158	1026
Podlaskie	21	24 999	1123	30	831
Pomorskie	27	35 663	1550	229	156
Śląskie	131	102 070	5919	209	489
Świętokrzyskie	62	254 957	19 929	372	685
Warmińsko-mazurskie	45	56 102	286	7	8386
Wielkopolskie	107	113 628	4985	102	1110
Zachodniopomorskie	23	32 648	7175	20	1669
Ogółem	1148	2 044 253	136 280	2042	1001

obliczenia własne

Tab. 10.3. Surowce ilaste do produkcji kruszywa lekkiego wg stanu na 31.12.2018 r. (Szczygielski, 2019a, zmodyf.)

Województwo	Liczba złóż	Zasoby [tys. Mg]		Wydobycie [tys. Mg]	Wystarczalność zasobów geologicznych bilansowych [lata]
		geologiczne bilansowe	przemysłowe		
Surowce do produkcji kruszywa lekkiego – keramzytu					
Lubelskie	1	3906	–	–	–
Łódzkie	1	3338	–	–	–
Mazowieckie	1	7657	–	–	–
Podkarpackie	1	7998	–	–	–
Pomorskie	1	8103	1094	100	81
Warmińsko-mazurskie	1	3106	–	–	–
Wielkopolskie	1	3370	–	–	–
Zachodniopomorskie	1	2493	–	–	–
Ogółem	8	39 971	1094	100	400

Tab. 10.3. cd.

Województwo	Liczba złóż	Zasoby [tys. Mg]		Wydobycie [tys. Mg]	Wystarczalność zasobów geologicznych bilansowych [lata]
		geologiczne bilansowe	przemysłowe		
Surowce do produkcji kruszywa lekkiego – glinoporytu					
Lubelskie	11	45 318	–	–	–
Łódzkie	6	18 075	–	–	–
Mazowieckie	4	8139	–	–	–
Podkarpackie	2	11 112	–	–	–
Podlaskie	1	5450	–	–	–
Pomorskie	1	21 556	–	–	–
Warmińsko-mazurskie	3	8360	–	–	–
Wielkopolskie	5	10 097	–	–	–
Ogółem	33	128 107	0	0	–

obliczenia własne

Tab. 10.4. Surowce ilaste do produkcji cementu – zasoby i wystarczalność wg stanu na 31.12.2018 r. (Szczygielski, 2019b, zmodyf.)

Województwo	Liczba złóż	Zasoby [tys. m³]		Wydobycie [tys. m³]	Wystarczalność zasobów geologicznych bilansowych [lata]
		geologiczne bilansowe	przemysłowe		
Kujawsko-pomorskie	1	12 500	–	–	–
Lubelskie	7	7991	2696	114	70
Łódzkie	1	72 411	–	–	–
Mazowieckie	2	5188	–	–	–
Opolskie	2	406	–	–	–
Podkarpackie	3	71 576	–	–	–
Śląskie	7	100 795	–	–	–
Świętokrzyskie	2	8773	–	–	–
Ogółem	25	279 640	2696	114	2453

obliczenia własne

Udokumentowane zasoby surowca do produkcji cementu obejmują głównie iły i iłolupki karbońskie, triasowe, jurajskie i neogeńskie, a także gliny, lessy i pyły czwartorzędowe (Szczygielski, 2019b, c).

Wystarczalność statyczna zasobów bilansowych jest bardzo duża i wynosi setki, a nawet tysiące lat. Jednak znaczną część zasobów surowców ceramiki budowlanej stanowią kopaliny przydatne wyłącznie do produkcji wyrobów grubościennych, a obecnie wykorzystuje się głównie surowce do produkcji wyrobów porowatych cienkościennych i do produkcji wyrobów spieczonych – dachowych, klinkierowych i innych.

Wydobycie surowców ilastych ceramiki budowlanej w latach 2009–2018 wahało się w zakresie od 1518–2658 mln m³. W 2018 r. wyniosło 2042 mln m³. Od wielu lat utrzymuje się tendencja spadkowa poziomu wydobycia (Szczypiński, 2019a).

Wydobycie surowca do produkcji keramzytu w latach 2009–2018 wynosiło 96–110 tys. m³, średnio 102 tys. m³. Obecnie jest eksploatowane tylko jedno złożo Gniw w województwie pomorskim (wydobycie 2009–2018; 57–105 tys. m³, średnio 91 tys. m³ ilów zastoisowych). Do 2015 r. eksploatowano złożo Budy Mszczonowskie w województwie mazowieckim (wydobycie 2009–2015; 1–39 tys. m³, średnio 16 tys. m³ ilów serii poznańskiej). Eksploatacji zaniechano w związku z likwidacją zakładu produkcji keramzytu w Mszczonowie. Wcześniej zlikwidowano wytwórnię keramzytu w Szczecinie, w której do lat 90. XX w. wykorzystywano oligoceńskie iły septariowe ze złoża Bukowo (Szczecin-Płonia) w Szczecinie (Głos, 2004).

Surowiec do produkcji glinoporytu nie jest wydobywany od wielu lat (Szczypiński, 2019c). W latach 60. XX w. wybudowano w Polsce sześć zakładów produkcji glinoporytu, ale wszystkie zamknięto w latach 70. XX w. z powodu niskiej jakości produkowanego kruszywa (gęstość objętościowa rzędu 900 kg/m³) i jednocześnie wysokiej energochłonności procesu produkcji (Głos, 2004).

Wydobycie surowców ilastych do produkcji cementu wyniosło w 2018 r. 114 tys. Mg (ok. 57 tys. m³) glin i lessów (Szczypiński, 2019b).

Surowce ilaste są pozyskiwane również w trakcie odkrywkowej eksploatacji złóż węgla brunatnych. Występują one w nadkładzie lub przewarstwieniach między seriami węglowymi. Są to osady czwartorzędowe lub paleogeńskie i neogeńskie zróżnicowane genetycznie. Od wielu lat prowadzi się badania jakościowe i ocenę technologiczną kopalin ilastych, określając ich potencjalne zastosowanie w różnych gałęziach przemysłowych. Największe znaczenie mają iły poznańskie (Ratajczak i Hyncar, 2017).

10.1.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Przy wyznaczaniu granic złóż surowców ilastych ceramiki budowlanej podstawowymi kryteriami oceny są parametry geologiczno-górnictwa: głębokość zalegania, miąższość złoża, grubość nadkładu, stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża oraz parametry jakościowe kopaliny: zawartość ziaren o średnicy powyżej 2 mm, zawartość marglu w ziarnach o średnicy powyżej 0,5 mm i skurczliwość wysychania.

Graniczne wartości parametrów definiujących złożo kopalin ilastych ceramiki budowlanej i jego granice określa *Rozporządzenie...* (2015a; tab. 10.5).

Obowiązujące *Rozporządzenie...* (2015a) nie definiuje parametrów złóż surowców do produkcji kruszywa lekkiego (glinoporyt, keramzyt) oraz złóż surowców ilastych do produkcji cementu (jedynie dla wapieni i margli). W praktyce stosowane są kryteria ustalone przez inwestora, albo bazujące na starszych, nieobowiązujących już regulacjach.

Podstawowe parametry jakościowe i geologiczno-górnictwa dla złóż surowców ilastych do produkcji keramzytu wynoszą: współczynnik pęcznienia w skali laboratoryjnej minimum 2,5 w stanie naturalnym lub po wzbogaceniu, miąższość złoża co najmniej 3,0 m; grubość nadkładu do 6 m lub więcej, gdy współczynnik

Tab. 10.5. Graniczne wartości parametrów definiujących złożo kopalin ilastych ceramiki budowlanej i jego granice (*Rozporządzenie...*, 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Maksymalna głębokość dokumentowania	m	do głębokości możliwej eksploatacji
Minimalna miąższość złoża	m	2
Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża	–	0,5
Maksymalna zawartość ziaren o średnicy powyżej 2 mm	%	1
Maksymalna zawartość marglu w ziarnach o średnicy powyżej 0,5 mm	%	0,4
Minimalna skurczliwość wysychania	%	6

pęcznienia $>5,5$; stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża N/Z w zależności od współczynnika pęcznienia od 1,0 do 3,5 lub więcej, gdy współczynnik pęcznienia $>5,5$; głębokość rozpoznania maksymalnie do ok. 30 m (*Wstępne, typowe... keramzytu*, 1970, zob. Kozłowski S., 1979).

Podstawowe parametry jakościowe i geologiczno-górnictwa dla złóż surowców ilastych do produkcji glinoporytu wynoszą: zawartość frakcji >2 mm do 3%, zawartość margla ziarnistego >1 mm do 1%, zawartość siarki całkowitej w przeliczeniu na SO_3 do 3%, miąższość złoża minimum 3,0 m, grubość nadkładu maksymalnie 6,0 m, stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża N/Z od 0,1 do 0,75 w zależności od umownej gęstości nasypowej glinoporytu uzyskanego w warunkach laboratoryjnych, głębokość rozpoznania do ok. 30 m (*Wstępne, typowe... glinoporytu*, 1970, zob. Kozłowski S., 1979).

Dla surowców ilastych do produkcji cementu – ze względu na brak regulacji ustawowych – jako poziom odniesienia przyjęto graniczne wartości parametrów złóż wapieni i margli dla przemysłu cementowego określone w *Rozporządzeniu...* (2015a): maksymalna głębokość dokumentowania – do głębokości możliwej eksploatacji, maksymalna głębokość nadkładu – 15 m, maksymalny stosunek nadkładu do miąższości złoża – 0,3.

10.1.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Podstawowym źródłem informacji do wyznaczania obszarów perspektywicznych i prognostycznych były dane zgromadzone przez PIG-PIB w bazie danych z *Mapy Geośrodowiskowej Polski w skali 1:50 000* (Mapa... <http://emgsp.pgi.gov.pl/emgsp>) oraz dane o udokumentowanych złożach kopaliny w Systemie Gospodarki i Ochrony Bogactw Mineralnych MIDAS (System... MIDAS). Obszary prognostycznego i perspektywicznego występowania kopaliny ilastych wskazano na podstawie analiz archiwalnych opracowań surowcowych (m.in. sprawozdań, orzeczeń z prac geologiczno-poszukiwawczych), budowy geologicznej prezentowanej w *Szczegółowej Mapie Geologicznej Polski w skali 1:50 000* oraz miejsc nielegalnego pozyskiwania kopaliny poza granicami udokumentowanych złóż (*Instrukcja...*, 2005; Sikorska-Maykowska i in., 2008). Analizą objęto całą Polskę z pominięciem obszarów o dużych walorach przyrodniczych (parki narodowe i rezerwy przyrody) oraz aglomeracji miejskich. Obszary prognostyczne są lepiej udokumentowane, natomiast w przypadku obszarów perspektywicznych często podano tylko informację o rodzaju kopaliny i parametry geologiczno-górnictwa serii surowcowej.

Z uwagi na różny okres przeprowadzonych prac geologiczno-poszukiwawczych (opracowania archiwalne obejmują lata 1950–2015) ich wyniki zweryfikowano pod kątem obowiązujących kryteriów bilansowości dla złóż kopaliny ilastych (*Rozporządzenie...*, 2001, 2015a).

Zasięgi obszarów objętych pracami badawczymi oraz parametry geologiczno-górnictwa i jakościowe serii surowcowych przedstawiono w bazie MGŚP. Dodatkowo dla każdego obszaru prognostycznego i perspektywicznego, z wykorzystaniem innych warstw tematycznych MGŚP, można określić potencjalne ograniczenia w podjęciu eksploatacji, które wynikają m.in. z ochrony przyrody, wód podziemnych i powierzchniowych czy też zagospodarowania terenu.

W warstwie Kopaliny MGŚP zaznaczono również **obszary negatywnie zweryfikowane pod kątem występowania kopaliny**. Są to miejsca, w których wyniki prac poszukiwawczych nie potwierdziły występowania kopaliny lub seria surowcowa nie spełnia aktualnie obowiązujących kryteriów bilansowości (parametrów granicznych).

Kolejne prace badawcze związane z rozpoznaniem perspektywiczności kopaliny ilastych wykonano w ramach projektu MGŚP „Warstwa normatywna KOPALINY – obszary zweryfikowane” (lata 2011–2012). Do dalszych badań wytypowano kilkanaście obszarów zlokalizowanych w różnych częściach kraju (województwo zachodniopomorskie – powiat pyrzycki; województwo pomorskie – powiaty: kartuski, słupski, tczewski; województwo warmińsko-mazurskie – powiaty: elbląski, braniewski; województwo lubuskie powiat żarski; województwo wielkopolskie – powiaty: pilski, obornicki, kościański; województwo kujawsko-pomorskie – powiaty: bydgoski, świecki; województwo mazowieckie – powiaty: białostocki, bielski, hajnowski; województwo łódzkie – powiat łowicki; województwo świętokrzyskie – powiat buski; województwo dolnośląskie – powiat lubiński; województwo opolskie – powiat brzeski; województwo podkarpackie – powiat jarosławski). Na każdym wytypowanym obszarze wykonano otwory badawcze i pobrano próbki do badań laboratoryjnych pod kątem oceny przydatności kopaliny do produkcji różnego asortymentu ceramiki budowlanej, jako warstwy izolacyjnej przy budowie składowisk odpadów i do prac rekultywacyjnych.

Ze względu na koszty i skomplikowane badania laboratoryjne, które pozwoliłyby na określenie pełnego asortymentu wyrobów, w ramach MGŚP ograniczono się do wykonania analiz granulometrycznych,

mineralogicznych i chemicznych. Graniczne wartości parametrów definiujących prognozy „zwyfikowane” kopalin ilastych ceramiki budowlanej i ich granice są zgodne z *Rozporządzeniem...* (2015a; tab. 10.5).

Wyniki prac terenowych i laboratoryjnych dla każdego badanego obszaru opisano w sprawozdaniu z realizacji projektu prac geologicznych dotyczących prac kartografii geologicznej dla obszarów złożowych realizowanych w ramach przedsięwzięcia *Mapa Geośrodowiskowa Polski w skali 1:50 000*.

10.1.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

W bazie danych Mapa Geośrodowiskowa Polski (Mapa... – <http://emgsp.pgi.gov.pl/emgsp>) opisano 75 obszarów prognostycznych oraz 295 obszarów perspektywicznych dla surowców ceramiki budowlanej, do produkcji kruszywa lekkiego i do produkcji cementu.

65 obszarów prognostycznych i 267 obszarów perspektywicznych na mapie geośrodowiskowej dotyczy kopalin ilastych ceramiki budowlanej, w tym 28 wydzieleni na obszary zwyfikowane. Szacowane zasoby w obszarach prognostycznych wynoszą 1328 mld m³ (w tym zasoby zwyfikowane to 627,672 mln m³). Ponad 40% (571,699 mln m³) zasobów prognostycznych kopalin ilastych przydatnych dla ceramiki budowlanej przypada na województwo dolnośląskie, duże zasoby rozpoznano także w województwach: podkarpackim (375,141 mln m³), podlaskim (122,688 mln m³) i warmińsko-mazurskim (68,307 mln m³; tab. 10.6).

Największą część zasobów stanowią neogeńskie iły serii poznańskiej (45,7%) – z tego 1/5 stanowią iły towarzyszące w złożach węgla brunatnego, miocenne iły morskie (33,3%) oraz iły zastoiskowe (18,3%) – łącznie daje to 97,3%. Pozostałe jednostki litologiczno-surowcowe stanowią łącznie 2,7% zasobów. Rozmieszczenie geograficzne zasobów jest nierównomierne: w województwie dolnośląskim znajduje się 43,1%,

Tab. 10.6. Surowce ilaste ceramiki budowlanej – obszary prognostyczne i perspektywiczne w podziale na województwa (Mapa Geośrodowiskowa Polski – <http://emgsp.pgi.gov.pl/emgsp>)

Województwo	Obszary				
	prognostyczne (kat. D ₁)			perspektywiczne (kat. D ₂)	
	liczba obszarów	powierzchnia [ha]	zasoby [tys. m ³]	liczba obszarów	powierzchnia [ha]
Dolnośląskie	5	1698	571 699	18	758
Kujawsko-pomorskie	1	18	1312	3	34
Lubelskie	1	5	635	11	512
Lubuskie	3	43	5829	6	1034
Łódzkie	1	44	7550	4	118
Małopolskie	10	154	30 960	32	3503
Mazowieckie	–	–	–	51	5538
Opolskie	5	197	12 901	20	3273
Podkarpackie	8	1610	375 141	30	3617
Podlaskie	4	646	122 688	17	613
Pomorskie	6	562	36 400	13	790
Śląskie	6	311	40 176	18	2810
Świętokrzyskie	3	151	31 663	11	1192
Warmińsko-mazurskie	7	544	68 307	18	1639
Wielkopolskie	4	89	7388	5	211
Zachodniopomorskie	1	197	15 338	10	530
Ogółem	65	6269	1 327 987	267	26 172

obliczenia własne.

w województwie podkarpackim – 28,2%, podlaskim – 9,2%, warmińsko-mazurskim – 5,1%, w województwach śląskim, pomorskim, świętokrzyskim i małopolskim – od 2–3%, a w pozostałych ośmiu – łącznie 6,2% (tab. 10.7).

Dla surowców do produkcji kruszywa lekkiego wyznaczono (tab. 10.8):

- do produkcji keramzytu – pięć obszarów prognostycznych o łącznej powierzchni 388 ha i zasobach 38,1 mln m³ oraz siedem obszarów perspektywicznych o łącznej powierzchni 1112 ha,
- do produkcji glinoporytu – cztery obszary prognostyczne o łącznej powierzchni 235 ha i zasobach 12,1 mln m³ oraz 11 obszarów perspektywicznych o łącznej powierzchni 964 ha.

Dla surowców ilastych do produkcji keramzytu wyznaczono dwa obszary prognostyczne iłów zastoiskowych (Cierpice-Brody Pomorskie oraz Gniew-Cieple; łącznie 35,6 mln m³) w pobliżu miejscowości Gniew w województwie pomorskim (na obszarze tzw. zastoiska gniewskiego) oraz trzy obszary neogeńskich iłów serii poznańskiej (łącznie 2,5 mln m³) na zachód od Miasteczka Krajeńskiego w województwie wielkopolskim, gdzie rozpoznano neogeńskie iły serii poznańskiej.

Tab. 10.7. Surowce ilaste ceramiki budowlanej – obszary prognostyczne z podziałem na jednostki litologiczno-surowcowe (Mapa Geośrodowiskowa Polski – <http://emgsp.pgi.gov.pl/emgsp>)

Jednostka litologiczno-surowcowa			Obszary prognostyczne (kat. D ₁)				
Wiek	litologia	geneza	województwo	liczba obszarów	powierzchnia [ha]	zasoby	
						[tys. m ³]	[%]
Q	lessy, gliny lessowe i lessopodobne	eoliczne, dyluwialne	małopolskie	2	8	883	0,07
Q	iły i mułki	wodnolodowcowe (zastoiskowe)	podlaskie	4	646	122 688	9,24
			pomorskie	3	469	35 900	2,70
			warmińsko-mazurskie	1	543	68 231	5,14
			wielkopolskie	1	11	293	0,02
			zachodniopomorskie	1	197	15 338	1,15
			Razem	10	1866	242 450	18,25
Q	gliny	lodowcowe (morenowe)	lubelskie	6	5	635	0,05
			małopolskie	1	2	156	0,01
			pomorskie	1	93	500	0,04
			śląskie	3	33	2386	0,18
			świętokrzyskie	8	2	60	0,00
			warmińsko-mazurskie	3	1	75	0,01
			Razem	22	136	3812	0,29
Ng	iły i mułki	jeziorne i aluwialne (seria poznańska)	dolnośląskie	6	1698	571 699	43,05
			kujawsko-pomorskie	5	18	1312	0,10
			lubuskie	1	43	5829	0,44
			łódzkie	1	44	7550	0,57
			opolskie	1	197	12 901	0,97
			wielkopolskie	2	78	7095	0,53
			Razem	16	2078	606 386	45,66
		w tym towarzyszące złożom węgla brunatnych	dolnośląskie	4	273	119 671	9,01

Tab. 10.7 cd.

Jednostka litologiczno-surowcowa			Obszary prognostyczne (kat. D ₁)				
Wiek	litologia	geneza	województwo	liczba obszarów	powierzchnia [ha]	zasoby	
						[tys. m³]	[%]
Q-K	gliny, iły, iłolupki	wietrzeńiowe; morskie (flisz karpacki i pokrywa)	małopolskie	1	47	5120	0,39
			Razem	1	47	5120	0,39
T ₃	iły i mułki	morskie	śląskie	1	33	9078	0,68
			świętokrzyskie	1	45	18 303	1,38
			Razem	2	78	27 381	2,06
Suma				65	6 270	1 327 985	100,00

obliczenia własne; Q – czwartorzęd, Ng – neogen, K – kreda, T₃ – trias górny

Tab. 10.8. Surowce ilaste do produkcji kruszywa lekkiego – obszary prognostyczne i perspektywiczne (*Mapa Geośrodowiskowa Polski* – <http://emgsp.pgi.gov.pl/emgsp>)

Województwo	Obszary prognostyczne (kat. D ₁)			Obszary perspektywiczne (kat. D ₂)	
	liczba obszarów	powierzchnia [ha]	zasoby [tys. m ³]	liczba obszarów	powierzchnia [ha]
Surowce ilaste do produkcji keramzytu					
Kujawsko-pomorskie	–	–	–	2	63
Małopolskie	–	–	–	1	318
Podkarpackie	–	–	–	2	80
Pomorskie	2	366	35 600	1	631
Wielkopolskie	3	22	2481	1	20
Suma	5	388	38 081	7	1112
Surowce ilaste do produkcji glinoporytu					
Kujawsko-pomorskie	–	–	–	2	184
Łódzkie	1	121	7200	0	0
Małopolskie	–	–	–	3	62
Mazowieckie	–	–	–	2	64
Podlaskie	–	–	–	1	19
Pomorskie	3	114	4938	1	177
Warmińsko-mazurskie	–	–	–	1	415
Wielkopolskie	–	–	–	1	43
Suma	4	235	12 138	11	964

obliczenia własne

Tab. 10.9. Surowce ilaste do produkcji cementu – obszary prognostyczne i perspektywiczne
(*Mapa Geośrodowiskowa Polski* – <http://emgsp.pgi.gov.pl/emgsp>)

Województwo	Obszary prognostyczne (kat. D ₁)			Obszary perspektywiczne (kat. D ₂)	
	liczba obszarów	powierzchnia [ha]	zasoby [tys. Mg]	liczba obszarów	powierzchnia [ha]
Kujawsko-pomorskie	–	–	–	2	49
Podkarpackie	–	–	–	1	68
Świętokrzyskie	1	2	77	7	2349
Suma	1	2	77	10	2466

obliczenia własne

Obszary perspektywiczne obejmują czwartorzędowe iły zastoiskowe w województwach kujawsko-pomorskim (2 obszary) i pomorskim (1), iły serii poznańskiej w województwie wielkopolskim (1) oraz kredowe i paleogeńskie łupki pstre występujące w Karpatach w województwie małopolskim (1) i podkarpackim (2 – Dylągówka, Ulnica). Obszary Dylągówka i Ulnica znajdują się na Pogórzu Dynowskim. Kopalina jest określana jako zeolitowo-montmorillonitowa o właściwościach sorpcyjnych i uszczelniających (Panna i in., 2014), ale jednocześnie wykazuje cechy surowca do produkcji lekkich kruszyw ceramicznych (Kita-Badak, 1982; Panna i in., 2015).

Dla surowców do produkcji glinoporytu wytypowane obszary obejmują wyłącznie utwory czwartorzędowe. Obszary prognostyczne: gliny lodowcowe w województwach łódzkim (1 obszar; 7,2 mln m³) i pomorskim (3 obszary; 4,9 mln m³). Obszary perspektywiczne: lessy i gliny lessowe w województwie małopolskim (2 obszary); gliny lodowcowe w województwach kujawsko-pomorskim (2), małopolskim (1), mazowieckim (1) i wielkopolskim (1); utwory zastoiskowe w województwach mazowieckim (1), podlaskim (1), pomorskim (1) i warmińsko-mazurskim (1).

Dla surowców do produkcji cementu wyznaczono jeden obszar prognostyczny w województwie świętokrzyskim o powierzchni ok. 2 ha i zasobach 0,077 mln Mg oraz 10 obszarów perspektywicznych o powierzchni 2466 ha (tab. 10.9).

Obszary perspektywiczne obejmują: czwartorzędowe utwory zastoiskowe w województwie kujawsko-pomorskim (2 obszary), neogeńskie iły morskie w województwach podkarpackim (1) i świętokrzyskim (7), triasowe iły i mułki w województwie świętokrzyskim (1) oraz kambryjskie iłowce w województwie świętokrzyskim (1).

10.1.6. Stan rozpoznania geologicznego

Stan rozpoznania kopaliny ilastej jest dość dobry. Według *Bilansu zasobów* w Polsce stwierdzono 1148 złóż surowców ceramiki budowlanej, 41 złóż surowców ilastych do produkcji kruszyw ceramicznych oraz 25 złóż surowców ilastych do produkcji cementu (tab. 10.1).

Zachodzące zmiany ogólnogospodarcze oraz potrzeby i oczekiwania przemysłu ceramicznego powodują, że wciąż są podejmowane prace geologiczno-poszukiwawcze w celu rozpoznania surowcowego obszarów niebadanych lub rozpoznanych w niedostatecznym stopniu. Efektem tych prac jest bardziej szczegółowe rozpoznanie poszczególnych obszarów i bazy surowcowej kraju. Prowadzi się także prace badawcze mające na celu dokładniejsze poznanie składu mineralnego i właściwości ceramicznych surowców oraz możliwości ich przeróbki i zastosowania. Kierunki tych badań wynikają często z bieżących potrzeb.

Pod względem przydatności dla przemysłu ceramicznego słabo są rozpoznane kambryjskie i dolno-dewońskie utwory ilaste w Górach Świętokrzyskich.

Niedostatecznie rozpoznane są również utwory ilaste towarzyszące w złożach węgla brunatnego oraz węgla kamiennego na Lubelszczyźnie (obszar ubogi pod względem jakości i różnorodności występujących kopaliny ilastej).

10.1.7. Ocena zasobów i ich zmian

W latach 2010–2018 udokumentowano 57 złóż (bez złóż wydzielonych z wcześniej udokumentowanych obszarów) surowców ilastych ceramiki budowlanej o łącznych zasobach bilansowych prawie 47 mln m³ (oraz zasobach pozabilansowych ok. 2,5 mln m³). W tabeli 10.10 zestawiono liczbę złóż i wielkość zasobów z podziałem na jednostki litologiczno-surowcowe. Udział poszczególnych typów surowców w grupie nowo udokumentowanych zasobów jest następujący: ility miocenijskie zapadliska przedkarpackiego 58,9%, ility triasowe 18,5%, ility jurajskie 9,6%, neogeńskie ility serii poznańskiej 7,4% i pozostałe 5,6%. Większość zasobów udokumentowano na obszarze województwa świętokrzyskiego 64,8% (z tego: ility miocenijskie stanowią 46,3%, ility triasowe 18,5%), w województwie lubelskim 11,9%, śląskim 9,9%, dolnośląskim 7,6%, wielkopolskim 2,5%, a w pozostałych łącznie 3,3%. Dokumentowane są głównie złoża tych surowców, których wydobywa się najwięcej i znajdują się w województwach zaliczanych do zasobnych, natomiast w województwach o niskiej zasobności dokumentuje się tylko nieliczne złoża, albo w ogóle się je pomija.

W poprzedniej edycji *Bilansu*, według stanu na 31.12.2009 r., zasoby prognostyczne surowców ilastych ceramiki budowlanej w Polsce szacowano na 1625 mln m³ w granicach 106 obszarów (Brański, 2011c).

Według danych na 31.12.2018 r. ilość zasobów prognostycznych wynosi 1378 mln m³ w granicach 75 obszarów o łącznej powierzchni 6894 ha, w tym:

- surowce ilaste ceramiki budowlanej: 1328 mln m³ w 65 obszarach,
- surowce ilaste do produkcji kruszywa lekkiego – keramzytu: 38,1 mln m³ w 5 obszarach,
- surowce ilaste do produkcji kruszywa lekkiego – glinoporytu: 12,1 mln m³ w 4 obszarach,
- surowce ilaste do produkcji cementu: 0,04 mln m³ (0,08 mln Mg), 1 obszar.

W stosunku do 2009 r. zmniejszyły się zasoby prognostyczne i ilość obszarów.

Liczba obszarów perspektywicznych wynosi 295, a ich łączna powierzchnia 30 714 ha (baza danych MGŚP wg stanu na koniec 2018 r.; zob. też zał. 6).

Na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat nastąpiła szybka ewolucja jakości ceramicznych materiałów ściennych oraz technologii ich wytwarzania (Jaroszewicz i Klimm, 2015). Wprowadzono wiele zmian i innowacji w procesie produkcyjnym, których celem było: umożliwienie budowy ścian jednowarstwowych spełniających wymagania budowlane, zwiększenie izolacyjności termicznej elementów i ścian, zmniejszenie kosztów wytwarzania (w szczególności zużycia energii), zwiększenie opłacalności dłuższego transportu, zmniejszenie pracochłonności prac budowlanych. W efekcie nowoczesne wyroby ceramiczne cechuje lekkość, precyzja wykonania, znaczne wymiary oraz wysoka wytrzymałość klasyfikująca je do klas wyrobów 10, 15. Pustaki ceramiczne składają się z licznych przegród i komór powietrznych. Tworzywo ceramiczne jest poryzowane, kształt pustaków pozwala na łączenie elementów bez spoiny pionowej (pióro-wpust), a łączone powierzchnie są precyzyjnie wykonane – mogą być szlifowane. Dodatkowo w celu poprawy izolacyjności termicznej do łączenia elementów stosuje się specjalne zaprawy i kleje cienkowarstwowe, a drążenia można wypełnić materiałami izolacyjnymi, np. wełną mineralną. Zmiany nastąpiły na wszystkich etapach produkcji wyrobów ceramicznych. Procesy technologiczne są sterowane komputerowo i w znacznym stopniu zautomatyzowane. Możliwości wytwórcze nowoczesnych cegielni osiągają 200 mln jednostek ceramicznych rocznie.

Postęp w przemyśle ceramicznym był spowodowany w znacznym stopniu przez regulacje z zakresu prawa budowlanego, które systematycznie zaostrzają wymagania odnośnie do zapotrzebowania nowych budynków na energię pierwotną, określaną wskaźnikiem EP (niezbędną na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej) oraz wskaźnika $U_{c(max)}$ maksymalnych dopuszczalnych parametrów cieplnych przegród zewnętrznych budynku (fig. 10.1). Aktualnie obowiązuje *Rozporządzenie...* (2013) zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, które weszło w życie od stycznia 2014 r. Wartości wymienionych parametrów i ich zmiany określono z wieloletnim wyprzedzeniem do 2021 r., co dało czas producentom materiałów budowlanych na dostosowanie wyrobów do nowych wymogów.

Innowacyjne metody produkcji spowodowały, że w przeliczeniu na jednostkę objętości pustaki ścienne są obecnie ok. 2,5 razy lżejsze w porównaniu do tradycyjnej cegły pełnej (Bąk i in., 2017). Zmniejszenie masy wyrobów spowodowało spadek zapotrzebowania na glinę ceramiczną (o ok. 40%), oraz ilości energii potrzebnej do ich wysuszenia i wypalenia. Do produkcji wielkowymiarowych wyrobów cienkościennych: ściennych, stropowych i innych, są stosowane surowce plastyczne o skurczliwości suszenia średnio 7–9%, dające po wypaleniu tworzywo ceramiczne o wytrzymałości nawet do kilkudziesięciu megapaskali.

**Tab. 10.10. Zasoby złóż ilastych ceramiki budowlanej udokumentowane w latach 2010–2018
(bez złóż wydzielonych z obszarów udokumentowanych wcześniej; System... MIDAS; obliczenia własne)**

Jednostka litologiczno-surowcowa			Obszary nowo udokumentowane w latach 2010–2018			
Wiek	litologia	geneza	województwo	liczba złóż	zasoby geologiczne bilansowe	
					[tys. m ³]	[%]
Q	gliny, mułki	aluwialne (rieczne)	lubelskie	1	34	0,1
			podkarpackie	22	374	0,8
			Razem	23	408	0,9
Q	gliny	lodowcowe (morenowe)	dolnośląskie	1	1415	3,0
			łódzkie	3	208	0,5
			Razem	4	1623	3,5
Q	iły i mułki	wodnolodowcowe (zastoiskowe)	mazowieckie	1	62	0,1
			warmińsko-mazurskie	5	167	0,4
			zachodniopomorskie	1	328	0,7
			Razem	7	557	1,2
Ng	iły i mułki	jeziorne i aluwialne (seria poznańska)	dolnośląskie	1	2099	4,5
			mazowieckie	1	170	0,4
			wielkopolskie	3	1170	2,5
			Razem	5	3439	7,4
Ng	iły i mułki	morskie (zapadlisko przedkarpackie)	lubelskie	1	5509	11,9
			podkarpackie	2	199	0,4
			śląskie	1	144	0,3
			świętokrzyskie	1	21 553	46,3
			Razem	5	27 405	58,9
J ₂	iły i mułki	morskie	śląskie	1	4462	9,6
T ₂₋₃	iły, iłowce, mułowce	lądowe	świętokrzyskie	8	2886	6,2
T ₁	iły, iłowce, mułowce	lądowe	świętokrzyskie	3	5709	12,3
Suma				56	46 489	100,0

Q – czwartorzęd, Ng – neogen, J₂ – jura środkowa, T₂₋₃ – trias środkowy i górny, T₁ – trias dolny

Jako środki schudzające, a jednocześnie poryzujące, stosuje się trociny drzewne, odpady z przemysłu papierniczego, odpady garbarskie, pyły i popioły ze spalania oraz mączki wapienne.

W największych zakładach ceramiki budowlanej wykorzystuje się następujące surowce: iły zastoiskowe (zakłady w Lęborku i Plecewicach), iły serii poznańskiej (zakłady: Dobre, Honoratka, Kunice, Rudak, Paczków, w Gozdnicy i w Środzie Śląskiej), morskie iły mioceńskie (Kupno, Oleśnica, Markowicze i Sierakowice), iły jurajskie (Czerwone Osiedle i Gnaszyn), iły triasowe (Owczary, Patoka oraz zakłady w rejonie Opoczna i Przysuchy).

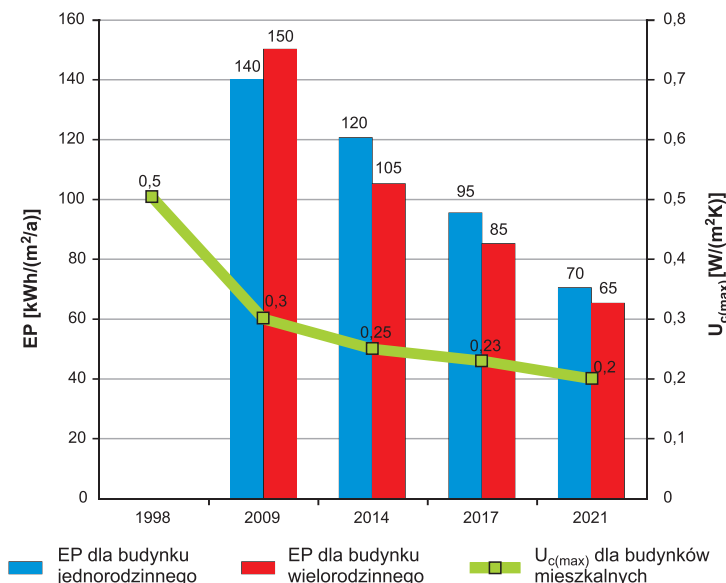


Fig. 10.1. Zmiany wymagań cieplnych dla ścian zewnętrznych (Jaroszewicz i Klimm, 2015)

W Polsce działa jeszcze ok. 60 cegielni wyposażonych w przestarzałe piece kręgowe typu Hoffmana. Produkują zazwyczaj tradycyjne wyroby: cegłę pełną, dziurawkę, modułarną, czasami także pustaki ceramiczne, płytki okładzinowe, nietypowe wyroby i kształtki do konserwacji zabytków. W 2018 r. wydobycie na potrzeby tych zakładów wyniosło ok. 215 tys. m³ surowca, co stanowi ok. 10% wydobycia krajowego. Połowa z nich bazuje na złożach: glin aluwialnych, lessów, glin lodowcowych i zwietrzelinowych, a reszta na łażach: plejstocenских (zastoiskowych), jurajskich, plioceńskich i mioceńskich. Problemy ze zbytym produktów na rynku zdominowanym przez wielkogabarytowe wyroby poryzowane i wysokie koszty produkcji powodują, że sytuacja ekonomiczna tych zakładów jest zła i sukcesywnie są one likwidowane. W związku z tym złoża tracą ekonomiczne podstawy istnienia jako źródło surowca ceramiki budowlanej. Czasami udaje się znaleźć dla tego surowca alternatywne zastosowanie, np.: do produkcji cementu, uszczelniania składowisk, do wznoszenia budowli ziemnych – nasypów drogowych czy wałów przeciwpowodziowych, ale są to przypadki stosunkowo rzadkie (Szczygielski, 2019a, c).

10.1.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

1. W poprzedniej edycji *Bilansu* (Brański, 2011c) w pierwszej kolejności rekomendowano: szczegółowe rozpoznawanie złóż udokumentowanych w kategorii C₂, rozpoznawanie wyznaczonych obszarów prognostycznych, poszukiwanie nowych obszarów w mniej zasobnych województwach północnej i północno-wschodniej Polski, a na pozostałym obszarze skoncentrowanie poszukiwań na kopalinach najwyższej jakości, stanowiących potencjalne surowce do produkcji pustaków ceramicznych, wyrobów dachowych, klinkieru itp. Stwierdzenia te znajdują częściowo pokrycie, gdyż prace dokumentacyjne w ostatnich latach koncentrowały się na surowcach do produkcji cienkościennych wyrobów porowatych (iły mioceńskie w zapadlisku przedkarpackim, iły dolnojurańskie, gliny aluwialne, iły zastoiskowe) oraz do produkcji wyrobów porowatych i spieczonych (iły neogeńskie serii poznańskiej, iły triasowe), jednak głównie na obszarach najzasobniejszych.
2. Należy lepiej rozpoznać ilaste utwory kambru i dewonu dolnego w Górach Świętokrzyskich pod względem właściwości ceramicznych. Utwory dolnokambryjskie mają znaczny potencjał surowcowy, wynikający z dużego rozpręsztrzenia, znacznych miąższości oraz przydatności do produkcji ceramicznych wyrobów klinkierowych (Kozydra i Wyrwicki, 1975b; Kozydra i in., 1977). To samo doty-

czy ilastych utworów dolnodewońskich. Prawdopodobne jest udokumentowanie w tych formacjach niskotopliwych, illitowych surowców barwnie wypalających się do produkcji wyrobów o czerepie porowatym i spieczonym.

3. Celowe wydaje się prowadzenie dalszych poszukiwań i badań surowców do produkcji keramzytu, zwłaszcza na obszarze południowo-wschodniej Polski, deficytowej w naturalne kruszywa piaskowo-żwirowe.
4. Należy również zwrócić większą uwagę na kopaliny ilaste, które występują w nadkładzie lub stanowią przewarstwienia między seriami węglowymi w złożach węgla brunatnego. Stanowią one dodatkowy zasób w bazie surowcowej kraju, który powinien być zagospodarowany w racjonalny sposób. Możliwe jest to tylko pod warunkiem składowania kopalin ilastych na zwalowiskach w sposób selektywny oraz zabezpieczający ich wartość użytkową.
5. Ze względu na spadek zużycia surowców w przemyśle ceramiki budowlanej oraz koncentrację wydobycia i produkcji w dużych zakładach należy wspierać działania w kierunku wykorzystania zasobów mniejszych, zaniechanych złóż w dziedzinach niezwiązanych bezpośrednio z przemysłem ceramiki budowlanej. Na przykład w przemyśle cementowym, w budownictwie ziemnym (nasypy, wały), w ochronie środowiska jako materiał uszczelniający, w rolnictwie, do rekultywacji. Być może pozwoli to na ich częściowe zagospodarowanie.
6. Niecelowe jest prowadzenie szerszych prac poszukiwawczych za surowcami ilastymi do produkcji zwykłych grubościennych wyrobów ceramiki budowlanej, do produkcji glinoporytu oraz dla przemysłu cementowego. Skały potencjalnie przydatne do tych celów występują na terenie całego kraju, a wymagania jakościowe są na tyle niskie, że nie stanowią większej bariery w poszukiwaniach. Istniejąca baza zasobowa przekracza aktualne potrzeby krajowe.

10.2. KRUSZYWO NATURALNE PIASKOWO-ŻWIROWE (*NATURAL AGGREGATES*)

Kruszywo naturalne (*natural aggregates*) to luźna mieszanka materiału okrucowego złożonego z piasków, żwirów i otoczków, umownie określona na podstawie udziału wagowego ziaren frakcji 0,063–2 mm. Kruszywo naturalne piaskowo-żwirowe znajduje zastosowanie przede wszystkim w budownictwie drogowym i kubaturowym. Najczęściej jest ono wykorzystywane do celów lokalnych lub na wielkoskalowe inwestycje. W corocznym *Bilansie zasobów* opisano je w rozdziale „Piaski i żwiry” (*sands and gravel*; Miśkiewicz i in., 2019). Na podstawie wprowadzonych w Polsce kilkanaście lat temu norm europejskich kruszywa naturalne piaskowo-żwirowe, obok kruszyw łamanych, można zaliczyć do grupy kruszyw mineralnych (*mineral aggregates*; Nieć, 2007). W *Bilansie zasobów* (Miśkiewicz i in., 2019) piaski i żwiry są podzielone na cztery podtypy według średniej wartości punktu piaskowego (pp). Są to: piaski (pp >75%), piaski ze żwirem (30% > pp <75%), żwir (pp <30%) oraz piaski pylaste i gliniaste zawierające istotną domieszkę drobniejszych frakcji. Podział ten zastosowano także w tym rozdziale. Wśród kruszyw naturalnych piaskowo-żwirowych w zależności od składu ziarnowego oraz sposobu i stopnia przeróbki można wyróżnić (Smakowski, 2011):

- kruszywa żwirowo-piaskowe niekruszone: piasek zwykły 0–2 mm, żwiry (frakcje 2–4, 4–8, 8–16, 16–31,5, 31,5–63 mm oraz frakcje mieszane, np. 2–8, 2–16, 2–31,5 mm), mieszanki klasyfikowane (np. frakcje 0–4, 0–8, 0–16, 0–31,5, 0–63 mm), mieszanki nieklasyfikowane (np. frakcje 0–16, 0–31,5, 0–63 mm) i otoczaki (>63 mm);
- kruszywa naturalne żwirowo-piaskowe kruszone: piasek łamany 0–2 mm, grysy z otoczków (frakcje jak w przypadku żwirów) oraz mieszanki z otoczków (frakcje identyczne jak w mieszankach naturalnych).

Z kruszyw mineralnych piaskowo-żwirowych wyłączono w niniejszym rozdziale związane z nimi piaski do produkcji betonów komórkowych i cegły wapienno-piaskowej, piasków podsadzkowych i piasków formierskich, które stanowią grupę piasków przemysłowych.

10.2.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Kruszywo naturalne piaskowo-żwirowe jest dokumentowane głównie w osadach czwartorzędowych, a tylko podrzędnie kruszywa należą do osadów starszych formacji: plioceńskiej, mioceńskiej i liasowej (jura). Wyróżnia się następujące typy genetyczne: lodowcowy, wodnolodowcowy, rzeczny i morski. Jakość tej kopaliny, a szczególnie jednorodność złóż zależy w znacznym stopniu od genetycznego typu złoża.

W południowej części Polski, w strefie karpacko-sudeckiej, podstawową rolę odgrywają złoża rzeczne (ok. 40% zasobów tzw. kruszywa grubego). W części sudeckiej przeważają złoża piaskowo-żwirowe wyższych tarasów plejstocentrycznych, w których dominują fragmenty skał krystalicznych i piaskowców. Na obszarze karpackim główną bazę surowcową stanowią złoża żwirowe i piaskowo-żwirowe, czasem kamieniste, występujące w obrębie niskich zalewowych tarasów holocentrycznych i niskich oraz wysokich tarasów plejstocentrycznych (Kozłowski S., 1986b), a w ich składzie dominują skały fliszowe. Wyjątek stanowi dolina Dunajca, gdzie występują znaczne ilości tatrzańskich skał krystalicznych. Cechą szczególną osadów aluwialnych strefy karpacko-sudeckiej są bardzo korzystne warunki geologiczno-górnictwa, niewielki nakład oraz duże rozprzestrzenienie (Siliwończuk, 1985).

W północnej i centralnej Polsce, na Niziu Polskim, mającym największe znaczenie w gospodarce złożami naturalnych kruszyw piaskowo-żwirowych, najważniejsze są złoża o genezie wodnolodowcowej (sandry, ozy) i lodowcowej (akumulacyjne moreny czołowe) oraz rzecznej. Zasięg tej strefy obejmuje 80% powierzchni Polski oraz ponad 70% zasobów krajowych. W północnej części tego obszaru największe znaczenie mają wodnolodowcowe złoża żwirowo-piaskowe, zawierające przede wszystkim skały skandynawskie – utwory krystaliczne i wapienie z domieszką kwarcu i piaskowców. Miąższość złóż tego rejonu sięga do 30 m. W części centralnej i południowej znaczny udział w utworach lodowcowych i wodnolodowcowych mają osady jednorodne, piaszczyste, zawierające duże ilości skał lokalnych (Siliwończuk, 1985).

Złoża wysokiej jakości kruszyw naturalnych piaskowo-żwirowych znajdują się również na obszarze morskim RP (patrz rozdz. 14).

10.2.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Ze względu na powszechność występowania nie prowadzi się całościowej ewidencji złóż światowych kruszywa, choć są one ujmowane w bilansach kopalin poszczególnych krajów. Światowe zasoby kruszywa naturalnego piaskowo-żwirowego są znaczne i występują we wszystkich krajach, lecz tylko część z nich prowadzi regularne statystyki. W globalnej produkcji dominują Stany Zjednoczone, a wśród największych producentów znajdują się Rosja, Niemcy, Turcja, Francja, Polska, Wielka Brytania, Brazylia i Meksyk. Średnia wielkość produkcji i zużycia kruszyw naturalnych w Europie wynosi ok. 6 Mg na osobę, a np. w rozwijającej się w bardzo szybkim tempie Irlandii – prawie 30 Mg na osobę. W Polsce wskaźnik ten jest dużo niższy i wynosi 4,0–4,5 Mg na mieszkańca (Kozioł i Kawalec, 2008). Eksploatacja naturalnych kruszyw piaskowo-żwirowych stanowi ważną część górnictwa w Polsce i pomimo wysokiego wydobycia i wzrostowej koniunktury na rynku, nadal przybywa zasobów bilansowych, przemysłowych oraz dokumentowanych jako prognostyczne i perspektywiczne.

Geologiczne zasoby bilansowe kruszyw naturalnych według stanu na 31.12.2018 r. wynosiły 19 470,38 mln Mg. Przyrost zasobów w stosunku do poprzedniego roku (2017) wyniósł 216,61 mln Mg, czyli 1,13% zasobów dotychczas udokumentowanych (Miśkiewicz i in., 2019).

Naturalne kruszywa piaskowo-żwirowe udokumentowano w czterech podtypach: piaski, piaski ze żwirem, żwir oraz piaski pylaste i gliniaste. Zasoby złóż piasków wynoszą 8715,08 mln Mg, z czego 2480,21 mln Mg w zasobach złóż zagospodarowanych. Zasoby kruszywa żwirowo-piaskowego i piaskowo-żwirowego to 9728,91 mln Mg. Zasoby żwiru wynoszą 996,82 mln Mg, a piasku pylastego i gliniastego – 29,56 mln Mg.

Zasoby złóż rozpoznanych szczegółowo (A, B i C₁) wynoszą 11 652,65 mln Mg i stanowią prawie 60% (59,9%) ogólnej ilości zasobów. 7817,83 mln Mg (41%) zasobów znajduje się w złożach rozpoznanych w kategoriach C₂ oraz D. Zasoby złóż zagospodarowanych, wynoszące 6001,23 mln Mg, stanowią 31% wszystkich zasobów. 11 909,11 mln Mg (61%) zasobów występuje w złożach niezagospodarowanych, natomiast w złożach, których eksploatacji zaniechano – 1560,03 mln Mg.

Zasoby przemysłowe na 31.12.2018 r. wyniosły 4061,66 mln Mg, czyli prawie 21% (20,9%) zasobów bilansowych, natomiast w 2018 r. wydobycie piasków i żwirów ze złóż wyniosło 197,01 mln Mg (tab. 10.11). Według stanu na 31.12.2018 r. jest 3979 złóż zagospodarowanych, 3785 złóż, w których nie rozpoczęto eksploatacji oraz 2531 złóż z eksploatacją zaniechaną.

W przypadku złóż kruszyw naturalnych piaskowo-żwirowych od początku XXI w. zaznacza się bardzo niekorzystna tendencja dokumentowania małych złóż w obrębie dużych jednostek surowcowych, co powoduje wzrost ogólnej liczby złóż przy jednoczesnym zmniejszeniu średnich zasobów przypadających na złożo (fig. 10.2). Nieodpowiednie działania w gospodarce złożami dotyczą także częstych przypadków braku rozliczania zasobów oraz dokumentowania złóż o bardzo nieregularnych zasięgach, co przyczynia się do nieracjonalnego gospodarowania zasobami kopalni. Te negatywne działania są skutkiem przepisów, nadających

Tab. 10.11. Ocena wystarczalności krajowych zasobów złóż piasku i żwiru wg stanu na 31.12.2018 r.

Wskaźnik	Jednostka	Wartość wskaźnika
Zasoby bilansowe	mln Mg	19 470,38
Zasoby bilansowe złóż zagospodarowanych	mln Mg	6001,23
Zasoby przemysłowe	mln Mg	4061,66
Wydobycie roczne	mln Mg	197,01
Wystarczalność statyczna zasobów bilansowych W_{sb}	lata	99
Wystarczalność statyczna zasobów bilansowych złóż zagospodarowanych W_{sbz}	lata	30
Wystarczalność statyczna zasobów przemysłowych W_{sp}	lata	41
Stopień zagospodarowania złóż W	%	31
Wskaźnik potencjału rezerw zasobowych złóż niezagospodarowanych ξ	%	47

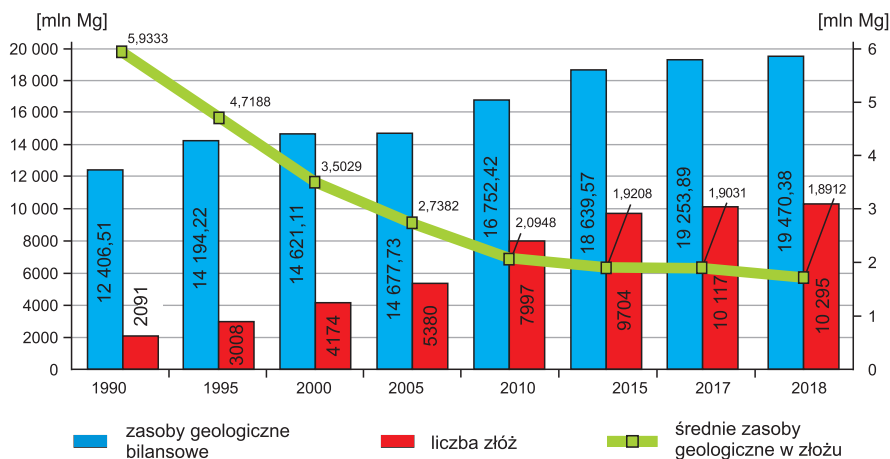


Fig. 10.2. Zmiany w zasobach dokumentowanych złóż w latach 1990–2018
(wg danych Systemu... MIDAS)

uprawnienia udzielania koncesji na wydobycie kopalin ze złóż o powierzchni do 2 ha organom administracji państwowej na poziomach powiatów. Pokazuje to, że obowiązujące przepisy nie gwarantują prowadzenia racjonalnej gospodarki kopalinami w naszym kraju (Szmałek i in., 2017a).

10.2.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Parametry graniczne wyznaczania złóż wprowadza *Rozporządzenie...* (2015a) w sprawie dokumentacji geologicznej złoża kopaliny, z wyłączeniem złoża węglowodorów. Zgodnie z zapisem w rozporządzeniu kryteriami stosowanymi dla piasków skaleniowo-kwarcowych o punkcie piaskowym powyżej 75% oraz złóż żwirowych, żwirowo-piaskowych i piaskowo-żwirowych o punkcie piaskowym poniżej 75% są: minimalna miąższość złoża, maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża (N/Z), maksymalna zawartość pyłów mineralnych (tab. 10.12). Różnice dotyczą przede wszystkim zawartości pyłów mineralnych oraz maksymalnego stosunku grubości nadkładu do maksymalnej miąższości złoża.

W związku ze zmianami rynkowymi i możliwościami technicznymi w 2005 r. zmieniono kryteria geologiczne i odstąpiono od definiowania minimalnych zasobów. Nie jest wykluczone, że w przyszłości wobec zmian techniczno-technologiczno-ekonomicznych nastąpi dalsza modyfikacja powyższych kryteriów.

Tab. 10.12. Graniczne wartości parametrów definiujących złożo kruszywa naturalnego piaskowo-żwirowego i jego granice (*Rozporządzenie...*, 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Złoża piasków skaleniowo-kwarcowych o punkcie piaskowym powyżej 75%		
Minimalna miąższość złoża	m	2
Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża (N/Z)	–	0,3
Maksymalna zawartość pyłów mineralnych	%	10
Złoża żwirowe, żwirowo-piaskowe i piaskowo-żwirowe o punkcie piaskowym poniżej 75%		
Minimalna miąższość złoża	m	2
Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża (N/Z)	–	1,0
Maksymalna zawartość pyłów mineralnych	%	15

10.2.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Informacje dotyczące obszarów prognostycznego i perspektywicznego występowania kruszyw naturalnych piaskowo-żwirowych przedstawiono na podstawie danych *Mapy Geośrodowiskowej Polski* (MGŚP; warstwy danych: „Warstwa normatywna KOPALINY” oraz „Warstwa normatywna KOPALINY – obszary zweryfikowane”). *Mapa Geośrodowiskowa Polski* jest opracowaniem kompleksowo ujmującym wszystkie przebadane i wyznaczone obszary prognostycznego i perspektywicznego występowania kopaliny piaskowo-żwirowych na terenie całego kraju. Na potrzeby charakterystyki perspektyw dla kruszyw naturalnych piaskowo-żwirowych niniejszego *Bilansu* przyjęto definicje obszaru perspektywicznego i prognostycznego obowiązujące w MGŚP:

- obszar perspektywiczny – występowanie skał i naturalnych płynów o cechach kopaliny, a geologiczno-górnictwo warunki nie wykluczają możliwości ich eksploatacji;
- obszar prognostyczny – występowanie kopaliny w ramach obszaru perspektywicznego o określonych zasobach w kat. D₁.

W przypadku obszarów perspektywicznego występowania kruszyw naturalnych piaskowo-żwirowych w polskich obszarach morskich podstawowym źródłem informacji była *Mapa geośrodowiskowa polskich obszarów morskich w skali 1:250 000* (MGŚPOM; Kramarska i in., 2019).

Obszary prognostycznego i perspektywicznego występowania kruszyw naturalnych wyznaczone w MGŚP są wynikiem analiz wyników wszystkich przeprowadzonych badań, mających na celu rozpoznanie warunków geologiczno-górnictwa występowania serii surowcowej oraz określenie parametrów jakościowych kopaliny dla całego kraju. Prace analityczne polegały na gruntownej analizie danych zawartych w materiałach źródłowych (dokumentacjach geologiczno-złożowych, sprawozdaniach i orzeczeniach z prac poszukiwawczych, *Szczegółowej Mapie Geologicznej Polski w skali 1:50 000*), które sprawdzono pod kątem aktualnie obowiązujących kryteriów bilansowości dla każdej z kopaliny (*Rozporządzenie...*, 2001). W praktyce zweryfikowano tysiące opracowań surowcowych, które powstały w Polsce od lat 50. XX w. do czasów obecnych.

Kolejnymi badaniami kruszyw naturalnych pod kątem ich perspektywiczności były prace przeprowadzone w latach 2008–2015, w ramach MGŚP „Warstwa normatywna KOPALINY – obszary zweryfikowane”. Ze względu na rosnące zapotrzebowanie na kruszywa naturalne piaskowo-żwirowe do budowy autostrad i dróg ekspresowych wybrano obszary do szczegółowych badań terenowych i laboratoryjnych. Badaniami tymi objęto obszary zlokalizowane na terenach największego zapotrzebowania, tzn. korytarze projektowanych dróg ekspresowych i autostrad (fig. 10.3) oraz tereny wokół aglomeracji miejskich (fig. 10.4):

- w promieniu ok. 100 km od aglomeracji warszawskiej,
- w promieniu ok. 50 km od aglomeracji łódzkiej i trójmiejskiej,
- korytarze wzdłuż wybranych odcinków autostrad i dróg ekspresowych w odległości 20 km od projektowanego przebiegu osi drogi.

Wybrane do analiz obszary musiały spełniać kryteria zestawione w tabelach 10.12 i 10.13. Dodatkowo wykluczano obszary, w których występowały ograniczenia mogące utrudnić lub uniemożliwić podjęcie eks-

Tab. 10.13. Wymagane parametry geologiczno-górnictwa i jakościowe kopaliny na obszarach prognostycznych

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Minimalna miąższość złoża*	m	2,0
Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża*	–	0,3
Maksymalna zawartość pyłów mineralnych**	%	10
Minimalna przewidywana wielkość zasobów prognostycznych dla pojedynczego obszaru wzdłuż dróg ekspresowych***	Mg	150 000

* wg obowiązującego w czasie realizacji opracowania *Rozporządzenia...* (2011) w sprawie dokumentacji geologicznej złoża kopaliny

** w przypadku braku informacji o zawartości pyłów mineralnych jako nieprzydatne do celów drogowych uznawano piaski drobnoziarniste pylaste lub silnie zaglinione

*** wg zaleceń metodycznych i sposobu realizacji warstwy „Weryfikacja obszarów perspektywicznych i prognostycznych wyznaczonych na MGGP i MGŚP – kruszywa naturalne: piaski i żwir” (Sikorska-Maykowska i in., 2008)

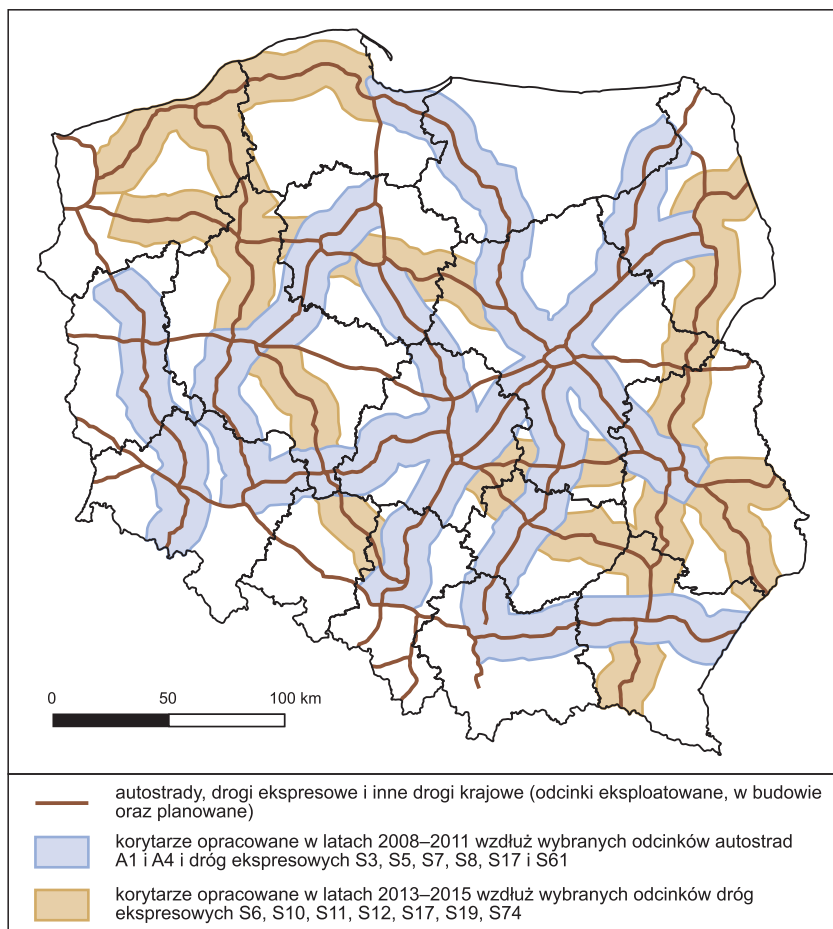


Fig. 10.3. Korytarze dróg krajowych i autostrad objęte badaniami w ramach MGŚP II

ploatacji – konflikt zagospodarowania przestrzennego terenu i konieczność ochrony przyrody, krajobrazu oraz dziedzictwa kulturowego.

Wyniki prac terenowych i laboratoryjnych przedstawiano w *Dokumentacji geologicznej innej niż dokumentacja złoża kopalin, dotyczącej prac kartografii geologicznej dla rozpoznania obszarów prognostycznych występowania kruszywa piaskowo-żwirowego, realizowanych w ramach przedsięwzięcia: Mapa Geośrodowiskowa Polski II w skali 1:50 000* (obowiązujące w czasie realizacji opracowania *Rozporządzenie...*, 2011). Każdy obszar wytypowany do badań został scharakteryzowany i stanowił oddzielny załącznik do dokumentacji (Kozłowska O. i in., 2017).

10.2.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Regiony geologiczne występowania obszarów perspektywicznych kruszyw naturalnych piaskowo-żwirowych położone są w północnej, środkowej i południowej Polsce oraz w obrębie południowej części dna Bałtyku w granicach RP. Na północy i w centrum kraju wystąpienia tych surowców są związane głównie

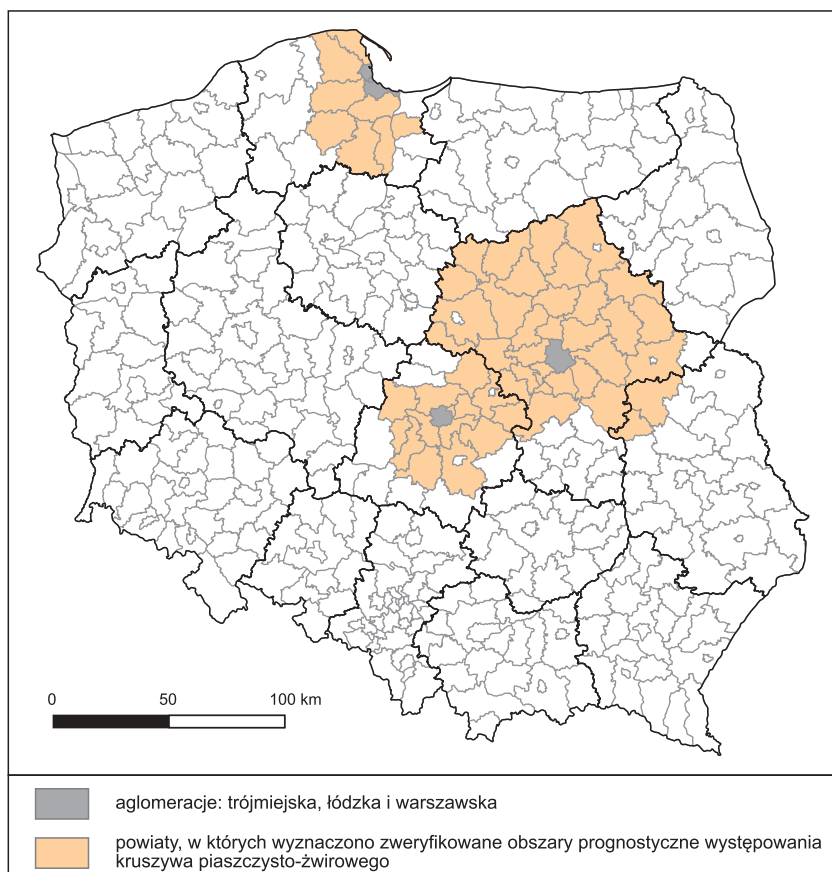


Fig. 10.4. Obszary wokół aglomeracji miejskich objęte badaniami w ramach MG&P II

z osadami akumulacji lodowcowej i wodnolodowcowej, natomiast na południu dominującą rolę surowcową spełniają plejstocenijskie i holocenijskie poziomy tarasowe rzek Sudetów i Karpat.

Ze względu na rozprzestrzenienie największe znaczenie mają kruszywa naturalne genetycznie związane z akumulacyjną działalnością łądolodów w obrębie pól sandrowych oraz w obrębie ich stref marginalnych (czołowych) łądolodów. Występują one na przeważającym terenie kraju i są dość równomiernie rozmieszczone. Wielkość nagromadzenia, budowa geologiczna złóż i skład granulometryczny zależą od warunków zaniku łądolodu, dynamiki procesów sedymentacyjnych i sposobu akumulacji osadów (Siliwończuk, 1974, 1985). Kruszywa naturalne piaskowo-żwirowe związane z akumulacją rzeczna występują przede wszystkim w obrębie poziomów tarasowych, w facjach korytowych oraz w obrębie stożków napływowych przy przejściu rzek górskich w podgórskie. Złoża tarasowe charakteryzują się dużą koncentracją surowca, natomiast w obrębie stożków napływowych złoża mają nieregularną formę. Większe koncentracje frakcji żwirowych są związane z akumulacją w korytach rzek, ale w ich obrębie bardzo często występują przewarstwienia piaszczyste (Siliwończuk, 1974, 1985).

Kruszywo piaskowo-żwirowe z większą zawartością żwirów występuje w południowej, zachodniej oraz północnej części Polski, drobniejsze – piaskowe – dominuje w województwach centralnych i wschodnich, a żwiry pojawiają się tylko w strefie karpacko-sudeckiej. Warunki występowania złóż są zazwyczaj proste, ale w wielu obszarach surowcowych znajdują się przewarstwienia piasków, piasków ze żwirem i żwirów, co powoduje niejednorodność i zaburzenia jakości kopaliny we wszystkich kierunkach. Ocena wartości punktu piaskowego generalizuje tę zmienność i pozwala na zaliczenie złóż do konkretnego podtypu.

10.2.6. Stan rozpoznania geologicznego

W przypadku kruszyw naturalnych piaskowo-żwirowych stan rozpoznania bazy zasobowej zarówno w formie złóż, jak i obszarów prognostycznego oraz perspektywicznego występowania można uznać za wystarczające do pokrycia krajowych potrzeb bilansowych w perspektywie 20–30 lat. Znaczący zakres prac dokumentujących zasoby prognostyczne przeprowadzono w ramach *Mapy Geośrodowiskowej Polski* („Weryfikacja obszarów perspektywicznych i prognostycznych wyznaczonych na MGGP i MGŚP – kruszywa naturalne: piaski i żwiry”). Efektem tych prac było wyznaczenie w korytarzach drogowych 384 obszarów o łącznych zasobach wynoszących 6,7 mld Mg. Kolejne 196 obszarów przebadano wokół aglomeracji miejskich – w tym przypadku wyznaczono obszary prognostyczne o łącznych zasobach wynoszących 2,3 mld Mg. Każdy obszar jest scharakteryzowany przez następujące dane:

- powierzchnia obszaru prognostycznego;
- rodzaj i parametry jakościowe kopaliny;
- zasoby kopaliny;
- minimalna, maksymalna, średnia miąższość nadkładu;
- minimalna, maksymalna, średnia miąższość serii surowcowej;
- głębokość (minimalna i maksymalna) rozpoznania serii surowcowej;
- forma występowania, wiek serii surowcowej;
- rodzaj i liczba punktów dokumentujących wydzielenie;
- informacja o ewentualnym położeniu w obrębie obszaru objętego formą ochrony (obszary przyrodniczo chronione, ochrona wód powierzchniowych lub podziemnych, zabudowa).

Porównanie danych ilościowych udokumentowanych zasobów prognostycznych do rocznej eksploatacji kruszyw piaskowo-żwirowych w skali całego kraju, wahającej się w latach 2007–2016 w przedziale 140–250 mln Mg, wskazuje na bezpieczeństwo surowcowe w takim zakresie przez kilkadziesiąt lat, a ilości te uzupełniają zasoby znajdujące się w udokumentowanych złóżach. W ten sposób zweryfikowano ok. 60% obszaru Polski. Natomiast dla całego obszaru Polski przeprowadzono analizę dostępnych dokumentacji geologicznych, sprawozdań z prac poszukiwawczych kruszywa grubego oraz orzeczeń realizowanych przede wszystkim w latach 70. i 80. XX w. W analizie tej uwzględniono także mapy geologiczne, opracowane w ramach SMGP oraz miejsca niekoncesjonowanej eksploatacji kruszywa. Na tej podstawie wyznaczono ponad 6,5 tysiąca perspektywicznych i prognostycznych obszarów występowania kruszywa piaskowo-żwirowego. Dane te są zawarte w warstwie normatywnej MGŚP (Wołkowicz S. i in., 2018a). Wszystkie obszary przebadane i wyznaczone w ramach MGŚP w poszczególnych województwach ilustrują figury 10.5–10.12 oraz załącznik 6.

10.2.7. Ocena zasobów i ich zmian

Od czasu opublikowania poprzedniego *Bilansu* (Smakowski, 2011) zasoby prognostyczne zwiększyły się o ponad 5,3 mld Mg. Udokumentowano je w ok. 200 nowych obszarach, obejmujących łącznie 15 tys. ha (tab. 10.14). Często w obszarach wykazanych w poprzednim bilansie udokumentowane zostały złoża, w których podjęto eksploatację, ale zasoby kopaliny zostały wyczerpane, a tereny pogórnice objęto pracami rekultywacyjnymi, co spowodowało uszczuplenie o wyeksploatowane zasoby poprzedniej bazy prognostycznej lub perspektywicznej.

W efekcie prac przeprowadzonych w ramach realizacji MGŚP wyznaczono na terenie całej Polski 813 obszarów prognostycznych występowania kruszywa naturalnego piaskowo-żwirowego z udokumentowanymi zasobami łącznie wynoszącymi 13 mld Mg. Rozmieszczenie obszarów perspektywicznych występowania kruszywa naturalnego w Polsce ilustruje załącznik 6.

Najwięcej nowo udokumentowanych zasobów prognostycznych kruszyw piaskowo-żwirowych znajduje się w województwach: mazowieckim, małopolskim, podlaskim, lubelskim i zachodniopomorskim, a najmniej w: świętokrzyskim, małopolskim, opolskim i lubuskim (tab. 10.15 i 10.16).

Obszary perspektywiczne obejmują 5717 wydzialeń, o łącznej powierzchni wynoszącej ponad 600 tys. ha. Są one rozmieszczone dość równomiernie na terenie Polski. Obszary perspektywicznego występowania kopaliny w odróżnieniu od obszarów prognostycznych są zdecydowanie słabiej rozpoznane, najczęściej ze względu na brak badań jakościowych kopaliny lub nieoszacowaną ilość zasobów.

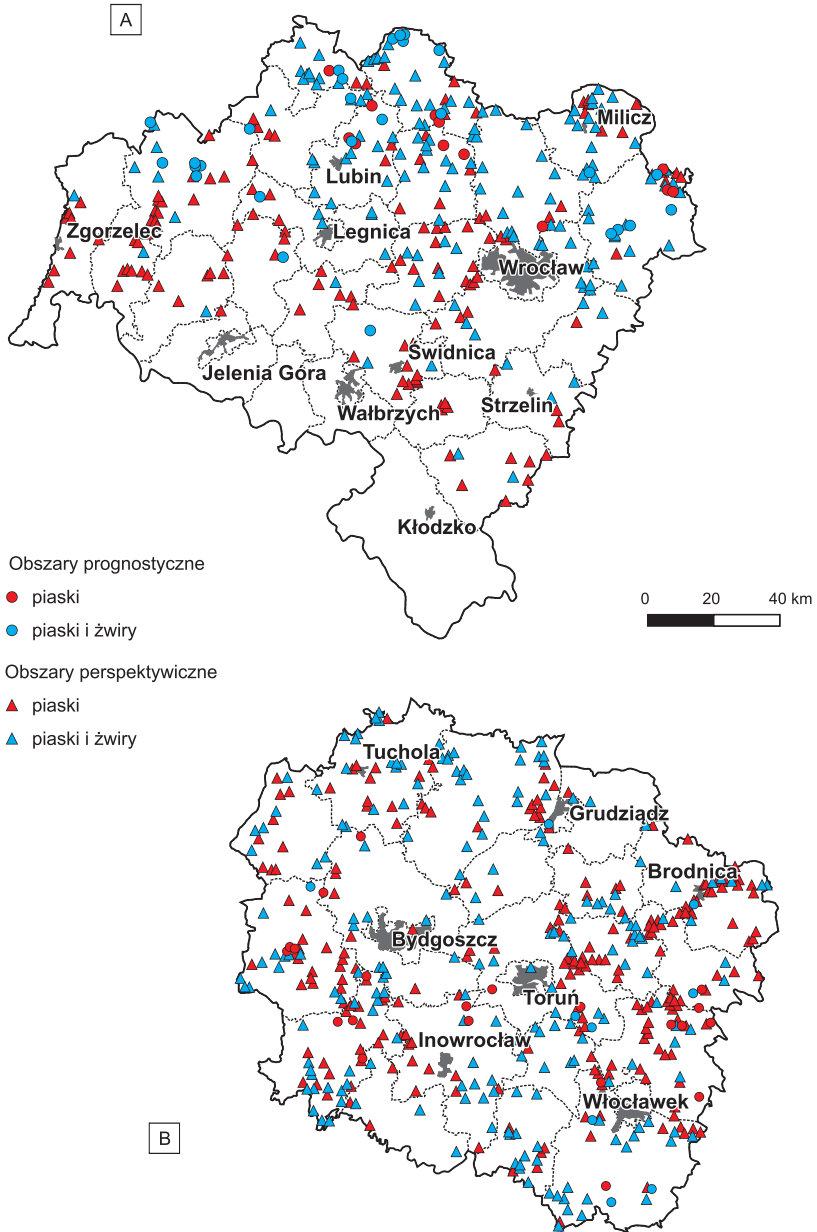


Fig. 10.5. Mapa obszarów perspektywnego i prognostycznego występowania piasku i piasku ze żwirem w województwach dolnośląskim (A) i kujawsko-pomorskim (B)

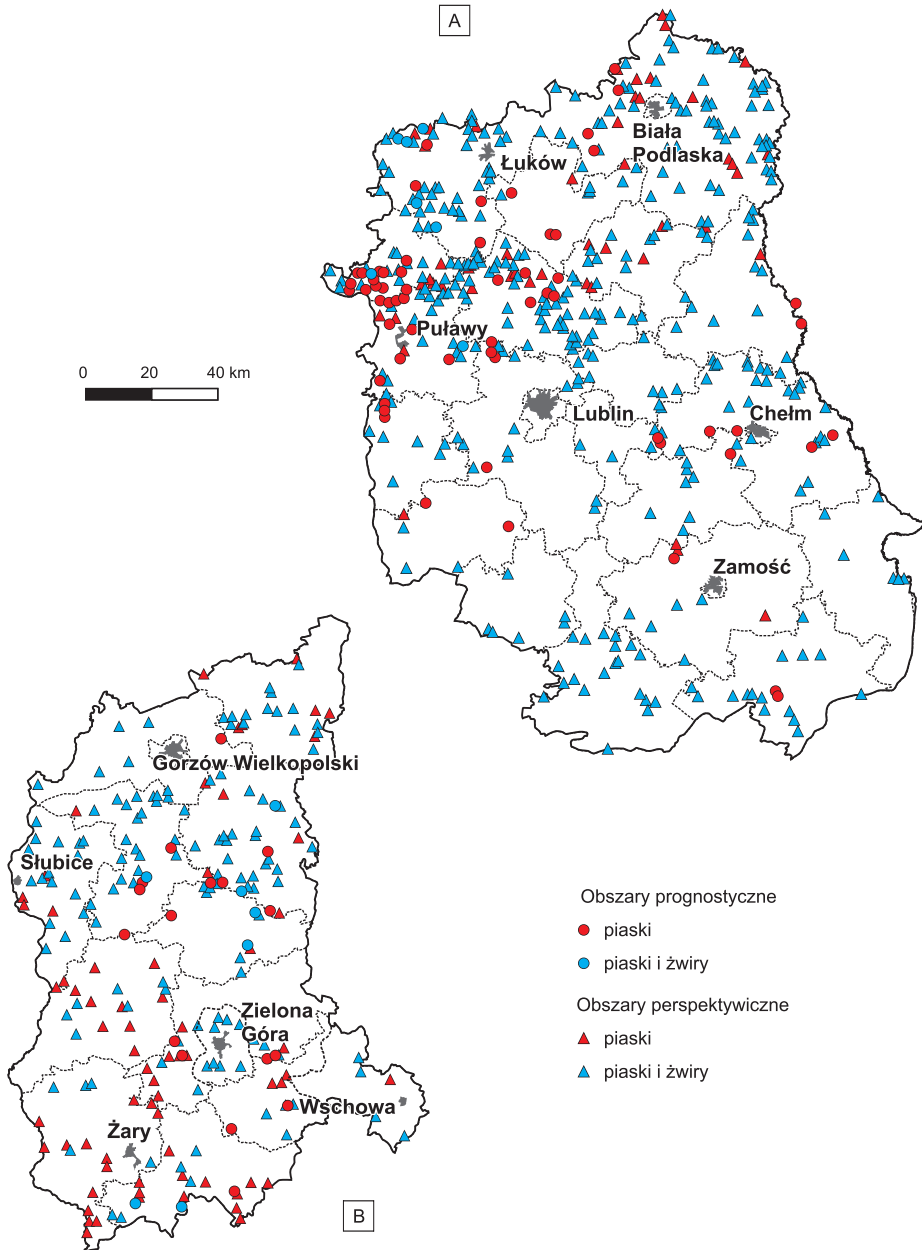


Fig. 10.6. Mapa obszarów perspektywnego i prognostycznego występowania piasku i piasku ze żwirem w województwach lubelskim (A) i lubuskim (B)

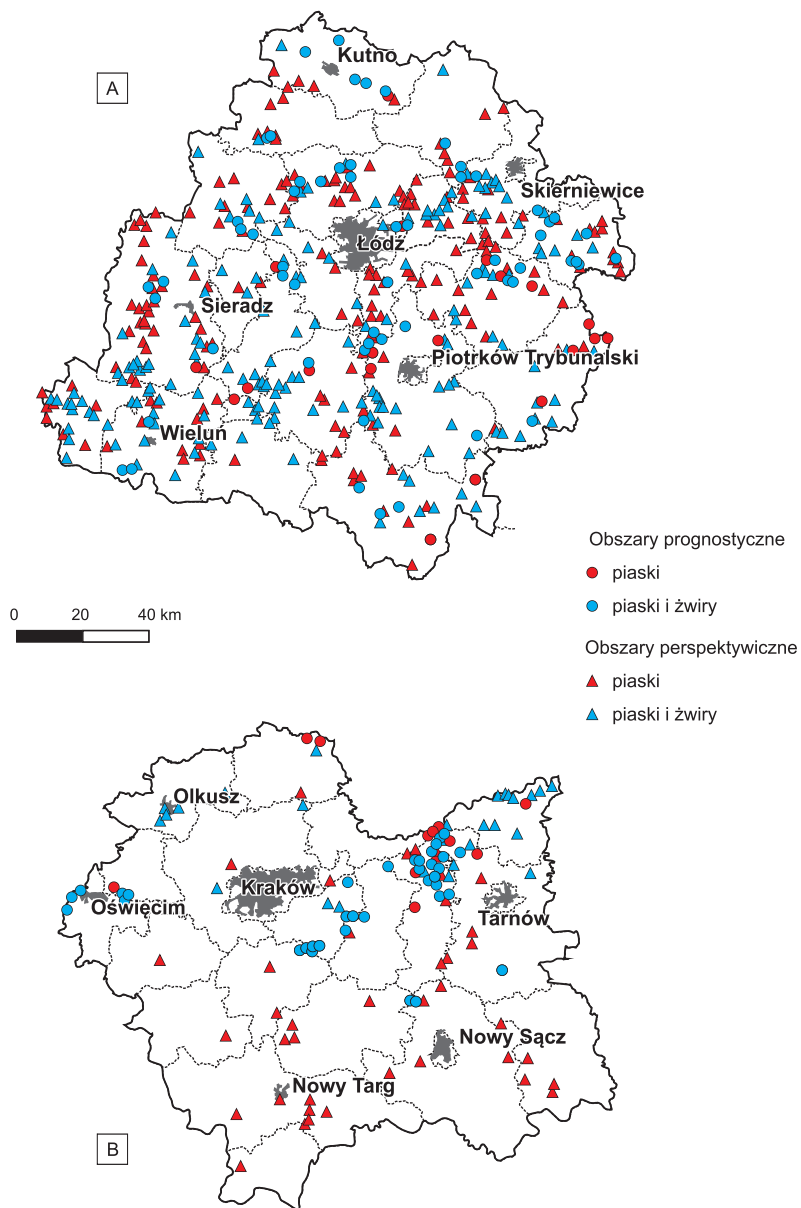


Fig. 10.7. Mapa obszarów perspektywnego i prognostycznego występowania piasku i piasku ze żwirem w województwach łódzkim (A) i małopolskim (B)

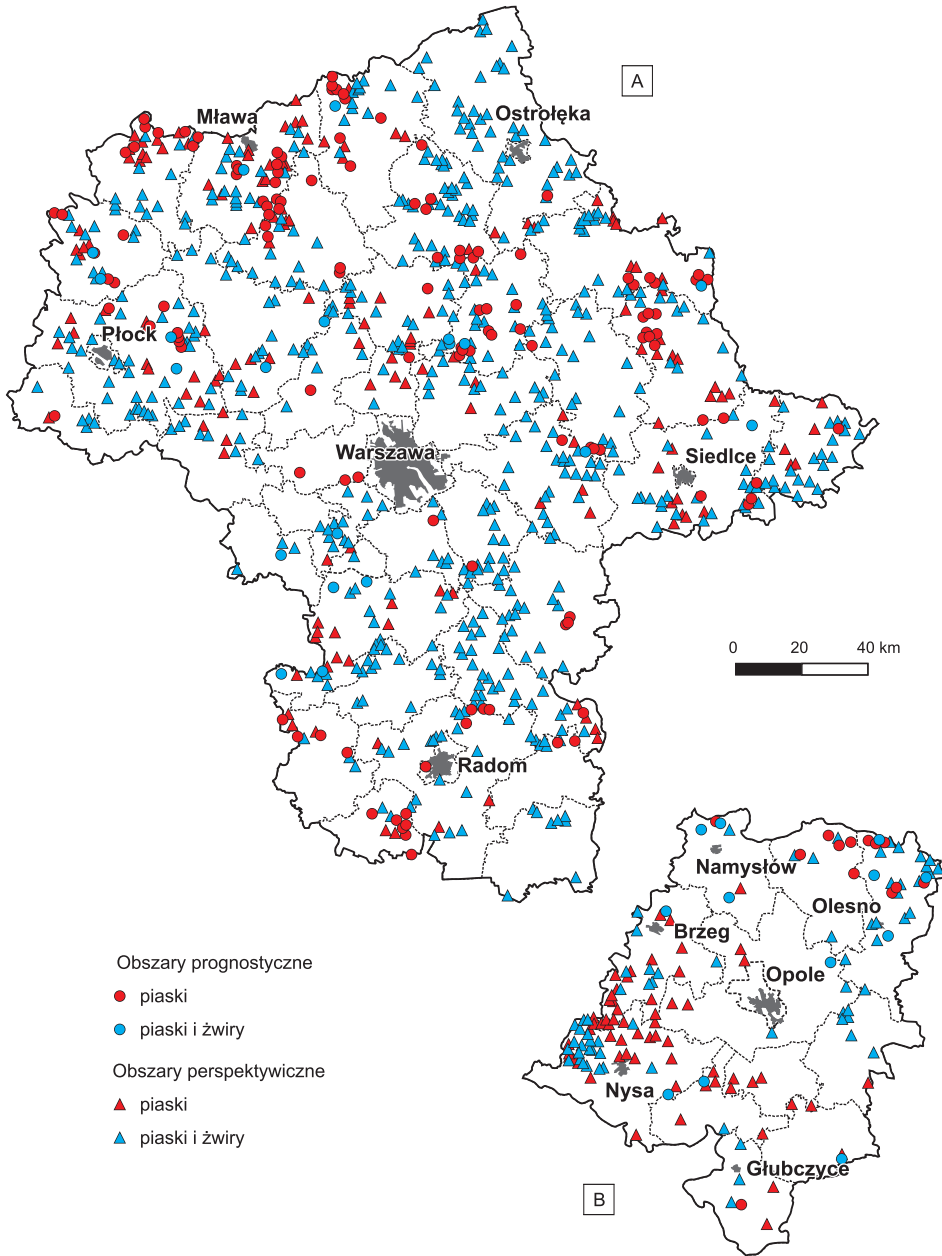


Fig. 10.8. Mapa obszarów perspektywnego i prognostycznego występowania piasku i piasku ze żwirzem w województwach mazowieckim (A) i opolskim (B)

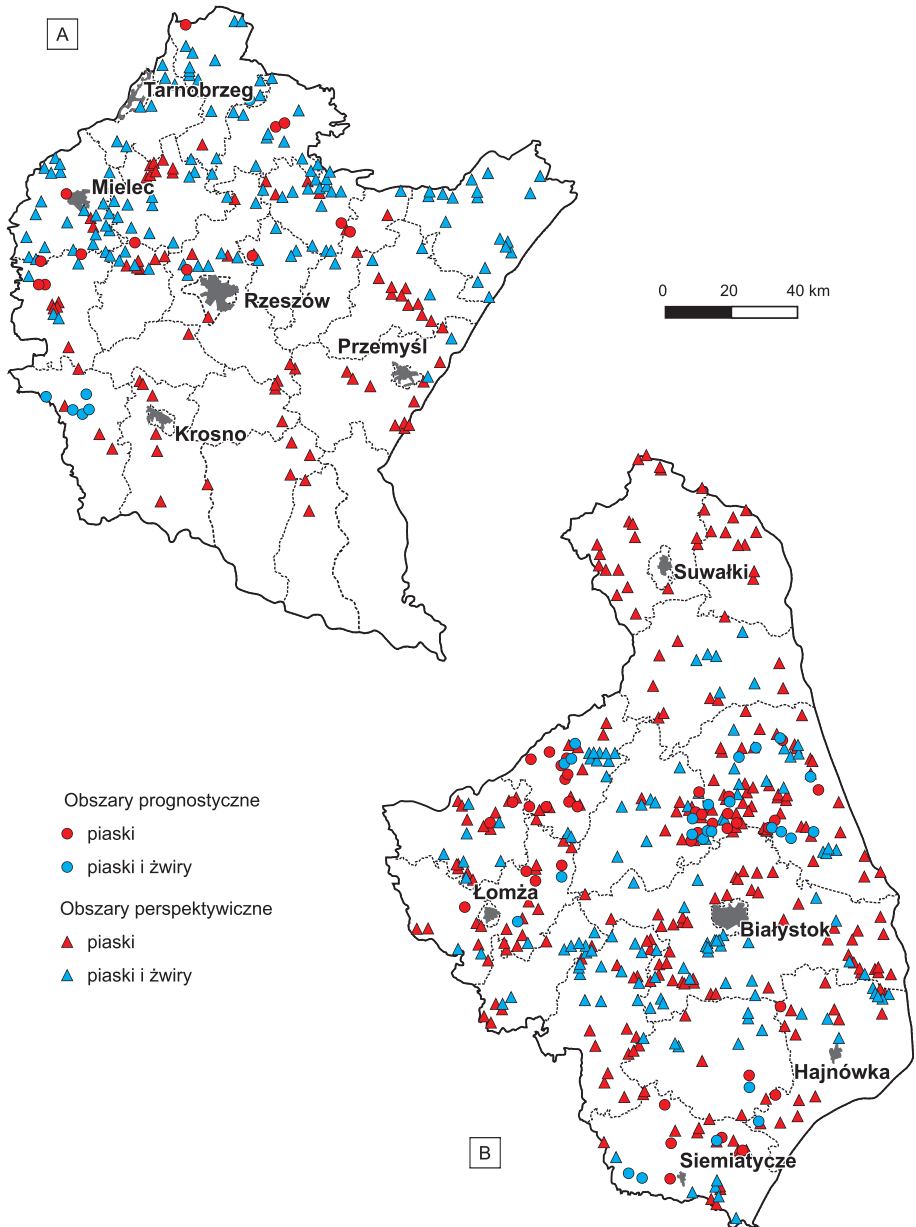


Fig. 10.9. Mapa obszarów perspektywnego i prognostycznego występowania piasku i piasku ze żwirzem w województwach podkarpackim (A) i podlaskim (B)

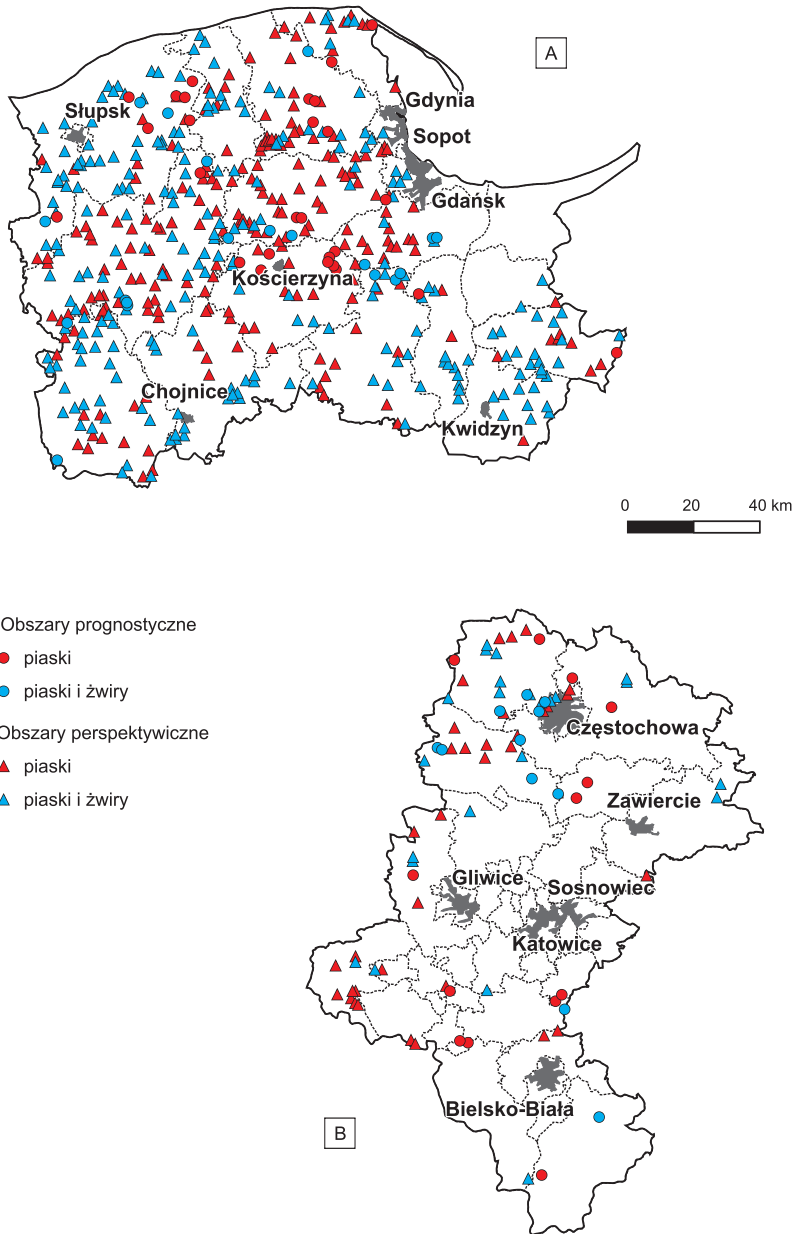


Fig. 10.10. Mapa obszarów perspektywnego i prognostycznego występowania piasku i piasku ze żwirzem w województwach pomorskim (A) i śląskim (B)

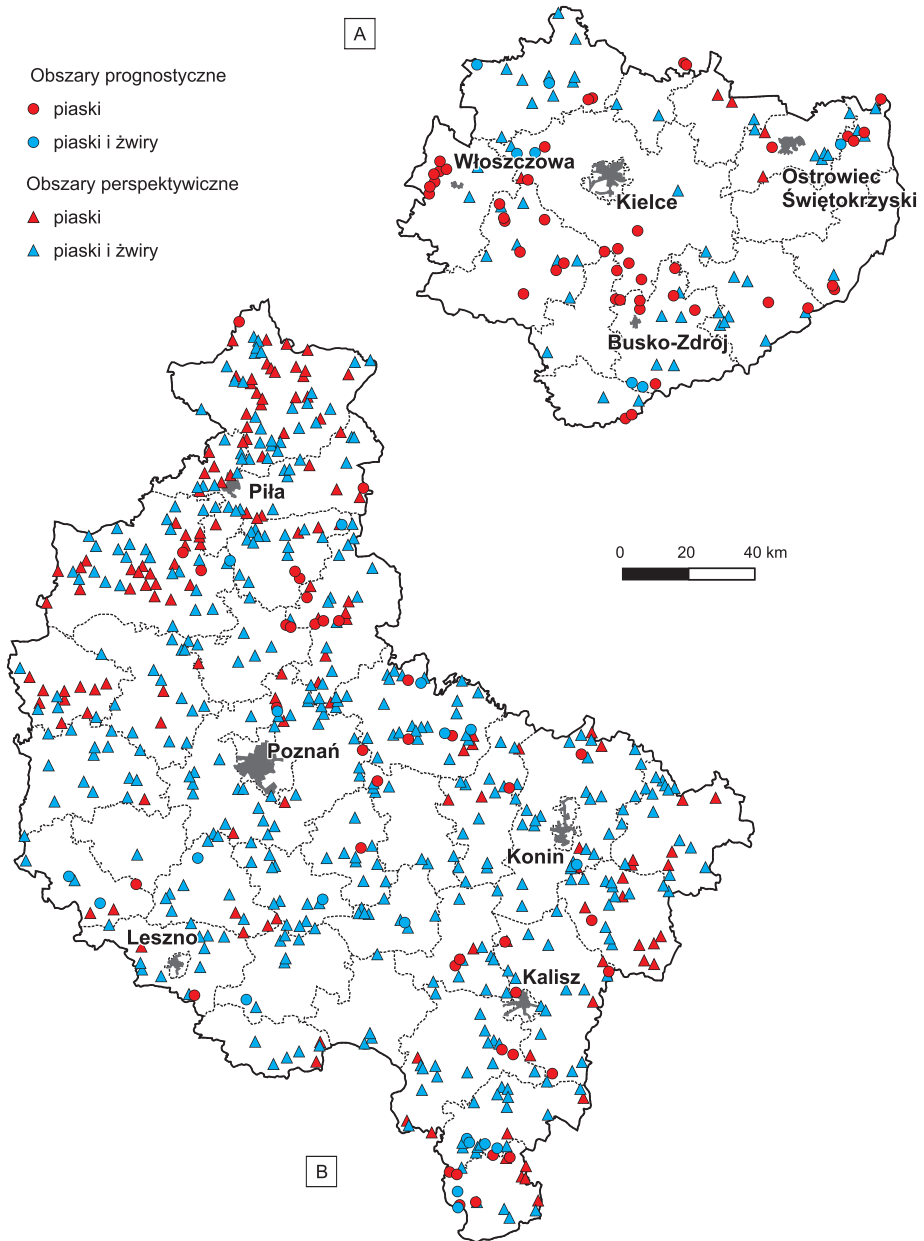


Fig. 10.11. Mapa obszarów perspektywnego i prognostycznego występowania piasku i piasku ze żwirami w województwach świętokrzyskim (A) i wielkopolskim (B)

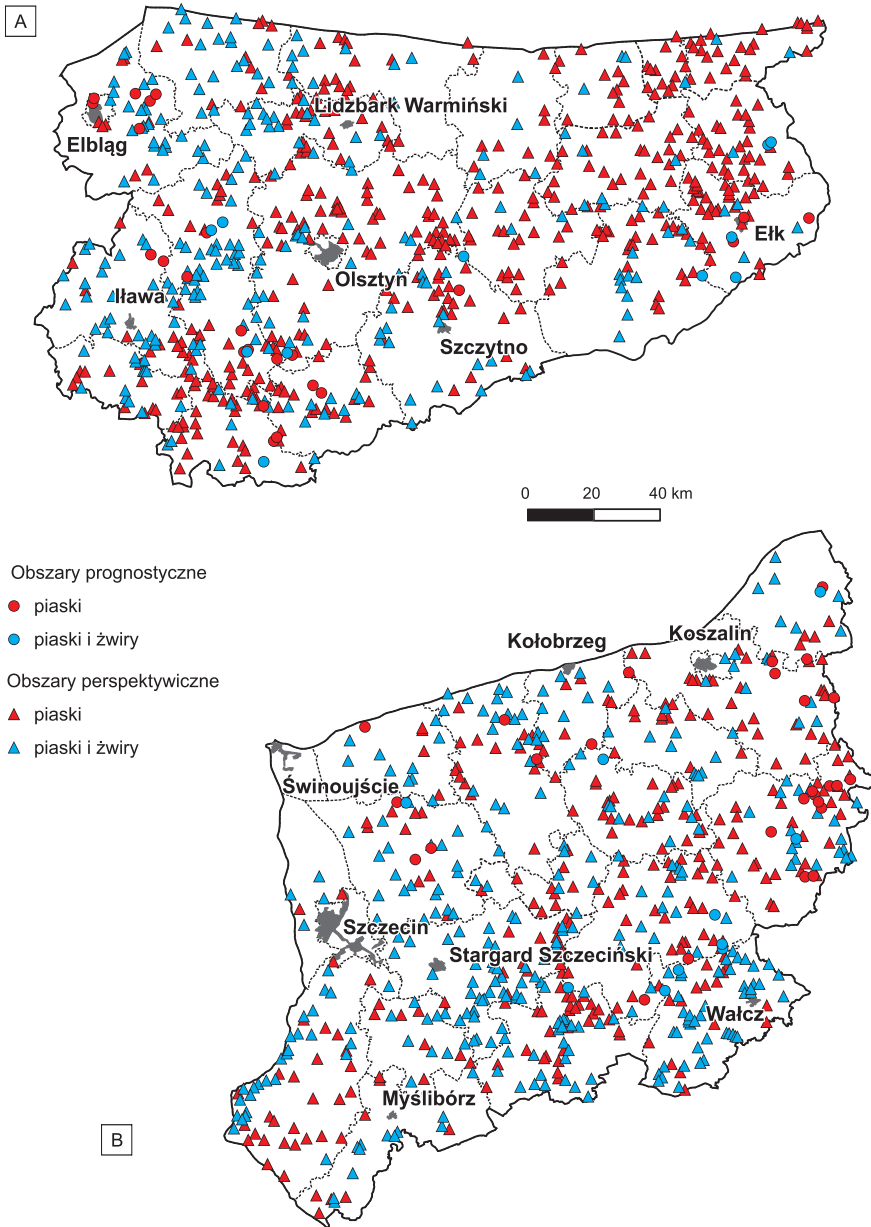


Fig. 10.12. Mapa obszarów perspektywicznego i prognostycznego występowania piasku i piasku ze żwirem w województwach warmińsko-mazurskim (A) i zachodniopomorskim (B)

Tab. 10.14. Porównanie stanu zasobów w 2008 i w 2018 r. w podziale na województwa

Województwo	Zasoby [tys. Mg]	
	2008 r.	2018 r. (zmiana)
Dolnośląskie	561 147	526 570 (-)
Kujawsko-pomorskie	102 940	408 890 (+)
Lubelskie	878 442	1 063 780 (+)
Lubuskie	233 354	234 080 (+)
Łódzkie	569 196	582 920 (+)
Małopolskie	750 511	1 404 690 (+)
Mazowieckie	548 961	1 987 000 (+)
Opolskie	230 523	335 250 (+)
Podkarpackie	2 180 797	317 130 (+)
Podlaskie	227 907	912 140 (+)
Pomorskie	189 755	2 104 570 (+)
Śląskie	140 600	747 350 (+)
Świętokrzyskie	569 682	610 470 (+)
Warmińsko-mazurskie	147 884	186 060 (+)
Wielkopolskie	248 089	701 850 (+)
Zachodniopomorskie	145 376	924 220 (+)
Suma	7 725 164	13 046 970 (+)

Tab. 10.15. Obszary prognostyczne udokumentowane w ramach „Warstwy normatywnej KOPALINY – obszary zweryfikowane” MGŚP w podziale na województwa

Województwo	Powierzchnia [ha]	Zasoby [tys. Mg]	Liczba obszarów
Dolnośląskie	2344,02	418 020	27
Kujawsko-pomorskie	2760,08	375 790	28
Lubelskie	5970,91	964 740	62
Lubuskie	1125,98	174 370	13
Łódzkie	3411,03	560 840	74
Małopolskie	766,64	101 930	3
Mazowieckie	11 405,26	1 984 150	149
Opolskie	1180,48	238 320	18
Podkarpackie	1098,36	246 120	10
Podlaskie	6143,00	912 140	64
Pomorskie	4824,20	904 070	37
Śląskie	891,34	206 420	8

Tab. 10.15. cd.

Województwo	Powierzchnia [ha]	Zasoby [tys. Mg]	Liczba obszarów
Świętokrzyskie	446,15	63 730	14
Warmińsko-mazurskie	1883,37	179 870	31
Wielkopolskie	4141,14	656 320	46
Zachodniopomorskie	5042,91	900 200	34
Razem	53 434,87	8 887 030	618

Tab. 10.16. Obszary prognostyczne udokumentowane w ramach „Warstwy normatywnej Kopaliny” MGŚP w podziale na województwa

Województwo	Powierzchnia [ha]	Zasoby [tys. Mg]	Liczba obszarów
Dolnośląskie	404,69	108 550	13
Kujawsko-pomorskie	42,66	33 100	2
Lubelskie	637,30	99 040	7
Lubuskie	330,06	59 710	12
Łódzkie	446,63	22 080	5
Małopolskie	9502,52	1 302 760	44
Mazowieckie	85,81	2 850	4
Opolskie	674,66	96 930	7
Podkarpackie	646,95	71 010	10
Podlaskie	–	–	–
Pomorskie	304,09	1 200 500	11
Śląskie	1871,86	540 930	16
Świętokrzyskie	3344,42	546 740	41
Warmińsko-mazurskie	109,66	6 190	7
Wielkopolskie	267,21	45 530	13
Zachodniopomorskie	121,99	24 020	3
Razem	18 790,51	4 159 940	195

10.2.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

1. Polska jest krajem zasobnym w kruszywo naturalne piaskowo-żwirowe, które jest kopaliną masowo eksploatowaną oraz powszechnie i dosyć równomiernie występującą. Wielkość zasobów bilansowych i przemysłowych wyniosła na 31.12.2018 r. odpowiednio 19 470,38 mln Mg oraz 4061,66 mln Mg. Zasoby złóż zagospodarowanych, wynoszące 6001,23 mln Mg, stanowią prawie 31% zasobów bilansowych. 11 909 mln Mg (61%) występuje w złożach niezagospodarowanych, natomiast w złożach, w których eksploatację zaniechano – 1506,03 mln Mg (Miśkiewicz i in., 2019).
2. Zasoby prognostyczne kruszyw naturalnych piaskowo-żwirowych wynoszą 13,05 mld Mg. Dodatkowego zabezpieczenia zasobów bilansowych w przyszłości należy poszukiwać we wstępnie wyznaczonych

(na podstawie przesłanek geologicznych) obszarach perspektywicznych, których jest 5717, o łącznej powierzchni wynoszącej ponad 600 tys. ha. Są to obszary rekomendowane w dalszej kolejności do przeprowadzenia szczegółowego rozpoznania, prac badawczych i udokumentowania zasobów.

3. Wskazane jest prowadzenie dalszych prac geologicznych dokumentujących obszary prognostyczne, ponieważ pomimo znacznych krajowych zasobów tej kopaliny w niektórych rejonach występuje wyraźny deficyt udokumentowanych złóż. Prace te powinny poprzedzać poszukiwanie, dokumentowanie złóż oraz działalność inwestycyjno-gospodarczą. Należy je przeprowadzać na terenach nieobjętych dotąd takimi badaniami, na podstawie szczegółowego rozpoznania geologicznego obszarów prognostycznych i perspektywicznych zawartych w „Warstwie normatywnej Kopaliny” MGŚP.
4. Dla większości obszarów prognostycznych występowania kruszyw naturalnych piaskowo-żwirowych wyznaczonych w ramach „Warstwy normatywnej Kopaliny – obszary zweryfikowane” MGŚP obecny stopień rozpoznania jest na tyle wysoki, że wykonanie ograniczonej liczby dodatkowych otworów rozpoznawczych mogłoby być podstawą do udokumentowania w ich obrębie złóż.
5. Wobec nieodnawialności surowców naturalnych obszary ich prognostycznego i perspektywicznego występowania należy traktować jako potencjalne obszary do udokumentowania w przyszłości nowych złóż kopaliny. Dlatego konieczna jest ochrona takich miejsc przed niewłaściwym zagospodarowaniem powierzchni terenu, który w przyszłości uniemożliwiłby wykorzystanie kopaliny. Jest to o tyle istotne, że w prawodawstwie polskim nie istnieją zapisy chroniące prognostyczne i perspektywiczne wystąpienia kopaliny. W pierwszej kolejności wskazane byłoby uwzględnianie zasięgów występowania obszarów prognostycznych w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego gmin.
6. Analizy i korekty obowiązujących przepisów wymaga gospodarka złożami podlegającymi kompetencjom starostów w aspekcie ochrony i racjonalnej gospodarki zasobami kopaliny.
7. Wzrastające zużycie kruszyw, szczególnie w krajach o dynamicznie rozwijającej się gospodarce, i dbałość o ochronę środowiska przyrodniczego powodują, że w wielu rozwiniętych gospodarczo krajach produkuje się kruszywa z surowców alternatywnych wobec nieodnawialności naturalnych surowców mineralnych. Obowiązujące w Polsce od 2004 r. normy europejskie wprowadzają poza kruszywami naturalnymi także kruszywa sztuczne i kruszywa z recyklingu. Kruszywa sztuczne są pochodzenia mineralnego i są uzyskiwane w wyniku procesu przemysłowego obejmującego termiczną lub inną modyfikację. Natomiast kruszywa z recyklingu powstają w wyniku przeróbki nieorganicznego materiału zastosowanego uprzednio w budownictwie. Szacuje się, że w Unii Europejskiej produkuje się obecnie ponad 3 mld Mg kruszyw naturalnych rocznie, a średnioroczny wzrost produkcji wynosi ok. 7%. W przypadku kruszyw sztucznych i z recyklingu brak dokładniejszych statystyk, a nawet szacunków co do wielkości tej produkcji (Kozioł i Kawalec, 2008). Należy się spodziewać, że wobec ekonomicznej atrakcyjności kruszyw alternatywnych ich udział oraz znaczenie w bilansach surowcowych będzie w przyszłości zyskiwać na znaczeniu. Obecnie jest ono minimalne w stosunku do wielkości produkcji i zużycia kruszyw naturalnych, zwłaszcza piaskowo-żwirowych.

10.3. WAPIENIE I MARGLE PRZEMYSŁOWE – WAPIENIE I MARGLE DLA PRZEMYSŁU CEMENTOWEGO I WAPIENNICZEGO (*LIMESTONES AND MARLS FOR CEMENT AND LIME INDUSTRY*)

Złoża wapieni i margli przemysłowych są typowymi złożami kopalin wielosurowcowych. Wapienie o dużej zawartości CaCO_3 (powyżej 90%) są kopaliną wykorzystywaną w przemyśle wapienniczym. Odmiany spełniające dodatkowe kryteria (głównie chemiczne) znajdują zastosowanie w przemyśle: chemicznym, hutniczym, papierniczym, cukrowniczym oraz do produkcji mączek wapiennych, w tym sorbentów do odsiarczania spalin. Wapienie stosowane jako surowiec wysoki (niepełny) do produkcji klinkieru cementowego, wymagają dodatku surowców ilastych. Wapienie margliste i margle są kopalinami przydatnymi wyłącznie w przemyśle cementowym – zawartość CaCO_3 w tym przypadku może być niższa, ważne są natomiast zawartości innych składników chemicznych i wzajemny stosunek ich udziałów procentowych. Przy wyznaczaniu obszarów perspektywicznych istotne znaczenie ma nie tylko zawartość CaCO_3 , ale też i innych składników, zwłaszcza w polach sąsiadujących ze złożami eksploatowanymi na potrzeby przemysłu materiałów wiążących. Zwięzłe odmiany wapieni są wykorzystywane jako kamień drogowy i budowlany bądź do produkcji kruszyw łamanych. Mączki i pyły wapienne są stosowane m.in. w drogownictwie (wypełniacz mas bitumicznych), w przemyśle szklarskim, ceramicznym, farbiarskim i lakierniczym, chemii budowlanej, w górnictwie węgla kamiennego (pył przeciwybuchowy) oraz w procesie utylizacji ścieków przemysłowych i odpadów. W praktyce surowiec w poszczególnych złożach jest selektywnie eksploatowany na potrzeby zakładów cementowo-wapienniczych, które wykorzystują najlepsze jakościowo partie złoża do produkcji wyrobów wapienniczych, a gorsze, nieprzydatne do produkcji wapna – do produkcji cementu lub kruszyw łamanych. Powstające w procesie przeróbki drobne, odpadowe frakcje mogą być użytkowane jako nawozy wapniowe.

10.3.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Ta grupa kopalin występuje głównie w złożach osadowych powstałych najczęściej w środowisku morskim w wyniku działalności organizmów żywych (biogeniczne) albo na skutek odparowywania roztworów (chemogeniczne). Złoża zazwyczaj mają formę pokładów i tworzą jednostki litologiczno-surowcowe na dużych obszarach. Mogą występować pojedynczo w formie złoża jedno- lub wielopokładowego w obrębie jednostek surowcowych rozwinętych na dużych obszarach. Omawiana grupa kopalin obejmuje skały, których głównym składnikiem jest kalcyt (CaCO_3) – są to głównie wapienie oraz odmiany skał przejściowych w zależności od ilości domieszek minerałów ilastych (wapienie margliste, margle właściwe, margle ilaste), krzemionki i kwarcu (opoki, gezy, wapienie piaszczyste) oraz dolomitu (wapienie dolomityczne, dolomity wapniste).

10.3.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Wapienie i margle są jedną z pospolitszych grup skał osadowych budujących skorupę ziemską. Zasoby światowe są ogromne, rzędu dziesiątków lub nawet setek bilionów Mg. Występują powszechnie na wszystkich kontynentach ze zmiennością odpowiadającą warunkom regionalnym. Brak jest usystematyzowanej informacji o wielkości światowych zasobów wapieni i margli przemysłowych, a także o ich wystarczalności (Burkowicz, 2015c).

Zasoby bilansowe udokumentowanych złóż wapieni i margli dla przemysłu cementowego (69 złóż) i wapienniczego (120 złóż) w Polsce wyniosły ogółem 18 173,30 mln Mg w 2018 r. i wykazują nieznaczną tendencję spadkową od 2012 r. na poziomie 0,3% rocznie (Brzeziński, 2019b). Udokumentowane złoża o największych zasobach znajdują się na terenie trzech województw: świętokrzyskiego (zasoby 5515,02 mln Mg, 30,3% łącznych zasobów kraju), lubelskiego (zasoby 3275,48 mln Mg, 18,0% łącznych zasobów kraju) oraz łódzkiego (zasoby 2501,90 mln Mg, 13,8% łącznych zasobów kraju). Kolejne miejsca zajmują województwa: opolskie (9,2%), mazowieckie (8,3%), śląskie (7,1%), kujawsko-pomorskie (5,1%), małopolskie (2,5%), podkarpackie (2,4%), dolnośląskie (2,3%) i zachodniopomorskie (0,9%). W latach 1989–2018 roczne wydobycie zawierało się w przedziale 27,83–49,86 mln Mg, przy średniej na poziomie 36,78 mln Mg.

Tab. 10.17. Ocena wystarczalności krajowych zasobów złóż wapieni i margli przemysłowych wg stanu na 31.12.2018 r.

Nazwa wskaźnika	Jednostka	Wartość wskaźnika
Zasoby bilansowe	mln Mg	18 173,30
Zasoby bilansowe złóż zagospodarowanych	mln Mg	6385,48
Zasoby przemysłowe	mln Mg	3230,03
Wydobycie roczne	mln Mg	46,99
Wystarczalność statyczna zasobów bilansowych W_{sb}	lata	387
Wystarczalność statyczna zasobów bilansowych złóż zagospodarowanych W_{sbz}	lata	136
Wystarczalność statyczna zasobów przemysłowych W_{sp}	lata	69
Stopień zagospodarowania złóż W	%	35
Wskaźnik potencjału rezerw zasobowych złóż niezagospodarowanych ξ	%	33

Od 2012 r. wydobywanie surowca systematycznie wzrasta na poziomie ok. 2% rocznie – w 2018 r. poziom wydobycia osiągnął wielkość 46,99 mln Mg. Górnictwo skalne omawianych kopalin koncentruje się na obszarze trzech województw: świętokrzyskiego, którego udział wynosi 46,3% krajowego wydobycia wapieni i margli dla przemysłu cementowego i wapienniczego, opolskiego – udział 20,7% oraz kujawsko-pomorskiego – udział 16,7%. Wydobywanie najbardziej dynamicznie rozwija się na terenie województwa świętokrzyskiego (Brzeziński, 2019b).

Ocenę wystarczalności zasobów złóż wapieni i margli przemysłowych wykonano na podstawie danych pochodzących z *Bilansu zasobów* według stanu na 31.12.2018 r. (Brzeziński, 2019b). Do oceny wystarczalności zasobów posłużono się następującymi wskaźnikami: wystarczalnością statyczną zasobów, stopniem zagospodarowania złóż oraz wskaźnikiem potencjału rezerw zasobowych złóż niezagospodarowanych. Wyniki oceny przedstawia tabela 10.17.

10.3.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Głównymi kryteriami stosowanymi do wyznaczania granic złóż wapieni i margli przemysłowych są stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża (N/Z) oraz grubość nadkładu. Dodatkowo dla wapieni przemysłowych wapienniczego określono minimalną zawartość CaCO_3 . Głębokość dokumentowania powinna być ustalana indywidualnie dla każdego złoża, m.in. ze względu na techniczne możliwości eksploatacji, powierzchnię i kształt złoża, głębokość występowania poziomów wodonośnych i innych parametrów geologiczno-górnictwowych. *Rozporządzenie...* (2015a) określa graniczne wartości parametrów definiujących złożo i jego granice dla: złóż wapieni dla przemysłu wapienniczego oraz wapieni marglistych i margli dla przemysłu cementowego (tab. 10.18).

Tab. 10.18. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża wapieni dla przemysłu wapienniczego i wapieni marglistych i margli dla przemysłu cementowego i ich granice (*Rozporządzenie...*, 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Wapienie dla przemysłu wapienniczego		
Maksymalna głębokość dokumentowania	m	do głębokości możliwej eksploatacji
Maksymalna grubość nadkładu	m	15
Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża	–	0,3
Minimalna średnia ważona zawartość CaCO_3 w profilu złoża	%	90

Tab. 10.18. cd.

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Wapienie marglistych i margli dla przemysłu cementowego		
Maksymalna głębokość dokumentowania	m	do głębokości możliwej eksploatacji
Maksymalna grubość nadkładu	m	15
Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża	–	0,3

10.3.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Autor rozdziału nie widział merytorycznej potrzeby stosowania innych kryteriów niż wskazanych w rozdziale 10.3.3. Podstawowym źródłem informacji do wyznaczania obszarów perspektywicznych i prognostycznych były dane zgromadzone przez PIG-PIB w bazie danych geośrodowiskowych (serwis e-MGŚP) oraz dane o udokumentowanych złożach kopalin w Systemie Gospodarki i Ochrony Bogactw Mineralnych MIDAS. Obszary perspektywiczne i prognostyczne były typowane przez autorów i weryfikatorów wybranych warstw geologiczno-gospodarczych MGŚP na podstawie różnych przesłanek (głównie mapy geologiczne, geologiczno-gospodarcze, regionalne syntezы geologiczno-złożowe, dokumentacje złóż, profile otworów geologicznych, zagospodarowanie terenu i ograniczenia środowiskowo-planistyczne).

10.3.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Wapienie i skały pokrewne występują dość powszechnie w Polsce w utworach od prekambriu do neogenu (Wyrwicka, 1981, 1990; Kozłowski S., 1986c; Nieć, 2002b). Jednak jednostki surowcowe o sprzyjających eksploatacji warunkach geologiczno-górnictwowych oraz spełniające wymagania jakościowe przemysłu wapienniczego pojawiają się na ograniczonym obszarze w obrębie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, w Górach Świętokrzyskich i na ich obrzeżeniu oraz w innych odosobnionych regionach (Nieć i Tchórzewska, 2000b). Najważniejszymi obszarami występowania jednostek surowcowych są: Jura Krakowsko-Częstochowska, obrzeżenie Gór Świętokrzyskich, Kujawy (wapienie, jura górna), Śląsk Opolski i rejon chrzanowski (wapienie i margle, trias środkowy), rejon Krzeszowic (wapienie, karbon dolny), Góry Świętokrzyskie i rejon Siewierza (wapienie, dewon środkowy), Góry Kaczawskie (wapienie, kambry; Nieć i Tchórzewska, 2000b).

Jednostki surowcowe kopalin dla przemysłu cementowego są związane z kompleksami skał wapienno-marglistych oraz wapieni występujących w sąsiedztwie kopalin ilastych. Takie jednostki surowcowe umożliwiają pozyskanie w czasie eksploatacji surowca zupełnego lub o składzie umożliwiającym uzyskanie takiego surowca przez dodanie surowca uzupełniającego. Są to głównie utwory dewonu, triasu, jury i kredy (Nieć i Tchórzewska, 2000b). Wapienie kambryjskie (tzw. wapienie wojcieszowskie) występują w Górach Kaczawskich, gdzie tworzą przeważnie soczewy o znacznej miąższości, zróżnicowanej geometrii i skomplikowanej budowie geologicznej w obrębie łupkowo-fyllitowej serii radzimowickiej i serii zieleńcowej (Nieć i Tchórzewska, 2000b).

Wapienie dewońskie występują w Górach Świętokrzyskich, w regionie krakowskim, we wschodnim obrzeżeniu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego i w Sudetach, a w Górach Świętokrzyskich – głównie w strefie kieleckiej (antyklinorium chęcińsko-klimontowskie, synklina kielecko-łagowska) w utworach dewonu środkowego i górnego (Nieć i Tchórzewska, 2000b). W obrębie skrzydeł struktur fałdowych o znacznych nachyleniach jednostki surowcowe tworzą kompleksy o znacznych miąższościach, przykryte zwykle wapieniami marglistymi i łupkami marglistymi i podścielone wapieniami dolomitycznymi i dolomitami. W rejonie Siewierza wapienie dewońskie tworzą „wyspy” ograniczone węglanowymi osadami triasu. Kompleksy surowcowe mają skomplikowaną budowę geologiczną – są sfałdowane, zuskokowane i skrasowiałe.

Wapienie karbońskie występują w regionie krakowskim, w rejonie Krzeszowic (obrzeżenie antykliny Dębника), gdzie tworzą kompleks surowcowy o znacznej miąższości, zbudowany z wapieni turneju i wizenu (Nieć i Tchórzewska, 2000b).

Wapienie triasowe są związane przede wszystkim z utworami triasu środkowego (Nieć i Tchórzewska, 2000b). Charakteryzują się zwykle prostą budową geologiczną. Warstwy są ułożone prawie poziomo z niewielkim zaangażowaniem tektoniki uskokowej. Na Śląsku występują na obszarze od Krapkowic po Olkusz. Są to kompleksy wykorzystywane w przemyśle wapienniczym (warstwy górażdzańskie i karchowickie, niekiedy diploporowe – wapienie, wapienie dolomityczne) oraz cementowym (warstwy gogolińskie i terebratulowe – wapienie margliste, margle). Jako surowiec uzupełniający dla przemysłu cementowego mogą być wykorzystane partie skrasowiałe lub kajprowe, ilaste osady nadkładu. W rejonie Chrzanowa i Olkusza warstwy górażdzańskie, terebratulowe i karchowickie, nazywane warstwami olkuskimi, są częściowo wtórnie zdolomitizowane, przeobrażone w dolomity kruszczone.

Wapienie jurajskie występują na znacznym obszarze środkowej i południowej Polski: ciągną się pasem od Wielunia poprzez Częstochowę aż do Krakowa, występują na obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich i w strukturach antyklinalnych w rejonie Radomska, Kutna, Zalesia i Czarnogłów w granicach wału kujawsko-pomorskiego (Nieć i Tchórzewska, 2000b). Kompleks wapienny jest bardzo zróżnicowany pod względem litologii, cech jakościowych surowca i w wielu przypadkach wyznaczone obszary są obszarami wielosurowcowymi. Region krakowsko-częstochowski to margle i wapienie margliste oksfordu dolnego, wapienie skaliste, ławicowe, płytowe oksfordu środkowego i górnego oraz wapienie margliste i margle oksfordu górnego i kimerydu. Podścielają je margle i ility jury brunatnej (kelowej, baton), które mogą być surowcem uzupełniającym dla przemysłu cementowego. Na obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich jurajski kompleks surowcowy występuje między dolinami Kamiennej a Pilicy (wapienie płytowe i skaliste – oksford dolny, wapienie – oksford górny, wapienie margliste, margle i ility margliste – kimeryd) oraz między Buskiem a Tomaszowem Mazowieckim (wapienie ulawicowe – oksford środkowy, wapienie skaliste, płytowe, margliste, ławicowe – oksford górny, wapienie kredowate – kimeryd dolny, wapienie margliste, oolitowe, muszłowce, margle, ility margliste – kimeryd dolny i górny). W rejonie Kutna występują oksfordzkie i kimerydzkie wapienie, wapienie margliste, margle i ilowce – kompleksy surowcowe zalegają pod grubym nadkładem czwartorzędowym i są silnie zawadnione. W rejonie Barcina i Piechcina w strukturze Zalesia wapienie oksfordzkie występują bezpośrednio na powierzchni lub pod niewielkim nadkładem czwartorzędowym i wapienno-marglistym kompleksem kelowej. Na Pomorzu Szczecińskim wapienie margliste, margle, ilowce, mułowce i wapienie piaszczyste stwierdzono w rejonie miejscowości Czarnogłowy (Nieć i Tchórzewska, 2000b).

Wapienie cieszyńskie (pogranicze jury i kredy) występują w Karpatach fliszowych. Pojawiają się w izolowanych obszarach zachodniej części jednostki śląskiej i są silnie zaangażowane tektonicznie (Nieć i Tchórzewska, 2000b). Wykształcone są jako wapienie, wapienie margliste, wapienie piaszczyste, margle z przewarstwieniami łupków marglistych. Wapienie górnokredowe są obecne na Śląsku Opolskim i Lubelszczyźnie w kompleksach surowcowych tworzonych przez margle, gezy, opoki, kredę piszącą oraz podrzędnie wapienie i wapienie margliste (Nieć i Tchórzewska, 2000b). W rejonie Opola kompleks surowcowy tworzą warstwy prószkowskie (margle ilaste i wapienie margliste, turon) przykryte przez ilasto-piaszczyste warstwy niemodlińskie (koniak). Na Lubelszczyźnie występują kompleksy surowcowe o zmiennej litologii od ceno-manu do paleocenu. Zasadnicze znaczenie ma kompleks marglisty zbudowany z margli przewarstwionych kredą piszącą oraz opok przewarstwionych marglami i kredą piszącą.

Neogeńskie kompleksy wapienne występują wzdłuż północnej granicy zapadliska przedkarpackiego oraz na południowym obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich. Są to badeńskie wapienie litotamniowe i mszywiolowe oraz sarmackie wapienie serpulowe, wapienie piaszczyste i margliste (Nieć i Tchórzewska, 2000b).

10.3.6. Stan rozpoznania geologicznego

Stan rozpoznania geologicznego perspektywicznych zasobów wapieni i margli przemysłowych jest dobry, a w niektórych przypadkach na tyle duży, że po wykonaniu niewielkiej liczby dodatkowych otworów rozpoznawczych pozwoliłby na udokumentowanie tam złóż w kategorii C₂ (np. wapienie jurajskie na wschód od Częstochowy, wapienie i margle triasowe występujące pomiędzy Opolem a Strzelcami Opolskimi). Zadanie to powinno jednak spoczywać na inwestorach zainteresowanych przyszłym zagospodarowaniem tych obszarów.

10.3.7. Ocena zasobów i ich zmian

Oszacowane zasoby grupują się głównie w pięciu regionach złożowych, gdzie koncentruje się także obecnie produkcja cementu i wapna. Są to regiony: opolski, śląski, krakowsko-częstochowski, tomaszowski

i świętokrzyski (tab. 10.19 i 10.20). W regionie opolskim duże zasoby perspektywiczne wyznaczono w rejonie Górażdże–Strzelce Opolskie–Wielowieś w utworach węglanowych środkowego triasu w łącznej ilości 57 177,34 mln Mg. W regionie śląskim wyznaczono wyłącznie zasoby perspektywiczne głównie w utworach jury górnej (ale również w utworach kredy górnej i triasu środkowego) o łącznej ilości 37 373,18 mln Mg. W regionie krakowsko-częstochowskim wydzielono znaczne zasoby zarówno perspektywiczne (7635,61 mln Mg), jak i prognostyczne (5897,46 mln Mg), głównie w węglanowych utworach górnokarpackich i górnokredowych. W regionie tomaszowskim wyznaczono jedynie zasoby perspektywiczne: dla dużego obszaru Sługocice–Tomaszówkę–Szadkowice–Kunice w ilości 8393,63 mln Mg w utworach jury dolnej oraz dla obszaru o mniejszym znaczeniu w okolicach Woli Głupickiej (14,95 mln Mg). W regionie świętokrzyskim wydzielono zasoby prognostyczne w ilości 5046,30 mln Mg w większości w utworach górnokarpackich.

W porównaniu do poprzedniego wydania *Bilansu* (Galos, 2011e) wielkość zasobów perspektywicznych zwiększyła się o 48,58 mld Mg (wzrost o 68%), natomiast wielkość zasobów prognostycznych zmniejszyła się o 76%, czyli o 20,89 mld Mg. Zmiany te (wzrosty i spadki) są spowodowane znaczącym zwiększeniem i aktualizacją zasobów informacji geologicznej zawartej w bazie danych geośrodowiskowych.

W wielu wyznaczonych obszarach perspektywicznych i prognostycznych występują obok siebie surowce spełniające wymagania jakościowe kwalifikujące je jako surowiec dla przemysłu wapienniczego, cementowego lub np. do produkcji kruszywa łamanego. Obszary perspektywiczne i prognostyczne wyznaczono głównie poza obszarami zajętymi przez budownictwo i obiekty infrastrukturalne, a także poza obszarami chronionymi, leśnymi i rolnymi wysokich klas bonitacyjnych. Nie ma więc wobec nich zasadniczych ograniczeń wykluczających w przyszłości ich rozpoznanie i zagospodarowanie. Wielkość wyznaczonych obszarów jest bardzo zróżnicowana – od niewielkich o powierzchni poniżej jednego hektara (na potrzeby lokalne), aż do bardzo dużych o powierzchni kilkuset hektarów (na potrzeby dużych zakładów cementowo-wapienniczych).

W tabelach 10.19 i 10.20 zestawiono zasoby obszarów perspektywicznych i prognostycznych występowania wapieni i margli przemysłowych.

Znaczenie gospodarcze tej grupy kopalin w Polsce systematycznie wzrasta, głównie za sprawą cementu – najważniejszego materiału wiążącego oraz podstawowego materiału we współczesnym budownictwie (Informator Stowarzyszenia Producentów Cementu, 2017). Sprzedaż cementu w Polsce wzrasta rocznie o ok. 2–3%, co bezpośrednio wynika z rosnących inwestycji w budownictwie mieszkaniowym i infrastrukturalnym. Szczególnie dotyczy to sektora budowy dróg, w którym w perspektywie kilku lat jest planowane wybudowanie kilkuset kilometrów dróg ekspresowych i autostrad w technologii nawierzchni z betonu cementowego. Podobnie prężnie rozwija się segment betonu prefabrykowanego dla nowoczesnego i taniego budownictwa przemysłowego oraz wielorodzinnego. Dzięki rozwojowi technicznemu przemysłu cementowego zakłady produkcyjne znacząco zmniejszyły zużycie energii, emisję pyłów, a nawet pomagają w rozwiązywaniu problemów środowiskowych, m.in. związanych z zagospodarowaniem odpadów komunalnych (wykorzystanie substytutów wapieni i margli, np.: popiołów lotnych z elektrowni, żużli wielkopieczowych, odpadów żelazonośnych, górniczych i przerobczych, odpadów wapiennych, zużytych piasków odlewniczych,

Tab. 10.19. Zestawienie zasobów perspektywicznych wapieni i margli przemysłowych w Polsce

Województwo	Kopalina	Wiek formacji	Zasoby [mln Mg]
Dolnośląskie	wapień, margiel	kambr, trias	15,78
Lubelskie	opoka, wapień, margiel	kreda, neogen	1393,51
Łódzkie	wapień, margiel	jura, kreda	9002,30
Małopolskie		trias, jura, kreda	35 983,98
Mazowieckie	opoka, kreda pizsąca, wapień, margiel	jura, kreda	1874,84
Opolskie	wapień, margiel	trias, kreda	59 911,21
Śląskie		trias, jura, kreda	9024,81
Świętokrzyskie	opoka, wapień, margiel	dewon, karbon, jura, neogen	3174,59
Razem zasoby perspektywiczne			120 381,03

Tab. 10.20. Zestawienie zasobów prognostycznych wapieni i margli przemysłowych w Polsce

Województwo	Kopalina	Wiek formacji	Zasoby [mln Mg]
Lubelskie	opoka, wapień, margiel	jura, kreda	4393,56
Łódzkie	wapień, margiel	jura	462,52
Opolskie	kreda pizżąca, wapień	jura, kreda	1243,92
Podlaskie	wapień, margiel	kreda	3,65
Śląskie	opoka, wapień, margiel	jura, kreda	256,33
Świętokrzyskie	wapień, margiel		69,24
Razem zasoby prognostyczne			6429,22

łupków przywęglowych, osadów z oczyszczalni, sztucznych gipsów i innych; wykorzystanie odpadów komunalnych jako paliwa alternatywnego; Piestrzyński P., 2017). Wapno budowlane należy do najstarszych znanych i stosowanych materiałów wiążących, a do czasu odkrycia cementu było podstawowym spoiwem budowlanym. Wapno budowlane, pomimo że zostało wyparte przez cement, nadal jest doceniane jako materiał budowlany zarówno w technikach tradycyjnych, jak i w nowoczesnych rozwiązaniach współczesnego budownictwa (Osiecka, 2006). Kamień wapienny i wapno palone powszechnie są stosowane w hutnictwie żelaza i metali nieżelaznych. Wapno ma szerokie zastosowanie w procesach uzdatniania wody pitnej, oczyszczaniu ścieków, oczyszczaniu gazów odlotowych (spalin), unieszkodliwianiu substancji organicznych oraz w przemyśle spożywczym. Przemysł wapienniczy oferuje również nawozy wapieniowe i wapieniowo-magnezowe w formie tlenkowej lub węglanowej (Hołubowicz-Kliza, 2006).

10.3.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Wapienie i margle przemysłowe to typowe kopaliny wielosurowcowe wykorzystywane przez przemysł wapienniczy i cementowy oraz do produkcji kruszyw łamanych. Polska ma duże zasoby tego surowca – stan zasobów bilansowych udokumentowanych złóż wapieni i margli dla przemysłu cementowego i wapienniczego w 2018 r. wyniósł ogółem 17 173,30 mln Mg. Stanowi to zabezpieczenie zapotrzebowania przemysłu na ten surowiec na dziesiątki lat. Łączne zasoby wyznaczonych obszarów perspektywicznych wynoszą 120 381,03 mln Mg, a obszarów prognostycznych – 6429,22 mln Mg. Zasoby te koncentrują się głównie w pięciu regionach złożowych: opolskim, śląskim, krakowsko-częstochowskim, tomaszowskim i świętokrzyskim – pokrywa się to z obecnymi ośrodkami produkcji cementu i wapna oraz przemysłowego kamienia wapiennego. Ewentualne poszukiwanie nowych złóż jest celowe w szeroko pojętym sąsiedztwie wszystkich istniejących zakładów cementowo-wapienniczych, których baza zasobowa stopniowo ulega zmniejszaniu. Prace poszukiwawcze lub rozpoznawcze powinny się koncentrować na obszarach występowania kopaliny o najwyższej (optymalnej) jakości. Nie rekomenduje się zatem dalszych prac poszukiwawczo-rozpoznawczych w celu wyznaczania nowych obszarów prognostycznych i perspektywicznych tej grupy kopaliny. Wyznaczone już obszary powinny zostać uwzględnione w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego, jako tereny przeznaczone pod przyszłą eksploatację surowców mineralnych. Szczególną ochroną powinny zostać objęte obszary bezpośrednio przylegające do udokumentowanych już złóż bądź wyznaczone w pobliżu funkcjonujących zakładów cementowo-wapienniczych, co stanowiłoby odpowiednie zabezpieczenie ich bazy surowcowej.

Eugeniusz Sztromwasser, Dorota Gielżecka-Mądry, Paweł Kuć

10.4. GIPSY I ANHYDRYTY (*GYPsum AND ANHYDRITE*)

Gipsy to skały osadowe pochodzenia chemicznego, zbudowane głównie z minerału gipsu – uwodnionego siarczanu wapnia ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Z gipsami mogą współwystępować: anhydryt, sól kamienna, boracyt, dolomit, kalcyt, kwarc i aragonit. Gipsy występują samodzielnie lub towarzyszą soli kamiennej. Zastosowanie praktyczne gipsu jest różnorodne: w przemyśle materiałów wiążących i budowlanych, w przemyśle papierniczym, chemicznym, nawozowym, cementowym – jako dodatek regulujący czas wiązania cementu portlandzkiego, w przemyśle artystycznym – do wyrobu kamieni sztucznych i dekoracji architektonicznych, w medycynie oraz do fabrykacji szkła i farb.

Anhydryty to skały osadowe pochodzenia chemicznego zbudowane z minerału anhydrytu – bezwodnego siarczanu wapnia (CaSO_4). Akcesorycznie współwystępują z nimi: gips, halit, dolomit i boracyt. Anhydryty są wykorzystywane w budownictwie, do produkcji cementu, kwasu siarkowego, jako nawóz sztuczny oraz jako wypełniacz przy produkcji farb i papieru, zamiast gipsu.

Gipsy i anhydryty są ewaporatami monomineralnymi. Powstały w wyniku odparowania wód morskich lub słonych zbiorników śródlądowych w warunkach klimatu suchego i gorącego. W naturalnych warunkach morskich gips stanowi pierwotną fazę siarczanu wapnia ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Anhydryt (CaSO_4) natomiast jest produktem odwodnienia osadu gipsowego, które może nastąpić w czasie diagenety lub później w podwyższonej temperaturze i przy zwiększonym ciśnieniu, po pogrzebaniu osadów. Tak powstały anhydryt może w dalszym etapie petrogenetycznym ulec uwodnieniu, dając wtórny gips (proces gipsyfikacji). Procesy takie w przyrodzie występują często, a produkty wzajemnych przeobrażeń gipsu i anhydrytu są powszechnie znane jako skały anhydrytowo-gipsowe. Gips może być również pochodzenia hydrotermalnego.

Gipsy i anhydryty należą do surowców skalnych zwięzłych (Surowce mineralne Polski – <http://surowce.pgi.gov.pl>).

10.4.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Na obszarze Polski gipsy i anhydryty tworzyły się, jako utwory chemogeniczne, w permie, triasie, jurze i neogenie, towarzysząc często utworom solnym. Znaczenie gospodarcze mają gipsy miocenyjskie związane ze strefą nasunięcia karpacciego i z północną brzezną strefą zapadliska przedkarpacciego oraz gipsy i anhydryty cechsztyńskie występujące na Dolnym Śląsku. Zdecydowanie mniejsze znaczenie mają gipsy cechsztyńskie tworzące czapy nad wysadowymi złożami soli kamiennej znane z Nizy Polskiego.

10.4.1.1. Złoża cechsztyńskie anhydrytu i gipsu

Gipsy i anhydryty cechsztyńskie na Dolnym Śląsku występują w synklinorium północnosudeckim, peryklinie Żar i na monoklinie przedsudeckiej. Ich wykształcenie i miąższość są zróżnicowane w zależności od odległości linii brzegowej morza cechsztyńskiego. W osadach cechsztyńskich wyróżnia się do czterech cykli sedimentacyjnych zwanych cyklotemami. Jednym z zasadniczych członów cyklotemu są anhydryty występujące w formie pokładowej. Gipsy i anhydryty na powierzchni terenu odsłaniają się jedynie w rejonie Lwówka Śląskiego w synklinorium północnosudeckim, a w pobliżu powierzchni są znane od Nowogrodźca po Nysę Łużycką. Na monoklinie przedsudeckiej i w peryklinie Żar występują na głębokości od ponad 300 do 2000 m. Skały gipsowo-anhydrytowe w synklinorium północnosudeckim były znane i eksploatowane już na początku XIX w. w okolicach Niwnic. Obecnie na Dolnym Śląsku są udokumentowane cztery złoża, wszystkie w synklinorium północnosudeckim (tab. 10.21). Dwa z nich są eksploatowane w kopalniach Nowy Łąd i Nowy Łąd – pole Radłówka w Niwnicach. Wydobyte ze złoża Lubichów zakończono w 2015 r., a złożo Nawojów Śląski jest rozpoznane wstępnie.

Złożo gipsów Wapno znajduje w Wielkopolsce. Jest związane z wysadem solnym, przykrytym czapą gipsowo-ilastą o grubości 20–160 m. Wysad ma nieregularny zarys o długości osi ok. 1 km i szerokości do 0,5 km. Gips eksploatowano tu od XII w. metodą odkrywkową, a od XX w. – podziemną, razem z solą kamienną. Po katastrofie w 1977 r. kopalnię zamknięto (Maciejewska, 1994).

**Tab. 10.21. Zasoby złóż gipsu i anhydrytu oraz ich wydobycie wg stanu z 31.12.2018 r.
(Czapowski, 2019c)**

Nazwa złoża	Stan zagospodarowania złoża	Zasoby [tys. Mg]			Wydobycie [tys. Mg]
		geologiczne bilansowe	geologiczne pozabilansowe	przemysłowe	
Złóża cechsztyńskie – region dolnośląski i Niż Polski					
Lubichów	zaniechane	40 103	815	–	0
Nawojów Śląski	rozpoznane wstępnie	2119	–	–	0
Nowy Łąd	eksploatowane	17 401	–	9214	79
Nowy Łąd - pole Radłówka	eksploatowane	10 554	–	10 330	72
Wapno	rozpoznane szczegółowo	7683	1921	–	–
Razem złoża cechsztyńskie		77 860	2736	19 544	150
Złóża miocieńskie – region nadnidziański					
Borków-Chwałowice	eksploatowane	33 080	–	29 873	490
Gartatowice	zaniechane	1303	–	–	–
Leszcze	eksploatowane	22 294	–	18 270	402
Łatanice-Skorocice	rozpoznane szczegółowo	14 500	–	–	–
Siesławice	zaniechane	2100	–	–	–
Skorocice-Chotelek	rozpoznane szczegółowo	22 337	5076	–	–
Uników-Galów-Szaniec	rozpoznane wstępnie	31 140	1226	–	–
Winiary	rozpoznane szczegółowo	46 496	6161	–	–
Złóża miocieńskie – region podkarpacki					
Łopuszka Wielka	zaniechane	168	53	–	–
Siedliska	rozpoznane szczegółowo	3952	4743	–	–
Razem złoża miocieńskie		177 370	17 259	48 142	891
Ogółem 15 złóż		255 230	19 995	67 686	1042

10.4.1.2. Złóża miocieńskie gipsu i anhydrytu

Gipsy i anhydryty neogeńskie (miocieńskie) występujące w zapadlisku przedkarpackim tworzą jeden kompleks skał siarczanowych i wraz z solami kamiennymi i stanowią serię osadów chemicznych. Osady te powstały w basenie ewaporacyjnym utworzonym po odcięciu płytkiego zbiornika morskiego od oceanu. W podziale litostratygraficznym miocenu utwory siarczanowe reprezentują regionalny poziom korelacyjny, który tradycyjnie jest zaliczany do badenu środkowego i określany jako tzw. formacja z Krzyżanowic (Alexandrowicz i in., 1982).

Gipsy nadnidziańskie wykazują duże zróżnicowanie litologiczne, co znajduje odzwierciedlenie w bogactwie struktur skał oraz ich zmiennym składzie chemicznym. W całości zachowały swą pierwotną budowę, a ich wykształcenie facjalne umożliwia szczegółową analizę środowiska depozycji (Bąbel, 1999). Na całym Podidziu, tak jak w całym zapadlisku przedkarpackim, od Ukrainy po Czechy, występuje stała sekwencja warstw litostratygraficznych, w których obrębie wyróżnia się dwa podstawowe kompleksy gipsów: kompleks dolny, zbudowany głównie z gipsów autochtonicznych (selenitowych) i kompleks górny,

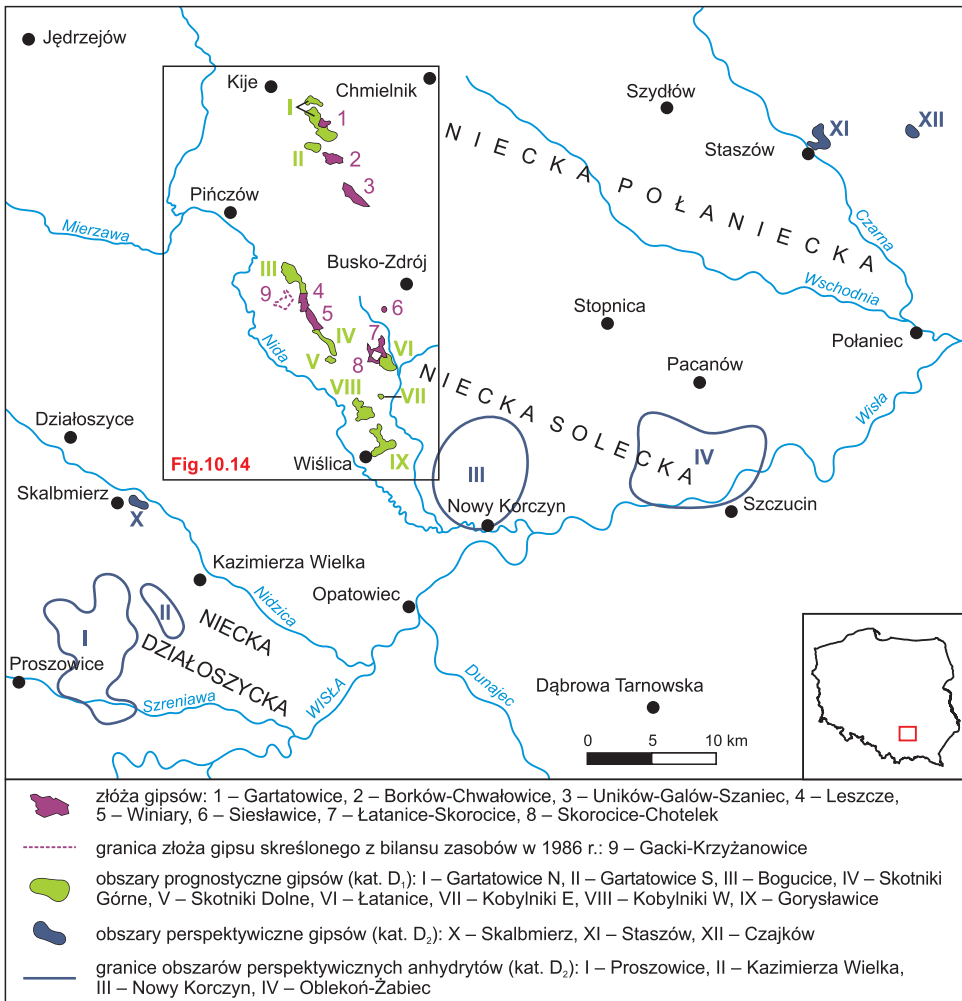


Fig. 10.13. Złóża gipsów, obszary prognostyczne i perspektywiczne gipsów i anhydrytów mioceńskich w regionie nadwładziańskim

wykształcony głównie jako gipsy allochtoniczne (klastyczne; Bąbel, 2005; Peryt, 2006). Najlepiej rozpoznano i poddano szczegółowym badaniom osady siarczanowe w niecce soleckiej i połanieckiej (fig. 10.13 i 10.14). Na obszarze nadwładziańskim występują liczne wychodnie tych skał, a udokumentowane złoża gipsu (tab. 10.21) są związane z płytko zalegającymi warstwami (fig. 10.14). Gipsy, występujące na Poniidziu, zwyczajowo nazywane są nadwładziańskimi (np. Kwiatkowski, 1972; Wala, 1979). Poniidzie, położone w strefie brzeżnej zapadliska, jest główną bazą surowcową przemysłu gipsowego w Polsce, a udokumentowane tu zasoby należą do największych na świecie.

Przypowierzchniowe wystąpienia cienkich warstewek gipsów są spotykane również w Krakowie i jego okolicach, gdzie odsłaniają się niejednokrotnie podczas prowadzonych prac ziemnobudowlanych. Występujące na terenie Krakowa poziomy gipsowe eksploatowano od wczesnego średniowiecza m.in. w Łagiewnikach, Płaszowie i Skotnikach. Złoża te zostały w dużej mierze wyeksploatowane, a ich pozostałości znajdują się pod zabudowaniami.

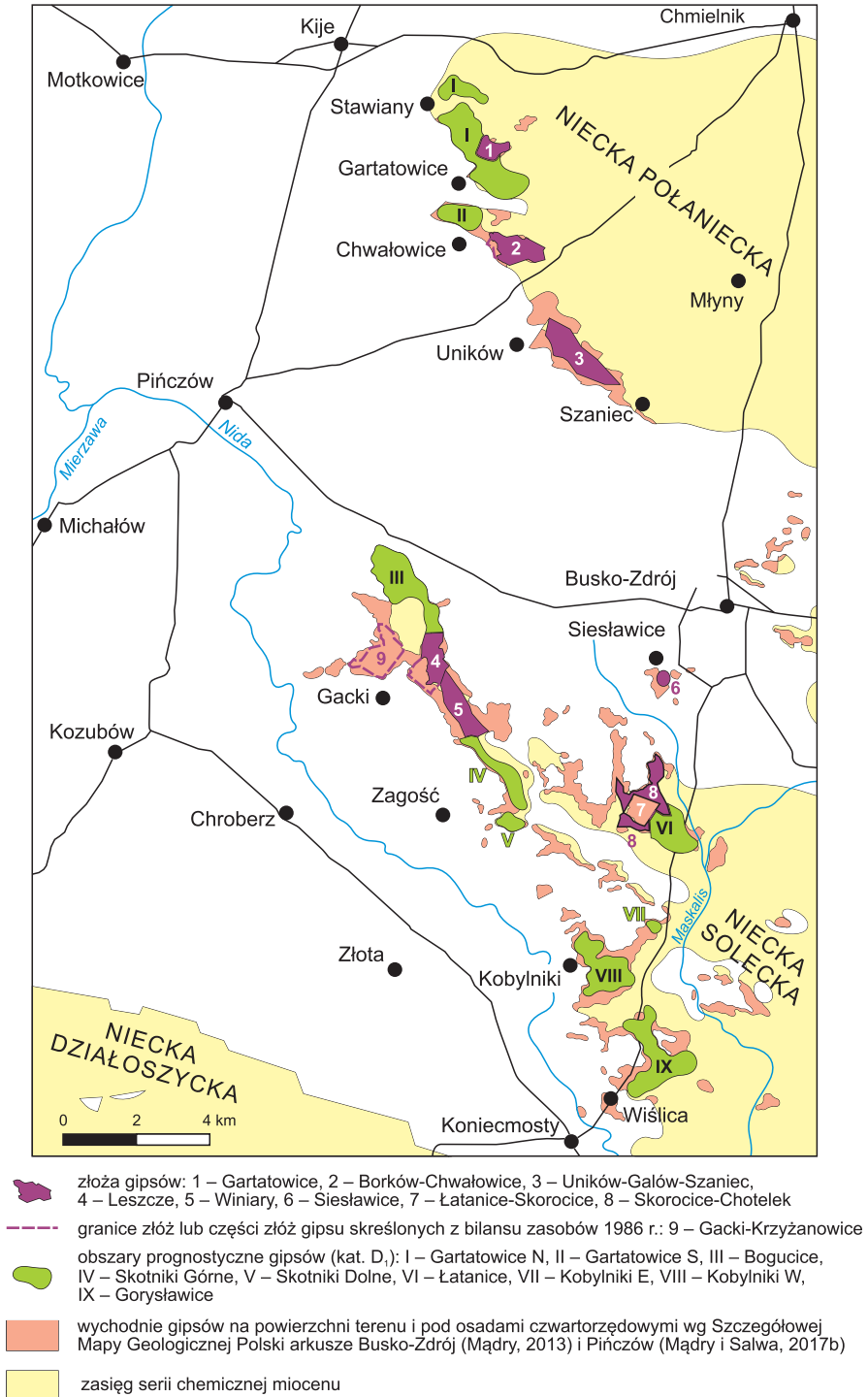


Fig. 10.14. Złoża i obszary prognostyczne gipsów mioceńskich w regionie nadnidziańskim

10.4.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Gipsy i anhydryty są skałami występującymi powszechnie w skorupie ziemskiej. Charakteryzują się jednak nierównomiernym rozprzestrzenieniem, co jest związane z budową geologiczną. Ich zasoby są szacowane na setki miliardów Mg. Znaczne ilości gipsu syntetycznego (tzw. REA) pozyskuje się ze źródeł wtórnych: w wyniku odsiarczania spalin w energetyce węglowej oraz z odpadów, powstałych po przeróbce fosforytów w przemyśle nawozów sztucznych.

Światowa produkcja gipsów i anhydrytów, łącznie z gipsem syntetycznym, w 2013 r. wynosiła 282 mln Mg, a od 1990 r. wzrosła o 180%. Wśród producentów gipsu na świecie jest ponad 90 krajów. Największymi z nich są Chiny (129 mln Mg) i USA (29,3 mln Mg), a ważnymi są również: Iran (14 mln Mg), Tajlandia (13,2 mln Mg), Irak (10,4 mln Mg), Niemcy (8,8 mln Mg), Meksyk (7,9 mln Mg), Hiszpania (7,1 mln Mg), Japonia (5,5 mln Mg), Rosja (5,1 mln Mg), Włochy (4,1 mln Mg) i Polska (3,8 mln Mg). Wielkość produkcji anhydrytu w większości krajów nie jest podawana lub jest wliczana do produkcji gipsu (Smakowski i in., 2015; Szlugaj i Galos, 2015).

Tab. 10.22. Stopień rozpoznania zasobów, stan zagospodarowania, wielkość wydobycia gipsu i anhydrytu w Polsce wg stanu na 31.12.2018 r. (Czapowski, 2019c)

Stan zagospodarowania	Liczba złóż	Zasoby geologiczne [mln Mg]		Zasoby przemysłowe [mln Mg]	Wydobycie [mln Mg]
		bilansowe	pozabilansowe		
Złoża zagospodarowane	4	83,33	–	67,69	1,042
Złoża rozpoznane szczegółowo	5	94,97	17,90	–	–
Złoża rozpoznane wstępnie	2	33,26	1,23	–	–
Złoża zaniechane	4	43,67	0,87	–	–
Razem	15	255,23	20,00	67,69	1,042

Tab. 10.23. Ocena wystarczalności krajowych zasobów złóż gipsów i anhydrytów wg stanu na 31.12.2018 r.

Nazwa wskaźnika	Jednostka	Wartość wskaźnika
Zasoby bilansowe	mln Mg	255,23
Zasoby bilansowe złóż zagospodarowanych	mln Mg	83,33
Zasoby bilansowe złóż niezagospodarowanych	mln Mg	171,90
Zasoby przemysłowe	mln Mg	67,69
Wydobycie roczne	mln Mg	1,042
Wystarczalność statyczna zasobów bilansowych W_{zb}	lata	245
Wystarczalność statyczna zasobów bilansowych złóż zagospodarowanych W_{sbz}	lata	80
Wystarczalność statyczna zasobów przemysłowych W_{sp}	lata	65
Wskaźnik wystarczalności statycznej zasobów W_s (wystarczalność zasobów operatywnych)	lata	48,7
Wskaźnik stopnia zagospodarowania złóż W	%	32,6
Wskaźnik potencjału rezerw złóż niezagospodarowanych ξ	%	54,7

Światowy handel gipsem ogranicza się do wymiany lokalnej, wewnątrzregionalnej z powodu powszechności jego występowania i produkcji. Zasoby światowe gipsu oraz jego produkcja zaspokajają potrzeby poszczególnych krajów.

Bilansowe zasoby geologiczne w Polsce, udokumentowane w 15 złożach, według stanu na koniec 2018 r. wynoszą 255,23 mln Mg, a zasoby bilansowe czterech czynnych złóż – 83,33 mln Mg (tab. 10.21 i 10.22). Wielkość zasobów geologicznych w porównaniu do 2017 r. uległa zmniejszeniu, podobnie jak zasobów przemysłowych. Bez zmian pozostały zasoby pozabilansowe (Czapowski, 2019c).

Według oceny wystarczalności krajowych zasobów gipsów i anhydrytów wystarczalność statyczna zasobów bilansowych (W_{sb}) wynosi 245 lat, a wystarczalność statyczna zasobów bilansowych złóż zagospodarowanych (W_{sbz}) – 80 lat (tab. 10.23). Wskaźnik wystarczalności statycznej zasobów operatywnych (W_s) wynosi 48,7 lat. Wskaźnik stopnia zagospodarowania złóż W wynosi 32,6% i jest mały (Galos i in., 2012a).

Wielkość eksportu gipsu i gipsowych materiałów budowlanych w 2018 r. wyniosła 0,5 mln Mg, a importu – 0,17 mln Mg. Zasoby krajowe i wydobywanie w pełni zaspokajają obecne potrzeby gospodarki.

10.4.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Graniczne wartości parametrów definiujących złoża gipsu i anhydrytu oraz jego granice określono w przepisach wykonawczych do prawa geologicznego i górniczego (*Ustawa...*, 2011). Aktualnie obowiązują wymagania zawarte w *Rozporządzeniu...* (2015a). Głównymi kryteriami są: maksymalna głębokość spągu i minimalna miąższość złoża, minimalna zawartość gipsu/ anhydrytu w profilu złoża oraz dodatkowo dla złóż gipsu – maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża (tab. 10.24).

10.4.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

W latach 2013–2015 w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym (PIG-PIB) zrealizowano projekt badawczy dla obszaru Polski (Mikulski S.Z. i in., 2015b), w którego wyniku wyznaczono prognostyczne i perspektywiczne obszary występowania kopaliny, w tym także gipsów i anhydrytów (Sztromwasser i in., 2015a, b). Podstawę do określenia obszarów występowania zasobów perspektywicznych stanowiły głównie materiały archiwalne – wyniki wykonanych prac poszukiwawczych, opracowania i dokumentacje geologiczne, profile płytkich i głębokich otworów wiertniczych z bazy CBDG Państwo-

Tab. 10.24. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża gipsu i anhydrytu i ich granice (*Rozporządzenie...*, 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Gips		
Maksymalna głębokość spągu złoża	m	50
Minimalna miąższość złoża	m	2
Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża	–	0,5
Minimalna zawartość gipsu w profilu złoża	%	80
Anhydryt		
Maksymalna głębokość spągu złoża	m	400
Minimalna miąższość złoża	m	5
Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża	–	–
Minimalna zawartość anhydrytu w profilu złoża	%	60

wego Instytutu Geologicznego Państwowego Instytutu Badawczego (Centralna Baza Danych Geologicznych – <http://baza.pgi.gov.pl>), w których znalazły się dane dotyczące tych kopalin, a także materiały publikowane. Wyniki tych prac zostały w całości uwzględnione w niniejszym *Bilansie*.

Kluczowymi kryteriami, przyjętymi przy wyznaczaniu zasięgu występowania obszarów zasobów przewidywanych anhydrytu i gipsu (wieku cechsztyńskiego i mioceneskiego) są maksymalna głębokość wystąpienia złożowego i jego minimalna miąższość. Wielkość zasobów określono jako iloczyn powierzchni obszaru, średniej miąższości kopaliny i gęstości pozornej skały. Gęstość pozorną, przyjętą w szacowaniu zasobów anhydrytów, to 2,9 Mg/m³ dla anhydrytów z południowo-zachodniej Polski i 2,7 Mg/m³ dla anhydrytów z zapadliska przedkarpackiego oraz odpowiednio dla gipsu: 2,2–2,3 Mg/m³ i 2,1–2,2 Mg/m³.

Zasoby przewidywane wyznaczonych perspektywicznych złóż gipsu i anhydrytu podzielono na dwie grupy z uwzględnieniem kryterium zaproponowanego przez Niecia (2012), czyli w zależności od tego, czy dysponowano wynikami badań jakości kopaliny czy brakowało takich badań.

Zasoby przewidywane podzielono zatem na:

- zasoby prognostyczne (odpowiadające kategorii rozpoznania D₁) – dane są niewystarczające do ich pełnego udokumentowania; jakość kopaliny określono na podstawie opróbowania i badań składu chemicznego,
- zasoby perspektywiczne (odpowiadające kategorii rozpoznania D₂) – na podstawie przesłanek geologicznych; jakość kopaliny jest znana na podstawie analogii i niekiedy odosobnionych próbek.

10.4.4.1. Przyjęte kryteria wyznaczania złóż cechsztyńskich anhydrytu i gipsu

Zasoby prognostyczne (D₁) przyjęto dla obszarów, w których anhydryt stanowi kopalinę towarzyszącą złożom rud miedzi i określono jego zasoby perspektywiczne (szacunkowe) w dokumentacji geologicznej złoża kopaliny głównej (rud miedzi) lub w innym opracowaniu surowcowym. Wielkość tych zasobów przyjęto jako oszacowane zasoby prognostyczne D₁.

Na podstawie dokumentacji geologicznej złoża rud miedzi Bytom Odrzański (Kozula i Golczak, 1988), w której określono szacunkowe zasoby anhydrytu, przyjęto maksymalną głębokość występowania powierzchni spągu anhydrytu dla obszaru południowo-zachodniej Polski – jest to ponad 1726,0 m na monoklinie przedsudeckiej. Głębokość zalegania spągu pokładu anhydrytu na głębokości większej niż 1000 m dotyczy również innych obszarów złóż rud miedzi LGOM-u: Gaworzyce, Sieroszowice, Rudna, Głogów oraz Retków-Ścinawa. Natomiast do głębokości 1000 m występują anhydryty w złożach rud miedzi: Polkowice, Lubin-Małomice i Radwanice.

W synklinorium północnosudeckim spąg pokładu anhydrytu, towarzyszącego złożu rud miedzi Wartowice, a stanowiącego część obszaru perspektywicznego dla gipsu i anhydrytu Wartowice-Lubichów, sięga głębokości od 618,8 do 1462 m.

Minimalną miąższość anhydrytów dla wystąpień zasobów prognostycznych w obszarach złóż rud miedzi w pojedynczej warstwie przyjęto zgodnie z opracowaniami geologicznymi na 10 m, z wyjątkiem obszarów Wartowice-Lubichów, gdzie przyjęto 9 m oraz Retków-Ścinawa – 5 m.

Zasoby perspektywiczne anhydrytów (D₂) przyjęto dla obszarów wyznaczonych na podstawie danych z otworów wiertniczych strukturalnych i poszukiwawczych bazy CBDG, niezwiązanych z dokumentowaniem złóż siarczanów, m.in. z poszukiwań złóż rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej, na peryklinie Żar i w synklinorium północnosudeckim. Na podstawie profili otworów wydzielono anhydryty z rozdziałem stratygraficznym poziomów cechsztynu od PZ1 do PZ4 oraz określono głębokość zalegania i miąższość pokładów. Najbardziej miąższe warstwy anhydrytu są związane z poziomami PZ3, PZ2 i PZ1. Badań jakości anhydrytów nie prowadzono.

Granice obszarów zasobów perspektywicznych D₂ wyznaczono otworami wiertniczymi, dla których określono, w granicznych wartościach parametrów definiujących złoża i jego granice, maksymalną głębokość spągu warstwy anhydrytu – 1200 m i minimalną miąższość anhydrytu w pokładzie – 10 m (tab. 10.25).

254 otwory wiertnicze zlokalizowane na obszarze monokliny przedsudeckiej, perykliny Żar i synklinorium północnosudeckiego spełniają przyjęte wartości parametrów i wyznaczają granice wytypowanych obszarów perspektywicznych. Na podstawie danych otworowych określono szacunkowo zasoby perspektywiczne anhydrytu. Maksymalna sumaryczna miąższość anhydrytu to 256,2 m, stwierdzona w otworze Słocińska IG 1 (obszar Kozuchów). Dominują miąższości w granicach 50–90 m. Dla pojedynczych otworów wiertniczych znacznie oddalonych od sąsiednich nie wyznaczano obszarów perspektywicznych, z wyjątkiem sytuacji, gdy pokłady anhydrytu występują na głębokości do 400 m.

Tab. 10.25. Graniczne wartości parametrów definiujących obszary zasobów prognostycznych i perspektywicznych anhydrytu i gipsu w południowo-zachodniej Polsce (Sztromwasser i in., 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Zasoby prognostyczne kat. D₁		
Maksymalna głębokość spągu złoża	m	wg opracowania (1730)
Minimalna miąższość złoża	m	wg opracowania
Minimalna zawartość gipsu w profilu złoża	%	80
Minimalna zawartość anhydrytu w profilu złoża	%	60
Zasoby perspektywiczne kat. D₂		
Maksymalna głębokość spągu złoża	m	1200
Minimalna miąższość złoża	m	10
Minimalna zawartość gipsu w profilu złoża	%	80
Minimalna zawartość anhydrytu w profilu złoża	%	60

10.4.4.2. Przyjęte kryteria wyznaczania złóż miocénskich gipsu i anhydrytu

Przy szacowaniu zasobów nadnidziańskich gipsów miocénskich (Sztromwasser i in., 2015a) uwzględniono głównie dostępne dawne i nowe materiały geologiczne oraz aktualne dane o stanie rozpoznania i zagospodarowania istniejących złóż (dokumentacje i dodatki geologiczne, niezatwierdzone dokumentacje geologiczne, sprawozdania geologiczne), a także opracowania dotyczące rozpoznania serii chemicznej miocenu w brzeżnej części zapadliska przedkarpackiego (w tym z rozpoznania strontoności osadów chemicznych). Szczególnie dużo danych dostarczyły geologiczne dokumentacje złożowe, niezatwierdzone z różnych względów (Jurkiewicz i Lazarek, 1951, 1953; Dolina Nidy... (autor nieokreślony), 1951; Lewicka J., 1961) oraz opracowanie Miłkowskiego (1979). Wykorzystano również dane z otworów wiertniczych dostępnych w bazach CBDG i CBDH oraz dane kartograficzne przedstawione na arkuszach SMGP w skali 1:50 000. Należy dodać, że na podstawie nowych danych kartograficznych (Mądry i Salwa, 2017a, b) skorygowano granice dwóch obszarów gipsu wyznaczone w 2015 r. (Sztromwasser i in., 2015a) oraz uaktualniono ich zasoby. Przy szacowaniu zasobów gipsów uwzględniono zjawiska krasowe, które występują przy nadkładzie mniejszym niż 45 m (Juszczak i Kasprzyk, 1998). Zasoby gipsów pomniejszono o udział krasu, a stopień skrasowienia gipsów przyjęto na poziomie 10%, na podstawie danych z ostatnich dodatków do dokumentacji geologicznych eksploatowanych złóż Leszcze (Pobratyn, 2005) i Borków-Chwałowice (Bakalarz-Dorowicz, 2011).

Podstawowymi kryteriami przyjętymi przy wyznaczaniu granic obszarów zasobów przewidywanych anhydrytu i gipsu w obszarze nadnidziańskim są: maksymalna głębokość spągu i minimalna miąższość złoża, minimalna zawartość gipsu/ anhydrytu w profilu złoża oraz dodatkowo dla złóż gipsu – maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża, określone w *Rozporządzeniu...* (2015a; tab. 10.26).

Obszar podkarpacki charakteryzuje się znacznymi zaburzeniami tektonicznymi, co wpływa na częsty brak ciągłości formacji skalnych. W związku z tym przyjęto, że wyznaczane obszary muszą charakteryzować się ciągłością wydzielenia w kolejnych, sąsiadujących ze sobą otworach wiertniczych. Z powodu braku kompletnych danych przy wyznaczaniu granic obszarów przewidywanych zasobów gipsu, nie uwzględniono parametru minimalnej zawartości składnika użytecznego w profilu złoża. Ze względu na przyszłą eksploatację odkrywkową przy określaniu zasięgu obszaru przewidywanych zasobów gipsu i ocenie ich zasobów przyjęto głębokość spągu do 50 m poniżej terenu, pomimo że w obrębie obszaru Niedźwiada-Broniszów spąg serii gipsowej znajduje się na głębokości ponad 72 m p.p.t. Do wskazania tego obszaru wykorzystano niezatwierdzonej dokumentację geologiczną (Nowak T.W., 1993).

Dla obszaru Dzierżysław, w śląskiej części zapadliska przedkarpackiego, maksymalną głębokość występowania spągu pokładu kopaliny, miąższość wystąpień zasobów przewidywanych gipsu oraz dolną granicę zawartości gipsu w wysokości 65% przyjęto za dokumentację geologiczną złoża gipsu Dzierżysław (Ada-

miakowski, 1953). Zawartość $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ wahała się w granicach 48–92%, natomiast średnia zawartość czystego surowca wynosiła 90,37%. Przedmiotem wydobywania były gipsy o minimalnej zawartości gipsu – 65%. Surowiec o zawartości czystego gipsu powyżej 85% stosowano do produkcji gipsów modelarskich, sztukatorskich i budowlanych.

W zapadlisku przedkarpackim anhydryty występują na głębokości 250–500 m i zazwyczaj towarzyszą im gipsy (Kubica, 1992; Kasprzyk, 1998, 2003, 2005; Bukowski i in., 1999). Do wyznaczania obszarów perspektywicznych anhydrytu wykorzystano głównie dane z otworów poszukiwawczych i strukturalnych, wykonanych w ramach poszukiwań złóż węglowodorów (Sztromwasser i in., 2015a). Przyjęto, że otwór jest bilansowy, gdy z opisu makroskopowego wynika, że w profilu otworu występuje anhydryt lub też anhydryt przeważa ilościowo nad gipsem i przewarstwieniami innych skał. Przy szacowaniu zasobów założono, że zawartość anhydrytu w profilu złoża wynosi co najmniej 60%.

Na obszarach prognostycznych wykonano badania mineralogiczne i chemiczne kopaliny.

10.4.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

10.4.5.1. Cechsztyńskie złoża anhydrytu i gipsu

Wystąpienia anhydrytów cechsztyńskich w południowo-zachodniej Polsce, na monoklinie przedsudeckiej i w peryklinie Żar są powszechne. Często stanowią kopalinę towarzyszącą złożom rud miedzi. Warstwy anhydrytów zapadają pod niewielkim kątem ok. 2–5° w kierunku północno-wschodnim. Głębokość powierzchni stropu kopaliny na monoklinie przedsudeckiej wynosi od 334,8 do 893 m, a spągu – od 920,7 do 1726,4 m. Średnia miąższość pokładów anhydrytów wynosi od 107,1 do 184 m (Sztromwasser i in., 2015a). Utwory cechsztynu są przykryte młodszymi utworami mezozoiku (triasu) i kenozoiku. W synklinorium północnosudeckim, zwłaszcza w synklinie grodzieckiej w rejonie Lubichów–Wartowice, pokłady gipsów i anhydrytów odznaczają się zmienną miąższością i znacznymi zaburzeniami tektonicznymi. Oś synkliny grodzieckiej o przebiegu SE–NW zapada na NW pod kątem ok. 20°, dzięki czemu utwory cechsztynu w osi synkliny leżą na głębokości przekraczającej 1000 m. Warstwy skrzydła północno-wschodniego mają ogólny upad na SW. Osady cechsztynu są przykryte młodszymi utworami mezozoiku (triasu i kredy) oraz kenozoiku (Konstantynowicz, 1971).

10.4.5.2. Miocenne złoża gipsu i anhydrytu

W północnej części zapadliska przedkarpackiego osady siarczanowe są wykształcone jako gipsy pierwotne, podrzędnie także jako anhydryty i gipsy wtórne. Utwory te, wraz z przewarstwieniami ilastymi i węglanowymi, osiągają miąższość 60 m (Kubica, 1992; Kasprzyk, 1999). Poniżej gipsów występują osady ilasto-piaszczyste (warstwy skawińskie) i węglanowe (formacja z Pińczowa) badenu dolnego, a ponad nimi leżą osady ilasto-margliste i organodetrytyczne badenu górnego i sarmatu (formacja z Machowa i formacja z Chmielnika). Ku południowi, w stronę centrum zapadliska przedkarpackiego wraz ze wzrostem głębokości zalegania, od głębokości ok. 250 m gipsy są częściowo lub całkowicie zastąpione przez anhydryty, przy czym do głębokości ok. 500 m anhydrytom zazwyczaj towarzyszą gipsy (Kasprzyk, 1998; Bukowski i in., 1999). Obszarowo anhydryty występują na południowy wschód od strefy tektonicznej Kurdwanów–Zawichost i przechodzą w osiowe partie niecki działoszyckiej, soleckiej i połanieckiej (Kubica, 1992; Kasprzyk, 2005). Anhydryty stwierdzono także w północnej, peryferyjnej części zapadliska, ale nie mają tam szerszego rozprzestrzenienia. Kasprzyk (2003, 2005) wiąże ich powstanie z wczesnym, syndepozycyjnym i/lub wczesnodiagenetycznym przeobrażeniem gipsów. W strefie przykarpackiej anhydryty tworzą cienkie przewarstwienia i nieregularne skupienia w obrębie utworów solnych (Garlicki, 1979; Bukowski, 1997).

Gipsy północnej części zapadliska przedkarpackiego, położonej geograficznie w obrębie Niecki Nidziańskiej, wypełniają trzy peryferyjne niecki: połaniecką, solecką i działoszycką (fig. 10.14). W zachodnich, brzeżnych częściach niecek znajdują się ich liczne naturalne wychodnie. W strefach osiowych gipsom towarzyszą anhydryty. Na omawianym obszarze gipsy są pocięte systemem uskoków o dominującym kierunku NW–SE i amplitudzie do kilkuset metrów (Kubica, 1992). Zachodnia granica zasięgu wychodni gipsów o nieregularnym, zatokowym przebiegu, ma charakter erozyjny. W kierunkach wschodnim i południowym gipsy chowają się pod młodszymi osadami neogeńskimi.

Gipsy występujące w zachodniej, śląskiej części zapadliska przedkarpackiego wchodzą w skład mioceńskiej serii ilasto-piaszczystej, związanej genetycznie z transgresją morską w zapadlisku. W rejonie Dzierżysławia seria gipsowa ma kształt soczewy wyklinowującej się ku południowi, od zachodu obciętej erozyjnie, a ku granicom – poziom gipsowy jest zastępowany przez ropy i margle z przewarstwieniami gipsów. Wiek serii gipsowej określono na miocen środkowy–baden (opol górny). Podłożem serii gipsowej są skały paleozoiczne, dolnokarbońskie – piaskowce, szarogłazy i łupki ilaste. Powyżej poziomu gipsowego zalegają ropy nadgipsowe tortonu (Kwiatkowski, 1974).

10.4.6. Stan rozpoznania geologicznego

10.4.6.1. Stan rozpoznania geologicznego cechsztyńskich złóż anhydrytu i gipsu

Dla południowo-zachodniej Polski wyznaczono 33 obszary perspektywiczne złóż anhydrytu i gipsu wieku cechsztyńskiego. Zasoby prognostyczne wyznaczono dla 10 obszarów objętych archiwalnymi opracowaniami geologicznymi, w których określono zasoby anhydrytu, anhydrytu i gipsu lub gipsu (tab. 10.26). Większość z nich (9) znajduje się na monoklinie przedsudeckiej w granicach LGOM-u (Bytom Odrzański, Gaworzyce, Głogów, Radwanice, Sieroszowice, Polkowice, Rudna, Retków-Ścinawa, Lubin-Małomice). Jeden obszar wyznaczono w niecce północnosudeckiej (Wartowice-Lubichów). Dla pozostałych 23 obszarów przyjęto zasoby perspektywiczne. Znajdują się one na monoklinie przedsudeckiej (18), na peryklinie Żar (3) oraz po jednym w synklinorium północnosudeckim i na jego pograniczu z perykliną Żar (tab. 10.27).

Na obszarach z zasobami prognostycznymi znajdujących się na monoklinie przedsudeckiej głębokość zalegania powierzchni stropu kopaliny, występującej w nadkładzie pokładów złóż rud miedzi, wynosi od 334,8 m (obszar Lubin-Małomice) do 893 m (Głogów), a spągu – od 920,7 m (Radwanice) do 1726,4 m (Bytom Odrzański). Średnia miąższość anhydrytu dla tych obszarów wynosi od 107,1 m (Lubin-Małomice) do 184,03 m (Bytom Odrzański). W niecce północnosudeckiej, w obszarze Wartowice-Lubichów, kopalina ma miąższość od 9 do 91,7 m, średnio 23,02 m i zalega na głębokości między 155,5 a 1581,7 m (tab. 10.26). Liczba otworów dokumentujących obszar zasobów prognostycznych wynosi od 29 (Gaworzyce) do 154 (Lubin-Małomice), średnio 72 otwory wiertnicze.

Tab. 10.26. Zasoby prognostyczne cechsztyńskiego gipsu i anhydrytu w południowo-zachodniej Polsce (Sztromwasser i in., 2015a)

Obszar	Rodzaj kopaliny	Powierzchnia [km ²]	Zasoby prognostyczne (kat. D1) [mln Mg]	Głębokość występowania kopaliny [m]	Miąższość kopaliny [m]
Bytom Odrzański	anhydryt	164,567	90 817,00	892,0–1726,4	184,03
Gaworzyce		48,22	21 080,50	693,2–1268,2	150,80
Głogów		97,78	44 945,00	893,0–1547,8	158,50
Radwanice		49,38	16 304,62	386,5–920,7	122,40
Sieroszowice		96,59	44 758,51	409,6–1271,1	162,10
Polkowice		66,30	24 872,97	408,0–965,0	129,00
Rudna		77,80	35 131,43	613,0–1208,0	147,60
Retków-Ścinawa		376,51	160 825,60	712,4–1513,6	151,80
Lubin-Małomice		133,00	40 851,66	334,8–971,3	107,10
Razem		1110,14	479 587,29	–	–
Wartowice-Lubichów	anhydryt, gips	57,04	3 908,00	155,5–1581,7	23,02
Ogółem		1167,18	483 495,29	–	–

Tab. 10.27. Zasoby perspektywiczne cechsztyńskiego anhydrytu w południowo-zachodniej Polsce (Sztromwasser i in., 2015a)

Obszar	Powierzchnia [km ²]	Zasoby perspektywiczne (kat. D ₂) [mln Mg]	Głębokość występowania kopaliny [m]	Średnia miąższość kopaliny [m]
Peryklina Żar				
Kaniów	11,49	2375	850,8–1200,0	71,3
Nowa Rola	0,88	140	1014,4–1185,5	55,0
Żarków	48,64	13 823	625,0–1200,0	98,0
Pogranicze perykliny Żar i synklinorium północnosudeckiego				
Iłowa	8,60	2893	679,0–1155,8	116,0
Synklinorium północnosudeckie				
Osiecznica	0,3	14	280,0–296,5	16,5
Monoklina przedsudecka				
Niwiska	1,31	391	920,0–1200,0	103,0
Kłépinka	0,31	72	330,7–410,8	80,1
Nowa Sól	32,28	4961	683,7–1200,0	53,0
Lelechów	8,48	1042	1005,5–1200,0	42,4
Przyborów	1,27	114	1088,0–1200,0	31,1
Koźuchów	87,05	28 021	413,0–1200,0	111,0
Niechlów	18,32	1753	1147,0–1200,0	33,0
Góra	35,38	6104	1068,0–1200,0	59,5
Wierzowice	17,94	4463	1033,0–1200,0	85,8
Bronów	2,42	433	1099,5–1200,0	61,7
Ślubów	5,89	836	1118,0–1200,0	49,0
Kowalowo	2,20	797	942,5–1200,0	125,0
Czechnów	3,54	396	1125,0–1200,0	38,6
Załęcze	13,42	2763	867,0–1200,0	71,0
Bartków	0,86	224	1056,0–1200,0	90,0
Wojnów	97,37	14 401	1044,5–1188,4	51,0
Kątna	2,76	408	1041,0–1117,0	51,0
Krajków	0,4	21	350,0–368,0	18,0
Razem	401,1	86 445	–	–

Na obszarach z zasobami perspektywnymi na peryklinie Żar głębokość występowania powierzchni stropu anhydrytu wynosi od 625 m (obszar Żarków) do 1014,4 m (Nowa Rola). Średnie miąższości kopaliny dla tych obszarów wynoszą od 55 m (Nowa Rola) do 98 m (Żarków). Na monoklinie przedsudeckiej głębokość powierzchni stropu anhydrytu waha się od 330,7 m (Kłépinka) do 1147,0 m (Niechlów), a spągu – od 368,0 m (Krajków) do 1200 m dla większości obszarów. Średnia miąższość kopaliny w obszarze perspektywnym wynosi od 18 m (Krajków) do 125 m (Kowalowo). W synklinorium północnosudeckim (Osiecznica) gipsy i anhydryty o miąższości 16,5 m nawiercono na głębokości 280 m (tab. 10.27). Liczba otworów dokumentujących obszary zasobów perspektywnych wynosi od 1 (Kłépinka, Krajków, Osiecznica) do 50 (Góra), średnio 10 otworów.

10.4.6.2. Stan rozpoznania geologicznego mioceńskich złóż gipsu i anhydrytu

W zapadlisku przedkarpackim wyznaczono 18 obszarów perspektywicznych: 14 obszarów złóż gipsu mioceńskiego i 3 obszary anhydrytu mioceńskiego.

Zasoby prognostyczne wskazano tylko dla gipsów (tab. 10.28). Spośród 11 obszarów gipsów z zasobami prognostycznymi 9 znajduje się w regionie nadnidziańskim (fig. 10.13, 10.14), w brzeżnej, północnej części zapadliska przedkarpackiego (niecki działoszycka, solecka i połaniecka). Jeden obszar gipsu jest zlokalizowany w regionie podkarpackim, pod nasunięciem karpackim na Pogórze Strzyżowskim, i jeden – w regionie śląskim, w brzeżnej, zachodniej części zapadliska przedkarpackiego na Płaskowyżu Głubczyckim.

W regionie nadnidziańskim obszary prognostyczne gipsów mioceńskich wyznaczono głównie na wychodniach tych utworów i pod nakładem utworów czwartorzędowych o niewielkiej miąższości, w większości w sąsiedztwie udokumentowanych złóż (fig. 10.14).

W regionie podkarpackim wyznaczono tylko jeden obszar prognostyczny Niedźwiada-Broniszów, który znajduje się na południe od linii nasunięcia Karpat. W rejonie tym, w wyniku nasuwania się Karpat osady mioceńskie uległy sfałdowaniu, co przyczyniło się do miejscowego przyrostu miąższości gipsów. Jest to wystąpienie gipsu o charakterze złożowym, dla którego wykonano dokumentację geologiczną (Nowak T.W., 1993), jednak jej nie zatwierdzono.

Obszar prognostyczny w zachodniej części zapadliska przedkarpackiego wyznaczono na podstawie dokumentacji geologicznej, skreślonego z *Bilansu zasobów* w 1997 r. złoża gipsu Dzierżysław (Adamiakowski, 1953). Sumaryczna miąższość serii gipsowej mieściła się w granicach 60–100 m, a średnia miąższość samego złoża gipsu wynosiła 35,6 m. Spągowa powierzchnia złoża jest falista, o różnicy wzniesień od 155 do ok. 220 m n.p.m.

Liczba otworów poszukiwawczych w poszczególnych obszarach prognostycznych gipsów mioceńskich jest zróżnicowana. Najwięcej jest ich dla obszarów: Niedźwiada-Broniszów – 69, Dzierżysław – 60, Bogucice – 29 i Kobylniki W – 27, a najmniej dla obszarów: Skalbmierz i Kobylniki E – tylko po 1. Głębokość

Tab. 10.28. Zasoby prognostyczne mioceńskiego gipsu w zapadlisku przedkarpackim (Sztrömwater i in., 2015a, zmodyf.)

Obszar (nr na fig. 10.13 i 10.14)	Powierzchnia [km ²]	Zasoby prognostyczne (kat. D ₁) [mln Mg]	Głębokość spągu kopaliny [m]	Miąższość kopaliny [m]
Region nadnidziański				
Gartatowice N (I)	2,58	78,29	6,6–41,5; śr. 20,0	6,1–30,2; śr. 17,0
Gartatowice S (II)	0,58	9,84	12,0–13,0; śr. 12,5	9,0–10,0; śr. 9,5
Bogucice (III)	1,77	100,36	ok. 30,0–40,0	śr. ok. 30,0
Skotniki Górne (IV)	0,79	41,66	28,0–45,3; śr. 34,6	24,0–31,1; śr. 27,9
Skotniki Dolne (V)	0,23	5,82	3,2–28,4; śr. 15,8	3,0–23,8; śr. 13,4
Łatanice (VI)	1,00	33,26	4,8–33,0; śr. 19,3	4,4–29,0; śr. 17,6
Kobylniki E (VII)	0,10	5,67	44,5	30,0
Kobylniki W (VIII)	1,40	24,61	3,0–27,5; śr. 11,1	2,8–22,2; śr. 9,3
Gorysławice (IX)	1,77	45,16	3,4–39,1; śr. 16,3	3,2–28,8; śr. 13,5
Region podkarpacki				
Niedźwiada-Broniszów	0,76	59,00	39,9–50,0; śr. 48,95	25,0–44,7; śr. 35,5
Region śląski				
Dzierżysław	0,80	86,56	100,0	śr. 35,6
Razem	11,78	490,23	–	–

Tab. 10.29. Zasoby perspektywiczne miocenińskiego gipsu i anhydrytu w zapadlisku przedkarpackim (Sztromwasser i in., 2015a)

Obszar (nr na fig. 10.13)	Powierzchnia [km ²]	Zasoby perspektywiczne (kat. D ₂) [mln Mg]	Głębokość spągu kopaliny [m]	Miąższość kopaliny [m]
Gips – region nadnidziański				
Skalbmierz (X)	0,81	40,26	34,0	26,3
Staszów (XI)	1,71	118,29	36,0–50,0; śr. 43,0	32,4–40,8; śr. 36,6
Czajków (XII)	0,68	46,91	50,0	36,5
Razem	3,20	205,46		
Anhydryt – region nadnidziański				
Proszowice (I)	48,30	1667,00	72,0–300,0; śr. 179,6	11,0–70,0; śr. 21,3
Kazimierza Wielka (II)	6,97	228,00	75,0–248,0; śr. 174,3	18,0–21,5; śr. 20,2
Nowy Korczyn (III)	50,14	1413,00	78,5–323,0; śr. 203,3	10,0–28,0; śr. 17,4
Oblekoń-Żabiec (IV)	59,13	1782,00	105,5–375,2; śr. 239,0	8,0–32,5; śr. 18,6
Razem	164,54	5090,00	–	–

występowania powierzchni spągu kopaliny w regionie nadnidziańskim waha się od 3 m (obszary Skotniki Dolne i Kobylniki W) do ok. 45 m (Skotniki Górne i Kobylniki E). Średnia miąższość serii złożowej w tym regionie wynosi od 9,3 m (Kobylniki W) do ok. 30 m (Bogucice i Kobylniki E). Średnia miąższość kopaliny na tych obszarach regionu podkarpackiego i śląskiego wynosi ok. 35 m, a średnia zawartość gipsu – ok. 90%. Zasoby prognostyczne gipsu w ilości nieco ponad 490 mln Mg ustalono dla obszarów o łącznej powierzchni 11,78 km² (tab. 10.28). Najbardziej zasobne w gips są obszary: Bogucice (100,36 mln Mg), Dzierżysław (86,56 mln Mg) i Gartatowice N (78,29 mln Mg).

Zasoby perspektywiczne ustalono tylko w regionie nadnidziańskim (tab. 10.29), gdzie wyznaczono trzy obszary gipsów i cztery obszary anhydrytów.

Dwa obszary zasobów perspektywicznych gipsu (Staszów i Czajków) wskazano w niecce połanieckiej, a jeden (Skalbmierz) – w niecce działoszyckiej (fig. 10.13). Wyznaczono je na podstawie tylko czterech otworów wiertniczych. Głębokość występowania powierzchni spągu kopaliny waha się od 34 (Skalbmierz) do 50,0 m (Czajków i Staszów), a średnia miąższość serii złożowej wynosi od 26,3 m (Skalbmierz) do ponad 36 m (Czajków i Staszów). Ich łączne zasoby wyliczono na 205,46 mln Mg (tab. 10.29).

Obszary perspektywiczne anhydrytów miocenińskich wyznaczono w niecce działoszyckiej i w niecce sołeckiej (fig. 10.13). Ich łączna powierzchnia wynosi 164,54 km², a zasoby oceniono na 5,09 mld Mg (tab. 10.29). Liczba otworów poszukiwawczych w poszczególnych obszarach perspektywicznych jest różnicowana. Najwięcej jest ich na obszarach Proszowice (37 otworów) i Oblekoń-Żabiec (11 otworów), a najmniej – na obszarach Nowy Korczyn (5 otworów) i Kazimierza Wielka (3 otwory). Spąg pokładu anhydrytu znajduje się na głębokości od 72 m (Proszowice) do 375,2 m (Oblekoń-Żabiec) i zapada na południowy wschód, w stronę strefy tektonicznej Kurdwanów–Zawichost. Średnia miąższość kopaliny wynosi od 17,4 m (obszar Nowy Korczyn) do 21,3 m (Proszowice). Nie obserwuje się zależności miąższości serii anhydrytowej od głębokości jej występowania.

10.4.7. Ocena zasobów i ich zmian

Główną część zasobów przewidywanych stanowią zasoby prognostyczne obszarów perspektywicznych anhydritów cechsztyńskich, towarzyszących udokumentowanym złożom rud miedzi LGOM-u (tab. 10.26 i 10.30).

Zasoby anhydrytu dziewięciu obszarów perspektywicznych na monoklinie przedsudeckiej wynoszą 479 587,29 mln Mg, co stanowi 99% całości zasobów prognostycznych. W przyszłości anhydryty mogą zostać zagospodarowane przy spełnieniu odpowiednich warunków również ekonomicznych, tym bardziej, że istnieje tu już infrastruktura do eksploatacji podziemnej.

Łączne zasoby przewidywane gipsu i anhydrytu wynoszą 575 725,98 mln Mg, przy czym zasoby prognostyczne stanowią 84% (tab. 10.31).

Obszary przewidywanych zasobów miocenińskiego gipsu i anhydrytu znajdują się w obrębie zapadliska przedkarpacciego, w południowej i południowo-zachodniej Polsce. Ich łączne zasoby (czyli prognostyczne i perspektywiczne) wynoszą 5,79 mld Mg, z czego 0,49 mld Mg stanowią zasoby prognostyczne gipsu.

Najlepsze warunki geologiczno-górnice występowania gipsów mioceniskich (poziome zaleganie, nadkład o niewielkiej miąższości lub jego całkowity brak, miąższość spełniająca wymagane kryteria) są w północnej, brzeżnej części zapadliska przedkarpacciego, w regionie nadnidziańskim, w obrębie obszarów: Garbatowice N, Bogucice, Kobylniki W i Goryslawice oraz w regionie podkarpaccim, pod nasunięciem karpaccim, na obszarze Niedźwiada-Broniszów. Jednocześnie są to obszary, w których przeprowadzono szczegółowe rozpoznanie, wykonano badania zawartości gipsu i opracowano dla nich dokumentację złożowe (Jurkiewicz i Lazarek, 1951, 1953; *Dolina Nidy...*, 1951; Lewicka J., 1961; Nowak T.W., 1993), które z nieznanых powodów nie zostały zatwierdzone.

Rozmieszczenie obszarów perspektywicznych występowania gipsu i anhydrytu w Polsce ilustruje załącznik 6.

Poprzednie publikacje dotyczące zasobów perspektywicznych kopalin Polski (Bąk i Przeniosło, 1993; Wołkowicz S. i in., 2011) nie uwzględniały gipsu i anhydrytu, a jedynie wzmiankowano o nich w dziale dotyczącym siarki rodzimej. Nie ma zatem możliwości porównania wielkości oszacowanych zasobów czy typowanych obszarów.

Tab. 10.30. Zasoby przewidywane gipsu i anhydrytu w Polsce

Formacja	Zasoby prognostyczne (kat. D ₁)			Zasoby perspektywiczne (kat. D ₂)		
	Liczba obszarów	Powierzchnia [km ²]	Zasoby [mln Mg]	Liczba obszarów	Powierzchnia [km ²]	Zasoby [mln Mg]
Gips i anhydryt cechsztyński	1	57,04	3908,00	–	–	–
Anhydryt cechsztyński	9	1110,14	479 587,29	23	401,10	86 445,00
Gips mioceniński	11	11,78	490,23	3	3,20	205,46
Anhydryt mioceniński	–	–	–	4	164,54	5090,00
Ogółem	21	1178,96	483 985,52	30	568,84	91 740,46

Tab. 10.31. Zbiorcze zestawienie zasobów przewidywanych gipsu i anhydrytu w Polsce

Kategoria zasobów	Zasoby [mln Mg]	Powierzchnia [km ²]
Zasoby prognostyczne	483 985,52	1178,96
Zasoby perspektywiczne	91 740,46	568,84
Ogółem	575 725,98	1747,80

10.4.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

1. Łączne przewidywane zasoby (prognostyczne i perspektywiczne) gipsu i anhydrytu wieku cechsztyńskiego i miocénskiego w Polsce oszacowano na 575,7 mld Mg, z tego zasoby prognostyczne w ilości 483,99 mld Mg stanowią 84%.
2. Zasoby prognostyczne anhydrytu i gipsu cechsztyńskiego oszacowano na 483,5 mld Mg, co stanowi 99,9% całości zasobów prognostycznych. Przeważająca ilość zasobów prognostycznych anhydrytu znajduje się w południowo-zachodniej Polsce na monoklinie przedsudeckiej, w granicach LGOM-u. Anhydryty, na tych obszarach stanowiące kopalinę towarzyszącą złożom rud miedzi, mogą w przyszłości zostać zagospodarowane przy spełnieniu odpowiednich warunków, również ekonomicznych, tym bardziej, że istnieje tu już infrastruktura do eksploatacji podziemnej.
3. Przy obecnym stopniu rozpoznania wystąpień anhydrytu na obszarze południowo-zachodniej Polski nie ma perspektyw na zagospodarowanie zasobów perspektywicznych. Przemawia za tym znaczna głębokość występowania pokładów anhydrytu, przekraczająca głębokości przewidziane w granicznych wartościach parametrów definiujących złoża anhydrytu i jego granice, jak również brak obecnie możliwości zagospodarowania rud miedzi występujących pod pokładami anhydrytu w obszarach perspektywicznych.
4. Przewidywane (prognostyczne i perspektywiczne) zasoby gipsu i anhydrytu wieku miocénskiego wynoszą 5,79 mld Mg. Przeważająca część zasobów prognostycznych gipsów miocénskich znajduje się w regionie nadnidziańskim, a większość wyznaczonych obszarów charakteryzuje się korzystnymi warunkami geologiczno-górnictwem.
5. Niewielka głębokość zalegania anhydrytów miocénskich w obrębie zapadliska przedkarpackiego wskazuje na możliwość zagospodarowania w przyszłości tych złóż perspektywicznych. Niezbędne jest jednak przeprowadzenie szczegółowego rozpoznania wytypowanych obszarów oraz wykonanie badań składu chemicznego i mineralnego (potwierdzenie występowania anhydrytu w ilości co najmniej 60%), a także określenie jakości kopaliny.
6. W regionie nadnidziańskim, w tym głównie w niecce soleckiej, poza wyznaczonymi obszarami są rejon, gdzie gipsy występują na powierzchni terenu (Mądry, 2013a, b; Mądry i Salwa, 2017a, b), jednak nie wykonywano tam żadnych prac wiertniczych bądź górniczych i brak danych dotyczących ich miąższości oraz parametrów jakościowych. Wykonanie rozpoznania wiertniczego pozwoliłoby ustalić parametry geologiczno-górnictwa tych wystąpień gipsów i ocenić parametry jakościowe kopaliny. Do dalszych prac rozpoznawczych rekomenduje się rejon na wschód od Buska-Zdroju oraz obszar na północ od złoża Skorocice-Chotelek.
7. Obszary rekomendowane do rozpoznania powinny być badane w ramach prac prowadzonych przez państwową służbę geologiczną.

Dariusz Brzeziński, Wojciech Miśkiewicz

10.5. KAMIEŃ ŁAMANE I BLOCZNE (*CRUSHED AND DIMENSION STONES*), KAMIEŃ DROGOWE I BUDOWLANE (*ROAD AND BUILDING STONES*)

Liczne rodzaje skał magmowych, metamorficznych i osadowych spełniające odpowiednie wymagania fizyczno-mechaniczne (Bromowicz i in., 2005) stanowią podstawowy surowiec do produkcji kruszywa łamanego dla budownictwa ogólnego, drogowego i kolejowego oraz surowiec do produkcji kamiennych elementów budowlanych (kostki, płyty, krawężniki, bloki, kamień murowy, itp.). Znaczna część zasobów wapieni, dolomitów i opok jest traktowana jako kopaliny wielosuwrowcowe (patrz rozdz. 10.3, 10.6 i 11.7) i selektywnie eksploatowana częściowo na potrzeby przemysłu np. cementowego czy wapienniczego, a częściowo np. do produkcji kruszywa łamanego.

10.5.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Złoża tej grupy kopalin obejmują prawie wszystkie typy genetyczne złóż – magmowe, metamorficzne i osadowe. Wykazują również różne formy przestrzenne związane z ich genezą – od pokładów, przez złoża wielopokładowe, masywowe, aż po gniazdowe, soczewkowe i słupowe. Omawiana grupa kopalin obejmuje ponad trzydzieści odmian litologicznych skał wszystkich typów genetycznych.

10.5.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Skały lite wykorzystywane jako materiały budowlane i do produkcji kruszyw łamanych występują w niemal wszystkich krajach świata, a ich zasoby są rzędu bilionów Mg. Brak jest usystematyzowanej informacji o wielkości zasobów światowych, a także o ich wystarczalności (Guzik i Smakowski, 2015). Wystarczalność zasobów światowych należy liczyć w setkach lat, natomiast mogą występować lokalne niedobory tych kopalin wynikające z regionalnej budowy geologicznej i innych czynników przyrodniczo-środowiskowych, uwarunkowań ekonomicznych itp.

Zasoby bilansowe udokumentowanych złóż kamieni łamanych i blocznych (738 złóż) w 2018 r. wynosiły ogółem 11 407,30 mln Mg i już od kilku lat wykazują stabilną tendencję wzrostową na poziomie ok. 2% rocznie (Brzeziński i Miśkiewicz, 2019). Udokumentowane zasoby geologiczne skał osadowych stanowią 48,5% całej grupy (5531,68 mln Mg), skał magmowych – 38,7% (4413,76 mln Mg), skał metamorficznych – 12,8% (1461,86 mln Mg). Zasoby złóż skał magmowych i metamorficznych są skoncentrowane głównie w południowej części kraju. Zasoby skał osadowych są powszechniejsze i znajdują się również w środkowej i południowo-wschodniej Polsce. Udokumentowane złoża o największych zasobach stwierdzono na terenie trzech województw: dolnośląskiego (zasoby 5854,55 mln Mg, 51,3% łącznych zasobów kraju), świętokrzyskiego (zasoby 2526,12 mln Mg, 22,1% łącznych zasobów kraju) oraz małopolskiego (zasoby 1246,26 mln Mg, 10,9% łącznych zasobów kraju). Kolejne miejsca zajmują województwa podkarpackie (6,1%), śląskie (4,7%), opolskie (2,8%) i łódzkie (1,1%). Pozostałe województwa, czyli mazowieckie, lubelskie, kujawsko-pomorskie, podlaskie, zachodniopomorskie i pomorskie, mają łączne zasoby 109,78 mln Mg (1,0% łącznych zasobów kraju).

W latach 1989–2018 roczne wydobycie tych kopalin zawierało się w przedziale 13,59–84,58 mln Mg, średnio – 37,44 mln Mg. Od 2010 r. obserwuje się znaczne wahania wydobycia. W 2018 r. wydobycie wyniosło 81,25 mln Mg. Górnictwo skalne koncentruje się na obszarze dwóch województw: dolnośląskiego, świętokrzyskiego. Województwo dolnośląskie dostarcza 44% krajowego wydobycia kamieni łamanych i blocznych (258 złóż i 51,3% krajowych zasobów), natomiast województwo świętokrzyskie – 32,7% wydobycia tego surowca (139 złóż i 22,1% krajowych zasobów). Kolejne miejsce zajmuje województwo małopolskie z udziałem w krajowym wydobyciu na poziomie 10,4% (103 złoża i 10,9% krajowych zasobów; Brzeziński i Miśkiewicz, 2019).

Ocenę wystarczalności zasobów złóż kamieni łamanych i blocznych wykonano na podstawie danych pochodzących z *Bilansu zasobów* wg stanu na 31.12.2018 r. (Brzeziński i Miśkiewicz, 2019). Do oceny wystarczalności zasobów posłużono się następującymi wskaźnikami: wystarczalnością statyczną zasobów, stopniem zagospodarowania złóż oraz wskaźnikiem potencjału rezerw zasobowych złóż niezagospodarowanych. Wyniki oceny przedstawia tabela 10.32.

Tab. 10.32. Ocena wystarczalności krajowych zasobów złóż kamieni łamanych i blocznych wg stanu na 31.12.2018 r. (Brzeziński i Miśkiewicz, 2019)

Nazwa wskaźnika	Jednostka	Wartość wskaźnika
Zasoby bilansowe	mln Mg	11 407,30
Zasoby bilansowe złóż zagospodarowanych	mln Mg	6184,18
Zasoby przemysłowe	mln Mg	3631,07
Wydobycie roczne	mln Mg	81,25
Wystarczalność statyczna zasobów bilansowych W_{sb}	lata	140
Wystarczalność statyczna zasobów bilansowych złóż zagospodarowanych W_{sbz}	lata	76
Wystarczalność statyczna zasobów przemysłowych W_{sp}	lata	45
Stopień zagospodarowania złóż W	%	54
Wskaźnik potencjału rezerw zasobowych złóż niezagospodarowanych ξ	%	27

W 2018 r. statyczna wystarczalność zasobów bilansowych złóż udokumentowanych wynosiła 140 lat. Wystarczalność statyczna zasobów od 2013 r. zmniejsza się średniorocznie o ok. 2–3%. Stały trend spadkowy wystarczalności utrzymuje się praktycznie nieprzerwanie od 1994 r.

10.5.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Głównymi kryteriami stosowanymi do wyznaczania złóż kamieni łamanych i blocznych są dwa podstawowe wymogi: bloczność złoża oraz grubość nadkładu. Głębokość dokumentowania jest ustalana w zależności od m.in. technicznych możliwości eksploatacji, powierzchni i kształtu złoża, głębokości występowania poziomów wodonośnych i innych parametrów geologiczno-górnictwowych. *Rozporządzenie...* (2015a) określa graniczne wartości parametrów definiujących złoża i jego granice dla złóż kopalin skalnych budowlanych blocznych oraz kopalin skalnych nieblocznych budowlanych i drogowych (tab. 10.33).

10.5.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Autorzy rozdziału nie widzieli merytorycznej potrzeby stosowania innych kryteriów niż wskazane w rozdziale 10.5.3.

Tab. 10.33. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża kopalin skalnych budowlanych blocznych oraz kopalin skalnych nieblocznych budowlanych i drogowych i ich granice (*Rozporządzenie...*, 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Kopaliny skalne budowlane bloczne		
Maksymalna głębokość dokumentowania	m	do głębokości możliwej eksploatacji
Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża	–	1,0
Minimalna bloczność geologiczna:		
marmurów, serpentynitów	% obj.	5
sjenitów, gabr, granodiorytów oraz przyjmujących pól wapieni i dolomitów	% obj.	10
granitów, tufów, piaskowców oraz nieprzyjmujących pól wapieni i dolomitów	% obj.	20

Tab. 10.33. cd.

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Kopaliny skalne niebłoczne budowlane i drogowe		
Maksymalna głębokość dokumentowania	m	do głębokości możliwej eksploatacji
Maksymalna grubość nadkładu	m	15
Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża	–	0,3
Maksymalny udział skał niespełniających wymagań jakościowych w profilu złoża	%	20
Maksymalna zawartość CaCO_3 w wapieniach	%	90

10.5.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

W Polsce kamienie łamane i bloczne występują powszechnie w utworach od prekambriu do neogenu (Kozłowski S., 1986a, 1990a). Jednak jednostki surowcowe o sprzyjających eksploatacji warunkach geologiczno-górnictwowych oraz spełniające wymagania jakościowe pojawiają się na ograniczonych obszarach. Są to utwory południowej Polski, głównie Dolnego Śląska, Gór Świętokrzyskich, monokliny śląsko-krakowskiej i Karpat. Jednostki surowcowe kamieni łamanych i blocznych są związane z kompleksami skał magmowych, metamorficznych oraz osadowych. Kopaliny te są wykorzystywane w zależności od potrzeb jako bloczny materiał budowlany (konstrukcyjny, dekoracyjny) oraz przede wszystkim jako kruszywo dla budownictwa i drogownictwa. Do grupy kamieni blocznych są zaliczane skały wszystkich typów genetycznych, a możliwość uzysku bloków jest warunkowana szeregiem czynników. Ponadto uzyskanie brył o odpowiedniej kubaturze jest ograniczone do nielicznej grupy złóż (Bromowicz, 1994; Bromowicz i Karwacki, 2002). Bloczność materiału skalnego jest uwarunkowana w skałach magmowych pozycją geologiczną, budową wewnętrzną złóż, oddziaływaniem tektonicznym i metasomatycznym. Natomiast wśród piaskowców lepsze warunki bloczności wykazuje typ platformowy niż geosynkinalny. W skałach węglanowych oprócz zaawansowania zjawisk tektonicznych istotne znaczenie mają również zjawiska krasowe. W skałach metamorficznych cechę tę determinują niejednorodności w budowie utworów pierwotnych, nasilone procesami metamorficznymi (Bromowicz i Karwacki, 1981). Złoże kamieni blocznych stwierdzono głównie na Dolnym Śląsku, gdzie znajduje się połowa ich zasobów, ponadto jedna czwarta zasobów występuje w Górach Świętokrzyskich, kilkanaście procent w Karpatach, kilka procent na Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej i ułamek procenta na Roztoczu (Bromowicz, 1994). W wykorzystaniu kamieni blocznych w konstrukcjach budowlanych podstawowym kryterium są cechy jakościowe, a zwłaszcza właściwości fizyczno-mechaniczne, natomiast w przypadku materiałów dekoracyjnych dochodzi walor estetyczny. Kamienie bloczne można podzielić (z uwzględnieniem gęstości pozornej, nasiąkliwości, wytrzymałości na ściskanie, ścieralności i mrozoodporności) na trzy grupy: bardzo ciężkie, są to skały polerujące się trwale, czyli wyłącznie magmowe i metamorficzne; ciężkie, które polerują się nietrwale i obejmują silnie zlitfikowane dolomity oraz wapień oraz lekkie, niedające się polerować, do których zalicza się piaskowce, słabo zlitfikowane dolomity oraz wapień, opoki i tufy (Bromowicz, 1994).

10.5.5.1. Jednostki surowcowe skał magmowych

Jednostki surowcowe skał magmowych: głębinowych (granity, granodioryty, sjenity, gabra), wylewnych i żyłowych (keratofiry, porfiry, melafiry, diabazy, bazalty, cieszynity), oraz piroklastycznych (tufy) są związane głównie z Dolnym Śląskiem, Śląskiem Opolskim i okolicami Krakowa. Wykorzystywane są zarówno jako kamień bloczny, konstrukcyjny, okładzinowy, dekoracyjny, jak i jako kruszywo łamane.

Granity i granitoidy znane są z masywów: strzegomskiego, strzeńskiego, żulowskiego, karkonoskiego, kłodzko-złotostockiego, strefy Niemczy oraz z niewielkich wystąpień w okolicach rejonów kudowskiego i łubzkiego. W bilansie wydzielono kilkanaście obszarów perspektywicznych i dwa prognostyczne z powyższych rejonów.

Gabra występują w masywie Sobótki, w masywie Grochowej-Braszowic oraz w rejonie Nowej Rudy w masywie gabrowo-diabazowym, gdzie zasoby perspektywiczne obejmują jeden obszar na wschód od miasta.

Występowanie perspektywicznych zasobów porfirów, melafirów, diabazów, bazaltów jest związane z rejonem depresji śródsudeckiej i północnosudeckiej oraz z okolicami Krakowa. Porfiry w formie niewielkich intruzji oraz pokryw występują m.in. w niecce śródsudeckiej (Góry Krucze, Góry Wałbrzyskie), gdzie zlokalizowano obszar perspektywiczny w rejonie Kamiennej Góry. W rejonie krakowskim zasoby perspektywiczne są związane z okolicami Krzeszowic.

Perspektywiczne wystąpienia melafirów są znane z obrzeżenia depresji śródsudeckiej (Góry Kamienne–Kłodzko) i północnosudeckiej (Świerżawa–Wleń) oraz z rejonu krakowsko-chrzanowskiego (Krzeszowice–Alwernia).

Diabazy występują w NE części masywu Nowej Rudy i w okolicach Krakowa. Obszary perspektywiczne stwierdzono w rejonie krakowskim, gdzie diabazy tworzą intruzje w osadach górnokarbońskich.

Bazalty, w formie neogeńskich żył, pokryw i kominów, występują od zachodniej granicy państwa po Górę św. Anny. Powstały w różnych okresach od oligocenu do plejstocenu. Często są rozdzielone i otoczone brekcjami oraz tufami (Kozłowski S., 1990a, b; Nieć, 2002c). Wyróżniono jeden rejon perspektywiczny w powiecie nyskim oraz cztery obszary prognostyczne w powiatach lwóweckim, zgorzeleckim i złotoryjskim.

10.5.5.2. Jednostki surowcowe skał metamorficznych

Jednostki surowcowe skał metamorficznych są związane wyłącznie z rejonem Dolnego Śląska (Kozłowski S., 1986a; Nieć, 2002c). Występują na rozległych obszarach Sudetów (Góry Izerskie, Góry Sowie, Góry Bystrzyckie, Góry Złote, Góry Bialskie, masyw Łądko i Śnieżnika, obrzeżenie masywu Karkonoszy, Przedgórze Paczkowskie i północno-wschodnia część Kotliny Kłodzkiej) oraz na bloku przedsudeckim (Wzgórza Strzebińskie i Wądroże Wielkie). Są surowcem o wielu zastosowaniach – są wykorzystywane do: produkcji kruszywa, kamienia łamanego, kamienia blocznego, kostki, krawężników, a nawet jako kamień dekoracyjny w budownictwie sakralnym. Marmury występują wyłącznie na Dolnym Śląsku w Sudetach, przede wszystkim w Masywie Śnieżnika, gdzie mają dwie odmiany kolorystyczne (tzw. Biała i Zielona Marianna). Znane są również wystąpienia marmurów w rejonie Rudaw Janowickich, Gór Kaczawskich, Głucholazów (Sławniowice), Kamiennej Góry (Rędziny) i Masywu Śnieżnika (Stronie Śląskie, pasmo Krowiarek). Stanowią bardzo cenny materiał budowlany, rzeźbiarski i architektoniczny. Amfibolity są dość powszechne w metamorficznych kompleksach Sudetów i stanowią cenny materiał do produkcji kruszyw. Znane są z obrzeżenia masywu Karkonoszy i Śnieżnika, Rudaw Janowickich oraz okolic Kłodzka. Występowanie serpentynitów jest związane z blokiem przedsudeckim (masywy serpentynitowe w rejonie Gogołowa, Jordanowa, Nasławic, Sobótki, Szklar, Braszowic, Grochowa i Brzeźnicy). Zieleńce, będące wynikiem metamorfizmu miąższego kompleksu staropaleozoicznych bazaltów, występują licznie w Górach Kaczawskich, na Pogórzu Kaczawskim i Izerskim, a także w rejonie Kłodzka. Hornfelsy znajdują się wyłącznie na Dolnym Śląsku w strefach kontaktowych intruzji magmowych w rejonie Strzegomia, Strzelina, w Górach Izerskich, Górach Bardzkich, Masywie Śnieżnika oraz na Pogórzu Izerskim (Zgorzelec-Lubań).

10.5.5.3. Jednostki surowcowe skał osadowych

Wapienie kwalifikowane jako kamienie łamane i bloczne występują głównie w południowej Polsce w osadach o wieku od prekambriu po neogen (Peszat, 1980; Bromowicz i Karwacki, 1981; Bromowicz, 1994; Kozłowski S., 1990a, b; Wyrwicka, 1990; Nieć i Tchórzewska, 2000a; Nieć, 2002c). Wapienie prekambryjskie i paleozoiczne wykształcone jako wapienie krystaliczne są znane z obrzeżenia Kotliny Kłodzkiej. Wapienie kambryjskie z Gór Kaczawskich są kopalnią wielosurowcową – górna jednostka jest przeznaczona dla przemysłu wapienniczego, a dolna jednostka, o niskiej zawartości CaCO_3 , zsylikowana i zdolomityzowana – do produkcji kruszywa. Wapienie dewońskie Gór Świętokrzyskich są również kopalnią wielosurowcową – do produkcji kruszywa są wykorzystywane głównie cienkoławicowe wapienie górnodewońskie oraz odpady eksploatacyjne i przerobcze surowca dla przemysłu wapienniczego. Wapienie górnourajskie występują na obszarze krakowsko-częstochowskim i w obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich – najbardziej zasobne w CaO partie złóż są surowcem wapienniczym, natomiast wapienie skaliste, ławicowe i płytowe są stosowane jako kamień budowlany oraz do produkcji kruszyw. W rejonie świętokrzyskim wapienie o walorach dekoracyjnych występują w utworach środkowego i górnego dewonu, permu, jury górnej i neogenu (tzw. marmury

bolechowickie, wapienie kajetanowskie, marmury morawickie, wapienie pińczowskie). Walory dekoracyjne mają również permskie zlepienie wapienne (zlepienie zygmuntońskie, wapienie kajetanowskie) oraz kalcyty żyłowe tzw. różanki (Kozłowski S., 1986a; Wyrwicka, 1990; Nieć i Tchórzewska, 2000a; Nieć, 2002c). Na obszarze krakowsko-częstochowskim wapienie jurajskie są popularnym materiałem budowlanym lub stanowią surowiec do produkcji kruszyw. Na monoklinie śląsko-krakowskiej występują dekoracyjne wapienie dewonu środkowego (marmury dębnickie), karbonu (wapienie paczółtowskie, marmury racławickie) oraz jury (wapienie zalesiackie, tzw. polskie trawertyny). Należy również wspomnieć o rejonie antyklinorium kujawsko-pomorskiego i złożach surowców dla przemysłu cementowego i wapienniczego. Epigenetycznie zdolomityzowane i zsylikowane partie oksfordzkich i kimerydzkich wapieni z tych złóż są wykorzystywane do produkcji kruszyw, kamienia łamanego i bloków. Wapienie dolnokredowe występują w Karpatach jako składnik fliszu oraz na przedgórzu Beskidu Śląskiego. Opoki kredy górnej z Wyżyny Lubelskiej są wykorzystywane jako łatwy w obróbce materiał budowlany, termoizolacyjny i rzeźbiarski. Wapienie neogeńskie są znane z północnego brzegu zapadliska przedkarpackiego na obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich i na Roztoczu Lubelskim.

Dolomity, podobnie jak wapienie, są kopaliną wielosuwrowcową i w zależności od składu mineralnego oraz właściwości fizyczno-mechanicznych znajdują zastosowanie przemysłowe, rolnicze lub budowlane i drogowe (Peszat, 1980; Kozłowski S., 1986a; Narkiewicz, 1990; Nieć, 2000b; Nieć, 2002c). Dolomity sudeckie występują głównie w postaci soczew w staropaleozoicznych utworach masywu Śnieżnika, pasma Krowiarek oraz w Górach Kaczawskich i Rudawach Janowickich. Śródkowodeńskie dolomity w Górach Świętokrzyskich tworzą duży kompleks surowcowy w trzech strefach: lysogórskiej, łagowsko-ianowskiej i kieleckiej. W zależności od składu chemicznego oraz właściwości fizyczno-mechanicznych są kwalifikowane do produkcji kruszyw lub nawozów wapniowo-magnezowych. W obrzeżeniu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego dolomity dewońskie mają skupiska w rejonach Krzeszowic oraz Olkusza i Siewierza. Dolomity północno-wschodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego i jego obrzeżenia tworzą regionalne jednostki surowcowe w utworach triasu.

Piaskowce kwarcytowe (w opracowaniach zwane również kwarcytami ze względu na dużą zawartość SiO_2) występują na obszarze trzonu paleozoicznego Gór Świętokrzyskich w obrębie skał kambryjskich i dewońskich. Szczególne znaczenie ze względu na dobre parametry jakościowe mają piaskowce kambryjskie pasma lysogórskiego. Podobnie jest w przypadku dolnodewońskich piaskowców górnych ogniw kompleksu piaskowcowego, tzw. warstw spiriferowych (formacja zagórzańska), ale są one wykorzystywane zarówno do produkcji kruszyw, jak i materiałów ogniotrwałych (Peszat, 1973; Nieć, 2002b). Na obszarze niecki północnosudeckiej w rejonie Bolesławca i Ostrzeszowa znajdują się dolnokenozoiczne piaskowce kwarcytowe (Błaszak i Olkiewicz-Paprocka, 1990; Nieć, 2002c). Występowanie piaskowców i szarogłazów jest związane z utworami ordowickimi, permскими, jurajskimi, kredowymi, dolnokenozoicznymi. Piaskowce ordowickie są znane z Gór Świętokrzyskich, lecz ograniczone występowanie wpływa na ich niskie znaczenie gospodarcze, podobnie jak w przypadku dewońskich szarogłazów występujących na Dolnym Śląsku w rejonie Wądroża. Szarogłazy dolnokarbońskie stwierdzono na zachodnim obrzeżeniu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego oraz w Górach Opawskich i na ich przedpolu. Piaskowce górnokarbońskie są powszechne w formacjach węglonośnych na Górnym i Dolnym Śląsku, jednak ze względu na ich niską jakość, możliwość ich wykorzystania jest ograniczona. Z kolei duże znaczenie, głównie jako surowiec bloczny, mają dolnośląskie piaskowce permskie i dolnokredowe oraz piaskowce triasowe i dolnojurajskie Gór Świętokrzyskich i ich obrzeżenia. Najszerzej rozprzestrzenione, a tym samym powszechnie wykorzystywane, są piaskowce kredowe i paleogeńskie fliszu karpackiego (Kozłowski S., 1986a, 1990a, b; Nieć, 2002c). Występują w wielu ogniwach litostratigraficznych od kredy dolnej po miocen dolny. Mają również bardzo zróżnicowaną jakość, a co za tym idzie – zastosowanie (Peszat i in., 1976). Główną rolę jako materiał bloczny i do produkcji kruszyw odgrywają piaskowce godulskie, krośnieńskie, istebniańskie oraz magurskie (Bromowicz i Karwacki, 1981).

10.5.6. Stan rozpoznania geologicznego

Wyznaczone obszary perspektywiczne kamieni łamanych i blocznych mają różny stopień rozpoznania – ogólnie można stwierdzić, że są to obszary wstępnie rozpoznane zarówno otworami wiertniczymi, jak i badaniami geofizycznymi. Dla wyznaczonych obszarów przeprowadzono podstawowe, wskaźnikowe badania laboratoryjne. Wyróżniają się tu zdecydowanie obszary bezpośrednio przylegające do już udokumentowanych złóż, gdzie stopień rozpoznania wierceniami, czy wynikający z bieżącej eksploatacji, jest zdecydowanie wyższy.

10.5.7. Ocena zasobów i ich zmian

W porównaniu do poprzedniego wydania *Bilansu* (Tolkanowicz i in., 2011) wielkość zasobów prognozytycznych zwiększyła się o połowę i osiągnęła poziom 33,21 mld Mg (wzrost o 10,99 mld Mg). Wielkość zasobów perspektywicznych nie była raportowana dla 2009 r., a dla 2018 r. wyznaczona wielkość tych zasobów osiągnęła poziom 36,92 mld Mg (tab. 10.34).

Oszacowane zasoby perspektywiczne i prognozytyczne grupują się głównie w czterech województwach: dolnośląskim, małopolskim, śląskim i świętokrzyskim (zał. 6).

W województwie dolnośląskim zasoby perspektywiczne to głównie zasoby skał magmowych (granodioryty – 1687 mln Mg i granity – 1174 mln Mg). Zasoby perspektywiczne skał metamorficznych są niewielkie i wynoszą 713 mln Mg – głównie są to zasoby gnejsów 464 mln Mg. Zasoby perspektywiczne skał osadowych nie odgrywają istotnej roli. Jeśli chodzi o zasoby prognozytyczne, to proporcje udziału zasobów pod względem genetycznym skał są odwrotne – dominują tu skały metamorficzne (głównie gnejsy 23 552 mln Mg), skały magmowe mają mniejsze znaczenie (głównie granodioryty 3447 mln Mg), a skały osadowe nie występują wcale. Największe zasoby perspektywiczne i prognozytyczne występują na terenie czterech powiatów: kłodzkiego, strzeńskiego, świdnickiego, ząbkowickiego.

W województwie małopolskim dominują zasoby skał osadowych (wapienie i piaskowce) zarówno jeśli chodzi o zasoby prognozytyczne, jak i perspektywiczne. Dla piaskowców wyznaczono obszary perspektywiczne o łącznych zasobach 14 849 mln Mg, a zasoby prognozytyczne oszacowano na poziomie 330 mln Mg. Zasoby perspektywiczne wapieni to 4322 mln Mg, a zasoby prognozytyczne to 633 mln Mg. Mniejsze znaczenie mają zasoby perspektywiczne skał magmowych (diabazy, melafiry i porfiry), których łączne zasoby wynoszą 201 mln Mg. Największe zasoby perspektywiczne i prognozytyczne wyznaczono na terenie powiatów: krakowskiego, myślenickiego, nowosądeckiego, olkuskiego, suskiego, wadowickiego.

W województwie śląskim wyznaczono zbliżone do siebie wielkości zasobów perspektywicznych (4783 mln Mg) i prognozytycznych (4462 mln Mg). Są to praktycznie zasoby wyłącznie piaskowców: 4761 mln Mg zasobów perspektywicznych i 4462 mln Mg zasobów prognozytycznych. Wyznaczono je głównie na obszarze powiatu żywieckiego i bielskiego.

W województwie świętokrzyskim zasoby perspektywiczne wynoszą 6066,84 mln Mg, a zasoby prognozytyczne – 361 mln Mg. Są to wyłącznie zasoby skał osadowych – głównie wapieni i dolomitów (5007 mln Mg zasobów perspektywicznych i 315 mln Mg zasobów prognozytycznych), a podrzędnie – piaskowców (1060 mln Mg zasobów perspektywicznych i 46 mln Mg zasobów prognozytycznych). Największe zasoby udokumentowano na terenie czterech powiatów: jędrzejowskiego, kieleckiego, opatowskiego i staszowskiego.

W tabelach 10.34 i 10.35 zestawiono syntetyczne informacje o zasobach obszarów perspektywicznych i prognozytycznych występowania kamieni łamanych i blocznych.

Postęp technik i technologii górniczych oraz przerobczych wpływa na coraz większą produkcję, a co za tym idzie dostępność materiałów kamiennych – m.in. za sprawą masowego stosowania lekkich, mobilnych, uniwersalnych, wysokowydajnych i coraz częściej autonomicznych systemów maszynowych w górnictwie odkrywkowym, dużej swobody wyboru technologii i maszyn do urabiania kopalin, optymalizacji procesu wydobywczego i przerobczego z wykorzystaniem technologii informatycznych. Szczególnie szybki postęp technologii informatycznych umożliwia tańsze i szybsze geologiczne rozpoznanie górotworu, modelowanie złoża, projektowanie kopalni i planowanie rozwoju eksploatacji, monitorowanie i sterowanie urabianiem, przeróbką i logistyką transportu (Borcz i Kozioł, 2015, 2016; Glapa i Stefanicka, 2017).

Na rynku produktów wytwarzanych z kamieni łamanych i blocznych coraz większą rolę odgrywają substytuty tego surowca. Kamienie naturalne muszą na rynku budowlanym konkurować z innymi materiałami i technologiami: aluminium, stalą, cegłą, płytkami ceramicznymi, betonem, szkłem, tworzywami sztucznymi, żywicami, aglomeratami kamienia, itd. W segmencie kruszyw łamanych dla drogownictwa znaczącymi substytutami są piaski i żwir, żużle hutnicze, kruszywa recyklingowe, a w segmencie kruszyw łamanych dla budownictwa ogólnego są to dodatkowo m.in. kruszywa sztuczne. Bardzo silnie zaznacza się udział surowców wtórnych i odpadowych w produkcji materiałów budowlanych (Kukielska, 2017). Szczególnie intensywnie są wykorzystywane kruszywa z recyklingu (recykling: betonu, cegieł, asfaltobetonu, odpadów ceramicznych) – materiały te są przerabiane na miejscu i wbudowywane w nowe inwestycje – szacowany roczny uzysk odpadów budowlanych wynosi ponad 2,2 mln Mg, z czego gruz budowlany to ok. 0,7 mln Mg. Podobnie jest z kruszywami sztucznymi, powstającymi m.in. z modyfikacji surowców wtórnych z hutnictwa (żużel wielkopiecowy granulowany i kawałkowany, żużel stalowniczy, żużel pomiedziowy), energetyki (popioły lotne, mieszaniny popiołowo-żużłowe), górnictwa (łupki i inne skały) i gospodarki komunalnej (osady

Tab. 10.34. Zestawienie zasobów perspektywicznych i prognostycznych kamieni łamanych i blocznych w Polsce w układzie genetycznym oraz litologicznym

Typ litologiczny	Zasoby perspektywiczne		Zasoby prognostyczne	
	Liczba obszarów	Zasoby [mln Mg]	Liczba obszarów	Zasoby [mln Mg]
Skąły magmowe	22	3289	6	3458
Bazalt	1	3	4	11
Diabaz	1	24	–	–
Gabro	1	99	–	–
Granit	8	1175	–	–
Granodioryt	3	1687	2	3447
Melafir	5	122	–	–
Porfir	3	179	–	–
Skąły metamorficzne	14	765	12	23 905
Amfibolit	–	–	1	4
Gnejs	5	465	1	23 552
Gnejs, leukogranit	1	52	–	–
Kwarcyt	2	51	1	46
Marmur	2	26	1	1
Marmur dolomityczny	1	4	8	302
Marmur i wapień	2	77	–	–
Serpentynit	1	89	–	–
Skąły osadowe	190	32 867	41	5845
Dolomit	7	896	4	259
Margiel	2	49	–	–
Opoka	2	80	1	11
Opoka, wapień	1	25	–	–
Piaskowiec	125	21 539	24	4841
Piaskowiec kwarcytowy	3	580	5	45
Szarogłaz	2	522	–	–
Wapień	39	7286	4	633
Wapień i dolomit	9	1891	3	55
Razem	226	36 921	59	33 208

ściekowe, odpady ze spalarni; Machniak i Kozioł, 2014). Obecnie wielkość rocznej produkcji kruszyw sztucznych popiołowo-żużlowych można oszacować na ok. 7–10 mln Mg (Kukielska, 2017). Bardzo popularne są również tradycyjne kruszywa sztuczne pochodzenia mineralnego: keramzyt (gliniec), perlitoporyt (perlit ekspandowany) i wermikulitoporyt (wermikulit ekspandowany; Konieczny i Skolasińska, 2014). Surowce wtórne stanowią w stosunku do surowców naturalnych znaczącą bazę zasobową, potencjalna produkcja kruszyw na ich bazie może osiągnąć poziom ok. 30% rocznej produkcji kruszyw w Polsce, czyli poziom porównywalny z krajami o najwyższej produkcji w Europie (Kukielska, 2017).

Tab. 10.35. Zestawienie zasobów perspektywicznych i prognostycznych kamieni łamanych i blocznych w Polsce w podziale na województwa

Województwo	Zasoby perspektywiczne		Zasoby prognostyczne	
	Liczba obszarów	Zasoby [mln Mg]	Liczba obszarów	Zasoby [mln Mg]
Dolnośląskie	30	3966	17	27 317
Lubelskie	6	140	1	11
Łódzkie	5	127	–	–
Małopolskie	93	19 704	14	962
Mazowieckie	3	315	1	32
Opolskie	11	832	1	46
Podkarpackie	32	987	1	17
Śląskie	7	4783	8	4462
Świętokrzyskie	39	6067	16	361
Razem	226	36 921	59	33 208

10.5.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

1. Zasoby kamieni łamanych i blocznych są skoncentrowane głównie w czterech województwach: dolnośląskim, małopolskim, śląskim i świętokrzyskim. Udokumentowana baza zasobowa kamieni łamanych i blocznych jest relatywnie duża w stosunku do istniejącego zapotrzebowania. Polska ma duże zasoby opisywanych surowców. Zasoby bilansowych udokumentowanych złóż kamieni łamanych i blocznych w 2018 r. wyniosły 11 407,30 mln Mg. Zasoby wyznaczonych obszarów perspektywicznych to 36 921 mln Mg, a obszarów prognostycznych – 33 208 mln Mg.
2. W celu zabezpieczenia rezerw zasobów ważne jest, aby już wyznaczone obszary zostały uwzględnione w planach zagospodarowania przestrzennego jako tereny przeznaczone pod przyszłą eksploatację surowców mineralnych.
3. Złóża kamieni budowlanych i drogowych mają często charakter wielosurowcowy i uzyskany w wyniku eksploatacji materiał jest stosowany do produkcji bloków, kamienia łamanego na potrzeby budownictwa, drogownictwa, przemysłu wapienniczego lub chemicznego według zapotrzebowania rynku. Zamienne wykorzystywanie kopalin blocznych i łamanych jest niekorzystne, ponieważ stosowanie robót strzałowych w przypadku eksploatacji kruszywa wyklucza materiał bloczny.
4. Uwzględnianie wykorzystania kopalin blocznych w złóżach powinno odbywać się na etapie dokumentowania, a takie zasoby powinny być chronione i należałoby stworzyć ich stałą bazę danych.

Dariusz Brzeziński, Krzysztof Galos

10.6. KWARCYTY, PIASKOWCE KWARCYTOWE I ŁUPKI OGNIOTRWAŁE (*QUARTZITE, QUARTZITIC SANDSTONE AND QUARTZITIC SCHIST*)

Kopaliny kwarcytowe obejmują zróżnicowaną litologicznie grupę skał metamorficznych i osadowych, których podstawowym składnikiem (>95%) jest kwarc. Wyróżnia się tu: kwarcyty właściwe (metamorficzne), piaskowce kwarcytowe oraz łupki kwarcytowe.

10.6.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Największe znaczenie mają wystąpienia i złoża kambryjskich oraz dewońskich piaskowców kwarcytowych trzonu paleozoicznego Gór Świętokrzyskich, tworzące zespoły warstw o miąższości 15–25 m, zawierające zwykle 95–97% SiO_2 , o doskonałych właściwościach fizyczno-mechanicznych, miejscami cechujące się zawartością SiO_2 powyżej 98%, niską zawartością żelaza (<1%) i wysoką ogniotrwałością (>1770°C). W większości występują w obrębie parku narodowego lub parków krajobrazowych (Nieć, 2005).

Piaskowce kwarcytowe mioceńskie występują w rejonie Bolesławca na Dolnym Śląsku. Tworzą soczewki i nieciągłe poziomy wśród osadów piaszczystych, a powstały w wyniku sylikfikacji piasków kwarcowych. Były to najlepsze w Polsce kwarcyty ogniotrwałe wysokiej czystości. Obecnie mają tylko znaczenie historyczne (Nieć, 2005).

Kwarcyty właściwe (metamorficzne) występują w wielu rejonach Sudetów, m.in. w Górach Bardzkich, Bystrzyckich, Kaczawskich oraz w okolicy Strzelina. Tworzą soczewki w kompleksach łupkowych. Ze względu na niewielkie rozmiary nie mają one znaczenia gospodarczego (Nieć, 2005).

Łupki kwarcytowe występują w Sudetach w rejonie Jęglowej i Przeworna w kompleksie zmetamorfizowanych utworów dewońskich w osłonie strzelińskiego masywu granitowego. Miąższość serii łupków kwarcytowych wynosi 10–100 m, a zawartość SiO_2 – 87–99%. Przez dziesiątki lat duże znaczenie gospodarcze miało unikatowe złożo Jęglowa, którego eksploatację wstrzymano w 2013 r. (Nieć, 2005; Guzik i Galos, 2015).

10.6.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Na świecie złoża kwarcytów do zastosowań przemysłowych występują stosunkowo powszechnie, natomiast złoża łupków kwarcytowych są bardzo rzadkie. Informacje o zasobach tych kopaliny w poszczególnych krajach z reguły nie są dostępne.

Według *Bilansu zasobów* stan zasobów bilansowych ośmiu udokumentowanych złóż kwarcytów ogniotrwałych na koniec 2018 r. wyniósł 6590 tys. Mg i nie uległ zmianie od 2008 r. (Malon, 2019a). Udokumentowane złoża znajdują się na terenie dwóch województw: dolnośląskiego (4 złoża o łącznych zasobach 2152 tys. Mg) oraz świętokrzyskiego (4 złoża o łącznych zasobach 4438 tys. Mg). W Polsce występuje tylko jedno udokumentowane złożo łupków kwarcytowych – Jęglowa – położone w województwie dolnośląskim koło Strzelina. Według *Bilansu zasobów* stan zasobów bilansowych tego złoża według stanu na koniec 2018 r. wyniósł 8693 tys. Mg i nie uległ znaczącej zmianie od 2013 r. (Tymiński, 2019a).

Od 2008 r. nie prowadzono eksploatacji złóż udokumentowanych jako złoża kwarcytów przemysłowych. W latach 1989–2007 wydobyte mieściło się w przedziale 220–640 tys. Mg rocznie, przy średniej na poziomie ok. 420 tys. Mg/rok. W 2008 r. kopalinę ze złoża Bukowa Góra w województwie świętokrzyskim przeklasyfikowano z kwarcytu ogniotrwałego na piaskowiec kwarcytowy, a złożo zaliczono do złóż kamieni łamanych i blocznych. Roczne wydobyte z tego złoża w latach 2008–2017 wahało się w przedziale 600–1200 tys. Mg/rok. Część kopaliny selektywnie wydobywanej z tego złoża, po wzbogaceniu, nadal jest użytkowana jako kwarcyt przemysłowy i znajduje zastosowanie głównie w przemyśle hutniczym do wytopu żelazokrzemu oraz w przemyśle materiałów ogniotrwałych (łącznie do 100 tys. Mg/rok; Guzik i Galos, 2015).

Złożo łupków kwarcytowych Jęglowa było eksploatowane do 2013 r. (Dyląg, 2013). W latach 1989–2013 roczne wydobyte zawierało się w przedziale 2–40 tys. Mg, przy średniej na poziomie 13 tys. Mg/rok (Guzik i Galos, 2015). W 2017 r. złożo wciąż było objęte ważną koncesją eksploatacyjną. Łupki kwarcytowe były tam pierwotnie eksploatowane jako surowiec do obróbki i produkcji zapraw oraz moliw, a ostatnio głównie jako dekoracyjny kamień elewacyjny i ogrodowy sprzedawany jako grys, kruszywo łamane, kamień łamany, gładki, bloki i monolity.

10.6.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Głównymi kryteriami stosowanymi do wyznaczania złóż kwarcytów oraz łupków kwarcytowych są: minimalna miąższość złoża, stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża (N/Z), minimalna zawartość SiO_2 , maksymalna zawartość $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{alkalia}$. Niekiedy mogą występować odstępstwa od tych wskazań w zależności od lokalnych warunków i zapotrzebowania na surowiec o określonych właściwościach. *Rozporządzenie...* (2015a) określa graniczne wartości parametrów definiujących złoża i jego granice dla złóż kwarcytów, piaskowców kwarcytowych i łupków kwarcytowych (tab. 10.36).

Tab. 10.36. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża kwarcytów, piaskowców kwarcytowych i łupków kwarcytowych i ich granice (*Rozporządzenie...*, 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Minimalna miąższość złoża	m	5
Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża	–	0,5
Minimalna zawartość SiO_2	%	95
Maksymalna zawartość $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{alkalia}$	%	1

10.6.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Autorzy rozdziału nie widzieli merytorycznej potrzeby stosowania innych kryteriów niż wskazanych w rozdziale 10.6.3.

10.6.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Polska nie należy do krajów bardzo zasobnych w złoża kopalin kwarcytowych i pokrewnych. Znane są złoża i wystąpienia kwarcytów, piaskowców kwarcytowych i łupków kwarcytowych z Gór Świętokrzyskich i Sudetów. Na podstawie obecnego stanu wiedzy dla kwarcytów i łupków kwarcytowych nie wyznaczono obszarów prognostycznych. Wyznaczono natomiast cztery obszary perspektywiczne (tab. 10.37).

W obszarze perspektywicznym wyznaczonym w rejonie Łomna występują dolnodewońskie piaskowce kwarcytowe tej samej formacji, co piaskowce kwarcytowe występujące w złożu Bukowa Góra w Paśmie Klonowskim północnej części Gór Świętokrzyskich. Są to głównie górne ogniwa kompleksu piaskowcowego wyróżniane jako warstwy spiriferowe (formacja zagórzeńska; Nieć, 2002a). Piaskowce wraz z rozdzielającymi je łupkami bądź szarogłazami osiągają znaczne miąższości do 70–125 m (Błaszak i Olkiewicz-Paprocka, 1990). Drugi obszar perspektywiczny tej kopaliny wyznaczono w rejonie Barczy – jest to fragment zachodniej części Pasma Klonowskiego, gdzie wydzielono zasoby perspektywiczne piaskowców w obrębie centralnej i wschodniej kulminacji Barczy (Galos, 2011b). Rejon Łomna jest dobrze rozpoznany pod względem geologicznym. W jego najbliższym sąsiedztwie (Łomno, Stary Bostów, Nowy Bostów i Modrzewie) jest zlokalizowanych ok. stu otworów wiertniczych o różnych głębokościach, kilka otworów hydrogeologicznych, a dodatkowo obszar ten jest objęty pięcioma dokumentacjami sporządzonymi na podstawie wyników badań geoelektrycznych. W obrębie tzw. centralnej kulminacji Barczy do tej pory wykonano tylko wstępne geofizyczne badania elektrooporowe oraz kilka odwiertów geologicznych i hydrogeologicznych.

W Sudetach, w rejonie Wojborza, na zachód od Barda w Górach Bardzkich wyznaczono niewielki obszar perspektywiczny występowania sylurskich kwarcytów. Znajduje się on w obrębie struktury bardzkiej w skałach osadowych kompleksu sylursko-karbońskiego w bezpośrednim sąsiedztwie uskoku Wilczej. Jest on słabo rozpoznany pod względem geologicznym – w najbliższym sąsiedztwie nie wykonywano odwiertów geologicznych ani badań geofizycznych.

Tab. 10.37. Zestawienie zasobów perspektywicznych kwarcytów i łupków kwarcytowych w Polsce

Nazwa obszaru	Województwo	Wiek formacji	Wielkość zasobów perspektywicznych [mln Mg]
Barcza	świętokrzyskie	dewon	3
Łomno			14,05
Jegłowa	dolnośląskie		sylur
Wojbórz		1,50	
Razem			27,04

Obszar perspektywicznego występowania łupków kwarcytowych jest bezpośrednio związany z udokumentowanym w rejonie Strzelina złożem Jegłowa w obrębie tzw. warstw z Jegłowej. Do zasobów perspektywicznych zaliczono głębsze partie złoża Jegłowa oraz mały obszar wychodni łupków na zachód od złoża Jegłowa (Galos, 2011b). Poza udokumentowanym złożem Jegłowa rejon ten jest słabo rozpoznany geologicznie – wykonano tam wstępne badania geoelektryczne oraz kilka odwiertów geologicznych i hydrogeologicznych.

Na obszarze trzonu paleozoicznego Gór Świętokrzyskich w obrębie występowania skał kambryjskich nie wyznaczono żadnego obszaru perspektywicznego, pomimo prawie 40% udziału w profilu silnie zdiagenezowanych i zsylikowanych piaskowców ($96,6\text{--}98,4\%$ SiO_2 ; Błasak i Olkowicz-Paprocka, 1990), głównie z powodu konfliktów środowiskowych. Na obszarze niecki północnosudeckiej w rejonie Bolesławca i Ostrzeszowa, czyli w rejonie występowania udokumentowanych złóż mioceńskich piaskowców kwarcytowych, nie wyznaczono żadnego obszaru perspektywicznego. Kwarcyty występują tam w postaci soczew i nieciągłych warstw o zmiennej miąższości, a warunki eksploatacji są trudne ze względu na niewielkie rozmiary, nieregularność występowania oraz zawadnienie skał osadów otaczających (Galos, 2011b).

10.6.6. Stan rozpoznania geologicznego

Stan rozpoznania geologicznego wyznaczonych obszarów perspektywicznych jest wystarczający, a podjęcie dodatkowych prac dokumentacyjnych powinno spoczywać na inwestorach zainteresowanych przyszłym zagospodarowaniem górniczym tych obszarów. Potencjalnym wyjątkiem jest obszar perspektywiczny Barczy, gdzie dodatkowe prace rozpoznawcze mogłyby pozwolić na wyznaczenie co najmniej obszaru prognostycznego lub też udokumentowanie złoża w kategorii C_2 .

10.6.7. Ocena zasobów i ich zmian

W stosunku do poprzedniej edycji *Bilansu* (2011) ze stanem na koniec 2009 r. nastąpił przyrost zarówno liczby wyróżnianych obszarów perspektywicznych, jak i szacowanych w nich zasobów perspektywicznych kwarcytów i skał pokrewnych. Poza wyróżnianymi poprzednio obszarami perspektywicznymi piaskowców kwarcytowych w rejonie Barczy oraz łupków kwarcytowych w rejonie Jegłowej (Galos, 2011b), wyznaczono obszar perspektywiczny piaskowców kwarcytowych w rejonie Łomna (zasoby perspektywiczne szacowane na ok. 14,05 mln Mg) oraz niewielki obszar perspektywiczny kwarcytów w rejonie Wojborza (zasoby perspektywiczne szacowane na zaledwie ok. 1,5 mln Mg). Stąd łączna wielkość zasobów perspektywicznych zwiększyła się przeszło czterokrotnie, głównie za sprawą wyznaczenia obszaru Łomno. Jednak bardzo niekorzystnym czynnikiem towarzyszącym występowaniu dewońskich piaskowców kwarcytowych rejonu Pasma Klonowskiego w Górach Świętokrzyskich (obszar Barcza, obszar Łomno, złożo Bukowa Góra) jest ich występowanie na terenach dużych kompleksów leśnych, co znacznie ogranicza możliwości ich przyszłego zagospodarowania. W tabeli 10.38 zestawiono zasoby bilansowe, prognostyczne i perspektywiczne kwarcytów i łupków kwarcytowych w Polsce.

Tab. 10.38. Zasoby bilansowe, prognostyczne i perspektywiczne kwarcytów i łupków kwarcytowych wg stanu na 31.12.2018 r.

Województwo	Zasoby bilansowe		Zasoby prognostyczne		Zasoby perspektywiczne	
	liczba złóż	[mln Mg]	liczba obszarów	[mln Mg]	liczba obszarów	[mln Mg]
Dolnośląskie	5	10,85	–	–	2	9,99
Świętokrzyskie*	4	4,44	–	–	2	17,05
Razem	9	15,29	–	–	4	27,04

* bez złoża Bukowa Góra, przekwalifikowanego do złóż kamieni łamanych i błocznych

10.6.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Zainteresowanie kwarcytami i łupkami kwarcytowymi jako surowcami dla przemysłu materiałów ogniotrwałych oraz do produkcji żelazokrzemu jest bardzo silnie związane z kondycją hutnictwa oraz postępem technologicznym. W znaczącej mierze zapotrzebowanie polskiego przemysłu na najwyższej jakości surowce kwarcytowe jest zaspokajane importem. Utrzymuje się tendencja zmniejszania ilości zużywanych surowców kwarcytowych oraz podwyższania stawianych im wymagań jakościowych. Szczególną rolę odgrywa tu szybki postęp technologiczny w przemyśle materiałów ogniotrwałych. Coraz większą rolę odgrywa również efektywny i selektywny recykling oraz substytucja surowców w przemyśle materiałów ogniotrwałych – w Europie w 2015 r. ok. 20% surowców dla przemysłu materiałów ogniotrwałych pochodziła z recyklingu, a resztę stanowiły surowce pierwotne (Czechowski, 2015). Perspektywy dalszego użytkowania tych surowców do produkcji żelazokrzemu będą zależeć głównie od sytuacji ekonomicznej i konkurencyjności rynkowej jedynego krajowego producenta żelazokrzemu – Huty Łaziska.

Ewentualne poszerzenie bazy zasobowej praktycznie jest ograniczone tylko do rejonu Jęglowej. Jeśli nastąpi zmiana warunków rynkowych, a w szczególności wzrost zapotrzebowania na kwarcyty przemysłowe (co jest mało prawdopodobne), powinno być rekomendowane lepsze rozpoznanie dolnodewońskich piaskowców kwarcytowych w rejonie masywu Barczy, pod kątem wyznaczenia co najmniej obszaru prognostycznego lub też udokumentowania złoża w kategorii C₂.

Krzysztof Galos, Wojciech Miśkiewicz

10.7. PIASKI KWARCOWE DO PRODUKCJI BETONÓW KOMÓRKOWYCH (*QUARTZ SAND FOR CELLULAR CONCRETE MANUFACTURE*), PIASKI KWARCOWE DO PRODUKCJI WYROBÓW WAPIENNO-PIASKOWYCH (*QUARTZ SAND FOR LIME-SAND PRODUCTS MANUFACTURE*), PIASKI PODSADZKOWE (*FILLING SAND*)

10.7.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Piaski kwarcowe obejmują dużą grupę skał osadowych, okruchowych i luźnych. Piaski kwarcowe używane do produkcji betonów komórkowych lub wyrobów wapienno-piaskowych są wykorzystywane bezpośrednio, bez poddawania ich przeróbce. Wymagana jest w nich stosunkowo wysoka zawartość kwarcu (zwykle >90%), dopuszczalny 5–10% udział minerałów ilastych, udział frakcji ziarnowej 0,05–0,5 mm wyższy niż 65%, a udział ziaren >2 mm niższy niż 5% (Burkowicz, 2015a). Piaski podsadzkowe, używane w górnictwie do podsadzki hydraulicznej w wyrobiskach podziemnych, to także piaski kwarcowe o stosunkowo niewielkich wymaganiach co do parametrów jakościowych. Do ważniejszych wymagań należą: zawartość części roślin do 0,5%, ściśliwość 5–15% przy ciśnieniu 15 MPa i wodoprzepuszczalność 0,0004–0,007 cm/s (Burkowicz, 2015b).

Piaski kwarcowe do powyższych celów to piaski występujące głównie w utworach kenozoicznych. Z reguły najlepsze są odpowiednio czyste i drobnoziarniste piaski wodnolodowcowe i eoliczne (ze względu na równoziarnistość i dobre obtoczenie), w mniejszym stopniu – piaski rzeczne i lodowcowe. Nagromadzenia piasków tworzą często złoża o genezie wodnolodowcowej (pola i równiny sandrowe, wysokie tarasy pradolin), o miąższości zwykle od kilku do kilkunastu metrów. Zajmują one znaczące przestrzenie i tworzą charakterystyczne równiny fluwioglacjalne. Wraz z odległością od pól morenowych i sandrowych rośnie udział drobnej frakcji ziarnowej, co przy dobrym wysortowaniu oraz małej ilości substancji ilastych czyni takie piaski dobrym surowcem do produkcji betonów komórkowych i wyrobów wapienno-piaskowych, a także do podsadzania wyrobisk. Drugim ważnym typem genetycznym są piaski eoliczne rozpowszechnione na znacznych obszarach kraju. Cechują się dużą zawartością krzemionki, dobrym obtoczeniem i wysortowaniem ziaren, niską zawartością cząstek obcych, ale niekiedy podwyższoną zawartością pyłów (Kozłowski S., 1986d; Nieć, 2003b).

Nagromadzenia piasków kwarcowych zwykle występują bezpośrednio na powierzchni bądź pod niewielkim nadkładem, a warunki geologiczno-górniczne tych złóż są proste. Jednostki surowcowe występują niekiedy na dużych obszarach, zatem złoża w ich obrębie są wydzielane w sposób umowny, w zależności od zakresu przeprowadzonych prac geologicznych, dostępności obszaru ze względu na ochronę środowiska i zagospodarowanie przestrzenne oraz właściwości gruntów. Dodatkowo, ze względów ekonomicznych (koszt transportu), złoża piasków podsadzkowych są dokumentowane w odległości zwykle nieprzekraczającej 50 km od miejsca ich zastosowania w wyrobiskach podziemnych (Galos, 2011c).

10.7.2. Zasoby krajowe i ich wystarczalność

Na świecie złoża piasków kwarcowych do produkcji betonów komórkowych i wyrobów wapienno-piaskowych oraz piasków podsadzkowych są powszechne, a informacje o ich zasobach w poszczególnych krajach z reguły nie są dostępne.

W Polsce występują bardzo duże zasoby piasków kwarcowych do produkcji betonów komórkowych i wyrobów wapienno-piaskowych oraz piasków podsadzkowych. Tylko niewielka ich część jest udokumentowana. W przypadku piasków kwarcowych do produkcji betonów komórkowych i wyrobów wapienno-piaskowych zasoby udokumentowane znajdują się praktycznie w całym kraju, przy czym największe są skupione w środkowej i północnej Polsce, m.in. w województwach: mazowieckim, lubelskim, zachodniopomorskim, łódzkim, kujawsko-pomorskim, wielkopolskim i podlaskim. Według Malon (2019b) stan zasobów bilansowych 60 udokumentowanych złóż piasków kwarcowych do produkcji betonów komórkowych na koniec 2018 r. wynosił 137,60 mln m³ (przy gęstości 1,8 Mg/m³ ok. 247,68 mln Mg), w tym w 11 złożach zagospodarowanych 24,27 mln m³, przy zasobach przemysłowych 14,58 mln m³ (26,24 mln Mg). Wydobycie piasków kwarcowych do produkcji betonów komórkowych wyniosło w 2018 r. 455 tys. m³ (817 tys. Mg), a w ostatnich 10 latach mieściło się w przedziale 320–455 tys. m³/rok. Stan zasobów bilansowych

106 udokumentowanych złóż piasków kwarcowych do produkcji wyrobów wapienno-piaskowych na koniec 2018 r. wynosił 264,23 mln m³ (przy gęstości 1,8 Mg/m³ ok. 475,61 mln Mg), w tym w 24 złożach zagospodarowanych 43,80 mln m³, przy zasobach przemysłowych 22,05 mln m³ (39,69 mln Mg). Wydobycie piasków kwarcowych do produkcji wyrobów wapienno-piaskowych wyniosło w 2018 r. 561 tys. m³ (1010 tys. Mg), a w ostatnich 10 latach mieściło się w przedziale 520–905 tys. m³/rok. Wydobywane piaski ze złóż piasków kwarcowych są wykorzystywane praktycznie w całości w zakładach sąsiadujących z kopalniami do produkcji wymienionych wyrobów budowlanych.

Złoża piasków podsadzkowych są udokumentowane w niedalekiej odległości od obszarów podziemnej eksploatacji węgla kamiennego oraz rud metali, a więc w województwach dolnośląskim, małopolskim, opolskim i śląskim. Według Malon (2019c) stan zasobów bilansowych 31 udokumentowanych złóż piasków podsadzkowych na koniec 2018 r. wynosił 2515,08 mln m³ (przy gęstości 1,7 Mg/m³ ok. 4275,64 mln Mg), w tym w 9 złożach zagospodarowanych 511,96 mln m³, przy zasobach przemysłowych 73,59 mln m³ (125,10 mln Mg). Wydobycie piasków podsadzkowych wyniosło w 2018 r. 3021 tys. m³ (5136 tys. Mg), przy czym w ciągu ostatnich 10 lat odnotowano systematyczny spadek tego wydobycia z pułapu ponad 6500 tys. m³/rok.

Wystarczalność statyczna zasobów przemysłowych złóż zagospodarowanych piasków kwarcowych do produkcji betonów komórkowych i wyrobów wapienno-piaskowych na koniec 2018 r. przekraczała 40 lat, a piasków podsadzkowych – 24 lata. W przypadku całości zasobów bilansowych wystarczalność ta przekraczała 300 lat (w przypadku złóż piasków podsadzkowych – nawet 900 lat).

10.7.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Głównymi kryteriami stosowanymi dla wyznaczania złóż piasków kwarcowych do produkcji betonów komórkowych i wyrobów wapienno-piaskowych oraz piasków podsadzkowych są: minimalna miąższość złoża, stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża (N/Z), minimalna zawartość ziaren kwarcu, maksymalna zawartość pyłów mineralnych. Niekiedy mogą występować niewielkie odstępstwa od tych wskazań w zależności od lokalnych uwarunkowań. Podstawowe parametry dla złóż tych piasków wprowadzone *Rozporządzeniem...* (2015a) przedstawia tabela 10.39.

Tab. 10.39. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża piasków kwarcowych do produkcji betonów komórkowych i wyrobów wapienno-piaskowych oraz piasków podsadzkowych i jego granice
(*Rozporządzenie...*, 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Minimalna miąższość złoża	m	2,0
Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża	–	0,5
Minimalna zawartość ziaren kwarcu	%	90*
Maksymalna zawartość pyłów mineralnych	%	5

* do lipca 2005 r. – 85%

10.7.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Autorzy nie widzieli merytorycznej potrzeby stosowania innych kryteriów niż wskazane w rozdziale 10.7.3.

10.7.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Na terenie Polski piaski kwarcowe omawianej grupy występują głównie na Nizinie Polskiej (Siliwończuk, 1985). Jego północna część była objęta przez zlodowacenia północnopolskie. Największe nagromadzenia

Tab. 10.40. Zestawienie zasobów prognostycznych piasków kwarcowych do produkcji betonów komórkowych i wyrobów wapienno-piaskowych w Polsce

Obszar (powiat)	Województwo	Wiek formacji	Wielkość zasobów prognostycznych [mln m ³]	Rodzaj utworów
Bydgoski	kujawsko-pomorskie	czwartorzęd	3,74	pccwp, pcbk
Opolski	lubelskie		5,00	pccwp, pcbk
Puławski 1			1,38	pcbk
Puławski 2			5,12	pcbk
Pajęczański	łódzkie		4,15	pccwp, pcbk
Radomszczański			2,00	pccwp, pcbk
Makowski	mazowieckie		0,67	pccwp, pcbk
Łomżyński	podlaskie		5,24	pccwp, pcbk
Rybnicko-raciborski	śląskie		8,12	pccwp
Częstochowski			30,00	pccwp, pcbk
Włoszczowski	świętokrzyskie		0,60	pccwp, pcbk
Gryfiński	zachodniopomorskie		16,61	pccwp, pcbk
Razem			82,64	

pccwp – piaski kwarcowe do produkcji wyrobów wapienno-piaskowych, pcbk – piaski kwarcowe do produkcji betonów komórkowych

utworów wodnolodowcowych są zdeponowane w pradolinie Noteci-Warty i dolinach sandrowych Drwęcy i Gwdy. Natomiast południowa część (wyżyny środkowopolskie) jest związana z zasięgiem stadiału mazowiecko-podlaskiego.

Złoża piasków i żwirów eolicznych występują głównie na powierzchniach utworów wodnolodowcowych, które ulegały procesom wydymotwórczym. Występują one na dużych obszarach, m.in. w dorzeczu Wisły na Górnym Śląsku, na Nizinie Sandomierskiej, w rejonie radomsko-kieleckim, otwocko-radzymskim, w Puszczy Kampinoskiej, Puszczy Kurpiowskiej, okolicach Gostynina, Raciąży i na obszarze bydgosko-toruńskim. W dolinie Warty są to okolice Węglińca, Kalisza, i warciańsko-noteckich (Kozłowski S., 1986d).

Możliwości dokumentowania zasobów piasków kwarcowych, kopaliny powszechnie występującej w Polsce (z wyłączeniem Karpat) i spełniającej wymagania stawiane piaskom kwarcowym do produkcji wyrobów wapienno-piaskowych, betonów komórkowych i piasków podsadzkowych, są ogromne. Zatem celowe wydaje się określenie w ramach perspektywicznych jednostek surowcowych tylko zasobów prognostycznych piasków kwarcowych. Dla tych piasków na podstawie typowych kryteriów wyznaczono 12 obszarów prognostycznych w ośmiu województwach*. Największe obszary prognostyczne zlokalizowane są na terenie województw: śląskiego, zachodniopomorskiego, lubelskiego, łódzkiego i podlaskiego. Nazwy obszarów prognostycznych pochodzą od nazw powiatów, w których się znajdują (tab. 10.40).

W południowej i środkowej Polsce przeważają obszary perspektywiczne piasków pochodzenia eolicznego, a bardziej na północ – pochodzenia wodnolodowcowego. Dodatkowo, w bazie danych geośrodowiskowych (serwis e-MGŚP) wyróżniono 40 obszarów perspektywicznych piasków kwarcowych do produkcji betonów komórkowych i wyrobów wapienno-piaskowych w 11 województwach.

*Wyróżniono tu tylko obszary prognostyczne, dla których zweryfikowano dostępną informację geologiczną i dokonano ponownego oszacowania zasobów. Siedem z nich to obszary wydzielane w poprzedniej edycji *Bilansu*, a pozostałe pięć obszarów to obszary nowo wydzielone. Po wykonanej weryfikacji w zestawieniu nie znalazło się 13 obszarów prognostycznych wydzielonych w 2011 r.

W przypadku piasków podsadzkowych nie wydzielono żadnych obszarów prognostycznych, gdyż obecnie udokumentowana baza zasobowa tych piasków jest ogromna, a ich wykorzystanie gospodarcze systematycznie maleje (Burkowicz, 2015b). W bazie danych geośrodowiskowych (serwis e-MGŚP) wyróżniono siedem obszarów perspektywicznych piasków podsadzkowych w województwie dolnośląskim, w sąsiedztwie kopalń rud miedzi w rejonie Lubina i Polkowic.

10.7.6. Stan rozpoznania geologicznego

Baza zasobowa piasków kwarcowych do produkcji betonów komórkowych i wyrobów wapienno-piaskowych oraz piasków podsadzkowych w Polsce jest duża, nawet w przypadku złóż zagospodarowanych pozwalająca na wieloletnie zabezpieczenie zapotrzebowania na tego rodzaju piaski kwarcowe.

Obecnie nie ma potrzeby prowadzenia dodatkowych prac (wiertniczych, geofizycznych, dokumentacyjnych itp.), które mogłyby umożliwić udokumentowanie nowych złóż piasków kwarcowych do produkcji betonów komórkowych i wyrobów wapienno-piaskowych w obrębie obszarów prognostycznych przedstawionych w tabeli 10.40.

10.7.7. Ocena zasobów i ich zmian

W latach 2010–2018 udokumentowano siedem złóż piasków tego typu w województwach: lubelskim, mazowieckim, świętokrzyskim, warmińsko-mazurskim i zachodniopomorskim o łącznych udokumentowanych zasobach ok. 3,0 mln m³ (2,2% wszystkich zasobów). W poprzedniej edycji *Bilansu* wyróżniano 20 obszarów prognostycznych piasków kwarcowych do produkcji wyrobów wapienno-piaskowych oraz betonów komórkowych o łącznych zasobach 96,16 mln m³ (Galos, 2011c). W obecnej edycji *Bilansu* wyznaczono 12 obszarów prognostycznych o łącznych zasobach 82,64 mln m³, w tym dwa obszary w województwie śląskim o łącznych zasobach 38,12 mln m³, jeden obszar w województwie zachodniopomorskim o zasobach 16,61 mln m³ oraz trzy obszary w województwie lubelskim o łącznych zasobach 11,50 mln m³ (tab. 10.40).

Podobnie jak w poprzedniej wersji *Bilansu* (2011) nie wyróżniono obszarów prognostycznych piasków podsadzkowych, gdyż uznano to za niecelowe wobec ogromnej udokumentowanej bazy zasobowej oraz malejącego poziomu zapotrzebowania na ten surowiec.

W tabeli 10.41 zestawiono zasoby bilansowe i prognostyczne piasków kwarcowych do produkcji wyrobów wapienno-piaskowych, betonów komórkowych oraz piasków podsadzkowych w Polsce.

Tab. 10.41. Zasoby bilansowe i prognostyczne piasków kwarcowych do produkcji wyrobów wapienno-piaskowych, betonów komórkowych oraz piasków podsadzkowych wg stanu na 31.12.2018 r.

Kopalina	Zasoby bilansowe		Zasoby prognostyczne	
	liczba złóż	[mln m³]	liczba obszarów	[mln m³]
Piaski kwarcowe do produkcji wyrobów wapienno-piaskowych	106	264,23	12	82,64
Piaski kwarcowe do produkcji betonów komórkowych	60	137,60		
Piaski podsadzkowe	31	2 515,08	nie wyróżniono	

10.7.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Zapotrzebowanie na wydobycie piasków kwarcowych do produkcji wyrobów wapienno-piaskowych i betonów komórkowych kształtuje przede wszystkim koniunktura na rynku budownictwa. W ciągu ostatnich 10 lat wydobycie piasków kwarcowych do produkcji wyrobów wapienno-piaskowych oscylowało w szerokim przedziale 520–905 tys. m³/r. bez wyraźnej tendencji wzrostowej czy spadkowej (wyraźny spadek tego wydobycia odnotowano przed 2000 r.). Wyroby wapienno-piaskowe mają słabe właściwości termiczne oraz dużą wodochłonność, ale stosunkowo niskie są koszty ich produkcji (Burkowicz, 2015a). Wydobycie pia-

sków do produkcji betonów komórkowych kształtuje się na poziomie 320–455 tys. m³/r. Obecnie część zakładów wykorzystuje do produkcji materiałów budowlanych produkty z odzysku – pyły i popioły lotne z elektrowni i elektrociepłowni, co zmniejsza zapotrzebowanie na piaski naturalne (Galos i in., 2003).

Wydobycie piasków podsadzkowych od początku lat 90. XX w. systematycznie się zmniejsza. W ciągu ostatnich 10 lat spadło 2,5-krotnie do 3,0 mln m³ w 2018 r. Związane jest to przede wszystkim z ograniczeniem wydobycia w kopalniach węgla kamiennego oraz rud miedzi oraz – w mniejszym stopniu – z wykorzystywaniem do tych celów alternatywnych surowców, takich jak odpady górnicze oraz przerobcze, żużle i popioły granulowane, dodawanych do piasków podsadzkowych (Burkowicz, 2015b). Kopalina ta, jako surowiec lokalny, jest eksploatowana w niewielkiej odległości od miejsca przeznaczenia. Wydobycie to koncentruje się głównie w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym oraz Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym.

W związku z przedstawionymi wyżej trendami zapotrzebowania na piaski kwarcowe, a także wobec dysponowania udokumentowaną bazą zasobową pozwalającą zaspokoić to zapotrzebowanie nawet przez setki lat, nie ma potrzeby prowadzenia dodatkowych prac (wiertniczych, geofizycznych, dokumentacyjnych itp.). W przypadku piasków podsadzkowych niecelowe jest nawet wydzielanie obszarów prognostycznych tych piasków.



11. KOPALINY PRZEMYSŁU SZKLARSKIEGO

pod redakcją Krystyny Wołkowicz,
Tadeusza Smakowskiego i Krzysztofa Galosa

Krzysztof Galos

11.1. PIASKI SZKLARSKIE (*GLASS SAND*), PIASKOWCE SZKLARSKIE (*GLASS SANDSTONE*), PIASKI KWARCOWE DLA PRZEMYSŁU SZKLARSKIEGO (*QUARTZ SAND FOR GLASS INDUSTRY*)

11.1.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Kopalinami określanymi jako piaski szklarskie są piaski kwarcowe, drobno- i równoziarniste, wyróżniające się bardzo niską zawartością tlenków barwiących (głównie Fe_2O_3 i TiO_2). Za kopaliny tego rodzaju są uznawane także słabo zwięzłe piaskowce kwarcowe o lepiszczu ilastym, z których po rozkruszeniu i szlamowaniu, niekiedy także po dodatkowym wzbogacaniu, można uzyskać piaski szklarskie. Po zabiegach przeróbki i wzbogacania piaski szklarskie zawierają zazwyczaj co najmniej 98,5% SiO_2 oraz co najwyżej 0,05% Fe_2O_3 i 0,10% TiO_2 , przy uziarnieniu 0,1–0,5 mm (Wyszomirski i Galos, 2007b).

Piaski i piaskowce do produkcji piasków szklarskich są obecne przede wszystkim w utworach kredy i neogenu, podrzędnie także w utworach czwartorzędowych. Największe znaczenie mają piaski i piaskowce kwarcowe w utworach kredowych, przydatne do produkcji piasków szklarskich, które występują w niecce tomaszowskiej koło Tomaszowa Mazowieckiego (niemal 85% łącznych krajowych zasobów) oraz w niecce północnosudeckiej w rejonie Osiecznicy koło Bolesławca (ok. 10% zasobów; Nieć i Poręba, 2003).

Mniejsze znaczenie mają złoża piasków szklarskich: w morskich utworach miocénskich na Rostoczu i w rejonie Tarnobrzega, w miocénskich utworach pochodzenia lądowego w rejonach Żar i Ostrzeszowa oraz w krach utworów miocénskich wśród osadów lodowcowych na Pomorzu. W utworach czwartorzędowych wymagania stawiane piaskom szklarskim, ale tylko do produkcji szkła kolorowego (o zawartości $<1\%$ Fe_2O_3), spełniają niektóre piaski wodnolodowcowe (np. koło Ujścia Noteckiego) i wydmy, np. koło Wyszowa (Nieć i Poręba, 2003; Wyszomirski i Galos, 2007b).

11.1.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Na świecie złoża piasków kwarcowych do produkcji piasków szklarskich są powszechne, lecz informacje o ich zasobach w poszczególnych krajach z reguły nie są dostępne.

Według *Bilansu zasobów* zasoby bilansowe 37 udokumentowanych złóż piasków i piaskowców szklarskich na koniec 2018 r. wynosiły 647 262 tys. Mg, z niewielkim wzrostem w ciągu ostatnich 10 lat (Malon, 2019d), spowodowanym udokumentowaniem czterech nowych złóż (Parowa 1 – Pole II, IV; Leszkowice; Stefanów Ruszkowski; Mirosław AG), przy czym tylko pierwsze z nich zawiera kopalinę przydatną do produkcji piasków szklarskich wysokiej jakości. Zasoby piasków i piaskowców szklarskich znajdują się na terenie 10 województw, przy czym większość bazy zasobowej koncentruje się w niecce tomaszowskiej w województwie łódzkim (12 złóż piasków i piaskowców kredowych o łącznych zasobach 517 572 tys. Mg) oraz w niecce północnosudeckiej w województwie dolnośląskim (8 złóż piasków i piaskowców kredowych o łącznych zasobach 83 688 tys. Mg).

Obecnie prowadzi się eksploatację siedmiu złóż: Osiecznica II, Biała Góra I Wschód, Biała Góra II Wschód, Piaskownica-Zajęczków E, Unewel Zachód Las, Unewel Zachód Nowy oraz Mirosław AG. Łączne wydobywanie w latach 2008–2018 wahało się w przedziale 1,79–2,80 mln Mg/rok, z wyraźnym trendem wzrostowym. Część eksploatowanej kopaliny wykorzystywano do produkcji piasków kwarcowych do innych zastosowań niż przemysł szklarski (głównie piasków dla chemii budowlanej oraz piasków i żwirów filtracyjnych). Z kolei część piasków kwarcowych ze złoża piasków formierskich Grudzeń Las wykorzystywano do produkcji piasków szklarskich (Burkowicz i Galos, 2015a).

Wystarczalność statyczna zasobów przemysłowych złóż zagospodarowanych na koniec 2018 r. wynosiła 25 lat, natomiast całości zasobów bilansowych – ponad 230 lat.

11.1.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Głównymi kryteriami stosowanymi do wyznaczania złóż piasków i piaskowców szklarskich są: minimalna miąższość złoża, stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża (N/Z), minimalna zawartość ziaren kwarcu, maksymalna zawartość pyłów mineralnych. Podstawowe kryteria dla złóż tych piasków wprowadza-

zione *Rozporządzeniem...* (2015a) przedstawia tabela 11.1. Jednak w przypadku dokumentowania złóż piasków i piaskowców kwarcowych dla przemysłu szklarskiego najczęściej stosuje się dodatkowe kryteria, takie jak: maksymalna zawartość Fe_2O_3 i TiO_2 , maksymalna zawartość frakcji <0,1 mm, minimalna zawartość frakcji podstawowej 0,1–0,5 mm.

Tab. 11.1. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża piasków i piaskowców szklarskich i ich granice (*Rozporządzenie...*, 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Minimalna miąższość złoża	m	2,0
Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża	–	0,5
Minimalna zawartość ziaren kwarcu	%	90*
Maksymalna zawartość pyłów mineralnych	%	5

* do lipca 2005 r. – 85%

11.1.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Autor nie widział merytorycznej potrzeby stosowania innych kryteriów niż wskazane w rozdziale 11.1.3.

11.1.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Na terenie Polski piaski lub słabozwężle piaskowce szklarskie o parametrach jakościowych umożliwiających produkcję piasków kwarcowych szklarskich występują głównie w utworach kredowych niecki tomaszowskiej i niecki północnosudeckiej. Kluczowe znaczenie ma pierwszy z wymienionych obszarów. W rejonie tym kompleksowe badania poszukiawczo-rozpoznawcze obszarów występowania piasków i piaskowców szklarskich i formierskich przeprowadzono w latach 1973–1980, a w latach 80. XX w. wykonano kompleksową dokumentację tego obszaru (Poręba, 1989). Poza udokumentowanymi złożami wydzielono trzy obszary prognostyczne o łącznych zasobach prognostycznych 210 750 tys. Mg (tab. 11.2), a dodatkowo – jeden obszar perspektywiczny w rejonie Radoni (z zasobami ok. 60,5 mln Mg) oraz duży obszar jądra niecki o powierzchni ok. 5090 ha z potężnymi zasobami hipotetycznymi piasków i piaskowców szklarskich przekraczającymi 10 mld Mg.

Poza wymienionymi, obszar perspektywiczny występowania kredowych piasków i piaskowców kredowych można wyróżnić na wschód od Władysławy koło Osiecznicy (zasoby perspektywiczne ok. 3,7 mln Mg), a obszary perspektywiczne występowania mioceńskich piasków szklarskich: w rejonie Żar – dwa obszary perspektywiczne Mirostowice Górne i Stawnik o powierzchni odpowiednio 62,5 i 57,2 ha, a na Pomorzu – mały obszar perspektywiczny na południe od Sławna o powierzchni ok. 11 ha (w poprzedniej edycji *Bilansu* wydzielano tu dwa małe obszary prognostyczne).

Tab. 11.2. Zestawienie zasobów prognostycznych piasków i piaskowców szklarskich w Polsce

Nazwa obszaru	Województwo	Wiek formacji	Zasoby prognostyczne [mln Mg]
Radonia Pola A, B, C, E, F	łódzkie	kreda	51,06
Góry Trzebiatowskie Pola A, B, C, D			102,19
Wygnanów Pole A			57,50
Razem			210,75

11.1.6. Stan rozpoznania geologicznego

Baza zasobowa piasków i piaskowców kwarcowych do produkcji piasków szklarskich w Polsce jest stosunkowo duża, nawet w przypadku złóż zagospodarowanych pozwalająca na wieloletnie zabezpieczenie zapotrzebowania na piaski szklarskie.

Obecnie nie ma potrzeby prowadzenia dodatkowych prac wiertniczych, które mogłyby umożliwić udokumentowanie złóż piasków i piaskowców kwarcowych do produkcji piasków szklarskich w obrębie przedstawionych w tabeli 11.2 obszarów prognostycznych. Z drugiej strony obszar prognostyczny Radonia Pola A, B, C, E i F jest rozpoznany w stopniu pozwalającym na sporządzenie dokumentacji geologicznej w kategorii C₂, w ujęciu łącznym z udokumentowanym złożem Radonia. Analogicznie, dla obszaru prognostycznego Góry Trzebiatowskie Pola A, B, C i D oraz złoża udokumentowanego Góry Trzebiatowskie jest rekomendowane sporządzenie łącznej dokumentacji geologicznej.

Wobec dużego i rosnącego znaczenia przemysłu szklarskiego w Polsce należy podjąć wszelkie możliwe kroki mające na celu ochronę dostępu do złóż rezerwowych i obszarów prognostycznych tej kopaliny w niecce tomaszowskiej i niecce północnosudeckiej.

11.1.7. Ocena zasobów i ich zmian

W stosunku do poprzedniej edycji *Bilansu* ze stanem na koniec 2009 r. (Galos, 2011d) nastąpiło ograniczenie liczby wyróżnianych obszarów prognostycznych piasków i piaskowców szklarskich (z 5 do 3) oraz łącznej wielkości szacowanych zasobów prognostycznych – z 212,1 do 210,7 mln Mg. W obecnej edycji wyróżniano trzy duże obszary prognostyczne w niecce tomaszowskiej, natomiast zrezygnowano z wyróżniania dwóch niewielkich obszarów prognostycznych w rejonie Sławna na Pomorzu (obecnie wyróżnia się tam obszar perspektywiczny). W tabeli 11.3 zestawiono zasoby bilansowe i prognostyczne piasków i piaskowców szklarskich w Polsce. W przypadku obszarów perspektywicznych, zasoby oszacowano tylko dla obszarów Radonia Pole G koło Opoczna (ok. 60,5 mln Mg) i Władysława koło Osiecznicy (ok. 3,7 mln Mg), a dla pozostałych obszarów perspektywicznych ograniczono się do podania ich powierzchni i konturu w bazie danych geosrodowiskowych.

Tab. 11.3. Zasoby bilansowe i prognostyczne piasków i piaskowców szklarskich wg stanu na 31.12.2018 r.

Zasoby bilansowe		Zasoby prognostyczne	
liczba złóż	[mln Mg]	liczba obszarów	[mln Mg]
37	647,3	3	210,7

Część eksploatowanej kopaliny wykorzystywano do produkcji piasków kwarcowych do innych zastosowań niż przemysł szklarski (piaski dla chemii budowlanej, piaski i żwirki filtracyjne, inne piaski przemysłowe). Z kolei z części piasków kwarcowych ze złoża piasków formierskich Grudzeń Las produkowano piaski szklarskie (Burkowicz i Galos, 2015a). Przy eksploatowanych złożach w niecce północnosudeckiej i tomaszowskiej są zlokalizowane zakłady przeróbcze (Osiecznica, Biała Góra, Grudzeń Las i Zajączków), w których są wytwarzane piaski szklarskie wysokiej jakości, przydatne do produkcji szkła płaskiego, technicznego, gospodarczego oraz opakowaniowego bezbarwnego. Łączna produkcja piasków szklarskich w Polsce systematycznie rośnie i w ostatnim czasie zbliża się do 2,5 mln Mg/rok w wyniku nieustającego rozwoju krajowego przemysłu szklarskiego, głównie w zakresie szkła płaskiego oraz opakowań szklanych. Trend ten powinien być kontynuowany w najbliższym czasie, choć w przypadku opakowań szklanych rośnie znaczenie stłuczki szklanej jako składnika wsadu surowcowego. Z drugiej strony przemysł szklarski potrzebuje piasków szklarskich wysokiej jakości, które mogą być w Polsce otrzymywane praktycznie wyłącznie z kopaliny ze złóż znajdujących się w niecce północnosudeckiej lub niecce tomaszowskiej (Burkowicz i Galos, 2015a).

11.1.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Polska jest krajem bogatym w piaski i piaskowce do produkcji piasków szklarskich, a złoża udokumentowane występują głównie w utworach kredowych. Łączne zasoby piasków i piaskowców szklarskich w 37 złożach udokumentowanych na 31.12.2018 r. wynosiły 647,3 mln Mg, w tym 94% w utworach kredowych.

Zasoby prognostyczne piasków i piaskowców do produkcji piasków szklarskich w Polsce są szacowane obecnie na 210,75 mln Mg i występują wyłącznie w niecce tomaszowskiej.

Obszar prognostyczny Radonia Pola A, B, C, E i F jest rozpoznany w stopniu pozwalającym na sporządzenie dokumentacji geologicznej w kategorii C₂, w ujęciu łącznym z udokumentowanym złożem Radonia. Także dla obszaru prognostycznego Góry Trzebiatowskie Pola A, B, C i D oraz złoża udokumentowanego Góry Trzebiatowskie rekomendowane jest sporządzenie łącznej dokumentacji geologicznej.

Krzysztof Galos, Ewa Lewicka

11.2. PIASKI FORMIERSKIE (*FOUNDRY SANDS*), PIASKI DLA ODLEWNICTWA (*MOULDING SANDS*)

11.2.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Piaski formierskie to piaski kwarcowe, w których skład wchodzi ziarna frakcji piaszczystej 0,02–3 mm (>65% wag.) oraz spoiwo, czyli ziarna mniejsze od 0,02 mm. Charakteryzują się wysoką temperaturą spiekania, dzięki czemu nadają się do wykonywania form i rdzeni odlewniczych. W zależności od ilości spoiwa i zawartości węglanów piaski te dzieli się na dwa główne typy: czyste piaski kwarcowe (do 2% spoiwa) i piaski zailone, zwane naturalnymi (o lepisczu naturalnym, 2–35% minerałów ilastych).

Podstawowe znaczenie złożowe mają piaski formierskie w utworach kredy, jury, miocenu i czwartorzędu. Większość znajduje się w centralnej i południowej Polsce (Galos i Lewicka E., 2011a; Malon, 2019e). Złoża piasków formierskich występują w różnych formacjach geologicznych, co powoduje ich zróżnicowanie pod względem litologicznym i genetycznym. Wyróżnia się piaski pochodzenia syngenetycznego: lądowe i morskie, oraz piaski powstałe w wyniku procesów epigenetycznych: zwietrzelinowe i krasowe.

Pochodzenia lądowego są czwartorzędowe piaski akumulacji eolicznej, lodowcowej i wodnolodowcowej udokumentowane w okolicy Jaworzna oraz w dolinie Małej Panwi, a także piaski mioceńskie w rejonie Konina, Węglińca, Sulechowa i Węgorzewa Koszalińskiego. Piaski pochodzenia morskiego różnego wieku są znane z Wyżyny Lubelskiej. Piaski zwietrzelinowe tworzą się na wychodniach słabo zdiagenezowanych piaskowców jurajskich i kredowych, głównie w niecce tomaszowskiej i bolesławieckiej oraz koło Krzeszówka na Dolnym Śląsku. Piaski krasowe wypełniają obniżenia i kotły krasowe w utworach jurajskich, np. w wapieniach z rejonu częstochowskiego. Różnego wieku (jurajskie, kredowe, paleogeńskie) i pochodzenia są niewielkie złoża redeponowanych piasków formierskich występujące m.in. w rejonie Lubartowa, Iłży, Lubaczowa i Włoszczowej (Nieć i Poręba, 2003).

11.2.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Na świecie złoża piasków kwarcowych do produkcji piasków formierskich są powszechne, lecz informacje o ich zasobach w poszczególnych krajach z reguły nie są dostępne.

Według *Bilansu zasobów* (Malon, 2019e) zasoby piasków i piaskowców formierskich w 73 złożach udokumentowanych według stanu na koniec 2018 r. wynosiły 301,84 mln Mg, w tym w pięciu złożach zagospodarowanych 49,60 mln Mg, przy zasobach przemysłowych 18,6 mln Mg. Ok. 39% łącznych zasobów bilansowych i ponad 90% zasobów przemysłowych występuje w dziesięciu złożach niecki tomaszowskiej, z których w 2018 r. eksploatowane były dwa – Grudzeń-Las i Ludwików-pole B. Dostarczyły one ok. 74% krajowego wydobycia tych kopaliny. Pozostała część wydobycia pochodziła ze złoża Szczakowa w województwie małopolskim. 17% udziału w krajowych zasobach piasków formierskich miały złoża udokumentowane w województwie śląskim (wg stanu na 31.12.2018 r. łącznie 50,7 mln Mg w 45 złożach). Żadne z nich nie było w 2018 r. eksploatowane. Krajowe wydobycie piasków formierskich w 2018 r. wyniosło 1,05 mln Mg, a w ostatnich 10 latach wahało się w przedziale 1,0–1,3 mln Mg/rok.

Wystarczalność statyczna zasobów przemysłowych złóż zagospodarowanych na koniec 2018 r. wynosiła 21 lat, natomiast całości zasobów bilansowych – niemal 300 lat.

11.2.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Głównymi kryteriami stosowanymi dla wyznaczania złóż piasków formierskich są: minimalna miąższość złoża, stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża (N/Z), minimalna zawartość ziaren kwarcu, maksymalna zawartość pyłów mineralnych. Niekiedy mogą występować niewielkie odstępstwa od tych wskazań w zależności od lokalnych uwarunkowań. Podstawowe kryteria dla złóż tych piasków wprowadzono *Rozporządzeniem...* (2015a) przedstawia tabela 11.4.

Tab. 11.4. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża piasków formierskich i jego granice (Rozporządzenie..., 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Minimalna miąższość złoża	m	2,0
Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża	–	0,5
Minimalna zawartość ziaren kwarcu	%	85
Maksymalna zawartość pyłów mineralnych	%	5

11.2.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Autorzy nie widzieli merytorycznej potrzeby stosowania innych kryteriów niż wskazane w rozdziale 11.2.3.

11.2.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Na terenie Polski największe możliwości zwiększenia krajowej bazy zasobowej piasków formierskich są związane przede wszystkim z dość dobrze rozpoznanym obszarem występowania piasków jurajskich pomiędzy Gorzowem Śląskim koło Kluczborka a Żarkami koło Myszkowa, a także z obszarem występowania piasków i słabozwięzłych piaskowców kredowych w niecce tomaszowskiej (Nieć i Poręba, 2003).

Po ponownej dokładniejszej analizie dostępnych materiałów źródłowych w pierwszym z wymienionych obszarów wyznaczono łącznie 10 obszarów prognostycznych występowania jurajskich piasków warstw kościeliskich i łysieckich, w trzech rejonach: dwa obszary na wschód od Olesna w rejonie Bodzanowice, sześć obszarów na południowy zachód od Częstochowy oraz dwa obszary na południe od Częstochowy, na granicy z powiatem myszkowskim (Romanów, Jastrząb). Łączne zasoby prognostyczne dolnojurajskich piasków kwarcowych w tym regionie szacuje się obecnie na ok. 289,56 mln Mg (tab. 11.5). Wyznaczono tu także siedem niewielkich obszarów perspektywicznych o łącznej powierzchni 127 ha na północ od Żarek w województwie śląskim oraz jeden duży obszar perspektywiczny takich piasków (o powierzchni 521 ha) na północny zachód od Gorzowa Śląskiego w województwie opolskim.

Tab. 11.5. Zestawienie zasobów prognostycznych piasków formierskich w Polsce

Obszar	Województwo	Wiek formacji	Zasoby prognostyczne [mln Mg]
Bodzanowice I	opolskie	jura	7,02
Bodzanowice II			30,42
Aleksandria	15,66		
Jamki	22,97		
Konopiska	132,40		
Łysiec	46,44		
Rększowice	3,87		
Romanów	2,88		
Czarna Wieś	15,23		
Jastrząb	12,67		
Razem			289,56

Perspektywy udokumentowania złóż piasków formierskich w niecce tomaszowskiej przedstawiono w rozdziale dotyczącym piasków szklarskich, dla których w pierwszej kolejności ustalano obszary perspektywiczne i prognostyczne. W obrębie poszczególnych obszarów 60–80% szacowanych zasobów piasków kwarcowych odpowiada wymaganiom stawianym piaskom formierskim (Galos i Lewicka E., 2011a).

Ograniczone możliwości udokumentowania piasków formierskich są związane z wystąpieniami czwartorzędowych utworów rzecznych i wydmych, stanowiących małe fragmenty dużych obszarów zalegania takich piasków niemal w całej Polsce. Dotyczą one także słabozwężłych piaskowców środkowej jury o lepiszczu ilastym, w rejonach Skarżyska-Wąchocka oraz Zębca-Ostrowca Świętokrzyskiego. W tych przypadkach nie wyznaczono jednak obszarów prognostycznych. Nie wyznaczono obszarów prognostycznych naturalnych piasków formierskich (silnie zailonych), których nagromadzenia występują wyłącznie na Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej, między Częstochową i Żarkami. Wypełniają tam formy krasowe w wapieniach jury górnej. Równocześnie na tym obszarze znajdują się zespół Jurajskich Parków Krajobrazowych oraz ściśle rezerwaty przyrody, co wyklucza prowadzenie prac rozpoznawczych i dokumentacyjnych (Galos i Lewicka E., 2011a).

11.2.6. Stan rozpoznania geologicznego

Baza zasobowa piasków formierskich w Polsce jest stosunkowo duża, nawet w przypadku złóż zagospodarowanych pozwalająca na wieloletnie zabezpieczenie zapotrzebowania na tego rodzaju surowce. Nie rekomenduje się zatem dalszych prac poszukiwawczo-rozpoznawczych w wyznaczonych obszarach prognostycznych i perspektywicznych.

Należy natomiast podjąć wszelkie możliwe kroki mające na celu ochronę dostępu do złóż rezerwowych i obszarów prognostycznych tej kopaliny, zwłaszcza w niecce tomaszowskiej oraz w rejonie Gorzów Śląski-Żarki.

11.2.7. Ocena zasobów i ich zmian

W poprzedniej edycji *Bilansu* ze stanem na koniec 2009 r. wyróżniano pięć obszarów prognostycznych piasków formierskich między Gorzowem Śląskim a Żarkami, o łącznych zasobach 509,57 mln Mg (Galos i Lewicka E., 2011a). Od tego czasu nie udokumentowano żadnego nowego złoża piasków formierskich. Po ponownej, dokładniejszej analizie dostępnych materiałów źródłowych w obecnej edycji *Bilansu* na tym samym obszarze wyróżniono 10 mniejszych obszarów prognostycznych o łącznych zasobach 289,56 mln Mg, w tym dwa obszary w województwie opolskim o łącznych zasobach 37,44 mln Mg oraz osiem obszarów w województwie śląskim o łącznych zasobach 252,12 mln Mg (tab. 11.5), a dodatkowo osiem obszarów perspektywicznych.

W tabeli 11.6 zestawiono zasoby bilansowe i prognostyczne piasków formierskich w Polsce.

Udokumentowana baza zasobowa piasków formierskich jest relatywnie duża w stosunku do obecnego zapotrzebowania na te piaski. Stąd brak rekomendacji prowadzenia dalszych prac rozpoznawczych w wyznaczonych obszarach prognostycznych.

Wydobycie piasków formierskich w ostatnich latach wykazywało dość dużą zmienność – od 1,0 do 1,4 mln Mg/rok. Zapotrzebowanie na te piaski maleje w tradycyjnym zakresie użytkowania – produkcji odlewów żeliwnych, staliwnych i z metali nieżelaznych. Obecnie w coraz większym stopniu piaski te są wykorzystywane w innych dziedzinach niż odlewnictwo, zwłaszcza w chemii budowlanej (Burkowicz, 2015d).

Tab. 11.6. Zasoby bilansowe i prognostyczne piasków formierskich w Polsce wg stanu na 31.12.2018 r.

Zasoby bilansowe		Zasoby prognostyczne	
liczba złóż	[mln Mg]	liczba obszarów	[mln Mg]
73	301,84	10	289,56

11.2.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Polska jest krajem bogatym w piaski formierskie, a złoża udokumentowane występują głównie w utworach kredowych, paleogeńskich, neogeńskich i czwartorzędowych. Według stanu na koniec 2018 r. łączne zasoby piasków formierskich w 73 udokumentowanych złożach wynosiły 301,84 mln Mg, w tym 39% w utworach kredowych niecki tomaszowskiej.

Zasoby prognostyczne piasków formierskich w Polsce obecnie są szacowane na 289,56 mln Mg i występują wyłącznie w utworach jurajskich w rejonie Gorzów Śląski-Żarki.

Baza zasobowa piasków formierskich w Polsce jest stosunkowo duża, pozwalająca na wieloletnie zabezpieczenie zapotrzebowania na tego rodzaju piaski kwarcowe. Nie rekomenduje się zatem dalszych prac poszukiwawczo-rozpoznawczych w wyznaczonych obszarach prognostycznych i perspektywicznych. Wskazane jest natomiast podjęcie kroków na rzecz ochrony dostępu do złóż rezerwowych i obszarów prognostycznych tej kopaliny, zwłaszcza w niecce tomaszowskiej oraz w rejonie Gorzów Śląski-Żarki.

Krystyna Wołkowicz, Cezary Sroga

11.3. KWARC ŻYŁOWY (*VEIN QUARTZ*)

Nazwą kwarc żyłowy (dawniej kwarzec) określa się krystaliczną odmianę krzemionki SiO_2 stanowiącą wypełnienie żył w masywach skalnych.

11.3.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Złoża kwarcu żyłowego i inne jego wystąpienia o znaczeniu surowcowym są znane jedynie z Sudetów i z bloku przedsudeckiego, gdzie są obecne przede wszystkim w krystalicznych utworach prekambriu (gnejsach, łupkach) i paleozoiku (granitoidach, mylonitach, brekcjach). Wyróżnia się kilka etapów formowania żył: najstarszy – przedwaryscyjski oraz dwa młodsze – waryscyjskie. Często w obrębie tej samej żyły może występować kilka różnowiekowych generacji kwarcu o zróżnicowanych właściwościach: kwarc drobno-krystaliczny, gruboziarnisty i wielokrystaliczny. Żyły charakteryzują się zmienną miąższością, stromym upadem, złożoną budową wewnętrzną zależną od wielu czynników geologicznych (np. czasu ich powstania i stopnia zaburzeń tektonicznych). W kwarcu powszechnie występują wrostki stałe (np. hematyt, łyszczyki) oraz fluidalne, co skutkuje zmienną jakością kopaliny i koniecznością selektywnego wykorzystania poszczególnych odmian.

Wystąpienia kwarcu żyłowego o znaczeniu przemysłowym są znane z bloku karkonosko-izerskiego oraz z północnej części strefy kaczawskiej na bloku przedsudeckim (gnejsy Wądroża Wielkiego, masyw granitoidowy Strzegom-Sobótka). Największe znaczenie ma złożo Stanisław na Rozdrożu Izerskim wykształcone w wielokrotnie odnawianej strefie tektonicznej. Kwarc kilku generacji wypełnia główną szczelinę tektoniczną na granicy łupków i gnejsów izerskich oraz szereg szczelin równoległych (Szałamacha J. i Szałamacha M., 1966; Szepietowska, 1984). Złożo w Taczalinie koło Legnicy ma formę żyły o długości 1,3 km w osłonie skaolinizowanych gnejsów (Stachowiak R., 1987).

11.3.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Na świecie żyłowe złoża kwarcu krystalicznego są powszechne, lecz informacje o ich zasobach w poszczególnych krajach nie są dostępne. Nie prowadzi się statystyk produkcji (wydobycia) surowców kwarcowych, a także brak jest informacji o światowych obrotach kwarcem żyłowym. Są one zwykle ograniczone do wymiany wewnątrzregionalnej czy lokalnej (Guzik i Galos, 2015).

Krajowe zasoby bilansowe kwarcu żyłowego w pięciu udokumentowanych złożach według stanu na koniec 2018 r. wynosiły 5,61 mln Mg, a zasoby przemysłowe – 1,72 mln Mg (Malon, 2019g). Do 2005 r. surowce kwarcowe produkowano na bazie kwarcu krystalicznego (żyłowego) ze złóż Stanisław i Taczalin. Uzyskiwano tłuczeń i kliniec do produkcji żelazokrzemu, a także wysokogatunkowe mączki i grysy dla przemysłu ceramicznego (ceramika szlachetna, użytkowa i techniczna), materiałów ogniotrwałych, szklarskiego (szkło szlachetne), chemicznego i elektrotechnicznego. W latach 2014–2015 wznowiono wydobycie kwarcu ze złoża Taczalin, ale od trzech lat eksploatację zaniechano. Zakładając zużycie kwarcu krystalicznego na poziomie sprzed 2005 r., w granicach 18–67 tys. Mg rocznie (Ney i Smakowski, 2007), można szacować wystarczalność zasobów bilansowych tej kopaliny w złożach krajowych na 80–310 lat.

11.3.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Rozporządzeniem... (2015a) dla złóż kwarcu żyłowego wprowadzono graniczne wartości parametrów definiujących złożo: maksymalną głębokość udokumentowania (w stosunku do najniższej położonego punktu terenu w granicach złoża), minimalną miąższość złoża, minimalną zawartość krzemionki SiO_2 i maksymalną zawartość tlenku żelaza Fe_2O_3 . Wartości te zastawiono w tabeli 11.7.

11.3.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Autorzy nie widzą merytorycznej potrzeby stosowania innych kryteriów niż wskazane w rozdziale 11.3.3.

Tab. 11.7. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża kwarcu żyłowego i jego granice (Rozporządzenie..., 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Maksymalna głębokość udokumentowania (w stosunku do najniższej położonego punktu terenu w granicach złoża)	m	50
Minimalna miąższość złoża	m	2
Minimalna zawartość SiO_2	%	95
Maksymalna zawartość Fe_2O_3	%	1,0

11.3.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Stan rozpoznania zasobów prognostycznych i perspektywicznych kwarcu żyłowego w ostatnim dziesięcioleciu się nie zmienił. Zasoby te występują wyłącznie w regionie dolnośląskim. Do obszarów prognostycznych można zaliczyć wystąpienia kwarcu w Rębiszowie, Morawie koło Strzegomia, a także w rejonie Mikołajowic (tab. 11.8).

Żyła kwarcu w Rębiszowie zalega w strefie uskokowej w gnejsach izerskich. Przebiega równoleżnikowo, ma niemal pionowy upad i osiąga szerokość do 45 m. Rozpoznano ją robotami wiertniczymi i gómiczymi na długości 110 m. Kwarc w obrębie żyły jest gruboziarnisty, mleczny (mlecznoszary) i zawiera średnio: SiO_2 98,19%, Al_2O_3 0,93%, Fe_2O_3 0,10% i TiO_2 0,05%. Surowiec nadaje się do produkcji materiałów ogniotrwałych, żelazostopów, mączki kwarcowej i kwarcu technicznego, a jego zasoby do głębokości 26 m wynoszą 334 tys. Mg (Herman, 1972; Kościółko i in., 1989a).

Żyła kwarcu w Morawie występuje w granitoidach strzegomskich. Jej długość według badań geofizycznych wynosi łącznie 735 m (300+435 m), szerokość stwierdzona rowami – od kilku do 20 m, upad stromy, ku SE (Borek, 1975). Jakość kopaliny (średnia z 29 próbek) była nieco gorsza od ówczesnych wymagań przemysłu materiałów ogniotrwałych oraz hutnictwa i wynosiła: SiO_2 95,15%, Al_2O_3 2,20%, Fe_2O_3 0,53%, a suma Al_2O_3 i TiO_2 (z 6 próbek) – od 0,41 do 0,76%. Brak jest danych o jakości w głębszych poziomach żyły. Zasoby kopaliny oszacowano na ok. 300 tys. Mg.

Żyły kwarcowe w rejonie Mikołajowic są niemal pionowe w obrębie częściowo skaolinizowanych gnejsów. Spośród kilkunastu wystąpień, okonturowanych badaniami geofizycznymi i rozpoznanych rowami poszukiwawczymi, perspektywy surowcowe można wiązać z trzema zespołami żył: tzw. Mikołajowice W, Mi-

Tab. 11.8. Zestawienie zasobów prognostycznych i perspektywicznych kwarcu żyłowego

Nazwa obszaru	Zasoby [tys. Mg]	
	prognostyczne	perspektywiczne
Woj. dolnośląskie		
Rębiszów	334	–
Oleszna Podgórska	–	200
Barcinek	–	290
Taczalin	–	600
Mikołajowice W	409	–
Mikołajowice E	1643	–
Ugorek	186	–
Wądroże Wielkie	–	240
Morawa	300	–
Razem	2872	1330

kołajowice E i Ugorek. Łączne zasoby kopaliny do głębokości 50 m wynoszą tu 2,24 mln Mg (odpowiednio: 409 tys., 1643 tys. i 186 tys. Mg). Najczystsze partie kopaliny (kwarc wielkokrystaliczny) po odpowiedniej przeróbce nadają się do produkcji szkła lampowego i optycznego, gorsze – do produkcji ceramiki szlachetnej (Kozma i in., 1990).

Do obszarów perspektywicznych można zaliczyć wystąpienia kwarcu w Olesznej Podgórskiej, Barcinu, Taczalinie i Wądrożu Wielkim (tab. 11.8).

Żyłę kwarcu w Olesznej Podgórskiej rozpoznano wierceniami, wkopami i rowami na długości 60 m. Występuje ona w szczelinie tektonicznej na kontakcie łupków łyszczykowych i leukogranitów. Miąższość nadkładu to średnio 0,6 m, a grubość żyły 1,5–16,0 m. Najczystsze partie kopaliny nadawały się do produkcji kryształów kwarcu technicznego i miały zastosowanie w elektronice (Kochanowska i Szepietowska, 1977). Zasoby perspektywiczne do głębokości 30 m szacuje się na ok. 200 tys. Mg (Kościówko i in., 1989a).

W rejonie Barcinka do wystąpień perspektywicznych można zaliczyć żyły na wzgórzu Bojanka, na południe od Gęsiej Góry i tzw. żyłę główną w Barcinu. Łączne zasoby perspektywiczne do głębokości 25 m szacuje się tu na 290 tys. Mg, w tym żyły głównej na 150 tys. Mg przy jej długości ok. 400 m i szerokości 6 m. Zawartość SiO_2 wynosi 83–99%, Al_2O_3 0,8–9,3%, a Fe_2O_3 0,14–1,27% (Kościówko i in., 1989a, b).

Na przedłużeniu złoża w Taczalinie, w strefie tektonicznej o długości 700 m zalega żyła kwarcowa, której zasoby perspektywiczne ocenia się na ok. 600 tys. Mg. Z kolei w najbliższym sąsiedztwie złoża w Wądrożu Wielkim występuje wiązka żył o zasobach rzędu 240 tys. Mg (Jerzmański, 1993a).

Pozostałe wystąpienia kwarcu żyłowego na Dolnym Śląsku – słabo rozpoznane lub dotychczas nie rozpoznawane pracami geologicznymi – można zaliczyć do obszarów domniemanych, dla których nie oszacowano wielkości zasobów. Do takich obszarów należałyby m.in. wystąpienia żyłowe w Mroczkowicach koło Mirska, w dolinie Kwisy koło Świeradowa, w otoczeniu złoża Stanisław, w Leśnej, Janicach i Pasieczniku, Rybnicy i Pilchowicach (blok karkonosko-izerski), w rejonie wsi Chełmiec (metamorfit kaczawski), w Skarżycach, Chwałkowie i Goli (masyw Strzegom-Sobótka), między Lutomią a Bojanicami i w Jedlinie na bloku sowiogórskim, a także w rejonie Kletna.

11.3.6. Stan rozpoznania geologicznego

Rozpoznanie geologiczne obszaru Polski pod kątem możliwości występowania złóż kwarcu żyłowego należy uznać za dobre. Obszar Sudetów i bloku przedsudeckiego, gdzie można spodziewać się występowania złóż kwarcu żyłowego, jest dobrze rozpoznany, szczególnie pod względem rozpoznania powierzchniowego przez szczegółowe kartowanie geologiczne oraz wykonane badania geofizyczne i roboty geologiczne. Odkrycie nowych, płytko zalegających wystąpień tej kopaliny wydaje się mało prawdopodobne.

11.3.7. Ocena zasobów i ich zmian

W stosunku do poprzedniego *Bilansu* ze stanem na koniec 2009 r. nastąpił ubytek zasobów bilansowych kwarcu żyłowego w Polsce (o 0,95 mln Mg), związany głównie ze skreśleniem z bilansu złoża Sady (Białe Krowy), a także z okresową eksploatacją złoża Taczalin (w latach 2014–2015 wydobyto 10 tys. Mg kopaliny). Zasoby prognostyczne i perspektywiczne nie uległy natomiast zmianie (tab. 11.9).

**Tab. 11.9. Zasoby bilansowe i prognostyczne kwarcu żyłowego
wg stanu na 31.12.2018 r.**

Zasoby bilansowe		Zasoby prognostyczne		Zasoby perspektywiczne	
liczba złóż	[tys. Mg]	liczba obszarów	[tys. Mg]	liczba obszarów	[tys. Mg]
5	5611,56	5	2872	4	1330

11.3.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Rozpoznane w Polsce złoża są stosunkowo małe i średniej jakości, a perspektywy odkrycia nowych, dużych złóż są raczej ograniczone do znanych już miejsc występowania. W złożu Stanisław – pomimo jego

skomplikowanej i zmiennej budowy – występują partie kopaliny o wysokim stopniu czystości. Jest to kwarc biały, różowy i szarawy, wolny od wkładek serycytu – nośnika żelaza (Jerzmański i in., 1982; Koźma i in., 1990). Istnieją więc realne możliwości zwiększenia produkcji najczystszych odmian surowca z tego złoża, dla różnorodnych zastosowań (m.in. elektrotechniki, telekomunikacji, ceramiki szlachetnej). Nierozpoznane dostatecznie perspektywy powiększenia zasobów kwarcu żyłowego istnieją na przedłużeniu złoża Stanisław, w strefie tektonicznej Rozdroża Izerskiego (Szepietowska, 1985). Istotnym ograniczeniem do wykorzystania stwierdzonej tu kopaliny kwarcowej są jednak tereny leśne i bliskość stref ochronnych uzdrowiska w Świeradowie-Zdroju (Stachowiak A., 2004).

Spośród pozostałych udokumentowanych złóż kwarcu żyłowego jedynie złożo Wądroże Wielkie wydaje się być atrakcyjne do górniczego zagospodarowania. Ze względu na szczupłość zasobów (179 tys. Mg kopaliny bilansowej w kat. C_1+C_2) powinno być ono rozpatrywane razem z występującymi w bliskim sąsiedztwie żyłami w rejonie Mikołajowic. Złoża kwarcu żyłowego Nowa Kamienica i Jędrzychowice cechują się zbyt niskimi parametrami jakościowymi, aby mogły stanowić alternatywę dla złóż już zagospodarowanych.

Prace poszukiwawczo-rozpoznawcze w rejonach występowania znanych wcześniej żył kwarcowych nie przyniosły zadowalających rezultatów; głównie ze względu na zbyt małe zasoby kopaliny. W wyniku prac weryfikacyjnych część żył kwarcowych zaznaczonych na mapach geologicznych okazała się rozsypiskami i blokowiskami kwarcowymi. W tym świetle wielkość zasobów perspektywicznych kwarcu żyłowego w rejonie dolnośląskim, oceniana wcześniej na 6,3 mln Mg (Kornaś I., 1986; Jerzmański, 1993a), wydaje się być zawyżona o ok. 50%.

Wskutek ograniczenia krajowej produkcji ceramiki szlachetnej zmalał popyt na mączki kwarcowe, znacząco spadło też zainteresowanie krzemionkowymi materiałami ogniotrwałymi, a produkcja żelazokrzemu przez jedyne polskiego wytwórcę – Hutę Łaziska – podlega silnym wahaniom. W tej sytuacji zapotrzebowanie na krajowe surowce kwarcowe zależy w dużym stopniu od konkurencji ze strony surowców alternatywnych – przede wszystkim kwarcytów z zakładu w Bukowej Górze, mączek kwarcowych uzyskiwanych z piasków szklarskich i kwarcowych (Osiecznica, niecka tomaszowska), a także importowanych kwarcytów ukraińskich oraz mączek niemieckich i norweskich (Guzik i Galos, 2015). Podejmowana w ostatnim piętnastoleciu okresowa eksploatacja złóż kwarcu żyłowego (Krasków, Taczalin, Mikołajowice i Stanisław) świadczy o dużych fluktuacjach na rynku surowców kwarcowych. Nie bez znaczenia są tu również ograniczenia środowiskowe oraz trudne warunki eksploatacji tych złóż.

Cezary Sroga, Ewa Lewicka

11.4. KOPALINY SKALENIOWE (*FELDSPAR*, *Na-FELDSPAR*, *K-FELDSPAR*)

11.4.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Źródłem pozyskiwania surowców skaleniowych (skaleń – skaleń sodowy, Na-skaleń, skaleń potasowy, K-skaleń, skaleń potasowo-sodowy, skaleń sodowo-potasowy, skalienio-kwarc, szpat polny) mogą być złoża różnych rodzajów skał (magmaowe, osadowe i metamorficzne) o wysokiej zawartości alkaliów (min. 6,5% $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$). W Polsce złoża kopalni skaleniowych występują głównie na Dolnym Śląsku, a także w regionie śląsko-krakowskim.

Na Dolnym Śląsku złoża te są związane z płytko zalegającymi leukogranitami i porfirowatymi odmianami granitów w obrębie bloku karkonosko-izerskiego oraz leukogranitoidami w masywie Strzegom-Sobótka. Źródłem surowców skaleniowych są również drobnopiezistyczne frakcje powstające podczas produkcji kruszyw łamanych z niektórych dolnośląskich złóż granitoidów, tzw. skalienio-kwarc – koncentrat o zawartości $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0,2\%$ (Sroga, 2001). Większość dolnośląskich złóż i wystąpień surowców skaleniowych o znaczeniu przemysłowym występuje w bloku karkonosko-izerskim w dwóch rejonach: na zachód i na wschód od Jeleniej Góry. Złoża w rejonie zachodnim, Proszowa-Kwieciszowice, Kamienica Mała (granity leukokratyczne i gnejsy) i Kopaniec, są związane z pasmem leukogranitów Pogórza Izerskiego. Leukogranity izerskie są pochodzenia metasomatycznego. Przypisuje się im wiek proterozoiczno-staropaleozoiczny. Złoża w rejonie wschodnim: Góra Sośnia (Dziwiszów), Maciejowa, Maciejowa II i Karpniki są związane z wychodniami porfirowatych granitów alkalicznych masywu karkonoskiego. Z kolei złoża we wschodniej części masywu granitoidowego Strzegom-Sobótka są związane ze strefami kataklazy i metasomatycznych przeobrażeń różnych odmian granitów (Sroga, 2011b). Do niedawna największe znaczenie surowcowe miało złożo leukogranitu (metagranitu alaskitowego) Pagórki Wschodnie (zasoby na wyczerpaniu). Obecnie kluczowe znaczenie gospodarcze dla pozyskiwania surowców skaleniowych w Polsce ma złożo Stary Łom, którego eksploatację podjęto w 2011 r., oraz złożo granitu Strzeblów I udokumentowane w grupie kamieni łamanych i blocznych, użytkowane od 2007 r., głównie pod kątem produkcji kruszyw łamanych.

Złoża w regionie śląsko-krakowskim stanowią wychodnie leukoporfirów (trachitów potasowych), występujących w obrębie wapieni dewońskich w Siedlcu koło Krzeszowic, a także karbońskich piaskowców arkozowych (arkozy kwaczalskiej) o podwyższonym udziale skaleni potasowych w Wygielzowie koło Chrzanowa (zasoby tylko pozabilansowe).

11.4.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Wielkość światowych zasobów kopalni skaleniowych nie została oszacowana, ale są one uznawane za wystarczające, niezależnie od scenariuszy rozwoju zapotrzebowania. Złoża kopalni skaleniowych i skalienio-kwarcowych występują na świecie powszechnie, choć przeważają w nich skalienio-kwarcowe (zawartość $\text{Na}_2\text{O} > 7\%$). Struktura globalnej produkcji jest zdominowana przez kraje Azji (ponad 50% światowej podaży), głównie Turcję i Chiny (Lewicka E., 2015).

W Polsce, według stanu na koniec 2018 r., spośród 11 udokumentowanych złóż surowców skaleniowych eksploatowane były dwa: Pagórki Wschodnie i Stary Łom, natomiast zagospodarowane złożo Karpniki miało status złoża eksploatowanego okresowo (wydobycie wstrzymano w połowie 2010 r.). Wielkość zasobów bilansowych złóż udokumentowanych wynosiła 139,140 mln Mg, a zasobów przemysłowych – 5,25 mln Mg, co stanowiło zaledwie 3,8% zasobów bilansowych (Malon, 2019h).

Utrzymanie poziomu wydobycia z 2018 r. w wysokości 71,48 tys. Mg, zapewni wystarczalność krajowych zasobów przemysłowych złóż zagospodarowanych na ok. 75 lat, podczas gdy żywotność zasobów bilansowych przekracza 1900 lat. Z uwzględnieniem krajowego zapotrzebowania, szacowanego w ostatnich latach na ok. 900 tys. Mg/rok (Lewicka E., 2017), wystarczalność zasobów przemysłowych określono na niespełna 6 lat, a bilansowych na 155 lat. Wiadomo jednak, że krajowe kopaliny nie w pełni spełniają wymagania odbiorców i w związku z tym znaczna część podaży surowców skaleniowych na polskim rynku pochodzi z importu (ostatnio 350–400 tys. Mg/rok). Zatem w stosunku do krajowej produkcji, kształtującej się w ostatnich latach na poziomie 500 tys. Mg/rok, wystarczalność zasobów przemysłowych sięga 10–11 lat, a bilansowych – 270 lat.

11.4.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Obecnie obowiązujące kryteria dla złóż kopalin skaleniowych (*Rozporządzenie*, 2015a; tab. 11.10) są bardziej liberalne w stosunku do poprzednio obowiązującego *Rozporządzenia...* (2001), zalecanych kryteriów bilansowości z 1994 r., a także dawnych norm branżowych. W związku z postępem metod przeróbki kopalin oraz technologii wytwarzania wyrobów ceramicznych wymagania co do jakości surowców skaleniowych zwykle są ustalane indywidualnie pomiędzy producentem a odbiorcą.

Najistotniejszymi parametrami jakościowymi kopalin skaleniowych są: stosunek zawartości K_2O do Na_2O , zwany modulem alkaliczności, sumaryczna zawartość alkaliów (K_2O+Na_2O) oraz tlenków barwiących ($Fe_2O_3+TiO_2$). Znaczenie gospodarcze mają odmiany skał zasobne w K_2O (min. 10%), stosowane głównie w przemyśle ceramiki szlachetnej, bądź w Na_2O (min. 7%), wykorzystywane w produkcji szkła oraz przemyśle płytek ceramicznych, będącym ich największym krajowym konsumentem.

Tab. 11.10. Graniczne wartości parametrów definiujących złożo kopalin skaleniowych i jego granice (*Rozporządzenie...*, 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Maksymalna głębokość spągu złoża	m	75
Minimalna miąższość złoża	m	5
Maksymalny stosunek N/Z	–	2
Minimalna zawartość Al_2O_3 w serii złożowej	%	12
Minimalna zawartość $Na_2O + K_2O$	%	6,5
Maksymalna zawartość $Fe_2O_3 + TiO_2$	%	1,5

11.4.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Autorzy nie widzieli merytorycznej potrzeby stosowania innych kryteriów niż wskazane w rozdziale 11.4.3.

11.4.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Polska nie należy do krajów zasobnych w surowce skaleniowe. Szczególnie brak jest odmian wysokopotasowych. Największe perspektywy powiększenia istniejącej bazy zasobowej wiążą się z wystąpieniami leukogranitoidów na bloku karkonosko-izerskim.

W rejonie izerskim wychodnie leukogranitów grupują się na południowym obrzeżeniu łupkowego pasma kamienickiego pomiędzy Czerniawą-Zdrojem a Wojcieszycami. Pojedyncze wychodnie są znane z rejonu Złotnik Lubańskich, Mirska i Lubomierza. Także w obrębie gnejsów i granitoidów izerskich występują różnej wielkości soczewy leukogranitów. Na podstawie wielokierunkowych badań Pawłowska J. (1968) wyróżniła cztery odmiany leukogranitów:

- typ albitowy (sodowy), na obszarze zachodnim pomiędzy Czerniawą a Proszową;
- typ pośredni (sodowy i potasowo-sodowy) w Kwieciszowicach i Kamienicy Małej;
- typ mikroklinowo-albitowy (potasowo-sodowy), na obszarze wschodnim (w Kopańcu, Kromnowie, Wojcieszycach);
- leukogranity zgrejzenizowane (w Młdzu, Złotnikach Lubańskich).

Z leukogranitów izerskich można pozyskiwać głównie surowce skaleniowe sodowo-potasowe (o module alkaliczności <1) i potasowo-sodowe (o module >1); brak jest natomiast odmian potasowych. W niektórych obszarach perspektywicznych (np. Kopaniec) z kopaliny sodowo-potasowej można uzyskać koncentrat o zawartości Na_2O+K_2O do 14%, a w rejonie Proszowej – koncentrat albitowy zawierający 10,3% Na_2O . Rejony Złotnik Lubańskich i Kotliny można zaliczyć jedynie do perspektywicznych ze względu na obniżoną

jakość kopaliny w rozpoznanych partiach. Zasoby obszaru Mładz Południowy ze względu na dużą zmienność kopaliny należy traktować jako domniemane. Pozostałe wystąpienia z tego rejonu rozpoznano z dokładnością pozwalającą zaliczyć je do obszarów prognostycznych. Łączne zasoby prognostyczne obszaru Pogórza Izerskiego szacuje się na 54 mln Mg (tab. 11.11). Perspektywiczność całej strefy została potwierdzona udokumentowaniem nowych złóż (Proszowa-Kwieciszowice i Kamienica Mała) w bezpośrednim sąsiedztwie wydzielonych obszarów, a częściowo w ich obrębie.

W regionie izerskim surowce skaleniowe są związane także z granitoidami okolic Markocic, badanymi w trakcie poszukiwań pierwiastków ziem rzadkich. Uzyskano z nich koncentraty o module alkaliczności 5–8, lecz przeszkodę w ich wykorzystaniu stanowi mineralizacja torowa (Szepletowska, 1977). Późniejsze badania w strefach pozbawionych mineralizacji torowej wykazały występowanie kopaliny o module bliskim 2, a tylko w niektórych partiach powyżej 3. Po wzbogaceniu otrzymywano stosunkowo niewielkie podwyższenie potasowości przy zbyt niskim uzysku koncentratu (Kościówko i in., 1987). Wobec niespełniania kryteriów bilansowości, znacznej zmienności kopaliny i braku kryteriów indywidualnych dla wystąpienia w Markocicach zasoby, oszacowane w tym rejonie na 5194 tys. Mg, można zaliczyć jedynie do potencjalnych (domniemanych). Do obszarów o zasobach potencjalnych należy dodać też wystąpienie skał skaleniowych w rejonie Zatonia koło Bogatyni (Śliwa Z., 1969). Eksploatowana przed II wojną światową żyła kwarcowo-skaleniowa zalega tu w obrębie metagranitoidów – tzw. granitów rumburskich. Potencjalny surowiec stanowi zarówno treść żylna, jak i skały osłony. Wystąpienie rozpoznano płytkimi robotami górniczymi. Długość strefy skaleniowej wynosi ok. 500 m, szerokość do 100 m. Moduł alkaliczności waha się w granicach od 0,21 do 0,87; zawartość Na_2O od 0,35 do 6,69%; K_2O od 1,43 do 3,72%; Al_2O_3 od 12,91 do 15,32%. Wysoka jest zawartość SiO_2 – od 73,34 do 77,25%, suma tlenków barwiących – 1,11–1,38%. Nie określono zasobów kopaliny, a przyszłe zagospodarowanie całego wystąpienia utrudnia istniejąca infrastruktura (Stachowiak A., 2004).

Tab. 11.11. Obszary i zasoby perspektywiczne skaleni i kopalin skaleniowych

Nazwa obszaru	Zasoby [mln Mg]	
	prognostyczne	perspektywiczne
Woj. dolnośląskie	61,35	29,77
Złotniki Lubańskie	–	no
Kotlina	–	no
Mładz Północny	3,50	–
Proszowa	2,00	–
Kwieciszowice	8,40	–
Kamienica Mała	16,00	–
Kopaniec	17,80	–
Wojcieszyce	6,30	–
Miedzianka	4,07	–
Kawia Góra	3,28	–
Bartnica	–	1,37
Kalno	–	28,40
Woj. opolskie	–	7,50
Nowy Świętów	–	7,50
Razem	61,35	37,27

no – nie obliczono

Wobec deficytu potasowych surowców skaleniowych w latach 80. XX w. podjęto ich poszukiwania w obrębie wybranych odmian skał metamorficznych (Jerzmański i in., 1982). Badaniami objęto: leptynity we wschodniej osłonie granitu Karkonoszy w rejonie Miedzianki, gnejsy leptytowe i plagioklazowo-mikroklino-metamorfiku Wzgórz Niemczańskich (rejon Niemczy i Stolca) oraz gnejsy mylonityczne metamorfiku łądecko-snieżnickiego w rejonie Konradowa. W rejonie Miedzianki (Rudawy Janowickie) surowcem skaleniowym są leptynity bogate w skalenie potasowe. Rozpoznano tu 27 większych soczew, w których zawartość potasu (według badań spektrometrycznych) wynosi ponad 4%, a niekiedy powyżej 9%. Niska zawartość sodu (średnio od 0,6 do 1,0%) powoduje, że moduł alkaliczności jest wysoki. Analizy chemiczne wykonane dla ośmiu wybranych soczew wykazały, że zawartość K_2O sięga 9–10%, moduł alkaliczności od 6 do 14, przy zwiększonej do 1–2% zawartości tlenków barwiących. Po prostej przeróbce (separacji magnetycznej) uzyskano mączkę kwarcowo-skaleniową przydatną do produkcji porcelany elektrotechnicznej i stołowej oraz materiałów ściernych. Zasoby prognostyczne kopaliny dla trzech grup soczewek oszacowano na 4,07 mln Mg (Gawroński i in., 1989).

W rejonie Niemczy perspektywnym potasowym surowcem skaleniowym są proterozoiczne gnejsy Kawiej Góry, które występują pod niewielkim nadkładem wśród różnorodnych łupków krystalicznych. Tworzą one zwartą ławicę o długości 500 m i szerokości od 50 do 85 m. W stanie naturalnym gnejsy cechują się wysoką zawartością K_2O (średnio 7–9%) i wysokim modulem alkaliczności przy niekorzystnej zawartości Fe_2O_3 (od 1,5 do 2,0%), którą można obniżyć drogą przeróbki mechanicznej i separacji magnetycznej. Zasoby obliczone dla tego obszaru do głębokości 50 m wynoszą 3,28 mln Mg. Zostały zaliczone do prognostycznych ze względu na dobre rozpoznanie jakości kopaliny i pozytywne wyniki badań technologicznych surowca (*ibidem*).

Niektóre partie ignimbrytów z Łomnicy, Mieroszowa i z Bartnicy mogą być przydatne jako potasowy surowiec skaleniowy nawet w stanie surowym. Moduł alkaliczności ignimbrytów z reguły przekracza 3, a suma alkaliów niekiedy sięga powyżej 10%. Udział Fe_2O_3 w jasnych odmianach wynosi 0,2–0,5% (Nowakowski, 1961, 1968; Baławajder, 1987). Jasne odmiany ignimbrytów wybierane selektywnie mogą stanowić bardzo dobry surowiec dla elektroporcelany. Występują one jednak nieregularnie, a ich udział w ogólnej masie skały jest niewielki. Wychodnie ignimbrytów znajdują się obecnie w rejonach objętych ochroną przyrody, stąd ich lepsze rozpoznanie nie jest możliwe (Sroga, 2001). Z powyższych względów omawiane wystąpienia można traktować jedynie jako zasoby potencjalne (domniemane), z wyjątkiem lepiej przebadanego rejonu Bartnicy (tab. 11.11).

Perspektywy powiększenia bazy zasobowej kopalin skaleniowych należy wiązać z występowaniem zleukokratyzowanych bądź skaolinizowanych granitoidów w centralnej partii masywu granitoidowego Strzegom-Sobótka, w rejonie na południe od Żarowa, gdzie na przedłużeniu złoża kaolinu Antoni (Kalno) okonturowano obszar występowania kaolinu ceramicznego i papierniczego, w którym płytko zalega kwarcowo-skałen (Szepietowska, 1988). Zawartość $Na_2O_3 + K_2O$ w kopalinie wynosi od 3,04 do 6,9%; a Al_2O_3 – od 3,8 do 17,0%, lecz ze względu na wysoką zawartość żelaza będzie ona wymagać uszlachetnienia. Zasoby perspektywiczne kopaliny skaleniowej w rejonie Kalna określono na 28,4 mln Mg.

Źródło pozyskiwania surowców skaleniowych dla przemysłu ceramicznego stanowi skała kwarcowo-skaleniowo-kaolinowa z Nowego Świątowa koło Nysy w Sudetach Wschodnich. Występują tu skaolinizowane skały leukokratyczne, budujące południowo-wschodnią osłonę masywu granitoidowego Strzelin-Żulowa. Zawierają one ok. 12,5% alkaliów przy zawartości żelaza rzędu 0,25–0,30% (Kościówko, 1986; Bolewski i in., 1991). Zasoby perspektywiczne surowca skaleniowego z Nowego Świątowa oszacowano na ok. 7,5 mln Mg (Kornaś I. i Kornaś J., 1986; Jerzmański, 1993b). Potencjalne znaczenie jako źródło surowców skaleniowych ma także kopalina skaleniowo-kwarcowa występująca w ścianie czynnego kamieniołomu marmuru w pobliskich Sławniowicach, której parametry ($K_2O + Na_2O$ 6,7%; $K_2O : Na_2O < 1$; Fe_2O_3 0,5%) oraz pozytywne wyniki badań technologicznych wskazują na jej przydatność do produkcji płytek ceramicznych typu gresowego (Lewicka E., 2010). Zasobów tej kopaliny nie oszacowano.

Istotne znaczenie dla pozyskania surowców skaleniowych i skaleniowo-kwarcowych mają niektóre dolnośląskie granitoidy masywu Strzegom-Sobótka. W toku produkcji grysów granitowych powstają drobnoziarniste frakcje wzbogacone w alkalia, z których można uzyskiwać surowiec dla przemysłu ceramicznego. Już w latach 90. XX w. uruchomiono eksperymentalne instalacje pozyskiwania koncentratów o uziarnieniu powyżej 0,04 mm, które pozwalały produkować mączki skaleniowo-kwarcowe o zawartości $Fe_2O_3 < 0,2\%$ dla przemysłu szklarskiego i do produkcji wyrobów sanitarnych (Sroga, 2001). Obecnie frakcje odpadowe są wykorzystywane do produkcji płytek ceramicznych szkliwionych, również płytek typu gresowego, o ile nie jest wymagana jasna barwa wyrobów po wypaleniu. Surowiec ten jest uzyskiwany z różnym nasileniem

w wielu zakładach górniczych, m.in. w kopalniach: Graniczna, Gniewków, Borów i Czernica w rejonie Strzegomia, a także w kopalni w Strzeblowie-Sobótce. Bez bliższych danych o bieżącej produkcji wymienionych zakładów trudno rozstrzygać o perspektywiczności poszczególnych złóż (obszarów; Sroga, 2011).

W regionie śląsko-krakowskim trudno wskazać obszary perspektywiczne dla kopalin skaleniowych. Złoże trachitów z Siedlca – znane z wysokiej zawartości K_2O i eksploatowane dawniej pod kątem produkcji porcelany technicznej i kamionki kwasoodpornej – zostało w większości wyeksploatowane. Pozostawione w tym złożu niewielkie zasoby znajdują się w otulinie Ojcowskiego Parku Krajobrazowego. Z kolei wykorzystanie złoża arkozy kwaczalskiej w Wygiełzowie jako źródła surowca potasowego wiąże się z koniecznością zagospodarowania dużej ilości odpadów, pomimo możliwości uzyskania koncentratów wysokiej czystości (Pawłowska J., 1970a; Kościółko, 1986).

11.4.6. Stan rozpoznania geologicznego

Stan rozpoznania geologicznego kopalin skaleniowych można ocenić jako dobry. Szczególnie dobrze są rozpoznane perspektywy zasobowe leukogranitoidów na bloku karkonosko-izerskim, gdzie w ostatnich latach udokumentowano nowe złoża w obrębie obszarów prognostycznych i perspektywicznych (Sroga, 2011b). Wciąż niewystarczająco są rozpoznane możliwości powiększenia bazy zasobowej w obrębie granitoidów masywu Strzegom-Sobótka, związane z występowaniem stref zleukokratyzowanych i skaolinizowanych. W pozostałych rejonach możliwość lepszego rozpoznania geologicznego jest dziś utrudniona lub wręcz niemożliwa ze względów środowiskowych.

11.4.7. Ocena zasobów i ich zmian

W stosunku do poprzedniego *Bilansu* (2011) ze stanem na koniec 2009 r. nastąpił przyrost zasobów bilansowych kopalin skaleniowych i kwarcowo-skaleniowych w Polsce (o 2,04 mln Mg), związany z udokumentowaniem nowego złoża Maciejowa II w województwie dolnośląskim (zasoby bilansowe ok. 18 mln Mg). Zasoby prognostyczne i perspektywiczne nie uległy natomiast zmianie (tab. 11.12).

Od połowy lat 90. ubiegłego wieku, w związku z dynamicznym rozwojem produkcji płytek ceramicznych w Polsce nastąpił gwałtowny wzrost zapotrzebowania na surowce skaleniowe i skaleniowo-kwarcowe, zwłaszcza na ich odmiany sodowe ($K_2O : Na_2O < 1$ lub ok. 1). Umożliwiło to szersze wykorzystanie kopalin rodzimego pochodzenia, a także wzbogaconych w alkalia drobnodziarnistych frakcji ziarnowych powstających w toku produkcji kruszyw w dolnośląskich kopalniach granitu. Mimo dużej zawartości tlenków barwiących (nawet do 3% Fe_2O_3) zaczęły być one wykorzystywane w stanie nieprzetworzonym jako pełnowartościowy komponent mas do wytwarzania płytek ceramicznych, głównie szkliwionych. Największe ilości tych surowców pozyskiwano od połowy lat 90. XX w. z kopaliny złoża Graniczna (maksymalnie 60–80 tys. Mg/rok na początku XXI w., ostatnio zaledwie kilkaset Mg), a na mniejszą skalę także z innych złóż granitu: Gniewków, Borów, Rogoźnica i Czernica. Szacuje się, że łączne zużycie tych surowców w przemyśle ceramicznym (nieujęte w oficjalnych statystykach) mogło sięgać w ostatnich latach od 120 do 50 tys. Mg/rok (Lewicka E., 2017). Z pewnością ich wykorzystanie przyczynia się do ograniczenia importu surowców skaleniowych dla przemysłu płytek ceramicznych, związanego z niewystarczającą podażą surowców krajowych.

Tab. 11.12. Zasoby bilansowe, prognostyczne i perspektywiczne kopalin skaleniowych w Polsce wg stanu na 31.12.2018 r.

Województwo	Zasoby bilansowe		Zasoby prognostyczne		Zasoby perspektywiczne	
	liczba złóż	[mln Mg]	liczba obszarów	[mln Mg]	liczba obszarów	[mln Mg]
Dolnośląskie	9	138,77	8	61,35	4	29,77
Małopolskie	2	0,37	–	–	–	–
Opolskie	–	–	–	–	1	7,50
Razem	11	139,20	8	61,35	5	37,27

11.4.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Złagodzenie wymagań jakościowych stawianych surowcom skaleniowym w związku z wprowadzaniem nowych technologii w zakładach ceramicznych sprawia, że złoża i obszary perspektywiczne dawniej dyskwalifikowane, dziś stają się obiektem zainteresowania inwestorów, co może skutkować zwiększeniem bazy zasobowej tych kopalin. Perspektywy odkrycia nowych, dużych złóż są ograniczone do miejsc już rozpoznanych badaniami wstępnymi. Dokumentowanie nowych złóż w obszarach perspektywicznych natrafia jednak w regionie dolnośląskim na trudności związane z ochroną środowiska oraz na protesty społeczności lokalnych. W tym świetle wielokrotnie postulowana racjonalizacja wykorzystania i ochrona zasobów krajowych złóż staje się dla tej grupy kopalin koniecznością. Wyznaczone dla określonych kopalin obszary prognozy i perspektywiczne muszą być zabezpieczone instrumentami planowania przestrzennego przed zagospodarowaniem terenu uniemożliwiającym dostęp do złóż w przyszłości.

Krzysztof Galos

11.5. IŁY BIAŁO WYPALAJĄCE SIĘ (*WHITE-FIRING CLAY, BALL CLAY*), KAMIONKOWE (*STONEWARE CLAY, CERAMIC CLAY*) I OGNIOTRWAŁE (*REFRACTORY CLAY, FLINT CLAY*)

11.5.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Szeroka grupa ilów ceramicznych wykorzystywanych w przemyśle płytek ceramicznych, wyrobów sanitarnych, porcelitowych i kamionkowych oraz szamotowych materiałów ogniotrwałych charakteryzuje się znacznym zróżnicowaniem cech jakościowych. Najczęściej głównym ich składnikiem ilastym jest kaolinit, choć częsty jest także udział illitu, rzadziej – smektytów. Tradycyjnie wyróżnia się wśród nich trzy podstawowe grupy ilów, wydzielane ze względu na ich przydatność technologiczną: ily ogniotrwałe, ily białe, względnie jasno wypalające się (porcelitowe, fajansowe) oraz ily kamionkowe. Podział ten nie jest jednak sztywny, np. ily klasyfikowane jako ily ogniotrwałe, przydatne do produkcji szamotowych materiałów ogniotrwałych, mogą niekiedy znajdować zastosowanie także do produkcji płytek ceramicznych, wyrobów sanitarnych itp. O przydatności ilów ceramicznych w danej dziedzinie przemysłu ceramicznego decyduje zespół cech, odmienny dla każdego zastosowania, m.in.: ily białe wypalające się – białość po wypaleniu w temperaturze 1200°C powyżej 60%, wytrzymałość na zginanie po wysuszeniu min. 0,6 MPa; ily ogniotrwałe – ogniotrwałość min. 1650°C; ily kamionkowe – nasiąkliwość po wypaleniu w 1200°C maks. 5%.

Złoża kopaliny ilastych białe wypalających się, o białości po wypaleniu co najmniej 60%, rozpoznano w Polsce wyłącznie w utworach górnokredowych w niecce północnosudeckiej, w rejonie Nowogrodzka, Bolesławca i Węglińca. W niektórych przypadkach są udokumentowane pokłady i soczewki ilów w utworach ilasto-piaszczystych, w pozostałych – kopalina piaszczysto-ilasta o zawartości frakcji ilastej rzędu 30% (Nieć i Ratajczak, 2004a; Galos, 2010).

Ily kamionkowe w Polsce występują w kilku regionach o różnej genezie i znaczeniu. W północnym obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich są to czerwone ily triasowe rejonu Suchedniowa i Starachowic (często dokumentowane jako ily ceramiki budowlanej) oraz jasne ily dolnojurańskie rejonu Skarżyska Kamiennej, Przysuchy i Opoczna. Na Dolnym Śląsku są to ily kamionkowe górnokredowe, współwystępujące z wyżej wymienionymi ily białe wypalającymi się ily mioceńskie w rejonie Bolesławca i Nowogrodzka oraz mio-plioceńskie ily poznańskie w rejonie Żar, Nowogrodzka i Brzegu Dolnego (także często dokumentowane jako ily ceramiki budowlanej; Nieć i Ratajczak, 2004a, b; Galos, 2010).

Ily ogniotrwałe także występują w Polsce w kilku regionach o różnej genezie i znaczeniu. Najważniejsze i najwyższej jakości są mioceńskie ily jaroszewskie w rejonie Strzegomia. Z rejonu Opoczna w północnym obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich są znane ogniotrwałe ily dolnojurańskie przeciętnej jakości. Z kolei w rejonie Żar występują ogniotrwałe odmiany mio-plioceńskich ilów poznańskich niskiej jakości, obecnie bez znaczenia (Nieć i Ratajczak, 2004b; Wyszomirski i Galos, 2007b; Galos, 2010).

11.5.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Na świecie złoża ilów białe wypalających się, ogniotrwałych i – tym bardziej – kamionkowych są powszechne, lecz informacje o ich zasobach w poszczególnych krajach z reguły nie są dostępne.

Według *Bilansu zasobów* zasoby bilansowe pięciu udokumentowanych złóż ilów białe wypalających się lub kopaliny ilasto-piaszczystej do produkcji ilów białe wypalających się po szlamowaniu według stanu na koniec 2018 r. wynosiły 57 982 tys. Mg, w tym 42 876 tys. Mg kopaliny do szlamowania w trzech złożach oraz 15 106 tys. Mg ilów białe wypalających się. Od 2008 r. stan ten uległ zmianie tylko w wyniku prowadzonej eksploatacji (Tymiński, 2019b). Złoża te znajdują się wyłącznie w województwie dolnośląskim w powiecie bolesławieckim. Tylko jedno złożo – Janina I – jest eksploatowane, w latach 2008–2018 z produkcją w przedziale 94–214 tys. Mg/rok z tendencją wzrostową. Kopalina jest szlamowana z uzyskaniem ily białe wypalającego się, użytkowanego w przemyśle płytek ceramicznych i wyrobów sanitarnych (Galos i Lewicka E., 2015). Dostępne do eksploatacji zasoby ulegną wyczerpaniu w najbliższych latach.

Zasoby bilansowe 19 udokumentowanych złóż ilów kamionkowych według stanu na koniec 2018 r. wynosiły 79 042 tys. Mg. Od 2008 r. stan ten nie uległ istotnej zmianie (Tymiński, 2019b). Złoża ilów kamionko-

wych występują głównie w województwie świętokrzyskim (zasoby 51,26 mln Mg, 7 złóż ilów triasowych i jurajskich) i dolnośląskim (19,49 mln Mg, 6 złóż ilów kredowych i mioceńskich), a także łódzkim (4,16 mln Mg, 1 złoża ilów jurajskich), mazowieckim (2,82 mln Mg, 4 złoża ilów jurajskich) i śląskim (1,30 mln Mg, 1 złoża ilów triasowych). Eksploatowane jest głównie złoża ilów mioceńskich Zebrzydowa Zachód koło Bolesławca, a na mniejszą skalę – złoża ilów jurajskich Borkowice II i Rozwady 1 koło Przysuchy oraz ilów triasowych Baranów koło Skarżyska. Stosowane są one głównie do produkcji różnych wyrobów kamionkowych oraz płytek ceramicznych (Galos i Lewicka E., 2015).

Zasoby bilansowe 16 udokumentowanych złóż ilów ogniotrwałych według stanu na koniec 2018 r. wynosiły 54 186 tys. Mg. Od 2008 r. uległy one niewielkiemu zmniejszeniu, wyłącznie w wyniku eksploatacji (Tymiński, 2019c). Złoża ilów ogniotrwałych występują głównie w województwie dolnośląskim (43,26 mln Mg, 4 złoża ilów mioceńskich), w mniejszym stopniu w województwie mazowieckim (7,68 mln Mg, 4 złoża ilów jurajskich) i lubuskim (3,24 mln Mg, 7 złóż ilów mio-plioceńskich). Od wielu lat jest eksploatowane wyłącznie złoża Rusko-Jaroszów, przy malejącym wydobyciu z 149 tys. Mg w 2008 r. do zaledwie 63 tys. Mg w 2017 r. i 70 tys. Mg w 2018 r. Il z Jaroszowa jest wykorzystywany do produkcji szamotowych materiałów ogniotrwałych oraz płytek ceramicznych (Galos i Lewicka E., 2015). Zasoby tego złoża niebawem ulegną wyczerpaniu.

Wystarczalność statyczna zasobów przemysłowych zagospodarowanych złóż ilów biało wypalających się na koniec 2018 r. wynosiła zaledwie 5 lat, ilów ogniotrwałych – 15 lat, a ilów kamionkowych – 16 lat. W odniesieniu do całości zasobów bilansowych jest ona wielokrotnie wyższa, w każdym przypadku przekraczając 200 lat.

11.5.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Głównymi kryteriami stosowanymi dla wyznaczania złóż ilów biało wypalających się, kamionkowych i ogniotrwałych są: minimalna miąższość złoża i stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża (N/Z), a oprócz tego parametry jakościowe kopaliny: dla ilów biało wypalających się i kamionkowych – minimalna

Tab. 11.13. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża ilów biało wypalających się, kamionkowych i ogniotrwałych i ich granice (Rozporządzenie..., 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Iły biało wypalające się i kamionkowe		
Maksymalna głębokość dokumentowania w przypadku eksploatacji podziemnej	m	200
Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża w przypadku eksploatacji odkrywkowej	–	2
Minimalna miąższość złoża	m	2
Minimalna zawartość minerałów ilastych	%	40
Maksymalna zawartość CaCO ₃	%	2
Maksymalna zawartość ziaren o średnicy >2 mm	%	1
Iły ogniotrwałe		
Maksymalna głębokość dokumentowania w przypadku eksploatacji podziemnej	m	200
Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża w przypadku eksploatacji odkrywkowej	–	2
Minimalna miąższość złoża	m	1
Minimalna ogniotrwałość	sP	161
Maksymalna zawartość ziaren o średnicy >0,063 mm	%	10

zawartość minerałów ilastych, maksymalna zawartość CaCO_3 i ziaren >2 mm, dla ilów ogniotrwałych – minimalna ogniotrwałość i maksymalna zawartość ziaren $>0,063$ mm. Aby określić przydatność ilów w określonym obszarze przemysłu ceramicznego, ważne jest także uwzględnianie dodatkowych parametrów, np. białość po wypaleniu, wytrzymałość na zginanie po wysuszeniu, nasiąkliwość po wypaleniu itd. Obowiązujące kryteria dla złóż ilów biało wypalających się, kamionkowych i ogniotrwałych wprowadzone *Rozporządzeniem...* (2015a), przedstawia tabela 11.13.

11.5.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Autor nie widział merytorycznej potrzeby stosowania innych kryteriów niż wskazane w rozdziale 11.5.3.

11.5.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Obszar niecki północnosudeckiej był bardzo szczegółowo badany pod kątem udokumentowania złóż ilów biało wypalających się i kamionkowych w utworach kredy górnej (santonu) oraz neogenu (miocenu). Zdecydowana większość obszarów badań zarówno w południowym, jak i północnym skrzydle niecki północnosudeckiej okazała się negatywna dla dokumentowania złóż ilów biało wypalających się i kamionkowych (Kochanowska, 1994). Wyróżnić można jednak trzy obszary prognostyczne występowania górnokredowej kopaliny piaszczysto-ilastej do szlamowania w celu uzyskania surowca ilastego biało wypalającego się na południe od Bolesławca (tab. 11.14). Dodatkowo w niecce północnosudeckiej wyróżniono jeden niewielki obszar prognostyczny ilów kamionkowych wieku miocenińskiego – Czerwona Woda SE.

Tab. 11.14. Zestawienie zasobów prognostycznych ilów biało wypalających się, kamionkowych i ogniotrwałych w Polsce

Nazwa obszaru	Województwo	Kopalina	Wiek formacji	Zasoby prognostyczne [mln Mg]		
Ustronie-Jaroszowice	dolnośląskie	iły biało wypalające się*	kreda	62,00		
Bolesławiec-Jaroszowice				20,00		
Nowogrodziec-Skała				45,20		
Serbinów	świętokrzyskie	iły kamionkowe	trias	1,71		
Mroczków-Barwinek			jura	5,30		
Czerwona Woda SE	miocen		0,50			
Udanin			193,80			
Ujazd Dolny			4,20			
Strzelce			11,60			
Buków			4,20			
Pyszczyń			2,40			
Maniów			6,70			
Udanin			56,90			
Razem				414,51		
iły biało wypalające się*				127,20		
iły kamionkowe				230,41		
iły ogniotrwałe				56,90		

* kopalina piaszczysto-ilasta do szlamowania

W rejonie Strzegom–Środa Śląska, na podstawie badań z lat 70. i 80. XX w. (Szepietowska, 1988), wyróżniono sześć obszarów prognostycznych miocenijskich iłów kamionkowych oraz jeden obszar prognostyczny miocenijskich iłów ogniotrwałych (tab. 11.14).

W północnym obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich obszar prognostyczny triasowych iłów kamionkowych wyznaczono w pobliżu miejscowości Serbinów, a obszar prognostyczny jurajskich iłów kamionkowych między Mroczkowem a Barwinkiem (tab. 11.14; Uchnast i in., 2006).

Poza wymienionymi, najważniejszymi obszarami perspektywicznymi występowania iłów biało wypalających się lub kamionkowych są:

- na Dolnym Śląsku: dwa obszary perspektywiczne kredowych kopalin ilasto-piaszczystych biało wypalających się w rejonie Parowej koło Osiecznicy o powierzchniach 26,6 i 28,1 ha, oraz kilka niewielkich obszarów perspektywicznych kredowych iłów biało wypalających się w rejonie Nowogrodzka i Bolesławca o łącznej powierzchni ok. 10 ha;
- w regionie świętokrzyskim: dwa duże obszary perspektywiczne iłów kamionkowych triasowych o powierzchni ok. 370 i 278 ha koło Szalasu (łączne zasoby perspektywiczne ok. 70 mln Mg) oraz jeden o powierzchni ok. 63,5 ha koło Włochów (na północ od Zagnańska); obszar perspektywiczny iłów kamionkowych jurajskich Adamów koło Starachowic o powierzchni 184,2 ha (zasoby perspektywiczne ok. 25 mln Mg); oraz trzy obszary perspektywiczne iłów ceramiki budowlanej przydatnych także do produkcji wyrobów kamionkowych w rejonie Radoszyc–Łopuszna (Grabownica – zasoby perspektywiczne ok. 19 mln Mg, Marianów* – ok. 37 mln Mg, Mularzów – ok. 16 mln Mg).

11.5.6. Stan rozpoznania geologicznego

Udokumentowana baza zasobowa iłów biało wypalających się w Polsce jest ograniczona, a w przypadku iłów ogniotrwałych i kamionkowych – przeciętna. Z drugiej strony zapotrzebowanie przemysłu ceramicznego na te odmiany iłów jest wysokie i rosnące, w dużej części zaspokajane importem.

W związku z tym działania na rzecz wzrostu udokumentowanej bazy zasobowej tych iłów, w szczególności iłów biało wypalających się i ogniotrwałych, są bardzo istotne. Dla niektórych obszarów prognostycznych iłów biało wypalających się w niecce bolesławieckiej oraz iłów ogniotrwałych i kamionkowych w okręgu jaroszewskim obecny stopień rozpoznania jest na tyle wysoki, że wykonanie ograniczonej liczby dodatkowych otworów rozpoznawczych mogłoby być podstawą do udokumentowania złóż w kategorii C₂. Dotyczy to szczególnie obszarów prognostycznych iłów biało wypalających się (kopaliny piaszczysto-ilastej do szlamowania) na południe od Bolesławca. Udokumentowanie dodatkowych złóż pozwoliłoby na objęcie obszarów ich występowania odpowiednią ochroną, zgodnie z obowiązującymi przepisami.

11.5.7. Ocena zasobów i ich zmian

W stosunku do poprzedniej edycji *Bilansu* ze stanem na koniec 2009 r. (Galos, 2011a) nastąpiło niewielkie zmniejszenie ilości wyróżnianych obszarów prognostycznych omawianych kopalin ilastych (z 15 do 13). Łączna wielkość szacowanych zasobów prognostycznych zmalała z 459,97 do 414,51 mln Mg, lecz dotyczyło to wyłącznie iłów kamionkowych – wielkość zasobów prognostycznych iłów biało wypalających się i ogniotrwałych pozostała nie zmieniona. W tabeli 11.15 zestawiono zasoby bilansowe i prognostyczne iłów biało wypalających się, kamionkowych i ogniotrwałych w Polsce.

Łączne wydobycie ze złóż iłów biało wypalających, kamionkowych i ogniotrwałych w latach 2008–2018 wahało się w przedziale 350–550 tys. Mg/rok, przy dość dużych rocznych wahaniami. Wyraźną tendencję malejącą miało wydobycie iłów ogniotrwałych z wyczerpującego się złoża Rusko-Jaroszew, a rosnącą – wydobycie kopaliny piaszczysto-ilastej biało wypalającej się do szlamowania ze złoża Janina I. W zakresie wydobycia iłów kamionkowych decydujące znaczenie ma kopalnia Zebrzydowa Zachód, a mniejsze – kopalnie Borkowice II i Baranów w regionie świętokrzyskim. Zdecydowana większość surowców pozyskiwanych w wymienionych kopalniach jest użytkowana do produkcji różnego rodzaju płytek ceramicznych (gresowych, kamionkowych, fajansowych). Dodatkowo il ogniotrwały z kopalni Jaroszew znajduje wciąż – choć malejące – zastosowanie w przemyśle materiałów ogniotrwałych, a iły kamionkowe z kopalni Borkowice

* Obszary Grabownica i Marianów poprzednio były uznane za obszary prognostyczne, jednak ze względu na ujednolicenie zasad wydzielania obszarów prognostycznych i brak w tych przypadkach wystarczających informacji do zaliczenia ich do obszarów prognostycznych, przeniesiono je do grupy obszarów perspektywicznych.

Tab. 11.15. Zasoby bilansowe i prognostyczne ilów biało wypalających się, kamionkowych i ogniotrwałych wg stanu na 31.12.2018 r.

Kopalina	Zasoby bilansowe		Zasoby prognostyczne	
	liczba złóż	[mln Mg]	liczba obszarów	[mln Mg]
Iły biało wypalające się*	5	57,98	3	127,20
Iły kamionkowe	19	79,04	9	230,41
Iły ogniotrwałe	16	54,19	1	56,90

* kopalina piaszczysto-ilasta do szlamowania

ce i Baranów – do innych wyrobów kamionkowych niż płytki kamionkowe (Galos i Lewicka E., 2015). Wobec rosnących cen i ograniczania dostaw wysokiej jakości ilów biało wypalających się z Ukrainy, przemysł płytkowy będzie poszukiwać ich substytutów, stąd należy m.in. spodziewać się dalszego rozwoju produkcji surowca biało wypalającego się z kopalni Janina I oraz ilu kamionkowego z kopalni Zebrzydowa Zachód, Borkowice i nowej, małej kopalni Rozwady koło Przysuchy (Wyszomirski, 2018).

11.5.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

1. Polska jest krajem ubogim w złoża ilów biało wypalających się. Występują one wyłącznie w niecce północnosudeckiej. Zasobność Polski w złoża ilów ogniotrwałych i kamionkowych jest przeciętna. Występują one m.in. w rejonie Bolesławca, Jaroszowa i Żar na Dolnym Śląsku (iły górnokredowe, miocenne i mio-pliocenne) oraz w północnym obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich (iły triasowe i jurajskie).
2. Łączne zasoby ilów biało wypalających się i kopaliny piaszczysto-ilastej w pięciu złożach udokumentowanych na koniec 2018 r. wynosiły 58,0 mln Mg, zasoby ilów kamionkowych w 19 złożach w utworach triasowych, jurajskich, kredowych i neogeńskich – 79,0 mln Mg, natomiast ilów ogniotrwałych w 16 złożach w utworach jurajskich, kredowych i neogeńskich – 54,2 mln Mg.
3. Zasoby prognostyczne kopaliny piaszczysto-ilastej do produkcji surowca ilastego biało wypalającego się w Polsce wynoszą 127,2 mln Mg (trzy obszary), ilów ogniotrwałych – 56,9 mln Mg (jeden obszar), a ilów kamionkowych – 230,4 mln Mg (9 obszarów).
4. Dla niektórych obszarów prognostycznych ilów biało wypalających się w niecce północnosudeckiej oraz ilów ogniotrwałych i kamionkowych w okręgu jaroszewskim obecny stopień rozpoznania jest na tyle wysoki, że wykonanie ograniczonej liczby dodatkowych otworów rozpoznawczych mogłoby być podstawą do udokumentowania złóż w kategorii C₂. Dotyczy to szczególnie obszarów prognostycznych ilów biało wypalających się (kopaliny piaszczysto-ilastej do szlamowania) na południe od Bolesławca.

Ewa Lewicka

11.6. KAOLINY (KAOLIM)

11.6.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Kaoliny (ił ceramiczny, glina porcelanowa) to skały bogate w kaolinit, powstałe w wyniku wietrzenia skał zasobnych w minerały glinokrzemianowe (skalenie, miki), głównie magmowych (granity), a także niektórych metamorficznych. W Polsce tworzą złoża pierwotne (rezydualne) i wtórne (osadowe) wieku neogeńskiego i kredowego, występujące wyłącznie na Dolnym Śląsku. Złoża pierwotne lokują się w płatach pokryw zwietrzelinowych masywów granitowych: strzegomskiego, strzebińskiego, łuzickiego i na Pogórzu Izerskim (Lewicka E., 2011). W masywie strzegomskim znajduje się 6 udokumentowanych złóż, a w rejonie strzebińskim – jedno. Łączne zasoby bilansowe złóż rezydualnych na koniec 2018 r. stanowiły ok. 20% krajowych zasobów kaolinu (Malon, 2019f). Złoża kaolinów wtórnych występują na obrzeżu masywów granitowych, głównie w zachodniej części masywu strzegomskiego i w jego otoczeniu, gdzie udokumentowano 3 złoża (ok. 28% zasobów łącznych). Odmienny typ złóż tworzą górnokredowe piaskowce kaolinitowe w niecce północnosudeckiej. Spośród 4 udokumentowanych tam złóż o zasobach stanowiących 52% zasobów łącznych, tylko złożo Maria III-1 (wydzielone ze złoża Maria III) było w 2018 r. eksploatowane. Do kopalni kaolinowych zaliczono także zwietrzelinę haloizytową w niewielkim złożu Dunino (zob. rozdz. 12.9). Kaolin stanowi również produkt uboczny pozyskiwania piasków szklarskich ze złóż piaskowców wieku kredowego w niecce północnosudeckiej i tomaszowskiej. Jego zasobów w tych złożach nie oszacowano.

11.6.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Złoża kaolinów i kopalni kaolinowych na świecie są bardzo rozpowszechnione, a ich zasoby są znaczące. Wielkość tych zasobów w poszczególnych krajach jest niedokładnie poznana lub podawana nieprecyzyjnie. Największe występują w USA (głównie w obszarze złożowym Georgia Belt), Brazylii (w stanach Amapa i Para), Chinach, Niemczech i Czechach (USGS, 2018).

Według *Bilansu zasobów* (Malon, 2019f) łączne zasoby bilansowe kaolinu w 15 złożach udokumentowanych według stanu na 31.12.2018 r. wynosiły 226,19 mln Mg, w tym 54,02 mln Mg w złożach zagospodarowanych Maria III-1 i Dunino, przy zasobach przemysłowych 45,98 mln Mg. Krajowe wydobycie kaolinów w 2018 r. wynosiło 310,85 tys. Mg i w 99,6% pochodziło ze złoża Maria III-1. W ciągu ostatnich 10 lat kształtowało się ono na poziomie 238–311 tys. Mg/rok.

Wystarczalność statyczna zasobów bilansowych złóż zagospodarowanych na koniec 2018 r. wynosiła ok. 180 lat, natomiast łącznych zasobów bilansowych ok. 750 lat. Podobny horyzont czasowy określa ich żywotność w stosunku do przeciętnego poziomu krajowego zapotrzebowania, szacowanego na ok. 250–290 tys. Mg/rok, przy założeniu, że w całości byłoby ono zaspokajane z rodzimych źródeł.

11.6.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Zgodnie z *Rozporządzeniem...* (2015a) obecnie stosuje się graniczne wartości parametrów definiujących złożo kopalni kaolinowych i jego granice. Usunięto wcześniej stosowane kryterium udziału $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ i obniżono minimalną średnią zawartość kaolinitu w profilu złoża z 25 do 15% (tab. 11.16). Kryteria te nie uwzględniają w pełni specyficznych wymogów stawianych surowcom kaolinowym, w szczególności dotyczących uzysku frakcji drobnoziarnistych <40 μm i <20 μm w procesie szlamowania.

Tab. 11.16. Graniczne wartości parametrów definiujących złożo kopalni kaolinowych i jego granice
(*Rozporządzenie...*, 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Minimalna miąższość złoża	m	2
Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża (N/Z)	–	2
Minimalna średnia ważona zawartość kaolinitu w profilu złoża	%	15

11.6.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Autorka nie widziała merytorycznej potrzeby stosowania innych kryteriów niż wskazane w rozdziale 11.6.3.

11.6.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Obszary perspektywiczne i prognostyczne kaolinów znajdują się w okolicach złóż udokumentowanych na Dolnym Śląsku, głównie w rejonie strzegomsko-świdnickim, izerskim, strzelińskim i bolesławiecko-zgorzeleckim. Zasoby prognostyczne kaolinów oszacowano maksymalnie na 38,44 mln Mg, a perspektywiczne – na co najmniej 59,97 mln Mg (tab. 11.17).

W rejonie strzegomsko-świdnickim znajdują się trzy obszary prognostyczne. Pierwszy z nich – Żarów, wyznaczony w okolicy złoża kaolinów rezydualnych Antoni (Kalno) – obejmuje powierzchnię 110 ha. Możliwe jest tu udokumentowanie maks. 16,80 mln Mg (min. 1,56 mln Mg) zasobów kaolinu ceramicznego, papierniczego i ogniotrwałego (Szepietowska, 1988). Bariere dla ich zagospodarowania może stanowić obecność gleb podlegających ochronie. Kolejny obszar – Kalno, stanowi wschodnie przedłużenie złoża Antoni

Tab. 11.17. Zestawienie zasobów prognostycznych i perspektywicznych kaolinów

Nazwa obszaru	Województwo	Wiek formacji	Wielkość zasobów [mln Mg]*
Zasoby prognostyczne			
Rejon strzegomsko-świdnicki			
Żarów	dolnośląskie	neogen	1,56–16,80
Kalno			0,72–2,50
Szczepanów			0,37–18,30
Rejon izerski			
Kamień	dolnośląskie	neogen	0,84
Razem			38,44 (maks.)
Zasoby perspektywiczne			
Rejon strzegomsko-świdnicki			
Dzierzków	dolnośląskie	neogen	0,66–34,70
Roztoka (N)			0,39–3,10
Roztoka (S)			0,57–3,70
Siekierzycze (Stefania)			0,36–12,50
Niedaszów (Krystyna)			2,20–63,70
Tomkowice			nie określono
Rejon bolesławiecko-zgorzelecki			
Czerwona Woda	dolnośląskie	kreda górna	40,00
Czerwona Woda (SW)			nie określono
Rejon strzeliński			
Kaczów	dolnośląskie	neogen	3,30
Strzelin			3,40

Tab. 11.17. cd.

Nazwa obszaru	Województwo	Wiek formacji	Wielkość zasobów [mln Mg]*
Inne rejony			
Mikołajowice (W)	dolnośląskie	neogen	0,22–3,40
Mikołajowice (E)			0,57–12,20
Parowa		kreda górna	5,20
Parowa II			nie określono
Markocice/Opolno Zdrój		neogen	nie określono
Nowy Świątów	opolskie		3,10
Razem			59,97 (min.)

* dla zasobów prognostycznych suma to wielkość maksymalna, a dla zasobów perspektywicznych (słabiej rozpoznanych) – minimalna

(Kalno). Jego zasoby oszacowano na maks. 2,50 mln Mg (min. 0,72 mln Mg). Natomiast w rejonie Marciniowic (obszar Szczepanów) zasoby kaolinu ocenia się na maks. 18,30 mln Mg (min. 0,37 mln Mg).

Obszary perspektywiczne kaolinów w rejonie strzegomsko-świdnickim wytypowano w okolicach miejscowości Roztoka (Kural i in., 1982; Szepietowska, 1988). Największy z nich – Dzierzków, o powierzchni 151 ha i zasobach szacunkowych kaolinów rezydualnych maks. 34,7 mln Mg (min. 660 tys. Mg) – otacza złoża Julia i graniczy od północnego zachodu ze złożem Michał. Dwa następne obszary perspektywiczne (rozcięte rynną erozyjną) znajdują się na wschód od miejscowości Roztoka. Ich łączne zasoby to maks. 6,8 mln Mg (min. 960 tys. Mg). Kolejny obszar perspektywiczny kaolinów pochodzenia osadowo-rezydualnego – Stefania – znajduje się na zachód od miejscowości Siekierzyc k. Jawora (Kozłowski S., 1982). Jego zasoby to maks. 12,5 mln Mg (min. 360 tys. Mg). Na wschód od Siekierzyc wytypowano obszar perspektywiczny neogeńskich kaolinów osadowych Niedaszów (Krystyna) o zasobach maks. 63,7 mln Mg (min. 2,2 mln Mg; Kozłowski S., 1982; Szepietowska, 1988). Obszar perspektywiczny o powierzchni 34 ha i nieustalonych zasobach wyznaczono także na wschód od udokumentowanego złoża kaolinu Kazimierz w Tomkowicach k. Strzegomia.

W rejonie iżerskim w okolicy Kamienia k. Mińska na powierzchni 2,5 ha wyznaczono obszar perspektywiczny kaolinu o zasobach rzędu 840 tys. Mg (Kościółko, 1974). Jest to wysokoplastyczny kaolin o bardzo wysokiej wytrzymałości na zginanie po wysuszeniu.

W rejonie bolesławiecko-zgorzeleckim wytypowano dwa obszary perspektywiczne: przy zachodniej granicy złoża piaskowców kaolinitowych Zofia (Czerwona Woda) oraz na południe i zachód od miejscowości Czerwona Woda. Kopalinę pierwszego obszaru stanowią santonńskie iły i piaskowce o spoiwie kaolinitowym, których zasoby oszacowano na ok. 40 mln Mg (Stachowiak A., 2004). Zasobów drugiego obszaru nie określono.

W rejonie strzelińskim obszar perspektywiczny o zasobach maks. 3,30 mln Mg wyznaczono na wschód od Kaczowa (Kural i in., 1982). Drugi obszar – Strzelin – znajduje się w pobliżu złoża Monika. Jego zasoby oszacowano na ok. 3,40 mln Mg kaolinu. Ograniczeniem jego przyszłego zagospodarowania są pojedyncze zabudowania, drogi i linie energetyczne.

Obszary perspektywiczne wyznaczono również w okolicach Mikołajowic k. Legnicy, w obrębie skaolinizowanych gnejsów masywu Wądroża Wielkiego (Szepietowska, 1988). Łączne zasoby niskiej jakości kaolinu w polach Mikołajowice W i Mikołajowice E oszacowano na maks. 15,60 mln Mg (min. 0,79 mln Mg). Dwa obszary perspektywiczne iłów ceramicznych (kaolinów i glin biało wypalających się) – jeden o zasobach szacunkowych 5,2 mln Mg i powierzchni ok. 28 ha (Krzyśków, 1973), drugi – o powierzchni 26,5 ha i nieustalonych zasobach, wytypowano na południowy wschód od Parowej k. Osiecznicy. Na zachód od Nowego Świątowa, w sąsiedztwie udokumentowanego złoża węgla brunatnego Łączki, na powierzchni 53 ha wyznaczono obszar perspektywiczny neogeńskich kaolinów i iłów kaolinowych pochodzenia osadowego o zasobach 3,10 mln Mg. Ponadto w rejonie Markocic k. Opolna-Zdroju znajdują się dwa niewielkie obszary perspektywiczne (po 2,5 ha) występowania iłów zwietrzelinowych typu kaolinitowego, których zasobów nie oszacowano.

11.6.6. Stan rozpoznania geologicznego

Baza zasobowa kopalin kaolinowych w Polsce jest dość duża. Podstawowe znaczenie gospodarcze mają złoża piaskowców kaolinitowych w niecce północnosudeckiej. Znaczne ilości kaolinu są pozyskiwane ubocznie ze złóż piasków i piaskowców kwarcowych szklarskich w niecce północnosudeckiej (Osiecznica II) oraz szklarskich i formierskich w niecce tomaszowskiej (Piaskownica-Zajączków E, Unewel Zachód-Las, Unewel Zachód-Nowy, Biała Góra II-Wschód, Grudzeń Las).

11.6.7. Ocena zasobów i ich zmian

W stosunku do poprzedniej edycji *Bilansu* (2011) nastąpił przyrost o 12,51 mln Mg zasobów bilansowych kopalin kaolinowych w Polsce, związany z udokumentowaniem w 2017 r. złoża Maria III-1 (zasoby bilansowe 53,54 mln Mg). Zasoby prognostyczne kaolinu nie uległy zmianie, natomiast zasoby perspektywiczne zwiększyły się o 8,3 mln Mg w związku z uwzględnieniem zasobów oszacowanych w obszarach Parowa i Nowy Świątów (tab. 11.18).

Tab. 11.18. Zasoby bilansowe, prognostyczne i perspektywiczne kopalin kaolinowych w Polsce wg stanu na 31.12.2018 r. (Malon, 2019f)

Jednostka surowcowa	Zasoby bilansowe		Zasoby prognostyczne		Zasoby perspektywiczne	
	liczba złóż	[mln Mg]	liczba obszarów	[mln Mg]	liczba obszarów	[mln Mg]
Kaoliny pierwotne	7	44,37	4	38,44	5	7,49
Kaoliny wtórne	3	64,64	–	–	6	7,28
Piaskowce kaolinitowe	4	116,72	–	–	3	45,20
Zwietrzelina haloizytowa	1	0,47	–	–	–	–
Razem	15	226,20	4	38,44	14	59,97

Od połowy lat 90. ubiegłego wieku, w konsekwencji dynamicznego rozwoju produkcji płytek ceramicznych w Polsce nastąpił znaczny wzrost zapotrzebowania na kaolin. Jego podaż pochodziła nie tylko z udokumentowanych złóż tej kopaliny, ale w coraz większym stopniu ze złóż piaskowców o lepszym kaolinitowym eksploatowanych pod kątem produkcji piasków szklarskich i formierskich. Rozwój pozyskiwania kaolinu jako produktu ubocznego płukania tych piasków przyczynił się do powstrzymania wzrostu zagranicznych dostaw kaolinu do Polski, a także wydłużenia żywotności rodzimych złóż. Udział kaolinu ze źródeł odpadowych, niekiedy o stosunkowo wysokiej zawartości tlenków barwiących (1–2%), przekraczał w ostatnich latach 70% łącznej krajowej podaży surowców kaolinowych (Lewicka E., 2012).

11.6.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

1. Polska ma stosunkowo duże zasoby kopalin kaolinowych, choć charakteryzują się one przeciętną jakością. Złoża występują wyłącznie na Dolnym Śląsku w utworach neogenu i kredy górnej. Łączne zasoby bilansowe kaolinu w 15 złożach udokumentowanych według stanu na 31.12.2018 r. wynoszą 226,19 mln Mg, w tym 44,4 mln tys. Mg w siedmiu złożach pierwotnych, 64,6 mln Mg w trzech złożach wtórnych i 117 mln Mg w czterech złożach piaskowców kaolinitowych, a także 471 tys. Mg w złożu zwietrzliny haloizytowej.
2. Zasoby prognostyczne kaolinów oszacowano maksymalnie na 38,44 mln Mg, głównie w rejonie strzelińsko-świdnickim, a perspektywiczne – na co najmniej 59,97 mln Mg, w większości w rejonach: boleślawiecko-zgorzeleckim (Czerwona Woda), strzegomsko-świdnickim i strzelińskim.

3. Dla trzech obszarów prognostycznych w rejonie Świdnicy, zwłaszcza Żarów i Kalno, zlokalizowanych w pobliżu udokumentowanego złoża kaolinu Antoni (Kalno), stopień rozpoznania i jakość kopaliny są na tyle wysokie, że rekomendowane jest ich rozpoznanie w kategorii C₂ i włączenie do krajowej bazy zasobowej.
4. Wobec dużego zapotrzebowania w Polsce na surowce ceramiczne należy zagwarantować dostęp do złóż rezerwowych i obszarów prognostycznych kopalin kaolinowych, zwłaszcza w rejonie strzegomsko-świdnickim. Obszary perspektywiczne w pozostałych rejonach należy wyłączyć z rozważań ze względu na konflikt środowiskowy lub przestrzenny bądź słabe rozpoznanie jakości kopaliny.

Krzysztof Galos, Tadeusz Smakowski

11.7. DOLOMITY PRZEMYSŁOWE (*INDUSTRIAL DOLOMITE*), DOLOMITY CERAMICZNE I SZKLARSKIE (*DOLOMITE FOR CERAMICS AND GLASS*), DOLOMITY DLA HUTNICTWA I MATERIAŁÓW OGNIOTRWAŁYCH (*SMELTER AND REFRACTORY DOLOMITE*), MARMURY DOLOMITOWE (*DOLOMITIC MARBLE*)

11.7.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Kopaliny dolomitowe obejmują zróżnicowaną litologicznie grupę skał metamorficznych, metasomatycznych i osadowych, których podstawowym składnikiem jest minerał dolomit. Wyróżnia się tu: dolomity pierwotne (osadowe), dolomity wtórne (metasomatyczne, po dolomityzacji wapieni) oraz marmury dolomitowe. W Polsce skały dolomitowe tworzą serie występujące na znacznych obszarach. W granicach dokumentowanych złóż, w zależności od parametrów jakościowych kopaliny niekiedy są wydzielane obszary przydatne do odmiennych zastosowań (np. zasoby dolomitów: ceramicznych, hutniczych i ogniotrwałych, do produkcji kruszywa łamanego oraz blocznych). Zasadnicze znaczenie złożowe mają: prekambryjskie marmury dolomitowe w Sudetach, dolomity środkowodewońskie i triasowe regionu śląsko-krakowskiego oraz dolomity środkowodewońskie Gór Świętokrzyskich.

Marmury dolomitowe występują w Sudetach w Rudawach Janowickich, masywie Śnieżnika i paśmie Krowiarek. Największe znaczenie ma ostatni z tych obszarów, w którym występuje najwięcej złóż dolomitów oraz obszarów prognostycznych i perspektywicznych. Tworzą one izolowane soczewki różnych rozmiarów w obrębie łupków metamorficznych, często stromo nachylone i sfałdowane. Niektóre odmiany dolomitów cechują się najwyższą w Polsce czystością, przy zawartości MgO nawet powyżej 21%, a Fe_2O_3 poniżej 0,2%, szczególnie przydatne w przemyśle szklarskim i ceramicznym (Nieć, 2000b; Wyszomirski i Galos, 2007b).

Dolomity środkowodewońskie, będące efektem dolomityzacji wapieni, występują w Górach Świętokrzyskich. Są to dolomity eiflu – kryptokrystaliczne, cienko uławiczone, oraz dolomity żywetu – krystaliczne, gruboławicowe. Kompleksy dolomitowe mają nawet do 400 m miąższości i zwykle zapadają pod kątem od kilku do kilkudziesięciu stopni. Występują w trzech strefach: kieleckiej, lysogórskiej i łagowsko-ianowskiej. Wykazują zwykle wysoką zawartość MgO, ale także wysoką i zmienną zawartość SiO_2 oraz zmienną zawartość Fe_2O_3 i Al_2O_3 , stąd ich przydatność do zastosowań przemysłowych jest z reguły ograniczona. Zastosowanie znajdują głównie do produkcji kruszyw łamanych (Nieć, 2000b; Galos, 2015c).

W regionie śląsko-krakowskim dolomity dewońskie tworzą izolowane wystąpienia w otoczeniu utworów młodszych, najczęściej dolomitów triasowych, w szczególności w rejonie Olkusza i Siewierza. Zwłaszcza w tym ostatnim rejonie są one dokumentowane i eksploatowane wraz z leżącymi wyżej dolomitami triasowymi. Dolomity triasu środkowego i dolnego, będące efektem epigenetycznej dolomityzacji, to głównie dolomity kruszczońskie o miąższości 20–60 m i zmiennych parametrach jakościowych (w tym chemicznych) oraz dolomity diploporowe o miąższości 15–20 m oraz wysokiej zawartości MgO, niskiej SiO_2 oraz zmiennej Fe_2O_3 (Nieć, 2000b). Najlepsze odmiany znajdują zastosowanie w hutnictwie żelaza jako topnik oraz do produkcji dolomitu prążonego dla przemysłu materiałów ogniotrwałych (Galos, 2015c).

11.7.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Na świecie złoża dolomitów przemysłowych są powszechne, lecz informacje o ich zasobach w poszczególnych krajach z reguły nie są dostępne.

Według *Bilansu zasobów* zasoby bilansowe 12 udokumentowanych złóż dolomitów przemysłowych w Polsce na koniec 2018 r. wynosiły 501 867 tys. Mg, od 2008 r. uległy zmianie głównie w wyniku prowadzonej eksploatacji, a w 2018 r. – także przeklasyfikowania złoża Żelatowa do złóż kamieni łamanych i budowlanych (Tymiński, 2019d). Znajdują się one na terenie dwóch województw – dolnośląskiego (1 złożo marmuru dolomitowego Rędziny o zasobach 29 408 tys. Mg) oraz śląskiego (10 złóż dolomitów triasowych i dewońskich o łącznych zasobach 472 459 tys. Mg). Obecnie prowadzi się eksploatację czterech złóż: Rędziny, Brudzowice, Chruszczobród 2 oraz Ząbkowice Będzińskie I. Łączne wydobycie w latach 2008–2018 wahało się w przedziale 2,8–3,5 mln Mg/rok. Część pozyskiwanego dolomitu wykorzystywano do produkcji mączek dolomitowych dla przemysłu szklarskiego i ceramicznego lub dolomitu dla hutnictwa i prze-

mysłu materiałów ogniotrwałych. Większość surowca była przeznaczana do produkcji dolomitowych kruszyw łamanych i nawozów (Galos, 2015c).

Znaczną część złóż dolomitów udokumentowano w grupie złóż kamieni łamanych i blocznych. Według stanu na koniec 2018 r. udokumentowanych było 51 złóż dolomitów o łącznych zasobach 1 253 860 tys. Mg, zlokalizowanych głównie w województwie świętokrzyskim, a także śląskim i małopolskim, oraz siedem złóż marmurów dolomitycznych o łącznych zasobach 215 496 tys. Mg, znajdujących się w całości w województwie dolnośląskim (Brzeziński i Miśkiewicz, 2019). Najczystsze odmiany dolomitów z tych złóż są stosowane w przemyśle, np.: marmury dolomitowe ze złóż Ołdrzychowice-Romanowo, Nowy Waliszów-soczewka C i Romanowo-Waliszów Południe – do produkcji mączek i grysów dolomitowych dla przemysłu szklarskiego i ceramicznego, dolomity ze złóż Libiąż i Żelatowa w województwie małopolskim, oraz Nowa Wioska i Podleśna w województwie śląskim – do produkcji dolomitu dla hutnictwa i przemysłu materiałów ogniotrwałych (Galos, 2015c).

Wystarczalność statyczna zasobów przemysłowych zagospodarowanych złóż dolomitów przemysłowych na koniec 2018 r. wynosiła 42 lata, dolomitów udokumentowanych w grupie złóż kamieni łamanych i blocznych – 24 lata, a marmurów dolomitowych udokumentowanych w grupie złóż kamieni łamanych i blocznych – ok. 380 lat. W odniesieniu do całości zasobów bilansowych jest ona kilkukrotnie wyższa.

11.7.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Głównymi kryteriami stosowanymi do wyznaczania złóż dolomitów przemysłowych są: maksymalna grubość nadkładu, stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża (N/Z) oraz minimalna zawartość MgO. Dodatkowo kopalina powinna spełniać wymagania jakościowe w zakresie zawartości Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO i SiO_2 , co określa jej przydatność w określonym kierunku zastosowania przemysłowego (np. dla przemysłu szklarskiego i ceramicznego, przemysłu materiałów ogniotrwałych, hutnictwa żelaza). Obowiązujące kryteria dla złóż dolomitów przemysłowych wprowadzone *Rozporządzeniem...* (2015a) przedstawia tabela 11.19.

Tab. 11.19. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża dolomitów przemysłowych* i jego granice (*Rozporządzenie...*, 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Maksymalna głębokość dokumentowania	m	do głębokości możliwej eksploatacji
Maksymalna grubość nadkładu	m	15
Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża	–	0,3
Minimalna zawartość MgO	%	16

* nie dotyczy dolomitów dokumentowanych jako kamienie łamane i bloczne

11.7.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Autorzy nie widzieli merytorycznej potrzeby stosowania innych kryteriów niż wskazane w rozdziale 11.7.3.

11.7.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Na terenie Polski dolomity lub marmury dolomitowe o parametrach jakościowych spełniających wymagania dla dolomitów przemysłowych (dla przemysłu szklarskiego, ceramicznego, materiałów ogniotrwałych i hutnictwa) występują głównie w województwie dolnośląskim (marmury dolomitowe) oraz śląskim i małopolskim (dolomity triasowe i dewońskie), potencjalnie także w województwie świętokrzyskim (dolomity dewońskie). Wykonane w ostatnich latach prace były podstawą do wydzielenia 12 obszarów prognostycz-

Tab. 11.20. Zestawienie zasobów prognostycznych dolomitów przemysłowych w Polsce

Nazwa obszaru	Województwo	Wiek formacji	Zasoby prognostyczne [mln Mg]
Mielnik 1	dolnośląskie	prekambr	12,18
Mielnik 2			3,34
Piotrowice 1			19,35
Piotrowice 2			10,01
Romanowo 1			25,02
Nowy Waliszów 1			7,51
Nowy Waliszów 2			27,02
Nowy Waliszów 3			3,34
Lipówka	świętokrzyskie	dewon	175,96
Brudzowice	śląskie	dewon+trias	83,86
Ciężkowice S		trias	93,00
Imielin			43,60
Razem			504,20

nych z częściowo określoną charakterystyką jakościową (położonych poza obszarami prawnie chronionymi), o łącznych zasobach 504,20 mln Mg* (tab. 11.20).

W przypadku marmurów dolomitowych wydziela się 8 niewielkich obszarów prognostycznych w paśmie Krowiarek w synklinie Żelazna, synklinie Romanowa oraz synklinie Mielnik-Waliszów (tab. 11.20). Niestety kopalina z tych obszarów była badana tylko w zakresie parametrów fizykomechanicznych, bez oznaczeń składu chemicznego, ale przez analogię do sąsiadujących udokumentowanych złóż marmurów dolomitowych potencjalnie można ją uznać za przydatną także do produkcji dolomitowych mączek szklarskich (Bobiński i in., 2004).

We wschodniej części regionu świętokrzyskiego, w rejonie Opatowa, wydzielono cztery obszary prognostyczne dolomitów dewońskich. Tylko w przypadku obszaru Lipówka wstępnie określono, że kopalina dolomitowa może być przydatna nie tylko do produkcji kruszywa łamanego, ale potencjalnie także jako dolomit hutniczy. Jest to stosunkowo duży obszar o powierzchni 67,6 ha i miąższości kopaliny ponad 90 m (Gągoł i in., 2006).

W regionie śląsko-krakowskim wydzielono trzy obszary prognostyczne dolomitów triasowych (częściowo też dewońskich) o zbadanej jakości kopaliny, które mogą być przydatne jako dolomity hutnicze. Obszar prognostyczny dolomitów triasowych Ciężkowice S występuje w rejonie Jaworzna, w otoczeniu złoża dolomitów Jaworzno-Ciężkowice. Obszar prognostyczny dolomitów triasowych Imielin znajduje się w rejonie Imielina, na północ od udokumentowanego złoża dolomitów Imielin, a obszar prognostyczny dolomitów triasowych i dewońskich Brudzowice – w rejonie Siewierza, na zachód od udokumentowanego złoża dolomitów Brudzowice.

Ponadto obszary perspektywiczne występowania dolomitów przemysłowych są wyróżniane: w przypadku dolomitów triasowych regionu śląsko-krakowskiego – 17 obszarów pomiędzy Siewierzem a Jaworzniem, Trzebiną i Olkuszem o łącznej powierzchni ponad 4800 ha, w przypadku dolomitów dewońskich regionu świętokrzyskiego – sześć obszarów pomiędzy Kielcami a Opatowem.

* W związku z tym do grupy tej nie zaliczono jednego z wcześniej wyróżnianych obszarów prognostycznych marmurów dolomitowych Romanowo 2.

11.7.6. Stan rozpoznania geologicznego

Baza zasobowa dolomitów przemysłowych w Polsce jest stosunkowo duża, nawet w przypadku złóż zagospodarowanych pozwalająca na wieloletnie zabezpieczenie zapotrzebowania na te surowce.

Rosnące zapotrzebowanie na dolomity najwyższej czystości, szczególnie ze strony przemysłu szklarskiego, sprawia, że wskazane jest lepsze rozpoznanie obszaru występowania najczystszych skał dolomitowych w Polsce – marmurów dolomitowych w rejonie Kłodzka. Występuje tu 12 złóż marmurów dolomitowych i dolomitowo-kalcytowych udokumentowanych w grupie złóż kamieni łamanych i blocznych oraz dodatkowo osiem obszarów prognostycznych tych marmurów. W odniesieniu do przynajmniej części z nich należałoby przeprowadzić dodatkowe prace wiertnicze, przede wszystkim pod kątem badań składu chemicznego.

Obecnie nie ma potrzeby prowadzenia uszczegóławiających prac rozpoznawczych w wydzielonych obszarach prognostycznych i perspektywicznych dolomitów dewońskich i triasowych.

11.7.7. Ocena zasobów i ich zmian

W stosunku do poprzedniej edycji *Bilansu* ze stanem na koniec 2009 r. (Galos i Smakowski, 2011) zmniejszyła się liczba wyróżnianych obszarów prognostycznych marmurów dolomitowych (z 9 do 8) oraz wzrosła liczba wyróżnianych obszarów prognostycznych dolomitów dewońskich i triasowych (z 2 do 4). Łączna wielkość szacowanych zasobów prognostycznych wzrosła z 266,38 mln Mg do 504,20 mln Mg, przy czym w odniesieniu do marmurów dolomitowych zmalała z 130,08 mln Mg do 107,78 mln Mg, a w przypadku dolomitów dewońskich i triasowych wzrosła z 136,60 mln Mg do 396,42 mln Mg w związku z pojawieniem się dwóch nowych dużych obszarów: Lipówka i Brudzowice. W tabeli 11.21 zestawiono zasoby bilansowe i prognostyczne dolomitów przemysłowych w Polsce.

Tab. 11.21. Zasoby bilansowe i prognostyczne dolomitów przemysłowych* w Polsce wg stanu na 31.12.2018 r.

Zasoby bilansowe		Zasoby prognostyczne	
liczba złóż	[mln Mg]	liczba obszarów	[mln Mg]
11	501,87**	12	504,20

* dla przemysłu szklarskiego, ceramicznego, materiałów ogniotrwałych i hutnictwa

** bez złóż udokumentowanych w grupie złóż kamieni łamanych i blocznych, spośród których niektóre są lub mogą być wykorzystywane do produkcji dolomitu przemysłowego

Łączne wydobycie ze złóż dolomitów przemysłowych w latach 2008–2018 wahało się w przedziale 2,8–3,5 mln Mg/rok, lecz tylko mniejsza część pozyskiwanego dolomitu była wykorzystywana do produkcji mączek dolomitowych dla przemysłu szklarskiego i ceramicznego lub dolomitu dla hutnictwa i przemysłu materiałów ogniotrwałych. Z drugiej strony do tych celów użytkowano marmur dolomitowy lub dolomit z niektórych złóż zaliczanych do złóż kamieni łamanych i blocznych (np. Ołdrzychowice-Romanowo, Nowy Waliszów-soczewka C, Romanowo-Waliszów Południe, Libiąż, Nowa Wioska i Podleśna). W rezultacie łączne zużycie dolomitów do celów przemysłowych wahało się w przedziale 1,4–1,8 mln Mg/rok, bez wyraźnych tendencji spadkowych lub wzrostowych. Należy jednak zauważyć, że zainteresowanie dolomitami jako surowcami dla przemysłu materiałów ogniotrwałych oraz dla hutnictwa w ciągu ostatnich 20 lat zmalało kilkakrotnie, choć w ostatnim czasie osiągnęło pewną stabilizację. Systematycznie rośnie natomiast popyt na najwyższej jakości mączki dolomitowe dla przemysłu szklarskiego, tylko w części zaspokajane produkcją na bazie krajowych marmurów dolomitowych (Galos, 2015c).

11.7.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

1. Polska jest krajem dość zasobnym w złoża dolomitów przemysłowych. Łączne ich zasoby w 11 złożach udokumentowanych wg stanu na 31.12.2018 r. wynosiły 501,9 mln Mg, przy czym 10 złóż jest udokumentowanych w regionie śląsko-krakowskim (dolomity dewońskie i triasowe), a tylko jedno (marmuru

dolomitowego) na Dolnym Śląsku. Dodatkowo w grupie złóż kamieni łamanych i blocznych udokumentowano 51 złóż dolomitów o łącznych zasobach 1253,9 mln Mg (zlokalizowane głównie w województwie świętokrzyskim, a także śląskim i małopolskim) oraz siedem złóż marmurów dolomitycznych o łącznych zasobach 215,5 mln Mg (w województwie dolnośląskim).

2. Zasoby prognostyczne dolomitów przemysłowych w Polsce są oceniane na 504,20 mln Mg, w tym 107,78 mln Mg marmurów dolomitowych w ośmiu obszarach na Dolnym Śląsku oraz 396,42 mln Mg dolomitów triasowych i dewońskich w czterech obszarach w regionach śląsko-krakowskim i świętokrzyskim.
3. Rosnące zapotrzebowanie na dolomity najwyższej czystości szczególnie ze strony przemysłu szklarskiego sprawia, że wskazana jest poprawa rozpoznania obszaru występowania najczystszych skał dolomitowych w Polsce – marmurów dolomitowych w rejonie Kłodzka. Występuje tu 12 złóż marmurów dolomitowych i dolomitowo-kalcytowych udokumentowanych w grupie złóż kamieni łamanych i blocznych oraz dodatkowo osiem obszarów prognostycznych tych marmurów. Przynajmniej dla niektórych z nich należałoby przeprowadzić dodatkowe prace wiertnicze pod kątem przede wszystkim badań składu chemicznego.

Cezary Sroga

11.8. MAGNEZYTY (*MAGNESITE*)

11.8.1. Rodzaje złóż i ich geneza

W Polsce złoża magnezytów (węglan magnezu $MgCO_3$) są znane jedynie z Dolnego Śląska. Występują w obrębie masywów serpentynitowych, odsłaniających się na powierzchni w okolicach Sobótki i Ząbkowic Śląskich, jako część kompleksu ofiolitowego w obrzeżeniu bloku sowiogórskiego. O ile wiek dolnośląskich ofiolitów wciąż jest dyskutowany – przeważa pogląd o środkowopaleozoicznych intruzjach magm perydotytowych i ich późniejszym przeobrażeniu w serpentynity (Niśkiewicz i in., 1995) – o tyle wiek i geneza samych magnezytów są raczej ustalone. Są one produktem kenozoicznych procesów hipergenicnych w serpentynitach (Kubicz, 1970; Osika i Gajewski, 1979; Osika, 1987b). Udokumentowane złoża magnezytów grupują się obecnie w trzech masywach serpentynitowych: Gogołów-Jordanów w północnym obrzeżeniu bloku sowiogórskiego oraz Szklar i Grochowej-Braszowic w południowo-wschodnim obrzeżeniu.

Mineralizacja magnezytowa występuje w brzeżnych partiach masywów, w zwietrzałych serpentynitach, poniżej strefy intensywnego wietrzenia i sięga do głębokości ok. 200 m. W udokumentowanych złożach magnezyt jest skrytokrystaliczny, masywny i zbity; zawiera znaczną niekiedy domieszkę krzemionki (do 10%) w postaci opalu, chalcedonu lub kwarcu. Z kolei zmienna barwa kopaliny, biała, żółta lub różowa, jest związana z występowaniem Fe_2O_3 w ilości od poniżej 1% do 2–3%. Mineralizacja najczęściej przybiera formę sieci żył i żyłek o miąższości od kilku do kilkudziesięciu centymetrów w przypowierzchniowych strefach poszczególnych masywów; rzadziej tworzy grubsze (do kilku metrów miąższości) żyły o długości kilkudziesięciu metrów. Sporadycznie żyły osiągają długość ponad 100 m i dochodzą do 4 m grubości (Gajewski, 1970a, 1974).

11.8.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Światowe zasoby magnezytu są oceniane na ponad 13 mld Mg. Większość złóż tworzą magnezyty krystaliczne, powstałe w wyniku procesów hydrotermalno-metasomatycznych w formacjach dolomitowych i wapiennych, a także procesów sedimentacji w lagunach i płytkich morzach. Mniejsze znaczenie mają złoża magnezytów skrytokrystalicznych, powstałe w serpentynitach w wyniku przemian hydrotermalnych oraz wietrzenia i infiltracji masywów serpentynitowych. Główne zasoby są skupione w Chinach (ponad 30%) oraz w Korei Północnej i Rosji, a także w Brazylii, Australii, Europie Środkowej i Południowej. Najważniejszymi producentami górniczymi magnezytu są Chiny oraz Turcja, Rosja i Brazylia, a światowe wydobycie w ostatnich latach oscyluje w granicach 20–30 mln Mg rocznie (Galos, 2015d). Podaż magnezytu surowego – głównego surowca do produkcji magnezytu prażonego i kalcynowanego – jest ściśle związana z koniunkturą u głównych użytkowników magnezytowych materiałów ogniotrwałych, przede wszystkim w hutnictwie żelaza. Podaż ta podlega w okresach kilkuletnich dużym fluktuacjom. W tym stanie rzeczy wystarczalność zasobów magnezytu wydaje się być nieograniczona (rzędu tysiąca lat), tym bardziej, że coraz większego znaczenia nabiera pozyskiwanie surowców magnezowych z wody morskiej i solanek.

Według stanu na koniec 2018 r. krajowe zasoby geologiczne magnezytu w udokumentowanych złożach wynoszą 15,90 mln Mg, z czego 13,72 mln Mg magnezytu to zasoby bilansowe (w 6 złożach) i 2,18 mln Mg – pozabilansowe. Znaczna część zasobów bilansowych (4,10 mln Mg) jest skupiona w zaniechanym złożu Wiry k. Sobótki, a ponad połowa (7,90 mln Mg) – we wstępnie rozpoznanych złożach Grochów, Wiry-Gogołów, Wiry-Tapadła i Szklary (Malon, 2019i).

Od 1997 r. jedynym eksploatowanym złożem magnezytu jest złożo Braszowice (kopalnia Konstanty) w Grochowie. Metodą odkrywkową jest tu pozyskiwany urobek magnezytowo-serpentynitowy niskiej jakości w ilości ok. 100 tys. Mg rocznie. Po przeróbce uzyskuje się koncentrat o zawartości MgO 43–45%, z którego jest produkowany mielony magnezyt. Znajduje on zastosowanie jako półfabrykat do produkcji nawozów sztucznych, a także w procesach uzdatniania wody, neutralizacji ścieków oraz jako dodatek do pasz. Pozostała część zapotrzebowania na magnezyt oraz magnezje prażone, kalcynowane i topione jest pokrywana importem (ok. 100 tys. Mg/rok). Ze względu na zasoby bilansowe magnezytu w złożu Braszowice oraz w czterech wstępnie rozpoznanych złożach ich wystarczalność można określić na ok. 135 lat.

11.8.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Obowiązujące kryteria bilansowości dla złóż magnezytu wprowadzono *Rozporządzeniem...* (2015a; tab. 11.22).

Ponadto bilansowe partie złoża magnezytu do wyrobów ogniotrwałych powinny cechować się zasobnością (w żyłach o miąższości ponad 5 cm) co najmniej 15%, przy maksymalnej zawartości SiO_2 8% i minimalnej zawartości MgO 40%. Dla złóż magnezytów do produkcji nawozów zawartość MgO związanego w magnezycie, w skale magnezytonej, określa się na minimum 35% (Nieć, 2000a).

Tab. 11.22. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża magnezytu i jego granice
(*Rozporządzenie...*, 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Maksymalna głębokość dokumentowania	m	150
Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża	–	0,5
Minimalna miąższość strefy złożowej	m	2,0
Minimalny uzysk magnezytu z profilu serii złożowej	% wag.	4,0
Minimalna zawartość MgO w magnezycie	%	35

11.8.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Autor nie widzi merytorycznej potrzeby stosowania innych kryteriów niż wskazane w rozdziale 11.8.3.

11.8.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych i stan rozpoznania geologicznego

Stopień rozpoznania mineralizacji magnezytowej jest dość dobry, choć nie jest równomierny. Najlepiej rozpoznany i udokumentowany jest maszyn Grochowa-Braszowice, najslabiej – wschodnia część masywu Gogołów-Jordanów. Stan rozpoznania zasobów perspektywicznych magnezytu w ostatnim dziesięcioleciu nie zmienił się. Występują one wyłącznie w regionie dolnośląskim i są związane z bliskim otoczeniem rozpoznanych złóż. Najbardziej perspektywiczne dla dalszych poszukiwań są brzeżne partie masywów, w których proces serpentynizacji jest znacznie zaawansowany lub też zupełnie zakończony. Bezpośrednim wskaźnikiem stanu serpentynizacji jest zabarwienie zwietrzliny. Charakterystyczna dla potencjalnej mineralizacji jest rdzawa i rdzawożółta barwa minerałów wtórnych, a także obecność spękań i szczelin, co sprzyja mineralizacji o formie siatkowej. Stwierdzono również, że mineralizacja jest najbardziej intensywna w najniższych partiach zwietrzałych stref serpentynitów i zanika na granicy zwietrzliny i serpentynitu zsylikowanego. Natężenie mineralizacji jest większe w pobliżu kontaktów serpentynitu z granitami, granodiorytami i skałami gabrowymi, słabe zaś na kontaktach z gnejsami (Gajewski i Biernat, 1964; Gajewski, 1970a).

Łączne zasoby perspektywiczne magnezytów oszacowano w rejonach lepiej rozpoznanych na ok. 3,25 mln Mg kopaliny (tab. 11.23).

Perspektywy zasobowe w rejonie masywu Gogołów-Jordanów należy wiązać z obszarem występowania zmienionych serpentynitów na wschód od miejscowości Świątniki, a także na zachód i południowy zachód od Gogołowa, gdzie obok zmienionych serpentynitów występują zserpentynizowane perydotyty (Kubicz, 1966; Gajewski, 1970a, b). Szacunkowe zasoby perspektywiczne w tym obszarze określono na ok. 1,80 mln Mg (Gajewski, 1966b).

W masywie Szklar, największe możliwości wyszukania stref zasobnych w magnezycie są w północnej oraz środkowej – nieobjętej dokumentacją – partii masywu, gdzie w pobliżu kontaktu z granodiorytami występują zmienione serpentynity. Zasoby perspektywiczne tego rejonu oszacowano na 0,60 mln Mg magnezytów (Gajewski, 1970a).

Tab. 11.23. Obszary i zasoby perspektywiczne magnezytów

Nazwa obszaru	Zasoby perspektywiczne [mln Mg]
Województwo dolnośląskie	
Gogołów-Jordanów	1,80
Szklary	0,60
Grochowa-Braszowice	0,85
Razem	3,25

Tab. 11.24. Zasoby bilansowe i perspektywiczne magnezytów wg stanu na 31.12.2018 r.

Zasoby bilansowe		Zasoby prognostyczne	
liczba złóż	[mln Mg]	liczba obszarów	[mln Mg]
6	13,72	3	3,25

W obrębie masywu Grochowa-Braszowice bliżej nierozpoznane perspektywy zasobowe występują w dwóch rejonach. W północno-wschodniej części Wzgórz Grochowskich (w rejonie wsi Tarnów i Braszowice) stwierdzono pojedyncze żyły magnezytu o miąższości do 1 m oraz występowanie zmienionego serpentynitu, zmineralizowanego magnezytem siatkowym. Zasoby perspektywiczne określono tu na ok. 0,85 mln Mg magnezytów. Z kolei na zachód od wzgórza Mnich, w pobliżu sudeckiego uskoku brzeźnego w rejonie wsi Mikołajów i Budzów-Kolonia, stwierdzono magnezyt siatkowy i w formie cienkich żył w obrębie zmienionych serpentynitów na kontakcie z gabrami (Gajewski, 1969, 1970b, 1974). Ze względu na naturalną, znaczną zmienność mineralizacji magnezytowej w tym ostatnim rejonie trudno określić wielkość możliwych do odkrycia zasobów.

11.8.6. Ocena zasobów i ich zmian

Stan krajowych zasobów bilansowych magnezytu na przestrzeni ostatnich lat zmienia się w związku z eksploatacją odkrywkową w złożu Braszowice. Tempo eksploatacji podlega pewnym wahaniom; ostatnio roczne wydobycie kopaliny wzrasta i w 2018 r. wyniosło 102 tys. Mg (Malon, 2019i). Zasoby perspektywiczne magnezytu nie uległy natomiast zmianie (tab. 11.24).

Krajowe magnezyty w znikomym stopniu są wykorzystywane przez przemysł materiałów ogniotrwałych. Wynika to głównie ze słabej jakości kopaliny magnezytowej (zbyt wysoka zawartość SiO_2 i jednocześnie obecność CaO). Po wyprażeniu teoretycznie jest możliwe uzyskanie magnezytów o zawartości nieco powyżej 80% MgO . Swoistym problemem przy wykorzystywaniu surowca magnezowego do celów przemysłowych (a także w procesach jego przeróbki) jest obecność w skałach serpentynitowych minerałów o potencjale azbestu.

11.8.7. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Polska nie jest krajem zasobnym w złoża magnezytu. Brak jest kopaliny o lepszych parametrach jakościowych, umożliwiających zaspokojenie wymagań przemysłu materiałów ogniotrwałych. Najlepsze jakościowo i stosunkowo miększe żyły magnezytów w poszczególnych masywach zostały wyeksploatowane. W obszarach perspektywicznych nie należy spodziewać się większych koncentracji kopaliny dobrej jakości (Sroga, 2011c).

Pogarszająca się jakość surowca, przy rosnących wymaganiach przemysłu i konkurencyjności surowców importowanych – głównie ze Słowacji, Chin i Brazylii, spowodowały zaniechanie produkcji komponentów dla przemysłu hutniczego. Obecnie całość potrzeb w zakresie surowców kalcynowanych, prażonych i topionych jest pokrywana importem (Galos, 2015d).



12. INNE KOPALINY

pod redakcją Włodzimierza Miżerskiego

Krystyna Wołkowicz

12.1. KOPALINY DIATOMITOWE, DIATOMIT (*DIATOMACEOUS ROCK, DIATOMITE*)

12.1.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Diatomit jest bardziej zwięzłym, porowatym odpowiednikiem ziemi okrzemkowej, czyli luźnej lub słabo zwięzłej skały osadowej złożonej z opalowych skorupki okrzemek. Skorupki te są spojone opalowym cementem (opal-A) w różnym stopniu przekrystalizowanym w chalcedon i mikrokwarc. Typowe diatomity, których podstawowym składnikiem są okrzemki przy niewielkiej ilości spoiwa krzemionkowo-ilastego, charakteryzują się bardzo dużą porowatością i nasiąkliwością oraz małą gęstością przestrzenną (Nieć, 2005).

Skały diatomitowe występują w Polsce w Karpatach, w jednostce skolskiej, między południkami Sędziszowa Małopolskiego i Przemyśla, w trzech poziomach stratygraficznych: w najwyższym dolnomiocenim poziomie z Leszczawki, w najmłodszych warstwach krośnieńskich; w górnooligocenim-dolnomiocenim poziomie z Piątkowej, w najniższych warstwach krośnieńskich; w dolnooligocenim poziomie z Futomy, w dolnej części warstw menilitowych (Kotlarczyk, 1991). Geneza tych skał jest morska, lecz wśród okrzemek wyróżnionych w diatomitach poziomu z Leszczawki występują formy słono- i słodkowodne (Kotlarczyk i Kaczmarek, 1987; Kotlarczyk, 1991). Laminowane diatomity poziomu z Futomy powstały wskutek ciągłego wypadania przemieszanego materiału okrzemkowego i detrytycznego z dennych prądów trakcyjnych (Kotlarczyk, 1991). Łupki okrzemkowe z Piątkowej utworzyły się wskutek wypadania z prądów zawieszinowych (Żgiet, 1963; Kotlarczyk, 1991). Natomiast geneza diatomitów poziomu z Leszczawki obejmuje zespół procesów, wśród nich – kohezjne spływy mulowe (Kotlarczyk, 1966, 1991), a po lityfikacji – kolejne przemieszczenia osuwiskami podmorskimi (Kotlarczyk, 1991). Pochodzenie krzemionki mogło być różnorodne. Wieser (1963, zob. Gucwa, 1973) określił, że źródłem krzemionki było składowanie wulkaniczne, które po rozłożeniu dało montmorillonit i wolną krzemionkę (opal), stanowiącą łatwo przyswajalny materiał dla organizmów. Krzemionka mogła pochodzić też z rozkładu skał organicznych i z przeobrażenia skał ilastych (Gawel, 1950).

12.1.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Diatomity na świecie są rozpatrywane łącznie z innymi kopalinami krzemionkowymi wykazującymi podobne właściwości i skład mineralny, czyli z ziemią krzemionkową i ziemią okrzemkową (Guzik, 2015).

Na świecie znanych jest ponad 200 złóż diatomitów (Guzik, 2015) w prawie 30 krajach na wszystkich kontynentach (USGS, 2019). Łączne zasoby oszacowano na ponad 800 mln Mg w 2013 r. (Guzik, 2015), a w 2018 r. ich nie określono (USGS, 2019). Największe zasoby diatomitów występują w USA (ok. 250 mln Mg), nieco mniejsze w Chinach (110 mln Mg) i Turcji (44 mln Mg). Wydobycie diatomitów na świecie w 2018 r. wyniosło 2,7 mln Mg, a wystarczalność statyczna udokumentowanych zasobów jest na poziomie przekraczającym 350 lat, a więc jest bardzo wysoka. Dodatkowo kopaliny te mają wiele naturalnych i syntetycznych zamienników. W 2018 r. największymi producentami diatomitów były USA (29% światowej produkcji), Dania (16%) oraz Chiny (15%) i RPA (10%; USGS, 2019).

W Polsce, rozpatrując każdą porowatą kopalinę krzemionkową oddzielnie, brak jest wystąpień ziemi okrzemkowej *sensu stricto*, natomiast złoża ziemi krzemionkowej występują w Górach Świętokrzyskich i na Wyżynie Lubelskiej, a złoża diatomitów w Karpatach.

W poziomie z Leszczawki wydzielono cztery złoża kopaliny diatomitowej: Leszczawka Pole Jaworowice-Borownica, Jawornik (wydzielone ze złoża Leszczawka Pole Jaworowice-Borownica), Leszczawka-Pole Kuźmina i Kuźmina (wydzielone ze złoża Leszczawka-Pole Kuźmina), których łączne zasoby bilansowe oszacowano na ponad 10 mln Mg (w kat. C_1 – 3,27 mln Mg, w kat. C_2 – 6,74 mln Mg), a pozabilansowe na 2,74 mln Mg. Obecnie eksploatowane jest tylko złożo Jawornik o zasobach bilansowych 640,1 tys. Mg (w kat. C_1 – 438,1 tys. Mg; w kat. C_2 – 202 tys. Mg; Bońda, 2019a). Kompleks diatomitowy tego złoża stanowi stromo nachylony (75–90°) pokład skał krzemionkowych i krzemionkowo-ilastych z przerostami skał klastycznych grubszych frakcji. W jego skład wchodzi: diatomity różnych odmian, piaskowce i łupki oraz diatomity zapiaszczone lub zailone. Występują też horyzonty form skrzemieniających i łupków rogowcowych. Głównym typem skały są mulowce diatomitowe (Kotlarczyk, 1991). Ze względu na niską jakość kopaliny

skala eksploatacji jest niewielka, w 2018 r. wyniosła 580 Mg kopaliny (Bońda, 2019a). Badania technologiczne wykazały, że po odpowiedniej przeróbce (mielenie i kalcynacja) można uzyskać surowiec odpowiadający diatomitom właściwym. W pozostałych złożach zasoby bilansowe na koniec 2018 r. wynosiły: Leszczawka Pole Jaworowice-Borownica – 3490,00 tys. Mg, Leszczawka-Pole Kuźmina – 5493,64 tys. Mg, Kuźmina – 392,19 tys. Mg (Bońda, 2019a).

Z punktu widzenia ochrony złóż złoża kopalin diatomitowych Jawornik i Leszczawka Pole Jaworowice-Borownica zaliczono do unikatowych w skali kraju, o wyjątkowej wartości użytkowej. Z punktu widzenia ochrony środowiska złoża te określono jako mało konfliktowe i możliwe do eksploatacji bez ograniczeń (Pająk, 2007). Także ewentualne podjęcie eksploatacji złóż Leszczawka Pole Kuźmina i Kuźmina uznano za mało konfliktowe dla środowiska (Bońda, 2019a).

Niedostatek surowca krzemionkowego jest bilansowany importem rzędu 7–10 tys. Mg/rok, głównie z Niemiec, Meksyku, USA i innych krajów. Niski poziom zapotrzebowania na surowce diatomitowe wynika w dużej mierze z małej znajomości kierunków ich zastosowań (Guzik, 2015).

12.1.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Graniczne wartości parametrów definiujących złoża diatomitów i jego granice według *Rozporządzenia...* (2015a) zestawiono w tabeli 12.1.

Tab. 12.1. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża diatomitów i jego granice
(*Rozporządzenie...*, 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Maksymalna głębokość spągu złoża	m	20
Maksymalny stosunek grubości nadkładu i przerostów płonnych do miąższości złoża	–	2
Minimalna zawartość wolnego SiO ₂	%	70
Maksymalna gęstość przestrzenna	g/cm ³	1,5
Minimalna zawartość okrzemek	%	40

12.1.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Autorka nie widzi merytorycznej potrzeby stosowania innych kryteriów niż wskazane w rozdziale 12.1.3.

12.1.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

W strefie występowania skał diatomitowych znajdują się: obszar prognostyczny Borek Nowy i cztery obszary perspektywiczne, w rejonie miejscowości: Futoma, Huta Poręby, Dobrzanka-Borownica i Leszczawka-Kuźmina (Wołkowicz K. i Kafara, 2018).

Obszar prognostyczny Borek Nowy – powierzchnia 3,8 ha, miąższość kompleksu skał diatomitowych 2,0–8,6 m, średnio 3,8 m, nadkład 6,2–11,7 m (Bajorek, 1989) – zasoby tego obszaru oszacowano na 200 tys. Mg w kategorii D₁ (Gągoł, 2001). Wcześniej zasoby kopaliny na tym obszarze zostały rozpoznane w kategorii C₂ i oszacowane w zależności od przyjętych jakościowych kryteriów bilansowości na od 27 do 320 tys. Mg (Bajorek, 1989). Porowatość kopaliny mieści się w przedziale 25,99–53,85% (średnio 36,59%), zawartość SiO₂ wynosi 59,05–89,61% (średnio 73,13%), a gęstość przestrzenna 0,91–1,66 g/cm³ (średnio 1,21 g/cm³; Formowicz i Grędysa, 2016a).

Obszar perspektywiczny Futoma – powierzchnia 34 ha – obejmuje obszary Futoma-Zachód i Futoma-Południe, w którym wydzielono dwa pola rozdzielone uskokiem: wschodnie i zachodnie (Kotlarczyk i in., 1996). Na podstawie danych zawartych w opracowaniu Bajorka (1989) zasoby rozpoznanego dokładniej

poła wschodniego oszacowano na ok. 200 tys. Mg (150 tys. m³) w kategorii D₁ (Gągół, 2001). Wcześniej Kotlarczyk i in. (1996) orientacyjnie oszacowali ogólne (bilansowe i pozabilansowe) zasoby prognostyczne skał diatomitowych na obszarze Futoma-Zachód na ok. 240 tys. Mg, w polu zachodnim obszaru Futoma-Południe na ok. 250 tys. Mg, a w polu wschodnim tego obszaru na ok. 500 tys. Mg (a w mniej korzystnym wariantcie, przy wyłączeniu ok. połowy miąższości serii jako pozaklasowej, na 250–300 tys. Mg). Porowatość kopaliny wynosi 14,06–58,73% (średnio 43,97%), zawartość SiO₂ 61,00–85,11% (średnio 73,36%), a gęstość przestrzenna 1,07–1,87 g/cm³ (średnio 1,36 g/cm³; Formowicz i Grędyś, 2016a).

W rejonie Huty Poręby – arkusz Bircza na MGŚP II (Formowicz i Grędyś, 2016b) – wyznaczono obszar perspektywiczny w pasie występowania skał diatomitowych pomiędzy złożami Jawornik i Leszczawka pole Jaworowice-Borownica (powierzchnia 32 ha). Miąższość kompleksu skał diatomitowych (bez przerostów) wynosi 18,8–52,8 m, grubość nadkładu 0,2–1,5 m. Porowatość kopaliny mieści się w przedziale 20,0–32,3%, zawartość Al₂O₃ i Fe₂O₃ to odpowiednio 7,8–12,4% i 3,5–5,8% (Formowicz i Grędyś, 2016b).

Dobrzanka-Borownica. Obszar perspektywiczny wyznaczono w pasie występowania skał diatomitowych pomiędzy złożami Leszczawka Pole Jaworowice-Borownica i Leszczawka Pole Kuźmina (powierzchnia ok. 90 ha, zasoby oszacowane w kat. D₁ 11 mln Mg, miąższość kompleksu skał diatomitowych bez przerostów 2,0–32,9 m, grubość nadkładu 0,2–3,2 m, zawartość SiO₂ średnio 72,9%, gęstość przestrzenna średnio 1,5 g/cm³; Śliwa M., 1982; Śliwowa i Russocki, 1979; Wołkowicz K., 2011a; Formowicz i Grędyś, 2016b). Według projektu badań geologicznych udokumentowanie kopalin diatomitowych z obszaru Dobrzanka-Borownica ma być uzależnione od przyszłych potrzeb gospodarki krajowej (Michalak, 1989).

Obszar perspektywiczny **Leszczawka-Kuźmina** wyznaczono na arkuszu Tyrawa Wołoska na MGŚP II (Formowicz i Grędyś, 2016), w rejonie występowania skał diatomitowych między miejscowościami Leszczawka i Kuźmina o powierzchni ok. 31 ha. Miąższość kompleksu skał diatomitowych (bez przerostów) wynosi 22,4–63,2 m, grubość nadkładu 0–9 m. Zawartość Al₂O₃ i Fe₂O₃ w kopalinie diatomitowej mieści się w przedziale odpowiednio: 4,1–13,9% i 2,1–4,6%, a gęstość przestrzenna wynosi 1,5–2,0 g/cm³ (Chmiel, 1971; Formowicz i Grędyś, 2016c).

Zasoby prognostyczne i perspektywiczne kopalin diatomitowych w Polsce zestawiono w tabeli 12.2. Zasoby prognostyczne oszacowano na 200 tys. Mg, a perspektywiczne na 11,2 mln Mg. Wyniki analizy perspektywiczności wystąpień kopalin diatomitowych w okolicy Futomy, Ulanicy (w sąsiedztwie obszaru perspektywicznego Futoma), a także w rejonie miejscowości Średnia i Wola Krzywiecka koło Przemyśla były negatywne.

Tab. 12.2. Zasoby prognostyczne i perspektywiczne skał diatomitowych

Nazwa obszaru prognostycznego	Zasoby [tys. Mg]
Zasoby prognostyczne	
Borek Nowy	200
Zasoby perspektywiczne	
Futoma	200 (określono tylko dla obszaru Futoma Południe, pole wschodnie)
Huta Poręby	nie określono
Dobrzanka-Borownica	11 000
Leszczawka-Kuźmina	nie określono

12.1.6. Stan rozpoznania geologicznego

Polska jest krajem dobrze rozpoznany pod względem możliwości występowania kopalin diatomitowych. Kopalina w udokumentowanych złożach jest dość niskiej jakości i budzi małe zainteresowanie przedsiębiorców.

12.1.7. Ocena zasobów i ich zmian

W stosunku do *Bilansu* 2011 r. zasoby bilansowe kopaliny diatomitowej w Polsce uległy zmniejszeniu, wskutek jej wydobycia, o 0,58 tys. Mg.

Obszar Borek Nowy pozostał obszarem prognostycznym z niezmienionymi zasobami 200 tys. Mg. Obszar prognostyczny Dobrzanka-Borownica przemianowano na perspektywiczny z niezmienionymi zasobami 11 mln Mg. Obszar prognostyczny Futoma-Południe zmieniono na perspektywiczny Futoma z zasobami 200 tys. Mg określonymi tylko dla obszaru Futoma Południe, w polu wschodnim. Wyróżniono dwa nowe obszary perspektywiczne – Huta Poręby i Leszczawka-Kuźmina – o nieokreślonych zasobach. Łączne oszacowane zasoby na obszarach perspektywicznych wynoszą ponad 11,2 mln Mg. Rozmieszczenie obszarów perspektywicznych występowania kopalin diatomitowych w Polsce ilustruje załącznik 6.

12.1.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

1. W regionie karpackim wyznaczono jeden obszar prognostyczny kopalin diatomitowych z zasobami 200 tys. Mg i cztery perspektywiczne z częściowo oszacowanymi zasobami wynoszącymi 11,2 mln Mg.
2. Zainteresowanie gospodarcze kopalnią krajową jest niewielkie z uwagi na jej niską jakość i dostępność substytutów.
3. Nie rekomenduje się prowadzenia prac poszukiwawczych kopalin diatomitowych.

Krystyna Wołkowicz

12.2. ZIEMIA KRZEMIONKOWA (*SILICEOUS EARTH*)

12.2.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Ziemia krzemionkowa jest wietrzeniową skałą krzemionkową, która powstaje w wyniku odwapniania opok i gez (Ruśkiewicz, 1975). Po wyługowaniu kalcytu pozostaje krzemionkowy szkielet (opal-CT) tworzący lekką, porowatą i kruchą skałę.

Ziemia krzemionkowa w Polsce powstała głównie w wyniku hipergenicznego, neogeńskiego wietrzenia skał kredowych, zawierających opoki. Mniejsze znaczenie mają wystąpienia związane z odwapnionymi w eocenie gezami paleoceńskimi (Nieć, 2005). Wypełnia małe, trudno wykrywalne formy w rowach tektonicznych w północno-wschodnim i południowo-zachodnim obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich, a na Wyżynie Lubelskiej występuje w formie płatów przykrytych utworami oligocenu (Ruśkiewicz, 1975).

Ziemia krzemionkowa odznacza się dużą porowatością, zdolnością chłonną i odpornością na działanie wysokiej temperatury. Właściwości te warunkują możliwość jej stosowania jako nośnika katalizatorów, nawozu mineralnego i środka ochrony roślin, przy rafinacji i filtracji olejów jadalnych i niektórych produktów naftowych oraz jako materiału izolacyjnego i składnika mas formierskich (Nowak M., 2006a).

12.2.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Ziemia krzemionkowa składem mineralnym i specyficznymi właściwościami jest zbliżona do diatomitów i ziemi okrzemkowej, dlatego bywa stosowana jako substytut niższych gatunków tych kopaliny. W gospodarce światowej wymienione kopaliny krzemionkowe są rozpatrywane wspólnie jako diatomity (Guzik, 2015). Na świecie znanych jest ponad 200 złóż diatomitów (Guzik, 2015), znajdują się one w prawie 30 krajach na wszystkich kontynentach (USGS, 2019). Łączne zasoby oszacowano ponad 800 mln Mg w 2013 r. (Guzik, 2015), a w 2018 r. ich nie określono (USGS, 2019). Największe zasoby diatomitów występują w USA (ok. 250 mln Mg), nieco mniejsze w Chinach (110 mln Mg) i w Turcji (44 mln Mg). Wydobycie diatomitów na świecie w 2018 r. wyniosło 2,7 mln Mg, a wystarczalność statyczna udokumentowanych zasobów jest na poziomie przekraczającym 350 lat, a więc jest bardzo wysoka. Dodatkowo kopaliny te mają wiele naturalnych i syntetycznych zamienników. W 2018 r. największymi producentami diatomitów były USA (29% światowej produkcji), Dania (16%) oraz Chiny (15%) i RPA (10%; USGS, 2019).

W Polsce, rozpatrując każdą porowatą kopalinę krzemionkową oddzielnie, brak jest wystąpień ziemi okrzemkowej *sensu stricto*, złoża diatomitów występują w Karpatach, natomiast złoża ziemi krzemionkowej w Górach Świętokrzyskich i na Wyżynie Lubelskiej. W obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich występują trzy złoża ziemi krzemionkowej: Piotrowice o geologicznych zasobach bilansowych 296 tys. Mg, Dąbrówka - pole I o zasobach 188 tys. Mg i Dąbrówka - pole II o zasobach 772 tys. Mg. Na Wyżynie Lubelskiej udokumentowano dwa złoża: Lechówka o zasobach bilansowych 961 tys. Mg i Lechówka II o zasobach 6 tys. Mg. Łączne zasoby bilansowe ziemi krzemionkowej w Polsce wyniosły na koniec 2018 r. 2,22 mln Mg i nie zmieniły się od 2014 r., kiedy to eksploatacja w ostatnim czynnym złożu (Lechówka II) została zaniechana (Bońda, 2019b).

Złoże ziemi krzemionkowej Piotrowice zaliczono z punktu widzenia wartości gospodarczej, do kategorii rzadkich w skali całego kraju (klasa 2), a z punktu widzenia ochrony środowiska do złóż mało konfliktowych – możliwych do zagospodarowania bez większych ograniczeń (klasa A; Nowak M., 2006a). Polska nie jest krajem zasobnym w porowate surowce krzemionkowe (ziemię krzemionkową i diatomity) wysokiej jakości. Ich niedostatek jest bilansowany importem rzędu 7–10 tys. Mg/rok, głównie z Niemiec, Meksyku, USA i innych krajów (Guzik, 2015).

12.2.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Graniczne wartości parametrów definiujących złoża ziemi krzemionkowej i jego granice według *Rozporządzenia...* (2015a) zestawiono w tabeli 12.3.

Tab. 12.3. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża ziemi krzemionkowej i jego granice (Rozporządzenie..., 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Maksymalna głębokość dokumentowania	m	50 i powyżej wody gruntowej
Minimalna miąższość złoża	m	1
Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża	–	3:1
Minimalna zawartość wolnego SiO ₂	%	80
Maksymalna zawartość Al ₂ O ₃ i Fe ₂ O ₃ (w tym Fe ₂ O ₃)	%	9 (5)
Maksymalna zawartość CaO	%	5

12.2.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Autorka nie widzi merytorycznej potrzeby stosowania innych kryteriów niż wskazane w rozdziale 12.2.3.

12.2.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Prace geologiczno-poszukiwawcze w celu rozpoznania występowania ziemi krzemionkowej w rejonie Chełma w województwie lubelskim prowadzono w latach 1950–1970. Badaniami objęto rejon położony pomiędzy miejscowościami Janów i Leonów oraz obszary położone w okolicach Rejowca. Najbardziej korzystne warunki stwierdzono na wschód od wsi Janów. Obszar ten, o powierzchni 107 ha, zakwalifikowano jako prognostyczny dla ziemi krzemionkowej. Miąższość kopaliny zmienia się od 1 do ok. 13 m (średnio 5 m). Głębokość rozpoznania mieści się między 4 a 22 m. Nadkład o grubości 1–16 m (średnio 10 m) stanowi piasek zailony, piasek z okruchami muszlowca i piasek glaukonitowy. Zawartość SiO₂ wynosi 47,78–80,27% (średnio 71,49%). Średnia zawartość Fe₂O₃ wynosi 3,94% (zmienia się w przedziale od 2,79 do 9,84%), a średnia zawartość Al₂O₃ – 13,81%. Zawartość CaO zawiera się między 1,65 a 13,91%, przy czym średnio wynosi 5,39%, a więc przekracza maksymalną zawartość graniczną określoną w *Rozporządzeniu...* (2015a; tab. 12.3). Kopalina krzemionkowa charakteryzuje się dużą zmiennością parametrów chemicznych, jednak mogłaby być wykorzystywana jako nośnik środków ochrony roślin, w przemyśle cementowym, chemicznym i budowlanym. Szacunkowe zasoby ziemi krzemionkowej wynoszą 3127 tys. Mg (Ruśkiewicz, 1973).

Wyniki rozpoznania występowania ziemi krzemionkowej w rejonie Krynicy (Ariańska Góra) i innych obszarów położonych na wschód od Chełma (Bojarski R., 1967; Wierchowicz, 2011; MGŚP) oraz obszarów w rejonie Opoki Dużej i Lasocina koło Piotrowic (Ruśkiewicz, 1971; Nowak M., 2006b; MGŚP), a także Góry Puławskiej koło Puław (Wołkowicz K., 2011b) są negatywne. Głównymi przyczynami takiej oceny były najczęściej: małe zasoby, niewielki zasięg poziomy i zła jakość kopaliny (zmienna i niska zawartość SiO₂ – poniżej 80%), zbyt duża zawartość minerałów ilastych i tlenków żelaza.

Tab. 12.4. Zasoby bilansowe i prognostyczne ziemi krzemionkowej w Polsce wg stanu na 31.12.2018 r.

Zasoby bilansowe		Zasoby prognostyczne	
liczba złóż	[tys. Mg]	liczba obszarów	[tys. Mg]
5	2223	1	3127

12.2.6. Stan rozpoznania geologicznego

Polska jest krajem dość dobrze rozpoznany pod względem możliwości występowania ziemi krzemionkowej i innych porowatych kopalin krzemionkowych. Kopalina w udokumentowanych złożach jest dość niskiej jakości i nie budzi zainteresowania przedsiębiorców.

12.2.7. Ocena zasobów i ich zmian

W stosunku do poprzedniego *Bilansu* (2011) zasoby bilansowe obszarów prognostycznych i perspektywicznych nie uległy zmianie. W rejonie Chełma na Lubelszczyźnie wskazano jedyny w Polsce obszar prognostyczny występowania ziemi krzemionkowej Janów o zasobach przekraczających 3 mln Mg.

Zasoby bilansowe i prognostyczne ziemi krzemionkowej zestawiono w tabeli 12.4, a rozmieszczenie obszarów perspektywicznych występowania tej kopaliny w Polsce ilustruje załącznik 6.

Podstawowymi barierami i ograniczeniami eksploatacji udokumentowanych złóż są małe ich zasoby, niska jakość kopaliny, często duża zmienność miąższości serii złożowej, a także możliwość zastąpienia ziemi krzemionkowej inną kopaliną o lepszych parametrach jakościowych – np. karbońskimi łałami montmorillonitowymi.

12.2.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

1. W rejonie Chełma na Lubelszczyźnie wskazano jedyny w Polsce obszar prognostyczny występowania ziemi krzemionkowej o zasobach przekraczających 3 mln Mg.
2. Jakość kopaliny ze złóż krajowych ziemi krzemionkowej jest niska.
3. Nie rekomenduje się prowadzenia prac poszukiwawczych ziemi krzemionkowej.

12.3. KOPALINY BENTONITOWE I ZEOLITOWO-BENTONITOWE (*BENTONITE AND BENTONITE CLAYS, ZEOLITE AND ZEOLITE CLAYS*)

12.3.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Do kopalin bentonitowych zalicza się bentonity, ily bentonitowe, bentonitowe zwietrzeliny bazaltowe oraz ily i łupki zeolitowo-bentonitowe. Skąły te zbudowane są głównie z minerałów ilastych grupy smektytu (przeważnie montmorillonitu lub beidellitu). Używane są też określenia: ily smektytowe, ily montmorillonitowe, ily klinoptylolitowo-montmorillonitowe itp. Geneza tych utworów ma związek z aktywnością wulkaniczną i osadzaniem pyłów wulkanicznych w środowisku morskim, rzadziej jeziornym. Bentonity właściwe powstały w wyniku przeobrażenia (bentonitizacji) szkliwa wulkanicznego występującego w utworach piroklastycznych i zawierają minimum 75% montmorillonitu. Inne kopaliny bentonitowe zawierają mniej smektytów, a więcej innych składników mineralnych. Złóża kopalin bentonitowych mają na ogół budowę warstwową (pokładową). Bentonity właściwe występują w Polsce tylko w postaci cienkich wkładek w skałach osadowych. Nieco inną kopaliną są iłolupki zeolitowo-bentonitowe. Składają się one głównie z montmorillonitu i krzemionki (opalu) oraz klinoptylolitu, powstającego w środowisku zasadowym (Wieser, 1994; Panna i in., 2014). Specyficzną kopaliną są bentonitowe zwietrzeliny bazaltoidów, które powstawały przy istotnym udziale procesów hydrotermalnych i tworzą pokrywę oraz gniazda na utworach piroklastycznych (Dyjur i Kościółko, 1991). Nie mają one zdolności pęcznienia i zawierają zwarte agregaty, scementowane amorficznymi wodorotlenkami żelaza i bezpostaciową krzemionką. Drobnokrystaliczna substancja ilasta może składać się z kilku rodzajów smektytów z szeregu beidellit-montmorillonit wapniowy (Sikora i in., 1986).

12.3.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Światowe zasoby kopalin bentonitowych są ogromne i występują na wszystkich kontynentach (największe w Azji i Ameryce Północnej). Szczególnie duże zasoby mają: Chiny, USA, Indie, Rosja, Grecja, Brazylia, Meksyk, Iran. W Europie znaczne zasoby (oprócz Grecji) mają też Niemcy, Słowacja, Ukraina, Włochy. Światowa produkcja bentonitów w 2018 r. wyniosła ok. 20 mln Mg. Największymi producentami są USA i Chiny, a w Europie – Grecja. Światowa produkcja zeolitów naturalnych wyniosła w 2016 r. ok. 3 mln Mg, a do największych producentów należą: Chiny, Korea Południowa, Japonia, Jordania, Turcja, Słowacja i USA.

Geologiczne zasoby bilansowe bentonitów i iłów bentonitowych w Polsce wynoszą zaledwie 2,88 mln Mg (tab. 12.5) i są udokumentowane w 8 złóżach (Brzeziński, 2019c). Na Dolnym Śląsku udokumentowano 3 złóża zwietrzeliny bentonitowej: Krzeniów, Jawor-Męcinka i Leśna-Miłoszów, przy czym stanowi ona kopalinę towarzyszącą w złóżach bazaltu. Spośród polskich złóż bentonitów zagospodarowany jest tylko Krzeniów, gdzie w 2018 r. wydobyto 560 Mg zwietrzeliny tufów bazaltowych. W bilansie nadal figurują dwa złóża kopalin bentonitowych z zapadliska przedkarpackiego: Górki i Jawor. W Karpatach fliszowych są

Tab. 12.5. Zasoby złóż i obszarów perspektywicznych występowania kopalin bentonitowych i zeolitowo-bentonitowych w Polsce wg stanu na 31.12.2018 r., w podziale na województwa

Województwo	Obszary perspektywiczne		Złóża udokumentowane		
	liczba	zasoby perspektywiczne [tys. Mg]	liczba	zasoby bilansowe [tys. Mg]	zasoby przemysłowe [tys. Mg]
Dolnośląskie	5	39 900	3	1577	344
Małopolskie	–	–	1	709	–
Podkarpackie	1	670	2	180	–
Świętokrzyskie	2	3056	2	417	–
Razem	8	43 626	8	2883	344

obecnie udokumentowane trzy złoża iłolupków bentonitowych: Polany, Dylągówka-Zapady i Trepcza (Międzybrodzie). W niedawno udokumentowanym złożu Dylągówka-Zapady występuje kopalina typu zeolitowo-krzemionkowo-bentonitowego. Obecnie przemysł wykorzystujący surowce bentonitowe w Polsce bazuje na dostawach z zagranicy, głównie ze Słowacji, a także innych krajów, m.in. Ukrainy, Włoch i Indii.

12.3.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Przez lata bentonitami nazywano kopaliny zawierające minimum 75% smektytów, natomiast iłami bentonitowymi – kopaliny zawierające 50–75% tych minerałów. Łagodne dawniej kryteria bilansowości zostały zastrzeżone w *Rozporządzeniu...* (2001), co podtrzymano w *Rozporządzeniu...* (2015a; tab. 12.6).

Tab. 12.6. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża kopalin bentonitowych i zeolitowo-bentonitowych i jego granice (*Rozporządzenie...*, 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Minimalna miąższość złoża	m	1
Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża	–	5
Minimalna zawartość montmorylonitu lub łącznie montmorylonitu i zeolitu	%	60
Maksymalna zawartość CaCO ₃	%	10
Maksymalna zawartość ziaren o średnicy powyżej 0,25 mm	%	10

12.3.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Opublikowane zostały dwie prace poświęcone złożom perspektywicznym kopalin bentonitowych, autorstwa Dyjora i Rubinowskiego (1993) oraz Podstolskiego (1994), przy czym przyjęte za nimi kryteria pozwalają oszacować zasoby głównie w kategorii D₂. Inne wystąpienia tych kopalin, odnotowane w różnych, przeważnie starszych opracowaniach geologicznych i zestawieniach zasobów, są bardzo słabo zbadane. W tych przypadkach można mówić jedynie o zasobach czysto hipotetycznych lub teoretycznych.

12.3.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Perspektywiczne surowce bentonitowe w Polsce to zwietrzeliny bazaltoidów Dolnego Śląska, ily bentonitowe zapadliska przedkarpackiego oraz ily i iłolupki bentonitowe i zeolitowo-bentonitowe Karpat. Karbońskie bentonity i ily bentonitowe Górnego Śląska utraciły znaczenie gospodarcze z powodu likwidacji kopalń węgla kamiennego, w których były wydobywane jako kopalina towarzysząca. Pokrywy zwietrzelinowe na skałach bazaltowych rozwinęły się w neogenie, głównie na obszarze Sudetów Zachodnich między Lubaniem i Leśną (Góry Izerskie), w rejonie między Bogatynią i Zgorzelcem oraz na bloku przedsudeckim w trójkącie Jawor–Złotoryja–Legnica. Znajduje się tam pięć obszarów perspektywicznych, o zasobach określonych w kategorii D₂ (Dyjur i Rubinowski, 1993): Męcinka, Leśna Północ, Trójca-Buszów, Wilczyce-Krotoszyce i Sulikowo. W zwietrzelinach bazaltowych ze smektytami (głównie beidellitem żelazistym) współwystępują kaolinit i haloizyt. Zwietrzeliny bentonitowe *sensu stricto* przeważają tylko na obszarach Męcinka i Leśna Północ. Bentonity i ily bentonitowe Podkarpacia występują w utworach miocénskich zapadliska przedkarpackiego, zwłaszcza w jego brzeżnych partiach. Przeważnie tworzą wkładki o grubości od kilku do kilkudziesięciu centymetrów w warstwach baranowskich (baden) oraz w formacjach iłów chodenickich i krakowieckich (sarmat). Wyróżnia się tam dwa obszary perspektywiczne (Dyjur i Rubinowski, 1993): Zrezcze (na wschodnim przedłużeniu wyeksploatowanego złoża iłów bentonitowych Chmielnik-Ciecierz) i Łaziska, gdzie wykazano zasoby prognostyczne w wysokości ponad 1 mln Mg. Ily bentonitowe Podkarpacia mają przeważnie niską jakość (zawartość montmorillonitu rzadko przekracza 40%). W Karpatach fliszowych realne perspektywy surowcowe są obecnie wiązane głównie z iłolupkami zeolitowo-bentonitowymi (klinopitylitowo-montmorillonitowymi). Prowadzone przed laty badania doprowadziły do wskazania w okolicach

Dynowa, w jednostce skolskiej, dwóch obszarów perspektywicznych takich kopalin (udokumentowanych w kategorii D₂), reprezentujących górną część serii pstrych łupków dolnoeoeńskich (Podstolski, 1994). W północnym skrzydle antykliny Futomy wyznaczono obszar perspektywiczny Ulanica. W drugim, oddalonym o kilka kilometrów na NE obszarze perspektywicznym Dylągówka udokumentowano w 2013 r. złożo Dylągówka-Zapady. W Karpatach istnieje możliwość wskazania kolejnych obszarów perspektywicznych tej kopaliny (nie tylko wieku eoeńskiego), pod warunkiem przeprowadzenia nowych, bardziej szczegółowych badań geologicznych.

12.3.6. Stan rozpoznania geologicznego

Ogólny stan rozpoznania regionów i jednostek geologicznych, w których można się spodziewać występowania kopalin bentonitowych, należy określić jako dobry. Jednak stan rozpoznania potencjalnych serii złożowych oraz właściwości kopaliny jest przeważnie niewystarczający. Wiarygodność danych dotyczących perspektyw surowcowych jest często ograniczona, ponieważ prowadzone przed wielu laty badania były nieliczne, zwłaszcza wobec skomplikowanej budowy geologicznej wielu serii złożowych. Poza tym podawane zasoby perspektywiczne należy zweryfikować, ponieważ zasoby te były ustalone przeważnie pod koniec XX w. i mogą nie spełniać aktualnych kryteriów bilansowości.

12.3.7. Ocena zasobów i ich zmian

Zasoby kopalin bentonitowych prawie nie zmieniły się od publikacji poprzedniego *Bilansu* (Brański, 2011b). Zasoby perspektywiczne według stanu na koniec 2018 r. wynoszą łącznie 43,63 mln Mg i występują w województwach: dolnośląskim, świętokrzyskim i podkarpackim (tab. 12.5). Ich nieznaczne zmniejszenie wynika z udokumentowania złoża Dylągówka-Zapady. Istnieje możliwość udokumentowania niewielkich ilości tych kopalin w sąsiedztwie istniejących złóż (zwłaszcza Krzeniów i Leśna-Miłoszów). Należy podkreślić, że zasoby perspektywiczne kopalin bentonitowych w województwie dolnośląskim mogą być w istocie znacznie mniejsze od podawanych, z powodu współwystępowania pokryw smektytowych z kaolinitowymi i haloizytowymi.

12.3.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Zasoby kopalin bentonitowych w Polsce są mocno ograniczone i mają niską jakość. Bentonity właściwe są bardzo nieliczne, częściej występują różnorodne ily bentonitowe o stosunkowo dużym udziale minerałów nieilastych. Poza tym aż ponad 90% zasobów perspektywicznych stanowią zwietrzeliny bazaltoidów – kopalina o niejednorodnym składzie mineralnym i nietypowych właściwościach, poważnie ograniczających zakres jej wykorzystania. Dodatkowe problemy to częste występowanie obszarów perspektywicznych w obrębie stref chronionych, a także skomplikowana budowa geologiczna i silne zaangażowanie tektoniczne niektórych serii złożowych (zwłaszcza kopalin fliszu karpackiego). Realne perspektywy surowcowe można wiązać tylko z bentonitowymi zwietrzelinami skał bazaltowych na Dolnym Śląsku oraz z iltami zeolitowo-bentonitowymi w Karpatach fliszowych i na tych odmianach powinny się koncentrować prace geologiczne oraz szczegółowe badania jakości kopaliny.

Paweł Brański

12.4. DARNIOWE RUDY ŻELAZA (*BOG IRON ORE*)

12.4.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Rudy darniowe to czwartorzędowe utwory żelaziste barwy żółtobrunatnej, czerwono-brunatnej lub brunatnoszarej, powstające w wyniku procesów biochemicznych, głównie na średnich szerokościach geograficznych, na nieznacznie urozmaiconych morfologicznie, podmokłych terenach. Występują tuż pod powierzchnią ziemi, w formie okruchowej (rud kawałkowe) lub sypkiej (rud miałkie) i są kopalnią odnawialną. Jej nagromadzenia mogą występować jako nieregularne formy pokładowe, ale częściej przybierają postać gniazd lub płatów, których rozciągłość nie przekracza kilkuset metrów. Ich miąższość jest zmienna, może dochodzić do 1 m, ale przeważnie wynosi 0,3–0,5 m. Wystąpienia rud darniowych mają bardzo nieregularny, nieforemny przebieg granic. Rudy darniowe bywają też nazywane rudami łąkowymi. Pokrewnymi kopalinami są inne czwartorzędowe rudy żelaza (bagienne, jeziorne, rzeczne).

Rudy darniowe były przez długi czas błędnie uznawane za odmianę limonitu lub żelaziaka brunatnego. Z przeprowadzonych badań (Rzepa i Ratajczak, 2004) wynika, że w składzie mineralnym rud darniowych dominują skrytokrystaliczne tlenowodorotlenki, wodorotlenki i tlenki żelaza (ferrihydryt, getyt, a sporadycznie hematyt i lepidokrokit). Obok nich pojawiają się tlenki manganu, fosforany (głównie wiwianit), podrzędnie syderyty, a także siarczany (głównie baryt) i autigeniczna krzemionka. W wielu odmianach istotną rolę odgrywa substancja organiczna, w różnym stopniu przeobrażona. Rudy darniowe zawierają również domieszkę materiału allogenicznego, głównie kwarcu detrytycznego, a w niewielkim stopniu także skałeni, okruchów skał i sporadycznie minerałów ciężkich.

Nagromadzenia rud darniowych występują zwykle na terenach podmokłych, charakteryzujących się stagnującym zwierciadłem wód gruntowych, ale trudno ustalić uniwersalny model ich powstawania, ponieważ przebieg procesów jest skomplikowany i silnie uzależniony od lokalnych warunków geologicznych i hydrogeochemicznych. Ogólne mechanizmy tworzenia się czwartorzędowych rud żelaza (darniowych, bagiennych, rzecznych czy jeziornych) są podobne i obejmują wietrzenie pierwotnych minerałów będących nośnikami żelaza, transport Fe z wodami powierzchniowymi i podziemnymi oraz utlenianie i wytrącanie wodorotlenków żelaza w sprzyjających warunkach przypowierzchniowych (Ratajczak i Rzepa, 2011 i literatura tam cytowana). Powstawaniu rud darniowych sprzyjają warunki klimatu umiarkowanego i wilgotnego, w których żelazo jest względnie mobilne i stosunkowo łatwo ługowane. Ważnymi czynnikami warunkującymi tworzenie się rud darniowych są: występowanie w pobliżu utworów będących nośnikami żelaza, obecność kwasów huminowych i innych roztworów organicznych oraz działalność mikroorganizmów (bakterii i grzybów).

12.4.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Trwające przez tysiące lat wykorzystywanie darniowych rud żelaza w hutnictwie ma obecnie znaczenie wyłącznie historyczne. Zakończono je przeważnie na początku, a w niektórych krajach w drugiej połowie XX w. Nieco dłużej kopalina była wykorzystywana w budownictwie i do oczyszczania gazów, ale tylko lokalnie i na małą skalę. W związku z tym dostępne opracowania i zestawienia zasobów udokumentowanych w różnych krajach są fragmentaryczne i zdezaktualizowane (pochodzą z połowy XX w. lub są jeszcze starsze). Ponieważ czwartorzędowe rudy żelaza występują przede wszystkim w strefach wilgotnego klimatu umiarkowanego i chłodnego, to w Europie rudy darniowe i utwory im pokrewne można głównie spotkać w rejonach centralnych i północnych. Największe zasoby takich rud występowały w Finlandii i w innych krajach skandynawskich, w Niemczech, Polsce, na Białorusi i Ukrainie oraz zarówno w europejskiej, jak w azjatyckiej części Rosji. Poza Europą obfite nagromadzenia rud darniowych spotyka się w Ameryce Północnej, głównie w rejonie Wielkich Jezior, w kanadyjskich prowincjach Quebec i Kolumbia Brytyjska, a także w stanie Kolorado i na Alasce (Ratajczak i Rzepa, 2011).

W Polsce wydobywania rud darniowych zaprzestano całkowicie pod koniec lat 80. XX w. Obecnie istnieje tylko jedno małe złożo (Dębe Małe) o zasobach udokumentowanych w wysokości niespełna 8 tys. Mg (Malon i in., 2019). Inne nagromadzenia tej kopaliny stwierdzone w wyniku prac poszukiwawczych w latach 1965–1967 zostały zarejestrowane według dawno zdezaktualizowanych kryteriów i od lat nie figurują w bilansach zasobów.

12.4.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Przez wiele lat w odniesieniu do darniowych rud żelaza nie stosowano ustalonych, jednolitych kryteriów geologiczno-poszukiwawczych i jakościowych. Posługiwano się kryteriami doraźnymi przy prowadzeniu poszczególnych programów poszukiwawczych lub różnymi i zmieniającymi się kryteriami przemysłowymi. W *Rozporządzeniu...* (2001) ustalono kryteria bilansowości dla rud darniowych, które podtrzymano w *Rozporządzeniu...* (2015a; tab. 12.7).

Tab. 12.7. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża rud darniowych i jego granice (*Rozporządzenie...*, 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Minimalna miąższość złoża	m	0,1
Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża	–	5
Minimalna zawartość Fe_2O_3	%	35

12.4.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Z powodu wieloletniego braku jednolitych kryteriów geologiczno-poszukiwawczych i jakościowych nie wyznaczono również obszarów o formalnych zasobach prognostycznych lub perspektywicznych. Jako swoiste perspektywy zasobowe można traktować zasoby „bilansowe” nagromadzeń tej kopaliny określone na podstawie prac poszukiwawczych z lat 1965–1967, zweryfikowane następnie w latach 1996–1998 (Ratajczak i Rzepa, 2011).

12.4.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Zasoby perspektywiczne rud darniowych występują na niemal całym obszarze kraju, a zwłaszcza na Nizinie Polskiej. Akumulacje tych rud są przeważnie spotykane w rozległych dolinach połodowcowych oraz w obniżeniach jeziornych lub rzecznych, zwłaszcza na podmokłych, lekko pagórkowatych terenach, okresowo zalewanych przez wodę. W Polsce darniowe rudy żelaza są kopalinami bardzo młodymi i występują wyłącznie w osadach holocenu; zalegają pod cienką warstwą darni, rzadziej utworów aluwialnych. Według weryfikacji ich znanych nagromadzeń najwięcej spośród kilkudziesięciu zachowanych wystąpień rud darniowych (mogących uchodzić za perspektywiczne), znajduje się na terenie województw wielkopolskiego i podkarpackiego oraz w mniejszym stopniu: podlaskiego, warmińsko-mazurskiego i mazowieckiego. Do największych takich nagromadzeń należą: Knyszyn (pow. Mońki), Czarny Las (pow. Ostrów Wlkp.), Surmin-Kalkowskie (pow. Ostrów Wlkp.), Dziwińskie (pow. Kalisz), Byliczki (pow. Koło), Nad Stawem (pow. Leszno), Połajewo (pow. Czarńków-Trzcianka), Baraniec (pow. Pyzdry), Białobrzegi (pow. Łańcut), Dąbie-Biały Bór (pow. Mielnik), Ruda (pow. Łańcut) i Aleksandrów (pow. Biłgoraj).

12.4.6. Stan rozpoznania geologicznego

Darniowe rudy żelaza były poszukiwane i wykorzystywane na ziemiach polskich od niepamiętnych czasów. W latach powojennych (ale na podstawie starszych materiałów) szacowano perspektywy surowcowe rud darniowych na 8–14 mln Mg. Ostatnie szeroko zakrojone badania geologiczno-poszukiwawcze tej kopaliny prowadzono w latach 1965–1967 na terenie Polski centralnej i wschodniej. Doprowadziły one do zarejestrowania aż 1369 nagromadzeń kopaliny, z których 220 uznano za bilansowe zgodnie z ówczesnymi kryteriami Ministerstwa Przemysłu Ciężkiego. Jednak w wyniku prac weryfikacyjnych pod koniec XX w. stwierdzono, że stan zdecydowanej większości znanych wystąpień jest zły. Większość nagromadzeń przestała istnieć w wyniku melioracji łąk lub zabudowy, a część zasobów wyeksploatowano. W wielu przypadkach zniszczeniu uległ system warunkujący odnawialność rudy. Poza tym stwierdzono bardzo zły stan archiwa-

liów, brak wielu opracowań i kart informacyjnych, a dane o niektórych wystąpieniach okazały się niekompletne (Ratajczak i Rzepa, 2011). Przed podjęciem ewentualnej decyzji o eksploatacji takich nagromadzeń konieczne będzie przeprowadzenie badań uzupełniających. Możliwości znalezienia nowych zasobnych nagromadzeń darniowych rud żelaza są ograniczone (Ratajczak i Rzepa, 2011). Ewentualne nowe perspektywy surowcowe można wiązać ze słabo zbadanym obszarem północno-zachodniej Polski, zwłaszcza w województwach zachodniopomorskim i lubuskim. Pod koniec lat 60. XX w. projektowano tam prace poszukiwawcze, których nigdy nie przeprowadzono.

12.4.7. Ocena zasobów i ich zmian

Stan zasobów darniowych rud żelaza praktycznie nie zmienił się od publikacji poprzedniego *Bilansu* (Brański, 2011a). Realne zasoby kilkudziesięciu nagromadzeń, które można traktować jako nieformalne zasoby perspektywiczne, wynoszą ok. 550 tys. Mg i występują głównie w województwach wielkopolskim i podkarpackim. Są to przeważnie wystąpienia złożowe o bardzo małych zasobach, nawet poniżej 1 tys. Mg. Tylko w 12 większych nagromadzeniach zasoby szacowane są wyższe niż 10 tys. Mg.

12.4.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Darniowe rudy żelaza mogą być wykorzystywane jako tani sorbent naturalny i są łatwe w eksploatacji. Ich znane nagromadzenia nie występują na obszarach chronionych. Podstawowym problemem ewentualnych przyszłych prac poszukiwawczych i rozpoznawczych jest wciąż brak zadowalających kryteriów geologiczno-górnictwowych i jakościowych. Ponieważ ewentualna przyszłość rud darniowych jest uzależniona od możliwości ich stosowania jako sorbentu, kryteria powinny uwzględniać określone właściwości fizykochemiczne i cechy strukturalno-teksturalne. Warto przypomnieć, że propozycje nowego zakresu takich badań i zasad dokumentowania były przedstawiane już ponad dekadę temu (Ratajczak i in., 2006). Jednocześnie trzeba mieć na uwadze, że w wyniku szybkiego postępu technologicznego, rudy darniowe i inne sorbenty naturalne będą musiały sprostać konkurencji coraz tańszych sorbentów syntetycznych, o bardziej stabilnych właściwościach.

12.5. KREDA JEZIORNA I GYTIA WAPIENNA (*LACUSTRINE CHALC*)

12.5.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Jeziorne osady wapienne i wapniste dzieli się na kredę jeziorną o zawartości $\text{CaO} \geq 45\%$ oraz gytie wapienną o zawartości $\text{CaO} < 45\%$. Większość występujących w Polsce złóż i niewielkich wystąpień kredy jeziornej oraz gytii wapiennej stanowią wypełnienia mis jeziornych wieku plejstoceno-holoceno. Starsze, plejstoceno-holoceno osady kredy jeziornej mogły powstać w wyniku procesów glaciektonicznych i być typu gniazдового. Początki akumulacji osadów węglanowych datowane są na koniec plejstocenu, a jej zakończenie nastąpiło w połowie holocenu. W rzadkich przypadkach akumulacja zachodzi także obecnie. Zwykle kreda jeziorna i gytia wapienna mają postać nawodnionej, mazistej masy o barwie jasnoszarej i białej, rzadziej żółtoszarej i różowej, zmiennej w obrębie jednego zbiornika akumulacji. Prawie zawsze występują pod nadkładem torfu. Wyjątkowo kreda jeziorna i gytia wapienna występują w postaci suchej (zwykle na obrzeżach jezior, w których ok. 5–6 tys. lat temu obniżył się poziom wody). Nagromadzenia złożowe suchej kredy jeziornej i gytii wapiennej są rzadkie, w większości zostały już wyeksploatowane.

Mokra kreda jeziorna i gytia wapienna zawierają znaczną ilość wody występującej w postaci żelu. Substancją żelującą są kwasy organiczne i inne substancje o organicznej genezie. W żelu tkwią kryształki kalcytu powstałego w wyniku wytrącenia się węglanu wapnia z wody jezior w procesach fizykochemicznych. Pewną część osadu stanowią szczątki muszli oraz wapiennych budowli glonów. Ich zawartość jest na ogół większa w brzeżnych częściach zbiornika sedimentacyjnego. W fałdach głębokowodnych i na kontakcie z torfami występują domieszki organiczne.

12.5.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Kreda jeziorna i gytia wapienna do celów nawozowych mają znaczenie lokalne, zarówno ze względu na zwykle małe zasoby, jak i ze względu na rozmieszczenie złóż oraz kosztowne wydobycie. Ważną jest także duża konfliktowość środowiskowa eksploatacji, prawie zawsze prowadzonej na terenach podmokłych uznawanych za cenne ekologicznie. Lokalne występowanie i niewielkie znaczenie złóż kredy jeziornej i gytii wapiennej sprawiło, że ich zasoby nie były przedmiotem globalnych analiz. Można jednak stwierdzić, że nigdzie nie stanowią one, jako nawóz wapniowy, bazy surowcowej wystarczającej na dłuższy okres.

Krajowe zasoby kredy jeziornej i gytii wapiennej wymagają nowej oceny. Według aktualnego *Bilansu zasobów* największe zasoby znajdują się na w granicach województw: pomorskiego, warmińsko-mazurskiego i zachodniopomorskiego. Przedstawione w *Bilansie zasobów* udokumentowane zasoby większości złóż są niewielkie i, niestety, niewiarygodne. Z przeprowadzonej przez autora wizji lokalnej części złóż oraz z analizy archiwalnych materiałów kartograficznych i geologicznych dla trzech województw (warmińsko-mazurskiego, pomorskiego i zachodniopomorskiego) wynika, że zasoby prawdopodobnie od 50 do 80% złóż są nieaktualne, a wiele z nich już nie istnieje.

Obecnie na 176 formalnie istniejących złóż wydobycie prowadzone jest tylko w dwóch (łącznie 23 tys. Mg w 2018 r.).

12.5.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Do 1994 r. podczas poszukiwania i rozpoznawania złóż stosowano kryteria z 1979 r., ustalone przez Prezesa Centralnego Związku Kółek Rolniczych. Po 1994 r. zastąpiły je mniej szczegółowe kryteria określone w kolejnych rozporządzeniach ministra środowiska w sprawie dokumentacji geologicznych złóż kopalin (tab. 12.8). Wymagania dotyczące jakości kopaliny nie ulegały zmianie. Zawartość węglanu wapnia (CaCO_3) nie mogła być mniejsza niż 70% (CaO nie mniej niż 40%), zatem do 30% masy suchej kopaliny stanowiły inne składniki głównie, takie jak minerały ilaste oraz pył kwarcowy. Zawsze jednak obecna była materia organiczna nadająca kopalinie cenne właściwości.

W początkowym okresie poszukiwań złóż istotnymi, ale rzadko spełnianymi parametrami, były również minimalne zasoby w wysokości 500 tys. Mg i wilgotność kopaliny nie większa niż 60%. Z poszukiwań wyłączano obszary chronione i leśne. Ponadto w ograniczonym zakresie brano pod uwagę uzyskanie korzy-

Tab. 12.8. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża kredy jeziornej i gytii wapiennej i ich granice (*Rozporządzenie...*, 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Minimalna miąższość złoża	m	1
Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża	–	0,3
Minimalna zasadowość ogólna w przeliczeniu na CaO w suchej masie	%	40

ści gospodarczej, o której decydowały dotacje finansowe. Częściej parametrem złoża o wyraźnie ekonomicznym znaczeniu była minimalna wielkość zasobów, których wydobycie gwarantowało zwrot nakładów inwestycyjnych.

12.5.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Oceniając perspektywiczne zasoby kredy jeziornej, przyjęto możliwość jej dalszego zastosowania w rolnictwie i ogrodnictwie, ale jako aktywnego biologicznie nawozu wieloskładnikowego. W takim przypadku składnikami użytecznymi kopaliny byłyby:

- węglan wapnia i magnezu
- roślinne szczątki organiczne (detrytus),
- żel organiczny zawierający związki czynne biologicznie,
- minerały ilaste oraz inne składniki mineralne (np. związki siarki).

W praktyce prowadziłyby to do uznania za kopalinę także gytii wapienno-organicznej (detrytusowej i glonowej).

Rozszerzenie listy składników użytecznych poza węglan wapnia i magnezu znajduje uzasadnienie w wynikach badań kredy jeziornej prowadzonych przez Wyrwickiego (1996, 1998, 2000, 2001, 2002) i Żurek-Pysz (2000, 2001) oraz w obserwacjach i badaniach autora, w tym także w zebranych opiniach rolników wykorzystujących kredę jeziorną. Niestety brak szerszych rolniczych badań naukowych dokumentujących znaczenie wymienionych składników kopaliny.

Przy wskazywaniu obszarów perspektywicznego występowania złóż nie brano pod uwagę kryterium uzyskania korzyści gospodarczej.

12.5.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Prawie wszystkie wystąpienia kredy jeziornej i gytii wapiennej w Polsce są związane z obszarami pojezierzy powstałymi w stadiale głównym zlodowacenia wisły, co sprawia, że tereny te są zarazem obszarami perspektywicznymi. Znajdują się one na obszarze Wielkopolski, Ziemi Lubuskiej, jednak przede wszystkim na Pomorzu, Mazurach, Warmii i Suwalszczyźnie. Dokładniejsze wskazanie obszarów perspektywicznych jest niemożliwe bez szczegółowej analizy wyników dotychczasowego rozpoznania geologicznego. Istnieje możliwość udokumentowania głównie złóż o małych zasobach, mniejszych od 500 tys. Mg, niegdyś uznanych za niebilansowe oraz złóż, w których kopaliną byłyby także gytie wapienno-organiczne o zawartości CaO mniejszej niż 40%.

12.5.6. Stan rozpoznania geologicznego

W latach 80. i na początku lat 90. XX w. prowadzono poszukiwania i rozpoznanie złóż kredy jeziornej i gytii wapiennej na dużą skalę i uzyskano informacje o większości wystąpień tych osadów. Dotyczy to wymienionych w rozdziale 12.5.5 rejonów, z wyłączeniem obszarów chronionych oraz lasów.

12.5.7. Ocena zasobów i ich zmian

Poprzedni *Bilans* nie zawierał omówienia zasobów kredy jeziornej i gytii wapiennej, zatem nie można ocenić zmian zasobów perspektywicznych. W okresie od 2009 r. zasoby udokumentowane uległy minimalnym zmianom w wyniku wydobywania. Można natomiast przypuszczać, że duża część zasobów pozostawionych w opuszczonych kopalniach nie nadaje się już do wydobywania ze względu na naturalne zmiany i zagospodarowanie wyrobisk (Mendaluk, 1979; Wróbel I., 1987; Jurys, 2005, 2011), likwidację infrastruktury górniczej, czy też objęcia powstałych w wyrobiskach ekosystemów formalną ochroną.

Kreda jeziorna i gytia wapienna były z założenia kopaliną, która miała stanowić substytut innych nawozów wapniowych produkowanych w różnych technologiach przemysłowych w ilości nie zaspokajającej potrzeb rolnictwa. Obecnie nie brakuje standardowych nawozów wapniowych i zapotrzebowanie na kredę jeziorną i gytie wapienną praktycznie nie istnieje. Nadal jest to jednak naturalny nawóz wapniowy zawierający biokomponenty korzystnie wpływające na wegetację roślin uprawnych.

Kompleksowe badania cech chemicznych i biologicznych kredy jeziornej i gytii wapiennej mogą doprowadzić do nowych zastosowań tej kopaliny i, co szczególnie ważne, do zwiększenia jej wartości umożliwiającej ekonomiczną eksploatację złóż. W przypadku wykazania, że składniki bioaktywne kopaliny są wartościowe możliwe byłoby zmienienie jakościowych kryteriów bilansowości przez obniżenie wymaganej zawartości CaCO_3 , a przez to zwiększenie perspektywicznych zasobów (Wyrwicki, 2001, 2002).

12.5.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Konieczne jest kontynuowanie zapoczątkowanych przez Wyrwickiego (1998, 2000, 2001, 2002) badań składników akcesorycznych kredy jeziornej i gytii wapiennej, zwłaszcza organicznych, prawdopodobnie bioaktywnych. Potwierdzenie ich korzystnego oddziaływania może być podstawą do zwiększenia zakresu stosowania tych kopaliny oraz zmiany jakościowych kryteriów bilansowości, które obecnie dotyczą tylko zawartości CaO .

Potrzebne są również badania geologiczne, które z kolei winny zweryfikować stan zasobów udokumentowanych, w tym pozostawionych w rejonach zaniechanej eksploatacji.

Badania środowiskowe należałoby prowadzić w kierunku kompleksowej analizy zmian dokonanych w środowisku przez dotychczasową eksploatację kredy jeziornej i gytii wapiennej. Złoża tej kopaliny znajdują się zwykle na terenach podmokłych i torfowiskach ocenianych jako cenne ekologicznie, co uniemożliwia ich eksploatację. Dotychczasowe badania (Jurys, 2002, 2005, 2011) wskazują jednak, że w wielu wyrobiskach poeksploatacyjnych powstają ekosystemy cenniejsze niż istniejące przed eksploatacją.

12.6. KOPALINY PRZEMYSŁU JUBILERSKIEGO (*JEWELRY STONES*)

Regina Kramarska, Jacek R. Kasiński, Barbara Słodkowska

12.6.1. Bursztyn, sukcynt (amber, succinite)

12.6.1.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Bursztyn (poprawniej: bursztyn bałtycki, sukcynt) jest najbardziej znaną i najszerzej rozpowszechnioną odmianą żywicy kopalnej – kopalnym liptobiolitem żywiczno-woskowym.

Sukcynt powstawał w środkowym paleogenie z przeobrażonej żywicy drzew iglastych, porastających północne i wschodnie obrzeża epikontynentalnego zbiornika morskiego, zajmującego obszar Europy środkowo-wschodniej. Żywica, transportowana do morza przez sieć rzeczną i spływy powierzchniowe, w środowisku morskim uległa zaawansowanej diagenezie, polegającej przede wszystkim na polimeryzacji, wskutek czego wzrosły jej twardość i temperatura topnienia. Pierwotne nagromadzenia bursztynu bałtyckiego tworzyły się w osadach paleogeńskich. W wyniku ich rozmywania i redepozycji okruchów bursztynu powstały wtórne nagromadzenia w osadach plejstocénskich i holocénskich. Ich podstawowymi cechami są: forma, pozycja w stosunku do skał otaczających oraz rozmiary i ciągłość występowania. Na tej podstawie wyróżnia się trzy zasadnicze typy złóż bursztynu (Nieć, 2010b): stratoidalne pokładowe, stratoidalne gniazdowo-soczewkowe, gniazdowe.

Złoża stratoidalne pokładowe występują w Polsce w utworach eocenu. Tworzą je osady bursztynonośne wyraźnie wyodrębnione litologicznie (Piwocki i Olkiewicz-Paprocka, 1987; Kasiński i Tołkanowicz, 1999). Zawartość bursztynu w warstwie złożowej jest zmienna w pionie i w poziomie. Granice lateralne złoża mogą być związane z zanikiem bursztynonośności na pewnych obszarach występowania lub z istnieniem kopalnych dolin erozyjnych rozcinających utwory bursztynonośne i wypełnionych osadami młodszymi. Powstanie złóż stratoidalnych pokładowych paleogenu jest związane ze strefą litoralną epikontynentalnego morza, które istniało w środkowym i górnym eocenie na obszarze Polski. Przybrzeżne strefy zbiornika, w których rozwijały się facje płytkowodne (przybrzeżnomorskie i lagunowo-deltowe), stanowiły: na północy obszar dzisiejszej Zatoki Gdańskiej wraz z wybrzeżami, a na południu obszar północnej Lubelszczyzny i Wołynia.

W złożach stratoidalnych gniazdowo-soczewkowych bursztyn występuje w strefowo ukierunkowanych nagromadzeniach rozmieszczonych nieregularnie w profilu serii złożowej. Można wyróżnić dwa podtypy złóż: aluwialne z przełomu plejstocenu i holocenu oraz przybrzeżnomorskie, holocénskie. Nagromadzenia typu aluwialnego występują na obszarach tarasów zalewowych i nadzalewowych, miejscami w częściowo zatofionych obniżeniach. Bursztyn był wielokrotnie redeponowany, ostatecznie w wyniku rozmywania utworów lodowcowych i wodnolodowcowych. Powstanie złóż w osadach przybrzeżnomorskich jest związane z akumulacją osadów litoralnych wzdłuż formujących się brzegów Zatoki Gdańskiej w holocénskiej fazie morza lityrnowego (Łazowski, 2004; Kramarska i Zachowicz, 2005; Sałaciński i Łazowski, 2008). Bursztyn był redeponowany głównie z erodowanych wychodni paleogeńskich utworów bursztynonośnych występujących w klifach Półwyspu Sambijskiego.

Złoża gniazdowe występują w utworach plejstocenu w formie porwaków i kier paleogeńskich utworów bursztynonośnych oraz nagromadzeń rezydualno-eluwialnych na obszarach wysoczyzn morenowych (w zagłębieniach bezodpływowych po wytopieniu martwego lodu) i w obrębie glacifluwalnych pokryw sandrowych.

12.6.1.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Największymi zasobami bursztynu *sensu largo* dysponuje Birma (birmit), a zasobami sukcyntu – Rosja. Sukcynt występuje tylko w Europie, a jego zasoby szacuje się łącznie na ponad 700 tys. Mg, w tym ponad połowa to zasoby udokumentowane w złożach rosyjskich na Sambii (obwód kaliningradzki).

W latach 2007–2016 wielkość wydobycia bursztynu w Rosji wynosiła od 238 do 342 Mg rocznie, średnio 308,5 Mg/rok (Kostyashova, 2018). Planowane jest jednak zwiększenie wydobycia do ok. 500 Mg – w 2017 r. wielkość wydobycia wyniosła już 453 Mg. Największe wydobycie w powojennej historii odnotowano w 1989 r. (820 Mg). Wystarczalność udokumentowanych zasobów geologicznych w Rosji, nawet przy znacznym wzroście wydobycia, można szacować na wiele stuleci. Należy podkreślić, że z całkowitej ilości wydobywanego bursztynu tylko 10–12% stanowią frakcje, na które jest stałe zapotrzebowanie rynku, drobne frakcje mogą stanowić surowiec głównie dla przemysłu chemicznego (<http://gov39.ru/region/natural.php>).

W ostatnich latach wyraźnie wzrasta znaczenie zasobów złóż ukraińskich. Od czasu otwarcia w 1993 r. pierwszej kopalni bursztynu w Klesowie (Tuckij, 2010) kolejne złoża są sukcesywnie rozpoznawane i zagospodarowywane przez państwowe przedsiębiorstwa i prywatne firmy (Bielichenko, 2018). Obszary bursztynonośne występują w basenie Prypeci i są związane z osadami oligocenu dolnego. Informacje o wielkości rozpoznanych zasobów przemysłowych i prognostycznych (kat. od C₁ do P₁) są zastrzeżone i nie są publikowane (Mielniczuk i Krynicka, 2018). Problemem jest ochrona złóż i rozmiary „szarej strefy” związanej z nielegalnym wydobyciem i dystrybucją surowca.

W Białorusi istnieją perspektywy występowania bursztynu w paleogeńskich osadach na terenie zapadliśka podlasko-brzeskiego (Zinowienko i Gareckij, 2009).

Jedyna na terenie środkowych Niemiec kopalnia bursztynu (wydobytwanego jako kopalina towarzysząca w złożu węgla brunatnego Goitsche) została zamknięta i zalana w 1990 r. (Krumbigel G. i Krumbigel B., 2005). Roczne wydobycie bursztynu dochodziło tam do 50 Mg. Jeszcze do 1993 r. wydobywano bursztyn spod wody, po czym eksploatacja została zaniechana.

Zasoby bursztynu na terenie Litwy są szacowane jako małe, mieszczące się w granicach 100–200 Mg (<http://www.amber.com.pl/wiadomosci/informacje/item/2321-litwa-szuka-dostepu-do-surowca>). Perspektywy są związane z wtórnymi, holoceniowymi nagromadzeniami na wybrzeżu Mierzei Kurońskiej.

W Polsce trudno mówić o wystarczalności krajowych zasobów bursztynu, ponieważ szacuje się, że przemysł jubilerski zużywa kilkadziesiąt megagramów surowca rocznie, a produkcja surowca bursztynowego w Polsce jest niewielka. Według stanu na 31 grudnia 2018 r. zasoby bursztynu o cechach bilansowych wynosiły 1326,41 Mg, wyłącznie w złożach niezagospodarowanych lub w tych, których eksploatacji zaniechano (tab. 12.9). Krajowy surowiec bursztynowy pochodzi prawie wyłącznie z zagospodarowania kopaliny pozyskanej podczas prac poszukiwawczo-rozpoznawczych. W 2018 r. było to 0,68 Mg (Brzeziński i Szamalek, 2019). Potrzeby rynku są zaspokajane głównie na drodze nielegalnego pozyskiwania bursztynu ze złóż Ukrainy i Rosji. Na licytacjach prowadzonych przez Krajową Administrację Skarbową w 2018 r. sprzedano 0,81 Mg bursztynu zatrzymanego na zewnętrznych granicach Polski podczas prób przemytu. Brak danych o wielkości zakupu surowca na giełdach i e-giełdach towarowych.

Tab. 12.9. Zasoby bursztynu o cechach bilansowych w złożach w Polsce wg stanu na 31.12.2018 r. (Brzeziński i Szamalek, 2019)

Wyszczególnienie	Liczba złóż	Zasoby geologiczne bilansowe [Mg]			Zasoby przemysłowe [Mg]
		razem	w złożach rozpoznanych szczegółowo (kat. A+B+C ₁)	w złożach rozpoznanych wstępnie (kat. C ₂ +D)	
Zasoby udokumentowane	15	1326,41	209,79	1116,62	8,60
w tym złoża niezagospodarowane	13	1306,66	190,04	1116,62	8,60
w tym złoża zaniechane	2	19,75	19,75	–	nd.
Zasoby prognostyczne	–	108 312,00	nd.	nd.	nd.
Razem	30	109 638,41	209,79	1116,62	8,60

nd. – nie dotyczy

12.6.1.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Kryteria obowiązujące przy wyznaczaniu złóż bursztynu są ujęte w obowiązującym *Rozporządzeniu...* (2015a). Dotyczą one tylko dwóch parametrów: maksymalnej głębokości dokumentowania – wartość brzeżna 30 m i minimalnej wydajności – wartość brzeżna 40 g/m².

W praktyce dostępność zasobów bursztynu jest ograniczona kilkoma czynnikami: warunkami geologiczno-górnictwymi, stanem prawnym własności gruntów, nieadekwatnymi przepisami dotyczącymi dokumentowania złóż.

12.6.1.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Do oceny zasobów prognostycznych bursztynu zastosowano kryteria bilansowości rozszerzone w stosunku do obowiązujących, w szczególności w zakresie głębokości dokumentowania, sugerując się faktem, że zasoby bilansowe w nieodległym obwodzie kaliningradzkim w Rosji są liczone do głębokości 60 m (Kramarska i in., 2008). Obszary prognostyczne i perspektywiczne występowania bursztynu są wyznaczane na podstawie przesłanek stratygraficznych i litologiczno-facjalnych, zlokalizowanych oznak występowania bursztynu, w tym informacji o dawnej eksploatacji, oraz metodą analogii. W charakterystyce i ocenie obszarów perspektywicznych (tab. 12.10) wykorzystano klasyfikację proponowaną w zaleceniach metodycznych poszukiwań i dokumentowania złóż bursztynu (Nieć, 2010b). Rozmieszczenie obszarów prognostycznych i perspektywicznych o dużych szansach stwierdzenia złóż ilustrują figury 12.1 i 12.2.

Tab. 12.10. Charakterystyka i ocena obszarów perspektywicznych bursztynu
(Nieć, 2010b, zmodyf.)

Rodzaj utworów perspektywicznych	Rodzaj złóż	Obszar występowania	Możliwa wielkość złóż	Przewidywana głębokość położenia	Ocena szans	
					stwierdzenia złóż	zagospodarowania złóż
Eoceńskie	stratoidalne, (pokładowe)	pomorski	duże	80–120 m	duże	wątpliwe, wymagają szczegółowej analizy
		lubelski	duże i średnie	do ok. 30 m	duże	duże
Plejstoceny	gniazdowe	pomorski	małe i wystąpienia	do ok. 30 m	małe	małe
		pomorski, Kurpie	wystąpienia	do kilkunastu metrów	małe	małe
Holoceny	stratoidalno-gniazdowe	północna część delty Wisły	średnie i małe	do kilkunastu metrów	duże	duże
		wybrzeże na W od Zatoki Gdańskiej	małe	do kilkunastu metrów	umiarkowane	małe
	gniazdowe	pomorski, Kurpie	wystąpienia i małe	do kilku metrów	małe	małe

12.6.1.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Pierwotne nagromadzenia bursztynu występują na Półwyspie Kaszubskim w rejonie Chłapowa oraz na północnej Lubelszczyźnie. W rejonie Chłapowa występowanie bursztynu jest związane z ogniwem z Połczyńska formacji pomorskiej, którego wiek został określony na najwyższy eocen (Piwocki i in., 1985). Osady bursztynonośne są wykształcone w postaci szarozielonych mułków piaszczystych i piasków mułowatych z glaukonitem i muskowitem oraz pojedynczymi fosforitami. Strop ogniw występuje na głębokości 114–126 m, a miąższość mieści się przeważnie w przedziale 10,0–26,4 m (Piwocki i Olkowicz-Paprocka, 1987). Na Lubelszczyźnie utwory bursztynonośne, zaliczane do formacji z Siemienia (eocen środkowy i górny), są reprezentowane przez piaski kwarcowo-glaukonitowe ze żwirami, z fosforitami i bursztynem oraz szarozielone wapiaste iły piaszczyste z fauną (Kasiński, 2016). Złóża są płytko położone. Strop utworów występuje na głębokości do 30 m (średnio 12,4 m), a średnia miąższość warstwy bursztynonośnej wynosi ok. 10 m (Kasiński i in., 1997).

Złóża wtórne bursztynu występują w różnych regionach. Na obszarze Niziny Polskiej objętym zlodowaceniami plejstocenicznymi, w szczególności zlodowaceniem wisły (Salać i in. 2008), złóża bursztynu

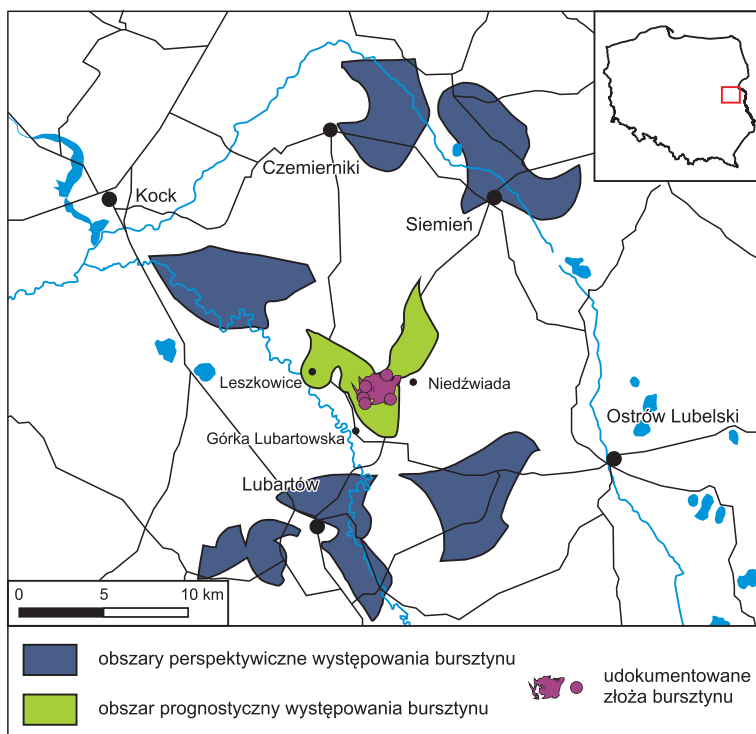


Fig. 12.1. Złoża, obszary prognostyczne i perspektywiczne występowania bursztynu na północnej Lubelszczyźnie (Kramarska i Kasiński, 2008, zmodyf.)

tynu są związane z porwakami paleogeńskich utworów bursztynonośnych w obrębie utworów lodowcowych oraz z nagromadzeniami w osadach fluwioglacjalnych i rzecznych. W pasie pobrzeża Bałtyku bursztyn występuje w zasięgu holocenijskiej transgresji morza litorynowego – w osadach przybrzeżnomorskich, w tzw. kopalnych plażach nad Zatoką Gdańską oraz w aluwialach północnej części delty Wisły (Kramarska i Zachowicz, 2005; Kosmowska-Ceranowicz i Kramarska, 2018) i ujściowych odcinków rzek przymorza (Łazowski, 2004). Złoża wtórne są położone bardzo płytko, najczęściej na głębokości do kilkunastu metrów.

12.6.1.6. Stan rozpoznania geologicznego

Baza zasobowa bursztynu – złóż, obszarów prognostycznych i perspektywicznych – w przypadku złóż pierwotnych i wtórnych jest rozpoznana w różnym stopniu, jednak w każdym przypadku wskazane są dokładniejsze prace rozpoznawcze. Eoceńskie utwory bursztynonośne na Pobrzeżu Kaszubskim zostały rozpoznane w trakcie badań geologicznych złóż soli potasowych i soli kamiennej w latach 1965–1972 (Marzec i Woźny, 1972). Nieco później paleogeńską asocjację bursztynonośną stwierdzono także w otworze Karwia-Ostrów 1, na zachód od Jastrzębiej Góry (Domagała i Matl, 1975; Kosmowska-Ceranowicz, 1979), oraz w otworach odwierconych w nasadowej części Półwyspu Helskiego (Kramarska, 2010). W latach 1981–1983 Instytut Geologiczny wykonał trzy pełnordzeniowe otwory geologiczno-poszukiwawcze w rejonie miejscowości Chłapowo (otwory Chłapowo I, II i III) w celu oceny jakościowej i ilościowej bursztynu (Piwocki i Olkowicz-Paprocka, 1987). Potencjalne zasoby były szacowane w kilku wariantach, z uwzględnieniem stref o różnej koncentracji kopaliny oraz różnej miąższości warstwy wzbogaconej i w zależności od powierzchni obszaru. W wariantcie, w którym uwzględniono odcinki profilu o podwyższonej zawartości bursztynu (średnia wydajność 0,55 kg/Mg, średnia miąższość warstwy złożowej 8,3 m), na obszarze wyznaczonym przez otwory Chłapowo I, II i III (7,56 km²) zasoby surowca oszacowano na 62 843 Mg. Przy

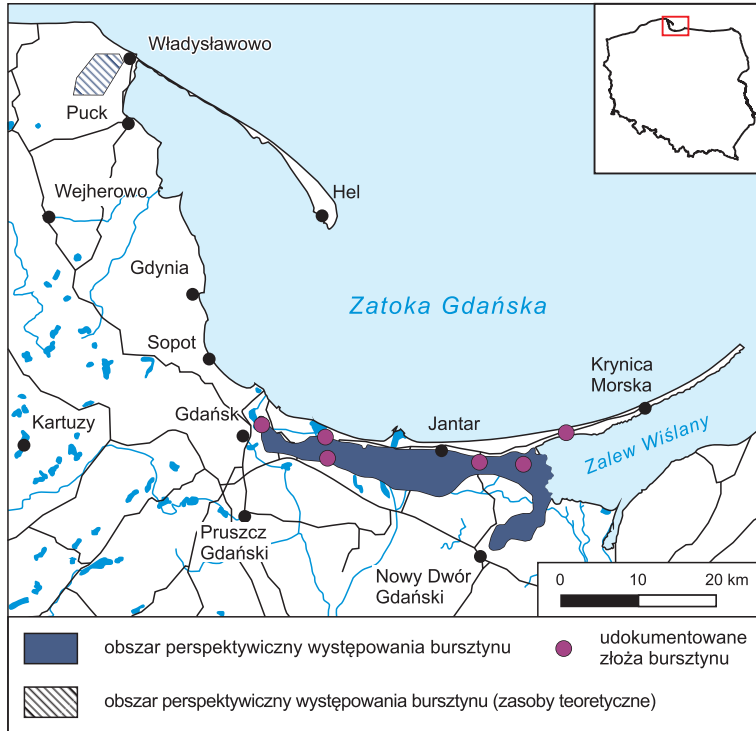


Fig. 12.2. Złoże i obszary perspektywiczne występowania bursztynu na Pobrzeżu Kaszubskim, Żuławach i Mierzei Wiślanej

uwzględnieniu utworów o niższej koncentracji bursztynu w stropie i spągu warstwy oraz rozszerzeniu obszaru perspektywicznego poza granice wyznaczone trzema otworami rozpoznawczymi istnieje możliwość znacznego powiększenia zasobów (Piwocki i Olkiewicz-Paprocka, 1987).

Na podstawie zasobności można ocenić perspektywiczność złoże w rejonie Chłapowa jako wysoką, jednak głębokość zalegania warstwy złożowej poniżej 100 m powoduje, że możliwość zagospodarowania złoże jest mało prawdopodobna.

W rejonie północnej Lubelszczyzny znaleziska bursztynu zostały opisane w niepublikowanych maszynopisach A. Chętnika, podsumowujących wyniki badań regionalnych prowadzonych w tym rejonie w latach 1931–1938 (Kosmowska-Ceranowicz i Popiołek, 1981). Występowanie bursztynu na tym obszarze potwierdzono następnie w latach 1959–1966 w profilach otworów wiertniczych i wyrobiskach eksploatacyjnych ilów ceramiki budowlanej (Woźny, 1966; Zalewska, 1971). W otworze wiertniczym wykonanym w 1964 r. przez Przedsiębiorstwo Górnictwa Naftowego i Gazownictwa w miejscowości Leszkowice opisano występowanie brył bursztynu wielkości pięści (Zalewska, 1974). Bursztyn znajdowano także w rdzeniach z otworów wiertniczych w okolicach pobliskiej Łusawy (Mojski J.E. i in., 1966).

W 1980 r. w wyniku prac dokumentacyjnych prowadzonych na złożu kruszywa budowlanego Górką Lubartowska w spągu osadów czwartorzędowych stwierdzono występowanie drobnoklastycznych osadów eocenich z bursztynem, w związku z czym w dokumentacji geologicznej kruszywa (Strzelczyk i Danielewicz, 1990) zasugerowano istnienie złoże bursztynu, które zostało udokumentowane w 2004 r. (Bujakowska i Parecki, 2004). Jest to do dzisiaj największe udokumentowane wstępnie złoże bursztynu w Polsce, o zasobach ok. 1000 Mg i o zasobności 377 g/m². W latach 1994–1997 badania regionalne w rejonie północnej Lubelszczyzny (między Lubartowem, Parczewem a Radzyniem Podlaskim) połączone ze wstępnym rozpoznaniem występowania bursztynu podjął Państwowy Instytut Geologiczny (Kasiński i in., 1997). Wyniki badań (Kasiński i Tołkanowicz, 1999) pozwoliły na wytypowanie sześciu potencjalnych rejonów progno-

stycznych występowania bursztynu, w których wielkość zasobów prognostycznych została oszacowana na 45 469 Mg przy bursztynowości powyżej 40 g/m² (65,2–2760,7 g/m², średnio 848 g/m²; fig. 12.1). W rejonie złoża Górka Lubartowska podjęto prace geologiczno-rozpoznawcze, w wyniku których udokumentowano w 2017 r. złożo bursztynu Górka Lubartowska-Niedźwiada o zasobach 98 Mg oraz złożo Leszkowice I o zasobach 4,4 Mg. W 2018 r. rozpoznano kolejne złoża: Górka Lubartowska VIII (zasoby 7,54 Mg), Górka Lubartowska-Leszkowice (zasoby 31,83 Mg) i Niedźwiada Kolonia I (zasoby 139,64 Mg).

Na podstawie bezpośrednich oznak złożowych oraz bursztynowości na obszarach prognostycznych perspektywiczność północnej Lubelszczyzny można określić jako wysoką do umiarkowanej z możliwością rozpoznania złóż co najmniej średnich.

Występujące na Niżu Polskim złoża bursztynu w porwakach paleogeńskich utworów bursztynononośnych oraz w utworach fluwioglacjalnych i rzecznych w minionych wiekach były eksploatowane w wielu miejscach (np. na Kurpiach i Pomorzu) na dużą skalę (Kosmowska-Ceranowicz, 2002, Popiołek, 2006; Małka, 2012). Udokumentowane i jeszcze nieeksploatowane jest złożo Możdżanowo o zasobach 20 Mg bursztynu, w tym 7 Mg stanowią zasoby zarejestrowane, które można uznać za odpowiednik kategorii C₁ (Błaszak, 1978, 1987). Małe rozmiary i nieregularne występowanie gniazdowych nagromadzeń bursztynu w osadach fluwioglacjalnych i aluwialnych oraz bardzo nieregularne rozmieszczenie porwaków powodują, że poszukiwanie tego typu złóż jest mało perspektywiczne (Nieć i in., 2010). Nie można jednak wykluczyć możliwości lokalnego występowania małych złóż o niewielkich zasobach. W ostatnich latach natrafiono na bursztyn w rejonie położonym na północ od Goleniowa, na zatorfionym obszarze równiny zalewowej przy pogłębianiu i oczyszczaniu rowu melioracyjnego (Kaliciuk i in., 2017).

Perspektywiczne są nagromadzenia bursztynu w przybrzeżnomorskich utworach holocenu w pasie półwyspu Bałtyku, w szczególności wzdłuż wybrzeża Zatoki Gdańskiej (fig. 12.2). Na podstawie przesłanek paleogeograficzno-facjalnych bursztyn może występować również w osadach podwodnej części delty Wisły (Jurs i in., 2008 – patrz rozdz. 14.4).

W latach 70. XX w. zostały rozpoznane nad Zatoką Gdańską złoża Wisłoujście, Sobieszewo-Komary i Górki Zachodnie o zasobach geologicznych 221 Mg łącznie i o zasobności od 0,9 do ponad 2500 g/m². W latach 1981–1985 przedsiębiorstwo Polgeol S.A. we współpracy z Instytutem Geologicznym wykonało prace badawcze w 11 rejonach, od Wiślinki do Krynicy Morskiej (Tomczak i in., 1990). Na 593 wykonanych otworów w 61 stwierdzono występowanie bursztynu (Kosmowska-Ceranowicz i Kramarska, 2018). W wyniku przeprowadzonych następnie prac rozpoznawczych, wstępnie (kat. D) oszacowano zasoby w złożu Stegna i Sztutowo w ilości 20,6 Mg (Łazowski i Bujakowska, 2004a, b) oraz udokumentowano i częściowo wyeksploatowano złożo Wiślinka i Przeróbka-Stogi. W 2018 r. rozpoznano dwa złoża: Kąty Rybackie (na terenie planowanego przekopu Mierzei Wiślanej) o zasobach bursztynu 6,90 Mg i Rybakówka (na Wyspie Sobieszewskiej w Gdańsku) o zasobach 1,03 Mg.

Zasoby bursztynu nad Zatoką Gdańską były eksploatowane od końca XVIII w., a od lat 70. XX wieku wydobyte zintensyfikowano przez zastosowanie hydraulicznej metody urabiania warstwy złożowej. Eksploatowano złoża rozpoznane w latach 70. XX w. w rejonie Gdańska, a także prowadzono prace rozpoznawczo-wydobywcze w rejonie miejscowości Jantar i Stegna. Działalność wydobywcza była koncesjonowana lub wykonywana przez państwowe przedsiębiorstwa (m.in. Polsrebro Sp. z o.o.). W 1972 r. wydobyto rekordową ilość 130 Mg bursztynu, do 1980 r. wielkość wydobycia dochodziła do 10 Mg rocznie, w następnych latach nie przekraczała 1 Mg (Kramarska i Kasiński, 2008). Poza działalnością koncesjonowaną w wielu miejscach kopano bursztyn nielegalnie. Po 1989 r. poszukiwania bursztynu koncentrują się w pasie o szerokości ok. 5 km (miejscami do 10 km) od Gdańska-Stogi po Zalew Wiślany, poza obszarami Mierzei Wiślanej objętymi ochroną przyrody (fig. 12.2). W wielu przypadkach wykazywane są niewielkie ilości kopaliny zagospodarowanej w trakcie robót poszukiwawczych, ale tylko sporadycznie prace kończą się sporządzeniem dokumentacji zasobowej.

Niedostatek informacji z robót poszukiwawczych utrudnia opracowanie prognoz surowcowych, ale liczne miejsca wydobycia i koncentracja prac poszukiwawczych w północnej części delty Wisły (czasem powracanie na już penetrowane wcześniej tereny) wskazują na bursztynowość tego obszaru. Jednakże ze względu na niewątpliwie zubożenie zasobów w wyniku wieloletniej eksploatacji oraz ograniczenia planistyczne i środowiskowe perspektywiczność obszaru jest raczej umiarkowana.

Również umiarkowanie perspektywiczne są obszary półwyspu Bałtyku nad otwartym morzem. Utwory bursztynononośne są tu poznane w sposób fragmentaryczny. Udokumentowane jest złożo Smółdzino o zasobach 0,6 Mg (Łazowski i Bujakowska, 2004b), a w rejonie Darłowa pozyskiwany jest bursztyn z dna morską współwystępujący w złożu kruszywa naturalnego (Szamałek, 2018a).

12.6.1.7. Ocena zasobów i ich zmian

Rezerwę zasobową bursztynu stanowią w praktyce zasoby prognostyczne w osadach eocenu na obszarze północnej Lubelszczyzny. W okresie od publikacji ostatniego *Bilansu* (2011) nastąpił istotny rozwój badań poszukiwawczych w tym rejonie. Przyznano kilka nowych koncesji poszukiwawczych. W wyniku prac w złożu Górka Lubartowska-Niedźwiada udokumentowano 98 Mg bursztynu jako kopaliny towarzyszącej złożu kruszywa naturalnego. Następnie zostały rozpoznane kolejne cztery złoża o łącznych zasobach bursztynu 183,41 Mg. Tym samym potwierdzono perspektywiczność rejonu bursztynonośnego znajdującego się w rejonie złoża Górka Lubartowska.

Podczas rozpoznawania i dokumentowania obszarów o zasobach perspektywicznych w wyższych kategoriach następuje z reguły znaczny ubytek zasobów (wielkość zasobów przemysłowych i operatywnych będzie zapewne oscylować w granicach 30–50% w stosunku do prognozowanych), a jednocześnie istnieją poważne ograniczenia planistyczne i środowiskowe możliwości zagospodarowania złóż. Z tych powodów możliwe do zagospodarowania prognostyczne zasoby bursztynu na północy Lubelszczyzny można szacować maksymalnie na ok. 22 000 Mg (zob. też zał. 6).

Istotnych wystąpień bursztynu można spodziewać się także w osadach czwartorzędowych na pobrzeżu Gdańskim, w szczególności w rejonach tradycyjnej eksploatacji na obszarze delty Wisły (zał. 6). Zagospodarowanie złóż pierwotnych z rejonu Chłapowa jest mało prawdopodobne ze względu na głębokość zalegania i możliwy konflikt potencjalnej eksploatacji ze środowiskiem. Podjęcie dalszych prac poszukiwawczych i rozpoznawczych w tym rejonie wymaga wstępnej oceny ekonomicznej eksploatacji potencjalnych złóż.

12.6.1.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Na obszarze Polski w sposób formalny udokumentowano niewielką część zasobów bursztynu, mimo odnotowanego postępu w badaniach na Lubelszczyźnie.

W przypadku nagromadzeń pierwotnych bursztynu w Polsce wschodniej, w zasięgu występowania osadów eocenu, wskazane są dalsze poszukiwania nagromadzeń bursztynu, które powinny być uwarunkowane przesłankami paleogeograficznymi i facjalnymi. W celu oceny ekonomicznej złoża w rejonie Chłapowa wskazane jest wykonanie kilku dodatkowych otworów rozpoznawczych.

Ze względu na charakter wtórnych nagromadzeń bursztynu w holocenijskich osadach w rejonie Żuław i Mierzei Wiślanej wymagane jest rozpoznanie zmienności facjalnej osadów i rozwoju paleogeograficznego obszaru w skali szczegółowej. Ponadto wskazane jest uwzględnienie ewentualnych wystąpień kopaliny przy planowanych robotach inżynierskich (np. przekop Mierzei Wiślanej, budowa portu centralnego).

Stosowanie powszechnie obowiązujących metod dokumentowania złóż przynosi zadowalające efekty w przypadku pierwotnych nagromadzeń bursztynu w utworach paleogeńskich. Odmienne wygląda sprawa w odniesieniu do bursztynu występującego w osadach czwartorzędowych. Bursztyn bywa eksploatowany podczas dokumentowania złoża lub staje się przedmiotem nielegalnej eksploatacji zaraz po udokumentowaniu, w okresie poprzedzającym wydanie koncesji na eksploatację. W celu poprawy sytuacji można zasugerować dwie możliwości działań formalno-prawnych:

- dopuszczenie uzyskiwania kompleksowych koncesji na prace poszukiwawczo-rozpoznawcze i eksploatację złoża,
- sporządzanie uproszczonych dokumentacji geologicznych na podstawie oszacowania objętości osadu bursztynonośnego i wydajności jako procentowego udziału wyrobisk pozytywnych w całej liczbie wyrobisk geologicznych w szeroko pojętym rejonie złoża.

Włodzimierz Mizerski, Krystyna Wołkowicz, Honorata Awdankiewicz, Jan Rzymelka

12.6.2. Krzemionkowe kopaliny przemysłu jubilerskiego (*siliceous jewelry stones*)

W Polsce występuje 41 gatunków kamieni jubilerskich i ozdobnych (Smakowski i in., 2015), z których jedynie nagromadzenia **krzemienia pasiastego** (*striped/ banded flint*) i **chryzoprazu** (*chrysoprase*) są unikatowe w skali światowej. Wśród pozostałych, których jakość często nie jest najwyższa, występują odmiany kwarcu (**kryształ górski**, *rock crystal*; **kwarc dymny**, *smoky quartz*; **morion**, *morion*; **ametyst**, *amethyst*; **cytryn**, *citrine*) i chalcedonu (głównie **agat**, buła agatowa, agatofiza, agat szczelinowy, agat żyłowy; *agate, thunderegg*). Do kamieni jubilerskich i ozdobnych należą też **jaspis** (*jasper*), będący odmianą skały krzemionkowej i **nefryt**, który jest skałą metamorficzną (nefryt, żąd nefrytowy, *nephrite*).

12.6.2.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Minerały i skały krzemionkowe (kryształ górski i barwne odmiany kwarcu, agat, chryzopraz, jaspis, krzemień pasiasty)

Kwarc występuje w skałach magmowych, metamorficznych oraz osadowych, ale jego jubilerskie odmiany spotyka się przede wszystkim w druzach żył hydrotermalnych i pegmatytów związanych z kwaśnymi skałami Dolnego Śląska. Genezę hydrotermalną przypisano również agatom dolnośląskim (Wołkowicz K. i in., 2017).

Szczotki kryształu górskiego występują w złożach i nagromadzeniach kwarcu żyłowego w rejonie Wądroża Wielkiego i Taczalina koło Legnicy, Jaroszowa (Wzgórza Jaroszewskie), Kraskowa koło Świdnicy, Sądów koło Sobótki, Barcinka, Nowej Kamienicy i Pasiecznika koło Jeleniej Góry oraz w wielu innych miejscach Sudetów i ich przedpola (Lis i Sylwestrzak, 1986). Szczotki kryształu górskiego, błądy ametyst i kwarc różowy znajdowano w kwarcu żyłowym na Izerskich Garbach, a kryształ górski, kwarc zadymiony i ametyst w przerostach z białym kwarcem w rejonie Jędrzychowic koło Zgorzelca. Kryształ górski, niekiedy dużej czystości, występuje w kamieniołomach łupków kwarcytowych w rejonie Jegłowej koło Strzelina i dolomitu w Sławniowicach koło Głucholazów. Niektóre kryształy osiągają 20 cm długości. Poza obszarem Dolnego Śląska kryształ górski stwierdzano w Rudnie, Regulicach i Porębie koło Krzeszowic, bywa spotykany wśród granitów tatrzańskich i w żyłach kalcytowych w piaszczowcach fliszowych Karpat (tzw. diamenty marmaroskie, m.in. w okolicach Wetliny i Baligrodu).

Skupienia ametystu na Dolnym Śląsku są dość liczne, lecz na ogół niewielkie. W rejonie Szklarskiej Poręby, w strefie przeobrażonego granitu (szacunkowa długość 500–600 m, miąższość 2–5 m), występują liczne żyłki kwarcowo-ametystowe, spojone kwarcem mlecznym. Niektóre duże kryształy ametystu (długości do 6, grubości do 4 cm) mają budowę pasową i zmienne zabarwienie od prawie bezbarwnego do ciemnofioletowego. Zawartość ametystu jest niewielka, do 5% obj. (Lis i Sylwestrzak, 1986). Ametyst występuje w formie żyłek i szczotek krystalicznych w mlecznym kwarcu w złożu fluorytu w Kletnie koło Stronia Śląskiego. Ametyst często wypełnia geody w ryolitach w Górach Kaczawskich (Nowy Kościół koło Złotoryi, Lubiechowa koło Świerawy, Płóczki koło Lwówka Śląskiego). Geody i szczotki krystaliczne z ametystem znajdowano w wulkanitach koło Kamiennej Góry i w innych miejscach Dolnego Śląska. Ametyst występuje też w okolicach Krzeszowic (Rudno, Alwernia, Regulice) i w Tatrach.

Cytryn znajdowano na wzgórzu Chojnik oraz w rejonie Czarnego, Łomnicy i Sobieszowa koło Jeleniej Góry, a także w rejonie Kowar, Szklarskiej Poręby i Nowej Rudy (Tłumaczów; Lis i Sylwestrzak, 1986).

Kwarc dymny, morion i inne odmiany kwarcu tworzą kryształy, na ogół spękane, o wielkości dochodzącej do ok. 1 m w druzach pegmatytów karkonoskich i strzegomskich.

Agat w Polsce jest pozyskiwany głównie jako kamień kolekcjonerski, w mniejszym stopniu jako surowiec jubilerski, którego na rynku jest wystarczająca ilość, sięgająca milionów megagramów (głównie z Brazylii). Agat właściwy, zbudowany z różnorodnie zabarwionego, wstęgowanego chalcedonu w asocjacji z kwarcem, wypełnia pustki skalne i zastępuje niektóre wcześniejsze minerały. Agaty migdałowcowe występują w pustkach law andezytowych i trachyandezytowych w okolicach Płóczek Górnych i w bazaltoidach w rejonie Lubiechowej. Agaty szczelinowe występują w andezytach w okolicach Przeździec, znajdowane są też w Bystrzycy na Dolnym Śląsku. Agatofizy, kuliste lub wrzecionowate obiekty o ogromnej różnorodności komór agatonośnych w obrębie ryolitów występują gniazdowo w okolicach Nowego Kościoła. Złoża wtórne agatów występują w korytach rzek wypływających z Sudetów, m.in. Kaczawy, Kwisy, Bobru, oraz

w licznych żwirowiskach. Najbardziej perspektywiczne dla pozyskania agatów są utwory czerwonego spągowca w okolicach Nowego Kościoła.

Chryzopraz jest zieloną, skrytokrystaliczną odmianą krzemionki. Ze względu na dominujący składnik Sachanbiński (1985) wyróżnił cztery odmiany: chryzopraz opalowy (prasopal), chalcedonowo-opalowy, chalcedonowy i kwarcowy. Może zawierać domieszki talku, magnezytu, minerałów serpentynu, chromitu, magnetytu, tlenków manganu i gipsu. Zielone zabarwienie pochodzi od wrostków minerałów niklu: pimelitu, garnierytu lub szuchardytu (Sachanbiński i in., 2001). Jest to minerał półprzezroczysty, dość twardy (6–6,5 w skali Mohsa), o szklistym połysku, bez łupliwości, o gęstości 2,59–2,65 g/cm³. Współwystępuje z opalem, chalcedonem, magnezytem, garnieritem i pimelitem. Stanowi kamień jubilerski, dekoracyjny i okładzinowy. Jego złoże mogą powstawać w wyniku wietrzenia serpentynitów, gdy dochodzi do uwolnienia krzemionki, jej wnikania w głąb zwietrzeli i wytrącania ze związkami niklu. Złoże mogą też powstawać wskutek wytrącania krzemionki z roztworów hydrotermalnych, np. w pobliżu intruzji granitoidowych (Sachanbiński, 1985).

Największe złoże znane są z Australii (Queensland – Marlborough Creek) i Polski (Dolny Śląsk – blok przedsudecki), mniejsze ze Stanów Zjednoczonych (Kalifornia i Oregon – Góry Nikłowe), Rosji (Ural – Jeekaterynburg), Kazachstanu, Brazylii, Indii i Madagaskaru. Najbardziej znane wystąpienie dolnośląskich chryzoprazów w Szklarach koło Ząbkowic Śląskich związane jest ze złożem niklu w masywie serpentynitowym Szklar. Pozostałe, w Wirach koło Sobótki oraz w okolicach Grochowej i Braszowic, towarzyszą złożom magnezytu w masywach serpentynitowych Gogolów–Jordanów oraz Braszowic. Pierwsze wzmianki o chryzoprazie na Dolnym Śląsku pochodzą z 1740 r., kiedy po odkryciu dużej żyły na Młyńskiej Górze niedaleko Ząbkowic Śląskich, Dolny Śląsk znalazł się na ponad 250 lat w światowej czołówce pod względem wydobywania chryzoprazu (Sachanbiński, 2015). W Szklarach chryzopraz wydobywano jako kopalinę towarzyszącą rudom niklu, początkowo metodą podziemną, a od 1915 r. – głównie odkrywkową. Eksploatacja trwała od końca XIX w. do 1983 r.

W masywie Szklar chryzopraz występuje w zwietrzelinie serpentynitu o miąższości 20–50 m. Tworzy żyły o grubości do 40 cm, gniazda i soczewy. Stosunek ilości chryzoprazu do skały płonej szacowano na 1:10 000, przy czym tylko 5% chryzoprazu ma walory jubilerskie. Największe wydobywanie, w 1973 r., wyniosło 1200 kg (Kozłowski S., 1987). Niśkiewicz (1982) na podstawie typu zwietrzeli serpentynitowej, jej miąższości, ukształtowania powierzchni spągowej oraz zawartości niklu wyróżnił 5 obszarów perspektywicznych położonych w centralnym rejonie Szklar, w obszarze Szklanej Góry. Najbardziej obiecująca jest żółto-brunatna i czerwono-brunatna zwietrzelina ziemista z zachowaną strukturą skały pierwotnej, o podwyższonej koncentracji niklu oraz zmiennej miąższości (36–69 m). Obecnie chryzopraz pozyskiwany jest jedynie przez kolekcjonerów.

Jaspis jest skałą krzemionkową o bezładnej lub wstęgowanej teksturze i kryptokrystalicznej strukturze, zbudowaną z autogenicznego kwarcu i chalcedonu. Niekiedy zawiera szczątki radiolari, gąbek lub okrzemek (Heflik, 1989). Fersman w 1962 r. (Hutnik i in., 1984) wyróżnił jaspisy zbite, pasiaste, porfirowe, pstrokate, sferolitowe i naciekowe. Jaspisy najczęściej są czerwone, rzadziej zielone lub szaroniebieskie, barwa zależy od domieszek tlenków żelaza i manganu, chlorytów, epidotów, glaukofanu, riebeckitu i aktynolitu (Hutnik i in., 1984). Jaspis jest nieprzezroczysty, matowy, o nierównym lub muszlowym przełamie, zmiennej twardości (5,5–7 w skali Mohsa) oraz gęstości ok. 2,6 g/cm³. Jaspisy najczęściej są pochodzenia osadowego, wulkanogenicznego lub magmowego. Największe złoże występują w Rosji na Uralu (złoże: Uczalińskie, Magnitogorskie, Sibańskie i Orskie) oraz w Stanach Zjednoczonych (Kalifornia, Arizona, Nevada, Waszyngton), mniejsze w Indiach, Wenezueli i Egipcie. W Polsce jaspis najczęściej występuje w karbońskich i permskich wulkanitach i towarzyszących skałach osadowych w postaci żył, warstewek, soczewek, nasokrupień, wypełnień geod i szczelin (Sachanbiński, 2015). Główne wystąpienia są znane ze Świerków koło Nowej Rudy na Dolnym Śląsku oraz z Niedźwiedziej Góry koło Krzeszowic w rejonie Krakowa. W kamieniołomie dolerytów i bazaltów w Świerkach jaspis tworzy ławice o miąższości do 1,5–1,8 m na dwóch poziomach (Heflik, 1989). Występowały tu bloki o kubaturze kilku metrów sześciennych. Walory dekoracyjne oraz pokładowy charakter tego jaspisu stwarzają duże możliwości wykorzystania go jako kamienia ozdobnego. Mniejsze wystąpienia w niecce śródsudeckiej znane są m.in. z kamieniołomów w Czadrowie, na górze Ostoją, w Głuszycy Górnej, Suszynie i Niwie, a w niecce północnosudeckiej w Przeździecku, Płuczkach i Pławnej. Ponadto jaspisy występują jako otoczaki w zlepieńcach kulmu niecki śródsudeckiej w rejonie Marciszowa, Nagórnik, Starych Bogaczowic i Dobromierza. W tzw. jaspisowej dolinie koło Wałbrzycha otoczaki takie osiągają 0,65 m średnicy, a ich czerwona barwa i oryginalne wzory decydują o znacznych walorach dekoracyjnych (Kozłowski S., 1986a; Sachanbiński, 2015).

Smugowane wielobarwne krzemienie występują m.in. na Jurze Krakowsko-Częstochowskiej, w północno-wschodnim obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich, na Wyżynie Lubelskiej. Wśród nich najbardziej znane są krzemienie pasiaste z Krzemionek Opatowskich koło Ostrowca Świętokrzyskiego, gdzie były intensywnie wydobywane z wapieni górnego oxfordu już w neolicie. Archeologicznie jeszcze starsze są krzemienie „czekoladowe” eksploatowane w rejonie Tomaszowa, Wierzbicy i Ilży (Brzeziński, 2019a). W Górach Świętokrzyskich udokumentowano dwa złoża krzemieni – Bocheniec (o geologicznych zasobach bilansowych 24 tys. Mg) i Tokarnia (o zasobach 4 tys. Mg). W Tokarni występują pasiaste krzemienie ozdobne, a w Bocheńcu udział odmian dekoracyjnych wynosi średnio 30% (Brzeziński, 2019a). Złoża te nie są eksploatowane. Geneza krzemieni pasiastych może być diagenetyczna (Pieńkowski i Gutowski, 2004); źródłem krzemionki mogły być też roztwory hydrotermalne (Król i Migaszewski, 2010).

Nefryt

Nefryt jest skałą metamorficzną utworzoną w wyniku procesów metasomatycznych przy wdzieraniu się kwaśnych lub zasadowych skał magmowych w dolomity, marmury dolomitowe lub serpentynity oraz działaniu ciśnień kierunkowych. Jest skałą prawie monomineralną, składającą się głównie z amfiboli wapniowo-żelazowo-magnezowych szeregu aktynolitu (tremolitu, rzadziej ferroaktynolitu). Nefryt ma barwę od białej (nefryty tremolitowe związane z dolomitami), przez zieloną (nefryty tremolitowe związane z serpentynitami) do ciemnozielonej i czarnej (ferryty bogate w ferroaktynolit), niekiedy też czerwonawą wskutek utleniania żelaza. Ma teksturę mylonityczną bądź afanitową, jest utworzony z mikrowłókien tremolitu lub aktynolitu o średniej długości 0,05 mm i średnicy 0,002 mm. Włókna są spłśnione i tworzą masywną skałę, niezwykle wytrzymałą na uderzenia. Skała ma przełam pseudomuszłowy z częstymi mniejszymi odspojeniami w formie łusek.

Nefryt występuje stosunkowo rzadko w skorupie ziemskiej. Znany jest głównie z Chin, Rosji, Kazachstanu i Tajwanu. W Polsce jego złoża znajdują się na Dolnym Śląsku w rejonie Jordanowa Śląskiego, Strzeblowa i Tąpadeł. Złoże w Jordanowie Śląskim, najlepiej udokumentowane, będące drugim pod względem jakości złożem w Europie, gdzie nefryt występuje w serpentynitach w postaci gniazd i żył o różnej miąższości, było znane już w neolicie. Jeszcze do niedawna w nieczynnym kamieniołomie wydobywano bloki nefrytu o grubości 40 cm i długości 2,5 m. Szczegółowy opis wystąpień kamieni przemysłu jubilerskiego w Polsce został przedstawiony przez zespół pod kierunkiem W. Heflika (Heflik, 1994).

12.6.2.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Światowe zasoby kamieni jubilerskich i ozdobnych (poza diamentami) nie zostały oszacowane (Smałkowski i in., 2015). Krajowe zasoby, z wyjątkiem bursztynów i przemysłowych krzemieni, obejmujących także odmiany ozdobne, również nie są określone. Zasoby agatów można szacować na co najmniej dziesiątki tysięcy megagramów, z czego ok. 5% mogą stanowić okazy kolekcjonerskie. Ze względu na gniazdowe występowanie agatofiz wydobywanie metodami górniczymi nie rokuje nadziei na rentowne pozyskiwanie. Zasoby nefrytu w Polsce nie są ustalone z uwagi na jego nieregularny sposób występowania w skale. Eksploatacja jedyne go złoża została zakończona pod koniec XX w., lecz istnieje możliwość dalszego wydobycia po dokładniejszym jego rozpoznaniu.

12.6.2.3. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Wymienione wystąpienia kamieni jubilerskich i ozdobnych w Polsce mogą być traktowane jako potencjalne obszary perspektywiczne. Perspektywiczne jest też wystąpienie czarnych krzemieni w okolicach Dobruki koło Orońska (Fijałkowski, 1983), których zasoby oszacowano na ok. 14 Mg. Zróżnicowanie kolorystyczne tych krzemieni jest jednak nieznaczne, dominuje kamień brunatno-czarny, przy niewielkim udziale krzemienia pasiastego. Dla celów jubilerskich atrakcyjne są krzemienie z okolic Kwaczały koło Chrzanowa i skamieniałe pnie drzew z okolic Krzeszowic koło Krakowa, występujące też na Kielecczyźnie i w okolicach Wałbrzycha, przy czym największe ich nagromadzenia znajdują się w Siedliskach koło Bełżca (Smałkowski i in., 2015).

Natomiast prace poszukiwawcze złoża agatów w rejonie Płóczek Górnych (na południowo-wschodnim stoku wzgórza Lipień), ze względu na bardzo rozproszoną mineralizację agatonośną w trachybazalcie, dały wynik negatywny (Róžański, 2004). Podobny wynik dało poszukiwanie złoża agatów w rejonie Suszyny

i Kamieńca koło Kłodzka. Agaty w dolnopermskich wulkanitach okazały się małe, spękanе, o nieciekawym wyglądzie, a samo złożе miało zbyt małe zasoby (Gunia i in., 1986). Negatywnie zakończyły się również prace zwiadowcze za kamieniami ozdobnymi występującymi jako geody agatowe, ametystowe i kwarcowe w bazaltach Rudna i Regulic (Poręba, 2004), jak również próby rozpoznania nowych wystąpień nefrytu, chryzoprazu czy jaspisów.

12.6.2.4. Ocena zasobów i ich zmian

Analiza stanu zasobów perspektywicznych kamieni jubilerskich i ozdobnych w Polsce w *Bilansie perspektywicznych zasobów kopalin Polski* jest przeprowadzana po raz pierwszy. Rozmieszczenie obszarów perspektywicznych ich występowania w Polsce ilustruje załącznik 6.

12.6.2.5. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Obecny poziom wiedzy o miejscach występowania opisywanych kamieni przemysłu jubilerskiego wskazuje na możliwości ich wykorzystania głównie przez artystów plastyków, rzemieślników oraz jubilerów. Podaż tych kamieni następować będzie głównie przez zbieranie kamieni z powierzchniowych wystąpień.

12.7. TORF (*PEAT*)

12.7.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Torf to autochtoniczny osad fitogeniczny nagromadzony *in situ* w obrębie torfowiska w wyniku systematycznego przyrostu roślinności torfowej (sedentacja), przeobrażonej pod względem struktury i składu chemicznego w biochemicznym stadium procesu uwęglania (stadium torfienia). Torf jest kaustobiolitem o najniższym stopniu uwęglania; składa się ze szczątków roślinnych w różnym stopniu zhumifikowanych oraz z humusu torfowego i charakteryzuje się najniższą wartością opałową (poniżej 6,7 MJ/kg) i wysoką kwasowością (pH = 4,0–5,5).

Podstawowym składnikiem torfu jest przeobrażona materia roślinna, stanowiąca ok. 90% jego suchej masy. Torf wykazuje znaczną zdolność wiązania wody, której zawartość wynosi ok. 90%.

Sucha masa torfowa składa się z substancji fitogenicznej, w której skład wchodzi: substancja humusowa, składniki torfowe (elementy botaniczne: składnik mszysty, drzewny i zielny), składniki detrytusowe oraz amorficzne składniki fitogeniczne (Troels-Smith, 1955), a także z substancji mineralnej pochodzenia abiotycznego, w której skład wchodzi osady klastyczne, głównie iły i mułki, rzadziej piaski.

Torf jest osadem fitogenicznym akumulowanym w bagnach, mokradłach i torfowiskach (*wetlands*) na znacznych obszarach Polski. Obok osadów fitogenicznych powstających obecnie oraz kopalnych torfów holoceniowych, które są wykorzystywane gospodarczo, znane są również torfy kopalne występujące w osadach plejstoceńskich, których powstanie było związane z kolejnymi okresami interglacjalnymi. Te ostatnie nie mają jednak znaczenia gospodarczego.

Pod względem genetycznym można wyróżnić trzy grupy złóż torfowych (Tobolski, 2000):

- Złóża torfowisk niskich – będące produktem rozwoju torfowisk w zagłębieniach terenu powiązanych z ciekami wodnymi w warunkach stałego drenażu, przy ograniczonej cyrkulacji wody wewnątrz torfowiska; charakteryzują się podwyższoną zawartością substancji mineralnej (popielnością), dostarczanej spoza torfowiska. W takich warunkach powstaje torf niski (*fen peat*), w którym ze względu na skład fitocenozy torfotwórczej można wyróżnić torf glonowy, trzcinowy i turzycowy.
- Złóża torfowisk przejściowych – będące produktem rozwoju torfowisk w wyższych partiach (na stokach) zagłębień terenu, przy sporadycznej ograniczonej cyrkulacji wody wewnątrz torfowiska. W takich warunkach powstaje torf przejściowy (*medium peat*).
- Złóża torfowisk wysokich – będące produktem rozwoju torfowisk na działach wodnych w warunkach braku cyrkulacji wody wewnątrz torfowiska pozbawionego drenażu; roślinność torfotwórcza w takim torfowisku korzysta wyłącznie z wody zawieszonej, nagromadzonej w wyniku opadów atmosferycznych. W takich warunkach powstaje torf wysoki (*bog peat*), w którym ze względu na skład fitocenozy torfotwórczej można wyróżnić torf mszarny i drzewny. Ze względu na brak przepływu wód związanego z transportem materii mineralnej torf wysoki charakteryzuje się niską popielnością.

12.7.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Największymi zasobami torfu dysponują Rosja, Białoruś, Ukraina, Finlandia, Skandynawia, Estonia, Polska, Szkocja, północne Niemcy, Holandia, Kanada, Stany Zjednoczone (Michigan, Minnesota, Floryda i Kalifornia). Na południowej półkuli większe zasoby torfu stwierdzono na Nowej Zelandii, w południowej Patagonii, na wyspie Kerguelen i na Falklandach.

W Polsce torfowiska stanowiące potencjalne złoża torfu występują najliczniej w północnej części kraju. W części południowej największe obszary torfowiskowe są związane z Lubelszczyzną i Kotliną Orawską. Na obszarze Polski znajduje się łącznie 297 złóż torfu o sumarycznych zasobach geologicznych 91,70 mln m³ (tab. 12.11). Największa ilość zasobów prognostycznych występuje w północnej Polsce, w województwach: pomorskim, warmińsko-mazurskim i podlaskim (tab. 12.12).

Ponieważ znaczna część zasobów prognostycznych i perspektywicznych torfu w Polsce została zakwalifikowana do grupy zasobów udokumentowanych (eksploatowanych lub nieeksploatowanych), zasoby prognostyczne i perspektywiczne torfu powinny być rozpatrywane na tle istniejącej bazy zasobów udokumentowanych. Udokumentowane i prognostyczne zasoby torfu zestawiono w tabeli 12.12.

**Tab. 12.11. Geologiczne zasoby złóż torfu w Polsce wg stanu na 31.12.2018 r.
(Szczygielski, 2019d, zmodyf.)**

Wyszczególnienie	Liczba złóż	Zasoby geologiczne bilansowe [mln m ³]			Zasoby pozabilansowe [mln m ³]	Zasoby przemysłowe [mln m ³]
		razem	kat. A+B+C ₁	kat. C ₂		
Zasoby udokumentowane	297	91,61	83,40	8,19	6,52	35,89
w tym złóż zagospodarowanych						
Łącznie	84	45,83	45,79	0,03	4,57	33,81
Złoża zakładów czynnych	64	44,64	44,60	0,03	4,47	33,23
Złoża eksploatowane okresowo	20	1,19	1,19	–	0,10	0,58
w tym złóż niezagospodarowanych						
Łącznie	134	38,17	30,24	7,93	1,07	1,07
Złoża rozpoznane szczegółowo	116	30,24	30,24	–	0,90	1,07
Złoża rozpoznane wstępnie	18	7,93	0,00	7,93	0,17	–
w tym złóż, w których eksploatacji zaniechano						
Łącznie	79	7,61	7,37	0,23	0,88	1,01
Zasoby prognostyczne	2051	>335,95	nd.	nd.	nd.	nd.
Zasoby ogółem	2348	>427,65	83,50	8,19	6,52	35,89

nd. – nie dotyczy

**Tab. 12.12. Zasoby torfu o cechach bilansowych (udokumentowane i prognostyczne) w Polsce
w podziale na województwa (Kasiński, 2011a; Szczygielski, 2019d, uzup.)**

Województwo	Zasoby					
	udokumentowane		prognostyczne		ogółem	
	liczba złóż	[tys. m ³]	liczba złóż	[tys. m ³]	liczba złóż	[tys. m ³]
Dolnośląskie	1	202	b.d.	b.d.	>1	>202
Kujawsko-pomorskie	26	1714	142	21 084	168	22 798
Lubelskie	32	6834	5	35 132	37	41 966
Lubuskie	15	3128	9	2293	24	5421
Łódzkie	9	263	b.d.	799	>9	1062
Małopolskie	3	339	b.d.	26 725	>3	27 064
Mazowieckie	12	7643	b.d.	5746	>12	13 389
Opolskie	1	288	2	1643	3	1931
Podkarpackie	5	604	b.d.	b.d.	>5	>604
Podlaskie	14	4332	576	54 175	590	58 507
Pomorskie	19	20 552	663	94 653	682	115 205
Śląskie	12	1703	b.d.	b.d.	>12	>1703
Świętokrzyskie	2	187	3	1254	5	1441
Warmińsko-mazurskie	29	8752	493	60 009	522	68 761
Wielkopolskie	79	6172	4	3118	83	9290
Zachodniopomorskie	40	28 985	154	29 323	194	58 308
Razem	299	91 698	>2051	>335 954	>2262	>427 652

b.d. – brak danych

Mimo że zasoby torfu w Polsce są znaczące, pozyskiwanie tego surowca napotyka na poważne przeszkody, które z upływem czasu będą się jeszcze nasilać. Ograniczenia wydobycia są przede wszystkim spowodowane konfliktem ze środowiskiem naturalnym (w mniejszym stopniu także stanem prawnym własności gruntów i brakiem akceptacji społecznej). Konflikt ze środowiskiem naturalnym ma tu znaczenie szczególne, ponieważ nie sposób przecenić znaczenia torfowisk jako zasadniczego elementu obszarów podmokłych (*wetlands*), podstawowego elementu retencji wód w ekosystemie. Z tego powodu nadmierna eksploatacja torfowisk może manifestować się nie tylko w postaci zmian lokalnych, ale także może być przyczyną zaburzeń klimatu i ekosystemów w skali regionalnej.

Znaczna część zasobów prognostycznych torfu prawdopodobnie nigdy nie stanie się przedmiotem eksploatacji z powodu ograniczeń środowiskowych. Kwalifikacja poszczególnych (szczególnie dużych) obiektów do eksploatacji będzie wymagać każdorazowo pogłębionej wieloaspektowej analizy.

12.7.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Zasadniczymi kryteriami przyjętymi do wyznaczania złóż torfu i kopalin pokrewnych są parametry definiujące złożo określone w *Rozporządzeniu...* (2015a; tab. 12.13). Jakość (a co za tym idzie możliwość wykorzystania) torfu jest także charakteryzowana przez stopień rozkładu (wg von Posta: od H_1 – nierozłożony do H_{10} – zupełnie rozłożony).

Dla złóż torfu leczniczego (borowiny) ustanowiono znacznie bardziej restrykcyjne kryteria, obejmujące precyzyjne określenie jakości kopaliny, w tym wilgotność, wodochłonność, objętość sedimentacyjną, kwasowość oraz ocenę bakteriologiczną (miano *Coli*).

12.7.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Kryteriami przyjętymi do oceny zasobów prognostycznych i perspektywicznych torfu są graniczne wartości parametrów definiujących złożo i jego granice (tab. 12.13), zawarte w obowiązujących przepisach.

Tab. 12.13. Graniczne wartości parametrów definiujących złoża torfu i kopalin pokrewnych i ich granice (*Rozporządzenie...*, 2006, 2015a)

Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Torf		
Minimalna miąższość złoża	m	1
Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża	–	0,5
Maksymalna zawartość popiołu w stanie suchym	%	30
Torf leczniczy		
Minimalna miąższość złoża	m	1
Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża	–	0,5
Maksymalna zawartość składników nieorganicznych w suchej masie	%	25
Minimalny stopień rozkładu	%	30 (H_3)
Minimalne miano <i>Coli</i>	–	$\geq 1,0$
Minimalne miano <i>Coli perfringens</i>	–	$\geq 0,1$
Mul borowinowy		
Minimalna miąższość złoża	m	1
Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża	–	0,5
Maksymalna zawartość składników nieorganicznych w suchej masie	%	80
Minimalny stopień rozkładu	%	30 (H_3)
Minimalne miano <i>Coli</i>	–	$\geq 1,0$
Minimalne miano <i>Coli perfringens</i>	–	$\geq 0,1$

12.7.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Przeważająca część zasobów torfu jest związana z utworami holocenu. Holocenijskie torfowiska stanowiące potencjalne złoża torfu występują najliczniej w północnej części kraju. W części południowej największe obszary torfowiskowe są związane z Lubelszczyzną i Kotliną Orawską. Torfowiska zajmują w Polsce obszar ponad 12 tys. km² i zawierają ponad 17 mld m³ torfu. Instytut Melioracji i Użytków Zielonych zinventaryzował ok. 50 tysięcy torfowisk, z czego ok. 36% stanowi potencjalną bazę zasobową eksploatacji torfu. Tylko niewielka ich część została rozpoznana (por. tab. 12.12) i stanowi złoża w rozumieniu prawa geologicznego i górnictwa (*Ustawa...*, 2011).

Z utworami plejstocenu (głównie osadami interglacjalnymi) są związane mniej obfite wystąpienia torfów plejstoceńskich. Torfy te są eksploatowane lokalnie jako kopalina towarzysząca jedynie w wypadku występowania w nadkładzie eksploatowanych złóż innej kopaliny, przede wszystkim węgla brunatnego (np. w Zagłębiu Koninśkim).

12.7.6. Stan rozpoznania geologicznego

Występowanie torfu na terenie Nizy Polskiego zostało po drugiej wojnie światowej dokładnie rozpoznane, najpierw pod kątem eksploatacji odkrywkowej torfu jako surowca opałowego (w myśl ustaleń obowiązujących w czasie projektowania elektrownia Ostrołęka miała być opalana torfem pochodzącym z torfowisk Bagien Biebrzańskich), a w latach późniejszych przede wszystkim jako surowca ogrodniczego. Dokumentację i opracowania dotyczące złóż torfu powstawały licznie, ale całokształt zagadnień wraz ze szczegółową analizą zasobów perspektywicznych został ujęty dopiero w opracowaniu monograficznym Ostrzyżka i Dembka (1996).

Na potrzeby gospodarki krajowej (obok bilansu zasobów udokumentowanych) w sposób cykliczny dokonano oceny wielkości zasobów perspektywicznych torfu. Takie oceny dotyczyły stanu na 31.12.1980 r. (Ciuk, 1986a) i 31.12.2009 r. (Kasiński, 2011a). Dane zawarte w ostatnim bilansie, uzupełnione wynikami kwerendy w Systemie Gospodarki i Ochrony Bogactw Mineralnych MIDAS i arkuszy *Mapy Geośrodowiskowej Polski w skali 1:50 000* stały się podstawą do opracowania obszarów prognostycznych występowania torfu.

12.7.7. Ocena zasobów i ich zmian

W okresie od publikacji ostatniego bilansu w zasobach udokumentowanych torfu zaszły zmiany zestawione w tabeli 12.14.

Jak wspomniano, istnieje znaczna dysproporcja rozmieszczenia zasobów prognostycznych i perspektywicznych torfu pomiędzy Polską północną (obszarem najmłodszych zlodowaceń), a pozostałą częścią kraju. Dlatego w ocenie wartości tych zasobów nie sposób stosować jednolitych kryteriów: wiele złóż prognostycznych na obszarze północnym nie stanie się – z racji istnienia obiektów konkurencyjnych – zapewne nigdy przedmiotem eksploatacji, podczas gdy podobne obiekty na południu kraju mogą być uważane za bardzo wartościowe. Wydaje się zatem, że przy prowadzeniu ewaluacji złóż torfu należy uwzględnić czynnik regionalny.

Tab. 12.14. Zmiany bazy zasobowej torfu w latach 2009–2018 (Kasiński, 2011a; Szczygielski, 2019d)

Kategoria zasobów	Liczba złóż			Zasoby torfu [mln m ³]		
	2009 r.	2018 r.	zmiana	2009 r.	2018 r.	zmiana
Zasoby udokumentowane	223	297	+74	74,64	91,61	16,97
w tym w złożach zagospodarowanych	99	84	–15	50,78	45,83	–4,95
w tym w złożach niezagospodarowanych	89	134	+45	22,15	38,17	16,02
w tym w złożach zaniechanych	35	79	+44	1,71	7,61	5,9
Zasoby prognostyczne	2059	2051	–8	367,00	335,95	–31,05
Zasoby ogółem	2282	2348	+66	441,64	427,56	–14,08

12.7.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Mimo znacznych zasobów prognostycznych eksploatacja torfu może napotkać na trudności związane m.in. z konfliktem środowiskowym, co może skutkować tym, że znaczna część zasobów prognostycznych nigdy nie będzie przedmiotem eksploatacji. Kwalifikacja poszczególnych (szczególnie dużych) obiektów do eksploatacji będzie wymagać każdorazowo pogłębionej wieloaspektowej analizy strat i zysków, uwzględniających nie tylko wpływ samej eksploatacji, który w przypadku torfu nie jest może szczególnie znaczący, jak i wpływ wyeksploatowania kopaliny, czyli usunięcia torfu ze środowiska.

Wydobycie torfu leczniczego (borowiny) jest bardzo niewielkie (8,21 tys. m³), ale obecnie w pełni pokrywa zapotrzebowanie krajowe. Zasoby perspektywiczne tego surowca wydają się również znaczne, ale w związku z rozwojem gospodarki rolnej coraz mniej złóż perspektywicznych spełnia kryteria czystości mikrobiologicznej (Kucharski i Szymak, 1993), co może w najbliższym czasie zmienić ten stan rzeczy.

12.8. GAZY (*GASES*)

Izabela Ługiewicz-Molas, Jan Kwarciański, Małgorzata Ponikowska

12.8.1. Hel (*helium*)

12.8.1.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Hel jest gazem szlachetnym i jest bierny chemicznie. Podstawowym izotopem helu występującym na Ziemi jest izotop ^4He , powstający podczas rozpadu pierwiastków szeregów promieniotwórczych. Ilość powstającego w ten sposób helu jest zależna wyłącznie od zawartości tych pierwiastków w skałach oraz czasu trwania procesu.

Zasoby helu są w głównej mierze związane z zasobami złóż gazu ziemnego. W złożach tych hel występuje jako domieszka. Zasoby helu odzyskiwane są w trakcie wydobywania gazu ziemnego w instalacjach odzotowania. Brak takiej instalacji powoduje utratę helu zawartego w gazie ziemnym w procesie użytkowania (spalania) gazu.

12.8.1.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Światowe zasoby helu według stanu na 31.12.2018 r. wynoszą ok. 50 mld m^3 . Wielkość ta nie uwzględnia zasobów helu w złożach, dla których planowana jest w latach 2020–2024 budowa instalacji do odzysku helu (np. Tanzania – obszar Rift Valley, Iran – złożo Południowy Pars, Rosja – złożo Kowykta). Największe zasoby He znajdują się w USA (20,6 mld m^3), Katarze (10,1 mld m^3), Algierii (8,2 mld m^3) i Rosji (6,8 mld m^3). Szacuje się, że przy rocznej produkcji helu wynoszącej obecnie ponad 150 mln m^3 oraz planowanym wzroście zapotrzebowania i produkcji helu rzędu 3–6% na rok zasoby helu wystarczą na ponad 100 lat. Należy się spodziewać znacznego wzrostu produkcji helu związanego z budową instalacji do skraplania gazu ziemnego (LNG).

W Polsce zasoby helu są dokumentowane od 1964 r., natomiast jego eksploatacja (produkcja) jest prowadzona od 1975 r. Według stanu na 31.12.2018 r. wydobywalne zasoby helu, udokumentowane w 16 złożach gazu ziemnego, wynoszą 23,88 mln m^3 . Produkcja helu w Polsce w ostatnich latach wynosi 2,5–3,0 mln m^3 , przy czym hel pochodzi zarówno ze złóż gazu ziemnego z udokumentowanymi zasobami helu, jak również ze złóż gazu ziemnego o perspektywicznych zasobach helu. Przy założeniu niezmienniej wielkości produkcji helu jego zasoby (udokumentowane i perspektywiczne) wystarczą na ok. 20–30 lat.

12.8.1.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Jedynym stosowanym w Polsce kryterium dokumentowania zasobów helu jest jego zawartość brzeźna w gazie ziemnym wynosząca 0,2% obj. (*Rozporządzenie...*, 2015a).

12.8.1.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Zasoby perspektywiczne helu obliczono w złożach gazu ziemnego, w których dotychczas nie udokumentowano zasobów He, a zarazem złoża te są połączone gazociągami z instalacjami odzotowania gazu ziemnego i są (mogą być) źródłem helu (tab. 12.15). Zawartość helu w tych złożach jest większa od 0,1% obj.

Tab. 12.15. Zasoby perspektywiczne wydobywalne helu i ilość azotu w złożach gazu ziemnego

Nazwa złoża	Stan zagosp. złoża	Zasoby bilans. gazu ziemnego [mln m^3]	Skład gazu [% obj.]		Zasoby perspektywiczne [mln m^3]	
			azot	hel	azot	hel
Aleksandrówka	E	130,38	26,35	0,19	34,36	0,20
Borzęcin	E	21,38	32,54	0,17	6,96	0,03
Brońsko	E	13 694,94	23,65	0,14	3238,85	15,12

Tab. 12.15. cd.

Nazwa złoża	Stan zagosp. złoża	Zasoby bilans. gazu ziemnego [mln m ³]	Skład gazu [% obj.]		Zasoby perspektywiczne [mln m ³]	
			azot	hel	azot	hel
Elżbieciny	E	21,92	34,93	0,16	7,66	0,03
Jabłonna	E	177,40	34,06	0,15	60,42	0,21
Jabłonna S	E	53,82	34,18	0,15	18,40	0,06
Jabłonna W	E	132,31	34,12	0,14	45,14	0,15
Karmin	R	495,74	18,65	0,14	92,46	0,55
Komorze	P	340,05	25,41	0,15	86,41	0,41
Kościan S	E	2762,04	18,06	0,13	498,82	2,94
Kromolice	E	40,80	18,50	0,11	7,55	0,04
Kromolice S	E	443,65	19,60	0,12	86,96	0,41
Lisewo	E	743,77	21,48	0,12	159,76	0,71
Lęki	E	29,29	22,28	0,14	6,53	0,03
Miłosław E	R	926,45	19,54	0,12	181,03	0,90
Nowy Tomysł	E	385,88	50,88	0,18	196,34	0,55
Paproć	E	2812,86	29,54	0,17	830,92	3,83
Paproć W	E	1806,09	51,76	0,17	934,83	2,46
Radlin	E	2820,36	16,72	0,11	471,56	2,59
Radziądz	E	150,49	26,10	0,16	39,28	0,19
Roszków	E	180,34	20,81	0,14	37,53	0,20
Ruchocice	E	379,10	27,56	0,14	104,48	0,41
Szlichtyngowa	E	112,65	56,63	0,21	63,79	0,19
Wielichowo	E	565,50	25,18	0,15	142,39	0,69
Wierzowice	E	388,14	30,65	0,22	118,96	0,68
Wiewierz E	E	4,68	28,63	0,19	1,34	0,01
Wiewierz-element W	E	7,47	26,53	0,18	1,98	0,01
Winna Góra	E	94,62	19,04	0,11	18,02	0,08
Zalęcze	E	166,56	22,62	0,16	37,68	0,22
Żuchłów	E	529,87	40,32	0,18	213,64	0,78

E – złożo eksploatowane, R – złożo o zasobach rozpoznanych szczegółowo (w kat. A+B), P – złożo o zasobach rozpoznanych wstępnie (w kat. C)

12.8.1.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych i stan rozpoznania geologicznego

Złoża gazu ziemnego z udokumentowanymi zasobami helu, jak również złoża z perspektywnymi zasobami helu znajdują się na Niziu Polskim, w obrębie platformy paleozoicznej na monoklinie przedsudeckiej. Obszar monokliny jest dobrze rozpoznany. Horyzontem gazonośnym tych złóż są utworzy czerwonego spągowca, wapienia cechsztyńskiego i dolomitu głównego. W złożach tych gaz ziemny występuje w formie gazu wolnego (fig. 12.3).

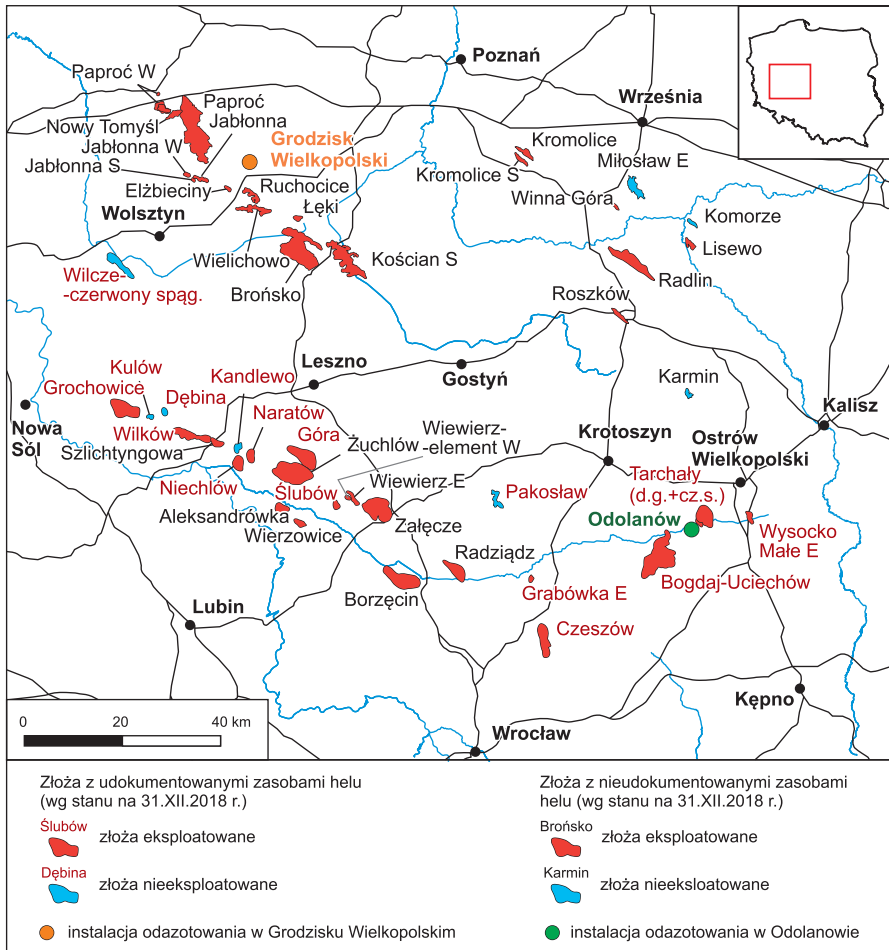


Fig. 12.3. Złóża gazu ziemnego z udokumentowanymi zasobami helu oraz obliczonymi zasobami perspektywicznymi helu i obliczoną ilością azotu

12.8.1.6. Ocena zasobów i ich zmian

W *Bilansie perspektywicznych zasobów kopalin Polski* ocena zasobów perspektywicznych helu jest wykonywana po raz pierwszy.

12.8.1.7. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Rekomenduje się dokumentowanie zasobów helu we wszystkich złożach gazu ziemnego, w których przewidywane jest jego odzyskanie. Równocześnie już na etapie projektowania prac poszukiwawczych, późniejszego rozpoznania złóż gazu ziemnego i prowadzenia ich eksploatacji proponuje się obligatoryjne prowadzenie badań uwzględniających w celu pozyskania informacji niezbędnych do oceny perspektyw występowania i potencjalnych zasobów helu. Dotyczy to zarówno konwencjonalnych, jak również niekonwencjonalnych złóż gazu ziemnego.

Jan Kwarciański, Izabela Ługiewicz-Molas

12.8.2. Azot (*nitrogen*)

12.8.2.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Azot występuje głównie w stanie wolnym i stanowi 78,1% całkowitej objętości atmosfery. Stosunkowo niewielka ilość azotu wolnego występuje w złożach gazu ziemnego oraz w postaci związków chemicznych w minerałach budujących skorupę ziemską.

Podstawowym źródłem pozyskiwania (produkcji) azotu jest powietrze atmosferyczne. Azot z powietrza jest pozyskiwany metodą destylacji frakcjonowanej ciekłego powietrza lub w mniejszym zakresie metodą odwróconej osmozy pod ciśnieniem lub adsorpcji zmiennociśnieniowej. Stosunkowo rzadko azot pozyskiwany jest z gazu ziemnego, podczas procesów jego odazotowania (w przypadku eksploatacji gazu ziemnego o dużej zawartości azotu) bądź w procesie jego skraplania w przypadku transportu gazu ziemnego w formie cieczy. Pozyskiwanie azotu z gazu ziemnego jest z reguły procesem towarzyszącym produkcji (pozyskiwaniu) helu.

12.8.2.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

W Polsce ilość azotu zawartego w złożach (w których udokumentowano zasoby helu) wynosi 4,30 mld m³, natomiast ilość azotu zawarta w złożach gazu ziemnego połączonych z instalacjami odazotowania, w których obliczono perspektywiczne zasoby helu (tab. 12.15) wynosi 8,25 mld m³. W złożach tych (fig. 12.3) zawartość azotu zmienia się od 16,7% obj. (złoże Radlin) do 74,5% obj. (złoże Kandlewo). W Polsce zasoby azotu w złożach gazu ziemnego nie są dokumentowane.

Z uwagi na możliwość pozyskiwania azotu z powietrza jego zasoby są praktycznie niewyczerpalne.

Krzysztof Szamalek

12.9. HALOIZYT (*HALLOYSITE*)

12.9.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Haloizyt ($\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), minerał ilasty (glinokrzemian o strukturze 1:1), z podgrupy kaolinitu składającej się z kaolinitu, dickitu, nakrytu, hydrohaloizytu i haloizytu (Stoch, 1974). Występuje powszechnie jako składnik ilastych kopaliny haloizytowo-kaolinitowych (samodzielne złoża haloizytu są bardzo rzadkie). Haloizyt występuje w zwietrzelinach bazaltowych powstających w procesach hipergenicnych (typu laterytowego), pedogenezy, hydrotermalnych przemian skał, w tym zwłaszcza ultramaficznych i piroklastycznych (Cravero i in., 2012; Dyjor i Kościówko, 1991). Haloizyt zbudowany jest z nanorurek (rzadziej płytek czy tabliczek) o zmiennych rozmiarach (Keeling, 2013), co wpływa na jego właściwości (duża porowatość, rozwinięta powierzchnia właściwa, duża zdolność jonowymienna, absorpcja metali, cieczy).

12.9.2. Światowe i krajowe zasoby oraz ich wystarczalność

Brak jest danych odnośnie światowych zasobów złóż czystego haloizytu. Największe nagromadzenia haloizytu znane są z Nowej Zelandii, Japonii, Chin, USA i Turcji. Według Machnickiej i Nowickiej (2016) na świecie znane są tylko trzy udokumentowane złoża haloizytu (wśród nich jedno w Polsce – złożo Dunino koło Legnicy). Na skalę przemysłową pozyskiwany jest on najczęściej w procesach wzbogacania skał kaolinitowo-haloizytowych. Wydobycie haloizytu prowadzone jest jednak w większej ilości miejsc, w tym w USA (kopalnia Dragon w stanie Utah), w Chinach (kilka małych złóż w prowincjach Yunan, Hunan, Guizhou) i w Turcji (wiele małych złóż na półwyspie Biga – NW Anatolia; Wilson i Keeling, 2016).

12.9.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

W Polsce nie wprowadzono kryteriów do wyznaczania złóż haloizytu, wyznaczono natomiast parametry graniczne dla złóż kaolinitu (patrz rozdz. 11.6).

12.9.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Jako parametry graniczne dla złóż haloizytu jako kopaliny głównej należałoby przyjąć: minimalną zawartość haloizytu w zwietrzelinie 60%, minimalną miąższość złoża 10 m, maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża 5.

12.9.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Zwietrzeliny skał bazaltowych występują w zachodniej części Sudetów w rejonie Zgorzelca, Lubania i Leśnej oraz na bloku przedsudeckim w okolicy Złotoryi, Jawora i Legnicy (Dyjor i Kościówko, 1991). Zwietrzeliny bazaltowe na Dolnym Śląsku tworzą trzy główne typy mineralogiczne (Stoch i in., 1977): smektytowe, smektytowo-kaolinitowe, kaolinitowe (haloizytowe).

Najlepiej zbadane i najbardziej perspektywiczne są pokrywy zwietrzelinowe w rejonie Dunina koło Legnicy leżące *in situ* na macierzystej skale podłoża (bazalt; Przysług, 1983, 1996; Rutkowski M. i in., 1996; Rutkowski M., 2008). Złożo Dunino jest częścią większej pokrywy lawowej (bazaltowej) odsłoniętej na wysokiej skarpie (15 m) doliny Nysy Szalonej na powierzchni ok. 1 km². Jest to wietrzeniowe złożo pokładowe i pokładopodobne, z grupy złóż pokrywowych (blankietowych) w typologii złóż według Niecia (2012). Miąższość zwietrzeliny bazaltowej w rejonie Dunina mieści się w przedziale od 1 do ok. 40 m (Kochanowska, 1982), a jej skład mineralny jest następujący: haloizyt 75–80%, minerały żelaza (hematyt, magnetyt) 18–22%, minerały Fe-Ti (ilmenit) 2–4% (Sołtys i in., 2013).

12.9.6. Stan rozpoznania geologicznego

Rozpoznanie zwietrzelin bazaltowych koło Legnicy (fig. 12.4) jest niewystarczające i wymaga dalszych prac geologicznych. W 2018 r. zatwierdzony został projekt robót geologicznych dla poszukiwania i rozpoznania złoża haloizytu Dunino, ale do chwili obecnej nie rozpoczęto realizacji prac.

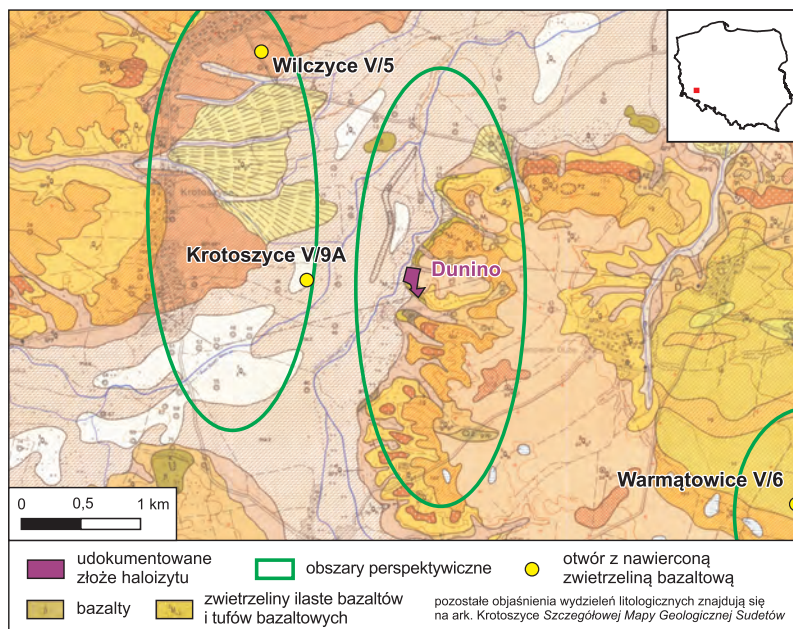


Fig. 12.4. Obszary perspektywiczne występowania zwietrzelin haloizytowych o potencjale złożowym (fragment *Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów*, ark. Krotoszyce). Na mapie zaznaczono jedynie otwory wiertnicze wykonane w latach 1979–1980 poza obszarem wokół Dunina, które nawierciły zwietrzelinę bazaltową

12.9.7. Ocena zasobów i ich zmian

Według *Karty rejestracyjnej złoża surowca haloizytowego do produkcji koagulantu „Dunino”* (Przysłup, 1983) zasoby surowca haloizytowego pierwotnie wynosiły 430 tys. Mg. Zasoby te zakwalifikowano do zwietrzelin bazaltowych o charakterze haloizytowym w ilości 480 tys. Mg zasobów bilansowych, od 2003 r. eksploatowano je na małą skalę (Lewicka E., 2011), następnie przeklasyfikowano je do surowców kaolinowych i w 2018 r. wynosiły 470,63 tys. Mg zasobów geologicznych (Malon, 2019f). W 2018 r. ze złoża Dunino wydobyto 1350 Mg surowca kaolinowego (Malon, 2019), a więc mniej niż w 2017 r. (1650 Mg, Malon, 2018). Brak dokładnych danych, jaka część wydobycia przypada na haloizyt.

12.9.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Haloizyt znajduje coraz większe zastosowanie w nanotechnologii (Pasbakhsh i in., 2013), wykazano także jego przydatność jako sorbentu mineralnego do usuwania siarkowodoru, amoniaku, pestycydów, związków aminowych, formaldehydu, sorpcji ozonu oraz adsorpcji metali ciężkich (Sołtys i in., 2013). Haloizyt po modyfikacji może być także używany do wytwarzania kompozytów poliamidowych i geokompozytów (Sakiewicz i in., 2011; Legocka i in., 2013). Z uwagi na unikalność złóż haloizytu i rosnące zainteresowanie jego wykorzystaniem należy przeprowadzić badania w rejonie Legnicy (obejmujące prace geofizyczne i wiertnicze), które pozwolą na określenie granic występowania zwietrzelin haloizytowych oraz warunków geologiczno-górnicznych ich zalegania wraz z wstępną oceną zasobności.

The background of the entire page is a photograph of water with concentric ripples, likely from a single drop falling. The water is a deep blue color. Above the water, the sky is visible with soft, white and grey clouds. The overall tone is calm and natural.

13. WODY JAKO KOPALINA

pod redakcją Mariusza Sochy

Agnieszka Felter

13.1. SOLANKI (*BRINE*)

Solanki są wodami podziemnymi zawierającymi rozpuszczone składniki mineralne stałe w ilości nie mniejszej niż 35 g/dm³, nie pochodzącymi z odwadniania wyrobisk górniczych. Zgodnie z prawem geologicznym i górniczym (*Ustawa...*, 2011) zostały zaliczone do kopalin ze względu na gospodarcze znaczenie wynikające z możliwości pozyskiwania z nich wielu pierwiastków i związków chemicznych, w tym soli, jodu, bromu, magnezu, potasu i litu.

Z uwagi na zawartość niektórych składników swoistych (głównie jonów jodu i dwuwartościowego żelaza) lub temperaturę wody osiągającą na wypływie z ujęcia 20°C lub więcej wody o mineralizacji odpowiadającej solankom są uznawane często za lecznicze (rozdz. 13.2) lub termalne (rozdz. 13.3).

13.1.1. Rodzaje złóż i ich geneza

W Polsce solanki występują na ogół na głębokości od kilkuset metrów do ponad 2 km, pod poziomami wód zwykłych, w dobrze izolowanych od powierzchni terenu, zakrytych strukturach wodonośnych, w których brak jest możliwości wydzielania stref zasilania i drenażu (Paczyński, 2002). Mineralizacja wód rośnie zwykle wraz z głębokością ich występowania i w głębokich poziomach wodonośnych może wynosić powyżej 300 g/dm³ (solanki nasycone). Ich zasoby są nieodnawialne lub słabo odnawialne, a dynamika przepływu bardzo zróżnicowana. W przypadku wód znajdujących się w ruchu zasadność stosowania terminu złoża budzi kontrowersje ze względu na brak możliwości ścisłego wyznaczenia jego granic, miąższości i innych parametrów złożowych, ponieważ ulegają one zmianom w czasie (Dowgiałło, 2004; Sokołowski i in., 2015). Określenie to ma jednak pełne uzasadnienie w przypadku solanek towarzyszących złożom bituminów oraz uwięzionych w osadach głębokich zbiorników sedymentacyjnych z uwagi na brak przepływu lub znikomą jego prędkość.

Początkowo solanki uważano za reliktywne stagnujące wody morskie, wyłączone z aktywnego obiegu (Dowgiałło, 1971). Z czasem pojęcie to zawężono do wód występujących w centralnych, najgłębszych częściach zbiorników, ponieważ na pozostałych obszarach, zwłaszcza w rejonach podczwartorzędowych wychodni utworów mezozoiku i paleozoiku, mineralizacja oraz skład chemiczny i izotopowy wskazywały na (paleo)infiltracyjne, a w Karpatach również dehydratacyjne pochodzenie solanek oraz na ich powolny przepływ (Bojarski L., 1996; Oszczytko i Zuber, 2002). W warunkach powolnej migracji lub stagnacji pierwotny skład wód ulegał w różnym stopniu przemianom, m.in. wskutek diagenezy, sorpcji i wymiany jonowej z otaczającym ośrodkiem skalnym. Z powyższych względów solanki zaczęto traktować jako wody poligenezy (Bojarski L. i Sadurski, 2000).

13.1.2. Krajowe zasoby i ich wystarczalność

Wody podziemne o mineralizacji nie mniejszej niż 35 g/dm³ występują dość powszechnie. Ich obecność stwierdzono w kilku tysiącach głębokich otworów wiertniczych (na ogół badawczych i rozpoznawczych), natomiast jedynym udokumentowanym złożem wód uznanych za solanki jest złożo Łapczyca koło Bochni, o powierzchni 17,94 km². Zasoby statyczne solanki jodowo-bromowej występującej w tym złożu w utworach miocenu (neogen) wynosiły 32,14 mln m³ na koniec 2018 r. (Sokołowski i Skrzypczyk, 2019), zaś w tzw. zatoce gdowskiej, na obszarze ok. 49 km², zasoby oszacowano na ok. 76 mln m³ (Kot-Niewiadomska i Lewicka E., 2015). Wody o łącznych zasobach eksploatacyjnych 6,2 m³/h są wydobywane dwoma otworami. W 2018 r. wydobywanie solanek wyniosło niespełna 3 tys. m³ (Sokołowski i Skrzypczyk, 2019), co stanowiło nieco ponad 9% zasobów eksploatacyjnych ujęć, i w ostatnich latach utrzymuje się na dość wyrównanym poziomie. Powyższe informacje świadczą o stosunkowo dużej rezerwie udokumentowanych zasobów solanek w stosunku do zapotrzebowania.

Zdecydowanie częściej wody o mineralizacji właściwej dla solanek dokumentowane są jako lecznicze lub termalne i wykorzystywane w balneoterapii, rekreacji, ciepłownictwie oraz do wytwarzania produktów zdrowotnych, w tym soli jodowo-bromowych (złożo Dębowiec). Solanki uznane za wody lecznicze występują w 23 złożach (w 12 złożach są to lecznicze wody termalne), zaś uznane za wody termalne w 5 złożach. W 2018 r. łączne zasoby eksploatacyjne tych wód wynosiły ponad 1,6 tys. m³/h, a ich wydobywanie w 17 zagospodarowanych złożach osiągnęło ponad 2,2 mln m³ (Sokołowski i Skrzypczyk, 2019).

Biorąc pod uwagę aktualny sposób użytkowania solanek, udokumentowane zasoby tych wód należy uznać za wystarczające. Zmiana intensywności i struktury ich zagospodarowania może nastąpić w wyniku wykorzystania wód do pozyskiwania pierwiastków i związków chemicznych na skalę przemysłową.

13.1.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

W przypadku solanek, podobnie jak w przypadku pozostałych wód podziemnych zaliczonych do kopalin, brak jest jednoznacznie określonych zasad i kryteriów dotyczących wyznaczania granic ich złóż. W celu udokumentowania tych wód sporządzane są dokumentacje hydrogeologiczne, w których ustalane są zasoby eksploatacyjne i obszary zasobowe dla pojedynczych ujęć lub ich zespołów, nie zaś dla całego obszaru ich występowania, gdyż w warunkach eksploatacji może on ulegać zmianie.

Dla złóż wód podziemnych zaliczonych do kopalin ustalane są również zasoby dyspozycyjne definiowane jako ilość wód podziemnych możliwa do pobrania z obszaru bilansowego w określonych warunkach środowiskowych i hydrogeologicznych, bez wskazywania szczegółowej lokalizacji i warunków techniczno-ekonomicznych ujmowania wód. Obszary bilansowe można byłoby zatem uznać za obszary złóż. Ponieważ jednak sporządzanie dokumentacji zasobowych jest nieobligatoryjne i praktykowane przede wszystkim w przypadku wód podziemnych o zasobach odnawialnych, do celów bilansowych i administracyjnych jako granice złóż wód zaliczonych do kopalin, w tym solanek, przyjmuje się granice obszarów górniczych. Zgodnie z założeniami w ich obrębie złoża powinny być zabezpieczone przed zmianami warunków hydrodynamicznych i jakości.

13.1.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Solanki w gospodarce światowej stanowią istotne źródło m.in. boru, bromu, jodu, litu, magnezu, potasu, a potencjalnie także wielu innych składników. Zatem do określenia obszarów perspektywicznych ich występowania i zagospodarowania za zasadnicze kryterium, poza mineralizacją, uznano zawartość możliwych do pozyskania składników chemicznych. Obszary perspektywiczne zostały wskazane na podstawie dostępnych wyników badań składu solanek pochodzących z otworów, wykonywanych głównie w celu rozpoznania budowy geologicznej lub poszukiwania złóż surowców, oraz na podstawie informacji pochodzących z publikacji Płochniewskiego (1978). Zakres uwzględnionych składników decydujących o przydatności solanek, wśród których znalazły się jod, brom, lit i magnez, wynika z analizy jakościowej i ilościowej dostępnych danych. Uwzględniono również przydatność solanek do produkcji soli, mimo że obecnie jest ona pozyskiwana przy wykorzystaniu tańszych i bardziej efektywnych metod – głównie poprzez eksploatację złóż soli kamiennej lub ewaporację wód morskich.

Minimalne zawartości kwalifikujące składniki wód do grupy istotnych z gospodarczego punktu widzenia ustalono na podstawie informacji dotyczących eksploatowanych złóż solanek w innych krajach, technologii pozyskiwania składników wód, z uwzględnieniem stężeń tych składników uzyskiwanych w kraju. Na tej podstawie przyjęto, że w obrębie obszarów perspektywicznych minimalne stężenia powinny wynosić nie mniej niż 30 mg/dm³ dla jonów jodkowych, 200 mg/dm³ dla jonów bromkowych i potasowych oraz 10 000 mg/dm³ dla jonów magnezowych.

Obszary perspektywiczne występowania solanek, w tym zawierających wybrane składniki w stężeniu wskazującym na możliwość ich gospodarczego wykorzystania, zostały wyznaczone dla obszaru całego kraju (fig. 13.1). W kolejnym kroku waloryzacja tych obszarów w skali regionalnej powinna zostać oparta na ocenie pozostałych czynników decydujących o walorach gospodarczych (opłacalności eksploatacji) solanek, w tym głębokości występowania poziomów wodonośnych, ich miąższości, ciśnieniu złożowym wód, potencjalnej wydajności ujęć.

13.1.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Solanki występują na terenie niemal całego kraju. Ich obecność stwierdzono na obszarze platformy prekambryjskiej (z wyłączeniem wschodniej jej części) i platformy paleozoicznej (z wyłączeniem Gór Świętokrzyskich), w zapadlisku przedkarpackim oraz w Karpatach (z wyłączeniem Karpat wewnętrznych). Jedynie Sudety wraz z blokiem przedsudeckim są praktycznie pozbawione wód tego rodzaju (fig. 13.1).

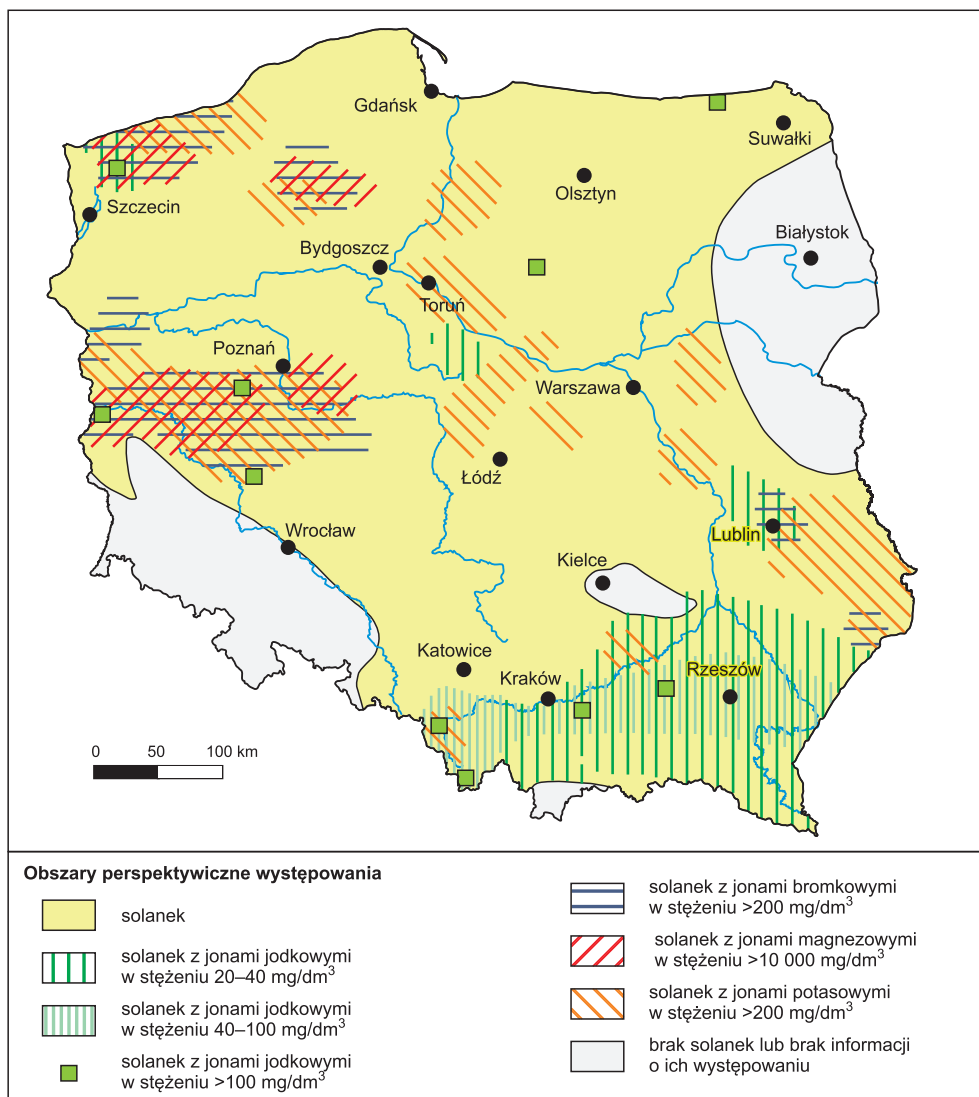


Fig. 13.1. Obszary perspektywiczne występowania wód podziemnych stanowiących potencjalny surowiec chemiczny (na podstawie Płochniewskiego, 1978, zmodyf.)

Poziomy wodonośne solanek o największej zasobności znajdują się na obszarze Niżu Polskiego. Występujące tam wysokozmineralizowane wody w niektórych regionach zawierają składniki wytypowane jako istotne z gospodarczego punktu widzenia w stężeniu odpowiadającym przyjętym kryteriom perspektywiczności.

Solanek platformy prekambryjskiej są związane z utworami paleozoicznymi i mezozoicznymi, których miąższość wynosi od ok. 300 m na obszarach elewacji podłoża do ponad 3000 m w strefach jego obniżen. W utworach mezozoicznych (trias, jura) solanki, nierzadko wzbogacone w jony jodkowe (do kilku mg/dm^3) i bromkowe (do kilkudziesięciu mg/dm^3), spotykane są w głównie w zachodniej części jednostki, wzdłuż strefy uskoku TESZ (*Trans European Structure Zone*), stanowiącej granicę z platformą paleozoiczną, oraz w jej północnej i południowej części. Mineralizacja tych wód może sięgać do 50 g/dm^3 i w zależności

od głębokości występowania mogą one mieć charakter wód termalnych (temperatura wody na wypływie nieprzekraczająca 25°C). Na pozostałym obszarze, z uwagi na redukcję utworów mezozoicznych w kierunku NE, solanki są związane z utworami paleozoiku, a w obrębie najbardziej wyniesionych fragmentów platformy stwierdzono ich brak. Mineralizacja wód w paleozoicznych piętrach wodonośnych wzrasta wraz z głębokością i osiąga maksymalną wielkość, rzędu 250 g/dm³, w utworach cechsztynu. Występowanie wód odpowiadających przyjętym kryteriom perspektywiczności (zawartość składników) stwierdzono na obszarze platformy prekambryjskiej w stosunkowo nielicznych otworach w północno-zachodniej części jednostki oraz wzdłuż strefy TESZ. Podwyższone stężenia jonów bromkowych i potasowych są związane z paleozoicznym piętrzem wodonośnym i solankami typu Cl-Na oraz Cl-Na-Ca.

Laramijskie struktury fałdowe o osi NW–SE oraz monoklina przedsudecka tworzą rozległe zbiorniki wód zmineralizowanych oraz termalnych. Solanki występujące w tych strukturach nierzadko są równocześnie wodami termalnymi. Miąższość pokrywy osadowej zmienia się od ok. 2 do 9 km. Poziomy wodonośne z solankami występują na ogół w utworach mezozoicznych (trias, jura, lokalnie kreda dolna), charakteryzujących się zdecydowanie lepszymi warunkami zbiornikowymi w stosunku do niżej ległych utworów paleozoicznych. Znaczną część jednostki zajmują utwory solonośnego permu, tworzące liczne struktury halokinetyczne (wysady, poduszki, słupy), wpływające na formowanie się solanek, a w głębokich poziomach wodonośnych solanek przesyconych o mineralizacji powyżej 300 g/dm³, i na ich obecność w utworach przypowierzchniowych w sąsiedztwie struktur solnych. Obecności wysokozmineralizowanych wód na niewielkich głębokościach sprzyjają również procesy ascenzji, obserwowane m.in. wzdłuż wybrzeża Bałtyku. Solanki jodowo-bromowe, o składzie zbliżonym do reliktowych, występujące w utworach permu (cechsztyń, czerwony spągowiec), towarzyszą również dość liczny w zachodniej części jednostki złożom węglowodorów, głównie ropy naftowej. W obrębie platformy paleozoicznej wskazano obszary perspektywiczne występowania solanek o podwyższonej zawartości jonów bromu, jodu, potasu i magnezu, związane w głównej mierze z utworami permu południowo-zachodniej części jednostki (monoklina przedsudecka) oraz z utworami mezozoiczno-paleozoicznymi części północno-zachodniej.

Zasobność poziomów wodonośnych solanek w zapadlisku przedkarpackim i Karpatach fliszowych jest zdecydowanie niższa niż w przypadku zbiorników tych wód występujących na Niżu Polskim. O walorach gospodarczych tutejszych wód decyduje ich zasobność w jod oraz w mniejszym stopniu w brom.

Zapadlisko przedkarpackie stanowi największy w skali kraju obszar występowania solanek jodowo-bromowych typu Cl-Na, Cl-Na-Ca, rzadziej Cl-Ca, o znaczeniu przemysłowym. Ich obecność związana jest z morskimi utworami miocenu zawierającymi utwory serii chemicznej, wypełniającymi strukturę. Towarzyszą one również występującym na obszarze jednostki złożom węglowodorów. Poziomy wodonośne solanek występują zarówno w utworach miocenu, jak również w podścielających je skałach kredowych i jurajskich, a w zachodniej części jednostki również w karbońskich i dewońskich. Obszar charakteryzuje się stosunkowo płytkim występowaniem tych wód, które spotykane są na głębokości od 300 do niespełna 1000 m. Ich mineralizacja, w utworach miocenu nieprzekraczająca na ogół 70 g/dm³, wzrasta do 150 g/dm³ w rejonie złóż soli kamiennych i do 250 g/dm³ w obrębie nasunięć utworów fliszowych w południowej części jednostki. Maksymalna zawartość jonów jodkowych wynosi od kilkudziesięciu do ok. 150 mg/dm³ (tzw. baseny jodowe w rejonach Bochnia–Gdów i Skoczów–Zabłocie). Zawartość jonów bromkowych, dość powszechnych w wodach w stężeniu rzędu kilkuset mg/dm³, w zachodniej części zapadliska wzrasta lokalnie do ponad 1000 mg/dm³. Zasobność poziomów wodonośnych solanek jest niewielka. Wydajność ujęć nie przekracza na ogół kilku m³/h. Cały obszar jednostki uznano za perspektywiczny dla występowania solanek o wysokiej zawartości jonów jodu, różnicując jednak przewidywane stężenia składnika na podstawie warunków geologicznych oraz stopnia ich rozpoznania.

W Karpatach zewnętrznych (fliszowych) ze względu na dużą zmienność budowy geologicznej rozpoznanie solanek ma charakter punktowy. Wysokozmineralizowane wody typu Cl-Na nawiercono na różnej głębokości w utworach łupkowo-piaskowcowych (paleogen–neogen–kreda) oraz w utworach dewonu i karbonu w podłożu nasunięcia Karpat w północnej i zachodniej części jednostki i charakteryzowały się one mineralizacją od kilku do 140 g/dm³. Zawartość jonów jodkowych w solankach Karpat zewnętrznych wynosi od kilku do kilkunastu mg/dm³ i przekracza próg 30 mg/dm³ w wodach występujących w utworach paleozoiku w zachodniej części jednostki. Z uwagi na głębokość występowania istnieje możliwość ujmowania termalnych solanek jodowych, jednak parametry eksploatacyjne poziomów wodonośnych są na ogół niezbyt korzystne. Obszar jednostki uznano za perspektywiczny dla występowania solanek o wysokiej zawartości jodu, różnicując przewidywane stężenia tego składnika na podstawie uzyskanych wyników badań składu chemicznego wód oraz geologicznych warunków ich występowania.

13.1.6. Stan rozpoznania geologicznego

Warunki występowania i parametry hydrochemiczne solanek rozpoznano na podstawie wyników badań kilku tysięcy głębokich otworów badawczych i poszukiwawczych, dość nierównomiernie rozmieszczonych przestrzennie, wykonanych głównie w okresie od lat 50. do 70. XX w. W wyniku złożowych i hydrogeologicznych badań poziomów zbiornikowych stwierdzono w nich występowanie wód wysokozmineralizowanych, często termalnych. Uzyskane wyniki badań hydrodynamicznych i hydrochemicznych, ze względu na niedoskonałość metod opróbowania wynikającą ze stosowanych technologii pomiarów oraz z celu wykonywania wierceń, są oceniane jako niemiarodajne (Paczyński i Płochniewski, 1996). Zakres badań składu chemicznego wód w większości tych otworów był zwykle ograniczony do jonów głównych, jodkowych, bromkowych, sumy składników rozpuszczonych, co w znacznym stopniu ogranicza kompleksową ocenę przydatności solanek jako surowca dla przemysłu chemicznego lub farmaceutycznego. W wielu regionach są to jedyne dostępne informacje na temat solanek.

Bardziej szczegółowe i precyzyjne wyniki badań hydrogeologicznych wód podziemnych o mineralizacji powyżej 35 g/dm³ pochodzą ze stosunkowo nielicznych otworów eksploatacyjnych, w których udokumentowano zasoby eksploatacyjne solanek, wód leczniczych i termalnych (łącznie ok. 70 ujęć, zlokalizowanych w głównej mierze w niżowej części kraju).

Zgromadzone informacje na temat projektowanych inwestycji związanych z ujmowaniem wód podziemnych zaliczonych do kopalin wskazują na brak zainteresowania przedsiębiorców poszukiwaniem i udokumentowaniem solanek (Felter i in., 2018). Dalsze, szczegółowe rozpoznanie parametrów hydrogeologicznych poziomów wodonośnych wysokozmineralizowanych wód podziemnych powinno być wynikiem robót geologicznych związanych z ujmowaniem innych wód zaliczonych do kopalin, w szczególności wód termalnych.

13.1.7. Ocena zasobów i ich zmian

Stan udokumentowania zasobów solanek nie uległ zmianie od poprzedniego *Bilansu* (ze stanem na 31.12.2009 r.). Jedynym złożem wód uznanych za solanki jest złożo Łąpczyca koło Bochni, udostępnione dwoma otworami, których zasoby również nie uległy zmianie. Oszacowane zasoby statyczne solanek jodowo-bromowych występujących w utworach miocenu (neogen) wg stanu na 31.12.2009 r. wynosiły 32 176 tys. m³ (Skrzypczyk i Sokołowski, 2010). W latach 2010–2018 ubytek zasobów statycznych, wynikający z sumarycznej wielkości wydobycia wód, wyniósł niemal 30 tys. m³, co oznacza, że wg stanu na 31.12.2018 r. wynosiły one 32 143 tys. m³ (Sokołowski i Skrzypczyk, 2019). Roczna wielkość wydobycia wód w latach 2010–2018 wahała się od 3,0 do 4,3 tys. m³.

Przy ocenie zasobów solanek należy również wspomnieć o zasobach dyspozycyjnych wysokozmineralizowanych wód leczniczych i potencjalnie leczniczych, w tym o mineralizacji przekraczającej 35 g/dm³, które zostały udokumentowane w rejonie Dębowca–Cieszyna–Ustronia–Kęty, na obszarze o powierzchni 759 km², w węglanowych utworach karbonu dolnego oraz dewonu środkowego i górnego w wysokości 600 m³/d (zasoby odnawialne – 2076 m³/d, zasoby statyczne – 11 169 860 tys. m³) oraz w utworach miocenu (seria dębowiecka) oraz karbońskich seriach piaskowcowych (krakowska seria piaskowcowa i górnośląska seria piaskowcowa) – łącznie 9694 m³/d (zasoby statyczne – 11 169 860 tys. m³; Porwisz i in., 2002).

13.1.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

W celu uzyskania możliwie kompletnej wiedzy na temat potencjału surowcowego solanek występujących na obszarze kraju niezbędne jest przeprowadzenie szczegółowej analizy danych hydrochemicznych uzyskanych z głębokich otworów odwierconych po 1990 r. Otwory te wykonywane były głównie w celu poszukiwania, rozpoznawania i eksploatacji węglowodorów. Ich dokumentacje geologiczne (zawierające nierzadko wyniki badań wód występujących w poziomach zbiornikowych poszukiwanych surowców) są trudno dostępne lub wręcz niedostępne, co wynika z aktualnie obowiązujących przepisów prawa. Analiza powinna objąć szereg składników solanek – poza jodem, bromem, magnezem i potasem, również lit i bor, a ponadto wolfram, stront, cez i rubid (jeśli były oznaczane).

Tego rodzaju badania mogłyby stanowić pierwszy etap prac związanych z wyznaczeniem obszarów perspektywicznych oraz oceną zasobów solanek i możliwych do pozyskiwania z nich składników w skali szczegółowej, przy uwzględnieniu wszystkich elementów decydujących o walorach gospodarczych złóż, w tym głębokości występowania poziomów wodonośnych i ich parametrów eksploatacyjnych.

13.2. WODY LECZNICZE (*THERAPEUTIC WATER, MEDICINAL WATER*)

Wodami leczniczymi określa się wody podziemne niezanieczyszczone pod względem chemicznym i mikrobiologicznym, o naturalnej zmienności cech fizycznych i chemicznych, spełniające co najmniej jeden z następujących warunków:

- zawartość rozpuszczonych składników mineralnych stałych – nie mniej niż 1000 mg/dm³,
- zawartość jonu żelazawego – nie mniej niż 10 mg/dm³ (wody żelaziste),
- zawartość jonu fluorkowego – nie mniej niż 2 mg/dm³ (wody fluorkowe),
- zawartość jonu jodkowego – nie mniej niż 1 mg/dm³ (wody jodkowe),
- zawartość siarki dwuwartościowej – nie mniej niż 1 mg/dm³ (wody siarczkowe),
- zawartość kwasu metakrzemowego – nie mniej niż 70 mg/dm³ (wody krzemowe),
- zawartość radonu – nie mniej niż 74 Bq (wody radonowe),
- zawartość dwutlenku węgla niezwiązanego – nie mniej niż 250 mg/dm³ (250–999 mg/dm³ wody kwasowęgłowe, ≥ 1000 mg/dm³ szczawy),

z wyjątkiem wód pochodzących z odwadniania wyrobisk górniczych (Ustawa..., 2011 r.).

13.2.1 Rodzaje złóż i ich geneza

Wody lecznicze są uznane za kopaliny i podlegają przepisom prawa geologicznego i górniczego (Ustawa..., 2011). Powoduje to konieczność stosowania dla ich występowania terminu złoża, określonego w ustawie jako *naturalne nagromadzenie mineralów, skał oraz innych substancji, których wydobywanie może przynieść korzyść gospodarce*. Takie podejście w odniesieniu do wód podziemnych budziło i budzi liczne kontrowersje. Co prawda używa się go poprzez analogię do złóż pozostałych kopalin, jednak prowadzi to do wielu nieścisłości formalnych, związanych m.in. z wyznaczeniem granic złoża wód, jego miąższości i innych parametrów złożowych, które ulegają zmianom w czasie (Sokołowski i in., 2015). W celu dostosowania przepisów prawa do specyfiki wód leczniczych, kopaliny będącej w ruchu i odnawiającej się odnawialnością zasobów oraz naturalną zmiennością właściwości fizyczno-chemicznych, wprowadzono do użytku pojęcie struktury hydrogeologicznej. Oznacza ono jedną lub kilka sąsiadujących struktur geologicznych, charakteryzujących się jednością warunków hydrogeologicznych w zakresie rozprzestrzenienia, ruchu i kształtowania wód podziemnych (Dowgiałło i in., 2002). Zaproponowane podejście najlepiej oddaje istotę problemu, stąd w niniejszej publikacji struktury hydrogeologiczne utożsamiane są ze złożami wód leczniczych o zmiennej genezie i typologii (tab. 13.1).

Tab. 13.1. Podział struktur hydrogeologicznych (złóż) wód leczniczych (Paczyński, 2002)

Rodzaj zasobów	Nazwa struktury	Możliwość wydzielenia stref			Sposób udostępnienia	Geneza wód
		zasilania	przepływu	drenażu		
Odnawialne	otwarta	+	+	+	źródła, otwory	infiltracyjne
	półotwarta	+	+	–	otwory	
	półzakryta	–	+	+	źródła, otwory	metamorficzne
Nieodnawialne	zakryta	–	+	–	otwory	reliktowe

13.2.2. Zasoby krajowe i ich wystarczalność

Liczba złóż wód leczniczych w Polsce, według stanu na 31.12.2018 r., wynosi 106, a zasoby eksploatacyjne ujęć tych wód udokumentowano w ilości 2123,73 m³/h (Sokołowski i Skrzypczyk, 2019). Pobór wód

leczniczych w 2018 r. wynosił 2 655 063,74 m³. Dla niektórych złóż wód leczniczych oszacowano także zasoby dyspozycyjne, których suma wynosi 940 092,24 m³/d, czyli 39 170,51 m³/h. Z analizy przytoczonych powyżej wartości (Sokołowski i Skrzypczyk, 2019) wynika, że łączny stopień wykorzystania zasobów eksploatacyjnych wód leczniczych ze wszystkich złóż wynosi ok. 14,3%. Wydaje się zatem, że stan zasobów jest wystarczający względem aktualnego zapotrzebowania, jednak w przypadku pojedynczych złóż lub poszczególnych rodzajów wód stopień wykorzystania zasobów jest już znacznie zróżnicowany. Najintensywniej są eksploatowane wody nasycone dwutlenkiem węgla (szczawy i wody kwasowęglowe). W Beskidzie Sądeckim, w tzw. polskim zagłębiu rozlewniczym, praktycznie corocznie udostępnia się złoża nowymi otworami. Intensywne prace wiertnicze zmierzają do powiększenia ilości zasobów wód o odpowiednim składzie chemicznym w celu zwiększenia mocy produkcyjnych rozlewni. W przypadku pozostałych rodzajów wód udostępnianie złóż nowymi otworami jest związane na ogół ze złym stanem technicznym ujęć już istniejących, wymagających rekonstrukcji lub przeznaczonych do likwidacji. Odkrycia nowych złóż są nieliczne (w 2018 r. odkryto 1 złożo, w 2017 r. – 0 złóż, w 2016 r. – 0 złóż, w 2015 r. 2 złoża, w 2014 r. – 3 złoża, w 2013 r. – 1 złożo, w 2012 r. – 3 złoża, w 2011 r. – 0 złóż, w 2010 r. – 2 złoża, w 2009 r. – 0 złóż), a część z nich po udokumentowaniu nie zostaje zagospodarowana.

13.2.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Specyfika wód (ich mobilność, odnawialność zasobów, naturalna zmienność parametrów jakościowych) i brak formalnie określonych zasad wyznaczania granic złóż sprawiają, że podczas dokumentowania zasobów wód leczniczych nie wyznacza się takich granic. Granice te nie są stałe i zmieniają się w czasie, m.in. w zależności od wielkości wydobywania. Dodatkowe komplikacje wynikają z warunków krążenia wód, które często odbywa się tylko strefami spękań lub nieciągłościami tektonicznymi. Z uwagi na obowiązek wykazywania złóż kopalni w dokumentach planistycznych granice złóż wód leczniczych utożsamia się z granicami obszarów górniczych. Wynika to z założenia, że na obszarach tych złożo powinno być zabezpieczone przed zmianami jakości kopaliny i warunków hydrodynamicznych. Nie jest to jednak dobre rozwiązanie, ponieważ nie dla wszystkich złóż ustanowiono obszary górnicze lub wyznaczono je przy zastosowaniu różnych metod. Brakuje zatem kryteriów, na których podstawie można byłoby formalnie wyznaczyć granice złóż wód leczniczych. Dla wód leczniczych sporządza się dokumentację hydrogeologiczną, określającą m.in. zasoby eksploatacyjne ujęć, zasięg oddziaływania ujęć, obszary zasobowe i obszary spływu wód do ujęć. Dokumentacja ta są wykonywane dla pojedynczych ujęć (rzadziej grupy ujęć), a nie dla całego złoża, stąd nie określają one granic złóż i ich całkowitych zasobów.

13.2.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

W dokumentowaniu wód leczniczych wyróżnia się dwa podstawowe rodzaje zasobów: zasoby dyspozycyjne i zasoby eksploatacyjne. Zasoby dyspozycyjne to ilość wód podziemnych możliwa do pobrania z obszaru bilansowego w określonych warunkach środowiskowych i hydrogeologicznych, bez wskazywania szczegółowej lokalizacji i warunków techniczno-ekonomicznych ujmowania wód. Z kolei przez zasoby eksploatacyjne rozumie się ilość wód podziemnych możliwą do pobrania z ujęcia w danych warunkach hydrogeologicznych i techniczno-ekonomicznych, z uwzględnieniem zapotrzebowania na wodę i przy zachowaniu wymogów ochrony środowiska. Przez zasoby perspektywiczne należy rozumieć wielkość zasobów dyspozycyjnych, pomniejszoną o sumę zatwierdzonych/ przyjętych przez administrację geologiczną zasobów eksploatacyjnych na danym obszarze bilansowym. Podejście takie było również przyjęte w poprzedniej edycji *Bilansu* (Skrzypczyk i in., 2011). Dodatkowo na załączniku 7 przedstawiono obszary możliwego występowania złóż jeszcze nieodkrytych. Oszacowanie potencjału zasobowego tych obszarów wymaga jednak pogłębionej analizy hydrogeologicznej i na etapie sporządzania bilansu nie jest możliwe.

13.2.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Wody podziemne o mineralizacji powyżej 1,0 g/dm³ i/lub zawartości składników swoistych w stężeniu przyjętym dla wód leczniczych występują na większości obszaru Polski, z wyłączeniem wschodniej części platformy prekambryjskiej, paleozoicznego cokołu Gór Świętokrzyskich, pienińskiego pasa skałkowego oraz Tatr. Większość złóż wód leczniczych występuje w południowej części Polski, obejmującej Sudety,

Karpaty fliszowe oraz zapadlisko przedkarpackie. Znajduje się tam ponad 70% ogólnej liczby uzdrowisk i miejscowości z wodami leczniczymi w Polsce. Ponadto złoża wód leczniczych w większym nagromadzeniu występują na Pomorzu Zachodnim oraz w kilkunastu miejscach na pozostałej części Niżu Polskiego. Wody lecznicze występują na obszarze Polski stosunkowo powszechnie, na różnej głębokości, przeważnie głębiej niż poziomy wód zwykłych.

Na obszarze platformy wschodnioeuropejskiej wody lecznicze mogą występować w paleozoicznej i mezozoicznej pokrywie osadowej, zarówno w utworach porowych, jak i w utworach szczelinowych. Są to głównie wody wysokozmineralizowane typu Cl-Na, często o podwyższonej zawartości jodu (zał. 7). W zależności od głębokości występowania mogą mieć charakter wód termalnych. Stosunkowo płytkie występowanie podłoża krystalicznego oraz intensywne procesy infiltracji doprowadziły do zmniejszenia mineralizacji wód i obniżenia ich temperatury. W podobnych warunkach wody lecznicze występują na platformie paleozoicznej, z tym że utwory pokrywę platformowej odznaczają się tu większą miąższością i na znacznych obszarach tworzą struktury basenowe. Cechą odróżniającą platformę paleozoiczną od prekambryjskiej jest większa mineralizacja wód i wyższa ich temperatura oraz większe zróżnicowanie typów chemicznych, m.in. występowanie wód siarczkowych, związanych z różnowiekowymi gipsami i anhydrytami.

W Sudetach wody lecznicze występują głównie w metamorficznym kompleksie skał prekambriu i starszego paleozoiku, z licznymi przejawami późniejszego wulkanizmu. Wody podziemne krążą tu głównie systemem szczelin i nieciągłości tektonicznych, z czym wiąże się znaczna głębokość krążenia wód infiltracyjnych. Charakterystycznym dla tego obszaru typem wód leczniczych są wody wodorowęglanowe o różnym składzie kationowym, nasycone dwutlenkiem węgla, o stosunkowo niskiej mineralizacji, a także niskozmineralizowane wody radonowe (zał. 7).

W Karpatach i w zapadlisku przedkarpackim obserwuje się duże zróżnicowanie warunków hydrogeologicznych i typów występujących tu wód leczniczych o różnej, często skomplikowanej genezie. We fliszowych utworach płaszczwinowych udokumentowano przede wszystkim szczawy i wody kwasowęglowe o zróżnicowanej mineralizacji (zał. 7). Występują one na ogół do głębokości 200 m w strefach zaburzeń tektonicznych, gdzie są nasycone migrującym z większych głębokości CO₂. Na większych głębokościach, w paleozoicznych skałach podłoża Karpat, pojawiają się silnie zmineralizowane wody typu Cl-Na. Z kolei zapadlisko przedkarpackie charakteryzuje się występowaniem wód siarczkowych i bardzo silnie zmineralizowanych wód chlorkowych, związanych genetycznie z utworami serii chemicznych miocenu (zał. 7).

13.2.6. Stan rozpoznania geologicznego

Złoża wód leczniczych są rozpoznane w zróżnicowanym stopniu, w zależności od intensywności ich eksploatacji. Na ogół rozpoznanie to ma charakter punktowy (często jednym otworem wiertniczym lub źródłem) i dotyczy strefy drenażu wód, z pominięciem obszaru zasilania i przepływu. Złoża udostępnione kilkunastoma otworami należą do rzadkości. Ujęcia czynne są objęte badaniami stacjonarnymi prowadzonymi przez zakłady górnicze, w których przeprowadza się cykliczne pomiary parametrów eksploatacyjnych i wybranych właściwości fizyczno-chemicznych oraz składu chemicznego wody. Poza złożami wstępne rozpoznanie warunków występowania wód leczniczych było możliwe w głównej mierze dzięki informacjom uzyskanym podczas opróbowania głębokich otworów wiertniczych. Badania te były jednak ukierunkowane na poszukiwanie złóż węglowodorów, rud metali i rozpoznanie głębokich struktur, dlatego przeprowadzono w nich tylko podstawowe badania hydrogeologiczne. Wyniki tych badań, mimo że często nie w pełni miarodajne i niereprezentatywne, pozwalają na wskazanie obszarów perspektywicznych dla ujmowania wód leczniczych. Wyniki te zostały przedstawione w skali regionalnej w licznych opracowaniach archiwalnych i kartograficznych oraz publikacjach. Poszukiwanie, dokumentowanie i późniejsze zagospodarowanie złóż wód leczniczych jest obciążone ryzykiem ekonomicznym i geologicznym, a ryzyko nieosiągnięcia oczekiwanego efektu w postaci ujęcia wód o określonych parametrach eksploatacyjnych sprawia, że odkrycia nowych złóż są bardzo rzadkie. Roboty geologiczne związane z poszukiwaniem wód leczniczych są w większości prowadzone na złożach już istniejących. Według stanu na dzień 31.12.2018 r. realizację nowych przedsięwzięć planowano w sześciu miejscowościach (zatwierdzone projekty robót geologicznych), przy czym w trzech z nich na złożach już wcześniej rozpoznanych (Felter i in., 2018).

13.2.7. Ocena zasobów i ich zmian

Według poprzedniego *Bilansu* zasoby dyspozycyjne wód leczniczych wynosiły ogółem 18 520,8 m³/d (771,7 m³/h) i zostały ustalone dla 15 źrół. Obecnie suma zatwierdzonych zasobów dyspozycyjnych wynosi 940 092,24 m³/d (39 170,51 m³/h) z 37 źrół (tab. 13.2). W tym czasie minister środowiska zatwierdził pięć dokumentacji ustalających zasoby dyspozycyjne.

Możliwe do wykorzystania zasoby perspektywiczne, liczone jako różnica pomiędzy wartością zasobów dyspozycyjnych a eksploatacyjnych, przy obecnym stanie udokumentowania wynoszą 38 455,37 m³/h i w porównaniu z 2009 r. wzrosły ponad 70-krotnie.

Tab. 13.2. Zestawienie zasobów dyspozycyjnych, eksploatacyjnych i perspektywicznych wód leczniczych w 2009 i 2018 r.

Nazwa złoża lub obszaru bilansowego		Zasoby dyspozycyjne [m³/h]		Zasoby eksploatacyjne [m³/h]		Zasoby perspektywiczne [m³/h]	
		2009 r.	2018 r.	2009 r.	2018 r.	2009 r.	2018 r.
Busko II		14,58	14,58	16,75	16,75	0,00*	0,00*
Cieplice		–	13 680,00	56,54	56,54	–	13 623,46
Czerniawa-Zdrój		–	115,20	7,88	7,88	–	107,32
Dębowiec III		74,13	74,13	5,67	5,67	68,46	68,46
Długopole-Zdrój		–	501,50	1,95	1,95	–	499,55
Duszniki-Zdrój		–	1440,00	107,48	107,48	–	1332,52
Goczałkowice-Zdrój I		329,80	329,80	2,34	2,34	327,46	327,46
Gorzanów		–	13 296,00	30,06	42,90	–	13 253,10
Horyniec		44,80	44,80	26,40	12,00	18,40	32,80
Iwonicz		–	66,25	41,09	41,09	–	25,16
Kudowa		–	720,00	29,10	29,10	–	690,90
Krościenko nad Dunajcem		–	6,03	0,13	0,13	–	3,44
Szczawnica I				2,46	2,46		
Solec-Zdrój		7,00	7,00	0,96	0,96	3,04	3,04
Wielń				3,00	3,00		
Krynica-Zdrój I		57,40	105,04	33,26	32,38	24,14	0,00*
Muszynianka III		94,30		102,20	84,18	0,00*	
Łądek-Zdrój		–	915,00	59,82	59,82	–	855,18
Leluchów L-4		0,84	0,84	0,40	0,40	0,44	0,44
Mateczny I		–	9,16	8,50	8,50	–	0,66
Muszyna Zdrój		–	19,50	6,75	9,85	–	9,65
Piwniczna Zdrój II	Piwniczna-Łomnica	33,30	70,62	24,95	41,56	8,35	29,06
Łomnica-Zdrój		32,70		20,47		12,23	
Polanica-Zdrój		–	6713,00	46,42	51,00	–	6662,00
Rabka-Zdrój		–	2,28	6,44	6,44	–	0,00*
Rymanów		–	58,75	13,48	19,60	–	39,15
Stary Wielisław		–	664,85	65,57	20,80	–	644,05
Swoszowice		–	13,68	6,16	6,16	–	7,52

Tab. 13.2. cd.

Nazwa złoża lub obszaru bilansowego	Zasoby dyspozycyjne [m ³ /h]		Zasoby eksploatacyjne [m ³ /h]		Zasoby perspektywiczne [m ³ /h]	
	2009 r.	2018 r.	2009 r.	2018 r.	2009 r.	2018 r.
Szczawa	–	1,00	2,53	2,53	–	0,00*
Szczawiczne II	6,03	7,81	3,69	13,70	2,34	0,00*
Szczawina	–	97,00	3,40	3,40	–	93,60
Szczawnik-Cechini	–	11,87	8,52	31,02	–	0,00*
Świeradów-Zdrój	–	108,00	19,97	19,97	–	88,03
Tylicz I	48,42	48,42	16,40	12,40	32,02	36,02
Ustroń	25,00	25,00	2,20	2,20	22,80	22,80
Żegiestów-Zdrój	3,40	3,40	4,90	1,30	0,00*	0,00*
Żegiestów-Zdrój Główny			–	0,60	–	
Żegiestów INEX			–	8,10	–	
Żegiestów-Cechini			–	13,00	–	
Razem	771,70	39 170,51	787,84	779,16	519,68	38 455,37

* zasoby wymagają weryfikacji

13.2.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Na obszarze kraju stosunkowo niewiele złóż wód leczniczych ma ustalone zasoby dyspozycyjne, zatem konieczne jest prowadzenie dalszych prac, zmierzających do poprawy stanu rozpoznania hydrogeologicznego. Ponadto część oszacowanych zasobów dyspozycyjnych wymaga weryfikacji. Oszacowanie zasobów dyspozycyjnych jest niezwykle istotne zwłaszcza w rejonach, w których wydobywanie wód leczniczych z sąsiadujących ze sobą złóż prowadzi kilka podmiotów gospodarczych. W tym kontekście należy docenić prowadzone obecnie przez PIG-PIB prace, zmierzające do określenia zasobów dyspozycyjnych na obszarze intensywnej eksploatacji leczniczych wód siarczkowych w rejonie Buska-Zdroju. Brak państwowej sieci monitoringu wód podziemnych zaliczanych do kopalin i efektywnych narzędzi ochrony zasobów wód leczniczych, przy częstej eksploatacji złóż wód leczniczych w warunkach konkurencji rynkowej, a także rosnącej antropopresji, sprawiają, że dokumentowanie zasobów dyspozycyjnych jest wielką szansą na ochronę ich zasobów oraz prowadzenie racjonalnej gospodarki wód w warunkach ochrony środowiska.

Mariusz Socha, Lesław Skrzypczyk

13.3. WODY TERMALNE (*THERMAL WATER, GEOTHERMAL WATER*)

Wody termalne, zwane również geotermalnymi, są to wody podziemne, które na wypływie z ujęcia mają temperaturę co najmniej 20°C (wyjątek stanowią wody odprowadzane z odwadniania czynnych zakładów górniczych i odwadniania nieczynnych wyrobisk). Jest to granica umowna stosowana od lat w balneologii, odnosząca się do temperatury ludzkiego ciała (Dowgiałło i in., 1969, 2002; Pazdro i Kozerski, 1990; Kapuściński i in., 1997). Została ona przyjęta również w ustawie prawo geologiczne i górnicze (Ustawa..., 2011), gdzie wody termalne uznane zostały za kopalinę.

13.3.1. Rodzaje złóż i ich geneza

Wody termalne są uznane za kopaliny i podlegają przepisom prawa geologicznego i górniczego (Ustawa..., 2011). Powoduje to konieczność stosowania dla nich terminu złoża, określonego w ustawie jako *naturalne nagromadzenie mineralów, skał oraz innych substancji, których wydobywanie może przynieść korzyść gospodarczą, uzasadnioną ekonomicznie, w warunkach ochrony środowiska naturalnego*. Takie podejście w odniesieniu do wód podziemnych budziło i budzi liczne kontrowersje w środowisku hydrogeologów. Co prawda używa się go poprzez analogię do złóż pozostałych kopalin, jednak prowadzi to do wielu nieścisłości formalnych i metodycznych związanych m.in. z wyznaczeniem ich granic, miąższości, zasobów i innych parametrów złożowych, które ulegają zmianom w czasie (Sokołowski i in., 2015).

Czynnikiem decydującym o występowaniu wód termalnych jest wielkość strumienia ciepłego Ziemi. Parametrem, który charakteryzuje pole temperaturowe Ziemi, jest gradient geotermiczny oznaczający przyrost temperatury na jednostkę głębokości (Kapuściński i in., 1997). Ogólnie o wielkości gradientu decydują czynniki takie jak budowa geologiczna, tektonika i występowanie mediów złożowych (ropa, gaz, solanka), w polskich warunkach istotne znaczenie mają również struktury halokinetyczne (Górecki, 1990). Aktualny stan rozpoznania geofizycznego i hydrogeologicznego pozwala stwierdzić, że na obszarze Polski wody termalne występują w zbiornikach na głębokości do 2000–3000 m, a ich temperatura nie przekracza 100°C (Szewczyk, 2010).

Z archiwalnych badań wynika (Majorowicz, 1971; Chowaniec, 2013; Majorowicz i in., 2018), że w Polsce temperatura w głąb Ziemi wzrasta o 1°C średnio co 30–70 m. Średnia wartość stopnia geotermicznego jest zmienna, w różnych regionach kraju wartość wynosi od 10 m do 110 m.

Różnicowanie wielkości strumienia ciepłego Ziemi jest podstawą do wydzielenia regionalnych prowincji geotermalnych kraju. Prowincje geotermalne w zależności od budowy strukturalnej i własności hydrogeologicznych dzieli się na jednostki niższego rzędu takie jak okręgi, baseny, subbaseny (Ney i Sokołowski, 1987; Kapuściński i in., 1997).

Mimo że na podstawie strumienia ciepłego Ziemi wyznaczane są jednostki geotermalne, to występowanie wysokich wartości gradientu geotermicznego nie jest wystarczające dla istnienia istotnych gospodarczo zasobów geotermalnych. Możliwość efektywnego wykorzystania złoża geotermalnego determinowana jest przede wszystkim przez odpowiednie warunki hydrogeologiczne. Energia cieplna w skorupie ziemskiej jest mocno rozproszona. Jej skumulowanie i wyprowadzenie na powierzchnię umożliwiają wody występujące w szczelinach, uskockach i porach. Jeśli w ośrodku skalnym brak jest wód lub parametry hydrauliczne są niekorzystne, wykorzystanie potencjału geotermalnego jest znacznie utrudnione.

Pod tym względem systemy geotermalne dzieli się na:

- naturalne (energia cieplna pozyskiwana jest z wody lub pary wodnej zawartych w ośrodku skalnym),
- sztuczne (energia z suchych gorących skał jest pozyskiwana z wykorzystaniem wody wprowadzonej, a następnie, po jej ogrzaniu, wydobywanej z ośrodka skalnego).

Naturalne systemy geotermalne obejmują dwa główne typy struktur geologicznych: zbiorniki porowe i zbiorniki szczelinowe.

Zbiorniki porowe są zbiornikami sedymentacyjnymi, występują na znacznej głębokości i rozciągają się w skali regionalnej. Wody w tych zbiornikach są z reguły dość mocno zmineralizowane, a ich temperatura zależy od głębokości występowania. Tego typu zbiorniki reprezentowane są przez utwory mezozoiczne na Nizinie Polskiej.

W zbiornikach szczelinowych woda infiltruje z powierzchni terenu systemem spękań i uskoków na duże głębokości, gdzie następnie ulega podgrzaniu. Przykładem takiego zbiornika jest niecka podhalańska. O przydatności do gospodarczego wykorzystania naturalnego systemu geotermalnego decydują temperatura i jego wydajność, czyli ilość wody możliwa do uzyskania za pośrednictwem ujęć wód podziemnych. Temperatura zależy przede wszystkim od strumienia ciepłego Ziemi. Wydajności ujęć wód termalnych zależą od ciśnienia płynu w formacji skalnej, odnawialności zasobów oraz drożności porów i szczelin (Kapuściński i in., 1997).

Sztuczne systemy geotermalne charakteryzują się brakiem naturalnego medium występującego bezpośrednio w skałach. Ich wykorzystanie gospodarcze odbywa się w obiegu zamkniętym poprzez wtłaczanie medium (np. mieszanki wody i innych płynów) do górotworu z zastosowaniem systemu stworzonego poprzez zabieg sztucznego szczelinowania masywu skalnego, przeprowadzonego w otworze wiertniczym, co pozwala uzyskać połączenie hydrauliczne pomiędzy otworem wydobywczym i chłonnym (Kapuściński i in., 1997).

13.3.2. Zasoby krajowe i ich wystarczalność

Wody podziemne termalne, a także zawarta w nich energia, są w Polsce od ponad 25 lat przedmiotem szczególnego zainteresowania związanego z możliwością ich wykorzystania do celów gospodarczych (grzewczych, balneologii, rekreacji itd.). W zależności od warunków geologicznych, hydrogeologicznych i termicznych wyróżnia się:

- **Geotermię płytką**, zwaną też niskopotencjałową, wykorzystującą wody gruntowe z głębokości do kilkudziesięciu metrów, o temperaturze do kilkunastu do ok. 20°C. Odbiór energii odbywa się z wykorzystaniem pomp ciepła (wymienników ciepła). System ten najczęściej ma zastosowanie w ogrzewaniu pojedynczych budynków. Czynnikiem obiegowym – nośnikiem ciepła – jest woda z dodatkiem środka przeciwzamarzającego (25–30%) lub solanka (Sadurski i in., 2010).
- **Geotermię klasyczną**, zwaną wysokopotencjałową, związaną z naturalnymi systemami geotermalnymi. Woda termalna wykorzystywana jest bezpośrednio – doprowadzana systemem rur) bądź pośrednio – oddaje ciepło chłodnej wodzie i pozostaje w obiegu zamkniętym. Otwory eksploatacyjne w tym przypadku dochodzą do znacznej głębokości (powyżej 2500 m), a temperatura medium grzewczego może osiągnąć na tyle wysoką wartość, że ciepło odzyskuje się w tradycyjnych wymiennikach bez wspomagania pompą ciepła. Taka instalacja może ogrzewać większą liczbę budynków, osiedli mieszkaniowych, a nawet miast. Przy bardzo wysokich temperaturach powyżej (100°C; wody gorące, para wodna) ma także zastosowanie do produkcji energii elektrycznej (Sadurski i in., 2010).
- **Geotermię wzbudzaną** (od angielskiego terminu EGS – *Enhanced Geothermal Systems*) – jest ona również wysokopotencjałowa, ponieważ zakres temperatur jest zbliżony do systemów klasycznych. Odbiór ciepła odbywa się z wykorzystaniem zatłaczanych pod dużym ciśnieniem płynów (woda, solanka lub inne media, jak np. superpłyny), które cyrkulują przez gorącą strukturę skalną (np. systemy HDR – *Hot Dry Rocks*; Sadurski i in., 2010).

Wody termalne występujące w naturalnych systemach geotermalnych na obszarze Polski udokumentowano w 30 złożach (zał. 7). W kolejnych 28 z nich stwierdzono występowanie wód termalnych o właściwościach leczniczych. Zasoby eksploatacyjne wód termalnych są podawane w corocznym *Bilansie zasobów*. Według poprzedniego *Bilansu* (2011) zasoby eksploatacyjne wód termalnych na koniec 2009 r. wynosiły ogółem 3141,99 m³/h i zostały ustalone dla 43 złóż. Obecnie suma zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych wód termalnych ustalona jest dla 58 złóż i wynosi 4652,1 m³/h. Przez 9 lat udokumentowano 15 nowych złóż wód termalnych, dzięki czemu zasoby eksploatacyjne wzrosły o 1510,1 m³/h. Podobnie jest w przypadku poboru wód termalnych, który dynamicznie rośnie. W 2009 r. wyniósł on w skali roku 5 947 329 m³ (21,6% zasobów eksploatacyjnych), w 2018 r. zaś już 11 307 548,35 m³ (27,74% zasobów eksploatacyjnych; Sokołowski i Skrzypczyk, 2019).

13.3.3. Kryteria stosowane do wyznaczania złóż

Specyfika wód podziemnych termalnych (pozostawanie w ruchu, odnawialność zasobów, naturalna zmienność parametrów fizykochemicznych) i brak formalnie określonych zasad wyznaczania granic ich złóż sprawiają, że podczas dokumentowania zasobów nie wyznacza się takich granic. Dla wód termalnych sporządza się dokumentację hydrogeologiczną, określającą m.in. zasoby eksploatacyjne ujęć, zasięg oddziaływania ujęć, obszary zasobowe i obszary spływu wód do ujęć. Dokumentacje te są wykonywane dla pojedynczych

ujęć (rzadziej grupy ujęć), a nie dla całego złoża, dlatego nie określa się w nich granic złóż i ich całkowitych zasobów. Jednak z uwagi na obowiązek wykazywania złóż kopalin w dokumentach planistycznych granice złóż wód termalnych utożsamia się z granicami obszarów górniczych. Wynika to z założenia, że na obszarach tych złoża powinny być zabezpieczone przed zmianami jakości kopaliny i warunków hydrodynamicznych.

13.3.4. Przyjęte kryteria wyznaczania zasobów perspektywicznych

Obszary perspektywiczne dla zagospodarowania wód termalnych to obszary charakteryzujące się występowaniem potencjalnie najlepszych warunków geologicznych i hydrogeologicznych do lokalizowania inwestycji, których głównym celem jest pozyskanie energii cieplnej z tych wód. Do ich wyznaczenia przyjęto kryteria wydajności (co najmniej 60 m³/h) i temperatury (nie mniej niż 40°C w stropie poziomu wodonośnego), przyjmując wartości zbliżone do charakteryzujących wody termalne ujmowane w Mszczonowie w celach ciepłowniczych i rekreacyjnych. Ciepłownia geotermalna w Mszczonowie wykorzystuje do produkcji energii cieplnej wody złożowe o najniższej w kraju temperaturze i przywołuje się ją jako dobry przykład w branży geotermicznej oraz jako wyznacznik kryteriów dla celów porównawczych i szacunkowych.

Dodatkowo przy wyznaczaniu obszarów perspektywicznych wzięto pod uwagę również niezwykle istotny czynnik, jakim jest mineralizacja wód – jej maksymalna wartość nie powinna przekraczać 80 g/dm³. Powyższych kryteriów nie zastosowano w przypadku niecki podhalańskiej. Ze względu na jej szczególny charakter i unikalne walory wskazano niemal cały jej obszar (południowa granica znajduje się ok. 1 km od granicy z Tatrami) jako perspektywiczny dla ujmowania wód termalnych (Chowaniec, 2009; Felter i in., 2015).

Takie podejście do wyznaczenia obszarów perspektywicznych jest subiektywne, jeśli chodzi o przyjmowane parametry brzegowe, i jest obciążone błędem wynikającym ze zróżnicowania stopnia rozpoznania geologicznego i hydrogeologicznego kraju. Mimo tego należy przyjąć je za uzasadnione według obecnego stanu wiedzy, wyników badań, jak i ze względów gospodarczych oraz technologicznych.

13.3.5. Opis regionów i jednostek geologicznych występowania zasobów perspektywicznych

Na podstawie podanych kryteriów na Niżu Polskim wyznaczono obszary perspektywiczne występowania wód termalnych w zbiornikach kredy dolnej oraz jury dolnej. W przypadku zbiornika kredy dolnej wyznaczony obszar obejmuje nieckę szczecińską oraz fragmenty niecek mogileńskiej, łódzkiej i warszawskiej. Obszar perspektywiczny w obrębie zbiornika jury dolnej obejmuje natomiast nieckę szczecińską, łódzką, warszawską, południową część niecki pomorskiej i centralną część antyklinorium środkowopolskiego.

Średnie parametry wydajności i temperatury w tych zbiornikach są znacznie wyższe niż przyjęte jako minimalne w zaproponowanych kryteriach perspektywiczności (Felter i in., 2015; zał. 7).

W obrębie zapadliska przedkarpacciego obszary perspektywiczne wyznaczono w zbiornikach neogennych, mezozoicznych i paleozoicznych. Rozpoznanie tych zbiorników jest dość zróżnicowane, w zależności od głębokości ich występowania. Najkorzystniejsze warunki do ujmowania wód termalnych stwierdzono w okolicach Lubaczowa, Biłgoraja, Leżajska, Mielca, Buska-Zdroju oraz Brzeska. Występujące tam wody termalne są związane z utworami miocenu, kredy górnej (cenomanu) oraz jury środkowej i dolnej. W odniesieniu do zbiorników mioceńskich należy zaznaczyć, że ich ograniczona pojemność może negatywnie wpłynąć na trwałość parametrów eksploatacyjnych (Sowiżdżał A. i Górecki, 2013; Felter i in., 2015; zał. 7).

W Karpatach zewnętrznych ze względu na skomplikowaną budowę geologiczną trudno jest wyznaczyć strefy o jednolitych parametrach. Zbiorniki wód termalnych w utworach fliszowych (głównie w piaskowcach) mają ograniczoną pojemność, a zasoby wód są nieodnawialne lub słabo odnawialne (Hajto, 2014). Pomimo tych ogólnie niekorzystnych warunków lokalnie występują obszary o lepszych parametrach hydrogeologicznych, są to przede wszystkim strefy nasunięć tektonicznych. Obszary perspektywiczne wyznaczono w okolicach Bielska-Białej (zbiornik dewońsko-karboński), a także m.in. w okolicach Bochni, Brzeska, Tarnowa, Rzeszowa i Przemyśla (zbiorniki: mioceńskie, górnokredowe i środkowojurajskie; Hajto, 2014; Felter i in., 2015; zał. 7).

W Karpatach wewnętrznych występuje jeden z najważniejszych w kraju zbiorników wód termalnych, jakim jest niecka podhalańska. Zbiornik ten stanowi geotermalny basen artezyjski zbudowany z paleogennych utworów piaskowcowo-lupkowych zdeponowanych na węglanowych utworach paleogennsko-mezozoicznych, z którymi są związane wody termalne (Chowaniec, 2007). Wody opadowe infiltrujące na obszarze Tatr przepływają systemem szczelin krasowych do skał zbiornikowych, tam ulegają ogrzaniu, a następnie,

już w zbiorniku, trafiają na utwory pienińskiego pasa skałkowego (stanowiącego szczelną granicę) i rozplwają się wachlarzowato w kierunku południowo-wschodnim i południowo-zachodnim. Korzystne warunki geologiczne i hydrogeologiczne sprawiają, że wody termalne w ujęciach na obszarze niecki podhalańskiej charakteryzują się wysoką temperaturą, bardzo wysoką wydajnością i niską mineralizacją, a także odnawialnością zasobów (Małecka, 1981; Kępińska, 2004; Chowaniec, 2009; zał. 7).

Obszary Sudetów i niecki przedsudeckiej uznano w całości jako perspektywiczne dla ujmowania wód termalnych. Należy jednak zaznaczyć, że są to obszary o niskim stopniu rozpoznania. Strefami szczególnie perspektywnymi są głębokie rozłamy tektoniczne w skałach krystalicznych i w utworach młodszego paleozoiku oraz kredy, umożliwiające infiltrację wód w głąb górotworu i ich podziemny przepływ wzdłuż spękań. Na obecnym etapie rozpoznania warunków hydrogeologicznych i geotermalnych prowincji sudeckiej najbardziej istotne wydaje się wytypowanie drożnych stref tektonicznych umożliwiających drenaż wód głębokiego przepływu (Krawczyk i in., 2011; Przylibski, 2007; Felter i in., 2015; zał. 7).

13.3.6. Stan rozpoznania geologicznego

Zbadanie wgłębnej budowy geologicznej Polski wskutek wykonania ponad 7000 głębokich otworów wiertniczych (badawczych i naftowych) pozwoliło na ogólne rozpoznanie złóż wód termalnych. Ich występowanie w Polsce jest związane przede wszystkim z trzema głównymi jednostkami tektonicznymi: zachodnio-europejską platformą paleozoiczną oraz Sudetami i Karpatami, wraz z ich przedgórzami (Sadurski i in., 2010; zał. 7). Do wzrostu stopnia rozpoznania geologicznego i hydrogeologicznego występowania wód termalnych w naszym kraju przyczyniają się także aktualnie prowadzone prace związane z ujmowaniem tych wód.

W Polsce do najbardziej perspektywicznych obszarów pod względem ujmowania i zagospodarowania wód termalnych należą niecka podhalańska oraz synklinorium szczecińsko-miechowskie i brzeżne (poziomy kredy dolnej i jury dolnej), a także północna część monokliny przedsudeckiej. Wymienione obszary są dobrze rozpoznane pod względem warunków hydrogeologicznych, co w znacznym stopniu ogranicza ryzyko geologiczne inwestycji. W zapadlisku przedkarpackim obszary dostatecznie rozpoznane, a jednocześnie perspektywiczne wyznaczono m.in. w obrębie utworów miocenu, kredy górnej oraz jury środkowej i dolnej w rejonie Lubaczowa, Biłgoraju, Leżajska, Mielca, Buska-Zdroju i Brzeska. W Karpatach zewnętrznych w zakresie występowania wód termalnych rozpoznano pod względem geologicznym i hydrogeologicznym zbiornik dewońsko-karboński oraz mioceni, kredy górnej i jury środkowej.

Bardzo słabym stopniem rozpoznania występowania wód termalnych odznacza się obszar Sudetów. Sudety zaklasyfikowano jednak w całości jako obszar perspektywiczny. Strefami szczególnie predysponowanymi do występowania wód termalnych w Sudetach są głębokie rozłamy tektoniczne.

Przedsięwzięcia związane z poszukiwaniem i rozpoznawaniem wód termalnych prowadzone są na podstawie zatwierdzonych przez marszałków województw projektów robót geologicznych oraz obowiązujących jeszcze koncesji poszukiwawczych wydanych przez ministra środowiska na podstawie uchylonej ustawy z dnia 4.02.1994 r. Prawo geologiczne i górnicze. Według stanu na dzień 31.12.2018 r. realizację przedsięwzięć zagospodarowujących wody termalne planowano w 76 miejscowościach (Felter i in., 2019). Inwestycje te znajdowały się na różnym etapie zaawansowania. W zdecydowanej większości przypadków, prace dotychczas jeszcze nie rozpoczęto.

13.3.7. Ocena zasobów i ich zmian

W literaturze przyjęło się, że przez zasoby perspektywiczne wód podziemnych należy rozumieć wielkość zasobów dyspozycyjnych pomniejszoną o sumę zatwierdzonych przez administrację geologiczną zasobów eksploatacyjnych na danym obszarze bilansowym. W przypadku wód termalnych z powodu braku udokumentowanych zasobów dyspozycyjnych poza obszarem bilansowym niecki podhalańskiej takie podejście do szacowania zasobów perspektywicznych w skali kraju nie jest możliwe.

Aby oszacować zasoby perspektywiczne wód termalnych w Polsce, należy zatem przyjąć inne kryteria niż w przypadku wód leczniczych i solanek. Ponieważ w większości inwestycji geotermalnych wykorzystywana jest energia cieplna zawarta w wodach, a nie same wody, które po schłodzeniu są zatłaczane ponownie do warstwy wodonośnej, uzasadnione wydaje się szacowanie dyspozycyjnych i eksploatacyjnych zasobów energetycznych.

W publikacjach wykorzystuje się wiele kryteriów do definiowania zasobów energetycznych wód termalnych. Za najpowszechniejsze kryterium podziału przyjmuje się wartość temperatury wody złożowej (Muf-

fler i Cataldi, 1978; Benderitter i Cormy, 1990; Hochstein, 1990; Nicholson, 1993; Axelsson i Gunnlaugsson, 2000), a więc jest to podział związany z wartością energetyczną zasobów. Zasoby energii wód termalnych określono w atlasach zasobów geotermalnych wykonanych dla Niżu Polskiego, Karpat Zachodnich, zapadli-ska przedkarpackiego i Karpat Wschodnich (Górecki i Hajto, 2006, 2011; Górecki, 2013; Górecki i Sowiz-dzał A., 2012), a zatem zasoby dyspozycyjne i eksploatacyjne energii wód termalnych oszacowano w dużym przybliżeniu dla wszystkich obszarów perspektywicznych z wyjątkiem Sudetów. Łączne zasoby dyspo-zycyjne energii wód termalnych w Polsce wynoszą $9,24 \cdot 10^{18}$ J/rok (Górecki i Hajto, 2006, 2011; Górecki, 2013; Górecki i Sowizdzał A., 2012). Według Góreckiego i Hajty (2006) zasoby eksploatacyjne energii wód termalnych wynoszą od 1,5 do 2,5% zasobów dyspozycyjnych tejże energii. Łączne zasoby eksploatacyjne energii wód termalnych w Polsce według powyższej zasady przyjmują wartości od $1,38 \cdot 10^{17}$ do $2,22 \cdot 10^{17}$ J rok, a zatem zasoby perspektywiczne wynoszą od $9,10 \cdot 10^{18}$ do $9,01 \cdot 10^{18}$ J/rok.

13.3.8. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Konieczne jest wprowadzenie zmian w prawie geologicznym i górniczym oraz w innych aktach praw-nych w zakresie standaryzacji nazewnictwa i definicji dotyczących zagadnień związanych z geotermią, w tym określenia zasad oceny zasobów oraz sposobu raportowania ich wielkości, zgodnie z zaleceniami Europejskiej Komisji Gospodarczej (UNECE, 2013). Tego typu zmiany ułatwią współpracę międzynarodo-wą, w tym wymianę informacji o możliwości wykorzystania istniejącego potencjału geotermalnego w Pol-sce. Usprawnią one także przepływ informacji, w tym ocenę ryzyka geologicznego związanego z wiercenia-mi, co jest niezwykle istotne z punktu widzenia instytucji finansujących przedsięwzięcia geotermalne (w tym banki) oraz w procesach reasekuracji ryzyka prac geologicznych przez towarzystwa ubezpieczeniowe. Ryzy-ko geologiczne w inwestycjach geotermalnych należy ograniczyć również poprzez prace studyjne nad wybo-rem perspektywicznych lokalizacji określające warunki złożowe, hydrogeochemiczne i środowiskowe w oparciu o informacje geologiczną zgromadzoną w Banku Wód Podziemnych Zaliczonych do Kopalín bę-dącym częścią zasobów informacyjnych Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego. Dla wybranych lokalizacji o korzystnych parametrach złożowych powinny być również wyko-nane analizy ekonomiczne opłacalności inwestycji.

Nowe projekty geotermalne powinny zakładać kaskadowe wykorzystanie potencjału energetycznego – w pierwszej kolejności do celów ciepłowniczych, a następnie leczniczych i w rekreacji. Zarówno potencjał wód i energii geotermalnej w Polsce, jak i inne uwarunkowania sprawiają, że wody te mogą i powinny być stosowane na skalę większą niż dotychczas m.in. w rolnictwie ekologicznym, co przełożyłoby się to na wzrost produkcji zdrowej żywności i rozwój zrównoważonego rolnictwa, skuteczną profilaktykę chorób cy-wilizacyjnych, poprawę jakości zdrowia i życia społeczeństwa.

13.4. PIERWIASTKI UZYSKIWANE Z WÓD UZNANYCH ZA KOPALINĘ (*ELEMENTS OBTAINED FROM WATER CONSIDERED AS MINERAL*)

W wodach wysokozmineralizowanych, zwłaszcza w solankach, poszczególne pierwiastki występują w większej koncentracji niż w wodach zwykłych. Dlatego wody te mogą być niekiedy traktowane jako potencjalne źródło niektórych pierwiastków, np. jodu, bromu, litu, potasu, magnezu, być może także pierwiastków ziem rzadkich. Dotychczas w Polsce zmineralizowane wody podziemne bardzo rzadko oceniano pod względem ich przydatności jako surowca chemicznego. Badano je głównie z myślą o wykorzystaniu do celów balneoterapeutycznych, produkcji soli i preparatów farmaceutycznych oraz naturalnego dwutlenku węgla. Poza ustalonymi zasobami dwutlenku węgla w Krynicy-Zdroju i Dusznikach-Zdroju w Polsce nie oszacowano do tej pory żadnych zasobów (eksploatacyjnych czy perspektywicznych) pierwiastków lub związków chemicznych możliwych do pozyskania z wód podziemnych. Produkcja pierwiastków i substancji chemicznych z wód podziemnych na skalę przemysłową obecnie nie jest w kraju prowadzona, choć w przeszłości podejmowano eksperymentalne próby wytwarzania jodu.

13.4.1. Jod

W Polsce wytwarzanie jodu z solanek było przedmiotem badań prowadzonych w latach 50. XX w. Oceniano wówczas, że stężenie jodu na poziomie ok. 100–130 mg/dm³ jest wystarczające do jego przemysłowej produkcji (Chajec, 1966; Płochniewski, 1978). W latach 1950–1954 prowadzono doświadczalną produkcję jodu w Dębowcu, wykorzystując tamtejsze solanki zawierające ok. 120 mg I/dm³ (Zamojcin, 2012). Łącznie w Dębowcu wyprodukowano ponad 100 kg czystego jodu. W 1957 r. produkcję na pewien czas wznowiło Przedsiębiorstwo Państwowe Kopalnictwo Naftowe w Krośnie, a później (na początku lat 70. XX w.), na podstawie udoskonalonej metody o charakterze półprzemysłowym, Zjednoczenie Kopalnictwa Surowców Chemicznych w zakładzie w Łęczycy koło Bochni. Do produkcji wykorzystywano solanki zawierające średnio ok. 100 mg/dm³ jodu. W tym czasie za perspektywiczne dla przemysłowego pozyskiwania pierwiastków uważano wody zawierające co najmniej 80–100 mg I/dm³ (Płochniewski, 1978). W późniejszych latach, wraz z rozwojem nowych technologii, za perspektywiczną zawartość jodu umożliwiającą jego produkcję uznawano już stężenia poniżej 50 mg/dm³. W 2006 r. w Ośrodku Badawczo-Rozwojowym Górnictwa Surowców Chemicznych Chemkop opatentowano nową metodę produkcji jodu, która umożliwia produkcję pierwiastka przy jego zawartości w wodach na poziomie 40 mg/dm³ (Zamojcin, 2014, 2012). Do tej pory jej jednak nie wdrożono. Na świecie jod z wód podziemnych jest produkowany w Japonii, Stanach Zjednoczonych i Azerbejdżanie. Do tego celu wykorzystuje się wody o stężeniu jodu 45–60 mg/dm³ (Zamojcin, 2014).

13.4.2. Lit

Literatura i materiały archiwalne dotyczące występowania litu w wodach podziemnych i możliwości jego przemysłowej produkcji są dość ubogie. Pierwiastek ten jest oznaczany sporadycznie w wodach podziemnych, głównie w wodach leczniczych, z uwagi na jego biodynamiczną rolę. W latach 70. XX w. dominował pogląd, że zawartość litu w wodach podziemnych w ilości powyżej 10 mg/dm³ umożliwia przemysłową produkcję tego pierwiastka do celów gospodarczych (Płochniewski, 1978). Wody podziemne o takim stężeniu litu stwierdzono w Polsce wówczas w ok. 20 punktach. Maksymalne stężenie litu w próbce wody pobranej z głębokości ok. 1000 m wynosiło ponad 260 mg/dm³. Najczęściej jednak zawartość litu nie przekraczała 30 mg/dm³ i była uzależniona od litologii oraz od temperatury, składu i ciśnienia wody (Szpakiewicz, 1979). Występowanie litu w wodach podziemnych nadal nie jest szczegółowo badane, zwłaszcza na skalę regionalną. W praktyce zainteresowanie litem w wodach podziemnych nie wykracza poza wskaźnikowe oznaczanie tego pierwiastka.

13.4.3. Inne (brom, magnez, potas)

Zmineralizowane wody podziemne mogą być też surowcem do pozyskiwania pierwiastków takich jak brom, magnez lub potas. W Polsce badania ukierunkowane na ich przemysłową produkcję nie były prowa-

Tab.13.3. Zawartość pierwiastków ziem rzadkich w badanych wodach

Poddębice GT-2					
REE	Zawartość [$\mu\text{g}/\text{dm}^3$]	REE	Zawartość [$\mu\text{g}/\text{dm}^3$]	REE	Zawartość [$\mu\text{g}/\text{dm}^3$]
Y	0,0123	Eu	0,0006	Ho	0,0001
La	0,0086	Sm	0,0033	Er	0,0001
Ce	0,0121	Gd	0,0025	Tm	0,0000
Pr	0,0,014	Tb	0,0003	Yb	0,0004
Nd	0,0053	Dy	0,0012	Lu	0,0000

dzzone. Zainteresowanie pozyskiwaniem tych pierwiastków nastąpiło w latach 70. XX w. W tym czasie za perspektywiczne dla przemysłowego pozyskiwania pierwiastków uważano wody zawierające co najmniej: 200–250 mg/dm^3 bromu, 2000 mg/dm^3 magnezu i 1000 mg/dm^3 potasu (Płochniewski, 1978).

13.4.4. Pierwiastki ziem rzadkich

Pierwiastki ziem rzadkich (REE – *rare earth elements*) to grupa 15 lantanowców oraz skand i itr, zaliczone przez Komisję Europejską do grupy surowców krytycznych o znaczeniu strategicznym dla rozwoju innowacyjnych technologii. Polska nie posiada udokumentowanych zasobów pierwiastków ziem rzadkich (rozdz. 8.7), a ich występowanie w wodach podziemnych zaliczonych do kopalin nie było przedmiotem szerszych badań. Dostępne są jedynie pojedyncze opracowania, które nie pozwalają na oszacowanie zasobności REE w wodach wysokozmineralizowanych. Ocenia się jednak, że pozyskiwanie pierwiastków ziem rzadkich z wód podziemnych nie jest kierunkiem perspektywicznym w Polsce (Jarosiński A., 2016; Całus-Moszek i Białecka, 2012). Ponieważ udokumentowane zasoby światowe są bardzo ograniczone, a metody eksploatacji uciążliwe dla środowiska, nie można jednak wykluczyć w przyszłości odzysku REE ze źródeł niekonwencjonalnych, m.in. z wód podziemnych oraz kwaśnych wód kopalnianych (Migaszewski i Gałuszka, 2019). Pierwiastki ziem rzadkich przechodzą do wód w wyniku wietrzenia i rozpuszczania skał lub diagenety (rekryształizacji i dehydratacji) minerałów. Ich koncentracja w wodach podziemnych kształtuje się zwykle na poziomie $\mu\text{g}/\text{dm}^3$. Na świecie pierwsze badania dotyczące obecności pierwiastków ziem rzadkich w wodach podziemnych, także wysokozmineralizowanych i termalnych, pochodzą z lat 80. XX w. Wynika z nich, że podwyższone zawartości REE są obserwowane na obszarach zbudowanych ze skał magmowych o dużej zawartości lantanowców, a także w wodach o wysokiej zawartości CO_2 , odznaczających się niskim pH i wysoką agresywnością (Wysocka i in., 2018). W Polsce badania takie mają charakter pionierski i są prowadzone głównie w celach naukowych. Pierwsze badania na zawartość REE zostały wykonane w 2015 r. i dotyczyły wody leczniczej Krynicy-Zdroju oraz wody termalnej Poddębic (tab. 13.3; Porowski i Kaczor-Kurzawa, 2016). Największe stężenia w wodach osiąga itr, cer, lantan i neodym, a więc lekkie REE. Pozostałe pierwiastki występują w ilości mniejszej niż 0,002 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$, a tul i lutet nie zostały wykryte. Równolegle trwają badania nad możliwością ekonomicznie opłacalnego pozyskiwania pierwiastków ziem rzadkich z wód kopalnianych na obszarze Gór Świętokrzyskich (Migaszewski i Gałuszka, 2019).

13.4.5. Wnioski i rekomendacje dalszych działań

Nie wydaje się, aby przemysłowe pozyskiwanie jakichkolwiek pierwiastków z wód podziemnych zaliczonych do kopalin było możliwe w kraju w okresie najbliższych kilku lat. Badania nad technologią ich otrzymywania w warunkach polskich nie wykroczyły poza fazę eksperymentalną, a w niektórych przypadkach są na etapie badań naukowych. Głównym zadaniem na najbliższe lata powinno być podjęcie na szerszą skalę prac zmierzających do określenia potencjału wód leczniczych, termalnych i solanek w zakresie możliwości otrzymywania z nich surowców krytycznych, czyli pierwiastków ziem rzadkich.



14. KOPALINY PODMORSKIE

Regina Kramarska, Krzysztof Szamałek



14.1. KOPALINY PODMORSKIE (*SEA-BED MINERALS*)

Kopaliny podmorskie wyróżniane jako odrębna grupa kopalin ze względu na często inną niż w przypadku złóż lądowych genezę powstawania oraz inne środowisko występowania (Depowski i in., 1998; Cronan, 2000; Foquet i Lacroix, 2014). Kopaliny i surowce mineralne wykorzystywane współcześnie w światowej gospodarce pochodzą w istotnej części ze złóż wydobywanych z dna morskiego (oceanicznego), podłoża oceanów czy też wody morskiej (Depowski i in., 1998). Jest to efektem dynamicznego rozwoju górnictwa morskiego i podmorskiego na świecie (określanego w języku angielskim wieloma terminami: *seabed mining*, *seafloor mining*, *marine mining*, *deep sea mining*, *shallow-, mid- and deep-water mining*). Tę grupę kopalin wprowadzono do bilansu po raz pierwszy w związku ze znacznym wzrostem stanu dotychczasowej wiedzy oraz z zaangażowaniem Polski w badania oceanicznych kopalin w ramach działalności firmy Interoceanmetal i realizacji programu rządowego Rozpoznania Geologicznego Oceanów PROGeo (*Uchwała...* 2017; Szamałek i in., 2018). Perspektywiczne zasoby podmorskich kopalin występują na polskich obszarach morskich, a w przyszłości mogą to być również zasoby, które znajdują się na obszarze objętym międzynarodową konwencją o prawie morza (Mizerski i Szamałek, 2009). Stan rozpoznania morskich i oceanicznych struktur pod kątem oceny ich potencjału złożowego jest bardzo zaawansowany i ciągle się powiększa. Na obszarach morskich poza jurysdykcją państwa nadbrzeżnego zagadnienia surowcowe, zgodnie z konwencją o prawie morza, podlegają pod kompetencje Międzynarodowej Organizacji Dna Morskiego. Rola i znaczenie Polski w pracach Międzynarodowej Organizacji Dna Morskiego były od momentu jej powstania w 1994 r. istotne i stale rosły (Kotliński i Szamałek, 1995; Szamałek, 2006, 2018c, d). Polska jest krajem od lat realizującym morskie (Bałtyk) i oceaniczne (Pacyfik) badania podstawowe i stosowane (m.in. w ramach projektu Intermorgeo czy organizacji Interoceanmetal). Efektem tych prac są liczne publikacje dotyczące geologii złożowej i bazy zasobowej kopalin (m.in. Kotliński i Szamałek, 1998a; Domżański i in., 2004; Kramarska i in., 2005). Ze względu na odmienną środowiska występowania kopalin w Bałtyku i w oceanach oraz inny status prawny prac geologicznych realizowanych w strefie Clarion-Clipperton na Pacyfiku w rozdziale tym skupiono się na kopalinach występujących lub mogących występować na polskich obszarach morskich.

Powierzchnia polskich obszarów morskich (morskie wody wewnętrzne, morze terytorialne oraz wyłączna strefa ekonomiczna) wynosi ok. 33 tys. km². Stan ogólnego rozpoznania geologicznego dna Bałtyku w polskiej strefie jest dobry, dzięki wieloletnim, szeroko zakrojonym badaniom Państwowego Instytutu Geologicznego (Oddział Geologii Morza w Gdańsku) w trakcie przygotowywania *Mapy Geologicznej Dna Bałtyku w skali 1:200 000* (Mojski E., 1989–1995) oraz rozpoznania w skali dokładniejszej (1:100 000; 1:50 000) wybranych części dna (m.in. Zatoka Gdańska i Pomorska). W 2019 r. zakończono przygotowanie *Mapy geosrodowiskowej polskich obszarów morskich w skali 1:250 000* (Kramarska i in., 2019), która uwzględnia całokształt zagadnień związanych z kopalinamiorskimi w kontekście uwarunkowań przyrodniczych i planowania przestrzennego na morzu. Ponadto w trakcie systematycznie wykonywanych prac na Bałtyku związanych z aktywnością poszukiwawczą przedsiębiorstwa Petrobaltic oraz z planowaną budową morskich elektrowni wiatrowych są uzyskiwane także nowe informacje dotyczące potencjału złożowego zarówno podłoża, jak i osadów dna Bałtyku.

W *Bilansie perspektywicznych zasobów kopalin Polski* ta grupa kopalin jest przedstawiana po raz pierwszy. W Bałtyku stwierdzono do tej pory obecność złóż kopalin okruchowych (żwir, piasek) i węglowodorów, ponadto potwierdzono występowanie nagromadzeń koncentracji Fe-Mn o charakterze złożowym (obecnie w trakcie badań), bursztynu, soli magnezowo-potasowych, okruchowych minerałów ciężkich, wód mineralnych i termalnych (fig. 14.1, 14.2). Wydaje się, że wprowadzenie do *Bilansu* problematyki zasobów podmorskich wypełnia istotną lukę informacyjną oraz systematyzuje pozyskiwane ciągle nowe informacje o potencjale złożowym Bałtyku. W poprzednich wydaniach *Bilansu* informacje o złożach występujących w środowisku morskim były także podawane przy omawianiu poszczególnych grup kopalin. Kolejne lata przyniosą zapewne nowe informacje, które będą podstawą do zagospodarowania w Polsce tej grupy kopalin w stopniu większym niż dotychczas. Ponieważ Bałtyk, a zwłaszcza polska część tego morza, nie jest terytorialnie zbyt duży, przyszłe zagospodarowanie złóż kopalin może być ograniczone wskutek istnienia licznych elementów infrastruktury zbudowanej na dnie bądź planowanej do realizacji (kable, przewody, gazociągi, kolektory, farmy wiatrowe), a ponadto przez względy środowiskowe.

14.1.1. Piaski i żwir (kruszywo naturalne)

Podstawowe znaczenie surowcowe w Bałtyku mają dennie osady okruchowe (piaski i żwir), które są dokumentowane i eksploatowane w Polsce i innych krajach nadbałtyckich (Kotliński i Szamałek, 1998b; Harff i in., 2004; Kramarska i in., 2005; Masłowska, 2005; Schwarzer K., 2010). Wśród udokumentowanych złóż w polskiej strefie Bałtyku są m.in. złoża kruszywa żwirowo-piaskowego: Ławica Słupska-Bałtyk S, „Południowa Ławica Śródkowa” Bałtyk Południowy i Zatoka Koszalińska (fig. 14.1). Geologiczne zasoby bilansowe kruszywa w tych złożach wg stanu na 31 grudnia 2018 r. wynosiły 136 mln Mg (Miśkiewicz i in., 2019). Obecnie złożo Ławica Słupska jest zaniechane, natomiast dwa pozostałe są złożami zagospodarowanymi.

Do dokumentowania zasobów bilansowych bałtyckich złóż stosowano kryteria (*Kryteria bilansowości...*, 1988), według których wartość graniczna punktu piaskowego powinna wynosić 80%, złożo powinno zalegać na dnie morskim bez przykrycia osadami, a minimalna miąższość złoża na podłożu piaszczystym powinna wynosić 0,3 m, zaś na podłożu gliniastym – 0,5 m. Dodatkowy wymóg dotyczył miąższości kopaliny w spągu warstwy złożowej – na powierzchni dna morza po zakończeniu eksploatacji powinna zostać warstwa piasku lub piasku ze żwirem o miąższości nie mniejszej niż 0,2 m, żeby umożliwić rekolonizację organizmom bentosowym.

Bałtyckie złoża kruszywa żwirowo-piaskowego powstały w wyniku procesów fluwioglacjalnych i selekcji materiału w warunkach morskich (Masłowska, 2005). Charakterystyczną cechą tych złóż jest izolowana forma pól złożowych o nieregularnym zarysie i zmiennej miąższości. Swoistą cechą bałtyckich kruszyw morskich jest też wysoka zawartość skał krystalicznych, co wraz z innymi parametrami jakościowymi pozwala porównać złoża morskie z najlepszymi kruszywami ze złóż lądowych (Kramarska i in., 2006).

W Bałtyku istotną rolę odgrywa również kruszywo piaskowe, wykorzystywane przeważnie do sztucznego zasilania brzegu morskiego, zwłaszcza w krajach położonych nad południowym brzegiem morza (Harff i in., 2004). W przypadku Polski roboty związane z wykorzystaniem piasku z dna morskiego do zasilania brzegu nie podlegają prawu geologicznemu i górniczemu, lecz pozostają w gestii urzędów morskich. Nie zmienia to faktu, że pozyskanie z dna morskiego materiału o odpowiedniej jakości i w ilości wystarczającej do zasilania danego odcinka brzegu wymaga przeprowadzenia badań geologicznych o charakterze rozpoznawczo-dokumentacyjnym. Odcinki wybrzeża przewidziane do sztucznego zasilania piaskiem określa *ustawa o ustanowieniu programu wieloletniego „Program ochrony brzegów morskich”* (Obwieszczenie..., 2016). Wyznaczone przez PIG-PIB w latach 2003–2004 obszary dna w możliwie bliskim sąsiedztwie odcinków brzegu wymagających ochrony są sukcesywnie rozpoznawane na rzecz urzędów morskich. Dotychczas (stan na koniec 2018 r.) przeprowadzono szczegółowe prace geologiczne w ośmiu obszarach zlokalizowanych w Zatoce Pomorskiej (Kramarska i in., 2016), w rejonie Ustki i Półwyspu Helskiego (fig. 14.1). W wyniku badań okonturowano 31 pól piasku drobno- i średnioziarnistego o wartości mediany >0,2 mm, których powierzchnia łącznie wynosi 43,5 km², a zasoby surowca odpowiedniego do zasilania brzegu zostały określone łącznie na ok. 56 mln m³.

Perspektywiczny dla występowania piasków i żwirów jest obszar płytkomorski (fig. 14.1), który ciągnie się od brzegu morskiego do głębokości morza 30–40 m oraz obejmuje rejon Ławicy Odrzanej, Słupskiej i Południowej Ławicy Śródkowej (Kramarska i in., 2006). Przeważają tam kruszywa piaskowe powstające w strefie litoralnej kolejnych faz rozwoju Bałtyku, szczególnie w okresie transgresji morza lityrnego. Piaski drobnoziarniste dobrze wysortowane są związane z relikdami wybrzeży mierzejowych w rejonie Ławicy Odrzanej i z przedpolem Półwyspu Helskiego. Piaski bardzo drobnoziarniste (pylaste) są charakterystyczne dla dna w Zatoce Pomorskiej. Nagromadzenia osadów w pozostałych obszarach odznaczają się większym zróżnicowaniem podtypów granulometrycznych – od piasków drobno- do gruboziarnistych, i tylko lokalnym występowaniem żwirów. Perspektywy powiększenia istniejącej bazy zasobowej kruszywa żwirowo-piaskowego są niewielkie, choć można spodziewać się lokalnie małych pól piasków żwirowych występujących w obrębie piasków średnio- i drobnoziarnistych lub pod ich cienką pokrywą. Koncentracje frakcji żwirowych są związane głównie z relikdami obszarów wysoczyznowych, w tym stref marginalnych i delt glacyfluwalnych. Na możliwość występowania takich lokalnych pól w rejonie Kołobrzegu oraz na wschodnim krańcu Ławicy Słupskiej wskazują wyniki badań przeprowadzonych przez PIG-PIB w latach 2013–2015 w celu weryfikacji wybranych obszarów perspektywnego występowania piasków i żwirów (Kramarska i Uścińowicz, 2015).

W ostatnich latach wykonywane są również opracowania związane z projektami rozwoju energetyki wiatrowej *off shore*, które zawierają doniesienia m.in. o kopalinach okruchowych (np. Rudowski i in., 2015). Obejmują one informacje o rodzaju i miąższości osadów okruchowych, o występowaniu lub braku minera-

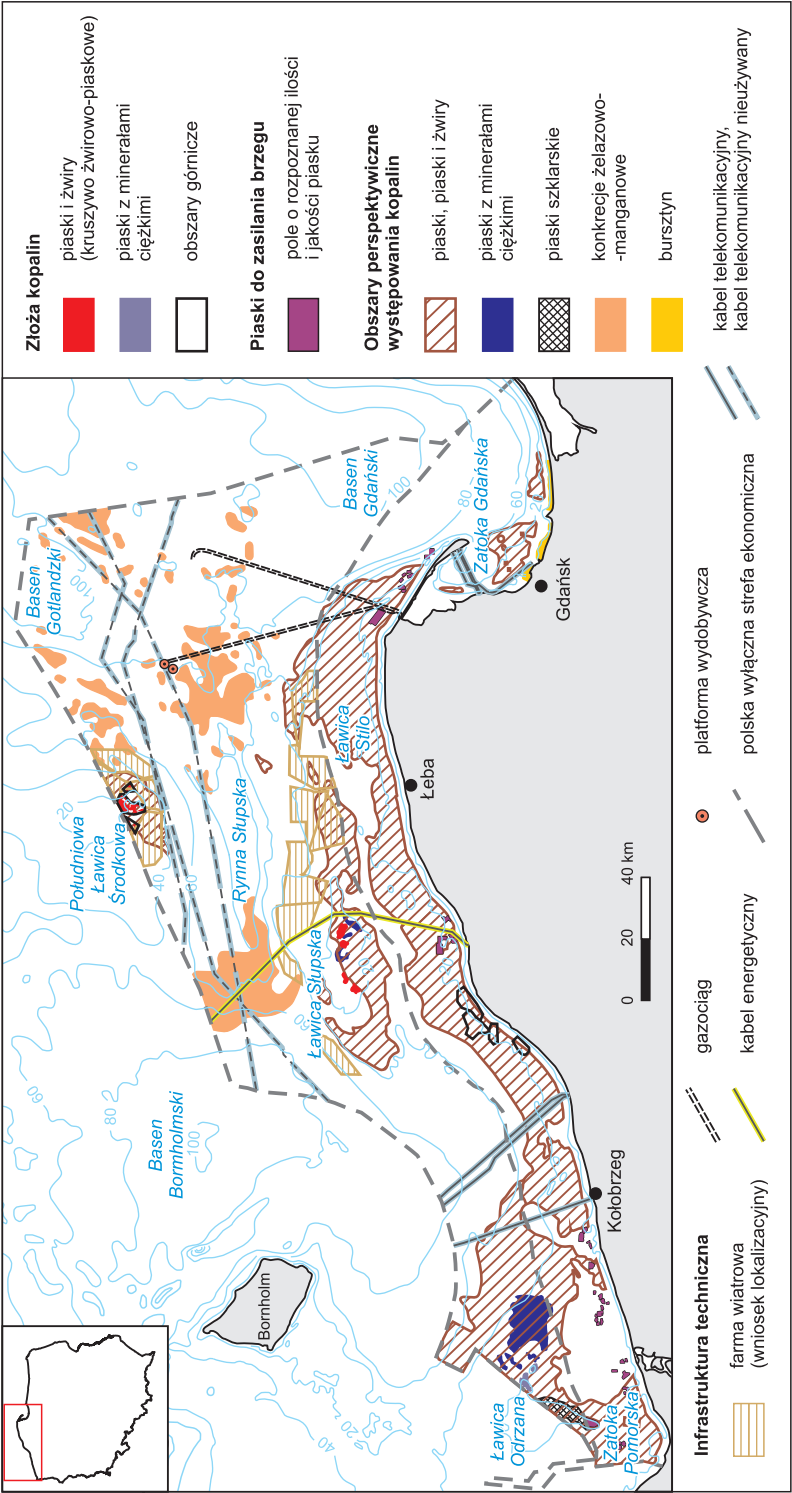


Fig. 14.1. Mapa występowania na dnie Bałtyku złóż i obszarów perspektywicznych kopalin na tle wybranych elementów infrastruktury (wg Kramarskiej i Szarałina na podstawie *Mapy geotektonicznej polskich obszarów morskich*; Kramarska i in., 2019)

łów ciężkich czy bursztynu w badanych próbkach (<http://www.baltyk3.pl/wp-content/uploads/2015/06/Dno-morskie-v2.pdf>), co przekłada się na uszczegółowienie wiedzy na temat istniejących i perspektywicznych obszarach występowania kopalin okruchowych.

Nowe dane są podstawą do weryfikacji granic obszarów perspektywicznych wyznaczonych pierwotnie na *Mapie Geologicznej Dna Bałtyku w skali 1:200 000* (Mojski E., 1989–1995) i w późniejszych opracowaniach przeglądowych (Kramarska i in., 2005). Jednakże stopień rozpoznania geologicznego dna polskich obszarów morskich uznano za ciągle niewystarczający do oszacowania wielkości zasobów prognostycznych bałtyckich piasków i żwirów. Dodatkowo złoża i obszary perspektywiczne będą podlegać waloryzacji uwzględniającej tworzony obecnie plan zagospodarowania przestrzennego polskich obszarów morskich (*Projekt planu...*, 2019). Wyniki waloryzacji znalazły odzwierciedlenie na *Mapie geośrodowiskowej polskich obszarów morskich w skali 1:250 000* (Kramarska i in., 2019).

14.1.2. Minerale ciężkie

Poza złożami kruszyw żwirowo-piaskowych w Bałtyku występują piaski z minerałami ciężkimi (Wajda, 1970; Kotliński i Masłowska, 1994; Kramarska i in., 2005; Mikulski S.Z. i in., 2016a). Źródłem minerałów ciężkich w polskiej strefie Bałtyku, podobnie jak w wielu rejonach świata, są piaski strefy płytkowodnej i plażowej. Bałtyckie koncentracje minerałów ciężkich występują w osadach dawnych stref brzegowych, głównie relikwów wałów mierzejowych z okresu transgresji litorynowej Bałtyku (Kotliński, 1984; Kramarska i in., 2005). Są to rejonu ławic bałtyckich: Odrzanej (Jurowska i Kramarska, 1989) i Słupskiej (Kramarska, 1991). Perspektywy złożowe są związane z polami dobrze wysortowanych piasków drobnoziarnistych o zawartości frakcji 0,063–0,25 mm w ilości ponad 80% i co najmniej 2% wag. minerałów ciężkich.

W Zatoce Pomorskiej (fig. 14.1) udokumentowano (kat. D) złoża piasków Ławica Odrzana o zasobach 13,3 mln Mg, z minerałami ciężkimi w ilości rzędu 0,5 mln Mg (Kaulbarsz i in., 2013; Kramarska i in., 2016; Szamałek, 2018e). Powierzchnia złoża wynosi 1303 ha. Piaski z tego złoża w warstwie od powierzchni dna do głębokości 0,5 m zawierają minerale ciężkie w ilości od 1,4 do 21,7% wag. (średnio 4,5% wag.). Osad piaszczysty na głębokości 0,5–1,0 m zawiera średnio mniej minerałów ciężkich (do 3,3% wag.). W piaskach Ławicy Odrzanej udział ilościowy minerałów użytecznych we frakcji ciężkiej przedstawia się następująco: ilmenit 31% wag., cyrkon 5% wag., leukoksen 4% wag., rutyl 4% wag. i granaty 32% wag. Istnieje możliwość powiększenia zasobów piasków z minerałami ciężkimi w rejonie Ławicy Odrzanej, jednak wymaga to szczegółowego rozpoznania obszarów perspektywicznych położonych na północ od udokumentowanego złoża.

Na Ławicy Słupskiej (fig. 14.1) perspektywiczne pola piasków z minerałami ciężkimi występują w sąsiedztwie złóż kruszywa naturalnego oraz przy SE zboczu ławicy (relikw wału mierzejowego). Łączna powierzchnia pól wynosi kilkanaście kilometrów kwadratowych. Średnia zawartość minerałów ciężkich w poszczególnych polach to 3,1–13,1% wag. (maks. 45% wag.). Zawartość składników użytecznych nie odbiega zasadniczo od zawartości stwierdzonej w piaskach Ławicy Odrzanej. Według wstępnych szacunków (Kotliński i Kramarska, 1977) w 1 Mg piasku występuje ok. 17–40 kg ilmenitu, 2,5–3,5 kg cyrkonu, rutylu i monacytu oraz 9,5–30,0 kg granatów. Wstępne dane uzyskano głównie w wyniku badań próbek pobranych z powierzchni dna morskiego, w związku z tym ogólne zasoby piasków wzbogaconych w minerale ciężkie nie zostały oszacowane.

Możliwości zagospodarowania bałtyckich nagromadzeń minerałów ciężkich były przedmiotem wielu badań (m.in. Akerman i Krajewski, 1959; Glapa i Łuszczkiewicz, 1988; Łuszczkiewicz i in., 1988; Bagdach i Lasko, 1989). Badania w skali półtechnicznej Błaszczyńskiego i in. (1990) wykazały możliwość uzyskania metodą separacji grawitacyjnej i magnetycznej z piasków Ławicy Odrzanej koncentratu minerałów ciężkich o zawartości 92,84% oraz monomineralnych koncentratów granatów (93,6%), ilmenitu (96,2%), cyrkonu (87,3%) i rutylu (83,9%). Badania Mikulskiego S.Z. i in. (2016a) potwierdziły wcześniejsze doniesienia (Gustkowicz i in., 1984) o obecności pierwiastków ziem rzadkich (REE) w piaskach bałtyckich z minerałami ciężkimi. Próbkę koncentratu cyrkonowego uzyskanego z piasku z Ławicy Słupskiej zawierają cer w ilości 2,3 g/kg, lantan – 1,1 g/kg oraz neodym – 0,96 g/kg, natomiast zawartość prazeodymu, itru, gadolinu, samaru jest znacznie niższa i waha się od 0,1 do 0,3 g/kg (Mikulski S.Z. i in., 2016a). W koncentracie cyrkonowym z Ławicy Odrzanej zawartości REE są wyższe i wynoszą: cer – 3,9 g/kg, lantan i neodym odpowiednio 1,9 i 1,7 g/kg, a prazeodym, itr, gadolin i samar od 0,5 do 0,2 g/kg (Mikulski S.Z. i in., 2016a). Do oceny surowcowej potrzebne są jeszcze dalsze badania zawartości ilmenitu, rutylu, cyrkonu i monacytu we frakcji ciężkiej wydzielonej z osadów każdej z ławic.

14.1.3. Piaski szklarskie

W rejonie Ławicy Odrzanej, oprócz piasków z minerałami ciężkimi, występują piaski szklarskie (Kramarska i Jurowska, 1991). Dla obszaru o powierzchni ok. 75 km² (fig. 14.1) zasoby prognostyczne można szacować na 215 mln Mg. Piaski odznaczają się dużą jednorodnością uziarnienia – dobrym i bardzo dobrym wysortowaniem. Średnia zawartość frakcji podstawowej 0,5–0,1 mm przekracza 99%, (ponad 80% osadu mieści się we frakcji 0,25–0,125 mm), a średnia zawartość SiO₂ wynosi 95%. Udział tlenków barwiących w 29 próbkach waha się w przedziale: Fe₂O₃ – 0,08–0,79%, Al₂O₃ – 1,26–2,80%, TiO₂ – 0,06–0,55% i CaO od 0,11 do 0,68%. Jak wykazały badania technologiczne (Juskowiak i in., 1976), tlenki te gromadzą się w najdrobniejszej klasie ziarnowej i mogą być łatwo usunięte drogą odsiewu tej frakcji.

14.1.4. Bursztyn

Nagromadzenia pierwotnego bursztynu w rejonie bałtyckim związane są z utworami górnego eocenu, które ulegały niszczeniu wskutek czego powstawały wtórne nagromadzenia w osadach czwartorzędowych (Kowalska i in., 2018). W Polsce bursztyn jest znajdowany i pozyskiwany (zbieractwo) w strefie plażowej głównie Zatoki Gdańskiej, do której jest współcześnie redeponowany z rozmywania morskich pierwotnych nagromadzeń eoceńskich. Niewielkie ilości bursztynu (200 kg w 2017 r.) pozyskuje się w trakcie eksploatacji kruszywa z morskiego złoża kruszywa żwirowo-piaskowego w Zatoce Koszalińskiej, w którym bursztyn jest kopaliną współwystępującą.

Perspektywna dla występowania bursztynu jest kopalna część delty Wisły, znajdująca się na dnie Zatoki Gdańskiej w pasie sąsiadującym z brzegiem morskim od Gdańska-Brzeźna na zachodzie do Kątów Rybackich na wschodzie (fig. 14.1). Zewnętrzna granica obszaru wyznaczona została w odległości od ok. 1 km do 2,5 km od brzegu morskiego. Perspektywiczność obszaru wynika z przesłanek paleogeograficzno-facjalnych oraz z rezultatów podejmowanych kilkakrotnie prac poszukiwawczych. W 1990 r. na podstawie decyzji ministra środowiska, zasobów naturalnych i leśnictwa poszukiwania prowadzono przy zachodnim skraju Wyspy Sobieszewskiej, po wschodniej stronie ujścia Wisły Przekop oraz na wysokości Stegny na Mierzei Wiślanej i uzyskano pozytywne oznaki występień kopaliny (Kramarska, 2002; Jurys i in., 2008). Następnie na tych trzech obszarach udzielono w 2013 r. 2 koncesji na poszukiwanie i rozpoznawanie złóż bursztynu (Szamałek, 2003). Prace realizowano w obszarze koncesyjnym na głębokości morza od 3 do 8 m i w odległości ponad 100 m od linii brzegowej. Na każdym obszarze natrafiono na gniazdowe nagromadzenia okruców bursztynu, lecz ze względu na problemy techniczne w trakcie robót nie dokonano rozpoznania złóż i udokumentowania zasobów.

14.1.5. Konkrecje polimetaliczne

Na obszarze Bałtyku stwierdzono występowanie konkrecji Fe-Mn w polskiej wyłącznej strefie ekonomicznej (fig. 14.1). Konkrecje zalegają na powierzchni ok. 2537 km², z czego obszar ok. 400 km² może mieć w przyszłości znaczenie złożowe. Konkrecje w sektorze polskim Bałtyku narastają głównie na drobnych fragmentach skał magmowych, a tempo ich wzrostu wynosi 0,006–0,134 mm/rok (Szamałek i in., 2018). Porównywalne tempo wzrostu konkrecji (0,013–0,018 mm/rok) z polskiej wyłącznej strefy ekonomicznej przedstawili Glasby i in. (1997). Jest ono wyraźnie wolniejsze od tempa wzrostu konkrecji w Zatoce Fińskiej (8–9 mm/rok; Anufriev i Bołtenkov, 2007). Rosyjskie badania we wschodniej części Zatoki Fińskiej wskazują na zasobność konkrecyjną ok. 50–60 kg/m² (Ryabchuk i in., 2017). Ponadto Rosja przeprowadziła w latach 2006–2008 próbną eksploatację konkrecji w Zatoce Newskiej (wschodnia część Zatoki Fińskiej). Wydobyto wówczas ok. 60 tys. Mg konkrecji Fe-Mn i poddano je badaniom technologicznym w celu określenia możliwości pozyskiwania metali.

W przyszłości konkrecje bałtyckie z polskiego sektora Bałtyku mogą potencjalnie być źródłem metali. W porównaniu z konkrecjami z Zatoki Fińskiej mają zbliżone lub lekko podwyższone średnie zawartości niektórych metali (tab. 14.1). Niezbędne są dalsze badania w celu uściślenia lokalizacji pól konkrecyjnych o znaczeniu złożowym (konkrecyjność w kg/m², stopień pokrycia dna konkrecjami w %) i szczegółowego poznania zawartości składników metalicznych w konkrecjach.

Dno morza w sektorze rosyjskim w Zatoce Fińskiej jest pokryte większą liczbą konkrecji niż miejsca dotychczasowych badań konkrecji w polskim sektorze Bałtyku. Wykonanie w przyszłości badań w gęstszej siatce punktów opróbowania może zmienić dotychczasową wiedzę o konkrecyjności dna Bałtyku w pol-

Tab. 14.1. Średnia zawartość wybranych metali w konkrecjach z polskiej części Bałtyku (Szamalek i in., 2018) oraz z Zatoki Fińskiej (Ryabchuk i in. 2017)

Pochodzenie konkrecji	Ni [ppm]	Co [ppm]	Mo [ppm]	Cu [ppm]
Polski sektor Bałtyku – lokalizacja wg fig. 14.1	191,5	100,35	156,77	34
Zatoka Fińska – obszar niezaburzony	116	94	179	26,6
Zatoka Fińska – obszar wydobywania konkrecji	85	46,5	24	16

skim sektorze. Rosjanie na podstawie badań (Ryabchuk i in., 2017) wyróżnili kilka klas konkrecyjoności dna (z czego najbogatsza to 5–40 kg/m², a najuboższa <1 kg/m²). Zgodnie z obecnym stanem wiedzy można zakładać, że średnia konkrecyjoność perspektywicznych obszarów konkrecyjnych dna w polskim sektorze Bałtyku będzie zbliżona do 5–10 kg/m².

14.1.6. Węglowodory (Marcin Janas, Jolanta Paczeńska)

W rozdziale 7.1.5 wspomniano, że ropo-gazonośne utwory kambru występują zarówno na wyniesieniu Leby na lądzie, jak i na obszarze morskim RP (fig. 7.3, 14.2) w piaskowcowych utworach środkowego kambru formacji dębrowskiej.

Poszukiwania złóż ropy i gazu na tym obszarze zapoczątkowało międzynarodowe przedsiębiorstwo pod nazwą Wspólna Organizacja Poszukiwań Naftowych na Morzu Bałtyckim Petrobaltic. W latach 70. XX w. wykonano badania sejsmiczne (refleksyjne), grawimetryczne i magnetometryczne, w których wyniku uzyskano podstawowy rys tektoniczny obszaru południowego Bałtyku, wydzielono główne bloki tektoniczne oraz ustalono ogólny profil pokrywy osadowej prekambryjskiej platformy (kratonu wschodnioeuropejskiego). Prace wiertnicze w podmorskiej części basenu bałtyckiego rozpoczęto w 1980 r. (Żurawski, 1998).

W polskiej strefie ekonomicznej Bałtyku odkryto dotychczas 3 złoża ropy naftowej oraz 4 złoża gazu ziemnego i współwystępującego z nim kondensatu. Obecnie są eksploatowane dwa udokumentowane złoża ropy naftowej (i współwystępującego gazu ziemnego) – B 8 i B 3. Złoża gazu ziemnego B 4 i B 6 mają rozpoznane zasoby w kategorii C i są przygotowane do eksploatacji (Czapigo-Czapla, Brzeziński, 2019a). Pozostałe dwa złoża gazu ziemnego (B 16, B 21) oraz jedno ropy naftowej (B 34) pozostają niezagospodarowane. Ropa naftowa ze złóż bałtyckich jest ropą lekką z bardzo niską zawartością siarki i asfaltenów. Jest bogata w węglowodory frakcji benzynowej. Ropa naftowa z kilku otworów wykazuje cechy pośrednie między gazolinami i najlżejszymi ropami, co pozwala zaliczyć ją do kondensatów węglowodorowych. W składzie gazu ziemnego dominują metan (70–90%) i ciężkie węglowodory (6–25%), którym towarzyszą azot (poniżej 5%), dwutlenek węgla (do 2%) oraz śladowe ilości helu i argonu. Zawartość kondensatu w gazie ziemnym jest zmienna – od 100 g/m³ w gazach wysokometanowych do ponad 250 g/m³ w gazach o mniejszej zawartości metanu (Górecki, 2011b).

Wyniki badań akustycznych i geochemicznych osadów dennych pozwoliły wyznaczyć obszary o podwyższonej koncentracji węglowodorów, które mogą świadczyć o obecności nieodkrytych dotąd akumulacji złożowych w utworach kambru (Domżański i in., 2004; PIG-PIB..., 2008; Jaśniewicz i in., 2019).

Wyniesienie Leby pozostaje głównym obszarem poszukiwawczym złóż w utworach kambru środkowego. Na wyniesieniu Leby (blok B) i w jego bliskim sąsiedztwie (bloki A, C i D – zob. fig. 7.2) znajdują się liczne nierozwiercone struktury tektoniczne, które mogą stanowić potencjalne pułapki złożowe węglowodorów (Dadlez, 1998; Domżański i in., 2004; Kotarba, 2010b). Do dziś na polskich fragmentach bloków C i D nie odwiercono żadnego otworu wiertniczego, pomimo obecności złóż na tych blokach w obwodzie kaliningradzkim. Zwiększenie bazy surowcowej przez odkrycie nowych złóż w piaskowcach kambryjskich w polskiej wyłącznej strefie ekonomicznej Morza Bałtyckiego wydaje się zatem możliwe, choć według Witkowskiego (1990) będą to raczej złoża małe i średnie. Wymaga to prowadzenia prac poszukiwawczych o znacznym ryzyku i na skalę większą niż w ostatnim dziesięcioleciu.

Perspektywiczność morskiej części Pomorza Zachodniego, znajdującego się na południowy zachód od strefy T-T (fig. 14.2), oceniano w 2010 r. jako niską (Kotarba, 2010b). Ocena tego obszaru wynikała m.in. z negatywnych wyników 3 otworów wiertniczych (K1-1, K9-1, L2-1; Domżański i Mazurek A., 2003) wyko-

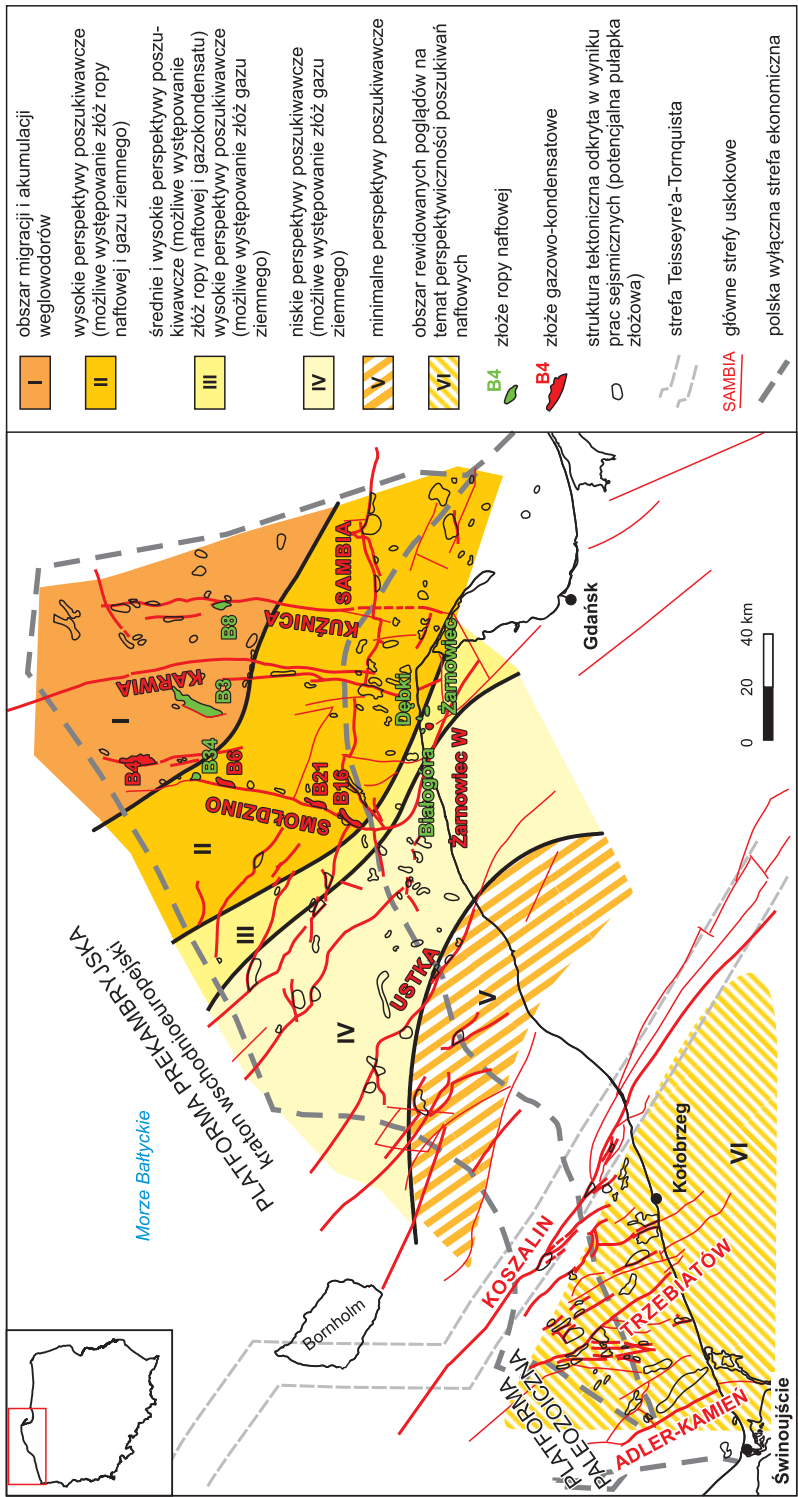


Fig. 14.2. Mapa perspektyw poszukiawczych ropy naftowej i gazu ziemnego w polskiej części regionu bałtyckiego (wg Kotarby, 2010b; nieznacznie zmodyf.). Przebieg uskoku i lokalizacja struktur tektonicznych stanowiących potencjalne pulapki złóżowe wg Pokorskiego (2010) oraz Domżańskiego i Mazurka A. (2003)

nanych na blokach tektonicznych Gryfic i Kołobrzegu w tej części akwenu, ale także z braku nowych odkryć na sąsiednim obszarze lądowym oraz z trudności z interpretacją skomplikowanej podcechsztyńskiej budowy geologicznej czy też z ograniczeń natury środowiskowej. W ostatnich latach Pomorze Zachodnie zaczęto postrzegać jako perspektywiczne dzięki nowym metodom obrazowania sejsmicznego (zob. rozdz. 7.1.5; Poprawa i in., 2018). Dzięki zastosowaniu badań sejsmicznych 3D w lądowej części Pomorza Zachodniego w skałach karbonu odkryto złożę Dargosław (PGNiG, 2016). Z kolei w południowej części strefy Koszalin–Chojnice, w rejonie Bajerza i Tucholi, odkryto w ostatnich latach nowe akumulacje ropy i gazu w skałach dewonu i dolomitu głównego (Orlen Upstream/ FX Energy, 2017). Wskazuje to na słuszność kontynuowania prac poszukiwawczych na obszarze morskim w przedłużeniu strefy Koszalin–Chojnice. Na Pomorzu Zachodnim przewiduje się zatem dalsze odkrycia złóż ropy i gazu w utworach dewonu, karbonu, czerwonego spągowca oraz dolomitu głównego.

15. POTENCJALNE OGRANICZENIA MOŻLIWOŚCI ZAGOSPODAROWANIA ZASOBÓW PERSPEKTYWICZNYCH

Olimpia Kozłowska

Do podstawowych czynników warunkujących rozwój i wzrost gospodarczy należą odkrycia złóż kopalnin, których wykorzystanie powinno być ekonomicznie uzasadnione oraz zoptymalizowane poprzez prowadzenie racjonalnej polityki surowcowej oraz zintegrowanej i konsekwentnej ochrony zasobów kopalnin, ściśle powiązanej z ochroną pozostałych zasobów środowiska naturalnego. W gospodarce surowcami mineralnymi uwzględnia się przede wszystkim zasoby udokumentowane w złożach, ale wobec wyczerpywania się i nieodnawialności surowców na znaczeniu zyskują obszary perspektywiczne i prognostyczne. Z powodu racjonalizacji wprowadzanej w gospodarowaniu surowcami mineralnymi należy się spodziewać pewnych utrudnień i ograniczeń w możliwości wykorzystania istniejącej bazy zasobowej kopalnin, zarówno udokumentowanych złóż, jak i obszarów perspektywicznych oraz prognostycznych. Równie istotnym czynnikiem silnie oddziałującym na możliwość wykorzystania zasobów kopalnin są uwarunkowania ekonomiczne, decydujące o rentowności wydobywania. Gospodarowanie surowcami wymaga zatem prakseologicznego podejścia, uwzględniającego szeroki wachlarz zagadnień i czynników przesądzających o możliwości wykorzystania istniejących zasobów kopalnin. Czynniki ograniczające zagospodarowanie zasobów perspektywicznych są bardzo różnorodne, zależą głównie od rodzaju kopaliny. Zasadniczymi determinantami mającymi wpływ na możliwość podjęcia wydobywania mogą być:

– **Czynniki ekonomiczno-geologiczne:**

- parametry jakościowe kopaliny, które mogą przesądzać o braku ekonomicznego uzasadnienia podjęcia eksploatacji;
- parametry geologiczno-górnictwa kopaliny, mogące podnosić koszty budowy zakładu górniczego (np. zbyt duża głębokość zalegania warstwy surowcowej, zmienność litofacyjna wykształcenia warstwy surowcowej itd.);
- możliwości finansowe inwestora, planującego rozpoczęcie działalności wydobywczej w odniesieniu do rzeczywistych warunków geologicznych występowania kopaliny;
- stopień rozpoznania geologicznego kopaliny występującej na danym obszarze perspektywicznym.

– **Czynniki formalno-prawne**, które mogą wynikać z trudności w uzyskaniu koncesji na wydobywanie kopaliny lub z własności gruntów znajdujących się w zasięgu eksploatacji.

– **Uwarunkowania infrastrukturalne**, wynikające z istniejącego i planowanego zagospodarowania przestrzennego, stanowiącego często powód do całkowitej rezygnacji z wykorzystania zasobów na obszarach perspektywicznych i prognostycznych.

– **Względy środowiskowe**, wynikające z szeroko pojętej ochrony powierzchni ziemi, pozostałych zasobów środowiska naturalnego, a także zabytków dziedzictwa kulturowego.

– **Aspekty społeczne** – obserwowana narastająca niechęć do inwestycji górniczych i brak akceptacji społeczności lokalnych.

– **Możliwości techniczne** – brak skutecznej i ekonomicznie uzasadnionej technologii wydobywania cennych surowców przy generujących dodatkowe koszty warunkach występowania warstw surowcowych (np. utrudnienia wynikające z wysokiej temperatury i ciśnienia w górotworze w głęboko zalegających pokładach węgla kamiennego w GZW).

Skala wpływu wymienionych czynników na ewentualną eksploatację kopalnin występujących na obszarach perspektywicznych decyduje o gospodarczym wykorzystaniu dostępnych zasobów kopalnin. Może o tym przesądzać kumulacja kilku negatywnych czynników, ale także pojedyncze uwarunkowanie silnie oddziałujące na podjęcie wydobywania (np. istniejąca infrastruktura, czy konieczność ochrony unikatowych obiektów przyrodniczych albo kulturowych). Przy uwzględnieniu analizy wpływu wszystkich wymienionych czynników zagospodarowanie dostępnych zasobów kopalnin na obszarach perspektywicznych i prognostycznych może być potencjalnie ograniczone lub w skrajnych przypadkach nawet wykluczone. Rezygnacja z wykorzystania części występujących zasobów perspektywicznych generuje konieczność waloryzacji wyznaczonych perspektyw i prognoz surowcowych oraz określenia stopnia ich kolizyjności z pozostałymi elementami środowiskowymi, infrastrukturalnymi czy społecznymi. Mimo że tematyka ta jest od wielu lat poruszana przez licznych autorów (Szamałek, 2011e; Nieć i Radwanek-Bąk, 2014; Wołkowicz S. i in., 2018b), nie opracowano dotąd ścisłych wytycznych czy norm określających zasady waloryzacji zasobów kopalnin, a jedyna obowiązująca formalnie skala konfliktowości w odniesieniu do udokumentowanych złóż została opracowana w PIG-PIB i zatwierdzona przez ministra środowiska w 2005 r. w formie instrukcji opracowania *Mapy Geośrodowiskowej Polski w skali 1:50 000 (Instrukcja..., 2005)*.

Istotnym problemem jest także stopień gradacji kolizyjności zagospodarowania zasobów kopalnin z pozostałymi elementami środowiska wymagającymi ochrony. Taka ocena była i jest przedmiotem wielu przeprowadzanych analiz i badań w zakresie zrównoważonego rozwoju, mających na celu ochronę zasobów

środowiska przyrodniczego ze szczególnym uwzględnieniem ochrony zasobów kopalin (Szamałek, 2011e; Kistowski, 2004; Kostka, 2014; Nieć i Radwanek-Bąk, 2014; Koźma, 2015; Sikorska-Maykowska i in., 2017; Wołkowicz S. i in., 2018b). Z przeprowadzonych badań wynika, że podstawą w określaniu kolizyjności eksploatacji kopalin i związanej z nią ochrony złóż jest ocena wzajemnych relacji przestrzennych potencjalnych obiektów górniczych z obiektami wymagającymi ochrony ze względów środowiskowych oraz ze sposobem użytkowania terenu. Wynikami takich ocen są waloryzacje kolizyjności czy konfliktowości obszarów występowania kopalin, które niekiedy budzą kontrowersje ze względu na to, że dobór uwzględnionych czynników oraz ich rang czy ewentualnych wag kolizyjności działalności górniczej z konkretnym czynnikiem środowiskowym jest często subiektywny i uzależniony od wiedzy, kierunku wykształcenia czy doświadczenia ekspertów dokonujących waloryzacji (Koźma, 2015).

W przypadku obszarów perspektywicznych dodatkową komplikację ich waloryzacji i ochrony stanowi brak regulacji formalno-prawnych w tym aspekcie. Pod względem prawnym problemem jest ochrona obszarów potencjalnej przyszłej eksploatacji przed zagospodarowaniem przestrzennym (zabudową), uniemożliwiającym gospodarcze ich wykorzystanie (Szamałek, 2011e). Nie ma regulacji prawnych zapewniających dostępność obszarów perspektywicznego i prognostycznego występowania kopalin dla eksploatacji złóż (Kostka, 2014). W efekcie znaczna część terenów zasobnych w kopalinę użyteczne staje się lub może się stać niedostępna bądź też dostęp do nich może być utrudniony. Doświadczenia ostatnich lat wskazują, że najbardziej kolizyjne dla działalności górniczej są nie tyle obszary Natura 2000, ile parki krajobrazowe oraz obszary chronionego krajobrazu. Wynika to z rozporządzeń ustanawiających te formy ochrony środowiska, w których określony jest bezpośredni zakaz eksploatacji kopalin (parki krajobrazowe) lub zakazy, które istotnie utrudniają odkrywkową działalność górniczą (obszary chronionego krajobrazu). Problem ten ze względu na bardzo duże pokrycie powierzchni Polski obszarami chronionymi jest szczególnie widoczny w województwach, w których udział zasobów w złożach zagospodarowanych i niezagospodarowanych, zasobów perspektywicznych i prognostycznych, jak również wydobycie kopalin w skali kraju jest znaczący (Kozioł i Machniak, 2013). Do czynników kolizyjnych zaliczyć także należy ochronę wód podziemnych przed eksploatacją zapisaną w dokumentacjach ustanawiających strefy ochronne uzdrowisk i ujęć wód czy strefy ochronne (zasilania) głównych zbiorników wód podziemnych (zał. 8).

W stosunku do ograniczeń wykorzystania perspektywicznych zasobów kopalin wymienionych w poprzednim *Bilansie* (2011) nie ma szczególnych zmian (tab. 15.1). Uwagę należy zwrócić na zasoby metanu z pokładów węgla kamiennego (MPW), ponieważ w tym przypadku zaszła zasadnicza ewolucja w ich znaczeniu, a tym samym w występowaniu ograniczeń możliwości wykorzystania jego zasobów. Zmiana ta wynika przede wszystkim z wykonanych w ostatnich latach prac badawczych, które wykazały, że przyjęte wówczas założenie o nieopłacalności wydobycia MPW ze względu na małą wydajność otworów eksploatacyjnych nie było słuszne. Ostatnie doświadczenia wykazały, że Polska dysponuje dużym potencjałem zasobowym tego surowca, szacowanym na około 230–250 mld m³ w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. Gaz ten nie jest eksploatowany w skali przemysłowej, a jego wydobycie niemal w całości ograniczone jest do ujmowania w trakcie eksploatacji węgla kamiennego i wynika z przepisów warunków bezpieczeństwa prowadzonych robót górniczych. W związku z intensyfikacją odmetanowania złóż, jaka nastąpiła w ostatnich latach, ilość ujmowanego i zagospodarowanego metanu jest coraz większa, co generuje potrzebę wzmocnienia działań wspomagających eksploatację węgla z pokładów metanowych, jak również ujęcie i wykorzystanie metanu. Metan z pokładów węgla może odegrać znaczącą rolę w procesie transformacji przemysłu węglowego w kontekście zarówno gospodarczym, jak i środowiskowym (Jureczka, 2017a, b).

Uogólnione zestawienie potencjalnych czynników mogących ograniczać możliwość wykorzystania perspektywicznych surowców poszczególnych rodzajów kopalin przedstawia tabela 15.1. Dla przeważającej większości wszystkich wyznaczonych obszarów perspektywicznych i prognostycznych występowania kopalin należy spodziewać się ograniczeń środowiskowych.

O ile czynniki ekonomiczne, geologiczne, środowiskowe i urbanistyczne mają często bezwzględny wpływ na utrudnienie lub uniemożliwienie wykorzystania zasobów z obszarów perspektywicznych, o tyle utrudnienia formalno-prawne polegające na wstrzymywaniu wydawania decyzji koncesyjnych na wydobycie mogą zminimalizować stopień ograniczenia możliwości eksploatacji zasobów w obszarach perspektywicznych. Zagadnienia te wymagają pilnych prac nad nowelizacją i uproszczeniem obowiązujących przepisów prawa w zakresie racjonalnego planowania i usprawnienia działań w sektorze wydobywczym, zaopatrującym wszystkie gałęzie przemysłu w surowce mineralne, będące tym samym gwarantem stabilności i bezpieczeństwa gospodarczego, ekonomicznego oraz politycznego kraju. W tym świetle należy podkreślić, że rolą państwa jest ochrona powierzchni nad złożami przed takim zagospodarowaniem, które utrudnia czy

Tab. 15.1. Zestawienie czynników mogących mieć wpływ na ograniczenie wykorzystania zasobów perspektywicznych kopalin

Podział kopalin w zależności od zastosowania	Rodzaje kopalin	Rodzaje ograniczeń
Kopaliny energetyczne	ropa naftowa i gaz ziemny, węgiel brunatny, węgiel kamienny, metan z pokładów węgla, uran	uwarunkowania geologiczno-górnicze, kolizyjność z czynnikami środowiskowymi i infrastrukturalnymi, uwarunkowania formalno-prawne, uwarunkowania ekonomiczne, uwarunkowania technologiczne, społeczna akceptacja tego rodzaju prac
Rudy metali	rudy miedzi i srebra, rudy cynku i ołowiu, rudy innych metali	ograniczony zakres posiadanej informacji geologicznej, zagrożenia ropno-gazowe (węglowodory, azot, hel – w przypadku rud miedzi i srebra), uwarunkowania geologiczno-górnicze, kolizyjność z czynnikami środowiskowymi i infrastrukturalnymi, uwarunkowania formalno-prawne, uwarunkowania ekonomiczne, uwarunkowania technologiczne, społeczna akceptacja tego rodzaju prac
Kopaliny chemiczne	baryt i fluoryt, siarka rodzima, sól kamienna i sole potasowo-magnezowe, fosforyty	uwarunkowania technologiczne, uwarunkowania ekonomiczne, kolizyjność z czynnikami środowiskowymi i infrastrukturalnymi, uwarunkowania geologiczne, uwarunkowania formalno-prawne
Kopaliny budowlane, drogowe i przemysłu cementowego	kopaliny ilaste ceramiki budowlanej, kruszywo naturalne piaskowo-żwirowe, wapienie i margle przemysłowe, gipsy i anhydryty, kamienie łamane i bloczne, kwarcyty i łupki kwarcytowe, piaski kwarcowe do produkcji betonów komórkowych i wyrobów wapienno-piaskowych oraz piaski podsadzkowe	uwarunkowania geologiczne (głównie jakość kopalin), kolizyjność z lokalnymi czynnikami środowiskowymi i infrastrukturalnymi, uwarunkowania formalno-prawne
Kopaliny przemysłu szklarskiego, ceramicznego i ogniotrwałego	piaski szklarskie, piaski formierskie, kwarc żyłowy, kopaliny skaleniowe, iły białe wypalające się, kamionkowe i ogniotrwałe, kaoliny, dolomity przemysłowe, magnezyty	kolizyjność z lokalnymi czynnikami środowiskowymi i infrastrukturalnymi, uwarunkowania geologiczne (głównie jakość kopalin i stan rozpoznania zasobów)
Inne kopaliny	skała diatomitowa, ziemia krzemionkowa, kopaliny bentonitowe i zeolitowo-bentonitowe, darniowe rudy żelaza, kreda jeziorna, bursztyn, torf, kopaliny przemysłu jubilerskiego, gazy	kolizyjność z lokalnymi czynnikami środowiskowymi i infrastrukturalnymi, uwarunkowania geologiczne (głównie jakość kopalin i stan rozpoznania zasobów)
Woda jako kopalina	wody lecznicze, mineralne i termalne	uwarunkowania środowiskowe, związane głównie z ochroną zasobów dyspozycyjnych
Kopaliny oceaniczne	polimetaliczne rudy siarczkowe, polimetaliczne konkracje, muły metalonośne, ropa naftowa i gaz ziemny, piaski metalonośne.	uwarunkowanie geologiczne (głównie stopień rozpoznania i głębokość występowania zasobów), uwarunkowania ekonomiczne, uwarunkowania technologiczne, uwarunkowania środowiskowe, uwarunkowania prawne

wręcz uniemożliwia ich eksploatację (Szamałek, 2011e). Dlatego też w skali kraju należy przedsięwziąć prace dotyczące ochrony zwaloryzowanych zasobów perspektywicznych i prognostycznych występowania kopalin. Priorytetowo powinny zostać opracowane i usankcjonowane proste kryteria służące do waloryzowania zarówno pod względem cenności, jak i dostępności wyznaczonych perspektywicznych i prognostycznych wystąpień kopalin.

Polska należy do krajów o wysokim geopotencjale i znacznych zasobach złóż kopalin. Dotyczy to zasobów zarówno udokumentowanych, jak i perspektywicznych.

Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski edycja 2020 zawiera wszystkie dostępne (nowe i uaktualnione) informacje o potencjale surowcowym naszego kraju. Obraz, jaki wyłania się z tych danych i informacji, jest bardzo zróżnicowany.

Część surowców ma udokumentowane zasoby złóż pozwalające na długotrwałą eksploatację zabezpieczającą krajowe potrzeby gospodarki (węgiel kamienny, węgiel brunatny, sól kamienna, siarka rodzima, kopaliny budowlane i skalne). Zasoby perspektywicznych złóż tych kopalin są także znaczne i mogą być po udokumentowaniu podstawą przyszłego zabezpieczenia surowcowego kraju. Część kopalin występuje w złożach, których zasoby wyczerpią się w ciągu kilku (rudę Zb-Pb) lub kilkudziesięciu lat (rudę Cu). Dla tych kopalin istnieją jednak potwierdzone perspektywy występowania złóż istotnych w skali międzynarodowej (rudę Cu, rudę Zn-Pb).

W przypadku węglowodorów aktualna i znana baza surowcowa jest bardzo ograniczona, a stopień zagospodarowania udokumentowanych złóż ropy i gazu jest bardzo wysoki. Nowe badawcze przesłanki złożowe dotyczące węglowodorów powinny być zweryfikowane w wyniku poszukiwań skoncentrowanych na głębokich partiach Karpat czy podłoża Morza Bałtyckiego. Wymagać to będzie zaangażowania znacznych nakładów finansowych, zastosowania nowoczesnych technik poszukiwawczych, specjalistycznych badań geofizycznych i geochemicznych. W związku z tym wysiłki badawcze państwowej służby geologicznej powinny się skoncentrować także na potencjalnych nowych złożach wielu typów (np. gazu zamkniętego).

Mineralny sektor surowcowy charakteryzuje się na świecie wysoką mobilnością, transferem technologii oraz przepływem kapitałów na poszukiwania i rozpoznawanie złóż. Wybór przez firmę miejsca i wysokości alokacji środków na projekty surowcowe poprzedzany jest bardzo staranną analizą geopotencjału określonego regionu czy kraju, ale także analizą klimatu inwestycyjnego i uwarunkowań prawno-ekonomicznych (zasad dostępu do złóż, własności złóż, systemu podatkowego, poziomu rozwoju gospodarczego, infrastruktury, stabilności politycznej). Zamiarem kierownictwa Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego oraz Autorów jest, aby *Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski* ukazał się także po raz pierwszy w wersji anglojęzycznej. Lektura anglojęzycznej wersji *Bilansu* ułatwi firmom surowcowym analizę polskiej bazy surowcowej i jej perspektyw. Powinno to prowadzić do zwiększenia zaangażowania zagranicznych inwestorów surowcowych w Polsce i do realizacji większej liczby projektów poszukiwawczych, a także górniczych. Istnieje wysokie prawdopodobieństwo, że się tak stanie, i wówczas zostanie osiągnięty jeden z ważnych celów, jaki przyświecał Autorom w trakcie przygotowywania tej monografii – promocja i rozwój polskiej geologii i górnictwa. Zwłaszcza że *Bilans* wydawany jest w ramach obchodów 100-lecia istnienia Państwowego Instytutu Geologicznego.

17. LITERATURA

- ADAMIAKOWSKI L., 1953 – Dokumentacja geologiczna złoża gipsu Dzierżysław. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. Dok/sl/ DIII/32 CUG].
- AKERMAN K., KRAJEWSKI J., 1959 – Studia nad selektywnym wzbogacaniem bałtyckich piasków cyrkononośnych, cz. II. *Przem. Chem.*, 8 (38): 486–492.
- ALDERTON D.H.M., SELBY D., KUCHA H., BLUNDELL D.J., 2016 – A multistage origin for Kupferschiefer mineralization. *Ore Geol. Rev.*, 79: 535–543.
- ALEKSANDROWSKI P., BULA Z., 2017 – Struktury późnopalaeozoiczne (waryscyjskie). [W:] Atlas geologiczny Polski (red. Nawrocki J., Becker A.): 43. PIG-PIB, Warszawa.
- ALEKSANDROWSKI P., MAZUR S., 2017 – O nowych rozwiązaniach tektonicznych w „Atlasie geologicznym Polski”. *Prz. Geol.*, 65 (12): 1499–1510.
- ALEXANDROWICZ S.W., GARLICKA A., RUTKOWSKI J., 1982 – Podstawowe jednostki litostratigraficzne miocenu zapadliska przedkarpackiego. *Kwart. Geol.*, 26 (2): 470–471.
- ALLAIS M., 1975 – Méthode d'évaluation des perspectives économiques de la recherche minière sur de grands espaces – Application au Sahara Algérien. Congrès du centenaire de la Société de l'industrie minière. *Recherche Minière*, Spec. no. 1R: 329–393.
- ALPERN B., LEMOS DE SOUSA M.J., FLORES D., 1989 – A progress report of the Alpern coal classification. [W:] Coal: classification, coalification, mineralogy, trace-element chemistry, and oil and gas potential (red. Lyons P.C., Alpern B.). *Int. J. Coal Geol.*, 13: 1–19.
- ANDREWS I.J., 2013 – The Carboniferous Bowland Shale gas study: geology and resource estimation. British Geological Survey for Department of Energy and Climate Change, London, UK.
- ANDREWS I.J., 2014 – The Jurassic shales of the Weald Basin: geology and shale oil and shale gas resource estimation. British Geological Survey for Department of Energy and Climate Change, London, UK.
- ANTONOWICZ L., IWANOWSKA E., JAMROZIK J., NOWICKA A., 1993 – Pochylone bloki/półrowy podłoża permu na obszarze antyklinorium i synklinorium pomorskiego – implikacje dla poszukiwań naftowych. *Prz. Geol.*, 41 (2): 71–74.
- ANTONOWICZ L., IWANOWSKA E., RENDAK A., 1994 – Tensional tectonics in the Pomeranian section of the T-T Zone and the implications for hydrocarbon exploration. *Geol. Quart.*, 38 (2): 289–306.
- ANTONOWICZ L., HOOPER R., IWANOWSKA E., 2003 – Synklina lubelska jako efekt cienkonaskórkowych deformacji waryscyjskich. *Prz. Geol.*, 51 (4): 344–350.
- ANUFRIEV G.S., BOLTENKOV B.S., 2007 – Ferromanganese nodules of the Baltic Sea: Composition, helium isotopes, and growth rate. *Lithol. Miner. Resour.*, 42 (3): 240–245.
- ARAL H., AKGÜL M., 1971 – Statistical prospecting of epigenetic ore deposits. *Bull. Min. Res. Exp. Inst. Turk.*, 76: 150–176.
- ARISTOW W.W., 1975 – Poiski twierdych poleznych iskopajemych. Niedra, Moskwa.
- ARISTOW W.W., LAHOW L.L., 1989 – Metodika okonturujania perspektywnych obiektów na prognoznym kartach i rozrzedach. *Izwestija Wysszich Uczebnych Zawiedienij. Geologija i Razwiedka*, 4: 48–58, 6: 76–84.
- ARNDT N., KESLER S., GANINO C., 2015 – Metals and society. An introduction to economic geology. Springer Mineralogy. Springer, b.m.
- AXELSSON G., GUNNLAUGSSON E., 2000 – Background: geothermal utilization, management and monitoring. [W:] Long-term monitoring of high- and low-enthalpy fields under exploitation: 3–10. WGC 2000 Short Courses, Japan.
- BACHLEDA-CURUŞ T., BURZEWSKI W., SEMYRKA R., 1992 – The regional synthesis of the petroleum generation in the mesozoic strata of the Polish lowlands. *Bull. Pol. Acad. Sciences. Earth Sciences*, 40 (4): 251–265.
- BACHOWSKI C., KUDELKO J., WIRTH H., 2011 – Baza krajowych zasobów złóż rud miedzi i perspektywy jej rozwoju. [W:] Geolodzy w służbie Polskiej Miedzi. Konferencja Środowiskowa Geologów, Lubin, 24 marca 2011 r. (red. Banaszak A. i in.): 91–106. Towarzystwo Konsultantów Polskich, Lubin.
- BAGDACH Z., LASKO S., 1989 – Technologia pozyskiwania ilmenitu, rutylu, cyrkonu i granatów z piasków morskich Ławicy Słupskiej i Odrzańskiej. *Technika i Gospodarka Morska*, 7 (452): 330–333.
- BAJOREK J., 1989 – Sprawozdanie z badań geologicznych diatomitów w rejonie Borek Nowy–Futoma. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 238/92].
- BAKALARZ-DOROPOWICZ M., 2011 – Dodatek Nr 5 do dokumentacji geologicznej złoża gipsów mioceńskich „Borków-Chwałowice” w kat. B+C₁+C₂. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 5172/2011].
- BAKIROV A.A. (red.), 1973 – Poszukiwanie i rozpoznawanie złóż ropy naftowej i gazu ziemnego. Wyd. Geol., Warszawa.
- BALAWAJDER J., 1987 – Dokumentacja wynikowa z badań ignimbrytów jako surowca skalenia potasowego w rejonie Bartnicy. Arch. PG Proxima S.A., Wrocław.
- BALCERZAK E., NEJBERT K., OLSZYŃSKI W., 1992 – Nowe dane o paragenezach kruszczowych w żyłach siarczków pierwotnych złoża Miedzianka (Góry Świętokrzyskie). *Prz. Geol.*, 40 (11): 659–663.
- BANAŚ M., 1965 – Przejawy mineralizacji w metamorfiku Śnieżnika Kłodzkiego. *Pr. Geol. Kom. Nauk Geol. PAN Oddz. w Krakowie*, 27: 7–82.
- BANAŚ M., PAULO A., PIEKARSKI K., 1972 – O mineralizacji miedziowej i molibdenowej w rejonie Mrzygłodu. *Rudy Met. Nieżel.*, 17: 3–7.
- BANAŚ M., KUCHA H., SALAMON W., 1976 – Występowanie niektórych metali towarzyszących w złożach rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej. *Prz. Geol.*, 24 (5): 240–246.
- BANAŚ M., KJEWski P., SALAMON W., PIECZONKA J., PIESTRZYŃSKI A., 2007a – Pierwiastki towarzyszące w złożu rud miedzi. [W:] Monografia KGHM Polska Miedź SA, wydanie II (red. Piestrzyński A. i in.): 214–228. Allexim, Wrocław.
- BANAŚ M., KJEWski P., SALAMON W., PIECZONKA J., PIESTRZYŃSKI A., 2007b – Pierwiastki towarzyszące w złożu rud miedzi – kobalt, nikiel. [W:] Monografia KGHM Polska Miedź SA, wydanie II (red. Piestrzyński A. i in.): 223. Allexim, Wrocław.
- BANAŚ M., KJEWski P., SALAMON W., PIECZONKA J., PIESTRZYŃSKI A., 2007c – Pierwiastki towarzyszące w złożu rud miedzi – ołów, cynk. [W:] Monografia KGHM Polska Miedź SA, wydanie II (red. Piestrzyński A. i in.): 219–221. Allexim, Wrocław.
- BARBACKA A., BUJAKOWSKI W., PAJĄK L., 2006 – Atlas zbiorników wód geotermalnych Małopolski. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- BARDI U., JAKOBI R., HETTIARACHCHI H., 2016 – Mineral resource depletion: a coming age of stockpiling? *BioPhys. Econ. Resour. Qual.*, 1 (1): 4.
- BAREJA E., 1974 – Wstępne wyniki badań geochemicznych dolnego ordowiku obniżenia podlaskiego. *Kwart. Geol.*, 18, (2): 246–256.
- BAREJA E., 1984 – Minerality uranu w utworach triasu synkliny perybałtyckiej. *Kwart. Geol.*, 28 (2): 353–366.

- BAREJA E., KUBICKI S., 1983 – Mineralizacja syenitów elckich w strefach przeobrażeń metasomatyczno-hydrotermalnych (NE Polska). *Kwart. Geol.*, 27 (2): 215–224.
- BAREJA E., JĘCZMYK M., KANASIEWICZ J., LIS J., MIECZNIK J.B., SALDAN M., 1982 – Pierwiastki promieniotwórcze w Sudetach. *Biul. Inst. Geol.*, 341: 259–272.
- BATURIN G.N., 1981 – Phosphorites on the sea floor: origin, composition and distribution: 24–50. Elsevier, New York.
- BĄBEL M., 1999 – Facies and depositional environments of the Nida gypsum deposits (Middle Miocene, Carpathian Foredeep, southern Poland). *Geol. Quart.*, 43 (4): 405–428.
- BĄBEL M., 2005 – Event stratigraphy of the Badenian selenite evaporites (Middle Miocene) of the northern Carpathian Foredeep. *Acta Geol. Pol.*, 55 (1): 9–29.
- BAK B., PRZENIOSŁO S. (red.), 1993 – Zasoby perspektywiczne kopalin Polski wg stanu na 31.XII.1990 r. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- BAK B., RADWANIEK-BAK B., SZELAĞ A., SZCZYGLIŃSKI W., 2017 – Gospodarka złożami kopalin ilastych ceramiki budowlanej w Polsce w ostatnim ćwierćwieczu. *Górn. Odkryw.*, 58 (3): 77–83.
- BECHTEL A., ELLIOTT W.C., WAMPLER J.M., OSZCZEPALSKI S., 1999 – Clay mineralogy, crystallinity and K-Ar ages of illites within the Polish Zechstein basin: implications for the age of Kupferschiefer mineralization. *Econ. Geol.*, 94 (2): 261–272.
- BECHTEL A., GRATZER R., PÜTTMANN W., OSZCZEPALSKI S., 2002 – Geochemical characteristics across the oxic/anoxic interface (Rote Fäule front) within the Kupferschiefer of the Lubin-Sieroszewice mining district (SW Poland). *Chem. Geol.*, 185 (1/2): 9–31.
- BENDERITTER Y., CORMY G., 1990 – Possible approach to geothermal research and relative costs. [W:] Small geothermal resources. A guide to development and utilization (red. Dickson M.H., Fanelli M.): 59–69. UNITAR, New York.
- BENKO M., 1961 – Dokumentacja geologiczna złoża barytu Jedlinka. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. Dok/st/DIV/21 CUG].
- BGR, 2019 – BGR Energy Study 2018 – Data and developments concerning German and global energy supplies. Federal Institute for Geo-sciences and Natural Resources, Hannover [https://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Energie/Downloads/energiestudie_2018_en.pdf?__blob=publicationFile&v=30].
- BIELICHENKO O., 2018 – Informacje o wydobyciu bursztynu na Ukrainie. *Bursztynisko*, 41: 64–65.
- BIELOWICZ B., KASIŃSKI J.R., 2014 – The possibility of underground gasification of lignite from Polish deposits. *Intern. Journal of Coal Geol.*, 131: 304–318.
- BIRKENMAJER-GERINGER Z., 1964 – Dokumentacja geologiczna złoża barytu w Głuszycy (pow. Wałbrzych, woj. wrocławskie, kat. C₁). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Oddz. Dolnośląski, Wrocław [nr kat. 4623/112].
- BJØRLYKKE K., 2010 – Introduction to Petroleum Geology. [W:] Petroleum geology. From sedimentary environments to rock physics (red. Bjørlykke K.): 1–26. Springer, Berlin.
- BLAJDA R., KUREK S., NIEĆ M., PRZENIOSŁO S., 2006 – Niezagospodarowane złoża rud cynku i ołowiu – ocena bazy zasobowej i możliwości jej zagospodarowania. [W:] Konferencja „Możliwość zagospodarowania złóż peryferyjnych rud Zn-Pb”. 26 stycznia 2006 r.: 47–59. ZGH Bolesław S.A.
- BLISS J.D., 1998 – Aggregate modeling and assessment. [W:] Aggregate resources: a global perspective (red. Bobrowsky P.T.): 255–274. Balkema, Rotterdam.
- BLUNDELL D.J., KARNKOWSKI P., ALDERTON D.H.M., OSZCZEPALSKI S., KUCHA H., 2003 – Copper mineralization of the Polish Kupferschiefer: a proposed basement fault-fracture system of fluid flow. *Econ. Geol.*, 98 (7): 1487–1495.
- BLASZAK M., 1978 – Karta rejestracyjna złoża bursztynów w Mońdzanowie koło Słupska. Inst. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 14183, nr. kat. 3123/146].
- BLASZAK M., 1987 – Bursztyn w osadach trzeciorzędowych w okolicy Mońdzanowa koło Słupska. *Biul. Inst. Geol.*, 356: 103–119.
- BLASZAK M., OLKOWICZ-PAPROCKA I., 1990 – Compact siliceous raw materials. [W:] Geology of Poland. Vol. VI. Mineral deposits (red. Osika R.): 235–239. Wyd. Geol., Warszawa.
- BLASZCZYŃSKI S., STEINHOFF J., ŚWIERKOT-KAPALA A., KURZYCA M., 1990 – Półtechniczna weryfikacja badań laboratoryjnych nad pozyskaniem minerałów ciężkich z piasku morskiego z Ławicy Odrzanej. *Fizykochem. Probl. Mineralurg.*, 23: 81–89.
- BOBIŃSKI W., BUJAKOWSKA K., GAWLIKOWSKA E., HRYBOWICZ G., KLONOWSKI M., LIS J., PASIECZNA A., WOJCIECHOWSKA K., WOŁKOWICZ S., 2004 – Objasnienia do Mapy Geośrodowiskowej Polski 1:50 000. Ark. Stronie Śląskie i Biela (934, 935). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- BOBROWSKY P.T., MANSON G.K., 1998 – Modeling sand and gravel deposits and aggregate resource potential. [W:] Aggregate resources: a global perspective (red. Bobrowsky P.T.): 231–253. Balkema, Rotterdam.
- BOGACZ A., SAWICKA K., SOKOŁOWSKI M., KWAŚNIEWSKA S., 2009 – Dodatek nr 1 do kompleksowej dokumentacji geologicznej złoża węgla brunatnego „Gubin” w kategorii B+C₁+C₂. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 3909/2009].
- BOHDANOWICZ K., 1927 – Zasoby mineralnych surowców w Polsce i wynikające z zależności od nich zagadnienia narodowej gospodarki. Druk. E. Mirek i S-ka, Dąbrowa Górnicza.
- BOJARSKI L. (red.), 1996 – Atlas hydrochemiczny i hydrodynamiczny paleozoiku i mezozoiku oraz ascenzyjnego zasolenia wód podziemnych na Niżu Polskim. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- BOJARSKI L., SADURSKI A., 2000 – Wody podziemne głębokich systemów krążenia na Niżu Polskim. *Prz. Geol.*, 48 (7): 587–595.
- BOJARSKI R., 1967 – Orzeczenie geologiczne z wiercen zwiadowczych za ziemią krzemionkową w rejonie Chełm-Rejowiec. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 37227, nr kat. 4436/191].
- BOLEWSKI A. (red.), 1977 – Surowce mineralne świata. Cyna – Sn. Wyd. Geol., Warszawa.
- BOLEWSKI A. (red.), 1979 – Surowce mineralne świata. Żelazo – Fe. Wyd. Geol., Warszawa.
- BOLEWSKI A., GRUSZCZYK H. (red.), 1986 – Zasoby perspektywiczne kopalin Polski (stan na 1981-01-01). Inst. Geol., Warszawa.
- BOLEWSKI A., GRUSZCZYK H. (oprac. przy udziale Gruszczyka E.), 1989 – Geologia gospodarcza. Wyd. Geol., Warszawa.
- BOLEWSKI A., GRUSZCZYK H., GRUSZCZYK E., 1990 – Zarys gospodarki surowcami mineralnymi. Wyd. Geol., Warszawa.
- BOLEWSKI A., BUDKIEWICZ M., WYSZOMIRSKI P., 1991 – Surowce ceramiczne. Wyd. Geol., Warszawa.
- BONHAM-CARTER G.F., 1989 – Comparison of image analysis and geographic information system for integrating geoscientific maps. [W:] Statistical application in the Earth Sciences (red. Agterberg F.P. i in.). Geol. Surv. of Canada, Paper 89-9: 141–155.
- BONHAM-CARTER G.F., 1994 – Geographic information system for geoscientists: modelling with GIS. Pergamon, New York.
- BOŃDA R., 2019a – Skala diatomitowa. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szuflicki M. i in.): 75–76. PIG-PIB, Warszawa.

- BOŃDA R., 2019b – Ziemia krzemionkowa. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szuflicki M. i in.): 83. PIG-PIB, Warszawa.
- BOŃDA R., 2019c – Baryt i fluoryt. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szuflicki M. i in.): 69–70. PIG-PIB, Warszawa.
- BOŃDA R., 2019d – Siarka. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szuflicki M. i in.): 72–74. PIG-PIB, Warszawa.
- BORCZ A., KOZIOL W., 2015 – Systemy maszynowe w górnictwie odkrywkowym. Cz. 1. Maszyny w górnictwie polskim. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*, 4 (61): 102–107.
- BORCZ A., KOZIOL W., 2016 – Systemy maszynowe w górnictwie odkrywkowym. Cz. 2. Maszyny w górnictwie światowym. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*, 1 (64): 56–61.
- BOREK Z., 1975 – Sprawozdanie z prac penetracyjnych za złożem kwarcu żyłowego w rejonie Morawy. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 20191, nr kat. 4523/575].
- BORG G., PIETRZYŃSKI A., BACHMANN G.H., PÜTTMANN W., WALTHER S., FIEDLER M., 2012 – An overview of the European Kupferschiefer deposits. *Econ. Geol. Spec. Publ.*, 16: 455–486.
- BOSSOWSKI A., 1982 – Rudy miedzi. [W:] Zasoby perspektywiczne kopalin Polski: 153–206. Wyd. Geol., Warszawa.
- BOSSOWSKI A., 1986 – Rudy miedzi – zasoby perspektywiczne. [W:] Zasoby perspektywiczne kopalin Polski (stan na 1981-01-01) (red. Bolewski A., Gruszczak H.): 161–173. Inst. Geol., Warszawa.
- BOSSOWSKI A., 1992 – Ocena zasobów perspektywicznych kopalin Polski wg stanu na 01.01.1991 r. Surowce energetyczne: Węgiel kamienny DZW. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Oddz. Dolnośląski, Wrocław [nr inw. 3405/3391, nr kat. DS 396].
- BOSSOWSKI A., IHNATOWICZ A. (red.), 2006 – Atlas geologiczny Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- BOSSOWSKI A., BAŁAZIŃSKA J., CZERSKI M., SZYMAŃSKA D., KURALOWA K., KOSSOWSKA I., WAŻNY H., JAWORSKA Z., JERZYKIEWICZ J., SENKOWICZOWA H., STYK O., WOSZCZYŃSKA S., 1982 – Poszukiwanie złóż rud miedzi na pograniczu synklinorium północnosudeckiego i perykliny Żar. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 45879, nr kat. 62/177].
- BOSSOWSKI A., IHNATOWICZ A., OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., 1998 – Ocena jakości cechsztyńskiej mineralizacji kruszcowej w obszarach perspektywicznych wraz z programem prac geologicznych i wstępną koncepcją zagospodarowania. Etap 1 – ocena mineralizacji rejonu Nowin. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 3634, nr kat. 4320/78].
- BOTOR D., 2012 – System naftowy karbon-czerwony spągowiec w niemiecko-holenderskiej części basenu – implikacje dla poszukiwań złóż gazu ziemnego w polskiej części basenu czerwonego spągowca. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 448 (1): 159–168.
- BOTOR D., KOTARBA M., KOSAKOWSKI P., 2002 – Petroleum generation in the Carboniferous strata of the Lublin Trough (Poland): an integrated geochemical and numerical modelling approach. *Org. Geochem.*, 33 (4): 461–476.
- BOTOR D., PAPIERNIK B., MAĆKOWSKI T., REICHER B., KOSAKOWSKI P., MACHOWSKI G., GÓRECKI W., 2013 – Gas generation in the Carboniferous source rocks of the Variscan and their foreland: implications for a charge history of natural gases of the Rotliegend deposits. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 83 (4): 353–383.
- BOWEN R., GUNATILAKA A., 1977 – Copper: its geology and economics. Applied Science Publishers Ltd., London.
- BRAŃKA S., 2009 – Ekonomiczne uwarunkowania lokalizacji podziemnych magazynów gazu na przykładzie Polski. *Geologia*, 35 (3): 447–459.
- BRAŃKA S., JAWOR E., LANKOF L., MACIEJEWSKI A., MAZUR M., NEY R., PISIEWICZ T., ROGOWSKA E., ŚLI-ZOWSKI J., ŚLI-ZOWSKI K., URBAN-CZYK K., WIŚNIEWSKA M., 2006 – Ocena możliwości magazynowania substancji w złożach soli kamiennej – synteza. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [715/2006].
- BRAŃSKI P., 2011a – Darniowe rudy żelaza. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkowicz S. i in.): 241–243. PIG-PIB, Warszawa.
- BRAŃSKI P., 2011b – Kopaliny bentonitowe i zeolitowo-bentonitowe. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkowicz S. i in.): 238–240. PIG-PIB, Warszawa.
- BRAŃSKI P., 2011c – Kopaliny ilaste ceramiki budowlanej. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkowicz S. i in.): 143–153. PIG-PIB, Warszawa.
- BRAŃSKI P., SZCZYGIELSKI W., 2002 – Zróżnicowanie jakości kopalin ilastych ceramiki budowlanej w Polsce. *Prz. Geol.*, 50 (11): 1048–1052.
- BROMOWICZ J., 1994 – Kamienie boczne Polski. [W:] IV Konferencja Aktualia i Perspektywy Gospodarki Surowcami Mineralnymi. Zakopane, 5–7 października 1994. CPPGSMiE PAN, Symp. i Konf., 14: 1–15, Kraków.
- BROMOWICZ J., KARWACKI A., 1981 – Boczności złóż materiałów kamiennych. *Kwart. Geologia*, 7: 87–97.
- BROMOWICZ J., KARWACKI A., 2002 – Dekoracyjność kamienia naturalnego (próba standaryzacji). *Górn. Odkryw.*, 44 (5/6): 9–17.
- BROMOWICZ J., FIGARSKA-WARCHOL B., KARWACKI A., KOLASA A., MAGIERA J., REMBIŚ M., SMOLEŃSKA A., STAŃCZAK G., 2005 – Właściwości fizyczno-mechaniczne kopalin w polskich złożach kamieni budowlanych i drogowych. *Pr. Nauk. Inst. Gór. Polit. Wrocł.*, Konf., 109: 13–24.
- BROWNFIELD M.E., SCHENK C.J., CHARPENTIER R.R., KLETT T.R., PITMAN J.K., TENNYSON M.E., GASWIRTH S.B., MERCIER T.J., LE P.A., LEATHERS H.M., 2015 – Assessment of undiscovered conventional and continuous oil and gas resources of the Baltic Depression Province, 2014. USGS Fact Sheet, 2015-3015.
- BROŻYNA A., KOZIOL W., 2014 – Prognozy wyczerpywania bazy zasobów kopalin – teoria i praktyka. *Prz. Gór.*, 70(4): 86–89.
- BRZEZIŃSKI D., 2019a – Krzemienie. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szuflicki M. i in.): 131. PIG-PIB, Warszawa.
- BRZEZIŃSKI D., 2019b – Wapienie i margle dla przemysłu cementowego i wapienniczego. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szuflicki M. i in.): 464–472. PIG-PIB, Warszawa.
- BRZEZIŃSKI D., 2019c – Bentonity i ily bentonitowe. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szuflicki M. i in.): 84–85. PIG-PIB, Warszawa.
- BRZEZIŃSKI D., MIŚKIEWICZ W., 2019 – Kamienie łamane i boczne. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szuflicki M. i in.): 100–122. PIG-PIB, Warszawa.
- BRZEZIŃSKI D., SZAMALEK K., 2019 – Bursztyn. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szuflicki M. i in.): 86–88. PIG-PIB, Warszawa.

- BUJAKOWSKA K., PARECKI A., 2004 – Dokumentacja geologiczna złoża bursztynu Górka Lubartowska w kategorii D. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 609/2005].
- BUKOWSKI K., 1997 – Zawartość bromu w solach kamiennych Bochni. *Prz. Geol.*, 45 (8): 819–821.
- BUKOWSKI K., CZAPOWSKI G., GAŚIEWICZ A., KASPRZYK A., PERYT T.M., SZTROMWASSER E., 1999 – Atlas surowców chemicznych Polski w skali 1:500 000. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 1913/99].
- BULĄ J. (red.), 2002 – Atlas geologiczny paleozoiku bez permu w strefie kontaktu bloków górnośląskiego i małopolskiego. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- BUNIAK A., KUBERSKA M., KIERSNOWSKI H., 2009 – Petrograficzno-petrofizyczna charakterystyka piaskowców eolicznych strefy Siekierki – Winna Góra (koło Poznania) w aspekcie poszukiwań złóż gazu zamkniętego w osadach czerwonego spągowca. *Prz. Geol.*, 57 (4): 328–334.
- BURKOWICZ A., 2015a – Piaski do produkcji wyrobów wapienno-piaskowych i betonów komórkowych. [W:] Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 2013 (red. Smakowski T. i in.): 723–727. IGSMiE PAN, Kraków, PIG-PIB, Warszawa.
- BURKOWICZ A., 2015c – Cement. [W:] Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 2013 (red. Smakowski T. i in.): 161–183. IGSMiE PAN, Kraków, PIG-PIB, Warszawa.
- BURKOWICZ A., 2015b – Piaski podsadzkowe. [W:] Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 2013 (red. Smakowski T. i in.): 729–732. IGSMiE PAN, Kraków, PIG-PIB, Warszawa.
- BURKOWICZ A., 2015d – Piaski przemysłowe. [W:] Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 2013 (red. Smakowski T. i in.): 733–741. IGSMiE PAN, Kraków, PIG-PIB, Warszawa.
- BURKOWICZ A., GAŁOS K., 2015 – Piaski szklarskie. [W:] Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 2013 (red. Smakowski T. i in.): 743–754. IGSMiE PAN, Kraków, PIG-PIB, Warszawa.
- BURLIGA S., CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., WACHOWIAK J., 2007 – Morze Martwe 2006. Wyprawa naukowa Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Węglowego, 27 maja–4 czerwca 2006. *Gosp. Sur. Min.*, 23 (1): 215–224.
- BURZEWSKI W., BACHLEDA-CURUŚ T., SEMYRKA R., 1990 – Potencjał węglowodorowy synklinorium mogileńsko-lódzkiego w strefie Przybyłowa. *Nafta*, 46 (1–3): 1–8.
- BURZEWSKI W., KOTARBA M., BOTOR D., KOSAKOWSKI P., SŁUPCZYŃSKI K., 1998 – Modelowanie procesów generowania i ekspulsji węglowodorów w utworach młodszego paleozoiku obszaru radomsko-lubelskiego i pomorskiego. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 165: 273–284.
- BURZEWSKI W., GÓRECKI W., MAĆKOWSKI T., PAPIERNIK B., REICHER B., 2009 – Zasoby prognostyczne – nieodkryty potencjał gazu ziemnego w Polskim basenie czerwonego spągowca. *Geologia*, 35 (2/1): 123–128.
- CAŁA M., KASZTELEWICZ Z., TAJDUŚ A., 2012 – Węgiel kamienny i węgiel brunatny. [W:] Zarys stanu i perspektyw energetyki polskiej. Studium Akademii Górniczo-Hutniczej (red. Jeleń K., Cała M.): 19–111. Wyd. AGH, Kraków.
- CALUS-MOSZKO J., BIAŁECKA B., 2012 – Potencjał i zasoby metali ziem rzadkich w świecie oraz w Polsce. Artykuł przeglądowy. *Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko*, nr 4.
- CARTEN R.B., WHITE W.H., STEIN H.J., 1993 – High-grade granite-related molybdenum systems: classification and origin. *Geol. Assoc. Canada, Spec. Pap.*, 40: 521–554.
- CASTELLUCCIO A., MAZZOLI S., ANDREUCCI B., JANKOWSKI L., SZANIAWSKI R., ZATTIN M., 2016 – Building and exhumation of the Western Carpathians: new constraints from sequentially restored, balanced cross sections integrated with low-temperature thermochronometry. *Tectonics*, 35 (11): 2698–2733.
- CATHLES III L.M., OSZCZEPALSKI S., JOWETT E.C., 1993 – Mass balance evaluation of the late diagenetic hypothesis for Kupferschiefer Cu mineralization in the Lubin basin of southwestern Poland. *Econ. Geol.*, 88 (4): 948–956.
- CHAFFEE M.A., EPPINGER R.G., LASON K., ŚLÓSZARZ J., PODEMSKI M., 1994 – The Myszków porphyry copper-molybdenum deposit. Poland. *Intern. Geol. Rev.*, 36 (10): 947–960.
- CHAJEC W., 1966 – Kompleksowe wykorzystanie solanek jodkowo-bromkowych na przykładzie złóż Dębówka k. Skoczowa oraz Łąpczyck k. Bochni. *Zesz. Nauk. AGH*, 139 (11): 413–428.
- CHARLIER B., NAMUR O., BOLLE O., LATYPOV R., DUCHESNE J.-C., 2015 – Fe-Ti-V-P ore deposits associated with Proterozoic mafic-type anorthositic and related rocks. *Earth-Science Rev.*, 141: 56–81.
- CHMIEL J., 1971 – Dokumentacja geologiczna złoża diatomitów „Leszczawka” w kat. C₂. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 12152 CVG].
- CHMIELEWSKI A., 2011 – Zmienność mineralizacji kruszcowej w spągowych utworach cechsztynu na granicy strefy utlenionej i redukcyjnej w zachodniej części złoża Polkowice. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 444: 33–45.
- CHMIELEWSKI A., 2012 – Strukturalne i teksturalne cechy wtórnej mineralizacji dolnocechsztyńskiej w południowo-zachodnim rejonie perykliny Zar. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 448 (2): 333–344.
- CHMIELEWSKI A., OSZCZEPALSKI S., 2013 – Litologia, petrografia i cechsztyńska mineralizacja kruszcowa w wybranych profilach wiertniczych z rejonu Szamotuł, Nowego Tomyśla, Grodziska Wielkopolskiego, Wolsztyna i Kolska. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 346/2014].
- CHMIELEWSKI A., 2014 – Charakterystyka reliktywnej mineralizacji kruszcowej w zachodniej części obszaru złożowego Radwanice (południowo-zachodnia część złoża Lubin-Sieroszowice). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 458: 1–24.
- CHMIELEWSKI A., OSZCZEPALSKI S., 2015 – Szczegółowe badania petrograficzne dolnocechsztyńskiej mineralizacji kruszcowej w sąsiedztwie wyniesienia wolsztyńskiego. *Arch. Zakł. Sur. Min. Kop. Energ.* PIG-PIB, Warszawa.
- CHMIELEWSKI A., OSZCZEPALSKI S., SPECZIK S., 2015 – Relict mineralization in the transition zone, Kupferschiefer series of SW Poland. [W:] Mineral resources in a sustainable world. Proceedings of the 13th Biennial SGA Meeting, 24–27 August 2015, Nancy, France. Vol. 5 (red. Andre-Mayer A.S. i in.): 1897–1900. b.w., France.
- CHMIELEWSKI T., 1998 – Odkrywanie złota i platynowców z rudy pozabilansowej LGOM na drodze ługowania cyjankowego. *Fizykochem. Probl. Mineralurg.*, 32: 43–56.
- CHOWANIEC J., 2009 – Studium hydrogeologii zachodniej części Karpat polskich. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 434.
- CHOWANIEC J., 2007 – Niecka podhalańska – najbardziej perspektywiczny zbiornik wód termalnych w Polskich Karpatach. [W:] Współczesne Problemy Hydrogeologii, 13 (red. Szczepański A. i in.). WGGIOŚ AGH, Kraków.
- CHOWANIEC J., 2013 – Obieg wody w skali regionalnej Tatr i Podhala ze szczególnym uwzględnieniem fazy podziemnej. [W:] Z badań hydrogeologicznych w Tatrach (red. Pocias-Karteczka J.): 63–70. Tatrzański Park Narodowy, Zakopane.

- CHROMIK M., 2015 – Możliwości magazynowania energii elektrycznej w soli kamiennej w postaci wodoru w regionie nadbałtyckim. *Prz. Solny*, 11: 44–50.
- CHROMIK M., 2016 – Koncepcja magazynowania nadwyżek energii elektrycznej w postaci wodoru w kavernach w złożach soli kamiennej w Polsce – wstępne informacje. *Prz. Solny*, 12: 11–18.
- CIEMNIEWSKA M., CZEMIER-KOWALSKA M., LINDNER M., SAŁACIŃSKI R., 1981 – Ultramafity Masywu Gogolów-Jordanów i ich prognozy surowcowe. *Biul. Inst. Geol.*, 330 (5): 89–135.
- CIUK E., 1986 – Węgiel brunatny. [W:] Zasoby perspektywiczne kopalin Polski (stan na 1981-01-01) (red. Bolewski A., Gruszczczyk H.): 63–92. Inst. Geol., Warszawa.
- CIUK E., PIWOŃKI M., 1990 – Map of Brown Coal Deposits and Prospect Areas in Poland, 1:500 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- COPPOLA V., BONI M., GILG A., STRZELSKA-SMAKOWSKA B., 2009 – Nonsulfide zinc deosits in the Silesia-Cracow district, Southern Poland. *Mineral. Deposita*, 44 (5): 559–580.
- COX D.P., 1993 – Estimation of undiscovered deposits in quantitative resources assessments – Examples from Venezuela and Puerto Rico. *Nonrenewable Res.*, 2 (2): 82–91.
- COX D.P., SINGER D.A. (red.), 1986 – Mineral deposits models. *USGS Bull.*, 1693: 73–122.
- COX D.P., SINGER D.A., 1992 – Grade and tonnage model of distal disseminated Ag-Au. [W:] Developments in deposit modeling (red. Bliss J.D.). *USGS Bull.*, 2004: 20–22.
- COX D.P., SINGER D.A., 2007 – Descriptive and grade-tonnage models and database for iron oxide Cu-Au deposits. USGS Open-File Report, 2007-1155.
- COX D.P., LINDSEY D.A., SINGER D.A., MORING B.C., DIGGLES M.F., 2007 – Sediment-hosted copper deposits of the world: deposit models and database. USGS Open-File Report, 03-107, Ver. 1.3, 2003, revised 2007.
- CRAVERO F., MAIZA P.J., MARFIL S.A., 2012 – Halloysite in Argentinian deposits: origin and textural constraints. *Clay Minerals*, 47: 329–340.
- CRONAN D.S. (red.), 2000 – Handbook of marine minerals deposits. CRC Press, Boca Raton.
- CWOJDZIŃSKI S., NIEĆ M., BOSSOWSKI A., MICHNIEWICZ M., MIKULSKI S., MOCHNACKA K., MYDŁOWSKI A., OSZCZEPALSKI S., PACUŁA J., PAULO A., PETECKI Z., SROGA C., STACHOWIAK A., WOJCIECHOWSKI A., BIEL A., IWANIEC E., 2008 – Ocena perspektyw występowania złóż rud metali w Sudetach i na bloku przedsudeckim w nawiązaniu do aktualnych modeli geotektonicznych. *Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Oddz. Dolnośląski, Wrocław* [nr inw. 13/2010].
- CYMERMAN Z., 2004 – Prekambr platformy wschodnioeuropejskiej na obszarze Polski: tektonika i rozwój skorupy. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 180.
- CZAPIGO-CZAPŁA M., BRZEZIŃSKI D., 2019a – Gaz ziemny. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szuflicki M. i in.): 11–22. PIG-PIB, Warszawa.
- CZAPIGO-CZAPŁA M., BRZEZIŃSKI D., 2019b – Ropa naftowa. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szuflicki M. i in.): 28–33. PIG-PIB, Warszawa.
- CZAPOWSKI G., 2017 – Potencjał zasobowy soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych obszaru przedsudeckiego. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 469: 105–128.
- CZAPOWSKI G., 2019a – Sól kamienna. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szuflicki M. i in.): 79–81. PIG-PIB, Warszawa.
- CZAPOWSKI G., 2019b – Sole potasowo-magnezowe. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szuflicki M. i in.): 77–78. PIG-PIB, Warszawa.
- CZAPOWSKI G., 2019c – Gips i anhydryt. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szuflicki M. i in.): 91–92. PIG-PIB, Warszawa.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., 2009 – Złoża soli w Polsce: stan aktualny i perspektywy zagospodarowania. *Prz. Geol.*, 57 (9): 798–811.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., 2010 – Geology and resources of salt deposits in Poland: the state of the art. *Geol. Quart.*, 54 (4): 509–518.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., 2011 – Sól kamienna i sole potasowo-magnezowe. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkowicz S. i in.): 133–142. PIG-PIB, Warszawa.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., 2012 – Salt resources in Poland at the beginning of XXI century. *Geol., Geoph. Environ.*, 38 (2): 189–208.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., 2013 – Potencjał zasobowy soli kamiennej i soli potasowych w Polsce a perspektywy jego wykorzystania. *Górn. Odkryw.*, 54 (2): 74–84.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., 2015 – Mapy wystąpień zasobów perspektywicznych soli w Polsce jako narzędzie w projektowaniu przyszłego zagospodarowania złóż kopalin. *Prz. Solny*, 11: 5–31.
- CZAPOWSKI G., TARKOWSKI R., 2018 – Uwarunkowania geologiczne wybranych wydajów solnych w Polsce i ich przydatność dla budowy kavern do magazynowania wodoru. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 472: 53–82.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., 2012 – Stan rozpoznania geologicznego struktur solnych regionu szczecińskiego pod kątem oceny możliwości budowy w ich obrębie kavernowych magazynów i składowisk. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 448 (1): 145–156.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., GIENTKA M., 2008a – Aktualny stan rozpoznania geologicznego złóż soli kamiennej w Polsce. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 42: 27–36.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., TOMASSI-MORAWIEC H., POBORSKA-MLYNARSKA K., 2008b – Kopalne i współczesne ewaporaty Sycylii. II wyprawa naukowa Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego „SYCYLIA 2007”. *Gosp. Sur. Min. Energ.*, 24 (3/2): 313–319.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., CHEŁMIŃSKI J., TOMASZCZYK M., 2008c – Stopień rozpoznania i perspektywy zagospodarowania cechszczyńskich złóż soli w rejonie Zatoki Gdańskiej. *Górn. Odkryw.*, 49/2 (2/3): 47–55.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., GĄSIEWICZ A., SADŁOWSKA K., 2015 – Obszary perspektywicznych wystąpień i zasoby przewidywane surowców chemicznych Polski na mapach w skali 1:200 000 – sól kamienna, sole potasowo-magnezowe i siarka. *Prz. Geol.*, 63 (9): 561–571.
- CZECHOWSKI J., 2015 – Przemysł materiałów ogniotrwałych na świecie i w Polsce – stan i kierunki rozwoju. *Mat. Ceram.*, 67 (3): 337–341.

- CZEKAŃSKI E., KWOLEK K., MIKOŁAJEWSKI Z., 2010 – Złoża węglowodorów w utworach cechsztyńskiego dolomitu głównego (Ca2) na bloku Gorzowa. *Prz. Geol.*, 58 (8): 69–703.
- DADLEZ R., 1993 – Pre-Cenozoic tectonic of the southern Baltic Sea. *Geol. Quart.*, 37 (3): 431–450.
- DADLEZ R., 1998 – Rola uskoków w tektonice wschodniej części Polskiego Akwenu Bałtyku. [W:] Rola regionalnych stref dyslokacyjnych w procesie tworzenia złóż węglowodorów na bloku Leby. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 2951/98].
- DADLEZ R., 2001 – Przekroje geologiczne przez bruzdę śródpolską: 200 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- DADLEZ R., MAREK S., POKORSKI J. (red.), 2000 – Mapa geologiczna Polski bez utworów kenozoiku 1:1000 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- DAHLKAMP F.J., 1979 – Classification of uranium deposits. *Mineral. Deposita*, 13: 83–104.
- DE GEOFFROY J.G., WIGNALL T.K., 1986 – Designing optimal strategies for mineral exploration. Plenum Press, New York.
- DEPOWSKI S., PERYT T.M., 1985 – Carbonate petroleum reservoirs in the Permian dolomites of the Zechstein, Fore-Sudetic area, western Poland. [W:] Carbonate Petroleum Reservoirs (red. Roehl P.O., Choquette P.W.): 251–264. Springer, New York.
- DEPOWSKI S., KOTLIŃSKI R., RÜHLE E., SZAMALEK K., 1998 – Surowce mineralne mórz i oceanów. Wyd. Nauk. Scholar, Warszawa.
- DEVERLE P.H., 1969 – Alaska's base and precious metals resources; a probabilistic regional appraisal. *Q. Col. Sch. Mines*, 64 (3): 295–328.
- DĘBOWSKA U., 2004 – Wybrane problemy tektoniki i mineralizacji skał dewonu w zachodniej części antykliny chełmińskiej: Góra Miedzianka, Góry Świętokrzyskie. *Prz. Geol.*, 59 (9): 920–926.
- Dolina Nidy (autor nieokreślony, 1951). Dokumentacja złoża gipsu Wiślica-Kobylniki [niezatwierdzona] (2015). *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [Inw. Dok/tj/DIII/6 CUG].
- DOMAGAŁA M., MATL K., 1975 – Utwory trzeciorzędu przewiercone w rejonie Karwi nad Bałtykiem. *Spraw. Pos. Kom. Nauk. PAN, Oddz. Kraków*, 18/2: 516–518.
- DOMŻAŁSKI J., MAZUREK A., 2003 – Petrobaltic – dzisiaj. *Prz. Geol.*, 51 (9): 791–793.
- DOMŻAŁSKI J., GÓRECKI W., MAZUREK A., MYŚKO A., STRZETELSKI W., SZAMALEK K., 2004 – The prospects for petroleum exploration in the eastern sector of Southern Baltic as revealed by sea bottom geochemical survey correlated with seismic data. *Prz. Geol.*, 52 (8/2): 792–799.
- DONG Z., HOLDITCH S.A., AYERS W.B., LEE W.J., 2015 – Probabilistic estimate of global coalbed methane recoverable resources. *SPE Economics and Management*, 7 (04): 148–156.
- DOWGIAŁŁO J., 1971 – Studium genezy wód zmineralizowanych w utworach mezozoicznych Polski północnej. *Biul. Geol.*, 13: 133–219.
- DOWGIAŁŁO J., 2004 – Therapeutic waters in the Polish geological and mining law. *Environ. Geol.*, 46 (5): 643–645.
- DOWGIAŁŁO J., KARSKI A., POTOCKI I., 1969 – Geologia surowców balneologicznych. Wyd. Geol., Warszawa.
- DOWGIAŁŁO J., KLECZKOWSKI A.S., MACIOSZCZYK T., RÓZKOWSKI A. (red.), 2002 – Słownik hydrogeologiczny. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- DREW L.J., MENZIE W.D., 1993 – Is there a metric for mineral deposit occurrence probabilities? *Nonrenewable Res.*, 2 (2): 92–105.
- DUBIŃSKA E., 1995 – Zróżnicowanie materiału wyjściowego zwietrzliny a rozwój laterytowych rud niklu. [W:] Przewodnik LXVI Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego (red. Cwojdzinski S. i in.): 207–212. Pol. Tow. Geol., Wrocław.
- DU CZMAŁ M., ŚLUSARCZYK G., SPECYLAŁ-SKRZYPECKA J., BOROWICZ A., BEDNARZ A., 2008 – Ochrona złóż – idea a rzeczywistość na przykładzie perspektywicznych złóż węgla brunatnego. *Górn. Odkryw.*, 50 (2/3): 86–92.
- DYJOR S., KOŚCİÓWKO H., 1991 – Bentonitowe i halozytowe zwietrzliny bazaltowe Dolnego Śląska i kierunki ich wykorzystania. *Tech. Poszuk. Geol.*, 5–6: 75–77.
- DYJOR S., RUBINOWSKI Z., 1993 – Bentonity (kopaliny bentonitowe i halozytowe). [W:] Zasoby perspektywiczne kopalin Polski wg stanu na 31 XII 1990 r. (red. Bąk B., Przeniosło S.): 154–160. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- DYLAŁ J., 1993 – Wyniki poszukiwań geologicznych węgla brunatnego w rejonie „Gubin–Zasieki–Brody”. Dokumentacja geologiczna w kat. D1 złoża węgla brunatnego „Gubin–Zasieki–Brody”. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 1433/93].
- DYLAŁ J., 2013 – Łupki fyllitowe, kwarcytowe i tyczytkowe. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2012 r. (red. Szuflicki M. i in.): 137–138. PIG-PIB, Warszawa.
- DYLAŁ J., SZCZYGIELSKI W., KASIŃSKI J.R., 2010 – Dokumentacja geologiczna złoża węgla brunatnego Gubin-Zasieki-Brody w kategorii D. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 2773/2011].
- DZIADZIO P., BORYS Z., KUK S., MASŁOWSKI E., PROBUŁSKI J., PIETRUSIAK M., GÓRKA A., MORYC J., BASZKIEWICZ A., KARNKOWSKI P., KARNKOWSKI P.H., PIETRUSIAK M., 2006 – Hydrocarbon resources of the Polish Outer Carpathians – reservoir parameters, trap types, and selected hydrocarbon fields: a stratigraphic review. *AAPG Memoir*, 84: 259–292.
- DZIEKOŃSKI T., 1972 – Wydobywanie i metalurgia kruszców na Dolnym Śląsku od XIII do połowy XX wieku. Ossolineum, Wrocław.
- EIA, 2011 – World shale gas resources: an initial assessment of 14 regions outside the United States. U.S. Energy Information Administration, b.m. [<https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/archive/2011/pdf/fullreport.pdf>].
- EIA, 2013 – Technically recoverable shale oil and shale gas resources: an assessment of 137 shale formations in 41 countries outside the United States. U.S. Energy Information Administration, b.m. [<https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/pdf/overview.pdf>].
- EKIERT F., 1957 – Warunki geologiczne występowania skał magmowych w Mrzygłodzie w okolicy Zawiercia. *Kwart. Geol.*, 1 (1): 106–112.
- EKIERT F., 1971 – Budowa geologiczna podpermskiego podłoża północno-wschodniego obrzeżenia Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Pr. Inst. Geol.*, 66: 5–77.
- EKIERT F., 1985 – Molibden – Mo. Złoża. [W:] Surowce mineralne świata. Molibden – Mo, wolfram – W, ren – Re, skand – Sc. (red. Bolewski A.): 13–23. Wyd. Geol., Warszawa.
- ELSHAKI A., GRAEDEL T.E., CIACCI L., RECK B.K., 2016 – Copper demand, supply, and associated energy use to 2050. *Global Environ. Change*, 39: 305–315.
- ENI, 2019a – World Oil, Gas and Renewables. Volume 1. World Oil Review 2019 [<https://www.eni.com/assets/documents/documents-en/WORLD-OIL-REVIEW-2019-VOLUME-1.pdf>].
- ENI, 2019b – World Oil, Gas and Renewables. Volume 2. World Gas and Renewables Review 2019 [<https://www.eni.com/assets/documents/documents-en/WORLD-GAS-AND-RENEWABLES-REVIEW-2019-VOLUME2.pdf>].
- ERICSSON M., SÖDERHOLM P., 2010 – Mineral depletion and peak production. POLINARES working paper, 7. September 2010: 1–9.

- EY, 2017 – Unconventional oil and gas in a carbon constrained world. A review of the environmental risks and future outlook for unconventional oil and gas. EYGM Limited, b.m. [https://www.klp.no/polopoly_fs/1.38621.15099689531/menu/standard/file/UnconventionalOilAndGasInaCarbonConstrainedWorld-September2017.pdf].
- FEDAK J., 1963 – Perspektywy nikłonośności sudeckich intruzji zasadowych. *Prz. Geol.*, 11 (4): 189–191.
- FEDAK J., LINDNER M., 1966 – Metalogeneza Sudetów. Instytut Geologiczny, Prace. Wyd. Geol., Warszawa.
- FEDAK J., NIŚKIEWICZ J., 1979 – Rudy niklu. [W:] Surowce mineralne Dolnego Śląska (red. Dziedzic K. i in.): 136–142. Zakł. Nar. im. Ossolińskich, Wyd. PAN, Wrocław–Warszawa–Kaków–Gdańsk.
- FELTER A., SKRZYPCZYK L., SOCHA M., SOKOŁOWSKI J., STOŻEK J., GRYCZKO-GOSTYŃSKA A., 2015 – Mapa zagospodarowania wód podziemnych zaliczonych do kopalin w Polsce, skala 1:1 000 000 (wg stanu na 31.12.2014). PIG-PIB, Warszawa.
- FELTER A., SKRZYPCZYK L., SOCHA M., SOKOŁOWSKI J., STOŻEK J., GRYCZKO-GOSTYŃSKA A., 2018 – Mapa zagospodarowania wód podziemnych zaliczonych do kopalin w Polsce 2017 (wg stanu na dzień 31 grudnia 2017 r.) wraz z tekstem objaśniającym. PIG-PIB, Warszawa.
- FELTER A., SKRZYPCZYK L., SOCHA M., SOKOŁOWSKI J., SOSNOWSKA M., STOŻEK J., GRYCZKIEWICZ I., WRZOSEK A., 2019 – Mapa zagospodarowania wód podziemnych zaliczonych do kopalin w Polsce, skala 1:1 000 000 (wg stanu na 31.12.2018). PIG-PIB, Warszawa.
- FIJALKOWSKI J., 1983 – Sprawozdanie z badań krzemieni czarnych ozdobnych w Dobrut-Marylin. *Arch. Geol. Przeds. Geol. w Kielcach*.
- FÖLLMI K.B., 1996 – The phosphorus cycle, phosphogenesis and marine phosphate-rich deposits. *Earth-Sciences Rev.*, 40 (1/2): 55–124.
- FOQUET Y., LACROIX D. (red.), 2014 – Deep marine mineral resources. Springer Netherlands, b.m.
- FORMOWICZ R., GRĘDYSA A., 2016a – Mapa Geośrodowiskowa Polski (II) 1:50 000. Plansza A, ark. Błażowa (1005).
- FORMOWICZ R., GRĘDYSA A., 2016b – Mapa Geośrodowiskowa Polski (II) 1:50 000. Plansza A, ark. Bircza (1025).
- FORMOWICZ R., GRĘDYSA A., 2016c – Mapa Geośrodowiskowa Polski (II) 1:50 000. Plansza A, ark. Zagórz (1042).
- FRĄCKIEWICZ K., KIEGIEL K., HERDZIK-KONIECKO I., CHAJDUK E., ZAKRZEWSKA-TRZNADEL G., WOŁKOWICZ S., CHWAŚTOWSKA J., BARTOSIEWICZ I., 2012 – Extraction of uranium from low-grade Polish ores: dictyonemic shales and sandstones. *Nukleonika*, 58 (4): 451–459.
- FREUND A., HARTSCH J., KORZEKWA W., RICHTER H., ZACZEK S., 2009 – Dlaczego warto kontynuować rozpoznawanie mineralizacji miedzianej na obszarze koncesyjnym Weisswasser (Niemcy)? Międzynarodowy Kongres Górnictwa Rud Miedzi. Perspektywy i wyzwania. Materiały konferencyjne. Tom 1: 111–119. b.w., b.m.
- GABZDYL W., 1999 – Geologia Złóż. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- GAJDA E., 1960 – Żyły pegmatytowe okolic Szklarskiej Poręby (Karkonosze). *Kwart. Geol.*, 4 (3): 546–564.
- GAJEWSKI Z., 1966 – Występowanie i ocena perspektyw magnezytów na masywie serpentynitowym Gogółów-Jordanów. *Arch. Urz. Wyzd. Ochr. Środ.*, Wrocław [nr kat. I/33].
- GAJEWSKI Z., 1969 – Poszukiwanie magnezytów na masywie serpentynitowym Grochowa-Braszowice. *Narod. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 41372, nr kat. 4623/772].
- GAJEWSKI Z., 1970a – Budowa geologiczna i znaczenie gospodarcze dolnośląskich złóż magnezytów oraz perspektywy ich poszukiwań. *Prz. Geol.*, 18 (6): 265–271.
- GAJEWSKI Z., 1970b – Występowanie i własności magnezytów z masywu serpentynitowego Gogółów-Jordanów na tle budowy geologicznej obszaru. *Biul. Inst. Geol.*, 240.
- GAJEWSKI Z., 1974 – Masyw serpentynitowy Grochowa-Braszowice oraz jego znaczenie surowcowe. *Biul. Inst. Geol.*, 280: 49–78.
- GAJEWSKI Z., BIERNAT J., 1964 – Opracowanie występowania złóż magnezytów w Polsce i możliwości ich przemysłowego wykorzystania. *Narod. Arch. Geol. PIG-PIB*, Oddz. Dolnośląski, Wrocław [nr inw. 1215, nr kat. DS 108].
- GALICA D., DUNST N., WOŁKOWICZ S., 2016 – Wykorzystanie cyfrowego modelu złoża i harmonogramu produkcji do stworzenia koncepcji zagospodarowania złoża uranu „Rajsk”. *Wiad. Górn.*, 67 (2): 94–99.
- GALOS K., 2004 – Gospodarka surowcami ilastymi barwnie wypalającymi się do produkcji ceramiki budowlanej, kruszyw lekkich, cementu i innych zastosowań. [W:] Surowce mineralne Polski. Surowce skalne. Surowce ilaste. (red. Ney R.): 383–400. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- GALOS K., 2010 – Ball clays for the production of porcelain tiles in Poland. *Gosp. Sur. Min.*, 26 (4): 21–43.
- GALOS K., 2011a – Iły białe wypalające się, kamionkowe i ogniotwale. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkowicz S. i in.): 214–219. PIG-PIB, Warszawa.
- GALOS K., 2011b – Kwarcyty i łupki kwarcytowe. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkowicz S. i in.): 183–186. PIG-PIB, Warszawa.
- GALOS K., 2011c – Piaszki kwarcowe do produkcji betonów komórkowych, wyrobów wapienno-piaskowych oraz piaszków podszkawkowych. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkowicz S. i in.): 187–195. PIG-PIB, Warszawa.
- GALOS K., 2011d – Piaszki szklarskie. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkowicz S. i in.): 196–199. PIG-PIB, Warszawa.
- GALOS K., 2011e – Wapienie i margle przemysłowe. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkowicz S. i in.): 168–175. PIG-PIB, Warszawa.
- GALOS K., 2015a – Kruszywa mineralne. [W:] Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 2013 (red. Smakowski T. i in.): 507–530. IGSMiE PAN, Kraków, PIG-PIB, Warszawa.
- GALOS K., 2015b – Surowce ceramiki budowlanej. Ceramika budowlana. [W:] Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 2013 (red. Smakowski T. i in.): 919–924. IGSMiE PAN, Kraków, PIG-PIB, Warszawa.
- GALOS K., 2015c – Dolomity. [W:] Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 2013 (red. Smakowski T. i in.): 259–268. IGSMiE PAN, Kraków, PIG-PIB, Warszawa.
- GALOS K., 2015d – Magnezyt i magnezje. [W:] Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 2013 (red. Smakowski T. i in.): 577–586. IGSMiE PAN, Kraków, PIG-PIB, Warszawa.
- GALOS K., LEWICKA E., 2011 – Piaszki formierskie. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkowicz S. i in.): 200–204. PIG-PIB, Warszawa.
- GALOS K., LEWICKA E., 2015 – Iły ceramiczne i ogniotwale. [W:] Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 2013 (red. Smakowski T. i in.): 365–382. IGSMiE PAN, Kraków, PIG-PIB, Warszawa.

17. Literatura

- GALOS K., SMAKOWSKI T., 2011 – Dolomity przemysłowe. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkiewicz S. i in.): 224–227. PIG-PIB, Warszawa.
- GALOS K., SZAMALEK K., 2011 – Ocena bezpieczeństwa surowcowego Polski w zakresie surowców nieenergetycznych. *Zesz. Nauk. IG-SMiE PAN*, 81: 37–58.
- GALOS K., KAMYK J., SZLUGAJ J., 2003 – Gospodarka piaskami przemysłowymi. [W:] Surowce skalne. Surowce skalne. Kruszywa naturalne i piaski przemysłowe (red. Galos K.). IGSMiE PAN, Kraków.
- GALOS K., NIEĆ M., RADWANIEK-BAK B., SMAKOWSKI T., SZAMALEK K., 2012a – Bezpieczeństwo surowcowe Polski – ocena sytuacji w zakresie kopalin nieenergetycznych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 452: 33–42.
- GALOS K., NIEĆ M., RADWANIEK-BAK B., SMAKOWSKI T., SZAMALEK K., 2012b – Bezpieczeństwo surowcowe Polski – bariery pokrycia krajowych potrzeb surowcowych w zakresie kopalin nieenergetycznych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 452: 53–58.
- GALOS K., NIEĆ M., RADWANIEK-BAK B., SMAKOWSKI T., SZAMALEK K., 2012c – Bezpieczeństwo surowcowe Polski w Unii Europejskiej i na świecie. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 452: 43–52.
- GAŁKIEWICZ T., HARAŃCZYK C., SZOSTEK L., 1960 – Pojurskie okruszczowanie utworów w zasięgu dewon-jura rejonu Olkusz-Klucze. *Rudy Met. Nieżel.*, 5 (3): 124–131.
- GAŁWA M., 1999 – Dodatek nr 1 do dokumentacji geologicznej w kat. A, B, C₁, C₂ złoża barytu, baryto-fluorytu i fluorytu „Stanisławów”. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 1053/2000].
- GARLICKI A., 1979 – Sedymentacja soli miocenkich w Polsce. *Pr. Geol. Komis. Nauk Geol. PAN, Oddz. w Krakowie*, 119: 1–66.
- GARLICKI A., 1997 – Możliwości podziemnego magazynowania odpadów w polskich złożach soli. [W:] Tektonika solna regionu kujawskiego, Uniejów, 23–25.10.1997. Materiały konferencyjne (red. Burliga S.): 13–14. WIND, Wrocław.
- GAST R., DUSAR M., BREITKREUTZ CH., GAUPP R., SCHNEIDER J.W., STEMMERIK L., GELUK M., GEISSLER M., KIERSNOWSKI H., GLENNIE K., KABEL S., JONES N., 2010 – Chapter 7. Rotliegend. [W:] Petroleum geological atlas of the Southern Permian Basin Area (red. Doornenbal H., Stevenson A.): 101–122. EAGE Publications, Houten.
- GAUTIER D.L., PITMAN J.K., CHARPENTIER R.R., COOK T., KLETT T.R., SCHENK C.J., 2012 – Potential for technically recoverable unconventional gas and oil resources in the Polish-Ukrainian Foredeep, Poland, 2012 (red. Stauffer P.H.). USGS Fact Sheet, 2012-3102.
- GAWEŁ A., 1950 – O procesach syfifikacji w Karpach utworach fliszowych. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 20 (1/2): 169–191.
- GAWROŃSKI O., DYJOR S., JODŁOWSKI S., KOŻMA J., KOŚCÍÓWKO H., KURAL K., 1989 – Określenie perspektyw występowania potasowych surowców skaleniowych i kwarcu żyłowego na Dolnym Śląsku. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Oddz. Dolnośląski, Wrocław [nr inw. 3354, nr kat. DS 378].
- GAŁOŁ J., 2001 – Mapa geologiczno-gospodarcza Polski w skali 1:50 000. Ark. Błazowa (1005). Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. G5487].
- GAŁOŁ J., HERMAN G., PASIECZNA A., TOMASSI-MORAWIEC H., BUJAKOWSKA K., 2006 – Objaśnienia do Mapy Geośrodowiskowej Polski 1:50 000. Ark. Opatów (854). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- GAŚIEWICZ A., 1991 – Cechy litologiczne serii złożowej siarki rodzimej Osiek-Baranów: implikacje do eksploatacji. *Prz. Geol.*, 39 (4): 224–228.
- GAŚIEWICZ A., 1994a – Gypsum-ghost limestones facies of the Polish sulphur deposits: an analog of selenitic gypsum facies? *Geol. Quart.*, 38 (3): 415–448.
- GAŚIEWICZ A., 1994b – Gypsum ghost limestones and selenitic gypsum relation of the Osiek Baranów Sandomierski sulphur deposit. *Geol. Quart.*, 38 (3): 449–472.
- GAŚIEWICZ A., 2000a – Comparative study of major element geochemistry of gypsum-ghost limestones and selenite lithofacies from the Miocene of northern Carpathian Foredeep: implication to the model of massive replacement of solid sulphates by calcium carbonates. *Chem. Geol.*, 164 (3/4): 183–218.
- GAŚIEWICZ A., 2000b – Sedymentologia i diageneza wapieni poselenitowych a model genetyczny polskich złóż siarki rodzimej. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 172.
- GAŚIEWICZ A., 2010 – Major and minor elemental trends of gypsum-ghost limestones of the Osiek-Baranów Sandomierski native sulphur deposit (northern Carpathian Foredeep, Poland): implication for limestones genesis. *Geol. Quart.*, 54 (4): 519–532.
- GAŚIEWICZ A., 2011 – Siarka rodzima. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkiewicz S. i in.): 128–132. PIG-PIB, Warszawa.
- GAŚIEWICZ A., PIWOCKI M., PRZENIOSŁO S., 2002 – Zasoby perspektywiczne i ich znaczenie. *Prz. Geol.*, 51 (2): 121–124.
- GAŚKA K., HOSZOWSKI A., GMIŃSKI Z., KUREK A., 2012 – Monografia podziemnych magazynów gazu w Polsce. Oficyna Wyd. ASPRA-JR, Warszawa.
- GERLING P., PISKE J., RASCH H.J., WEHNER H., 1996 – Paläogeographie, Organofazies und Genese von Kohlenwasserstoffen im Staßfurt-Karbonat Ostdeutschlands. *Erdöl Erdgas Kohle*, 112: 13–18.
- GIENTKA M., 1995a – Polityka resortu w dziedzinie poszukiwania, rozpoznawania i eksploatacji surowców mineralnych. Cz. I. *Prz. Geol.*, 43 (1): 49–56.
- GIENTKA M., 1995b – Polityka resortu w dziedzinie poszukiwania, rozpoznawania i eksploatacji surowców mineralnych. Cz. II. *Prz. Geol.*, 43 (2): 126–140.
- GLAPA W., ŁUSZCZKIEWICZ A., 1988 – Możliwości eksploatacji minerałów ciężkich z Ławicy Odrzanej i Słupskiej. *Górn. Odkryw.*, 30 (1): 34–49.
- GLAPA W., STEFANICKA M., 2017 – Innowacyjne rozwiązania eksploatacji kopalin skalnych. *Prz. Gór.*, 10 (1139): 73–83.
- GLASBY G.P., EMEYANOV E.M., ZHAMOIDA V.A., BATURIN G.N., LEIPE T., BAHLO R., BONACKER P., 1997 – Environments formation of ferromanganese concretions in the Baltic Sea: a critical review. [W:] Manganese mineralization: geochemistry and mineralogy of terrestrial and marine deposits (red. Nicholson K. i in.): 213–237. *Geol. Soc., Spec. Publ.*, 119, London.
- GLINIĄK P., URBANIEC A., 2005 – Charakterystyka geofizyczna bioherm oksfordu na obszarze przedgórz Karpát w aspekcie nowych technik poszukiwania złóż węglowodorów. *Nafta-Gaz*, 59: 343–348.
- GLINIĄK P., ŁASKOWICZ R., URBANIEC A., SUCH P., LEŚNIAK G., 2001 – Obecność skał zbiornikowych w późnourajskich utworach węglanowych z uwzględnieniem ich rozwoju facjalnego w rejonie Zawada-Lękawica. *Nafta-Gaz*, 57: 597–606.
- GLĄDYSZ J., ŚLIWIŃSKI S., 1979 – Nowe dane o mineralizacji cynkowo-olowiowej w obszarze siewiejskim. *Prz. Geol.*, 27 (12): 677–682.

- GOLONKA J., MACHOWSKI G., PIETCH K., WAŚKOWSKA A., STARZEC K., 2017 – The geological structure and unconventional hydrocarbon potential of the Polish Outer Carpathians. [W:] 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017. Conference Proceedings, Vol. 17, Issue 14: 933–940. STEF92 Technology Ltd., Sofia.
- GOMEZ F., GUZMÁN J.I., TILTON J.E., 2007 – Copper recycling and scrap availability. *Res. Policy*, 32 (2007): 183–190.
- GOSPODARCZYK E., 1978 – Miedzioność utworów spągowych cechsztynu na monoklinie przedsudeckiej i peryklinie Żar oraz możliwości dalszych poszukiwań. *Prz. Geol.*, 26 (2): 97–102.
- GOSPODARCZYK E., METLEPSKI E., 1986 – Rudy miedzi – monoklina przedsudecka. [W:] Zasoby perspektywiczne kopalin Polski (stan na 1981-01-01) (red. Bolewski A., Gruszczyk H.): 174–179. Inst. Geol., Warszawa.
- GOSPODARCZYK E., METLEPSKI E., RYDZEWSKI A., WAŻNY H., WYŻYKOWSKI J., 1975a – Wyniki prac poszukiwawczych za rudami miedzi w rejonie Wrocławia. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 44680, nr kat. 4424/546].
- GOSPODARCZYK E., METLEPSKI E., RYDZEWSKI A., WYŻYKOWSKI J., 1975b – Poszukiwanie cechsztyńskich rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej. Wyjaśnienie możliwości przedłużania się złoża Lubin-Głogów po upadzie. Dokumentacja otworu Sława IG-1. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 18348 CUG, nr kat. 4122/144].
- GOSPODARCZYK E., OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., WAŻNY H., 1978 – Wyniki poszukiwań rud miedzi na obszarze Perykliny Żar, pt. „Optymalne wykorzystanie zasobów i rozwój produkcji z miedzi i jej stopów”. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 24937, nr kat. 62/146].
- GOSPODARCZYK E., LISIAKIEWICZ S., METLEPSKI E., OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., WAŻNY H., 1980 – Poszukiwanie cechsztyńskich rud miedzi w rejonie monokliny przedsudeckiej. Dokumentacja wyników otworów: M-1 Lipowiec, M-5 Dryżyna, M-9 Grochowice, M-24 Dachów. *Arch. Zakł. Sur. Min. Kop. Energ. PIG-PIB*, Warszawa.
- GOUDARZI G.H. (red.), 1984 – Guide to preparation of mineral survey reports on public lands. USGS Open-File Report, 84-787.
- GÓRECKA E., 1972 – Mineralizacja kruszcowa w utworach paleozoicznych północno-wschodniej części obszaru śląsko-krakowskiego. *Acta Geol. Pol.*, 22 (2): 275–326.
- GÓRECKA E., 1991 – Wpływ zjawisk tektonicznych na kształtowanie się złóż Zn-Pb (na przykładzie złoża Klucze, rej. olkuski). *Prz. Geol.*, 39 (3): 137–147.
- GÓRECKA E., 1993 – Geological setting of the Silesian-Cracow Zn-Pb deposits. *Geol. Quart.*, 37 (2): 127–146.
- GÓRECKA E., 1996 – Mineral sequence development in the Zn-Pb deposits of the Silesian-Cracow area, Poland. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 45 (1): 25–36.
- GÓRECKA E., NOWAKOWSKI A., 1979 – Ore deposits associated with acid intrusives and related rocks in the Zawiercie region. In: Research on the genesis zinc-lead deposits of Upper Silesia, Poland. *Pr. Inst. Geol.*, 95: 97–107.
- GÓRECKI W. (red.), 1990 – Atlas wód geotermalnych Niziu Polskiego. ISE AGH, Kraków.
- GÓRECKI W. (red.), 2006 – Atlas zasobów geotermalnych na Niziu Polskim. Wyd. AGH, Kraków.
- GÓRECKI W. (red.), 2008 – Zasoby prognostyczne, nieodkryty potencjał gazu ziemnego w utworach czerwonego spągowca i wapienia cechsztyńskiego w Polsce – badania geologiczne. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 2293/2009].
- GÓRECKI W. (red.), 2011a – Atlas zasobów wód i energii geotermalnej Karpat Zachodnich. Wyd. AGH, Kraków.
- GÓRECKI W., 2011b – Ropa naftowa i gaz ziemny. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkiewicz S. i in.): 23–45. PIG-PIB, Warszawa.
- GÓRECKI W., 2012 – Wstępne rozpoznanie zasobów perspektywicznych niekonwencjonalnych złóż węglowodorów. Wyniki prac geologicznych na eksplorowanych obszarach koncesyjnych (2008–2011). [W:] Niekonwencjonalne złoża węglowodorów – szanse i zagrożenia. Materiały konferencyjne: 11–17. Kancelaria Senatu, Warszawa.
- GÓRECKI W. (red.), 2013 – Atlas geotermalny Karpat Wschodnich. Wyd. AGH, Kraków.
- GÓRECKI W., HAJTO M., 2006 – Atlas zasobów geotermalnych formacji mezozoicznej na Niziu Polskim. Wyd. AGH, Kraków.
- GÓRECKI W., HAJTO M., 2011 – Atlas zasobów wód i energii geotermalnej Karpat Zachodnich. Wyd. AGH, Kraków.
- GÓRECKI W., SOWIŹDZAŁ A., 2012 – Atlas geotermalny zapadliska przedkarpackiego. Wyd. AGH, Kraków.
- GÓRECKI W., SZAMALEK K., 2004 – Możliwości rozwoju poszukiwań i wydobycia ropy naftowej i gazu ziemnego w Polsce w świetle polityki koncesyjnej państwa oraz działalności Polskiego Górnictwa Naftowego i Gazownictwa. *Pol. J. Min. Res.*, 8: 24–38.
- GÓRSKI M., KRÓL E., KUNICKA-GÓRSKA W., TRELA M., URBAŃSKA H., 1999 – Wydzielenie pulapek węglowodorów w utworach poziomu dolomitu głównego poprzez rozpoznanie zmian litofacyjnych i strukturalnych na podstawie zintegrowanej interpretacji sejsmiki 3D i danych otworowych w rejonie Gorzowa. *Prz. Geol.*, 47 (12): 1080–1095.
- GRABANIA A., 1992 – Ocena polskich złóż soli w aspekcie budowy podziemnych magazynów ciekłych węglowodorów. Materiały z konferencji PSGS Niekonwencjonalne wykorzystanie złóż soli. Zakopane, 5–6.11.1992 r.: 49–60.
- GRAD M., GUTERCH A., 2010 – Struktura litosfery i geodynamika Europy Centralnej w świetle eksperymentów sejsmicznych POLONA-ISE'97, CELEBRATION 2000, ALP 2002 i SUDETES 2003. Polskie i światowe osiągnięcia nauki. Nauki o Ziemi. Kapitał ludzki: 109–157. Europejski Fundusz Społeczny, Gliwice.
- GRAD M., GUTERCH A., MAZUR S., 2002 – Seismic refraction evidence for crustal structure in the central part of the Trans-European Suture Zone in Poland in Paleozoic Amalgamation of central Europe. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 201: 295–309.
- GRODZICKI A., 1963 – Piaszki złotonosne okolic Złotoryi. *Arch. Miner.*, 24 (2): 239–289.
- GRODZICKI A., 1967 – O występowaniu złota w Sudetach Wschodnich. *Wszystko*, 5: 121–124.
- GRODZICKI A., 2011 – Placer gold in Sudetes Mountains in their foreland. [W:] Gold in Poland (red. Kozłowski A., Mikulski S.Z.). *AM Monograph*, 2: 191–209.
- GROTEK I., 2006 – Dojrzałość termiczna materii organicznej z utworów pokrywy osadowej pomorskiego odcinka TESZ, basenu bałtyckiego oraz obszarów przyległych. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 186: 253–270.
- GROTEK I., MATYJA H., SKOMPSKI S., 1998 – Dojrzałość termiczna materii organicznej w osadach karbonu obszaru radomsko-lubelskiego i pomorskiego. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 165: 245–254.
- GROTEK I., KLIMUSZKO E., WOLKOWICZ S., MIECZNIK J.B., 2013 – Geochemistry of organic matter from Lower Ordovician Dictyonema Shale (Podlasie Depression, NE Poland). *Mineral. Mag.*, 77 (5): 1221.
- GRUSZCZYK H., 1984 – Nauka o złożach. Wyd. Geol., Warszawa.
- GRUSZCZYK H., 1986 – Metodyka poszukiwań złóż kopalin stałych. Wyd. Geol., Warszawa.

- GRUSZCZYK H., WIELGOMAS L., 1990 – Zinc and lead ores in the Silesia-Cracow Triassic. [W:] *Geology of Poland*. Vol. VI. Mineral deposits (red. Osika R.): 172–177. Wyd. Geol., Warszawa.
- GRUSZCZYK H., PAULO A., 1976 – Strefa przejściowa w utworach węglanowych triasu obszaru Olkusza. *Kwart. Geol.*, 22 (4): 737–749.
- GRUSZCZYK H., SMAKOWSKI T., STRZELSKA-SMAKOWSKA B., 1985 – Wolfram-W. Złoża. [W:] *Surowce mineralne świata*. Molibden – Mo, wolfram – W, ren – Re, skand – Sc. (red. Bolewski A.): 145–153. Wyd. Geol., Warszawa.
- GUCWA I., 1973 – Geochemia wapiennych i krzemionkowych osadów biogenicznych na przykładzie osadów fliszu karpackiego. *Biul. Inst. Geol.*, 271: 5–98.
- GUILBERT J.M., PARK C.H.F., 1986 – The geology of ore deposits: 406–411. W.H. Freeman and Company, New York.
- GUMIEL P., ANTON-PACHECO C., CAMPOS R. (red.), 1991 – Development of new multi-disciplinary techniques for mineral exploration in several areas of the western Iberian Peninsula. Instituto Tecnológico Geominero de Espana, Madrid.
- GUNIA T., SACHANBIŃSKI M., KLAUS L., WRÓBLEWSKI P., GUNIA P., SKOWROŃSKI J., 1986 – Sprawozdanie z prac geologiczno-poszukiwawczych za szlachetnymi odmianami chalcodonu w rejonie Suszyna-Niwa. Arch. PG Proxima S.A., Wrocław.
- GUSTAFSON L.B., WILLIAMS N., 1981 – Sediment-hosted stratiform deposits of copper, lead, and zinc. [W:] *Economic Geology*. Seventy-Fifth Anniversary Volume 1905–1980 (red. Skinner B.J.): 139–178. Economic Geology Pub. Co., El Paso, TX.
- GUSTKOWICZ S., SOKOŁOWSKA G., TYRAKOWSKA-ROSIŃSKA M., 1984 – Możliwości pozyskania minerałów ciężkich z piaszczystych osadów dennych południowego Bałtyku. *Pr. Nauk. Inst. Chem. Nieorg. Metalurg. Pierw. Rzadkich Polit. Wrocł.*, 51: 63–72.
- GUZIK K., 2015 – Diatomity i surowce pokrewne. [W:] *Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 2013* (red. Smakowski T. i in.): 251–285. IGSMiE PAN, Kraków, PIG-PIB, Warszawa.
- GUZIK K., GALOS K., 2015 – Kware, kwarcyty i łupki kwarcytowe. [W:] *Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 2013* (red. Smakowski T. i in.): 534–553. IGSMiE PAN, Kraków, PIG-PIB, Warszawa.
- GUZIK K., SMAKOWSKI T., 2015 – Kamienie budowlane i drogowe. [W:] *Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 2013* (red. Smakowski T. i in.): 413–436. IGSMiE PAN, Kraków, PIG-PIB.
- GWYNN J.W. (red.), 1980 – Great Salt Lake: a scientific, historical and economic overview. *Utah Dep. Natur. Res. Bull.*, 116.
- HABRYN R., MARKOWIAK M., ŚLÓSZARZ J., 1994 – Perspektywy udokumentowania nowego ciała rudnego w kierunku na NW od złóż molibdenowo-wolframowo-miedziowego Myszków. *Prz. Geol.*, 42 (8): 611–614.
- HABRYN R. (+ zespół) 2017 – Dokumentacja geologiczna otworu badawczego Bibliela PIG-1 dla potrzeb przedsięwzięcia z dziedziny geologii pod tytułem: „Program wierzeń badawczych państwowej służby geologicznej PIG-PIB – Wiertnicze zbadanie nierozpoznanych profili prekambriu i dolnego paleozoiku w północno-wschodniej części bloku górnośląskiego i ich potencjału złożowego”. Arch. Oddz. Górnośląski PIG-PIB, Sosnowiec.
- HADRO J., PTAK B., 1994 – Ocena możliwości eksploatacji metanu z pokładów węgla centralnej części synkliny Dorohuczcy. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 1207/94].
- HADRO J., WÓJCIK I., 2013 – Metan pokładów węgla: zasoby i eksploatacja. *Prz. Geol.*, 61 (7): 404–410.
- HAJDO K., KLICH J., POLAK K., 2011 – Własności węgla niskogatunkowych w podziemnym zgazowaniu węgla. *Górn. Geoinż.*, 35 (3): 87–93.
- HAJTO M., 2014 – Wody termalne polskich Karpat. *Resortowe szkolenie służb geologiczno-górnich, Krynica-Zdrój*, 11–13.12.2014 r.
- HARAŃCZYK C., 1978 – Mineralizacja polimetaliczna w utworach paleozoicznych wschodniego obrzeżenia GZW. *Pr. Inst. Geol.*, 83: 171–185.
- HARAŃCZYK C., 1979 – Metallogenic evolution of the Silesia-Cracow region. *Pr. Inst. Geol.*, 95: 109–132.
- HARAŃCZYK C., 1980 – Palaeozoic porphyry copper deposits in Poland. *SGA Spec. Publ.*, 1: 89–95.
- HARAŃCZYK C., 1983 (1985) – Paragenety mineralne w złożach krakowidów i ich pokrywy. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 53 (1–4): 91–126.
- HARAŃCZYK C., GAŁKIEWICZ T., KUREK S., ROGOŹ S., SZOSTEK L., 1980 – Porfirowa i skarnowa mineralizacja z Zawiercia. Część II. Mineralizacja. *Rudy Met. Niezel.*, 25 (12): 558–565.
- HARFF J., EMELYANOV E. M., SCHMIDT-THOMÉ M., SPIRIDONOV M. (coord.), 2004 – Mineral resources of the Baltic Sea – exploration, exploitation and sustainable development. *Z. Angew. Geol.*, 2: 1–227.
- HAUSNER J. (red.), 2015 – Polityka surowcowa Polski. *Rzecz o tym, czego nie ma, a jest bardzo potrzebne*. Fundacja Gospodarki i Administracji Publicznej, Kraków.
- HEFLIK W., 1989 – Kamienie ozdobne Polski: 109–112. Wyd. Geol., Warszawa.
- HEFLIK W. (red.), 1994 – Krajowe zasoby kamieni szlachetnych i ozdobnych. Ocena i możliwości ich wykorzystania w różnych działach gospodarki narodowej. *Min. Środ.*, Warszawa.
- HEFTON K., 1999 – Sudety regional study – completion report. Poland exploration program, July 1999. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 887/2006].
- HELCEL-WEIL M., DZIĘGIELOWSKI J., FLOREK R., MAKSYM A., SŁYŚ M., 2007 – Wyniki złożowe dotychczasowych prac poszukiwawczych w basenie lubelskim w aspekcie nowych możliwości poszukiwań złóż węglowodorów. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 422: 51–61.
- HENCKENS M.L.C.M., DRIESSEN P.P.J., WORRELL E., 2018 – Molybdenum resources: their depletion and safeguarding for future generations. *Resources, Conservation & Recycling*, 134: 61–69.
- HERMAN J., 1972 – Dokumentacja geologiczna złoża kwarcu żyłowego w kategorii C₂ „Rębiszów”. Arch. PG Proxima S.A., Wrocław.
- HERRMANN A.G., KNIPPING B., 1993 – Waste disposal and evaporites. Contributions to long-term safety. *Lecture Notes in Earth Sciences*, 45: 1–193.
- HITZMAN M.W., KIRKHAM R., BROUGHTON D., THORSON J., SELLEY D., 2005 – The sediment-hosted stratiform copper ore system. *Econ. Geol.*, 100th Ann. Vol.: 609–642.
- HOCHSTEIN M.P., 1990 – Classification and assessment of geothermal resources. A guide to development and utilization, UNITAR, New York.
- HODBOD M., CZAPOWSKI G., 2018 – Sól kamienna/ Rock salt. PIG-PIB, Warszawa.
- HODGSON C.J., TROOP A.D., 1988 – A new computer aided methodology for area selection in gold exploration: a case study from the Abitibi Greenstone Belt. *Econ. Geol.*, 83 (5): 952–977.
- HOLDITCH S.A., 2009 – stimulation of tight gas reservoirs worldwide [DOI: 10.4043/OTC-20267-MS].
- HOLSER W.T., 1966 – Diagenetic polyhalite in recent salt from Baja California. *Am. Mineral.*, 51 (1/2): 99–109.

- HOLUBOWICZ-KLIZA G., 2006 – Wapnowanie gleb w Polsce. Instytut Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy, Puławy.
- HOVORKA S.D., 1995 – Quaternary evolution of playa lakes on the Southern High Plains. A case study from the Amarillo area, Texas. *Bureau of Econ. Geology, Rep. of Investig.*, 236: 1–52.
- HUTNIK R., SACHANBIŃSKI M., PIĄTEK E., WIERSKI J., 1984 – *Vademecum zbieracza kamieni szlachetnych i ozdobnych* (red. Sachanbiński M.): 156. Wyd. Geol., Warszawa.
- IEA, 2016 – *World Energy Outlook 2016*. IEA Publications, Paris.
- Informator Stowarzyszenia Producentów Cementu 2017. Przemysł cementowy w liczbach [<https://www.polskicement.pl/2017-informator-spc-przemysl-cementowy-w-liczbach>].
- Instrukcja opracowania i aktualizacji Mapy Geośrodowiskowej Polski w skali 1:50 000 (2005). PIG-PIB, Warszawa.
- JACHOWICZ A., 1966 – Historyczny zarys badań nad karbonem Zagłębia Lubelskiego. *Pr. Inst. Geol.*, 44: 7–10.
- JANCZYSZYN J., WYSZOMIRSKI P., 1986 – Gold in kaolin from Wądroże Wielkie (Lower Silesia, Poland). [W:] Tenth Conference on clay mineralogy and petrology: 261–266. Ostrava.
- JANIK E., GŁADYSZ R., KŁODNICKI A., 1984a – Dokumentacja geologiczna złoża rud cyny „Krobica” w kat. C₂. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 15326 CUG].
- JANIK E., NEUMANN U., GŁADYSZ R., 1984b – Sprawozdanie z pracy geologiczno-poszukiwawczych dla kat. C₂ w złożu rud cyny „Krobica II”. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 15362 CUG].
- JAROSIŃSKI A., 2016 – Możliwości pozyskiwania metali ziem rzadkich w Polsce. *Zesz. Nauk. IGSMiE PAN*, 92: 75–89.
- JAROSZEWICZ M., KLIMM J., 2015 – Zaawansowane technologie i nowoczesne wyroby ceramiki budowlanej. *Mat. Ceram.*, 67 (1): 95–100.
- JASIŃSKI Z., 2000 – Podziemny system magazynowania paliw w kavernach solnych na przykładzie kopalni „Góra”. *Tech. Posz. Geol.*, 42 (223): 37–44.
- JASIŃSKI Z., 2004 – Podziemny system magazynowania paliw w kavernach solnych. *Górn. Odkryw.*, 46 (3/4): 63–69.
- JASKÓLSKI S., MOCHNACKA K., 1959 – Złoże cyny w Gierczynie w Górach Izerskich na Dolnym Śląsku i próba wyjaśnienia jego genezy. *Arch. Miner.*, 22 (1): 17–106.
- JAŚNIEWICZ D., KLUSEK Z., BRODECKA-GOLUCH A., BOLAŁEK J., 2019 – Acoustic investigations of shallow gas in the southern Baltic Sea. *Geo-Mar. Lett.*, 39: 1–17.
- JAWOR E., 1984 – Poszukiwania ropy naftowej i gazu ziemnego w Karpatach Zachodnich. [W:] IV konferencja „Ocena prognoz i efektywności poszukiwań ropy naftowej i gazu ziemnego w Polsce. Kraków, październik 1984: 51–57. Wyd. AGH, Kraków.
- JAWOR E., KOTARBA M., 1991 – Geneza gazu ziemnego akumulowanego w paleozoiczno-mezozoicznych utworach podłoża miocenu zachodniej i środkowej części zapadliska przedkarpacciego – interpretacja geologiczna i izotopowa. *Nafta*, 47 (10–12): 149–155.
- JAWOROWSKI K., 1997 – Warunki depozycji ciał piaszczystych kambru dolnego i środkowego w polskiej części platformy wschodnioeuropejskiej. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 377.
- JAWOROWSKI K., 2000 – Facies variability in the Cambrian deposits from the Kościerzyna and Gdańsk sections (Pomeranian Caledonides foreland, northern Poland): a comparative study. *Geol. Quart.*, 44 (3): 249–260.
- JAWOROWSKI K., MIKOŁAJEWSKI Z., 2007 – Oil- and gas-bearing sediments of the Main Dolomite (Ca₂) in the Międzybóże region: a depositional model and the problem of the boundary between the second and third depositional sequences in the Polish Zechstein Basin. *Prz. Geol.*, 55 (12/1): 1017–1024.
- JERZMAŃSKI J., 1974 – Główne dyslokacje sudeckie i ich znaczenie w metalogenezie regionu dolnośląskiego. *Kwart. Geol.*, 18 (40): 684–689.
- JERZMAŃSKI J., 1976 – Barite and fluorite mineralization and its position in the metallogenic development of the Lower Silesia area. [W:] The current metallogenic problems of Central Europe (red. Fedak J.): 227–250. Inst. Geol., Warszawa.
- JERZMAŃSKI J., 1982 – Mineralizacja barytowa i fluorytowa w rozwoju metalogenicznym Sudetów. *Biul. Inst. Geol.*, 341: 319–326.
- JERZMAŃSKI J., 1987 – Złoże barytu w Sudetach. [W:] Budowa geologiczna Polski. Tom VI. Złoże surowców mineralnych (red. Osika R.): 453–459. Wyd. Geol., Warszawa.
- JERZMAŃSKI J., 1993a – Kwarco-żyłowy. [W:] Zasoby perspektywiczne kopalni Polski wg stanu na 31 XII 1990 r. (red. Bąk B., Przeniosło S.): 193–195. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- JERZMAŃSKI J., 1993b – Skalenie (kopaliny skaleniowe i kwarco-skaleniowe). [W:] Zasoby perspektywiczne kopalni Polski wg stanu na 31 XII 1990 r. (red. Bąk B., Przeniosło S.): 213–215. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- JERZMAŃSKI J., SROGA C., 1993 – Złoże barytu na Dolnym Śląsku. [W:] Zasoby perspektywiczne kopalni Polski wg stanu na 31 XII 1990 r. (red. Bąk B., Przeniosło S.): 131–136. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- JERZMAŃSKI J., JAROSZ J., KOWAL T., SKOWRONEK C., 1973 – Baryt w utworach cechsztynu synkliny leszczyńskiej na Dolnym Śląsku. *Biul. Inst. Geol.*, 264: 185–200.
- JERZMAŃSKI J., KOŚCIÓWKO H., JODŁOWSKI S., DYJOR S., CWOJDZIŃSKI S., SZCZEBAK B., 1982 – Projekt badań geologicznych dla określenia perspektyw występowania potasowych surowców skaleniowych i kwarcu żyłowego na Dolnym Śląsku. *Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Oddz. Dolnośląski, Wrocław* [nr inw. 3154, nr kat. DS 332].
- JĘCZALIK A., 1970 – Geochemia uranu w uranonośnych węglach kamiennych w Polsce. *Biul. Inst. Geol.*, 224: 103–204.
- JĘCZMYK M., WOJCIECHOWSKA A., 1994 – Zasoby złota i minerałów ciężkich w odpadach poeksploatacyjnych kopalni kruszywa naturalnego w Polsce. *Prz. Geol.*, 42 (10): 819–827.
- JĘCZMYK M., BERESTKA A., BEŁOK A., BITTMAROWA A., IWASIŃSKA I., JUSKOWIAKOWA M., KANASIEWICZ J., KOŚCIÓWKO H., MARCINKOWSKI B., MORAWSKA T., PANASIUK M., SOKOŁOWSKA G., 1982 – Wyniki rozpoznania geologiczno-surowcowego mineralizacji toru i pierwiastków towarzyszących (rejon Markocice – Opolno Zdrój). *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 45984, nr kat. 4520/130].
- JĘDRZEJCZAK B., ENGEL W., PATRZYK J., 1969 – Kompleksowa dokumentacja geologiczna złoża węgla brunatnego Gubin w kat. C₂, C₁ i B. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 9718 CUG].
- JOHN D.A., TAYLOR R.D., 2016 – By-products of porphyry copper and molybdenum deposits. *Rev. Econ. Geol.*, 18: 137–164.

17. Literatura

- JOHN D.A., AYUSO R.A., BARTON M.D., BLAKELY R.J., BODNAR R.J., DILLES J.H., GRAY F., GRAYBEA F.T., MARS J.C., MCPHEE D.K., SEAL R.R., TAYLOR R.D., VIKRE P.G., 2010 – Porphyry copper deposit model. USGS Scientific Investigations Report, 2010-5070-B.
- JOWETT E.C., PEARCE G.W., RYDZEWSKI A. 1987a – A Mid-Triassic paleomagnetic age of the Kupferschiefer mineralization in Poland based on a revised apparent polar wander path for Europe and Russia. *J. Geoph. Res.*, 92: 581–598.
- JOWETT E.C., RYDZEWSKI A., JOWETT R.J., 1987b – The Kupferschiefer Cu-Ag ore deposits in Poland: a re-appraisal of the evidence of their origin and presentation of a new genetic model. *Can. J. Earth Sci.*, 24: 2016–2037.
- JURECZKA J., 2013 – Uwarunkowania geologiczno-złożowe, górnicze i środowiskowe przedeksplotacyjnego odzysku metanu z pokładów węgla kierunkowymi otworami powierzchniowymi w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. *Zesz. Nauk. IGSMiE PAN*, 85: 129–141.
- JURECZKA J., 2017a – Kopalnie węgla kamiennego... i metanu? *Power & Industry*, 1/2017: 46–48.
- JURECZKA J., 2017b – Perspektywy przemysłowego wydobycia metanu z pokładów węgla w Zagłębiu Górnośląskim. *Inż. Gór.*, 1-2/2017: 72–75.
- JURECZKA J., NOWAK G.J., 2016 – Polskie zagłębia węgla kamiennego – przegląd informacji i badań geologicznych. *Prz. Geol.*, 64 (9): 617–630.
- JURECZKA J., DOPITA M., GÁŁKA M., KRIEGER W., KWARCIŃSKI J., MARTINEC P., 2005 – Atlas geologiczno-złożowy polskiej i czeskiej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. PIG-PIB, Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- JURECZKA J., ZDANOWSKI A., IHNATOWICZ A., KRIEGER W., WILK S., 2011 – Węgiel kamienny. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkowicz S. i in.): 51–63. PIG-PIB, Warszawa.
- JURGA B., KIERSNOWSKI H., SIDORCZUK M., 2018 – Ropa naftowa, gaz ziemny/ Crude oil, natural gas. PIG-PIB, Warszawa.
- JURKIEWICZ W., LAZAREK M., 1951 – Dokumentacja geologiczna złoża gipsu „Bogucice”, woj. kieleckie [niezatwierdzona]. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. Dok/tj/DIII/14 CUG].
- JURKIEWICZ W., LAZAREK M., 1953 – Złoże gipsu w Bogucicach [niezatwierdzona]. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- JUROWSKA Z., KRAMARSKA R., 1989 – Mapa geologiczna dna Bałtyku 1:200 000, ark. Dziwnów, Szczecin. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- JURYS L., 2002 – Warunki geologiczno-górnicze eksploatacji i ochrony środowiska złóż kredy jeziornej z przełomu plejstocenu i holocenu. *Górn. Odkryw.*, 44 (2/3): 120–125.
- JURYS L., 2005 – Naturalne spływanie się wyrobisk po eksploatacji kredy jeziornej – podstawy teoretyczne i i praktyczne przykłady. *WUG. Bezpieczeństwo pracy i ochrona środowiska w górnictwie*, 7: 22–26.
- JURYS L., 2011 – Ekosystemy zwalowskie i wyrobisk po eksploatacji złóż kruszywa naturalnego, torfu i kredy jeziornej oraz ich znaczenie dla rekultywacji. *Górn. Odkryw.*, 52 (1/2): 120–125.
- JURYS L., KRAMARSKA R., OLLER M., CYLKOWSKA H., 2008 – O metodyce dokumentowania i eksploatacji holocenicznych złóż bursztynu w delcie Wisły. *Górn. Odkryw.*, 50 (2/3): 111–118.
- JUSKOWIAK O., GUSTKOWICZ S., SOKOŁOWSKA G., 1976 – Badania technologiczne frakcji piaszczystej morskich osadów Bałtyku Południowego. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 21172, nr kat. OM/29].
- JUSZCZYK A., KASPRZYK A., 1998 – Prognozy udokumentowania i zagospodarowania złóż gipsów z uwzględnieniem wymogów ekologicznego systemu wyrobisk chronionych (ESOCH) w woj. kieleckim. Arch. Urz. Marsz. Woj. Świętokrzyskiego, Kielce [Kat. D.IV/54].
- KACZMAREK A., ADAMSKI W., BAREJA J., GŁOWACKI Z., 1959 – Ocena uuranowości Sudetów w oparciu o wyniki dotychczasowych prac poszukiwawczych prowadzonych przez Zakłady Przemysłowe R-1. T. I-III. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr kat. 62/108].
- KACZYŃSKI J., 1976 – Korelacja geologiczno-geofizyczna osadów karbonu i dewonu synklinorium lubelskiego. Arch. OGN, Warszawa.
- KALICZUK J., ARTEMIUK J., MIELECH T., PIOTROWSKI A., 2017 – Bursztyn zachodniopomorski – pierwsze wnioski z poszukiwań. [W:] 85. Zjazd Polskiego Towarzystwa Geologicznego. Budowa geologiczna Południowego Bałtyku i Pomorza Środkowego oraz aktualne problemy geologii morza w perspektywie polskich badań oceanicznych. Materiały konferencyjne. Koszalin, 18–21.09.2017 r.: 72–73. PIG-PIB, Pol. Tow. Geol., Warszawa.
- KALISKI M., SIKORA A., 2013 – Wodór a podziemne magazynowanie energii w strukturach solnych. *Prz. Solny*, 9: 26–32.
- KAMYK J., 2015a – Baryt. [W:] Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 2013 (red. Smakowski T. i in.): 87–93. IGSMiE PAN, Kraków, PIG-PIB, Warszawa.
- KAMYK J., 2015b – Fluoryt. [W:] Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 2013 (red. Smakowski T. i in.): 269–278. IGSMiE PAN, Kraków, PIG-PIB, Warszawa.
- KANASIEWICZ J., 1987 – Pierwiastki ziem rzadkich. Dolny Śląsk. [W:] Budowa geologiczna Polski. Tom VI. Złoża surowców mineralnych (red. Osika R.): 369–371. Wyd. Geol., Warszawa.
- KANASIEWICZ J., MIKULSKI S.Z., 1989 – O możliwości występowania złóż molibdenu formacji miedziowo-molibdenowej w strzegomskim masywie granitowym. *Prz. Geol.*, 37 (3): 129–134.
- KANASIEWICZ J., SYLWESTRZAK H., 1968 – Występowanie kasyterytu i złota rodzimego w aluwialach potoków w rejonie Leśnej (Sudetów). *Kwart. Geol.*, 12 (3): 694–706.
- KANASIEWICZ J., JĘCZMYK M., WYGRALAK A., 1976 – Wyniki wstępnego rozpoznania geologiczno-surowcowego przejawów mineralizacji torowej w rejonie Szklarskiej Poręby, gmina Szklarska Poręba, woj. jeleniogórskie. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 549/W CUG].
- KANASIEWICZ J., JĘCZMYK M., ŁOMOZOW A.V., TENCIK L., 1977 – Mapa rozmieszczenia kasyterytu i złota w aluwialach na obszarze metamorfiku iżerskiego. Wyd. Geol., Warszawa.
- KANASIEWICZ J., JARMOŁOWICZ-SZULC K., JĘCZMYK M., MIKULSKI S.Z., NAWROCKA-MIKLASZEWSKA M., RYLLA A., SYLWESTRZAK H., 1990a – Zdjęcie szlichowe i geochemiczne aluwialne na ark. mapy 1:100 000 Kłodzko. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 260/91].
- KANASIEWICZ J., JARMOŁOWICZ-SZULC K., MIKULSKI S.Z., SYLWESTRZAK H., 1990b – Zdjęcie szlichowe i geochemiczne aluwialne na ark. mapy 1:100 000 Kudowa Zdrój. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 257/91].
- KANASIEWICZ J., JĘCZMYK M., KOWSZUK B., MIKULSKI S.Z., NAWROCKA-MIKLASZEWSKA M., RYLLA A., JARMOŁOWICZ-SZULC K., SYLWESTRZAK H., 1990c – Zdjęcie szlichowe i geochemiczne aluwialne na ark. mapy 1:100 000 Międzyzlesie. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 256/91].

- KANASIEWICZ J., MIKULSKI S.Z., GREEN M., WILSON G., 2012 – Dokumentacja geologiczna z realizacji robót geologicznych przy poszukiwaniu i rozpoznawaniu złóż rud złota, srebra, arsenu i miedzi w rejonie Radzimowic koło Wojcieszowa w Górach Kaczawskich⁷ [zastrzeżone]. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- KARNEWSKI J., 2008 – Bezpieczeństwo dostaw paliwa dla elektrowni jądrowych. *Post. Tech. Jądr.*, 51 (2): 13–27.
- KAPUŚCIŃSKI J., NAGY S., DŁUGOSZ P., BIERNAT H., BENTKOWSKI A., ZAWISZA L., MACUDA J., BUJAKOWSKA K., 1997 – Zasady i metodyka dokumentowania zasobów wód termalnych i energii geotermalnej oraz sposoby odprowadzania wód zużytych – poradnik metodyczny. Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, Warszawa.
- KARCZEWSKA A., ŻURAWSKI E., 1998 – Złoże obszaru morskiego. [W:] Ocena perspektyw poszukiwawczych złóż ropy naftowej i gazu ziemnego w utworach kambru synkliny bałtyckiej na podstawie analizy basenów sedimentacyjnych starszego paleozoiku. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 2903/98].
- KARNKOWSKI P., 1999a – Oil and gas deposits in Poland. Geos, Kraków.
- KARNKOWSKI P.H., 1999b – Origin and evolution of the Polish Rotliegend Basin. *Pol. Geol. Inst. Spec. Pap.*, 3.
- KARNKOWSKI P.H., 2000 – Ewolucja termiczna a modelowanie procesów generacji i ekspulsji węglowodorów na obszarze Pomorza Zachodniego. *Nafta-Gaz*, 56: 271–287.
- KARNKOWSKI P.H., 2007 – Petroleum provinces in Poland: A historical outline. *Prz. Geol.*, 55 (12/1): 1061–1067.
- KARNKOWSKI P.H., MATYASIK I., 2016 – Krytyczne elementy systemów naftowych w basenach sedimentacyjnych. *Prz. Geol.*, 64 (9): 639–649.
- KARWOWSKI L., 1975 – Mineralizacja wolframowa w grejzenach Pogórza Izerskiego. *Prz. Geol.*, 23 (1): 3–8.
- KARWOWSKI L., 1988 – Ewolucja fluidów mineralotwórczych waryscyjskiej formacji miedziowo-porfirowej krakowidów na przykładzie rejonu Myszkowa-Mrzyglodu. *Pr. Nauk. UŚI*, 929.
- KARWOWSKI L., MARKOWIAK M., 2012 – Polymetallic mineralization in Ediacaran sediments in the Żarki-Kotowice area, Poland. *Mineralogia* 43 (3/4): 199–212.
- KARWOWSKI L., OLSZYŃSKI W., KOZŁOWSKI A., 1973 – Mineralizacja wolframitowa z okolic Szklarskiej Poręby Huty. *Prz. Geol.*, 14 (12): 633–637.
- KARWOWSKI L., LASOŃ K., MARKIEWICZ J., TRUSZEL M., 2005 – Geochemiczno-petrologiczne przesłanki Mo-W-Cu mineralizacji typu złóż porfirowych rejonu krakowsko-lublinieckiego. Przewodnik 76. Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego Rudy k. Rybnika, 14–16 września 2005 r. (red. Jureczka J. i in.): 75–79. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KASIŃSKI J.R., 2009 – Potencjał zasobowy węgla brunatnego w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem kompleksów złóż gubińskich i legnickich. PIG-PIB, Warszawa [http://geoportal.pgi.gov.pl/css/powiaty/publikacje/wegiel_brunatny/Kasinski_potencjal_węgla_brunatnego.pdf].
- KASIŃSKI J.R., 2011a – Torf. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wólkowicz S. i in.): 248–251. PIG-PIB, Warszawa.
- KASIŃSKI J.R., 2011b – Węgiel brunatny. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wólkowicz S. i in.): 46–50. PIG-PIB, Warszawa.
- KASIŃSKI J.R., 2016 – Złoże bursztynu północnej Lubelszczyzny: historia poznania, budowa geologiczna, perspektywy. [W:] Lubelski bursztyn – znaleziska, geologia, złoże, perspektywy (red. Gazda L.): 71–93. Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Chełmie, Chełm.
- KASIŃSKI J.R., MLYNARCZYK M., 2016 – Ocena krajowych źródeł podaży surowców pierwotnych – węgiel kamienny i brunatny. Opracowanie dla Polityki Energetycznej Państwa. Arch. Min. Środ., Warszawa.
- KASIŃSKI J.R., TOLKANOWICZ E., 1999 – Amber in the northern Lublin Region – origin and occurrence. [W:] Investigations into amber (red. Kosmowska-Ceranowicz B., Paner H.): 41–51. Muz. Arch. w Gdańsku, Gdańsk.
- KASIŃSKI J.R., PIWOCKI M., 2002 – Low rank coals in Poland: prospecting – mining – progress. *Pol. Geol. Inst. Spec. Pap.*, 7: 17–30.
- KASIŃSKI J.R., SATERNUS A., 2010 – Oligoceńskie węgle brunatne w nadkładzie wydawników solnych na Nizinie Polskiej. [W:] 33. Sympozjum „Geologia formacji węglonośnych Polski” (red. Lipiński I.): 21–33, Wyd. AGH, Kraków.
- KASIŃSKI J.R., URBANŚKI P., 2018 – Złoże węgla brunatnego w Polsce i ich potencjał surowcowy. [W:] Warsztaty: aspekty administracyjno-prawne i środowiskowo-społeczne odkrywkowej eksploatacji kopalin (red. Olejniczak K., Fajfer J.): 21–42, PIG-PIB, Warszawa.
- KASIŃSKI J.R., PIWOCKI M., PORZYCKI J., ZDANOWSKI A., 1991 – Węgiel kamienny i węgiel brunatny. [W:] Atlas zasobów surowców i odpadów mineralnych oraz zagrożeń środowiska w układzie gminnym (red. Kozłowski S.), 2: 1–22. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KASIŃSKI J.R., PIWOCKI M., SATERNUS A., TOLKANOWICZ E., WOJCIECHOWSKI A., 1997 – Realizacja projektu prac geologicznych dla określenia perspektyw występowania złóż bursztynu w utworach eocenu Lubelszczyzny. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 2529/99].
- KASIŃSKI J.R., MAZUREK S., PIWOCKI M., 2006 – Waloryzacja i ranking złóż węgla brunatnego w Polsce. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 187: 1–79.
- KASIŃSKI J.R., SATERNUS A., URBANŚKI P., 2010 – Dokumentacja geologiczna złoże węgla brunatnego Lubsko w kategorii D. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 7913/2011].
- KASIŃSKI J.R., MATL K., STACHOWIAK A., 2012 – Przydatność węgla brunatnego w Polsce dla procesu zgazowania podziemnego (UCG) – problem kryteriów bilansowości. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 448 (1): 169–181.
- KASIŃSKI J.R., SATERNUS A., URBANŚKI P., 2019 – Atlas geologiczny wybranych złóż węgla brunatnego w Polsce. Tom I. Rejon zachodni i rejon wielkopolski. PIG-PIB, Warszawa.
- KASPRZYK A., 1991 – Analiza litofacyjna utworów siarczanowych badenu południowego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. *Prz. Geol.*, 39 (4): 213–223.
- KASPRZYK A., 1998 – Analiza litofacyjna i geochemiczna anhydrytów mioceńskich w zapadlisku przedkarpackim. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 3243/98].
- KASPRZYK A., 1999 – Sedimentary evolution of Badenian (Middle Miocene) gypsum deposits in the northern Carpathian Foredeep. *Geol. Quart.*, 43 (4): 449–465.
- KASPRZYK A., 2003 – Modele diagenety anhydrytów badeńskich w zapadlisku przedkarpackim. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 460/2004].

- KASPRZYK A., 2005 – Modele genetyczne badeńskich anhydrytów w zapadlisku przedkarpackim na obszarze Polski. *Prz. Geol.*, 53 (1): 47–54.
- KASZTELEWICZ Z., KOZIOŁ K., ZAJĄCZKOWSKI M., 2007 – Węgiel brunatny gwarantem bezpieczeństwa energetycznego Polski. *Prz. Gór.*, 673 (12): 11–37.
- KATO Y., FUJINAGA K., NAKAMURA K., TAKAYA Y., KITAMURA K., OHTA J., TODA R., NAKASHIMA T., IWAMORI H., 2011 – Deep-sea mud in the Pacific Ocean as a potential resource for rare-earth elements. *Nat. Geosci.*, 4 (8): 535–539.
- KAULBARSH D., JURYS L., KRAMARSKA R., PRZEZDZIECKI P., 2013 – Dokumentacja geologiczna złoża piasków z minerałami ciężkimi Ławica Odrzana pola A i B w kat. D. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 751/2014].
- KEELING L.J., 2015 – The mineralogy, geology and occurrences of halloysite. [W:] *Natural mineral nanotubes: properties and applications* (red. Pasbakhsh P., Churchman G.J.): 96–115. Apple Acad. Press, [b.m.].
- KERBER B., SERAFIN-RADLICH J., CIEMIŃSKA M., 1965 – Poszukiwania niklu metodą metalometryczną w rejonie Nowej Rudy. *Biul. Inst. Geol.*, 205 (6): 139–155.
- KĘPIŃSKA B., 2004 – Badania warunków termicznych podhalańskiego systemu geotermalnego przy zastosowaniu nowej metody oksyreaktywnej analizy termicznej (OTA) i metod mineralogicznych. Wyd. Sigma, Kraków.
- KIERSNOWSKI H., DYRKA I., 2013a – Potencjał złożowy ordowicko-sylurskich łupków gazonośnych w Polsce: omówienie dotychczasowych raportów i propozycje udoskonalenia metodyki oceny zasobów gazu w raporcie w 2014 r. *Prz. Geol.*, 61 (6): 354–373.
- KIERSNOWSKI H., DYRKA I., 2013b – Ordovician-Silurian shale gas resources potential in Poland: evaluation of Gas Resources Assessment Reports published to date and expected improvements for 2014 forthcoming Assessment. *Prz. Geol.*, 61 (11): 639–656.
- KIERSNOWSKI H., BUNIAK A., KUBERSKA M., SROKOWSKA-OKOŃSKA A., 2010 – Występowanie gazu ziemnego zamkniętego w piaskowcach czerwonego spągowca Polski. Tight gas accumulations in Rotliegend sandstones of Poland. *Prz. Geol.*, 58 (4): 335–346.
- KIJEWSKI P., 1998 – Uwagi o strefowości w rozmieszczeniu głównych minerałów kruszcowych złoża rud miedzi. *Pol. Tow. Miner. Pr. Spec.*, 10: 87–92.
- KIJEWSKI P., JAROSZ J., 1987 – Mineralizacja kruszcowa i formy występowania pierwiastków towarzyszących w złożu rudy miedzi. [W:] *Metale towarzyszące w złożu rud miedzi, stan badań i perspektywy dalszego ich wykorzystania* (red. Kijewski P.): 21–47. Cuprum, Wrocław.
- KIRKHAM R.V., 1989 – Distribution, settings, and genesis of sediment-hosted stratiform copper deposits. [W:] *Sediment-hosted stratiform copper deposits* (red. Boyle R.W. i in.). *GAC Spec. Pap.*, 36: 3–38.
- KISTOWSKI M., 2004 – Regionalny model zrównoważonego rozwoju i ochrony środowiska Polski a strategię rozwoju województw. Uniw. Gdański, Gdańsk.
- KITA-BADAK M., 1982 – Łupki fiszowe Karpat jako surowiec do produkcji lekkich kruszyw ceramicznych. *Biul. Inst. Geol.*, 336 (6): 189–240.
- KITA-BADAK M., BADAK J., SALDAN M., 1965 – Charakterystyka łupków uranonośnych serii menilitowej w Karpatach Środkowych. *Kwart. Geol.*, 9 (1): 137–156.
- KLIMKIEWICZ F., CEBULA B., CZAJA D., CZOBER J., CZOBER M., GAJDA P., KULIGOWSKI A., TATRZAŃSKA-KLIMKIEWICZ I., KELLER-SIKORA A., BAK K., KRZAK M., MADEJSKI D., OLCZYK Ł., 2018 – Dokumentacja geologiczna prac i robót geologicznych za poszukiwaniem złoża molibdenowo-wolframowo-miedziowego w rejonie „Myszków – Żarki”. Arch. Min. Środ., Warszawa.
- KLIMUSZKO E., WOLKOWICZ S., MIECZNIK J.B., 2013 – Geochemistry of organic matter from Triassic U-bearing sandstones of Peribaltic Syncline (N Poland). *Mineral. Mag.*, 77 (5): 1478.
- KLECZEK Z., ZEJLAŚ D., 2004 – Lokalizacja podziemnego składowiska odpadów promieniotwórczych w Polsce. *Prz. Geol.*, 52 (1/2): 649–652.
- KLECZEK Z., RADOMSKI A., ZEJLAŚ D., 2005 – Podziemne magazynowanie. *Pr. Nauk. – Monografie KOMAG*, 9: 1–98.
- KOCHANOWSKA J., 1982 – Sprawozdanie z prac geologiczno-poszukiwawczych za złożami surowców bentonitowych w rejonach: Bielowice, Dunino i Leśna-Młoszów. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 45685, nr kat. 4422/538].
- KOCHANOWSKA J., 1994 – Sprawozdanie z badań geologicznych na obszarze Bolesławieckiego Okręgu Eksploatacji Surowców Skalnych. Arch. PG Proxima S.A., Wrocław.
- KOCHANOWSKA J., SZEPIETOWSKA H., 1977 – Sprawozdanie z badań geologicznych wykonanych na złożu kwarcu żyłowego koło Olesznej Podgórskiej. Arch. PG Proxima S.A., Wrocław.
- KONIECZNY D., SKOŁASIŃSKA K., 2014 – Kruszywa sztuczne z surowców mineralnych. *Kruszywa*, 2/2014: 70–76.
- KONON A., 2008 – Regionalizacja tektoniczna Polski – Góry Świętokrzyskie i regiony przyległe. *Prz. Geol.*, 56 (10): 921–926.
- KONSTANTYNOWICZ E., 1965 – Mineralizacja utworów cechystynu niecki północnosudeckiej (Dolny Śląsk). *Pr. Geol., Kom. Nauk Geol. PAN. Oddz. w Krakowie*, 28: 7–99.
- KONSTANTYNOWICZ E. (red.), 1971 – Monografia przemysłu miedziowego w Polsce. Wyd. Geol., Warszawa.
- KONSTANTYNOWICZ E., 1989 – Geologia surowców mineralnych. Tom. III. Surowce chemiczne. *Skrypty UŚi.*, 428: 1–202.
- KOPP J., SPIETH V., HÖDING T., 2010 – Revival of copper mining in Germany. *Mining Reporter*, 2: 43–53.
- KORNAŚ I., 1986 – Kwarc. [W:] *Zasoby perspektywiczne kopalni Polski (stan na 1981-01-01)* (red. Bolewski A., Gruszczyk H.): 257–260. Inst. Geol., Warszawa.
- KORNAŚ I., KORNAŚ J., 1986 – Kopaliny skaleniowe i kwarcowo-skaleniowe. [W:] *Zasoby perspektywiczne kopalni Polski (stan na 1981-01-01)* (red. Bolewski A., Gruszczyk H.): 271–277. Inst. Geol., Warszawa.
- KOSAKOWSKI P., KRAJEWSKI M., 2014 – Hydrocarbon potential of the Zechstein Main Dolomite in the western part of the Wielkopolska platform, SW Poland: new sedimentological and geochemical data. *Mar. Petrol. Geol.*, 49: 99–120.
- KOSAKOWSKI P., KRAJEWSKI M., 2015 – Hydrocarbon potential of the Zechstein Main Dolomite (Upper Permian) in western Poland: relation to organic matter and facies characteristics. *Mar. Petrol. Geol.*, 68: 675–694.
- KOSAKOWSKI P., WRÓBEL M., 2012 – Burial history, thermal history and hydrocarbon generation modelling of the Jurassic source rocks in the basement of the Polish Carpathian Foredeep and Outer Carpathians (SE Poland). *Geol. Carpath.*, 63 (4): 335–342.
- KOSAKOWSKI P., BURZEWSKI W., KOTARBA M.J., 2003 – Petroleum potential of the Zechstein Main Dolomite in the Kamień Pomorski area. Part 2: petroleum analysis. *Prz. Geol.*, 51 (8): 663–672.

- KOSAKOWSKI P., WRÓBEL M., KOTARBA M., BURZEWSKI W., 2005 – Jednowymiarowe numeryczne modelowanie procesów generowania, ekspulsji i migracji węglowodorów w utworach starszego paleozoiku w strefach Kock – Tarkawica i Lublina (środkowa część rowu lubelskiego). [W:] Budowa geologiczna i system naftowy rowu lubelskiego a perspektywy poszukiwawcze (red. Kotarba M.) [raport z grantu badawczego Ministerstwa Środowiska]. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 856/2006].
- KOSAKOWSKI P., WRÓBEL M., POPRAWA P., 2010 – Hydrocarbon generation and expulsion modelling of the lower Paleozoic source rocks in the Polish part of the Baltic region. *Geol. Quart.*, 54 (2): 241–256.
- KOSAKOWSKI P., WRÓBEL M., KOLTUN Y.V., 2011 – 1-D modelling of the hydrocarbon generation history of the Jurassic source rocks in the Tarnogród–Strzy area (SE Poland – western Ukraine). *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 82 (3): 473–485.
- KOSAKOWSKI P., LEŚNIAK G., KRAWIEC J., 2012a – Reservoir properties of the Palaeozoic–Mesozoic sedimentary cover in the Kraków–Lubaczów area (SE Poland). *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 82 (1): 51–64.
- KOSAKOWSKI P., WIĘCŁAW D., KOTARBA M.J., KOWALSKI A., 2012b – Habitat and hydrocarbon potential of the Mesozoic strata in the Kraków–Rzeszów area (SE Poland). *Geol. Quart.*, 56 (1): 139–152.
- KOSAKOWSKI P., WIĘCŁAW D., KOWALSKI A., KOLTUN Y.V., 2012c – Assessment of hydrocarbon potential of Jurassic and Cretaceous source rocks in the Tarnogród–Strzy area (SE Poland and W Ukraine). *Geol. Carpath.*, 63 (4): 319–333.
- KOSAKOWSKI P., KOTARBA M.J., PIESTRZYŃSKI A., SHOGENOVA A., WIĘCŁAW D., 2016 – Petroleum source rock evaluation of the Alum and Dictyonema Shales (Upper Cambrian–Lower Ordovician) in the Baltic Basin and Podlasie Depression (eastern Poland). *Int. J. Earth Sci.*, 106 (2) [DOI: 10.1007/s00531-016-1328-x].
- KOSMOWSKA-CERANOWICZ B., 1979 – Zmienność litologiczna i pochodzenie okrucowych osadów trzeciorzędowych wybranych rejonów północnej i środkowej Polski. *Prace Muz. Ziemi*, 30: 3–73.
- KOSMOWSKA-CERANOWICZ B. (red.), 2002 – Znaleźiska i dawne kopalnie bursztynu w Polsce. Od Bałtyku przez Kurpie do Karpat. Wyd. Towarzystwo Kultury Kurpiowskiej, Warszawa.
- KOSMOWSKA-CERANOWICZ B., KRAMARSKA R., 2018 – Czwartorzędowe złoża bursztynu nad Zatoką Gdańską. [W:] Bursztyn bałtycki – skarb Zatoki Gdańskiej (red. Szadziński R. i in.): 7–21. Związek Miast i Gmin Morskich, Gdańsk.
- KOSMOWSKA-CERANOWICZ B., POPIOLEK J., 1981 – O złożach bursztynu w Polsce na podstawie niepublikowanych maszynopisów Adama Chętnika z lat 1931–1938. *Prace Muz. Ziemi*, 34: 3–29.
- KOSTKA E.A., 2014 – Ochrona złóż kopalni w planach zagospodarowania przestrzennego w świetle prawa geologicznego i górnictwa – uwagi de lege lata i de lege ferenda. *Górn. Odkryw.*, 55 (2/3): 25–31.
- KOSTYASHOVA Z., 2018 – The amber industry in Kaliningrad region (2007–2017): problems and prospects. [W:] International Symposium Amber – Science and Art. Abstracts. Amberif 2018 (red. Wagner-Wysiecka E. i in.): 129–134. Gdańsk International Fair Co. (MTG SA), Gdańsk.
- KOSZOWSKA E., 2000 – Skarns in paleozoic rocks from Zawiercie, southern Poland. *Pol. Tow. Miner., Pr. Spec.*, 17: 23–26.
- KOSZOWSKA E., WOLSKA A., 2000 – Mineralogical and geochemical study of thermally altered country rocks of granodioritic intrusion in the Będkowska Valley near Kraków (S Poland). *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 70 (3/4): 261–280.
- KOŚCİÓWKO H., 1974 – Sprawozdanie z realizacji I etapu badań dla rozpoznania kaolinu wysokoplastycznego w rejonie Mirska. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Oddz. Dolnośląski, Wrocław [nr kat. 4521/110].
- KOŚCİÓWKO H., 1986 – Informacja o występowaniu i stopniu rozpoznania złóż surowców skaleniowych oraz wytypowanie miejsc pobrania prób do badań technologicznych (rejon Dolnego Śląska i Śląsko-Krakowski). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Oddz. Dolnośląski, Wrocław [nr inw. 3243, nr kat. DS 345].
- KOŚCİÓWKO H., WĘCZYK M., KURAŁOWA K., 1987 – Wyniki poszukiwań potasowego surowca skaleniowego w rejonie Markocic. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Oddz. Dolnośląski, Wrocław [nr inw. 3272, nr kat. 4520/39].
- KOŚCİÓWKO H., DYJÓR S., JERZMAŃSKI J., KOŹMA J., PODSTOLSKI R., 1989a – Ocena bazy zasobowej krzemionkowych surowców ogniotrwałych. Sprawozdanie z realizacji etapu II: Zebranie materiałów archiwalnych i analiza obecnego stanu informacji w regionie sudeckim. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 482/91].
- KOŚCİÓWKO H., DYJÓR S., GAWROŃSKI O., JERZMAŃSKI J., KORNAŚ J., KOŹMA J., PODSTOLSKI R., 1989b – Ocena bazy zasobowej krzemionkowych surowców ogniotrwałych. Sprawozdanie z realizacji etapu II: Analiza obszarów występowania, zwiad terenowy oraz wstępna ocena jakości kopaliny w regionie sudeckim. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Oddz. Dolnośląski, Wrocław.
- KOTARBA M. (red.), 2000 – Algowe skały macierzyste dolomitu głównego i ich potencjał węglowodorowy jako podstawa dla genetycznej oceny zasobów ropy naftowej i gazu ziemnego w strefie Gorzowa – Międzyzdroj. Raport z realizacji projektu badawczego. Arch. BG „Geonafra”, Warszawa.
- KOTARBA M.J., 2010a – Origin of hydrocarbon gases accumulated in the Middle Cambrian reservoirs of the Polish part of the Baltic region. *Geol. Quart.*, 54 (2): 197–204.
- KOTARBA M.J., 2010b – Geology, ecology and petroleum of the lower Paleozoic strata in the Polish part of the Baltic region. *Geol. Quart.*, 54 (2): 103–108.
- KOTARBA M.J., 2012 – Origin of natural gases in the Paleozoic–Mesozoic basement of the Polish Carpathian Foredeep. *Geol. Carpath.*, 63 (4): 307–318.
- KOTARBA M.J., LEWAN M.D., 2013 – Sources of natural gases in Middle Cambrian reservoirs in Polish and Lithuanian Baltic Basin as determined by stable isotopes and hydrous pyrolysis of Lower Palaeozoic source rocks. *Chem. Geol.*, 345: 62–76.
- KOTARBA M.J., NAGAO K., 2015 – Molecular and isotopic compositions and origin of natural gases from Cambrian and Carboniferous–Lower Permian reservoirs of the onshore Polish Baltic region. *Int. J. Earth Sci.*, 104: 241–261.
- KOTARBA M.J., WAGNER R., 2007 – Generation potential of the Zechstein Main Dolomite (Ca₂) carbonates in the Gorzów Wielkopolski–Międzyzdroj–Lubiatów area: geological and geochemical approach to microbial–algal source rock. *Prz. Geol.*, 55 (12): 1025–1036.
- KOTARBA M.J., KOSAKOWSKI P., KOWALSKI A., WIĘCŁAW D., 1998 – Preliminary geochemical characteristics of organic matter and hydrocarbon potential of the Zechstein Main Dolomite deposits in the Polish Lowlands. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 165: 227–234.
- KOTARBA M.J., WIĘCŁAW D., KOSAKOWSKI P., ZACHARSKI J., KOWALSKI A., 2003 – Ocena macierzystości i potencjału naftowego utworów jury środkowej południowo-wschodniej Polski. *Prz. Geol.*, 51 (12): 1031–1040.
- KOTARBA M., NARKIEWICZ M., BURZEWSKI W., KOSAKOWSKI P., WRÓBEL M., MIŁACZEWSKI L., WIĘCŁAW D., KOWALSKI A., SEMYRKA R., 2005a – Synteza naftowa – perspektywy poszukiwań węglowodorów na obszarze rowu lubelskiego – Blok XV. [W:] Budowa geologiczna i system naftowy rowu lubelskiego a perspektywy poszukiwawcze (red. Kotarba M.) [raport z grantu badawczego Ministerstwa Środowiska]. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 856/2006].

- KOTARBA M., WIĘCŁAW D., KOSAKOWSKI P., KOWALSKI A., KOWALSKI T., 2005b – Skąły macierzyste – Blok VI. [W:] Budowa geologiczna i system naftowy rowu lubelskiego a perspektywy poszukiawcze (red. Kotarba M.) [raport z grantu badawczego Ministerstwa Środowiska]. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 856/2006].
- KOTARBA M.J., PERYT T.M., KOLTUN Y.V., 2011a – Microbial gas system and perspectives of hydrocarbon exploration in Miocene strata of the Polish and Ukrainian Carpathian Foredeep. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 81 (3): 523–548.
- KOTARBA M.J., WIĘCŁAW D., KOSAKOWSKI P., WRÓBEL M., MATYSZKIEWICZ J., BUŁA Z., KRAJEWSKI M., KOLTUN Y.V., TARKOWSKI J., 2011b – Petroleum systems in the Palaeozoic–Mesozoic basement of the Polish and Ukrainian parts of the Carpathian Foredeep. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 81 (3): 487–522.
- KOTARBA M.J., WIĘCŁAW D., BILKIEWICZ E., DZIADZIO P., KOWALSKI A., 2017 – Genetic correlation of source rocks and natural gas in the Polish Outer Carpathians and Paleozoic–Mesozoic basement east of Kraków (southern Poland). *Geol. Quart.*, 61 (4): 795–824.
- KOTAS A., 1985 – Structural evolution of the Upper Silesian Coal Basin (Poland). [W:] 10th International Congress of Carboniferous Stratigraphy and Geology. *Compte Rendu*, 3: 459–469. B.w., Madrid.
- KOTAS A., PORZYCKI J., 1984 – Pozycja geologiczna i główne cechy karbońskich złagłębi węglowych Polski. *Prz. Geol.*, 22 (5): 268–280.
- KOTAS A., KWARCINŚKI J., JURECZKA J., 1994 – Distribution and resources of coal-bed methane. [W:] Coal-Bed Methane potential of the Upper Silesian Coal Basin, Poland (red. Kotas A.). *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 142, 38–51.
- KOTLARCZYK J., 1966 – Poziom diatomitowy z warstw krośnieńskich na tle budowy geologicznej jednostki skolskiej w Karpatach polskich. *Stud. Geol. Pol.*, 19.
- KOTLARCZYK J., 1991 – Diatomity. [W:] Sorbenty mineralne Polski (red. Żabiński W.): 115–137. Wyd. AGH, Kraków.
- KOTLARCZYK J., KACZMARSKA I., 1987 – Two diatom horizons in the Oligocene and (?)Lower Miocene of the Polish Outer Carpathians. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 57 (3/4): 143–188.
- KOTLARCZYK J., BROŻEK M., MICHAŁSKI M., 1986 – Diatomity polskich Karpat – występowanie, jakość, przeróbka i zastosowanie. *Gosp. Sur. Min.*, 2 (3–4): 497–523.
- KOTLARCZYK J., KRAWCZYK A.J., SŁOMKA T., 1996 – Złoże diatomitów w Futomie koło Białowej (polskie Karpaty fliszowe). *Gosp. Sur. Min.*, 12 (3): 395–442.
- KOTLIŃSKI R., 1984 – Charakterystyka i geneza rozsypek minerałów ciężkich w akwenie Bałtyku Południowego. *Pr. Nauk. Inst. Chem. Nieorg. Metalurg. Pierw. Rzadkich Polit. Wrocław*, 51: 51–62.
- KOTLIŃSKI R., KRAMARSKA R., 1977 – Badania nad występowaniem najbardziej perspektywicznego rejonu dla poszukiwań złóż rozsypekowych minerałów ciężkich w strefie szelfu południowego Bałtyku. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 23140, nr kat. OM/32].
- KOTLIŃSKI R., MASŁOWSKA M., 1994 – Zasoby mineralne Bałtyku Południowego. [W:] Atlas zasobów walorów i zagrożeń środowiska geograficznego Polski (red. Kozłowski S.): tab. 94 E. Agencja Reklamowo-Wydawnicza A. Grzegorzczak, Warszawa.
- KOTLIŃSKI R., SZAMALEK K., 1995 – Pierwsza sesja Międzynarodowej Organizacji Dna Morskiego ONZ. *Jamajka*, 27.02–17.03.1995. *Prz. Geol.*, 43 (7): 609–611.
- KOTLIŃSKI R., SZAMALEK K., 1998a – Polskie badania geologiczne w ramach współpracy międzynarodowej. [W:] Surowce mineralne mórz i oceanów (red. Depowski S. i in.): 329–333. Wyd. Nauk. Scholar, Warszawa.
- KOTLIŃSKI R., SZAMALEK K., 1998b – Geologia i kopaliny Morza Bałtyckiego. [W:] Surowce mineralne mórz i oceanów (red. Depowski S. i in.): 307–328. Wyd. Nauk. Scholar, Warszawa.
- KOT-NEWIADOMSKA A., LEWICKA E., 2015 – Jod. [W:] Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 2013 (red. Smakowski T. i in.): 393–400. IGSMiE PAN, Kraków, PIG-PIB, Warszawa.
- KOWALCZEWSKI Z., 1972 – Podstawowe problemy świętokrzyskiego górnictwa kruszcowego w świetle danych geologicznych. [W:] Dzieje i technika świętokrzyskiego górnictwa i hutnictwa kruszcowego (red. Kowalczeński Z.): 57–78. Wyd. Geol., Warszawa.
- KOWALCZEWSKI Z., SZCZECIŃSKA A., 1977 – Wyniki badań nad żużlami z kilku stanowisk dawnego hutnictwa metali nieżelaznych w Górach Świętokrzyskich. *Rocz. Świętokrz.*, 5: 151–168.
- KOWALCZEWSKI Z., WRÓBLEWSKI T., 1974 – Problemy rudoności osadów na tle diastrofizmu i wulkanizmu Gór Świętokrzyskich. *Kwart. Geol.*, 18 (3): 537–563.
- KOWALCZEWSKI Z., WRÓBLEWSKI T., ŻAKOWA H., LENARTOWICZ L., SZCZERBA A., MASZOŃSKI E., 1976 – Wyjaśnienie perspektyw rudoności osadów dewonu, permu i triasu w północno-zachodniej części Gór Świętokrzyskich. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Oddz. Świętokrzyski, Kielce [nr inw. 1028].
- KOWALCZEWSKI Z., LENARTOWICZ L., ZBROJA S., KULETA M., HERMAN G., FIJAŁKOWSKA A., MALEC J., 1990 – Badania geologiczne w północno-zachodniej części Gór Świętokrzyskich w aspekcie poszukiwań rud Cu, Pb, Zn Fe i V. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Oddz. Świętokrzyski, Kielce [nr inw. 39780, nr kat. 75/244].
- KOWALSKA M., KASIŃSKI J., KRAMARSKA R., SZAMALEK K., 2018 – Bursztyn/ Amber. PIG-PIB, Warszawa.
- KOZIOL W., KAWALEC P., 2008 – Kruszywa alternatywne w budownictwie. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*, 4 (19): 34–37.
- KOZIOL W., MACHNIAK Ł., 2013 – Uwarunkowania środowiskowe wykorzystania niezagospodarowanych złóż surowców mineralnych oraz zasobów perspektywicznych w województwie małopolskim i podkarpackim. *Górn. Odkryw.*, 54 (5/6): 114–120.
- KOZŁOWSKA A., KUBERSKA M., 2015 – Piaszkowe dolnego karbonu strefy wielkopolsko-śląskiej jako utwory perspektywiczne pod względem poszukiwań złóż gazu zamkniętego (badania wstępne). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 464: 49–60.
- KOZŁOWSKA O., SOŁOMACHA M., WALENTEK I., 2017 – Istniejąca i perspektywiczna baza zasobowa kruszyw naturalnych piaszkowo-żwirowych w danych Mapy Georodowodowej Polski. [W:] Kruszywa mineralne. Tom 1: 57–65. Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Polit. Wrocław.
- KOZŁOWSKI A., 2011 – Native gold from Miedzianka Mountain, Świętokrzyskie Mts. [W:] Gold in Poland (red. Kozłowski A., Mikulski S.Z.). *AM Monograph*, 2: 339–349.
- KOZŁOWSKI A., SACHANBIŃSKI M., 2007 – Karkonosze intragranitic pegmatites and their minerals. [W:] Granitoids in Poland (red. Kozłowski A., Wiszniewska J.). *AM Monograph*, 1: 155–178.
- KOZŁOWSKI A., KARWOWSKI Ł., OLSZYŃSKI W., 1975 – Tungsten-tin-molybdenum mineralization in the Karkonosze massif. *Acta Geol. Polon.*, 25 (3): 415–430.
- KOZŁOWSKI A., ILNICKI S., MATYSZCZAK W., MARCINOWSKA A., 2016 – Magmatic and post-magmatic phenomena in the Karkonosze granite and its metamorphic envelope (West Sudetes, SW Poland). *Acta Geol. Pol.*, 66 (3): 451–471.

- KOZŁOWSKI S. (red.), 1982 – Surowce kaolinowe i problemy ich zagospodarowania. Wyd. Geol., Warszawa.
- KOZŁOWSKI S., 1986a – Surowce skalne Polski. Wyd. Geol., Warszawa.
- KOZŁOWSKI S., 1986b – Kruszywo naturalne. [W:] Surowce skalne Polski: 394–399. Wyd. Geol., Warszawa.
- KOZŁOWSKI S., 1986c – Skały węglanowe. [W:] Surowce skalne Polski: 143–235. Wyd. Geol., Warszawa.
- KOZŁOWSKI S. (red.), 1986d – Piaski budowlane, do produkcji wyrobów silikatowych i betonów komórkowych: 383–387. Wyd. Geol., Warszawa.
- KOZŁOWSKI S., 1987 – Kamienie szlachetne i ozdobne. [W:] Budowa geologiczna Polski. Tom VI. Złoże surowców mineralnych (red. Osika R.): 646–664. Wyd. Geol., Warszawa.
- KOZŁOWSKI S., 1990a – Deposits of building and road stones. [W:] Geology of Poland. Vol. VI. Mineral deposits. (red. Osika R.): 288–295. Wyd. Geol., Warszawa.
- KOZŁOWSKI S., 1990b – Precious, ornamental and decorative stones. [W:] Geology of Poland. Vol. VI. Mineral deposits. (red. Osika R.): 298–305. Wyd. Geol., Warszawa.
- KOZŁOWSKI S., GAWLIK Z., 1970 – Złoże barytu w Górach Świętokrzyskich. *Pr. Inst. Geol.*, 59: 157–178.
- KOZŁOWSKI S., PAWŁOWSKA J., GAWLIK Z., 1966 – Dokumentacja geologiczna złoże barytu „Strawczynek II”. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 23263, nr kat. 4531/695].
- KOZŁOWSKI S., SIKORSKA-MAYKOWSKA M., STRZELECKI R., 1998 – Zasady wyznaczania obszarów perspektywicznych i prognozytycznych złóż kopalin na MGGP. *Prz. Geol.*, 46, (10): 1047–1049.
- KOZŁOWSKI Z., NOWAK J., KASIŃSKI J.R., KUDEŁKO J., SOBOCINIŃSKI M., UBERMAN R., 2008 – Techniczno-ekonomiczny ranking zagospodarowania złóż węgla brunatnego w aspekcie założeń polityki energetycznej Polski. Ofic. Wyd. Polit. Wrocław, Wrocław.
- KOZUB-BUDZYŃ G.A., PIESTRZYŃSKI A., 2017 – Charakterystyka geochemiczna minerałów srebra występujących w złożu rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 468: 49–60.
- KOZULA R., GOLCZAK I., 1988 – Dokumentacja geologiczna złoże rud miedzi „Bytom Odrzański” w kat. C₁+C₂. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 17185 CUG].
- KOZYDRA Z., WYRICKI R., 1970 – Surowce ilaste. Wyd. Geol., Warszawa.
- KOZYDRA Z., WYRICKI R., 1975a – Iły kredowe z Wąwala i Komprachcie oraz ich przydatność dla ceramiki budowlanej. *Prz. Geol.*, 23 (1): 68–71.
- KOZYDRA Z., WYRICKI R., 1975b – Dolnokambrjskie ilowce okolic Klimontowa jako surowiec ceramiczny. *Prz. Geol.*, 23 (1): 448–450.
- KOZYDRA Z., MARZEC M., RUSZKOWSKA, KOZŁOWSKI S. (red.), 1977 – Katalog wybranych złóż surowców ilastych ceramiki budowlanej w Polsce. Wyd. Geol., Warszawa.
- KOZMA J., 2015 – Metodyka waloryzacji przestrzennej pokrycia terenu i obiektów ochrony przyrody na potrzeby oceny konfliktowości potencjalnej eksploatacji kopalin w obszarach perspektywicznych. *Prz. Geol.*, 63 (9): 581–588.
- KOZMA J., SROGA C., GAWROŃSKI O., 1990 – Projekt badań żył kwarcowych w rejonie Wądroża Wielkiego dla sporządzenia dokumentacji geologicznej złoże w kat. C₂. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Oddz. Warszawa [nr inw. 1412/91].
- KOZMA J., CWOJDZIŃSKI S., SROGA C., 2013 – Perspektywiczne zasoby złóż surowców skalnych w Polsce. Środowiskowe uwarunkowania w ich wykorzystaniu. Inst. Gór. Odkryw. POLTEGOR, Wrocław.
- KRAMARSKA R., 1991 – Mapa geologiczna dna Bałtyku 1:200 000, ark. Ławica Słupska i Ławica Słupska-N. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KRAMARSKA R., 2002 – Pakiet informacyjny dla potencjalnie bursztynonośnych obszarów Zatoki Gdańskiej. Zatoka Gdańska – rejon 2. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Oddz. Geol. Morza, Gdańsk [nr kat. 614].
- KRAMARSKA R., 2010 – Paleogen południowego Bałtyku i wybrzeża ze szczególnym uwzględnieniem osadów bursztynonośnych. [W:] Bursztyn: poglądy i opinie. Materiały z seminariów Amberif 2005–2009 (red. Kosmowska-Ceranowicz B., Gierłowski W.): 17–25. Międzynarodowe Stowarzyszenie Bursztynników, Warszawa–Gdańsk.
- KRAMARSKA R., JUROWSKA Z., 1991 – Objasnienia do mapy geologicznej dna Bałtyku w skali 1:200 000. Ark. Dziwnów, Szczecin. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KRAMARSKA R., KASIŃSKI J.R., 2008 – Prognozy zasobowe bursztynu w Polsce. PIG-PIB, Warszawa–Gdańsk.
- KRAMARSKA R., UŚCINOWICZ G., 2015 – Stan zagospodarowania złóż kruszywa w obrębie polskich obszarów morskich i perspektywy powiększenia bazy zasobowej. [W:] IV Ogólnopolska Konferencja Naukowa Złoże kopalin – aktualne problemy prac poszukiwawczych, badawczych i dokumentacyjnych. Warszawa 15–17.04.2015. Abstrakty: 94–95. PIG-PIB, Warszawa.
- KRAMARSKA R., ZACHOWICZ J., 2005 – Holoceneskie zmiany linii brzegowej morza i nagromadzenia bursztynu na obszarze delty Wisły. [W:] Bursztyn: poglądy i opinie. Materiały z seminariów Amberif 1994–2004 (red. Gierłowski W., Kosmowska-Ceranowicz B.): 16–21. Międzynarodowe Stowarzyszenie Bursztynników, Gdańsk; Bursztynowa Hossa Gierłowsky, Warszawa.
- KRAMARSKA R., JEGLIŃSKI W., JURYS L., PRZEZDZIECKI P., UŚCINOWICZ S., ZACHOWICZ J., 2005 – Atlas parametrów litologicznych osadów powierzchniowych południowego Bałtyku ze szczególnym uwzględnieniem geologiczno-górnictwowych warunków występowania surowców okrucowych wraz z raportem – ocena stabilności i odnawialności podmorskich złóż kruszywa naturalnego w akwenu południowego Bałtyku. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 893/2006].
- KRAMARSKA R., ZACHOWICZ J., JEGLIŃSKI W., 2006 – Złoże kruszywa i perspektywy surowcowe w polskich obszarach morskich na nowej mapie w systemie ArcGIS. *Górn. Odkryw.*, 48 (1/2): 174–181.
- KRAMARSKA R., KASIŃSKI J.R., SIVKOV V., 2008 – Bursztyn paleogeński *in situ* w Polsce i krajach ościennych – geologia, eksploatacja, perspektywy. *Górn. Odkryw.*, 50 (2/3): 97–110.
- KRAMARSKA R., JEGLIŃSKI W., KAULBARZ D., PĄCZEK U., PRZEZDZIECKI P., BOJAKOWSKA I., KOSZKA-MAROŃ D., RELISKO-RYBAK J., UŚCINOWICZ S., 2016 – Czwartorzęd Zatoki Pomorskiej i perspektywy surowcowe. *Prz. Geol.*, 64 (8): 552–563.
- KRAMARSKA R., SZARAFIN T., PĄCZEK U., 2019 – Mapa geośrodowiskowa polskich obszarów morskich w skali 1:250 000. PIG-PIB, Warszawa.
- KRAWCZYK J., ALEKSANDROWSKI P., CHOWANIEC J., SKRZYPCZYK L., FARBISZ J., GRZEGORCZYK K., BIEL A., CZERSKI M., AWDANKIEWICZ H., MĄDRAŁA D., FELTER A., 2011 – Projekt prac geologicznych dla określenia perspektywicznych rejonów i stref występowania wód termalnych na obszarze Sudetów Środkowych i Wschodnich wraz z blokiem przedsudeckim. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 627/2012].
- KRAWCZYKOWSKA A., 2017 – Ocena wzbogacalności flotacyjnej rudy złota. *Inżynieria Mineralna*, 1 (39): 221–226.

- KREITER W. M., 1960 – Poiski i razwiedka mestoroznieniu poleznych iskopajemych. Gesgeoltechizdat, Moskwa.
- KRÓŁ P., MIGASZEWSKI Z., 2009 – Rodzaje, występowanie i geneza krzemieni. Zarys problematyki. [W:] Historia krzemienia (red. Król P.): 12–45. Muz. Narod. w Kielcach, Kielce.
- KRÓŁ P., URBAN J., 2003 – Kopalnie w Miedzianej Górze i w Lawecznej oraz ochrona ich pozostałości. *Rocz. Świątokrz., Ser. B – Nauki Przyr.*, 29: 1–44.
- KRÓLICKA J., 1998 – Złoża obszaru łądowego. [W:] Ocena perspektyw poszukiwawczych złóż ropy naftowej i gazu ziemnego w utworach kambry synekliny bałtyckiej na podstawie analizy basenów sedymentacyjnych starszego paleozoiku (ze szczególnym uwzględnieniem bloków tektonicznych C i D). Nar. Arch. Geol. PIB-PIB, Warszawa [nr inw. 2903/98].
- KRÓLIKOWSKI C., PETRECKI Z., 1995 – Atlas grawimetryczny Polski. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KRUMBIGEL G., KRUMBIGEL B., 2005 – Saksońskie złoża bursztynu bitterfeldzkiego (Niemcy). [W:] Bursztyn: poglądy i opinie. Materiały z seminariów Amberif 1994–2004 (red. Gierłowski W., Kosmowska-Ceranowicz B.): 39–42. Międzynarodowe Stowarzyszenie Bursztynników, Gdańsk; Bursztynowa Hossa Gierłowsky, Warszawa.
- Kryteria bilansowości dla złóż kruszywa naturalnego w polskim obszarze Bałtyku (1988). PP-V/EK/279/88. Min. Przem., Warszawa.
- KRZAK M., 2012 – Dilemmas of mineral resources use in selected economic theories. *Gosp. Sur. Min.*, 28 (3): 23–41.
- KRZAK M., PAULO A., 2017 – Perspektywy rynku oraz współczesne kryteria kwalifikowania złóż rud żelaza do wydobycia. *Zesz. Nauk. IGSMiE PAN*, 100: 127–140.
- KRZEMIŃSKA E., KRZEMIŃSKI L., 2012 – Alkaliczna intruzja syenitowa Mławy a perspektywy występowania pierwiastków ziem rzadkich. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 448 (2): 401–407.
- KRZEMIŃSKA E., KRZEMIŃSKI L., PETECKI Z., WISZNIEWSKA J., SALWA S., ŻABA J., GAIDZIK K., WILLIAMS I.S., ROSOWIECKA O., TARAN L., JOHANSSON Å.E., PÉCSKAY Z., DEMAIFFE D., GRABOWSKI J., ZIELIŃSKI G., 2017 – Geological Map of Crystalline Basement in the Polish part of the East European Platform 1:1 000 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KRZEMIŃSKI P., SPECZIK S., 2013 – Progностyczne złoża rud Cu-Ag w województwie lubuskim (SW Polska). *Zesz. Nauk. IGSMiE PAN*, 85: 231–240.
- KRZEMIŃSKI P., SPECZIK S., 2017 – The sediments-hosted polymetallic target in SW Poland. [W:] Mineral Resources to Discover – 14th SGA Biennial Meeting 2017, Quebec, 20–24.08.2017. Proceedings. Vol 2 (red. Mercier-Langevin P. i in.): 673–676. Society for Geology Applied to Mineral Deposits, Quebec.
- KRZYSKÓW M., 1973 – Sprawozdanie z prac geologiczno-zwiadowczych za surowcem kaolinowym w rejonie Parowej. Arch. PG Proxima S.A., Wrocław.
- KRZYWIEC P., MAZUR S., GAŁAŁA Ł., KUFRASA M., LEWANDOWSKI M., MALINOWSKI M., BUFFENMYER V., 2017a – Late Carboniferous thin-skinned compressional deformation above the SW edge of the East European craton as revealed by seismic reflection and potential field data–Correlations with the Variscides and the Appalachians. *Geol. Soc. Amer. Mem.*, 213: 353–372.
- KRZYWIEC P., PERYT T.M., KIERSNOWSKI H., POMIANOWSKI P., CZAPOWSKI G., KWOLEK K., 2017b – Permo-Triassic evaporites of the Polish Basin and their bearing on the tectonic evolution and hydrocarbon system, an overview. [W:] Permo-Triassic salt provinces of Europe, North Africa and the Atlantic Margins. Tectonics and hydrocarbon potential (red. Soto J.I. i in.): 243–262. Elsevier, Oxford.
- KSIĄŻKIEWICZ M., 1972 – Budowa geologiczna Polski. Tom IV. Tektonika. Cz. 3. Karpaty. Wyd. Geol., Warszawa.
- KUBIAK J., BANAŚ M., PIETRZYŃSKI A., RYDZEWSKI A., NIEĆ M., 2007 – Synklina grodziecka. [W:] Monografia KGHM Polska Miedź SA, wydanie II (red. Piestrzyński A. i in.): 277–286. Allexim, Wrocław.
- KUBICA B., 1992 – Rozwój litofaljalny osadów chemicznych w północnej części zapadliska przedkarpackiego. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 133: 1–64.
- KUBICA B., 1993 – Siarka rodzima. [W:] Zasoby perspektywiczne kopalini Polski wg stanu na 31 XII 1990 r. (red. Bąk B., Przeniosło S.): 138–142. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KUBICKI S., 1992 – An outline of geological structure of the Tajno Massif. [W:] Geology of the Tajno Massif (Northeastern Poland) (red. Ryka W.). *Pr. Inst. Geol.*, 139: 7–14.
- KUBICZ A., 1966 – Zmienność petrograficzna skał serpentynitowych okolicy Grochowej i Braszowic jako ogniotrwałych surowców krzemianowo-magnezowych. *Arch. Miner.*, 2 (1/2): 397–466.
- KUBICZ A., 1970 – Sesja naukowa Sekcji Genezy Złóż Rud PTG w Sobótce (dyskusja). *Prz. Geol.*, 18 (6): 288–289.
- KUCHA H., 1982 – Platinum-group metals in the Zechstein copper deposits, Poland. *Econ. Geol.*, 77 (6): 1578–1591.
- KUCHA H., 1990 – Geochemistry of the Kupferschiefer, Poland. *Geol. Rundsch.*, 79/2: 387–399.
- KUCHA H., 2007 – Mineralogia kruszcowa i geochemia ciała rudnego złoża Lubin-Sierosowice. [W:] Geologiczne, gospodarcze i społeczne znaczenie odkrycia złoża rud miedzi (red. Oszczepalski S.). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 423: 77–94.
- KUCHA H., BIL B., 2017 – Charakterystyka mineralizacji kruszcowej cechsztynu na obszarze Weisswasser w Niemczech. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 468: 143–152.
- KUCHA H., MARCINKOWSKI B., 1976 – Nowe dane o minerałach molibdeny, rtęci i bizmutu ze złóż miedzi na monoklinie przedsudeckiej. *Rudy Met. Nieżel.*, 11: 420–422.
- KUCHA H., PAWLIKOWSKI M., 1986 – Two-brine model of the genesis of strata-bound Zechstein deposits (Kupferschiefer type), Poland. *Mineral. Deposita*, 21 (1): 70–80.
- KUCHA H., PRZYBYŁOWICZ W., 1999 – Noble metals in organic matter and clay-organic matrices, Kupferschiefer, Poland. *Econ. Geol.*, 94: 1137–1162.
- KUCHA H., PRZYBYŁOWICZ W., LANKOSZ M., VAN LANGEVELDE F., 1993 – EPMA, micro-PIXE, synchrotron microprobe and TEM study of visible and invisible accumulation of Au and PGE in black shale and organic matrix, Kupferschiefer, Poland. *Miner. Mag.*, 57: 103–112.
- KUCHARSKI M., SZYMAK M., 1993 – Złoża torfów leczniczych (borowina) w Polsce. Biuro Projektów „Balneoprojekt”, Warszawa.
- KUKIAŁKA P., 2015 – Kawerny solne w prowincji Alberta, Zachodnia Kanada. *Prz. Solny*, 11: 83–90.
- KUKIELSKA D., 2017 – Kruszywa z surowców odpadowych – kruszywa dla drogownictwa. *Magazyn Autostrady*, 3/2017: 44–45.
- KUNSTMAN A., URBANČYK K., 2013 – Podziemne magazynowanie energii: wodór w kawernach solnych – aspekty ekonomiczne. *Prz. Solny*, 9: 20–25.

- KUNSTMAN A., POBORSKA-MŁYNARSKA K., URBAŃCZYK K., 2002 – Zarys otworowego ługownictwa solnego. Aktualne kierunki rozwoju. Wyd. AGH, Kraków.
- KUNSTMAN A., POBORSKA-MŁYNARSKA K., URBAŃCZYK K., 2009 – Geologiczne i górnicze aspekty budowy magazynowych kavern solnych. *Prz. Geol.*, 57 (9): 819–828.
- KURAL S., GAWROŃSKI O., KOŚCİÓWKO H., MILEWICZ J., 1982 – Ocena zasobów i perspektywy dalszych poszukiwań surowców kaolinowych. [W:] Monografie surowców mineralnych Polski (red. Kozłowski S.): 9–73. Wyd. Geol., Warszawa.
- KUREK S., 1988 – Prawdopodobieństwo występowania mineralizacji Zn-Pb w utworach młodszego paleozoiku NE obrzeżenia Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Prz. Geol.*, 36 (4): 396–401.
- KUREK S., KMIĘCIAK M., 2006a – Dodatek nr 4 (rozliczeniowy) do dokumentacji geologicznej złoża rud cynku i ołowiu „Klucze” w kat C₁+C₂. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 568/2007].
- KUREK S., KMIĘCIAK M., 2006b – Dodatek nr 1 do dokumentacji geologicznej złoża rud cynku i ołowiu „Klucze I” w kat C₁. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 567/2007].
- KUREK S., KMIĘCIAK M., BORATYN J., 2006 – Dodatek nr 1 do dokumentacji geologicznej złoża rud cynku i ołowiu „Laski” w kat C₁+C₂. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 6002/2008].
- KUŚMIEREK J., 2004 – Systemy naftowe: pierwotny potencjał węglowodorowy a zasoby prognostyczne ropy naftowej i gazu ziemnego. *Gosp. Sur. Min.*, 20 (3): 27–53.
- KUUSKRAA V.A., STEVENS S.H., 2009 – Worldwide gas shales and unconventional gas: a status report. December 2009. Advanced Resources International, Arlington, VA.
- KWAK T.A.P., 1987 – W-Sn skarn deposits and related metamorphic skarns and granitoids. Developments in Economic Geology, 24. Elsevier, Amsterdam, Oxford and New York.
- KWARCINIŃSKI J. (red.), 1999 – Atlas geologiczny Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Mapy węglizobności w skali 1:300 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KWARCINIŃSKI J., 2011 – Metan z pokładów węgla kamiennego. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkowicz S. i in.): 63–70. PIG-PIB, Warszawa.
- KWAŚNY L., ZIELIŃSKA A., 2013a – Dodatek nr 2 do dokumentacji geologicznej złoża rud niklu „Szklary” obszar „Szklana Góra” w kat. B+C₁ (w celu rozliczenia zasobów), miejscowość Szklary, gmina Żąbkowice Śląskie, Ciepłowody, pow. Żąbkowice Śląskie, woj. Wrocławskie. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 3228/2014].
- KWAŚNY L., ZIELIŃSKA A., 2013b – Dokumentacja geologiczna złoża rud niklu „Szklary I” w kat. C₁ w miejsc. Szklary, Tomice, gmina Żąbkowice Śląskie, Ciepłowody, powiat żąbkowicki, woj. Dolnośląskie. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 3415/2014].
- KWIATKOWSKI S., 1972 – Sedymentacja gipsów miocenówskich południowej Polski. *Pr. Muz. Ziemi*, 19: 3–85.
- KWIATKOWSKI S., 1974 – Złóża gipsów miocenówskich Polski południowej. *Biul. Inst. Geol.*, 280: 299–336.
- LANCOT L., ŚLIZOWSKI J., SEERBIN K., 2013 – Możliwości składowania wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych w złożach soli kamiennej. *Prz. Solny*, 9: 97–100.
- LASKOWSKA T., SZCZEBYŁO J., GAŚKA K., WILKOSZ P., 2009 – Polskie magazyny gazu ziemnego – od Mogilna do Kosakowa. *Prz. Geol.*, 57 (9): 755–756.
- LASOŃ K., 1992 – Strefowość mineralizacji polimetalicznej paleozoiku okolic Myszkowa (NE obrzeżenie GZW). *Arch. Miner.*, 48 (1/2): 43–59.
- LASOŃ K., 2003 – Geochemia molibdenowo-wolframowego złoża porfirowego Myszków. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 405: 87–108.
- LASOŃ K., MARKOWIAK M., 2001 – Ocena możliwości występowania złóż porfirowych w paleozoiku rejonu Żarek na podstawie badań geochemiczno-mineralogicznych. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 1475/2001].
- LASOŃ K., MARKOWIAK M., 2008 – Perspektywy odkrycia ciała rudnego w rejonie Żarki-Kotowice w świetle badań petrograficzno-geochemicznych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 430: 65–78.
- LASOŃ K., MARKIEWICZ J., MARKOWIAK M., PAŃCZYK M., TRUSZEL M., OSZCZEPALSKI S., 2007 – Geochemiczne i petrologiczne środowisko mineralizacji Cu-Mo-W typu porfirowego w wendyjsko-dolnopaleozoicznych utworach obszaru krakowsko-lublinieckiego. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Oddz. Górnośląski, Sosnowiec [nr inw. 3401-B].
- LAST W.M., 1989 – Sedimentology of saline playa in the northern Great Plains, Canada. *Sedimentology*, 36 (1): 109–123.
- LAW B.E., 2002 – Basin-centered gas systems. *AAPG Bull.*, 86 (11): 1891–1919.
- LEACH D.L., VIETS J.G., GENT C.A., 1996 – Sulfur isotope geochemistry of ore and gangue minerals from the Silesian-Cracow Mississippi Valley-type ore district, Poland. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 154: 123–137.
- LEGOCKA I., WIERZBIĆKA E., AL-ZAHARI T.M., OSAWARU O., 2013 – Wpływ modyfikowanego halozytu na strukturę, właściwości cieplne i mechaniczne poliamidu 6. *Polimery*, 58 (1): 24–32.
- LEHMANN B., 1990 – Metallogeny of tin. Springer Verlag, Berlin.
- LENDZION K., 1990 – Stratigraphical units for Polish Cambrian. [W:] The Cambrian system on the East European Platform. Correlation chart and explanatory notes (red. Mens K. i in.). *IUGS Publ.*, 25.
- LENIK P., KUĆ P., SALWA S., BAZARNIK J., BĄK E., SĄDŁOWSKA K., CHMIELEWSKI A., OSZCZEPALSKI S., DOBRZANIECKA-GÓRKA A., RADWANEK-BĄK B., 2019 – Weryfikacja i ocena perspektyw wystąpienia rud metali (Cu, Zn, Pb i in.) na obszarze Gór Świętokrzyskich i ich obrzeżenia. PIG-PIB, Oddział Karpacki, Kraków.
- LEWICKA E., 2010 – Ocena kopaliny skaleniowo-kwarcowej ze Sławniowice (Sudety Wschodnie) jako potencjalnego surowca ceramicznego. *Studia, Rozprawy, Monografie*, 163.
- LEWICKA E., 2011 – Kaoliny. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkowicz S. i in.): 220–223. PIG-PIB, Warszawa.
- LEWICKA E., 2012 – Surowce ceramiczne z odpadów – wybrane przykłady. *Górn. Odkryw.*, 53 (1/2): 42–46.
- LEWICKA E., 2015 – Skalenie i surowce skaleniowe. [W:] Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 2013 (red. Smakowski T. i in.): 861–876. IGSMiE PAN, Kraków, PIG-PIB, Warszawa.
- LEWICKA E., 2017 – Podaż surowców skaleniowych w Polsce ze źródeł krajowych i zagranicznych w świetle potrzeb rynku. *Prz. Geol.*, 65 (6): 392–399.
- LEWICKA J., 1961 – Dokumentacja geologiczna złoża gipsów miocenówskich „Gartatowice” [niezatwierdzona]. Arch. PG S.A., Kraków.

- LINDNER M., 1976 – Wyjaśnienie metalonośności (cynonośności) strefy kontaktowej granitu Karkonoszy ze wschodnią osłoną metamorficzną. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr kat. 4522/630].
- LINDNER M., 1987 – Badania geologiczno-poszukiwawcze okruszczenia Sn, W i polimetalicznego we wschodniej osłonie granitu Karkonoszy. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 38934, nr kat. 72/84].
- LIS J., SYLWESTRZAK H., 1986 – *Minerały Dolnego Śląska*. Wyd. Geol., Warszawa.
- LISICKI S., 2010 – Mapa geologiczna Polski 1:1 000 000. PIG-PIB, Warszawa.
- LIU CH.J., JIAO P.CH., WANG M.L., CTRUC HEN Y.Z., 2007 – Sedimentation of glauberite and its effect on potash deposits formation in Lop Nur salt lake, Xinjiang, China [w jęz. chińskim]. *Kuangchuan Dizhi*, 26 (3): 322–329.
- LOGAN B.W., 1987 – The MacLeod Evaporite Basin, Western Australia. Holocene environments, sediments and geological evolution. *AAPG Memoir*, 44: 1–140.
- LONG K.R., VAN GOWEN B.S., FOLEY N.K., CORDIER D., 2010 – The principal rare earth elements deposits of the United States – a summary of domestic deposits and a global perspective. USGS Scientific Investigations Report, 2010-5220.
- LOWELL J.D., GUILBERT J.M., 1970 – Lateral and vertical alternation – mineralization zoning in porphyry ore deposits. *Econ. Geol.*, 65 (4): 373–406.
- LUDINGTON S., HAMMARSTROM J., PIATAK N., 2009 – Low-fluorine stockwork molybdenite deposits. USGS Open File Report, 2009-1211: 1–9.
- ŁAZOWSKI L., 2004 – Stan poszukiwań bursztynu w osadach holocenijskich Pobrzeża Bałtyckiego. *PAN Pr. Muz. Ziemi*, 47: 43–55.
- ŁAZOWSKI L., BUJAKOWSKA K., 2004a – Dokumentacja geologiczna złoża bursztynu Stegna w kat. D. *Woj. Arch. Geol.*, Gdańsk [nr inw. 20417].
- ŁAZOWSKI L., BUJAKOWSKA K., 2004b – Dokumentacja geologiczna złoża bursztynu Smoldzino, Sztutowo – pole I, Sztutowo – pole II w kat. D. *Woj. Arch. Geol.*, Gdańsk [nr inw. 20418].
- ŁUSZCZKIEWICZ A., 1998 – Wydzielanie koncentratów złota i platynowców z pozabilansowej rudy miedzi. *Pol. Tow. Miner., Pr. Spec.*, 12: 41–62.
- ŁUSZCZKIEWICZ A., KURZYCA M., STEINHOFF J., ŚWIERKOT-KAPALA A., 1988 – Ocena możliwości pozyskiwania minerałów ciężkich z piasków Ławic Słupskiej i Odrzańskiej. *Prz. Gór.*, 44 (10): 12–18.
- MACHNIAK Ł., KOZIOŁ W., 2014 – Kruszywa alternatywne – baza zasobowa i kierunki wykorzystania w budownictwie. *Kruszywa*, 4/2014: 28–33.
- MACHNICKA A., NOWICKA E., 2016 – Zastosowanie halozytu w celu zmniejszenia stężenia zanieczyszczeń w ściekach komunalnych. *Inż. Ekol.*, 50: 217–222.
- MACHOWSKI G., PSTRUCHA A., KRZYŻAK A.T., 2017 – Petrophysical characterization of the pore space in gas-bearing Miocene rocks from the Siedleczka area (the Carpathian Foredeep, Poland). [W:] 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017. Conference Proceedings, Vol. 17, Issue 11: 789–796. STEF92 Technology Ltd., Sofia.
- MACIEJEWSKA K., 1994 – Wapno – sól i gips. Pałuki, 108 (10/1994) [www.palukity.pl].
- MACIEJEWSKI A., 2008 – Podziemne magazynowanie paliw płynnych. *Gosp. Sur. Min.*, 34 (3/2): 39–53.
- MAJEROWICZ A., PINO C., 1994 – The main petrological problem of the Mt. Ślęża ophiolite complex, Sudetes (Poland). *Zbl. Geol., Paleont.*, 2 (9/10): 989–1018.
- MAJOROWICZ J., 1971 – Przebieg wartości stopnia geotermicznego w Polsce w przedziale głębokości 200–2500 m. *Kwart. Geol.*, 15 (4): 891–900.
- MAJOROWICZ J., POLKOWSKI M., GRAD M., 2018 – Thermal properties of the crust and the lithosphere–asthenosphere boundary in the area of Poland from the heat flow variability and seismic data. *Int. J. Earth Sci.*, 108 (2): 649–672.
- MAKOWSKI H., 1962 – Historia odkrycia Zagłębia Nadbużańskiego. *Prz. Geol.*, 11 (11): 579–582.
- MALEC J., LENARTOWICZ L., WRÓBLEWSKI T., 1985 – Biostatystyka świętokrzyskich złóż rudonośnych dewonu oraz ich charakterystyka mineralogiczno-złożowa. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 34292, nr kat. 4531/983].
- MALINOWSKI J. (red.), 1971 – Budowa geologiczna Polski. Tom VII. Hydrogeologia. Wyd. Geol., Warszawa.
- MALISZEWSKA A., KUBERSKA M., LEŚNIAK G., SUCH P., 1998 – Ewolucja przestrzeni porowej utworów czerwonego spągowca. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 165: 171–184.
- MALON A., 2019a – Kwarcyty ogniotworne. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szufficki M. i in.): 132–133. PIG-PIB, Warszawa.
- MALON A., 2019b – Piaski kwarcowe do produkcji betonów komórkowych i cegły wapienno-piaskowej. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szufficki M. i in.): 393–400. PIG-PIB, Warszawa.
- MALON A., 2019c – Piaski podsadzkowe. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szufficki M. i in.): 401–403. PIG-PIB, Warszawa.
- MALON A., 2019d – Surowce szklarskie. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szufficki M. i in.): 449–451. PIG-PIB, Warszawa.
- MALON A., 2019e – Piaski formierskie. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szufficki M. i in.): 142–145. PIG-PIB, Warszawa.
- MALON A., 2019f – Surowce kaolinowe. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szufficki M. i in.): 445–446. PIG-PIB, Warszawa.
- MALON A., 2019g – Kware żyłowe. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szufficki M. i in.): 134–135. PIG-PIB, Warszawa.
- MALON A., 2019h – Surowce skaleniowe. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szufficki M. i in.): 447–448. PIG-PIB, Warszawa.
- MALON A., 2019i – Magnezyty. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szufficki M. i in.): 138–139. PIG-PIB, Warszawa.
- MALON A., TYMIŃSKI M., 2019a – Węgle kamienne. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szufficki M. i in.): 40–50. PIG-PIB, Warszawa.
- MALON A., TYMIŃSKI M., 2019b – Metan z pokładów węgla (MPW). [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szufficki M. i in.): 25–27. PIG-PIB, Warszawa.

- MALON A., TYMIŃSKI M., MIKULSKI S.Z., OSZCZEPALSKI S., 2019 – Surowce metaliczne. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szuflicki M. i in.): 51–68. PIG-PIB, Warszawa.
- MAŁECKA D., 1981 – Hydrogeologia Podhala. Wyd. Geol., Warszawa.
- MAŁEK R., MIKULSKI S.Z., CHMIELEWSKI A., 2019 – Charakterystyka mineralogiczno-geochemiczna mineralizacji kasyterytowo-siarczkowej w historycznych sztolniach św. Jana i św. Leopolda w paśmie łupkowym Starej Kamienicy (Sudety Zachodnie). *Prz. Geol.*, 67 (11): 914–924.
- MAŁKA A., 2012 – Eksploatacja surowca bursztynowego z nagromadzeń czwartorzędowych w okolicach Gdańska w XIX i na początku XX wieku. *Prace Muz. Ziemi*, 50: 45–56.
- MAREK S., STOCKLMAYER V., KANASIEWICZ J., 2012 – Dokumentacja geologiczna z realizacji robót geologicznych przy poszukiwaniu i rozpoznawaniu złóż rud niklu, kobaltu, platynowców i złota na bloku przedsudeckim w rejonie koncesyjnym Szklary koło Ząbkowic Śląskich na Dolnym Śląsku. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 4080/2012].
- MARKIEWICZ J., ŚLÓSZARZ J., TRUSZEL M., 1993 – Pozycja geologiczna mineralizacji Cu-Mo-W w paleozoiku północno-wschodniego obrzeżenia GZW. *Pol. Tow. Miner., Pr. Spec.*, 3: 47–54.
- MARKOWIAK M., 2005 – Charakterystyka przejawów polimetalicznej mineralizacji kruszcowej w strefie kontaktu bloków górnośląskiego i małopolskiego. Przewodnik 76. Zjazd Polskiego Towarzystwa Geologicznego Rudy k. Rybnika, 14–16 września 2005 r. (red. Jureczka J. i in.): 177–182. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MARKOWIAK M., 2008 – Złoże polimetaliczne Mo-W-Cu Myszków. *Prz. Gór.*, 64 (9/10): 57–64.
- MARKOWIAK M., 2012 – Przejawy mineralizacji kruszcowej w utworach edikaru nawierconych w otworze Cianowice 2. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 448: 345–358.
- MARKOWIAK M., 2014 – Przejawy mineralizacji kruszcowej w skałach nawierconych otworami Trojanowice 2 i Cianowice 2. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 459: 83–92.
- MARKOWIAK M., 2015 – Charakterystyka mineralizacji kruszcowej na tle przeobrażeń termiczno-metasomatycznych skał w rejonie Żarek – Kotowic. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 203.
- MARKOWIAK M., HABRYN R., 2003 – Kompleksowa ocena polimetalicznej mineralizacji kruszcowej w utworach paleozoiku i prekambriu w obszarze krakowsko-lublinieckim. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 184/2005].
- MARKOWIAK M., PIEKARSKI K., ŚLÓSZARZ J., HABRYN R., MARKIEWICZ J., TRUSZEL M., LASOŃ K., JURA D., BADERA J., 1994 – Wyniki badań geologicznych i złożowych paleozoicznego podłoża w obszarze Myszków-Mrzygłód. *Pr. Nauk. UŚL*, 1431: 173–217.
- MARKOWIAK M., OSZCZEPALSKI S., MIKULSKI S.Z., 2009 – Porfirowa mineralizacja Mo-Cu-W w prekambryjsko-paleozoicznych utworach strefy kontaktu bloków górnośląskiego i małopolskiego. *Prz. Geol.*, 57 (4): 308.
- MARKOWIAK M., CZARNIAK P., HABRYN R., 2019 – Poszukiwanie intruzji granitoidowej będącej źródłem mineralizacji polimetalicznej w rejonie na NW od Krakowa z zastosowaniem metod geofizycznych. *Prz. Geol.*, 67 (6): 465–477.
- MARKS L., BER A., GOGOLEK W., PIOTROWSKA K. (red.), 2006 – Mapa geologiczna Polski 1:500 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MARZEC M., WOŹNY E., 1972 – Litologia i stratygrafia utworów trzeciorzędu okolic Jastrzębiej Góry koło Pucka. *Prz. Geol.*, 20 (12): 562–570.
- MASŁOWSKA M., 2005 – Złoże kruszywa naturalnego w Polscej części Morza Bałtyckiego, *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 416: 5–43.
- MASTERS J.A., 1979 – Deep basin gas trap, western Canada. *AAPG Bull.*, 63 (2): 152–181.
- MATL K., KASZTELEWICZ Z., KASIŃSKI J.R., BIEŁOWICZ B., GALINIAK G., ZAJĄCZKOWSKI M., 2014 – Zróżnicowanie bazy zasobowej węgla brunatnego w Polsce dla produkcji gazu metodą nazijnego i podziemnego zgazowania. *Prz. Gór.*, 70 (11): 38–46.
- MATYASIK I., 1998 – Charakterystyka geochemiczna skał macierzystych karbonu w wybranych profilach wiertniczych obszaru radomsko-lubelskiego i pomorskiego. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 165: 215–226.
- MAYER W., PIETRZYŃSKI A., 1985 – Ore minerals from Lower Zechstein sediments at Rudna mine, Fore-Sudetic monocline, SW Poland. *Pr. Miner.*, 75: 1–72.
- MAZUR M., MIERZWA L., GRABANIA A., 1994 – Perspektywy lokalizacji podziemnych magazynów w złożach soli w Polsce. *Prz. Gór.*, 50 (10): 11–14.
- MAZUR S., MIKOŁAJCZAK M., KRZYWIEC P., MALINOWSKI M., BUFFENMYER V., LEWANDOWSKI M., 2015 – Is the Teisseyre-Tornquist Zone an ancient plate boundary of Baltica? *Tectonics*, 34 (12): 2465–2477.
- MAZUR S., MIKOŁAJCZAK M., KRZYWIEC P., MALINOWSKI M., LEWANDOWSKI M., BUFFENMYER V., 2016 – Pomeranian Caledonides, NW Poland – a collisional suture or thin-skinned fold-and-thrust belt? *Tectonophysics*, 692 (A): 29–43.
- MAZUR S., PORĘBSKI S., KĘDZIOR A., PASZKOWSKI M., PODHALAŃSKA T., POPRAWA P., 2017 – Refined timing and kinematics for Baltica-Avalonia convergence based on the sedimentary record of foreland basin. *Terra Nova*, 30 (1): 8–16.
- MAZUREK S., 2016 – Dodatek nr 2 do dokumentacji geologicznej złoża soli kamiennej „Kłodawa 1”. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 3420/2017].
- MAZUREK S., TYMIŃSKI M., 2019 – Węgle brunatne. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szuflicki M. i in.): 34–39. PIG-PIB, Warszawa.
- MAĆCZKA W., PIETRZYŃSKI A., PIECZONKA J., 2003 – Wzbogacanie grawitacyjne złota występującego w łupku czerwonym. *Inżynieria Mineralna*, 3: 141–149.
- MĄDRY S., 2013a – Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1:50 000, ark. Busko-Zdrój (914). Reambulacja. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- MĄDRY S., 2013b – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Busko-Zdrój (914). Reambulacja. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- MĄDRY S., SALWA S., 2017a – Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1:50 000, ark. Pińczów (884). Reambulacja. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 1475/2018].
- MĄDRY S., SALWA S., 2017b – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Pińczów (884). Reambulacja. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 1475/2018].
- MECKEL L.D., THOMASSON M.R., 2008 – Pervasive tight-gas sandstone reservoir: an overview. [W:] Understanding, exploring, and developing tight-gas sands. 2005 Vail Hedberg Conference (red. Cumella S.P. i in.). *AAPG Hedberg Ser.*, 3: 13–27.

- MEINERT L.D., ROBINSON G.R. JR., NASSAR N.T., 2016 – Mineral resources: reserves, peak production and the future. *Resources*, 5 (1): 1–14.
- MELVIN J.L. (red.), 1991 – Evaporates, petroleum and mineral resources. Elsevier, Amsterdam.
- MENDALUK J., 1979 – Wody kopalń kredy jeziornej na Ziemi Lubuskiej. [W:] Krajowa konferencja naukowo-techniczna „Kreda jeziorna i gytie”, Lubniewice, 8–10 XI 1979 r. PTPNoZ, Oddz. Ziemi Lubuskiej, Gorzów Wielkopolski, Zielona Góra.
- MICHALAK H., 1989 – Inwentaryzacja złóż kopalin stałych do produkcji materiałów budowlanych, gm. Bircza, woj. przemyskie. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 1086/91].
- MICHALIK M., SAWŁOWICZ Z., 2000 – Długotrwały i wielostadialny proces rozwoju złóż miedzi na monoklinie przedsudeckiej. *Pol. Tow. Miner., Pr. Spec.*, 16: 259–270.
- MICHNIEWICZ M., 1988 – Zonografia cynonośnych stref rudnych w zachodniej części pasma łupkowego Starej Kamienicy. *Kwart. Geol.*, 32 (3/4): 739–740.
- MICHNIEWICZ M., 1991 – Charakterystyka cynonośnych stref rudnych pasma łupkowego Starej Kamienicy między Czerniawą a Krobicą (Góry Izerskie). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 367: 19–48.
- MICHNIEWICZ M., 2011 – Rudy cyny. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkiewicz S. i in.): 105–107. PIG-PIB, Warszawa.
- MICHNIEWICZ M., SROGA C., 1987 – Dokumentacja geologiczna złoża rud cyny „Krobica Zachód-Czerniawa”. Sprawozdanie geologiczne. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 46361, nr kat. 4521/468].
- MICHNIEWICZ M., BOBIŃSKI W., BORUCKI J., GAWLIKOWSKA E., SEIFERT K., SIEMIĄTKOWSKI J., SOKOŁOWSKA G., WOJNAR B., 1990 – Poszukiwanie złóż rud cyny w osłonie metamorficznej granitoidu karkonoskiego i bloku karkonosko-izerskiego. Badania specjalne zachodniej części pasma kamienieckiego. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 284/91].
- MICHNIEWICZ M., GAWLIKOWSKA E., SEIFERT K., 1994 – Model rozprzestrzenienia cynonośnych stref rudnych w zachodniej części pasma kamienieckiego – złożo „Gierczyn”. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 1516/94].
- MICHNIEWICZ M., BOBIŃSKI W., SIEMIĄTKOWSKI J., 2006 – Mineralizacja cynowa w środkowej części pasma łupkowego Starej Kamienicy (Sudety zachodnie). *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 186.
- MIECZNIK J.B., 1983 – Wyniki badań geologiczno-poszukiwawczych mineralizacji uranowej w utworach górnikarbońskich rejonu Głuszyca-Nowa Ruda (depresja śródsudecka) woj. walbrzyskie. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 365/2020.].
- MIECZNIK J.B., STRZELECKI R., WOŁKOWICZ S., 2011 – Uran w Polsce – historia poszukiwań i perspektywy odkrycia złóż. *Prz. Geol.*, 59 (10): 688–697.
- MIELNICZUK W.G., KRYNICKA M.W., 2018 – Bursztin Polissia. Ministerstwo Oświaty i Nauki Ukrainy, Narodowy Uniwersytet Wodnego Gospodarstwa i Prirodokorzystania, Rivne.
- MIGASZEWSKI Z., GAŁUSZKA A., 2019 – Pierwiastki ziem rzadkich w kwaśnych wodach kopalnianych – zarys problematyki. *Prz. Geol.*, 67, (2): 105–114.
- MIKULSKI M., TURKIEWICZ, KRYŚ E., KARWOWSKI L., 1989 – Zdjęcie szlichowe i geochemiczne aluwialne na ark. 1:100 000 Walbrzych i Legnica (M-33-XI-45 i 33). *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 305/91].
- MIKULSKI S.Z., 1996 – Gold mineralization within contact-metamorphic and shear zones in the „Złoty Jar” quarry – the Złoty Stok As-Au deposit area (Sudetes). *Geol. Quart.*, 40 (3): 407–442.
- MIKULSKI S.Z., 1997 – Złoto rodzime w złożu rudy arsenowej w Czarnowie (Sudety Zachodnie). [W:] Metale szlachetne w NE części Maszysu Czeskiego i w obszarach przyległych: geneza, występowanie, perspektywy. Konferencja naukowa, Jarnołtówek, 19–21 czerwca 1997 r. (red. Muszer A.): 29–33. Inst. Nauk Geol., Univ. Wrocław, Wrocław.
- MIKULSKI S.Z., 1998 – Złotonośna mineralizacja kruszcowa z Barda Śląskiego (Sudety Środkowe). *Prz. Geol.*, 46 (12): 1261–1267.
- MIKULSKI S.Z., 1999 – Złoto z Radzimowic w Górach Kaczawskich (Sudety) – nowe dane geochemiczne i mineralogiczne. *Prz. Geol.*, 47 (11): 999–1005.
- MIKULSKI S.Z., 2000a – Poszukiwania mineralizacji scheelitowo-złotonośnej w rejonie makroenkawy Ptasznika na intruzji kłódzko-złotostockiej w Sudetach. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 391: 5–88.
- MIKULSKI S.Z., 2000b – Złoto w polimetalicznych rudach na Dolnym Śląsku – próba klasyfikacji. *Prz. Geol.*, 48 (10): 911–916.
- MIKULSKI S.Z., 2005 – Geological, mineralogical and geochemical characteristics of the Radzimowice Au-As-Cu deposit from the Kaczawa Mts. (Western Sudetes, Poland) – an example of the transition of porphyry and epithermal style. *Mineral. Deposita*, 39 (8): 904–920.
- MIKULSKI S.Z., 2006 – Atlas metalogeniczny złota w Sudetach i na Bloku Przedsudeckim w skali 1:200 000 wraz z objaśnieniami i obszarami perspektywicznymi. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 486/2007].
- MIKULSKI S.Z., 2007a – Metal ore potential of the parent magma of granite – the Karkonosze massif example. [W:] Granitoids in Poland (red. Kozłowski A., Wiszniewska J.). *AM Monograph*, 1: 123–145.
- MIKULSKI S.Z., 2007b – The late-Variscan gold mineralization in the Kaczawa Mountains, Western Sudetes. *Pol. Geol. Inst. Spec. Pap.*, 22.
- MIKULSKI S.Z., 2009 – Orogeniczne żyłowe złoża złota i ich rozsypiska a największe światowe gorączki złota w drugiej połowie XIX wieku w Ameryce i Australii. *Prz. Geol.*, 57 (12): 1048–1056.
- MIKULSKI S.Z., 2010 – Charakterystyka i geneza złotonośnej mineralizacji arsenowo-polimetalicznej w złożu Czarnów (Sudety Zachodnie). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 439: 303–320.
- MIKULSKI S.Z., 2011 – Gold-chalcedony overprint on the auriferous sulphide ores in the Kaczawa Mountains. [W:] Gold in Poland (red. Kozłowski A., Mikulski S.Z.). *AM Monograph*, 2: 85–97.
- MIKULSKI S.Z., 2012 – Występowanie i zasoby perspektywiczne rud niklu w Polsce. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 448 (2): 287–296.
- MIKULSKI S.Z., 2014 – Występowanie telluru i bizmutu w złotonośnych siarczkowych rudach polimetalicznych w Sudetach (SW Polska). *Gosp. Sur. Min.*, 30 (2): 15–34.
- MIKULSKI S.Z., 2015 – Mapy obszarów perspektywicznych wystąpień rud metali w Polsce w skali 1:200 000: pierwotne rudy złota typu żyłowego i metasomatycznego towarzyszące mineralizacji siarczkowej na Dolnym i Górnym Śląsku oraz w Małopolsce. *Prz. Geol.*, 63 (9): 546–555.
- MIKULSKI S.Z., MALEK R., 2019 – Indium and other critical elements enrichment in cassiterite-sulphide mineralization from the stratiform tin deposits in the West Sudetes (SW Poland). [W:] Proceedings of 15th Biennial SGA Meeting, Glasgow, Scotland, 27–30 August 2019. Vol. 4: 1818–1821. University of Glasgow Publicity Services, b.m.

- MIKULSKI S.Z., MARKOWIAK M., 2011 – Gold occurrence in the contact of the Małopolska and Upper Silesia blocks southern Poland. [W:] Gold in Poland (red. Kozłowski A., Mikulski S.Z.). *AM Monograph*, 2: 307–317.
- MIKULSKI S.Z., SPECZIK S., 2016 – The auriferous ore mineralization and its zonal distribution around the Variscan Kłodzko-Złoty Stok granitoid pluton in the Sudetes (SW Poland) – an overview. *Geol. Quart.*, 60 (3): 650–674.
- MIKULSKI S.Z., STEIN H.J., 2010 – Re-Os age of a chalcopirite sample from the Lubin Cu-Ag mine, Kupferschiefer, SW Poland. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 71 (07S): A708, Suppl. S.
- MIKULSKI S.Z., STEIN H.J., 2012 – Wiek molibdenitów w Polsce w świetle badań izotopowych Re-Os. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 452: 199–216.
- MIKULSKI S.Z., STEIN H.J., 2017 – Wiek izotopowy Re-Os siarczkowej mineralizacji Cu-Ag oraz jej charakterystyka mineralogiczna i geochemiczna z obszaru złożowego Lubin-Polkowice (SW Polska). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 468: 79–96.
- MIKULSKI S.Z., STRZELSKA-SMAKOWSKA B., 2013 – The prospective and hypothetic areas of zinc and/or lead ores in different types of deposits beyond the Upper Silesia Zn-Pb Ore District in Poland. *Gosp. Sur. Min.*, 29 (3): 5–20.
- MIKULSKI S.Z., KOZŁOWSKI A., SPECZIK S., 2007a – Fluid inclusion study of gold-bearing quartz-sulphide veins and cassiterite from the Czarnów As deposit ore (SW Poland). [W:] Digging deeper. Proceedings of the 9th Biennial SGA Meeting, Dublin 2007 (red. Andrew C.J. i in.): 805–808. Irish Association for Economic Geology, b.m.
- MIKULSKI S.Z., MARKOWIAK M., OSZCZEPALSKI S., 2007b – Preliminary results of geochemical and ore-microscopic studies of Mo-Cu mineralization from the Będkowska Valley near Kraków (Poland). [W:] Digging deeper. Proceedings of the 9th Biennial SGA Meeting, Dublin 2007 (red. Andrew C.J. i in.): 447–450. Irish Association for Economic Geology, b.m.
- MIKULSKI S.Z., MARKOWIAK M., OSZCZEPALSKI S., 2008 – Złoto w żyłach kwarcowo-siarczkowych z wiercenia DB-4 (rejon Doliny Będkowskiej, południowa Polska). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 429: 99–112.
- MIKULSKI S.Z., OSZCZEPALSKI S., MARKOWIAK M., 2011a – Rudy molibdenu i wolframu. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalni Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkowicz S. i in.): 117–121. PIG-PIB, Warszawa.
- MIKULSKI S.Z., STRZELSKA-SMAKOWSKA B., RETMAN W., 2011b – Rudy cynku i ołowiu. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalni Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkowicz S. i in.): 94–104. PIG-PIB, Warszawa.
- MIKULSKI S.Z., WOJCIECHOWSKI A., OSZCZEPALSKI S., 2011c – Rudy złota. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalni Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkowicz S. i in.): 110–117. PIG-PIB, Warszawa.
- MIKULSKI S.Z., OSZCZEPALSKI S., MARKOWIAK M., 2012 – Występowanie i zasoby perspektywiczne rud molibdenu i wolframu w Polsce. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 448 (2): 297–314.
- MIKULSKI S.Z., STRZELSKA-SMAKOWSKA B., RETMAN W., 2013 – The prospective and prognostic areas of zinc and lead ores in the Upper Silesia Zn-Pb Ore District. *Gosp. Sur. Min.*, 29 (2): 173–191.
- MIKULSKI S.Z., OSZCZEPALSKI S., BRAŃSKI P., KOZDRÓJ W., MARKOWIAK M., KRAMARSKA R., CHMIELEWSKI A., SĄDŁOWSKA K., DAMRAT M., 2014 – Weryfikacja stanu wiedzy o mineralizacji metalami ziem rzadkich (REE) wraz z pilotażową oceną ich perspektyw złożowych w Polsce z wyłączeniem obszaru kratonu wschodnioeuropejskiego. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 1463/2016].
- MIKULSKI S.Z., MARKOWIAK M., SĄDŁOWSKA K., CHMIELEWSKI A., ZIELIŃSKI G., 2015a – Pilotażowe badania pierwiastków ziem rzadkich (REE) w strefie kontaktu bloku górnoląskiego z blokiem małopolskim. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 465: 77–98.
- MIKULSKI S.Z., OSZCZEPALSKI S., CZAPOWSKI G., SĄDŁOWSKA K., GAŚIEWICZ A., MARKOWIAK M., STRZELSKA-SMAKOWSKA B., SZTROMWASSER E., KOŻMA K., SIKORSKA-MAYKOWSKA M., PAULO A., CHMIELEWSKI A., RADWANIEK-BAK B., GIEŁZECKA-MĄDRY D., MĄDRY S., MICHNIEWICZ M., BUKOWSKI K., KUĆ P., BLIŹNIUK A., KOSTRZ-SIKORA P., PIOTROWSKA M., 2015b – Mapy obszarów perspektywicznych wystąpień rud metali i surowców chemicznych w Polsce w skali 1:200 000 wraz z ich oceną surowcową i ograniczeniami środowiskowymi i zagospodarowania przestrzennego. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 1714/2015].
- MIKULSKI S.Z., KRAMARSKA R., ZIELIŃSKI G., 2016a – Rare earth elements pilot studies of the baltic marine sands enriched in heavy minerals. *Gosp. Sur. Min.*, 32 (4): 5–30.
- MIKULSKI S.Z., OSZCZEPALSKI S., CZAPOWSKI G., GAŚIEWICZ A., SĄDŁOWSKA K., MARKOWIAK M., SZTROMWASSER E., BUKOWSKI K., GIEŁZECKA-MĄDRY D., MĄDRY S., STRZELSKA-SMAKOWSKA B., PAULO A., MICHNIEWICZ M., RADWANIEK-BAK B., CHMIELEWSKI A., KUĆ P., SIKORSKA-MAJKOWSKA M., KOŻMA J., BLIŹNIUK A., PIOTROWSKA M., KOSTRZ-SIKORA P., 2016b – Obszary i zasoby perspektywiczne wystąpień rud metali i surowców chemicznych w Polsce na mapach w skali 1:200 000 wraz z ich oceną surowcową oraz ograniczeniami środowiskowymi i zagospodarowania przestrzennego. *Prz. Geol.*, 64 (9): 657–670.
- MIKULSKI S.Z., NOWACKI Ł., SĄDŁOWSKA K., OSTROWSKI S., BĄK T., PACANOWSKI G., LASOCKI M., 2017 – Modern prospecting for zinc and lead ores of the MVT near Siewierz in the Upper Silesia Zn-Pb Ore District in the southern Poland. [W:] Mineral Resources to Discover – 14th SGA Biennial Meeting 2017, Quebec, 20–24.08.2017. Proceedings. Vol 2 (red. Mercier-Langevin P. i in.): 681–684.
- MIKULSKI S.Z., SĄDŁOWSKA K., OSZCZEPALSKI S., CHMIELEWSKI A., MAŁEK R., 2018a – Weryfikacja formacji metalogenicznych w Polsce w aspekcie występowania surowców rzadkich i krytycznych. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 5685/2018].
- MIKULSKI S.Z., OSZCZEPALSKI S., SĄDŁOWSKA K., CHMIELEWSKI A., MAŁEK R., 2018b – Występowanie pierwiastków towarzyszących i krytycznych w wybranych udokumentowanych złożach rud Zn-Pb, Cu-Ag, Fe-Ti-V, Mo-Cu-W, Sn, Au-As i Ni w Polsce. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 472: 21–52.
- MIKULSKI S.Z., WILLIAMS I.S., MARKOWIAK M., 2019 – Carboniferous-Permian magmatism and Mo-Cu (-W) mineralization in the contact zone between the Małopolska and Upper Silesia Blocks (S Poland) – an echo of Baltica-Gondwana collision. *Int. J. Earth Sci.*, 108: 1467–1492.
- MIKULSKI S.Z., OSZCZEPALSKI S., SĄDŁOWSKA K., CHMIELEWSKI A., MAŁEK R., 2020 – Trace element distributions in the Zn-Pb (Mississippi Valley-Type) and Cu-Ag (Kupferschiefer) sediment-hosted deposits in Poland. *Minerals*, 10 (75): 1–47.
- MILKOWSKI R., 1979 – Sprawozdanie z prac badawczych miocenijskiej serii gipsońszej w obszarze Niecki Nidy. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 45538, nr kat. 4631/376].
- MISRA K.C., 2000 – Understanding mineral deposits. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- MIŚKIEWICZ W., BRZEZIŃSKI D., KALINOWSKA A., STAWIEREJ J., 2019 – Piaski i żwiry [W:] Bilans zasobów złóż kopalni w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szuflicki M. i in.): 146–392. PIG-PIB, Warszawa.
- MIZERSKA M., 2018 – Sole potasowo-magnezowe/ Potassium-magnesium salts. PIG-PIB, Warszawa.

- MIZERSKI W., 2014 – Geologia Polski. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- MIZERSKI W., SZAMALEK K., 2009 – Geologia i surowce mineralne oceanów. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- MOCZYDŁOWSKA H., ZAGOŹDŹON P., 2013 – Cyfrowy model trasy podziemnej turystycznej „Kopalnia Św. Jan” w Krobicy. *Mining Science*, 20: 27–38.
- MODLIŃSKI Z. (red.), 2010 – Atlas paleogeograficzny podpermskiego paleozoiku kratonu wschodnioeuropejskiego w Polsce i na obszarach sąsiednich 1:2 000 000. PIG-PIB, Warszawa.
- MODLIŃSKI Z., SZYMAŃSKI B., TELLER L., 2006 – Litostratygrafia syluru polskiej części obniżenia perybaltyckiego – część lądowa i morska (N Polska). *Prz. Geol.*, 54 (9): 787–796.
- MOJSKI E. (red.), 1989–1995 – Mapa geologiczna dna Bałtyku w skali 1:200 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MOJSKI J.E., RZECHOWSKI J., WOŹNY E., 1966 – Górny eocen w Luszawie nad Wieprzem koło Lubartowa. *Prz. Geol.*, 14 (12): 513–517.
- MÖLLER P., 1986 – Rare earth mineral deposits and their industrial importance. [W:] Lanthanides, tantalum and niobium. Processing and Applications Proceedings of a workshop in Berlin, November 1986 (red. Möller P. i in.): 171–188. Springer, Berlin.
- MORÁVEK P. (red.), 1992 – Zlato v Českém masivu. Český Geologický Ústav, Praha.
- MORAWIECKI A., 1971 – Badania nad wzbogacaniem i wykorzystywaniem fosforitów krajowych. *Biul. Inst. Geol.*, 246: 47–134.
- MOSIER D.L., SINGER D.A., BAGBY W.C., MENZIE W.D., 1992 – Grade and tonnage model of sediment-hosted Au. [W:] Developments in mineral deposit modeling (red. Bliss J.D.). *USGS Bull.*, 2004: 26–28.
- MUCHA J., KOKESZ Z., DOLIK M., 1994 – Szacowanie zasobów złóż masowo-sztokwerkowych z wykorzystaniem metod geostatystycznych – na przykładzie złoża Mo-W-Cu Myszków. *Prz. Geol.*, 42 (11): 939–942.
- MUDD G.M., JOWITT S.M., 2018 – Growing global copper resources, reserves and production: discovery is not the only control on supply. *Econ. Geol.*, 113 (6): 1235–1267.
- MUFFLER L.J.P., CATALDI R., 1978 – Methods for regional assessment of geothermal resources. *Geothermics*, 7, (2–4): 53–89.
- MUSZER A., 1992 – Złoto rodzime ze Złotego Stoku. *Arch. Miner.*, 48 (1/2): 81–99.
- MUSZER A., 2011 – Analiza technologicznych możliwości odzysku złota i innych metali w trakcie eksploatacji surowców skalnych spod lustra wody w rejonie lwóweckim. *Górn. Odkryw.*, 52 (6): 141–146.
- MUSZER A., LUSZCZKIEWICZ A., 1997 – Wstępne wyniki wzbogacania odpadów górniczo-hutniczych z okolic Złotego Stoku. [W:] Metale szlachetne w NE części Masywu Czeskiego i w obszarach przyległych: geneza, występowanie, perspektywy. Konferencja naukowa, Jarnołtów, 19–21 czerwca 1997 r. (red. Muszer A.): 34–41. Inst. Nauk Geol., Uniw. Wrocław, Wrocław.
- MUSZER A., SPECZIK S., 1997 – Związek okruszcowania Ni-Sb z PGE w serpentynitach z Nasławic (ofiolit Ślęży). *Prz. Geol.*, 45 (3): 282–286.
- MYŚLIWIEC M., 2004 – Typy pułapek gazu ziemnego i strefowość występowania ich złóż w osadach miocenu wschodniej części zapadliśka przedkarpacciego. *Prz. Geol.*, 52 (8/1): 657–664.
- MYŚLIWIEC M., BORYS Z., BOSAK B., LISZKA B., MADEJ K., MAKSYM A., OLESZKIEWICZ K., PIETRUSIAK M., PLEZIA B., STARYSZAK G., ŚWIETNICKA G., ZIELIŃSKA C., ZYCHOWICZ K., GLINIĄK P., FLOREK R., ZACHARSKI J., URBANIEC A., GÓRKA A., KARNKOWSKI P., KARNKOWSKI P.H., 2006 – Hydrocarbon resources of the Polish Carpathian Foredeep: reservoirs, traps, and selected hydrocarbon fields. *AAPG Memoir*, 84: 351–393.
- NALDRET A.J., 2004 – Magmatic sulfide deposits. Geology, geochemistry and exploration. Springer, Germany.
- NARKIEWICZ M., 1990 – Deposits of dolomites. [W:] Geology of Poland. Vol. VI. Mineral deposits (red. Osika R.): 277–280. Wyd. Geol., Warszawa.
- NAWROCKI J., BECKER A. (red.), 2017 – Atlas geologiczny Polski. PIG-PIB, Warszawa.
- NEUMANN U., KWAŚNY L., 1996 – Sprawozdanie końcowe z prac geologiczno-poszukiwawczych za złożem rudy cyny Przecznicza-Wzgórze Bazaltowe w miejscowości Przecznicza, gmina Mirsk, woj. jeleniogórskie. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 160/97].
- NEUMANN U., OLSZEWSKI T., 1991 – Dokumentacja geologiczna złoża rud cyny „Gierczyn” w kat. C₂+C₁. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 604/92].
- NEY R., SMAKOWSKI T. (red.), 2007 – Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 2001–2005. IGSMiE PAN, Kraków.
- NEY R., SOKOŁOWSKI J., 1987 – Wody geotermalne Polski i możliwości ich wykorzystania. Nauka Polska, nr 6.
- NICHOLSON K., 1993 – Geothermal fluids. Springer-Verlag, Berlin.
- NICKLESS E., BLOODWORTH A., MEINERT L., GIURCO D., MOHR S., LITTLEBOY A., 2014 – Resourcing future generations white paper: mineral resources and future supply. International Union of Geological Sciences, b.m.
- NICOLINI P., 1970 – Geologie des concentrations metalliferes stratiformes. Ed Gauthier Villars, Paris.
- NICZYPORUK K., SPECZIK S., 1993 – Gold in arsenic minerals of Złoty Stok. *Min. Pol.*, 24: 21–32.
- NIEĆ M., 1988 – Szanse odkrycia złóż rud metali w starszym podłożu paleozoicznym NE obrzeżenia Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Prz. Geol.*, 36 (7): 390–395.
- NIEĆ M., 1966 – Ołowionośne zlepienie w cechszynie Gór Świętokrzyskich i możliwości ich poszukiwań. *Zesz. Nauk. AGH*, 139, Zesz. Spec., 11: 223–228.
- NIEĆ M., 1992 – Native sulfur deposits in Poland. [W:] Native sulfur developments in geology and exploration: 2350 (red. Wessel G.R., Wimberly B.H.). Littleton, Colorado.
- NIEĆ M., 2000a – Magnezyty. Złoża magnezytu. Warunki występowania i złoża. [W:] Surowce mineralne Polski. Surowce skalne. Surowce węglanowe (red. Smakowski T.): 339–345. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- NIEĆ M., 2000b – Złoża dolomitów. [W:] Surowce mineralne Polski. Surowce skalne. Surowce węglanowe (red. Smakowski T.): 281–303. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- NIEĆ M., 2002a – Piaszkowce i szarogłazy. [W:] Surowce mineralne Polski. Surowce skalne. Kamienie budowlane i drogowe (red. Galos K., Smakowski T.): 99–101. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- NIEĆ M., 2002b – Skály węglanowe osadowe i metamorficzne. Wapienie. [W:] Surowce mineralne Polski. Surowce skalne. Kamienie budowlane i drogowe (red. Galos K., Smakowski T.): 94–98. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- NIEĆ M., 2002c – Złoża kopalin budowlanych i drogowych. [W:] Surowce mineralne Polski. Surowce skalne. Kamienie budowlane i drogowe (red. Galos K., Smakowski T.): 9–135. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.

- NIEĆ M., 2003a – Ocena geologiczno-gospodarcza złóż wanadonośnych rud tytanomagnetytowych masywu suwalskiego. *Gosp. Sur. Min.*, 19 (2): 5–28.
- NIEĆ M. (red.), 2003b – Jednostki surowcowe i złoża [W:] Surowce skalne Polski. Surowce skalne. Kruszywa naturalne i piaski przemysłowe (red. Galos K.). Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- NIEĆ M., 2005 – Złoża kopalin krzemionkowych. [W:] Surowce mineralne Polski. Surowce skalne. Surowce krzemionkowe i skaleniowe (red. Galos K.): 7–48. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- NIEĆ M., 2007 – Wstęp [W:] Surowce mineralne Polski. Surowce skalne. Kruszywa mineralne (red. Ney R.): 9–21. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- NIEĆ M., 2009 – Polska i międzynarodowa ramowa klasyfikacja zasobów (UNCF) złóż kopalin stałych i węglowodorów – podobieństwa i różnice. *Górn. Odkryw.*, 50 (2/3): 50–57.
- NIEĆ M., 2010a – Międzynarodowe klasyfikacje zasobów złóż kopalin. *Kwart. AGH, Górn. Geoinż.*, 34: 33–49.
- NIEĆ M. (red.), 2010b – Zasady poszukiwań i dokumentowania złóż bursztynu – zalecenia metodyczne. Min. Środ., Warszawa.
- NIEĆ M. (red.), 2012 – Metodyka dokumentowania złóż kopalin stałych. Cz. I. Poszukiwanie i rozpoznawanie złóż. Planowanie i organizacja prac geologicznych. Cz. IV. Szacowanie zasobów. IGSMiE PAN, Kraków.
- NIEĆ M., 2014 – Podstawy metodyki poszukiwań, rozpoznawania i dokumentowania zasobów złóż w odniesieniu do złóż gazu ziemnego w łupkach gazonośnych. *Prz. Geol.*, 62 (8): 403–413.
- NIEĆ M., PORĘBA E., 2003 – Złoża piasków przemysłowych. [W:] Surowce skalne Polski. Surowce skalne. Kruszywa naturalne i piaski przemysłowe (red. Galos K.): 63–102. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- NIEĆ M., PRZENIOSŁO S., 2004 – Wykorzystanie złóż kopalin w Polsce. *Gosp. Sur. Min.*, 20 (Zesz. Spec. 1): 61–77.
- NIEĆ M., RADWANIEK-BĄK B., 2009 – Wykorzystanie złóż kopalin w Polsce a zagrożenia bezpieczeństwa surowcowego kraju. *Prz. Geol.*, 57 (7): 591–599.
- NIEĆ M., RADWANIEK-BĄK B., 2014 – Ochrona i racjonalne wykorzystanie złóż kopalin. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- NIEĆ M., RATAJCZAK T., 2004a – Złoża kopalin kaolinowych, ilów białych wypalających się i kopalin haloizytowych. [W:] Surowce mineralne Polski. Surowce skalne. Surowce ilaste. (red. Ney R.): 31–66. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- NIEĆ M., RATAJCZAK T., 2004b – Złoża ilów ogniotwórczych i kamionkowych. [W:] Surowce mineralne Polski. Surowce skalne. Surowce ilaste. (red. Ney R.): 67–99. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- NIEĆ M., RATAJCZAK T., 2004c – Złoża kopalin bentonitowych i zeolitowych. [W:] Surowce mineralne Polski. Surowce skalne. Surowce ilaste. (red. Ney R.): 101–114. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- NIEĆ M., RATAJCZAK T., 2004d – Złoża kopalin ilastych do produkcji ceramiki budowlanej, kruszyw lekkich i cementu. [W:] Surowce mineralne Polski. Surowce skalne. Surowce ilaste. (red. Ney R.): 117–217. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- NIEĆ M., TCHÓRZEWSKA D., 2000a – Złoża wapieni dla budownictwa i drogownictwa. [W:] Surowce mineralne Polski. Surowce skalne. Surowce węglanowe (red. Smakowski T.): 89–107. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- NIEĆ M., TCHÓRZEWSKA D., 2000b – Złoża wapieni i kopalin wapiennych. [W:] Surowce mineralne Polski. Surowce skalne. Surowce węglanowe (red. Smakowski T.): 14–88. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- NIEĆ M., SALAMON E., 2016 – Zmiany zasobów złóż paliw kopalnych (kopalin energetycznych) w Polsce w ostatnim półwieczu. *Zesz. Nauk. IGSMiE PAN*, 96: 201–228.
- NIEĆ M., PRZENIOSŁO S., BLAJDA R., SZUWARZYŃSKI M., KUREK S., 2006 – Przedokumentowanie niezagospodarowanych złóż rud cynku i ołowiu zgodnie z wymaganiami zagospodarowania przestrzennego i możliwościami zagospodarowania złóż. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [5996/2008].
- NIEĆ M., KRAMARSKA R., SAŁACIŃSKI R., 2010 – Perspektywy poszukiwań złóż bursztynu w Polsce. *Zesz. Nauk. IGSMiE PAN*, 79: 345–362.
- NIEĆ M., GALOS K., SZAMALEK K., 2014 – Main challenges of mineral resources policy of Poland. *Res. Policy*, 42: 93–103.
- NIELUBOWICZ B., WRÓBLEWSKI T., 1963 – Przyczynki do rozpoznania okruszczenia uranowego w węglach warstw radwanickich na Dolnym Śląsku. *Kwart. Geol.*, 7 (1): 114–130.
- NIŚKIEWICZ J., 1967 – Budowa geologiczna Masywu Szklar (Dolny Śląsk). *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 37 (3): 387–416.
- NIŚKIEWICZ J., 1982 – Geologiczne warunki występowania chryzoprazu i pokrewnych kamieni ozdobnych w Masywie Szklar (Dolny Śląsk). *Geol. Sudetica*, 17 (1/2): 125–137.
- NIŚKIEWICZ J., CHOLEWICKA-MEYSNER D., DUBIŃSKA E., FARBISZ J., GUNIA P., JAMROZIK L., KUBICZ A., MAZUR S., PAJĄK M., SACHANBIŃSKI M., 1995 – Ofiolity z obrzeżenia bloku sowiogórskiego i towarzysząca im mineralizacja. [W:] Przewodnik LXVI Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego (red. Cwojdzinski S. i in.): 193–219. *Pol. Tow. Geol.*, Wrocław.
- NOWAK G.J., 2003 – Petrologia materii organicznej rozproszonej w późnopalaeozoicznych skałach osadowych południowo-zachodniej Polski. *Cuprum*, 4 (29): 3–209.
- NOWAK G.J., 2016 – Petrologia rozproszonej materii organicznej skał karbonu podłoża monokliny przedsudeckiej. *Prz. Geol.*, 64 (12): 1005–1007.
- NOWAK J., KUDELKO J., BARAŃSKA-BUSKIK A., STRZELECKI M., KOBAK P., 2011a – Kryteria wymagań dla procesów zachodzących w skałach gazyfikowanych i otaczających. Raport dla Konsorcjum, KGHM – Cuprum. Arch. AGH, Kraków.
- NOWAK J., KUDELKO J., BARAŃSKA-BUSKIK A., STRZELECKI M., KOBAK P., 2011b – Określenie uwarunkowań środowiskowych i formalno-prawnych podziemia zgazowania węgla brunatnego. Raport dla Konsorcjum, KGHM – Cuprum. Arch. AGH, Kraków.
- NOWAK M., 2006a – Złoża kopalin. Kopalin krzemionkowe. [W:] Objasnienia do Mapy Geośrodowiskowej Polski 1:50 000, ark. Annapol (820): 13. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- NOWAK M., 2006b – Perspektywy i prognozy występowania kopalin. [W:] Objasnienia do Mapy Geośrodowiskowej Polski 1:50 000, ark. Annapol (820): 18–19. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- NOWAK T.W., 1993 – Dokumentacja geologiczna złoża gipsów miocenickich „Niedźwiada – Bronisów” w kat. C₂ [niezatwierdzona]. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 1473/94].
- NOWAKOWSKI A., 1961 – O skałach alkalicznych paleoryolitów Łomnicy i Mieroszowa (Góry Wałbrzyskie). *Arch. Miner.*, 23 (1): 97–133.
- NOWAKOWSKI A., 1968 – Wulkanity permskie Gór Suchych w niecce śródsudeckiej. *Geol. Sudetica*, 4: 299–408.

- NOWICKI M., WRÓBEL J., BURZEWSKI W., RADWAŃSKI S., MYŚKO A., SIWEK T., HRYNIEWIECKA A., 1990 – Ilościowa ocena zasobów prognostycznych ropy naftowej i gazu ziemnego w kompleksach strukturalnych triasowo-jurajskim i kredowym Polski. *Techn. Poszuk. Geol.*, 29 (3/4): 47–50.
- OBERS S., 1972 – Budowa geologiczna Polski. Tom IV. Tektonika. Cz. 2. Sudety i obszary przyległe. Wyd. Geol., Warszawa.
- OECD, 2018 – Uranium 2018. Resources, Production and Demand. OECD, NEA, b.m. [<http://www.oecd.org/publications/uranium-20725310.htm>].
- OLCHOWY P., 2015a – Środowiska sedimentacji i charakterystyka izotopów trwałych węgla i tlenu w utworach siarkonośnych rejonu złoża siarki rodzimej Osiek-Baranów Sandomierski, zapadlisko przedkarpacie [rozprawa doktorska]. Arch. AGH, Kraków.
- OLCHOWY P., 2015b – Cechy izotopowe utworów siarkonośnych rejonu złoża siarki rodzimej Osiek-Baranów Sandomierski, zapadlisko przedkarpacie – implikacje środowiskowe. [W:] Wyzwania Polskiej Geologii. 3. Polski Kongres Geologiczny. Tom kongresowy (red. Wojewoda J.): 273–275. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Wrocław.
- OLKOWICZ-PAPROCKA I., TARNOWSKA M., WYRWICKI R., 1985 – Skład mineralny i właściwości ceramiczne skał ilastych dolnego dewonu wschodniej części synklinorium kielecko-łagowskiego. *Kwart. Geol.*, 29 (3/4): 653–678.
- OLSZYŃSKI W., MIKULSKI S.Z., 1997 – Złoto rodzime w łupkach z Radomic koło Wlenia. [W:] Metale szlachetne w NE części Masywu Czeskiego i w obszarach przyległych: geneza, występowanie, perspektywy. Konferencja naukowa, Jarnołtówek, 19–21 czerwca 1997 r. (red. Muszer A.): 86–90. Inst. Nauk Geol., Uniw. Wrocław, Wrocław.
- OLSZYŃSKI W., MIKULSKI S.Z., SPECZIK S., 2001 – Deposits and ore mineralization associated with Ophiolite Complexes in the Sudetes Mts. (Poland). [W:] Mineral deposits at the beginning of the 21st century (red. Piestrzyński A. i in.): 615–618. Balkema, Lisse.
- OSIECKA E., 2006 – Wapno w budownictwie – tradycja i nowoczesność. Stowarzyszenie Przemysłu Wapienniczego, Kraków.
- OSIKA R. (red.), 1987a – Budowa geologiczna Polski. Tom VI. Złóża surowców mineralnych. Wyd. Geol., Warszawa
- OSIKA R., 1987b – Magnezyty. [W:] Budowa geologiczna Polski. Tom VI. Złóża surowców mineralnych (red. Osika R.): 563–572. Wyd. Geol., Warszawa.
- OSIKA R., 1979 – Zasady prognozowania i zasoby perspektywiczne kopalin Polski. Wyd. Geol., Warszawa.
- OSIKA R., GAJEWSKI Z., 1979 – Magnezyty. [W:] Surowce mineralne Dolnego Śląska (red. Dziedzic K. i in.): 326–335. Zakł. Nar. im. Ossolińskich, Wyd. PAN, Wrocław–Warszawa–Kraków–Gdańsk.
- OSMÓLSKI T., 1972 – Wpływ budowy geologicznej brzeżnych partii niecki działoszyckiej na rozwój procesu metasomatozy mioceńskich gipsów. *Biul. Inst. Geol.*, 260: 65–188.
- OSTROWICKI B., 1965 – Minerale niklu strefy wietrzenia serpentynitów w Szklarach (Dolny Śląsk). *Pr. Miner. Kom. Nauk Miner. PAN Oddz. w Krakowie*, 1: 1–92.
- OSTRZYŻEK S., DEMBEK W., 1996 – Zlokalizowanie i charakterystyka złóż torfowych w Polsce spełniających kryteria potencjalnej bazy zasobowej z ustaleniem i uwzględnieniem wymogów związanych z ochroną i kształtowaniem środowiska. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 1829/97].
- OSZCZEPALSKI S., 1989 – Kupferschiefer in southwestern Poland: sedimentary environments, metal zoning, and ore controls. [W:] Sediment-hosted stratiform copper deposits (red. Boyle R.W. i in.). *GAC Spec. Pap.*, 36: 571–600.
- OSZCZEPALSKI S., 1994 – Oxidative alteration of the Kupferschiefer in Poland: oxide-sulphide parageneses and implications for ore-forming models. *Geol. Quart.*, 38 (4): 651–672.
- OSZCZEPALSKI S., 1999 – Origin of the Kupferschiefer polymetallic mineralization in Poland. *Mineral. Deposita*, 34 (5): 599–613.
- OSZCZEPALSKI S., 2002 – Mineralizacja Au-Pt-Pd w utworach cechsztyńskich południowo-zachodniej Polski: rozmieszczenie, geneza, znaczenie gospodarcze. Grant KBN nr 0485/T12/2000/19. Arch. Zakł. Sur. Min. Kop. Energ. PIG-PIB, Warszawa.
- OSZCZEPALSKI S., 2007 – Mineralizacja Au-Pt-Pd w cechsztyńskiej serii miedzionośnej na obszarach rezerwowych górnictwa miedziowego. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 423: 109–124.
- OSZCZEPALSKI S., CHMIELEWSKI A., 2013 – Litologia, petrografia i cechsztyńska mineralizacja kruszcowa w wybranych profilach wiertniczych z rejonu Pleszewa, Kalisza, Śremu, Wrześni i Florentyny. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 347/2014].
- OSZCZEPALSKI S., CHMIELEWSKI A., 2015 – Zasoby przewidywane surowców metalicznych Polski na mapie w skali 1:200 000 – miedź, srebro, złoto, platyna i pallad w utworach cechsztyńskiej serii miedzionośnej. *Prz. Geol.*, 63 (9): 534–545.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., 1983 – Miedzionośność utworów permu na obszarze przylegającym do złoża Lubin-Sieroszowice. *Prz. Geol.*, 31 (7): 437–444.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., 1991 – The Kupferschiefer mineralization in Poland. *Z. Geol. Paläont.*, 1 (4): 975–999.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., 1993 – Rudy miedzi. [W:] Zasoby perspektywiczne kopalin Polski wg stanu na 31 XII 1990 r. (red. Bąk B., Przeniosło S.): 98–116. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., 1995 – Zechstein polymetallic mineralization on the Żary Pericline. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 151: 21–34.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., 1997 – Atlas metalogeniczny cechsztyńskiej serii miedzionośnej w Polsce. Państw. Inst. Geol., PAE SA., Warszawa.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., 1998 – Złoto, platyna i pallad w złożu Lubin-Sieroszowice na podstawie danych z otworów wiertniczych. *Pol. Tow. Miner., Pr. Spec.*, 10: 51–70.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., 2007 – Rozmieszczenie metali w basenie cechsztyńskim. [W:] Monografia KGHM Polska Miedź SA, wydanie II (red. Piestrzyński A. i in.): 95–101. Allexim, Wrocław.
- OSZCZEPALSKI S., SPECZIK S., 2011a – Rudy miedzi i srebra. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkowicz S. i in.): 76–93. PIG-PIB, Warszawa.
- OSZCZEPALSKI S., SPECZIK S., 2011b – Prospectivity analysis of the Polish Kupferschiefer – new insight. [W:] Let's talk ore deposits. 11th SGA Biennial Meeting. Antofagasta, 26–29th September 2011 (red. Barra F. i in.): 294–296. Ediciones Universidad Católica del Norte, Antofagasta.
- OSZCZEPALSKI S., SPECZIK S., 2014 – Perspektywiczna baza zasobowa rud miedzi w Polsce. [W:] Rola Polski w zwiększaniu bezpieczeństwa surowcowego Unii Europejskiej. Europa bezpieczna i konkurencyjna – realistyczny cel czy nieosiągalne marzenie? Perspektywa biznesu. Sopot, 1–3 października 2014: 5–23. Polski Związek Pracodawców Przemysłu Wydobywczego, b.m.
- OSZCZEPALSKI S., PIESTRZYŃSKI A., RYDZEWSKI A., SPECZIK S., NICZYPORUK K., 1997 – Poszukiwania cechsztyńskiej mineralizacji Au-Pt-Pd w SW Polsce. [W:] Metale szlachetne w NE części Masywu Czeskiego i w obszarach przyległych: geneza, występowanie

- nie, perspektywy. Konferencja naukowa, Jarnołtówek, 19–21 czerwca 1997 r. (red. Muszer A.): 48–55. Inst. Nauk Geol., Uniw. Wrocław, Wrocław.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., SPECZIK S., 1999 – Rote Fäule-related Au-Pt-Pd mineralization in SW Poland: new data. [W:] Mineral deposits: processes to processing (red Stanley C. i in.): 1423–1426. Balkema, Rotterdam.
- OSZCZEPALSKI S., NOWAK G. J., BECHTEL A., ŽÁK K., 2002 – Evidence of oxidation of the Kupferschiefer in the Lubin-Sieroszowice deposit: implications for Cu-Ag and Au-Pt-Pd mineralisation. *Geol. Quart.*, 46 (1): 1–23.
- OSZCZEPALSKI S., MARKOWIAK M., BUŁA Z., LASOŃ K., MIKULSKI S.Z., HABRYN R., TRUSZEL M., PAŃCZYK M., SIKORA R., WOŹNIAK P., MUCHA J., WASILEWSKA M., KARWOWSKI L., MARKIEWICZ J., WOJCIECHOWSKI A., URBĄŃSKI P., SATERNUS A., CUDAK J., BRAŃSKI P., 2008 – Prognoza złóżowa podłoża paleozoiczno-prekambrzyjskiego NE obrzeżenia GZW. [W:] Prognoza złóżowa podłoża paleozoicznego (i pokrywy mezozoicznej triasu) północno-wschodniego obrzeżenia GZW (red. Oszczepalski S. i in.). Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 5485/2008].
- OSZCZEPALSKI S., MARKOWIAK M., MIKULSKI S.Z., LASOŃ K., BUŁA Z., HABRYN R., 2010a – Porfirowa mineralizacja Mo-Cu-W w prekambrzyjsko-paleozoicznych utworach – analiza prognostyczna strefy kontaktu bloków górnośląskiego i małopolskiego. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 439: 339–354.
- OSZCZEPALSKI S., SPECZIK S., CHMIELEWSKI A., KRZEMIŃSKI P., 2010b – Ocena możliwości poszerzenia bazy zasobowej – poszukiwanie nowych rezerw w otoczeniu złoża Lubin-Sieroszowice. Arch. Zakł. Sur. Min. Kop. Energ. PIG-PIB, Warszawa.
- OSZCZEPALSKI S., SPECZIK S., WOJCIECHOWSKI A., 2011 – Gold mineralizations in the Kupferschiefer oxidized series of the North Sudetic trough, SW Poland. [W:] Gold in Poland (red. Kozłowski A., Mikulski S.Z.). *AM Monograph*, 2: 153–168.
- OSZCZEPALSKI S., CHMIELEWSKI A., SOWUŁA W., BORATYN J., PIKUŁA K., ZIELIŃSKI K., 2012 – Ocena możliwości występowania cechsztyńskiej mineralizacji Cu-Ag na obszarze województw lubuskiego i wielkopolskiego na podstawie archiwalnych materiałów wiertniczych, w tym wierzeń naftowych. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 4321/2012].
- OSZCZEPALSKI S., CHMIELEWSKI A., MIKULSKI S.Z., 2016a – Controls on the distribution of rare earth elements in the Kupferschiefer series of SW Poland. *Geol. Quart.*, 60 (4): 811–826.
- OSZCZEPALSKI S., SPECZIK S., MAŁECKA K., CHMIELEWSKI A., 2016b – Prospective copper resources in Poland. *Gosp. Sur. Min.*, 32 (2): 5–30.
- OSZCZEPALSKI S., CHMIELEWSKI A., SPECZIK S., 2017a – Zmienność mineralizacji kruszcowej w rejonie północno-zachodniego przedłużenia złoża Lubin-Sieroszowice. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 468: 109–141.
- OSZCZEPALSKI S., CHMIELEWSKI A., SPECZIK S., KRZEMIŃSKI P., 2017b – The northwest-trending extension of the Lubin-Sieroszowice Cu-Ag deposit. [W:] Mineral Resources to Discover – 14th SGA Biennial Meeting 2017, Quebec, 20–24.08.2017. Proceedings. Vol 3 (red. Mercier-Langevin P. i in.): 1159–1162.
- OSZCZEPALSKI S., WISZNIEWSKA J., MIKULSKI S.Z., 2018 – Badania złóż surowców metalicznych przez Państwowy Instytut Geologiczny. *Prz. Geol.*, 66 (9): 529–541.
- OSZCZEPALSKI S., SPECZIK S., ZIELIŃSKI K., CHMIELEWSKI A., 2019 – The Kupferschiefer deposits and prospects in SW Poland: past, present and future. *Minerals*, 9 (592): 1–42.
- OSZCZYPKO N., 2006 – Powstanie i rozwój polskiej części zapadliska przedkarpackiego. *Prz. Geol.*, 54 (5): 396–403.
- OSZCZYPKO N., ZUBER A., 2002 – Geological and isotopic evidence of diagenetic water in Polish Flysch Carpathians. *Geol. Carpath.*, 53 (4): 257–268.
- PACZEŚNA J., 2012 – Wysokorozdzielcza stratygrafia sekwencji utworów środkowego kambru w południowej i północno-wschodniej części bloku B (Wyniesienie Leby). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 448: 71–80.
- PACZEŚNA J., ADAMCZAK-BIAŁY T., 2018 – analiza stratygraficzno-litologiczna i geofizyczna utworów kambru w wybranych otworach wiertniczych. [W:] Podhalańska T. i zespół, 2018 – Rozpoznanie stref perspektywicznych dla występowania niekonwencjonalnych złóż węglodorów w Polsce, stałe zadanie psg. II etap. Opracowanie końcowe z realizacji projektu. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr 9051/2019].
- PACZYŃSKI B. (red.), 2002 – Ocena zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych i potencjalnie leczniczych. Poradnik metodyczny. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PACZYŃSKI B., PŁOCHNIEWSKI Z., 1996 – Wody mineralne i lecznicze Polski. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PACZYŃSKI B., SADURSKI A., 2007 – Hydrogeologia regionalna Polski. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PAJĄK R., 2007 – Złoża kopalni. [W:] Objaśnienia do Mapy Geośrodowiskowej Polski 1:50 000, ark. Bircza (1025): 9–14. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PANNA W., WYSZOMIRSKI P., MYSZKA R., 2014 – Charakterystyka surowcowa kopaliny ilasto-krzemionkowej ze złoża Dylągówka-Zapady (polskie Karpaty fliszowe). *Gosp. Sur. Min.*, 30 (2): 85–102.
- PANNA W., WYSZOMIRSKI P., GASEK K., DUDEK R., ŁABUŹ A., 2015 – Ocena przydatności wybranych surowców ilastych południowo-wschodniej Polski do produkcji kruszyw lekkich na podstawie mikroskopii wysokotemperaturowej. *Cement Wapno Beton*, 20/82 (2): 79–87.
- PAPIERNIK B. (kier. tematu), 2016 – Analiza nieodkrytego potencjału w postaci konwencjonalnych złóż ropy naftowej i gazu ziemnego. AGH, Kraków.
- PAŠAVA J., VYMAZALOVÁ A., QU W., KORZEKWA W., 2007 – Re-Os study of the Polish Kupferschiefer: Implications for source and timing of metal enrichment. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 71(15S): A763, Suppl. S.
- PASBAKHSH P., CHURMAN G.J., KEELING L.J., 2013 – Characterisation of properties of various halloysites relevant to their use as nanotubes and microfibre fillers. *App. Clay Sci.*, 74: 47–57.
- PAULEWICZ M., 1992 – Cechińskie górnictwo kruszczowe (XIV do poł. XVII wieku). Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.
- PAULO A., 1972 – Charakterystyka mineralogiczna złoża barytu w Stanisławowie (Dolny Śląsk). *Pr. Geol. Kom. Nauk Geol. PAN Oddz. w Krakowie*, 29: 1–76.
- PAULO A., 1973 – Złoże barytu w Stanisławowie na tle metalogenii Gór Kaczawskich. *Pr. Geol. Kom. Nauk Geol. PAN Oddz. w Krakowie*, 76: 7–61.
- PAULO A., 1993 – Dlaczego nie należy poszukiwać złóż rud niobu i pierwiastków ziem rzadkich w Polsce? *Pol. Tow. Min., Pr. Spec.*, 3: 55–77.
- PAULO A., 1999 – Pierwiastki ziem rzadkich pod koniec XX wieku. *Prz. Geol.*, 47 (1): 34–41.
- PAULO A., 2019 – Współczesne źródła górnicze cynku. *Rudy Met. Nieżel. Recykling*, 64 (3): 3–9.

- PAULO A., KRZAK M., 2015 – Metale rzadkie. Wyd. AGH Kraków.
- PAULO A., KRZAK M., 2018 – Evolution of technology and the market of iron and steel raw materials in the period 1915–2015. Monografia. Wyd. AGH, Kraków.
- PAULO A., PIETRZYŃSKI A., 1991 – Materiały do ćwiczeń z nauki o złożach i geologii gospodarczej. Cz. I. Surowce energetyczne. Skrypty Uczelniane AGH, 1270: 261–279.
- PAULO A., SALAMON W., 1973 – Native gold in ore veins of the Western part of the Góry Kaczawskie Mountains (Sudetes). *Min. Pol.*, 4: 85–90.
- PAULO A., STRZELSKA-SMAKOWSKA B., 1993 – Materiały do ćwiczeń z nauki o złożach i geologii gospodarczej. Cz. II. Rudy metali. Wyd. AGH, Kraków.
- PAULO A., STRZELSKA-SMAKOWSKA B., 2000 – Rudy metali nieżelaznych i szlachetnych. Wyd. AGH, Kraków.
- PAWLEWICZ M., 2006 – Total petroleum systems of the North Carpathian Province of Poland, Ukraine, Czech Republic, and Austria: USGS Bull., 2204–D.
- PAWŁOWSKA J., 1966 – Koncentracja fluoru i przejawy grejzenizacji w metamorfiku Pogórza Izerskiego. *Biul. Inst. Geol.*, 201 (2): 5–65.
- PAWŁOWSKA J., 1968 – Leukogranity Pogórza Izerskiego jako źródło surowca skaleniowego. *Biul. Inst. Geol.*, 223: 5–79.
- PAWŁOWSKA J., 1970a – Charakterystyka złożowa arkozy kwaczalskiej jako surowca skaleniowego. *Biul. Inst. Geol.*, 244: 5–33.
- PAWŁOWSKA J., 1970b – Petrografia i geneza złoża barytu w Strawczynku. *Pr. Inst. Geol.*, 59: 179–222.
- PAWŁOWSKA J., 1987 – Złoża barytu w Górach Świętokrzyskich. [W:] Budowa geologiczna Polski. Tom VI. Złoża surowców mineralnych (red. Osika R.): 460–464. Wyd. Geol., Warszawa.
- PAWŁOWSKA K., 1962 – O gipsach, siarce rodzimej i pogipsowych skałach świętokrzyskiego miocenu. Księga pamiątkowa ku czci prof. J. Samsonowicza: 69–82. PAN, Warszawa.
- PAWŁOWSKA K., TUREK S., GĄSIEWICZ A., CZAPOWSKI G., 1987 – Wyniki geologicznych badań penetracyjnych w rejonie Alfredówki, Dęby, Bojanowa, Gwoźdźca wykonane w latach 1984–1987. *Nar. Arch. Geol. PIB-PIB*, Warszawa [nr inw. 36919, nr kat. 4733/285].
- PAWŁOWSKI S., PAWŁOWSKA K., KUBICA B., 1976 – Geology and genesis of the Polish sulphur deposits. *Econ. Geol.*, 74 (2): 475–483.
- PAWŁOWSKI S., PAWŁOWSKA K., KUBICA B., 1985 – Budowa geologiczna tarnobrzezkiego złoża siarki rodzimej. *Pr. Inst. Geol.*, 114.
- PAWŁOWSKI S., PAWŁOWSKA K., KUBICA B., 1986 – Siarka rodzima. Zasoby perspektywiczne kopalin Polski (stan na 1981-01-01) (red. Bolewski A., Gruszczyk H.): 512–536. Inst. Geol., Warszawa.
- PAWŁOWSKI S., PAWŁOWSKA K., KUBICA B., 1987 – Siarka rodzima. [W:] Budowa geologiczna Polski. Tom VI. Złoża surowców mineralnych (red. Osika R.): 378–412. Wyd. Geol., Warszawa.
- PAZDRO Z., KOZERSKI B., 1990 – Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa.
- PENDIAS H., WALENCZAK Z., 1956 – Objawy okruszczowania w północno-zachodniej części masywu strzegomskiego. *Biul. Inst. Geol.*, 227: 209–228.
- PERYT T.M., 2006 – Sedymentacja ewaporatów badęńskich w zbiorniku przedkarpackim. *Prz. Geol.*, 54 (5): 438–444.
- PERYT T., PIWOCKI M. (red.), 2004 – Budowa geologiczna Polski. Tom I. Stratygrafia. Cz. 3a. Kenozoik: paleogen i neogen. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PERYT T.M., SMAKOWSKI T., 2006 – Cechsztyńskie sole potasowo-magnezowe w rejonie Zatoki Gdańskiej. *Prz. Geol.*, 54 (4): 316–317.
- PERYT T.M., WAŻNY H., 1978 – Skondensowane profile wapienia cechsztyńskiego w północnej części monokliny przedsudeckiej. *Kwart. Geol.*, 22 (3): 549–568.
- PERYT T.M., PIERRE C., GRYNIV S.P., 1998 – Origin of polyhalite deposits in the Zechstein (Upper Permian) Zdrada platform (northern Poland). *Sedimentology*, 45 (4): 565–578.
- PERYT T.M., TOMASSI-MORAWIEC H., CZAPOWSKI G., HRYNIV S. P., PUEYO J. J., EASTOE CH. J., VOVNYUK S., 2005 – Polyhalite occurrence in the Werra (Zechstein, Upper Permian) Peribaltic Basin of Poland and Russia: evaporite facies constraints. *Carbonates and Evaporites*, 20 (2): 182–194.
- PEŠEK J. (red.), 2001 – Geology and mineral deposits of the Late Palaeozoic continental basins of the Czech Republic. Czech Geol. Survey, Prague.
- PESZAT C., 1973 – Własności techniczne piaskowców Gór Świętokrzyskich. *Zesz. Nauk. AGH, Geologia*, 18: 1–59.
- PESZAT C., 1980 – Własności fizyczno-mechaniczne skał węglanowych dewonu Gór Świętokrzyskich. *Biul. Inst. Geol.*, 324: 283–319.
- PESZAT C. (red.), BROMOWICZ J., GUCIK S., MAGIERA J., MOROZ-KOPCZYŃSKA M., NOWAK T.W., 1976 – Piaskowce karpackie, ich znaczenie surowcowe i perspektywy wykorzystania. *Kwart. Geologia*, 2: 1–95.
- PGNIG, 2013 – Potencjał zasobowy Polski w zakresie gazu i ropy naftowej z punktu widzenia działalności poszukiwawczej PGNIG SA [<https://docplayer.pl/67718768-Potencjal-zasobowy-polski-w-zakresie-gazu-i-ropy-naftowej-z-punktu-widzenia-dzialalnosci-poszukiwawczej-pgnig-sa.html>].
- PIECZONKA J., 2011 – Prawdopodobieństwo w rozmieszczeniu minerałów kruszczowych w złożu rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej. Wyd. AGH, Kraków.
- PIECZONKA J., PIETRZYŃSKI A., 1997 – Mineralogia i geochemia złota w złożu rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej. [W:] Metale szlachetne w NE części Masywu Czeskiego i w obszarach przyległych: geneza, występowanie, perspektywy. Konferencja naukowa, Jarnołtówek, 19–21 czerwca 1997 r. (red. Muszer A.): 56–61. Inst. Nauk Geol., Uniw. Wrocław, Wrocław.
- PIECZONKA J., PIETRZYŃSKI A., GLUSZEK A., MICHALIK A., 1998 – Występowanie złota, platyny i palladu w obszarze złożowym Polkowice-Sieroszowice. *Pol. Tow. Miner., Pr. Spec.*, 10: 71–86.
- PIECZONKA J., PIETRZYŃSKI A., MUCHA J., GLUSZEK A., KOTARBA M., WIĘCŁAW D., 2008 – The red-bed-type precious metal deposit in the Sieroszowice-Polkowice copper mining district, SW Poland. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 78: 151–280.
- PIEKARSKI K., 1971 – Perspektywy występowania złóż miedziowo-molibdenowych w utworach staropaleozoicznych północno-wschodniego obrzeżenia GZW. *Kwart. Geol.*, 15 (3): 710–711.
- PIEKARSKI K., 1983 – Analiza metalogeniczno-prognostyczna utworów paleozoicznych północno-wschodniego obrzeżenia Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 53 (1–4): 207–234.
- PIEKARSKI K., 1988 – Nowe dane o mineralizacji kruszczowej w utworach staropaleozoicznych na obszarze Myszków-Mrzygłód (północno-wschodnie obrzeżenie GZW). *Prz. Geol.*, 36 (7): 381–387.
- PIEKARSKI K., 1994a – Pozycja strukturalna i budowa złoża rud molibdenowo-wolframowo-miedziowych Myszków. [W:] przewodnik LXV Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Sosnowiec, 22–24 września 1994. *Pr. Nauk. UŚL*, 1431: 58–68.

- PIEKARSKI K., 1994b – Ocena wyników poszukiwań złóż rud polimetalicznych w utworach staropaleozoicznych obszaru Zawiercia. *Prz. Geol.*, 42 (8): 615–620.
- PIEKARSKI K., 1994c – Ocena wyników poszukiwań złóż polimetalicznych obszaru Pilicy. *Prz. Geol.*, 42 (8): 621–624.
- PIEKARSKI K., 1995 – Geologic setting and ore mineralization characteristics of the Myszków area (Poland). *Geol. Quart.*, 39 (1): 31–42.
- PIEKARSKI K., MARKOWIAK M., PIEKARSKA M., SKOREK J., 1988 – CPBR nr 1.8. Budowa geologiczna Polski i poszukiwania złóż surowców mineralnych. Cel nr 9 – Ocena geologiczno-złożowa kruszców w utworach paleozoicznych NE obniżenia GZW. Punkt kontrolny nr 1 – Ocena wyników poszukiwań i perspektyw występowania złóż rud polimetalicznych w rejonie Poraj-Mrzygłód i Dolina Będkowska. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 1704/92].
- PIEKARSKI K., GAJOWIEC B., HABRYN R., KARWASIECKA M., KURBIEL H., ŁUSZCZKIEWICZ A., MARKIEWICZ J., MARKOWIAK M., SIEMIŃSKI A., STĘPNIEWSKI M., TRUSZEL M., 1993 – Dokumentacja geologiczna złoża rud molibdenowo-wolframo-wo-miedziowych Myszków w kategorii C₂. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 787/93].
- PIEŃKOWSKI G., 2009 – Podziemne magazynowanie węglowodorów w kavernach solnych w Polsce – wymiar strategiczny i możliwości poprawy stanu środowiska naturalnego. *Prz. Geol.*, 17 (9): 791–797.
- PIEŃKOWSKI G., GUTOWSKI J., 2004 – Geneza krzemieni górnego oksfordu w Krzemionkach Opatowskich. *Tomy Jurajskie*, 2: 29–36.
- PIESTRZYŃSKI A., 2007a – Okruszcowanie. [W:] Monografia KGHM Polska Miedź SA, wydanie II (red. Piestrzyński A. i in.): 167–197. Allexim, Wrocław.
- PIESTRZYŃSKI A., 2007b – Geneza złoża. [W:] Monografia KGHM Polska Miedź SA, wydanie II (red. Piestrzyński A. i in.): 228–244. Allexim, Wrocław.
- PIESTRZYŃSKI A., 2007c – Minerale nikielu i kobaltu. [W:] Monografia KGHM Polska Miedź SA, wydanie II (red. Piestrzyński A. i in.): 194. Allexim, Wrocław.
- PIESTRZYŃSKI A., MOCHNACKA K., 2003 – Uwagi o mineralizacji siarczkowej towarzyszącej strefom cynoosnym Pasma Kamienickiego – Sudety Zachodnie. [W:] Sudety Zachodnie od wendu do czwartorzęd (red. Ciężkowski W. i in.): 169–182. WIND, Wrocław.
- PIESTRZYŃSKI A., SALAMON W., 1986 – Perspektywy srebroności wschodniej części złóż miedzi na monoklinie przedsudeckiej. *Gosp. Sur. Min.*, 2: 469–481.
- PIESTRZYŃSKI A., SAWŁOWICZ Z., 1999 – Exploration for Au and PGE in the Polish Zechstein copper deposits (Kupferschiefer). *J. Geochem. Explor.*, 66: 17–25.
- PIESTRZYŃSKI A., PIECZONKA J., KUCHAR H., BANAŚ M., SALAMON W., MAYER W., GAWEL A., STALA, RUDZKI M., 1996a – Występowanie Au, Pt, Pd w złożach rud miedzi i zachowanie się tych metali w procesach technologicznych. KGHM Polska Miedź S.A. Badania mineralogiczne Au, Pt i Pd w złożu rud miedzi i w produktach wzbogacania. Arch. KGHM S.A., Wrocław.
- PIESTRZYŃSKI A., WODZICKI A., BANASZAK A., 1996b – Złoto w złożu rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej. *Prz. Geol.*, 44 (11): 1098–1102.
- PIESTRZYŃSKI A., PIECZONKA J., SPECZIK S., OSZCZEPALSKI S., BANASZAK A., 1997 – Noble metals from the Kupferschiefer-type deposits, Lubin-Sieroszowice, SW Poland. [W:] Mineral deposits (red Papunen H.): 563–566. Balkema, Rotterdam.
- PIESTRZYŃSKI A., PIECZONKA J., GLUSZEK A., 2002 – Redbed-type gold mineralization, Kupferschiefer, south-west Poland. *Mineral Deposita*, 37 (5): 512–528.
- PIESTRZYŃSKI P., 2017 – Dobre prognozy dla branży cementowej. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*, 5 (74): 72–74.
- PIG-PIB, PETROBALTIC, KRONOS, GEOS, GEOSFERA (konsorcjum), 2008 – Strefy perspektywiczne dla występowania złóż węglowodorów. [W:] Badania geochemiczne południowego Bałtyku pod kątem analizy skażeń geogenicznych i poszukiwań naftowych. Cz. II (red. Anolik P., Karczewska A.). Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 2288/2009]
- PIRAJNO F., 2009 – Hydrothermal processes and mineral systems. Springer, Berlin.
- PIWOCKI M., 1992 – Zasięg i korelacja głównych grup trzeciorzędowych pokładów węgla brunatnego na platformowym obszarze Polski. *Prz. Geol.*, 40 (5): 281–286.
- PIWOCKI M., 1993 – Węgiel brunatny. [W:] Zasoby perspektywiczne kopalin Polski wg stanu na 31 XII 1990 r. (red. Bąk B., Przeniosło S.): 28–52. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PIWOCKI M., 1998 – Charakterystyka dolnomioceńskiej IV dąbrowskiej grupy pokładów węgla brunatnego w Polsce. *Prz. Geol.*, 46 (1): 55–61.
- PIWOCKI M., KASIŃSKI J.R., 2006 – Baza surowcowa węgla brunatnego zabezpieczającego budowę Kopalni „Legnica”. [W:] Budowa Legnickiego Zagłębia Górniczo-Energetycznego węgla brunatnego szansą likwidacji strukturalnego bezrobocia (red. Trembecka J.): 80–99. Wyższa Szkoła Menedżerska, Legnica.
- PIWOCKI M., OLKOWICZ-PAPROCKA I., 1987 – Litostratygrafia paleogenu, perspektywy i metodyka poszukiwań bursztynu w północnej Polsce. *Biul. Inst. Geol.*, 356: 7–28.
- PIWOCKI M., OLKOWICZ-PAPROCKA I., KOSMOWSKA-CERANOWICZ B., GRABOWSKA I., ODRZYWOLSKA-BIENKOWA E., 1985 – Stratygrafia trzeciorzędowych osadów bursztynonośnych okolic Chłapowa koło Pucka. *Pr. Muz. Ziemi*, 37: 61–77.
- PIWOCKI M., KASIŃSKI J.R., SATERNUS A., DYLAĞ J.K., GIENKA M., WALENTEK I., 2004 – Aktualizacja bazy zasobów złóż węgla brunatnego w Polsce. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 4323/2005].
- PIWOCKI M., KASIŃSKI J.R., SATERNUS A., 2005 – Złóża węgla brunatnego w trzeciorzędzie Polski (paleogen-neogen) – budowa geologiczna, jakość, zasobność, możliwości wykorzystania. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 3/2007].
- PIZON A., PERYT T.M., DĘBSKI J., 1985 – Środowisko powstania polihibitów cechsztyńskich w rejonie Zatoki Puckiej. *Prz. Geol.*, 33 (12): 659–663.
- PLETSCH T., APPEL J., BOTOR D., CLAYTON C., DUIN E., FABER E., GÓRECKI W., KOMBRINK H., KOSAKOWSKI P., KUPER G., KUS J., LUTZ R., MATHIESEN A., OSTERTAG-HENNING C., PAPIERNIK B., VAN BERGEN F., 2010 – Petroleum generation and migration. [W:] Petroleum geological atlas of the Southern Permian Basin Area (red. Doornenbal H., Stevenson A.): 225–253. EAGE Publications, Houten.
- PŁOCHNIEWSKI Z., 1978 – Polish mineral waters as chemical raw materials. [W:] Hydrogeochemistry of mineralized waters. Conference of Cieplice Spa (Poland), 1978 (red. Słowska B., Pakulska Z.): 233–239. Inst. Geol., Warszawa.
- PN-G-97002:2018-11 – Węgiel kamienny. Typy.
- POBORSKA-MŁYNARSKA K., 2000 – Przegląd możliwości wykorzystania podziemnych wyrobisk górniczych do magazynowania substancji użytecznych i składowania odpadów. *Techn. Poszuk. Geol.*, 42 (5): 65–68.

- POBORSKA-MŁYNARSKA K., 2008 – Wstępna ocena możliwości składowania CO₂ w ługowniczych komorach solnych w Polsce. *Gosp. Sur. Min.*, 34 (3/2): 55–61.
- POBORSKA-MŁYNARSKA K., TOMASSI-MORAWIEC H., 2012 – Złoża ewaporatowe Turcji – borany, siarczany, chlorki. *Geologia*, 38 (2): 263–272.
- POBRATYN A., 2005 – Dodatek nr 2 do dokumentacji geologicznej złoża gipsów „Leszcze” w kat. C₁. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 2/2006].
- PODEMSKI M. (red.) 2001 – Paleozoic porphyry molybdenum-tungsten deposit in the Myszków area, southern Poland. *Pol. Geol. Inst. Spec. Pap.*, 6.
- PODHALAŃSKA T., WAKSMUNDZKA M.I., BECKER A., ROSZKOWSKA-REMİN J., DYRKA I., FELDMAN-OLSZEWSKA A., GLUSZYŃSKI A., GROTEK I., JANAS M., KARCZ P., NOWAK G., PACZEŚNA J., ROMAN M., SIKORSKA-JAWOROWSKA M., KUBERSKA M., KOZŁOWSKA A., SOBIEN K., 2016 – Strefy perspektywiczne występowania niekonwencjonalnych złóż węglowodorów w kambryjskich, ordowickich, sylurskich i karbońskich kompleksach skalnych Polski – integracja wyników badań. *Prz. Geol.*, 64 (12): 1008–1021.
- PODHALAŃSKA T. i zespół, 2018 – Rozpoznanie stref perspektywicznych dla występowania niekonwencjonalnych złóż węglowodorów w Polsce, stałe zadanie psg. II etap. Opracowanie końcowe z realizacji projektu. 2018. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 9051/2019].
- PODSTOLSKI R., 1994 – Zeolity karpackie – nowy przyszłościowy surowiec mineralny. *Prz. Geol.*, 42 (6): 483–486.
- POKORSKI J., 2010 – Geological section through the lower Paleozoic strata of the Polish part of the Baltic region. *Geol. Quart.*, 54 (2): 123–130.
- POKORSKI J., MODLIŃSKI Z., 2007 – Mapa geologiczna zachodniej i centralnej części obniżenia bałtyckiego bez utworów permu i młodszych 1:750 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- Polityka ekologiczna państwa 2030 (2019). Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- Polityka energetyczna Polski do 2040 roku (PEP2040) – projekt, w. 2.1 – 08.11.2019 (2019). Ministerstwo Energii, Warszawa [<https://www.gov.pl/attachment/433c2e3f-364d-4845-acc2-2e0239405825>].
- Polityka surowcowa Państwa – Projekt (2018). Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- POLLASTRO R.M., 2007 – Total petroleum system assessment of undiscovered resources in the giant Barnett Shale continuous (unconventional) gas accumulation, Fort Worth Basin, Texas. *AAPG Bull.*, 91 (4): 551–578.
- POPIOLEK J., 2006 – Bursztyn w dawnej Polsce. Antologia 1534–1900. Marpress, Gdańsk.
- POPRAWA P., 2010a – Analiza osadów ilasto-mułowcowych w Polsce pod kątem możliwości występowania w nich niekonwencjonalnych nagromadzeń gazu ziemnego. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 439: 159–172.
- POPRAWA P., 2010b – Potencjał występowania złóż gazu ziemnego w łupkach dolnego paleozoiku w basenie bałtyckim i lubelsko-podlaskim. *Prz. Geol.*, 58 (3): 226–249.
- POPRAWA P., KIERSNOWSKI H., 2008 – Perspektywy poszukiwań złóż gazu ziemnego w skałach ilastych (shale gas) oraz gazu ziemnego zamkniętego (tight gas) w Polsce. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 429: 145–152.
- POPRAWA P., KIERSNOWSKI H., 2010 – Zwięzłe formacje zbiornikowe (tight reservoir) dla gazu ziemnego w Polsce. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 439: 173–180.
- POPRAWA P., PAPIERNIK B., KRZYWIEC P., MACHOWSKI G., MAKSYM A., 2018 – Potencjał poszukiwawczy formacji naftowych w Polsce. *Wiad. Naft. Gaz.*, 21 (12): 4–12.
- PORĘBA E., 1989 – Sprawozdanie z badań geologicznych złóż kredowych piasków szklarskich i formierskich w rejonie Nieckii Tomaszowskiej z wynikami badań zwiadowczych na zachodnim obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 636/91].
- PORĘBA E., 2004 – Perspektywy i prognozy występowania kopalin. [W:] Objaśnienia do Mapy Geośrodowiskowej Polski 1:50 000. Ark. Krzeszowice (972): 28–30.
- PORĘBSKI S., PODHALAŃSKA T., 2019 – Ordovician-Silurian lithostratigraphy of the East European Craton in Poland. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 89: 95–104.
- POROWSKI A., KACZOR-KURZAWA D., 2016 – Pierwiastki ziem rzadkich (REE) w wodach termalnych: występowanie, pochodzenie, znaczenie i perspektywy badań w Polsce. *Techn. Poszuk. Geol.*, 55 (1): 89–102.
- PORWISZ B., CHOWANIEC J., GORCZYCA G., KOWALSKI J., 2002 – Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych i towarzyszących im lub występujących odrębnie wód potencjalnie leczniczych na obszarze Karpat i zapadiska przedkarpackiego. Arch. Przed. Geol. S.A. Kraków.
- PORZYCKI J., 1988a – Pozycja geologiczna i strukturalna Lubelskiego Zagłębia Węglowego. [W:] Karbon Lubelskiego Zagłębia Węglowego (red. Dembowski Z., Porzycki J.). *Pr. Inst. Geol.*, 122: 26–31.
- PORZYCKI J., 1988b – Historia badań geologicznych i odkrycia Lubelskiego Zagłębia Węglowego. [W:] Karbon Lubelskiego Zagłębia Węglowego (red. Dembowski Z., Porzycki J.). *Pr. Inst. Geol.*, 122: 7–18.
- PORZYCKI J., ZDANOWSKI A., 1988 – Charakterystyka złóżowa i jakość węgla. [W:] Karbon Lubelskiego Zagłębia Węglowego (red. Dembowski Z., Porzycki J.). *Pr. Inst. Geol.*, 122: 40–76.
- POŻARYSKI W. (red.), 1974 – Budowa geologiczna Polski. Tom IV. Tektonika. Cz. 1. Niż Polski. Wyd. Geol., Warszawa.
- PREIDL M., 1965 – Dokumentacja geologiczna złoża rud niklu w Szklarach – obszar Wzgórze Koźmickie. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 7130 CUG].
- PREIDL M., 1971 – Perspektywy poszukiwań złóż rud miedzi w cechszynie. [W:] III Krajowy Zjazd Górnictwa Rud, Lubin, 1971: 109–116. B.w., b.m.
- PREIDL M., KLUZA S., 1978 – Dodatek nr 1 do dokumentacji geologicznej złoża rud niklu Szklary, obszar Szklana Góra w kat. B+C₁. Komбинат Geologiczny „Południe” Zakład Projektów i Dokumentacji Geologicznych w Katowicach.
- Projekt planu zagospodarowania Polskich Obszarów Morskich w skali 1:200 000 (2019) [www.umgd.gov.pl/?cat=274].
- PROTAS A., WOJTKOWIAK Z., 2000 – Blok Gorzowa. Geologia dolnego cechszynu. [W:] Geologia i ochrona środowiska Wielkopolski. Przewodnik 71. Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego (red. Biernacka J., Skoczylas J.): 163–171. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.

- PRZENIOSŁO S., 1974 – Cynk i ołów w utworach węglanowych triasu rej. zawierciańskiego. *Biul. Inst. Geol.*, 278: (12): 115–200.
- PRZENIOSŁO S. (red.), 1999 – Bilans zasobów kopalin i wód podziemnych w Polsce wg stanu na 31 XII 1998 r. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PRZENIOSŁO S., MALON A. (red.), 2006 – Bilans zasobów kopalin i wód podziemnych w Polsce wg stanu na 31 XII 2005 r. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PRZENIOSŁO S., SYLWESTRZAK H., 1971 – Mineralizacja fluorytowa na wschodnich zboczach Śnieżnika Kłodzkiego. *Kwart. Geol.*, 15 (2): 251–260.
- PRZYLIBSKI T.A. (red.), 2007 – Studium możliwości rozpoznania nowych wystąpień wód 59 zmierzalowanych, swoistych i termalnych na obszarze bloku przedsudeckiego. Inst. Gór. Polit. Wrocław, Wrocław.
- PRZYSŁUP S., 1983 – Karta rejestracyjna złoża surowca haloizytowego do produkcji koagulantu Dunino. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 14209 CUG].
- PRZYSŁUP S., 1996 – Projekt badań geologicznych dla udokumentowania w kat. C₁ złoża surowca haloizytowego Dunino. Urz. Woj. Wydz. Ochr. Środ., Kalisz.
- PÜTTMANN W., MERZ C., SPECZIK S., 1989 – The secondary oxidation of organic material and its influence on Kupferschiefer mineralization of southwest Poland. *Appl. Geochem.*, 4 (2): 151–161.
- RADETZKI M., WARELL L., 2016 – A handbook of primary commodities in the global economy. Second edition. Cambridge University Press, Cambridge.
- RADWAN D., 1981 – Sprawozdanie z badań geologiczno-poszukiwawczych dla stwierdzenia występowania triasowych i kambryjskich surowców ilastych jako surowca „niskiego” dla przemysłu cementowego w rejonie Klimontów-Chęciny. I etap. Arch. Przeds. Geol. S.A., Kraków.
- RADWANEK-BAK B., 1985 – Charakterystyka petrograficzna utlenionych rud cynku ze złóż obszaru Bolesławia i Olkusza. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 53 (1–4): 235–254.
- RADWANEK-BAK B., CZAPOWSKI G., JURECZKA J., KASIŃSKI J.R., KOŻMA J., KIERSNOWSKI H., MLYNARCZYK M., LENIK P., OSZCZEPALSKI S., 2015 – Opracowanie zasad waloryzacji i wykazu złóż wskazanych rodzajów kopalin dla ich ochrony. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 4695/2015].
- RAPACZ A., 1998 – Odzysk metali towarzyszących z koncentratów KGHM. *Pol. Tow. Miner., Pr. Spec.*, 10: 221–240.
- Raport PIG-PIB, 2012 – Ocena zasobów wydobywalnych gazu ziemnego i ropy naftowej w formacjach łupkowych dolnego paleozoiku w Polsce (basen bałtycko-podlasko-lubelski) – raport pierwszy (2012). PIG-PIB, Warszawa.
- RATAJCZAK T., HYCNAR E., 2017 – Kopaliny towarzyszące w złożach węgla brunatnego. Tom I. Geologiczno-surowcowe aspekty zagospodarowania kopalin towarzyszących. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- RATAJCZAK T., RZEPĄ G., 2011 – Polskie rudy darniowe. Wyd. AGH, Kraków.
- RATAJCZAK T., FIJAŁ J., RZEPĄ G., BAJDA T., 2006 – Rudy darniowe jako sorbenty mineralne – badania jakości i propozycje zasad dokumentowania. *Górn. Odkryw.*, 48 (1/2): 141–146.
- Raw materials initiative, 2008 – COM (2008) 699 [https://eur-lex.europa.eu/procedure/EN/197564].
- REINISCH R., 2000 – Wybrane, istotne aspekty podziemnych magazynów gazu (u progu XXI wieku). Wyd. PLJ, Warszawa.
- REMPEL H., 1992 – Erdölgeologische Bewertung der Arbeiten der GO 'Petrobaltic' im deutschen Schelfbereich. *Geol. Jb. Reihe D*, 99: 1–32.
- RETMAN W., 2006 – Aktualny stan bazy zasobowej ZGH Bolesław SA i możliwości jej poszerzenia. [W:] Konferencja „Możliwości zagospodarowania złóż peryferyjnych rud Zn-Pb”. 26 stycznia 2006 r.: 29–43. ZGH Bolesław S.A.
- RETMAN W., WIERCHOWIEC J., MIHELICÍ J., PIECHOWICZ D., 2005–2008 – Interpretacja badań geofizycznych metodą IP. Arch. ZGH Bolesław S.A.
- RETMAN W., WILCZYŃSKI M., GRELEWICZ M., 2013a – Dodatek nr 5 do dokumentacji geologicznej złoża rud cynku i ołowiu „Zawiercie – obszar Zawiercie II” w kat. C₁+C₂. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 3276/2014].
- RETMAN W., WILCZYŃSKI M., GRELEWICZ M., 2013b – Dodatek nr 2 do dokumentacji geologicznej złoża rud cynku i ołowiu „Zawiercie I” w kat. C₁+C₂. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 3275/2014].
- RETMAN W., MLYNARCZYK M., GRELEWICZ M., KOSOWSKA M., KOSOWSKI M., KRZYSZYŃSKI K., 2014 – Dokumentacja geologiczna złoża rud cynku i ołowiu „Zawiercie 3” w kategorii C₁ + C₂ + D. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 3274/2014].
- RÓŻAŃSKI P., 2004 – Perspektywy i prognozy występowania kopalin. [W:] Objaśnienia do Mapy Geośrodowiskowej Polski 1:50 000. Ark. Lwówek Śląski (758): 28–31.
- RÓŻYCKI Z., 1992 – Sprawozdanie z prac geologiczno – badawczych w kat. C₁ na złożu węgla brunatnego „Gubin”. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 302/93].
- RUBINOWSKI Z., 1970 – Pozycja mineralizacji barytowej w regionalnej metalogenezie Gór Świętokrzyskich. *Prace Inst. Geol.*, 59: 125–156.
- RUBINOWSKI Z., 1971 – Rudy metali nieżelaznych w Górach Świętokrzyskich i ich pozycja metalogeniczna. *Biul. Inst. Geol.*, 247: 5–166.
- RUBINOWSKI Z., 1986 – Rudy cynku i ołowiu. Obszary perspektywiczne i ich zasoby: obszar kielecki. [W:] Zasoby perspektywiczne kopalin Polski (stan na 1981-01-01) (red. Bolesław A., Gruszczyk H.): 216–220. Inst. Geol., Warszawa.
- RUBINOWSKI Z., 1993 – Złóża barytu w Górach Świętokrzyskich. [W:] Zasoby perspektywiczne kopalin Polski wg stanu na 31 XII 1990 r. (red. Bak B., Przeniosło S.): 137. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- RUDOWSKI S., ZACHOWICZ J., GAJEWSKI L., 2015 – Badania surowców mineralnych na obszarze morskiej farmy wiatrowej „Bałtyk Środkowy II”. Raport końcowy z wynikami badań. Inst. Morski w Gdańsku, Gdańsk.
- RUŚKIEWICZ M., 1971 – Określenie warunków występowania ziemi krzemionkowej w rejonie lubelsko-sandomierskim (obszar Lasocin). Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr kat. ObO/2009].
- RUŚKIEWICZ M., 1973 – Określenie zasobów perspektywicznych ziemi krzemionkowej w rejonie Janów-Leonów, pow. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 13616, nr kat. 4437/210].
- RUŚKIEWICZ M., 1975 – Hipergeniczne złoża ziemi krzemionkowej w obrębie Gór Świętokrzyskich i na Wyżynie Lubelskiej. *Pr. Inst. Geol.*, 75.
- RUTKOWSKI E., WOJCIECHOWSKI A., 1987 – Wstępne wyniki badań nad złotonością dorzecza Oldzy i środkowego Pobobrza. *Prz. Geol.*, 36 (7): 421–422.

- RUTKOWSKI M., 2008 – Badania nad wykorzystaniem dolnośląskich zwietrzelin bazaltowych. [W:] Sorbenty mineralne Polski (red. Kłapyta Z., Zabiński W.): 95–111. Wyd. AGH, Kraków.
- RUTKOWSKI M., CABALA J., TEPER L., PRZYSLUP S., 1996 – Dokumentacja geologiczna złoża zwietrzliny bazaltowej do wytwarzania produktów chemicznych Dunino. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 2874/97].
- RYABCHUK D., ZHAMOIDA V., GRIGORIEV A., SERGEEV A.YU., NEEVIN I.A., 2017 – Mineral Resources Extraction in the Russian Sector of the Baltic Sea and Impact of Underwater Mining on Geological Environment [https://portal.helcom.fi/meetings/PRES-SURE%206-2017-431/Related%20Information/Presentation%204].
- RYBICKI S., 1973 – Geologiczno-inżynierskie problemy otworowej eksploatacji siarki. *Zesz. Nauk. AGH, Geologia*, 20: 1–103.
- RYDZEWSKI A., 1969 – Petrografia łupków miedzionośnych cechsztynu na monoklinie przedsudeckiej. *Biul. Inst. Geol.*, 217: 113–167.
- RYDZEWSKI A., 1978 – Facja utleniona cechsztyńskiego łupku miedzionośnego na obszarze monokliny przedsudeckiej. *Prz. Geol.*, 26 (2): 102–108.
- RYDZEWSKI A., BANASZAK A., OSZCZEPALSKI S., 1996 – Obszary perspektywiczne dla złóż miedzi. [W:] Monografia KGHM Polska Miedź S.A. (red. Piestrzyński A.): 332–339. CBPM Cuprum, Wrocław.
- RYDZEWSKI A., OSZCZEPALSKI S., NICZYPORUK K., 1999 – Ocena mineralizacji z rejonu Sulmierzyc. Arch. CBPM Cuprum, Wrocław.
- RYKA W., 1992 – Geology of the Tajno massif carbonatites. [W:] Geology of the Tajno Massif (Northeastern Poland) (red. Ryka W.). *Pr. Inst. Geol.*, 139: 43–77.
- RYKA W. (red.) 1994 – Geology of the Elk syenite massif (northeastern Poland). *Pr. Inst. Geol.*, 144: 43–77.
- RZEPA G., RATAJCZAK T., 2004 – Skład mineralny rud darniowych a ich właściwości sorpcyjne. *Gosp. Sur. Min.*, 20 (Zesz. Spec. 2): 62–73.
- SACHANBIŃSKI M., 1985 – Chryzopraz. *Min. Pol.*, 16 (1): 117–130.
- SACHANBIŃSKI M., 2015 – Kamienie jubilerskie (kamienie szlachetne i ozdobne). [W:] Przyroda Dolnego Śląska. PAN, Oddz. we Wrocławiu, Wrocław.
- SACHANBIŃSKI M., JANECZEK J., PLATONOV A., RIETMEIJER F.J.M., 2001 – The origin of colour of chrysoprase from Szklary (Poland) and SarkulBOLDY (Kazakhstan). *Neues Jb. Miner. Abh.*, 12: 1–16.
- SADŁOWSKA K., 2013 – Wstępne wyniki badań mineralizacji kruszcowej w skałach ultramaficznych południowej części masywu Szklar (okolice Bobolic). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 458: 73–84.
- SADURSKI A., SKRZYPCZYK., SOCHA M., SZEWCZYK J., KIJEWSKA S., SOKOŁOWSKI J., 2010 – Identyfikacja regionów geotermalnych w Polsce. PIG-PIB, Warszawa.
- SAKIEWICZ P., NOWOSIELSKI R., PILARCZYK W., GOŁOMBK K., LUTYŃSKI M., 2011 – Selected properties of the halloysite as a component of Geosynthetic Clay Liners (GCL). *J. Achiev. Mat. Manufact. Eng.*, 48 (2): 177–191.
- SALAMON W., 1979 – Ag i Mo w cechsztyńskich osadach monokliny przedsudeckiej. *Pr. Min. PAN*, 65: 1–59.
- SALACIŃSKI R., 1978 – Mineralizacja kruszcowa i jej geneza w granitoidowym masywie strzegomskim. *Biul. Inst. Geol.*, 308: 41–90.
- SALACIŃSKI R., ŁAZOWSKI L., 2008 – Geologiczno-złożowe przesłanki występowania bursztynu w Polsce i rozpoznanie geologicznych warunków jego koncentracji. *Gosp. Sur. Min.*, 24 (4): 326–339.
- SALDAN M., 1965 – Metalogeneza uranu w utworach karbońskich Górnos Śląskiego Zagłębia Węglowego. *Biul. Inst. Geol.*, 193: 111–169.
- SALDAN M., STRZELECKI R., 1980 – Uranium in the Bunter Sediments in the Polish Area. *Biul. Inst. Geol.*, 328: 95–103.
- SAS-KORCZYŃSKA E., 1989 – Dodatek nr 3 do dokumentacji geologicznej w kat. B+C₁ złoża wapieni jurajskich „Nielepiec”. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 136/92].
- SASS-GUSTKIEWICZ M., 1985 – Górnos Śląskie złoża cynkowo-olowiowe w świetle badań przeobrażeń roztworów. *Zesz. Nauk. AGH, Geologia*, 31: 1–119.
- SASS-GUSTKIEWICZ M., 1996 – Internal sediments as a key to understanding the hydrothermal karst origin of the Upper Silesian Zn-Pb ore deposits. *Soc. Econ. Geol. Spec. Publ.*, 4: 171–181.
- SASS-GUSTKIEWICZ M., DŻULYŃSKI S., RIDGE J.D., 1996 – The emplacement of zinc-lead sulfide ores in the Upper Silesian district – a contribution to the understanding of Mississippi Valley-type deposits. *Econ. Geol.*, 77: 392–412.
- SCHMOKER J.W., 1999 – U. S. Geological Survey assessment model for continuous (unconventional) oil and gas accumulations – the „FORSPAN” model. USGS Bull., 2168.
- SCHWARZER D., LITTKER R., 2007 – Petroleum generation and migration in the „tight gas” area of the German Rotliegend natural gas play: a basin modeling study. *Petrol. Geosci.*, 13 (1): 37–62.
- SCHWARZER K., 2010 – Aggregate resources and extraction in the Baltic Sea: an introduction. *J. Coast. Res.*, Spec. Issue 51: 165–172.
- SEEDHOUSE J., BURLEY S., WAKEFIELD M., 1996 – Porosity evolution in aeolian Rotliegend sandstones from the Polish Central Trough. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 5380/2006].
- SEIFERT K., 1983 – Poszukiwanie złóż rud cyny w osłonie metamorficznej granitu karkonoskiego – rejon Stara Kamienica-Wojcieszyce. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 46021, nr kat. 4521/459].
- SEMYRKA R., JARZYNA J., BAŁA M., PAPIERNIK B., KAŻMIERCZUK-KOTULA M., MACHOWSKI G., PRZYSTA G., WAWRZYŃIAK K., ZAJĄC A., 2005 – Charakterystyka skał zbiornikowych na podstawie wyników badań laboratoryjnych i profilowań geofizyki otworowej. [W:] Budowa geologiczna i system naftowy rowu lubelskiego a perspektywy poszukiwawcze (red. Kotarba M.) [raport z grantu badawczego Ministerstwa Środowiska]. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 856/2006].
- SHULGA V.F., ZDANOWSKI A., 2007 – Korelacja karbońskich formacji węglonośnych Lwowsko-Wołyńskiego i Lubelskiego Zagłębia Węglowego. Inst. Nauk Geol. Nar. Akad. Nauk Ukrainy, Kijów.
- SIATA E. (red.), 2007 – Dokumentacja geologiczna złoża rud molibdenowo-wolframowo-miedziowych w Myszkowie w kat. C₂. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 1086/2008].
- SIKORA W., BUDEK L., GAWEL A., 1986 – Skład mineralny zwietrzelin skał bazaltowych Dolnego Śląska. *Arch. Miner.*, 41: 31–41.
- SIKORSKA-JAWOROWSKA M., KUBERSKA M., KOZŁOWSKA A., 2016 – Petrografia i mineralogia łupków niższego paleozoiku kratonu wschodnioeuropejskiego oraz piaskowców karbonu podłoża monokliny przedsudeckiej. *Prz. Geol.*, 64 (12): 963–967.
- SIKORSKA-MAYKOWSKA M. (red.), 2013 – Aneks do instrukcji opracowania Mapy Geośrodowiskowej Polski (II) w skali 1:50 000. PIG-PIB, Warszawa.

- SIKORSKA-MAYKOWSKA M., GRABOWSKI D., STEC B., WALENTEK I., 2008 – Wytyczne opracowania warstwy normatywnej Kopaliny w ramach V etapu realizacji Mapy Georodowiskowej Polski (MGsP) w skali 1:50 000. PIG-PIB, Warszawa.
- SIKORSKA-MAYKOWSKA M., WALENTEK I., ANDRZEJEWSKA-KUBRAK K., 2017 – Kryteria waloryzacji georodowiskowej obszarów perspektywicznych występowania kopalin. *Gosp. Sur. Min.*, 33 (2): 81–96.
- SILIWOŃCZUK Z., 1974 – Atlas litologiczno-surowcowy Polski w skali 1:2 000 000. Wyd. Geol., Warszawa.
- SILIWOŃCZUK Z., 1985 – Geologiczno-złożowe warunki występowania kruszywa naturalnego w Polsce. *Pr. Inst. Geol.*, 113.
- SILLITOE R.H., 2010 – Porphyry copper systems. *Econ. Geol.*, 105 (1): 3–41.
- SINDIG-LARSEN D., 1986 – Mineral resources assessment map 1:1000000. Northern Fennoscandia. Regions and locations highly favorable for mineral deposits. Nordkalot Project, [Helsinki?].
- SINGER D.A., 1993 – Basic concept in three part quantitative assessments of undiscovered mineral resources. *Nonrenewable Res.*, 2 (2): 69–81.
- SINGER D.A., 2017 – Future copper resources. *Ore Geol. Rev.*, 86: 271–279.
- SINGER D.A., BERGER V.I., MORING B.C., 2008 – Porphyry copper deposits of the world: database and grade and tonnage models. USGS Open-File Report, 2008-1155.
- SKRZYPCZYK L., SOKOŁOWSKI J., 2010 – Solanki, wody lecznicze i termalne. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkowicz S. i in.): 469–479. PIG-PIB, Warszawa.
- SKRZYPCZYK L., SOKOŁOWSKI J., PERGÓŁ S., 2011 – Solanki, wody lecznicze i termalne. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkowicz S. i in.): 252–261. PIG-PIB, Warszawa.
- ŠLIAUPA S., HOTH P., 2011 – Hydrocarbon fields. [W:] The Baltic Sea Basin (red. Harff J. i in.): 37–42. Springer, Berlin.
- SLICHTER L.S., 1960 – The need of a new philosophy of prospecting. *Mining Engineering*, 6: 570–576.
- SŁOWAKIEWICZ M., GAŚIEWICZ A., 2013 – Palaeoclimatic imprint, distribution and genesis of Zechstein Main Dolomite (Upper Permian) petroleum source rocks in Poland: Sedimentological and geochemical rationales. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 376: 523–538.
- SŁOWAKIEWICZ M., MIKOŁAJEWSKI Z., 2009 – Sequence stratigraphy of the Upper Permian Zechstein Main Dolomite carbonates in western Poland: a new approach. *J. Petrol. Geol.*, 32: 215–234.
- SŁOWAKIEWICZ M., MIKOŁAJEWSKI Z., 2011 – Upper Permian Main Dolomite microbial carbonates as potential source rocks for hydrocarbons (W Poland). *Mar. Petrol. Geol.*, 28: 1572–1591.
- SŁOWAKIEWICZ M., POPRAWA P., 2010 – Integracja mikrotermometrii inkluzji fluidalnych i modelowań historii termicznej/pograżania w badaniach pochodzenia węglowodorów i ich nagromadzeń w skałach dolomitu głównego (Ca2) północno-zachodniej Polski (otwór wiertniczy Benice-3). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 439: 181–188.
- SŁOWAKIEWICZ M., PERRI E., TUCKER M.E., 2016 – Micro- and nanopores in tight Zechstein 2 carbonate facies from the Southern Permian Basin, NW Europe. *J. Petrol. Geol.*, 39: 149–168.
- SMAKOWSKI T., 2011 – Kruszywo naturalne, piaskowo-żwirowe. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkowicz S. i in.): 154–167. PIG-PIB, Warszawa.
- SMAKOWSKI T., SZAMALEK K., 2011 – Zasady określania zasobów perspektywicznych kopalin. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkowicz S. i in.): 11–15. PIG-PIB, Warszawa.
- SMAKOWSKI T., WIELGOMAS L., 1986 – Rudy cynku i ołowiu. Stan rozpoznania złóż i ich zasobów. [W:] Zasoby perspektywiczne kopalin Polski (stan na 1981-01-01) (red. Bolewski A., Gruszczak H.): 210–212. Inst. Geol., Warszawa.
- SMAKOWSKI T., WOŁKOWICZ S., MIECZNIK J.B., 2013 – Możliwe źródła zaopatrzenia w paliwo potencjalnych elektrowni jądrowych w Polsce. *Zesz. Nauk. IGSMiE*, 85: 295–308.
- SMAKOWSKI T., GALOS K., LEWICKA E. (red.), 2015 – Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 2013. IGSMiE PAN, Kraków, PIG-PIB, Warszawa.
- SOBIERAJSKI S., KUBACZ N., TORA B., 1996 – Problemy kompleksowego wykorzystania rud miedzi w procesach wzbogacania. [W:] Monografia KGHM Polska Miedź S.A. (red. Piestrzyński A.): 731–746. CBPM Cuprum, Wrocław.
- SOBIERAJSKI S., KUBACZ N., TORA B., 2007 – Problemy kompleksowego wykorzystania rud miedzi w procesach wzbogacania. [W:] Monografia KGHM Polska Miedź SA, wydanie II (red. Piestrzyński A. i in.): 542–554. Allexim, Wrocław.
- SOKOŁOWSKI J. (red.), 1968 – Budowa geologiczna Polski. Tom I. Stratygrafia. Cz. 1. Prekambr i paleozoik. Wyd. Geol., Warszawa.
- SOKOŁOWSKI J. (red.), 1973 – Budowa geologiczna Polski. Tom I. Stratygrafia. Cz. 2. Mezozoik. Wyd. Geol., Warszawa.
- SOKOŁOWSKI J. (red.), 1984 – Budowa geologiczna Polski. Tom I. Stratygrafia. Cz. 3b. Czwartorzęd. Wyd. Geol., Warszawa.
- SOKOŁOWSKI J., SKRZYPCZYK L., 2019 – Solanki, wody lecznicze i termalne. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (Szufliski M. i in. red.): 474–489. PIG-PIB, Warszawa.
- SOKOŁOWSKI J., SKRZYPCZYK L., MALON A., 2015 – Problematyka wyznaczania granic złóż solanek, wód leczniczych i termalnych. *Prz. Geol.*, 63 (10/2): 1059–1062.
- SOLIK-HELIASZ E. (red.), 2011 – Atlas zasobów energii geotermalnej w regionie górnośląskim. Utwory neogenu, dewonu i karbonu. GIG, Katowice.
- SONNENFELD P., 1984 – Brines and evaporites. Academic Press Inc., Orlando.
- SOWIŹDZAŁ A., GÓRECKI W., 2013 – Możliwości wykorzystania energii geotermalnej w rejonie zapadliska przedkarpackiego. *Techn. Poszuk. Geol.*, 52 (2): 59–73.
- SOWIŹDZAŁ K., SŁOCZYŃSKI T., 2016 – Dynamiczne modelowanie systemów naftowych 4D w wybranych strefach basenu bałtyckiego w rozpoznawaniu złóż węglowodorów w formacjach łupkowych. *Nafta-Gaz*, 12: 1018–1027.
- SOWIŹDZAŁ K., SŁOCZYŃSKI T., STADTMULLER M., KACZMARCZYK W., LIS-ŚLEDZIONA A., 2017 – Opracowanie i przestrzenna analiza zmienności petrofizycznej, geochemicznej i fałdalno-złożowej elementów miocenijskiego systemu naftowego w strefie przynależącej do przedkarpackiego (między Bochnią a Przemyślem). Blue Gas II – ShaleFore. Wyd. AGH, Kraków.
- SPALIŃSKA B., STEC R., SZTABA K., 2007 – Miejsce i rola przeróbki rudy w kompleksie technologicznym KGHM Polska Miedź S.A. [W:] Monografia KGHM Polska Miedź SA, wydanie II (red. Piestrzyński A. i in.): 463–472. Allexim, Wrocław.
- SPECZIK S., 1995 – The Kupferschiefer mineralization of Central Europe: New aspects and major areas of future research. *Ore Geol. Rev.*, 9: 411–426.
- SPECZIK S., PÜTTMANN W., 1987 – Origin of Kupferschiefer mineralization as suggested by coal petrology and organic geochemical studies. *Acta Geol. Pol.*, 37: 167–187.

- SPECZIK S., WOJCIECHOWSKI A., 1997 – Złotonośne utwory z pogranicza czerwonego spągowca i cechsztynu niecki północnosudeckiej w okolicach Nowego Kościoła. *Prz. Geol.*, 45 (9): 872–874.
- SPECZIK S., OSZCZEPALSKI S., NOWAK G., KARWASIECKA M., 2007 – Cechszyński łupek miedzionośny – poszukiwania nowych rezerw. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 423: 173–188.
- SPECZIK S., MARKS L., OSZCZEPALSKI S., CHMIELEWSKI A., KRZEMIŃSKI P., 2011a – Litologia, petrografia i cechsztyńska mineralizacja kruszcowa w wybranych profilach wiertniczych z rejonu Nowa Sól, Zabór i Trzebiechów. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 177/2012].
- SPECZIK S., OSZCZEPALSKI S., CHMIELEWSKI A., KRZEMIŃSKI P., KARWASIECKA M., NOWAK G., DZIEWIŃSKA L., JÓZ-WIAK W., 2011b – Analiza i ocena obszarów zlokalizowanych w kierunku północno-wschodnim od koncesyjnych obszarów górniczych KGHM PM S.A., pod kątem możliwości udokumentowania zasobów rudy miedzi spełniających kryteria ekonomiczne i wytypowania celów do dalszej eksploatacji. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 164/2012].
- SPECZIK S., OSZCZEPALSKI S., CHMIELEWSKI A., 2013 – Exploration and mining perspective of the Kupferschiefer series in SW Poland: digging deeper? [W:] Mineral deposit research for a high-tech world. Proceedings of the 12th Biennial SGA Meeting. Uppsala, Sweden, 12–15 August 2013 (red. Jonsson E. i in.). Vol. 2: 687–690. Society for Geology Applied to Mineral Deposits, Uppsala.
- SPECZIK S., OSZCZEPALSKI S., MAŁECKA K., 2014 – Nowe dane na temat bazy zasobowej rud miedzi i srebra w Polsce. [W:] XXIV Konferencja Aktualia i Perspektywy Gospodarki Surowcami Mineralnymi. Zakopane, 5–7 listopada 2014. *Zesz. Nauk. IGSMiE PAN*, 88: 235–250.
- SPECZIK S., OSZCZEPALSKI S., CHMIELEWSKI A., 2015 – Future of copper exploration in Poland. [W:] Mineral resources in a sustainable world. Proceedings of the 13th Biennial SGA Meeting, 24–27 August 2015, Nancy, France. Vol. 5 (red. Andre-Mayer A.S. i in.): 2025–2028. b.w., France.
- SROGA C., 2001 – Informacja o złożach i innych wystąpieniach surowca skaleniowego na obszarze Dolnego Śląska. *Narod. Arch. Geol. PIG-PIB*, Oddz. Dolnośląski, Wrocław [nr inw. 3/2001].
- SROGA C., 2008 – Karty dokumentacyjne złóż. [W:] Ocena perspektyw występowania złóż rud metali w Sudetach i na bloku przedsudeckim w nawiązaniu do aktualnych modeli geotektonicznych (Cwojdzinski S. i in.). *Narod. Arch. Geol. PIG-PIB*, Oddz. Dolnośląski, Wrocław [nr inw. 13/2010].
- SROGA C., 2011a – Baryt i fluoryt. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkowicz S. i in.): 122–127. *PIG-PIB*, Warszawa.
- SROGA C., 2011b – Kopaliny skaleniowe. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkowicz S. i in.): 209–213. *PIG-PIB*, Warszawa.
- SROGA C., 2011c – Magnezyty. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkowicz S. i in.): 228–231. *PIG-PIB*, Warszawa.
- SROGA C., BOBIŃSKI W., KOZDRÓJ W., 2018 – Pozycja geologiczna złoża barytu z fluorytem w Jeżowie Sudeckim (Góry Kaczawskie). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 472: 231–254.
- STACHOWIAK A. (kier. zespołu), 2004 – Bilans zasobów perspektywicznych i prognostycznych surowców mineralnych na Dolnym Śląsku – możliwości i bariery ich wykorzystania. *Narod. Arch. Geol. PIG-PIB*, Oddz. Warszawa [nr inw. 1858/2004].
- STACHOWIAK R., 1987 – Dokumentacja geologiczna złoża kwarcu żyłowego „Taczalin” w kat. C₂+C₁ z określeniem jakości kopaliny w kat. B. Arch. PG Proxima S.A., Wrocław.
- STEIN H.J., MARKOWIAK M., MIKULSKI S.Z., 2005 – Metamorphic to magmatic transition captured at the Myszków Mo-W deposit, southern Poland. [W:] Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge. Proceedings of the 8th Biennial SGA Meeting. Beijing, China, 18–21 August 2005 (red. Mao J., Bierlein F.P.). Vol. 1: 833–836. Springer, Berlin.
- STOCH L., 1974 – Minerale ilaste. Wyd. Geol., Warszawa.
- STOCH L., DYJOR S., SIKORA W., KALMUS M., 1977 – Zwietrzeliny bazaltowe Dolnego Śląska. *Pr. Miner.*, 56.
- Strategia na rzecz odpowiedzialnego rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030 r.) (2017) [dokument przyjęty uchwałą Rady Ministrów w dniu 14 lutego 2017 r.]. Ministerstwo Rozwoju, Departament Strategii Rozwoju, Warszawa.
- STRZELCZYK G., DANIELEWICZ B., 1990 – Dokumentacja geologiczna w kategorii C₂ kruszywa naturalnego (piaski budowlane czwartorzędowe) wraz z określeniem występowania bursztynu w utworach czwartorzędowych w rejonie Górka Lubartowska. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 484/92].
- Strzelecki Metals Limited, 2009 – Annual Report 2009. Review of operations: 5–14. B.w., b.m.
- STRZELECKI R., 1985 – O sedymentacji górnego pstręgo piaskowca w synekлизie perybaltyckiej. *Prz. Geol.*, 33 (4): 217–220.
- STRZELECKI R., WOŁKOWICZ S., 2011 – Uran. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wołkowicz S. i in.): 71–75. *PIG-PIB*, Warszawa.
- STRZELECKI R., WOŁKOWICZ S., 2019 – Historia badań pierwiastków promieniotwórczych w PIG. *Prz. Geol.*, 67 (2): 75–90.
- STRZELSKA-SMAKOWSKA B., 2006 – Renesans zainteresowania tlenowymi rudami cynku. *Gosp. Sur. Min.*, 22, Z. Spec. 1: 253–261.
- STRZELSKA-SMAKOWSKA B., 2010 – Złoża tlenowych rud cynku w okręgu śląsko-krakowskim. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 439: 371–374.
- STRZELSKA-SMAKOWSKA B., GAŁAŚ A., KRZAK M., MUCHA J., PAULO A., WASILEWSKA M., 2008 – Prognoza złożowa występowania złóż rud Zn-Pb w utworach triasu pokrywmy permomezozoicznej (poza obszarami złóż udokumentowanych) NE obrzeżenia GZW. [W:] Prognoza złożowa podłoża paleozoicznego (i pokrywmy mezozoicznej triasu) północno-wschodniego obrzeżenia GZW (red. Oszcze-palski S. i in.). *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 5485/2008].
- STUPNICKA E., STEMPIEŃ-SALEK M., 2016 – Geologia regionalna Polski. Wyd. UW, Warszawa.
- Surowce dla przemysłu. Plan działań na rzecz zabezpieczenia podaży nieenergetycznych surowców mineralnych, 2016. Ministerstwo Rozwoju, Warszawa.
- SUTPHIN D.M., HAMMARSTROM J.M., DREW L.J., LARGE D.E., BERGER B.B., DICKEN C.L., DEMARR M.W., 2013 – Porphyry copper assessment of Europe, exclusive of the Fennoscandian Shield. USGS Scientific Investigations Report, 2010–5090-K.
- SVERDRUP H., KOCA D., GRANATH C., 2012 – Modeling the gold market, explaining the past and assessing the physical and economical sustainability of future scenarios. [W:] 30th International Conference of the System Dynamics Society, St. Gallen, Switzerland, 22–26 July 2012. Proceedings. Vol. 5 (red. Schwanninger M. i in.): 4002–4023. Systems Dynamics Society, b.m.
- SVERDRUP H.U., KOCA D., RAGNARSDÓTTIR K.V., 2013 – Peak metals, minerals, energy, wealth, food and population: urgent policy considerations for a sustainable society. *J. Environ. Sci. Eng.*, B2 (2013): 189–222.

- SVERDRUP H.U., RAGNARSOTTIR K.V., KOCA D., 2014 – On modelling the global copper mining rates, market supply, copper price and the end of copper reserves. *Res., Conserv. Recycl.*, 87: 158–174.
- SWĘD M., URBANEK P., KRECHOWICZ I., DWORCZAK P., WIECKA P., MLECZAK M., TOBYS P., 2015 – Mineralogia hald wietrze-niowych złoża Miedzianka (Góry Świętokrzyskie). *Prz. Geol.*, 63 (6): 363–370.
- SZALAMACHA J., SZALAMACHA M., 1966 – O strefie dyslokacyjnej Rozdroża Izerskiego w Górach Izerskich. *Kwart. Geol.*, 10 (3): 666–685.
- SZALAMACHA M., 1967 – O mineralizacji cynowej we wschodniej części pasma kamienickiego w Górach Izerskich. *Prz. Geol.*, 15 (6): 281–284.
- SZALAMACHA M., 1976a – On the origin of cassiterite mineralization in the metamorphic schists of the Karkonosze-Góry Izerskie Mts. Block, the Sudetes. [W:] *The current metallogenic problems of Central Europe* (red. Fedak J.): 343–349. Wyd. Geol., Warszawa.
- SZALAMACHA M., 1976b – O złożowej mineralizacji barytowo-fluorytowej w Jezowie Sudeckim (Sudety Zachodnie). *Kwart. Geol.*, 20 (2): 215–237.
- SZALAMACHA M., 1978 – Dokumentacja geologiczna złoża rud cyny „Krobica”. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 12404 CUG].
- SZALAMACHA M., SZALAMACHA J., 1974 – Geologiczna i petrograficzna charakterystyka łupków mineralizowanych kasyteritem na przykładzie kamieniołomu w Krobicy. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 279: 59–89.
- SZALAMACHA M., SZALAMACHA J., 1980 – Dokumentacja geologiczna złoża rud cyny „Gierczyn” w Gierczynie – woj. Jelenia Góra (kat. C₂). Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 13336 CUG].
- SZALAMACHA M., SZALAMACHA J., DZIARKOWSKA K., 1979 – Dokumentacja geologiczna złoża rud cyny „Krobica Wschód”, woj. Jelenia Góra (kat. C₂). Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 12838 CUG].
- SZAMALEK K., 2003 – Koncesje na poszukiwanie bursztynu. *Prz. Geol.*, 51 (11): 906.
- SZAMALEK K., 2006 – Perspektywy zagospodarowania kopalin oceanicznych. *Stosunki Międzynarodowe*, 34 (3/4): 33–64.
- SZAMALEK K., 2007 – Podstawy geologii gospodarczej i gospodarki surowcami mineralnymi. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- SZAMALEK K., 2011a – Bezpieczeństwo surowcowe państwa. [W:] *Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r.* (red. Wołkowicz S. i in.): 7–11. PIG-PIB, Warszawa.
- SZAMALEK K., 2011b – Ocena wystarczalności krajowych zasobów złóż udokumentowanych. [W:] *Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r.* (red. Wołkowicz S. i in.): 16–23. PIG-PIB, Warszawa.
- SZAMALEK K., 2011c – Racjonalna gospodarka złożem kopaliny a racjonalne zużycie zasobów alias problemy teorii zasobów [<https://docplayer.pl/24614458-Racjonalna-gospodarka-zlozem-kopaliny-a-racjonalne-zuzycie-zasobow-alias-problemy-teorii-zasobow.html>].
- SZAMALEK K., 2011d – Rational mineral deposit management in the light of mineral resources theory. *Gosp. Sur. Min.*, 27 (4): 5–15.
- SZAMALEK K., 2011e – Ochrona niezagospodarowanych złóż kopalin. *Studia KPZK PAN*, 142: 39–45.
- SZAMALEK K., 2016 – Analiza porównawcza polityk surowcowych wybranych krajów świata. PIG-PIB Warszawa.
- SZAMALEK K., 2017 – Bursztyn. [W:] *Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce według stanu na 31.XII.2016 r.* (red. Szufflicki M. i in.): 85–86. PIG-PIB, Warszawa.
- SZAMALEK K., 2018a – Bursztyn. [W:] *Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce według stanu na 31.XII.2017 r.* (red. Szufflicki M. i in.): 85–86. PIG-PIB, Warszawa.
- SZAMALEK K., 2018b – Ewolucja polityki surowcowej w Polsce w latach 1935–2018. *Zesz. Nauk. IGSMiE PAN*, 106: 181–198.
- SZAMALEK K., 2018c – Udział Polski w pracach Międzynarodowej Organizacji Dna Morskiego. *Prz. Geol.*, 66 (3): 185–188.
- SZAMALEK K., 2018d – Stan rozpoznania oceanicznych zasobów mineralnych. *Prz. Geol.*, 66 (3): 189–194.
- SZAMALEK K., 2018e – Piaski z minerałami ciężkimi. [W:] *Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r.* (red. Szufflicki M. i in.): 404. PIG-PIB, Warszawa.
- SZAMALEK K., GABRYŚ-GODLEWSKA A., KOZŁOWSKA O., TURBIAK B., WALENTEK I., 2017a – Analiza gospodarki złożami ko-palin koncesjonowanych przez starostę. [W:] *Materiały konferencyjne XXVII Konferencji Aktualia i Perspektywy Gospodarki Surowca-mi Mineralnymi*. IGSMiE PAN, Kraków.
- SZAMALEK K., GALOS K., STEFANOWICZ J., MAZUREK S., 2017b – Klimat inwestycyjny i swoboda działalności geologiczno-górn-iczej w Polsce na tle światowych rozwiązań [referat]. IV Polski Kongres Górniczy. Wydarzenie odbędzie się pod hasłem: „Surowce mi-neralne w strategii gospodarczej Polski – jak wydobywać, jak pozyskiwać, jak oszczędzać w dobie zrównoważonego rozwoju?”. Kra-ków, 20–22 listopada 2017 r.
- SZAMALEK K., SZUFLICKI M., MALON A., TYMIŃSKI M. (red.), 2017c – Mineral resources of Poland. PIG-PIB, Warszawa.
- SZAMALEK K., UŚCINOWICZ SZ., ZGLINICKI K., 2018 – Rare earth elements in Fe-Mn nodules from the southern Baltic Sea – a pre-li-minary study. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 472: 199–212.
- SZCZYGIELSKI W., 2019a – Surowce ilaste ceramiki budowlanej. [W:] *Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r.* (red. Szufflicki M. i in.): 409–437. PIG-PIB, Warszawa.
- SZCZYGIELSKI W., 2019b – Surowce ilaste do produkcji cementu. [W:] *Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r.* (red. Szufflicki M. i in.): 438–440. PIG-PIB, Warszawa.
- SZCZYGIELSKI W., 2019c – Surowce ilaste do produkcji kruszywa lekkiego. [W:] *Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r.* (red. Szufflicki M. i in.): 441–444. PIG-PIB, Warszawa.
- SZCZYGIELSKI W., 2019d – Torfy. [W:] *Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r.* (red. Szufflicki M. i in.): 452–463. PIG-PIB, Warszawa.
- SZEPIETOWSKA H., 1977 – Sprawozdanie z prac geologicznych wykonanych dla wstępnego rozpoznania żyły skaleniowej w rejonie Mar-kocic. Arch. PG Proxima S.A., Wrocław.
- SZEPIETOWSKA H., 1984 – Dokumentacja geologiczna złoża kwarcu żyłowego i skał kwarcowych „Stanisław” w kat. C₁+C₂. Arch. PG Proxima S.A., Wrocław.
- SZEPIETOWSKA H., 1985 – Sprawozdanie z dotychczasowych prac penetracyjnych w poszukiwaniu złóż kwarcu żyłowego w rejonach: Złote Jamy i Piaskowa Góra. Arch. PG Proxima S.A., Wrocław.
- SZEPIETOWSKA H., 1988 – Sprawozdanie z I etapu badań geologicznych na obszarze Jaroszewskiego Okręgu Eksploatacji Glin Ognio-trwałych i Surowców Kaolinowych. Arch. PG, Warszawa.

- SZEWCZYK J., 2010 – Geofizyczne oraz hydrogeologiczne warunki pozyskiwania energii geotermalnej w Polsce. *Prz. Geol.*, 58 (7): 566–573.
- SZLUGAJ J., GALOS K., 2015 – Gipsy i anhydryt. [W:] Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 2013 (red. Smakowski T. i in.): 321–335. IGSMiE PAN, Kraków, PIG-PIB, Warszawa.
- SZPAKIEWICZ M., 1979 – Hydrochemical and balneological significance of studies on trace elements of Polish mineral waters. [W:] Hydrogeochemistry of mineralized waters. Conference of Cieplice Spa (Poland), 1978 (red. Słowińska B., Pakulska Z.). Inst. Geol., Warszawa.
- SZPILEWICZ A., 1979 – Surowce dla przyszłości. Komitet Badań i Prognoz przy Prezydium PAN, Warszawa.
- SZTROMWASSER E., GIEŁŻECKA-MĄDRY D., MĄDRY S., KUĆ P., 2015a – Gipsy i anhydryty. [W:] Mapy obszarów perspektywicznych występienia rud metali i surowców chemicznych w Polsce w skali 1:200 000 wraz z ich oceną surowcową oraz ograniczeniami środowiskowymi i zagospodarowania przestrzennego (Mikulski i in.). *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa* [nr inw. 1714/2015].
- SZTROMWASSER E., GIEŁŻECKA-MĄDRY D., MĄDRY S., KUĆ P., SĄDŁOWSKA K., 2015b – Zasoby perspektywiczne surowców siarczanowych Polski na mapach w skali 1:200 000 – gipsy i anhydryty. *Prz. Geol.*, 63 (9): 572–580.
- SZUFLICKI M., MALON A., TYMIŃSKI M. (red.), 2019 – Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. PIG-PIB, Warszawa.
- SZUWARZYŃSKI M., 1993 – The lead and zinc deposits in the vicinity of Chrzanów. *Geol. Quart.*, 37 (2): 209–228.
- SZUWARZYŃSKI M., 1996 – Ore bodies in the Silesian-Cracow Zn-Pb ore district, Poland. [W:] Carbonate hosted zinc-lead deposits in the Silesian-Cracow area, Poland (red. Górecka E. i in.). *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 154: 9–24.
- ŚLIWA M., 1982 – Dokumentacja geologiczna złoża skały diatomitowej „Leszczawka”, etap II, złożo Dobrzanka-Kuźmina, kat. C₂+C₁. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa* [nr inw. 4421/2016].
- ŚLIWA Z., 1969 – Charakterystyka geologiczno-petrograficzna złoża surowca skaleniowego w Zatoniu. *Acta Univ. Wratislav. Pr. Geol.-Min.*, 86 (2): 147–161.
- ŚLIWIŃSKI S., 1964 – Przejawy mineralizacji kruszcowej w utworach dewońskich i triasowych obszaru siewierskiego. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 34 (1–2): 151–190.
- ŚLIWOWA M., RUSSOCKI Z., 1980 – Dokumentacja geologiczna złoża diatomitu Jaworowice-Borownica w kat. C₂+C₁. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa* [nr inw. 13435 CVG].
- ŚLIZOWSKI J., URBANČYK K. (red.), 2011 – Możliwości magazynowania gazu ziemnego w polskich złożach soli kamiennej w zależności od warunków geologiczno-górnictwowych. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- ŚLIZOWSKI K., LANKOF L., 2009 – Geologiczne uwarunkowania składowania wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych w złożach soli w Polsce. *Prz. Geol.*, 17 (9): 829–838.
- ŚLIZOWSKI K., KÖHSLING J., LANKOF L., 2004 – Uwarunkowania podziemnego składowania odpadów niebezpiecznych w Polsce. *Studia, Rozprawy, Monografie*, 129.
- ŚLIZOWSKI K., BRAŃKA S., JAWOR E., LANKOF L., ŚLIZOWSKI J., MACIEJEWSKI A., MAZUR M., NEY R., PISIEWICZ T., ROGOWSKA E., URBANČYK K., WIŚNIEWSKA M., 2006 – Ocena możliwości magazynowania substancji w złożach soli kamiennej. IGSMiE PAN, *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa* [nr inw. 715/2006].
- ŚLÓSZARZ J., 1982 – Uwagi o warunkach geologicznych mineralizacji Cu-Mo w paleozoiku okolic Myszkowa. *Prz. Geol.*, 30 (7): 329–335.
- ŚLÓSZARZ J., 1983 (1985) – Stadia i strefowość mineralizacji kruszcowej w paleozoiku okolic Myszkowa. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 53 (1–4): 267–288.
- ŚLÓSZARZ J., 1988 – Przejawy mineralizacji wolframowej w paleozoiku północno-wschodniego obrzeżenia GZW. *Prz. Geol.*, 36 (7): 387–390.
- ŚLÓSZARZ J., 1993 – Główne zespoły paragenetyczne mineralizacji molibdenowej w paleozoiku okolic Myszkowa, ich kontrola i znaczenie rudonośne. *Pol. Tow. Miner., Pr. Spec.*, 3: 123–128.
- TAJDUŚ A., DUBIŃSKI J., 2011 – Globalne problemy górnictwa węgla brunatnego. *Górn. Geoinż.*, 35 (3): 367–379.
- TAKAYA Y., YASUKAWA K., KAWASAKI T., FUJINAGA K., OHTA J., USUI Y., NAKAMURA K., KIMURA J.-I., CHANG Q., HAMADA M., DODDIBA G., NOZAKI T., IJIMA K., MORISAWA T., KUWAHARA T., ISHIDA Y., ICHIMURA T., KITAZUME M., FUJITA T., KATO Y., 2018 – The tremendous potential of deep-sea mud as a source of rare-earth elements. *Nature Scientific Reports* [https://www.nature.com/articles/s41598-018-23948-5]
- TARKOWSKI R., 2017 – Wybrane aspekty podziemnego magazynowania węgla. *Prz. Geol.*, 65 (5): 282–291.
- TARKOWSKI R., 2018 – Underground hydrogen storage: characteristics and prospects. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 105: 86–94.
- TARKOWSKI R., CZAPOWSKI G., 2018 – Salt domes in Poland – potential sites for hydrogen storage in caverns. *Int. J. Hydrog. Energy*, 43: 21414–21427.
- TAYLOR C.D., CAUSEY J.D., DENNING P., HAMMARSTROM J.M., HAYES T.S., HORTON J.D., KIRSCHBAUM M.J., PARKS H.L., WILSON A.B., WINTZER N.E., ZIENTEK M.L., 2013 – Descriptive models, grade-tonnage relations, and databases for the assessment of sediment-hosted copper deposits: with emphasis on deposits in the Central African Copperbelt, Democratic Republic of the Congo and Zambia. USGS Scientific Investigations Report, 2010–5090–J.
- TAYLOR R.B., STEVEN T.A., 1983 – Definition of mineral resources potential. *Econ. Geol.*, 78 (6): 1268–1270.
- TILTON J.E., 2001 – Depletion and the long-run availability of mineral commodities. *Mining, Minerals and Sustainable Development*, 14 [https://pubs.iied.org/pdfs/G01035.pdf].
- TILTON J.E., 2003 – Assessing the threat of mineral depletion. *Minerals & Energy*, 18 (1): 33–42.
- TOLBOLSKI K., 2000 – Przewodnik do oznaczania torfów i osadów jeziornych. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- TOLKANOWICZ E., RADWANIEK-BAK B., KRZAK I., 2011 – Kamienie łamane i bloczne. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wólkowicz S. i in.): 176–182. PIG-PIB, Warszawa.
- TOMASSI-MORAWIEC H., CZAPOWSKI G., SCHRAMM M., 2013 – Agregaty halitowe współczesnych śródlądowych zbiorników słonych – reminiscencje z wypraw naukowych PGS. *Geol., Geoph. Environ.*, 39 (3): 279–289.
- TOMASZCZYK M., JAROSIŃSKI M., 2017 – The Kock Fault Zone as an indicator of tectonic stress regime changes at the margin of the East European Craton (Poland). *Geol. Quart.*, 61 (4): 908–925.
- TOMCZAK A., KRZYMIŃSKA J., MICHAŁOWSKA M., MOJSKI J.E., PIKIES R., ZACHOWICZ J., 1990 – Geological position of amber bearing deposits on the Vistula Bay Bar, Poland. *Pr. Muz. Ziemi*, 41.

- TROELS-SMITH J., 1955 – Karakterisering af lofsejrdarter. *Danmark Geologiske Undersøgelse*, 3.
- TRUSZEL M., ŚLÓSZARZ J., 1997 – Skarpy i metasomatyty towarzyszące mineralizacji kruszcowej, formacji porfirowej w paleozoiku w rejonie Myszkowa. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 1984/97].
- TRUSZEL M., KARWOWSKI L., LASOŃ K., MARKIEWICZ J., ŻABA J., 2006 – Magmatyzm i metamorfizm strefy tektonicznej Kraków-Lubliniec jako przesłanki występowania złóż polimetalicznych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 418: 55–103.
- TUCKIJ W., 2010 – Krótka charakterystyka rozpoznania geologicznego nagromadzeń i przemysłowego wydobycia bursztynu na Ukrainie. [W:] Bursztyn: poglądy i opinie. Materiały z seminariów Amberif 2005–2009 (red. Kosmowska-Ceranowicz B., Gierłowski W.): 26–31. Międzynarodowe Stowarzyszenie Bursztynników, Warszawa–Gdańsk.
- TYMIŃSKI M., 2019a – Łupki fyllitowe, kwarcytowe i lyszczykowe. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szuflicki M. i in.): 136–137. PIG-PIB, Warszawa.
- TYMIŃSKI M., 2019b – Gliny ceramiczne. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szuflicki M. i in.): 93–96. PIG-PIB, Warszawa.
- TYMIŃSKI M., 2019c – Gliny ogniotrwałe. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szuflicki M. i in.): 97–98. PIG-PIB, Warszawa.
- TYMIŃSKI M., 2019d – Dolomity. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r. (red. Szuflicki M. i in.): 89–90. PIG-PIB, Warszawa.
- UBERNA J., 1970 – Występowanie uranu w Górach Świętokrzyskich. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 44062, nr kat. 4531/865].
- UBERNA J., 1982 – Występowanie fosforytów w Polsce z surowcowo-technologiczną oceną możliwości ich wykorzystania oraz określeniem perspektyw poszukiwawczych. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 30109, nr kat. ObO/1820].
- UBERNA J., 1987 – Fosforyty. [W:] Budowa geologiczna Polski. Tom VI. Złoża surowców mineralnych (red. Osika R.): 439–451. Wyd. Geol., Warszawa.
- UBERNA J., CIEŚLIŃSKI S., BŁASZKIEWICZ A., JASKOWIAK M., KRASSOWSKA A., 1971 – Kredowe osady fosforytonośne i fosforyty w Polsce. *Biul. Inst. Geol.*, 246: 135–160.
- UCHNAST Z., GABRYŚ-GODLEWSKA A., PASIECZNA A., TOMASSI-MORAWIEC H., 2006 – Objasnienia do Mapy Geośrodowiskowej Polski 1:50 000, ark. Odrowąż (778). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- ULMISHEK G.F., 1990 – Geologic evolution and petroleum resources of the Baltic Basin. [W:] Interior Cratonic Basins (red. Leighton M.W. i in.). *AAPG Memoir*, 51: 603–632.
- UNECE, 2013 – United Nations framework classification for fossil energy and mineral reserves and resources 2009 incorporating specifications for its application. *Ece Energy Series No. 42*. New York and Geneva.
- URBAŃCZYK K., 2011 – Salary Ameryki Południowej – sprawozdanie z wyprawy naukowej PSGS. *Geologia*, 37 (2): 323–334.
- USGS, 2019 – Mineral Commodity Summaries 2019. USGS, Reston, Virginia.
- VAUGHAN D.J., SWEENEY M., FRIEDRICH G., DIEDEL R., HARAŃCZYK C., 1989 – The Kupferschiefer: an overview with an appraisal of the different types of mineralization. *Econ. Geol.*, 84 (5): 1003–1027.
- WAGNER R., 1994 – Stratygrafia i rozwój basenu cechsztyńskiego na Niziu Polskim. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 146.
- WAJDA W., 1970 – Minerály ciężkie piasków dennych polskiego wybrzeża Bałtyku. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 40 (1): 131–149.
- WAKSMUNDZKA M., KARCOZ P., SKOWROŃSKI L., KWARCZIŃSKI J., ROLKA M., STRZEMIŃSKA K., 2008 – Potencjał metanonośności pokładów węgla w rejonie Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego w aspekcie możliwości prowadzenia prac poszukiwawczo-rozpoznawczych. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 1278/2009?].
- WALA A., 1979 – Badania litologiczne mioceńskich warstw gipsowych i ilastych z wierceń na obszarze Niecki Nidy. [W:] Sprawozdanie z prac badawczych mioceńskiej serii gipsonośnej w obszarze Niecki Nidy (Miłkowski R.). *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 45538, nr kat. 4631/376].
- WARREN J.K., 2006 – Evaporites: sediments, resources and hydrocarbons. Springer, Berlin–Heidelberg.
- WARREN J.K., 2016 – Evaporites. A geological compendium. Second edition. Springer, Switzerland.
- WATKINSON M., BEAL T., TUCKER C., ENFIELD M.A., 2017 – New potential in a mature petroleum province: The Carpathians. [W:] AAPG/SEG International Conference and Exhibition, London, England, October 15–18, 2017. AAPG Datapages/Search and Discovery Article, #90310.
- WATSON G.P., RENCZ A.N., BONHAM-CARTER G.F., 1989 – Computer assist prospecting. *GEOS*, 18 (1): 8–15.
- WELLINGTON T.A.A., MASONTE.E., 2014 – The effects of population growth and advancements in technology on global mineral supply. *Res. Policy*, 42: 3–82.
- WENG Z.H., JOWITT S.M., MUDD G.M., HAQUE N., 2013 – Assessing rare earth element mineral deposit types and links to environmental impacts. *App. Earth Sci.*, 122 (2): 83–96.
- WESOŁOWSKI W. (red.), 1971 – Prognozowanie potrzeb surowcowych. Polska 2000. Zakł. Nar. im. Ossolińskich, Wyd. PAN, Wrocław.
- WIELGOMAS L. (red.), 1988 – Dokumentacja geologiczno-surowcowa wyników poszukiwań złóż rud cynku i ołowiu w rejonie Winowno-Będus. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 38449, nr kat. 4628/379].
- WIELGOMAS L., CIEMNIEWSKA M., KERBER B., PRZENIOSŁO S., ZIĘTEK-KRUSZEWSKA A., 1972 – Określenie perspektyw występowania mineralizacji polimetalicznej w rej. Zawiercia. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr kat. 4729/815].
- WIENIEWSKI A., KUBACZ N., KOWALSKA M., 1998 – Wyniki wstępnych badań wzbogacania pozabilansowej rudy miedzi o podwyższonej zawartości złota. *Pol. Tow. Miner., Pr. Spec.*, 12: 11–28.
- WIERCHOWIEC J., 2002 – Morphology and chemistry of placer gold grains – indicators of the origin of placers: an example from the East Sudetic Foreland, Poland. *Acta Geol. Pol.*, 52 (4): 563–576.
- WIERCHOWIEC J., 2006 – Preglacial to Holocene auriferous sediments from the East Sudetic Foreland, Poland: gold grade and exploration. *Geol. Quart.*, 50 (2): 289–302.
- WIERCHOWIEC J., 2007 – Placer gold and other economic minerals from the remnants of palaeofan deposits in the foreland of the East Sudetes, Poland. *Acta Geol. Pol.*, 57 (4): 523–537.
- WIERCHOWIEC J., 2010 – Gold in technogenous placers of Lower Silesia, Poland. *Wyd. UW*, Warszawa.
- WIERCHOWIEC J., 2011 – Perspektywy i prognozy występowania kopalin [W:] Objasnienia do Mapy Geośrodowiskowej Polski 1:50 000, ark. Chelm (789): 15–19. PIG-PIB, Warszawa.

- WIERCHOWIEC J., WOJCIECHOWSKI A., 2009 – Auriferous wastes from the abandoned arsenic and gold mine in Złoty Stok (Sudetes Mts., SW Poland). *Geol. Quart.*, 53 (2): 233–240.
- WIERCHOWIEC J., MIKULSKI S.Z., GASIŃSKI A., 2018 – Nanoforms of gold from abandoned placer deposits of Wądroże Wielkie, Lower Silesia, Poland – the evidence of authigenic gold mineralization. *Ore Geol. Rev.*, 101: 211–220.
- WIESER T., 1994 – Zeolity – kopaliny XXI wieku. *Prz. Geol.*, 42 (6): 477–482.
- WIĘCŁAW D., 2016 – Habitat and hydrocarbon potential of the Kimmeridgian strata in the central part of the Polish Lowlands. *Geol. Quart.*, 60 (1): 192–210.
- WIĘCŁAW D., KOTARBA M.J., KOSAKOWSKI P., KOWALSKI A., GROTEK I., 2010a – Habitat and hydrocarbon potential of the lower Paleozoic source rocks in the Polish part of the Baltic region. *Geol. Quart.*, 54 (2): 159–182.
- WIĘCŁAW D., KOTARBA M.J., KOWALSKI A., 2010b – Origin of oils accumulated in the Middle Cambrian reservoirs of the Polish part of the Baltic region. *Geol. Quart.*, 54 (2): 205–216.
- WIĘCŁAW D., KOSAKOWSKI P., KOTARBA M. J., KOLTUN Y.V., KOWALSKI A., 2012 – Assessment of hydrocarbon potential of the Lower Palaeozoic strata in the Tamogród-Stryi area (SE Poland and western Ukraine). *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 82 (1): 65–80.
- WILSON I., KEELING L.J., 2016 – Global occurrence, geology and characteristics of tubular halloysite deposits. *Clay Minerals*, 51: 309–324.
- WIRTH H., GOLCZAK I., 1987 – Dodatek nr 3 do dokumentacji geologicznej złoża rud niklu „Szklary” obszar Wzgórze Siodłowe w kat. B+C₁. Arch. PG, Wrocław.
- WIRTH H., BANASZAK A., RYDZEWSKI A., OSZCZEPALSKI S., 2007 – Obszary rezerwowe i perspektywiczne dla złóż miedzi. [W:] Monografia KGHM Polska Miedź SA, wydanie II (red. Piestrzyński A. i in.): 263–269. Allexim, Wrocław.
- WISZNIEWSKA J., 1984 – Geneza okruszczenia łupków izerskich pasma kamienieckiego. *Arch. Miner.*, 40 (1): 115–187.
- WISZNIEWSKA J., 2002 – Wiek i geneza rud Fe-Ti-V i skał towarzyszących w suwalskim masywie anortozytowym. (północno-wschodnia Polska). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 401.
- WISZNIEWSKA J., KRZEMIŃSKA E., ROSOWIECKA O., PETECKI Z., RUSZKOWSKI M., SALWA S., 2018 – Nowe rezultaty badań mineralizacji polimetalicznej, PGE I REE w suwalskim masywie anortozytowym (NE Polska). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 472: 271–284.
- WITKOWSKI A., 1990 – Poszukiwania naftowe w akwenie południowego Bałtyku a ochrona środowiska naturalnego. *Prz. Geol.*, 38 (5/6): 239–243.
- WNUK R., WALCZAK K., 2007 – Analiza porównawcza pól galmanowych [niepublikowane]. ZGH Bolesław S.A.
- WNUK R., RETMAN W., WALCZAK K., PIĄTEK G., ADAMCZYK Z., KUBAŃSKI W., 2007 – Prognoza przyrostu zasobów niektórych złóż rud siarczkowych rejonu olkuskiego (z uwzględnieniem stanu zasobów rud tlenkowych) w aspekcie ich potencjalnego zagospodarowania. Materiały z Konferencji „Górnictwo cynku i ołowiu na początku XXI wieku”: 2–20. ZGH Bolesław S.A., Olkusz.
- WODZICKI A., PIESTRZYŃSKI A., 1994 – An ore genetic model for the Lubin-Sieroszowice mining district, Poland. *Mineral. Deposita*, 29 (1): 30–43.
- WOJCIECHOWSKI A., 1989 – Dokumentacja geologiczna zasobów złota oraz projekt techniczny jego pozyskiwania z kruszywa naturalnego złoża „Rakowice” na Dolnym Śląsku (opracowanie modelowe). Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 512/91].
- WOJCIECHOWSKI A., 1992a – Uboczne pozyskiwanie złota okrucowego ze złoża kruszywa naturalnego „Rakowice”. *Pos. Nauk. Państw. Inst. Geol.*, 49 (1): 21–22.
- WOJCIECHOWSKI A., 1992b – Okrucowe złoża złota Suszki-Włodzice (woj. jeleniogórskie). *Pos. Nauk. Państw. Inst. Geol.*, 49 (1): 23.
- WOJCIECHOWSKI A., 1992c – Wykorzystanie minerałów ciężkich z odpadów kopaliń kruszywa naturalnego. Metody grawitacyjnego odzyskiwania minerałów ciężkich z kruszywa naturalnych. *Pos. Nauk. Państw. Inst. Geol.*, 49 (1): 18–19.
- WOJCIECHOWSKI A., 1993 – Zasoby perspektywiczne złota w Polsce. [W:] Zasoby perspektywiczne kopalin Polski wg stanu na 31 XII 1990 r. (red. Bąk B., Przeniosło S.): 126–130. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- WOJCIECHOWSKI A., 1994 – Rozpoznanie i dokumentowanie zasobów złota w osadnikach szlamów arsenowych i odpadów poeksploatacyjnych kopaliń kruszywa naturalnego. *Górn. Odkryw.*, 36 (6): 99–111.
- WOJCIECHOWSKI A., 2001 – Poziom złotonośny z pogranicza czerwonego spągowca i cechsztynu niecki północnosudeckiej w rejonie Nowego Kościoła. *Prz. Geol.*, 49 (1): 51–62.
- WOJCIECHOWSKI A., 2002 – Hałdy dawnego górnictwa świętokrzyskiego jako źródło metali kolorowych i szlachetnych. *Prz. Geol.*, 50 (3): 240–244.
- WOLAŃSKI K., CHRUŚCIŃSKI S., WOLAŃSKA A., CHMIELOWIEC-STAWSKA A., 2018 – Pułapki śródformacyjne w utworach czerwonego spągowca na przykładzie Czarnej Wsi. [W:] Rozwój technik poszukiwania i eksploatacji złóż węglowodorów. Geopetrol 2018. Zakopane–Kościelisko, 17–20.09.2018 r. Materiały konferencyjne: 181–185. Instytut Nafty i Gazu – PIB, Kraków.
- WOLKOWICZ K., 2011a – Skała diatomitowa. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wolkowicz S. i in.): 232–234. PIG-PIB, Warszawa.
- WOLKOWICZ K., 2011b – Ziemia krzemionkowa. [W:] Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. Wolkowicz S. i in.): 235–237. PIG-PIB, Warszawa.
- WOLKOWICZ K., KAFARA D., 2018 – Perspektywy pozyskania surowca diatomitowego w Polsce. [W:] V Konferencja „Złoża kopalin – aktualne problemy prac poszukiwawczych, badawczych i dokumentacyjnych”. 20-23.11.2018 r., Ryto koło Nowego Sącza. Zeszyt streszczeń: 78–80. Wyd. IGSMiE, Kraków.
- WOLKOWICZ K., JACKOWICZ E., RZYMELKA J., 2017 – On lithophysae and amygdaloidal agates from the Sudety Mts. *Mineralogia Spec. Pap.*, 46: 57–58.
- WOLKOWICZ S., 1990 – Uranium enrichment in the Permian organic-rich Walchia shale, Intra-Sudetic Depression, southwestern Poland. *Spec. Pub. Int. Ass. Sediment.*, 11: 217–224.
- WOLKOWICZ S. (red.), 1992a – Sprawozdanie z tematu: Badania geologiczno-poszukiwawcze złóż rud Zn-Pb w północnej części regionu śląsko-krakowskiego. Obszar Boronów-Niegowa. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 239/93].
- WOLKOWICZ S., 1992b – Geneza mineralizacji uranowej w dolnopernskich łupkach walchiowych (depresja śródsudecka) na tle wykształcenia litofajalnego. *Prz. Geol.*, 40 (4): 212–216.
- WOLKOWICZ S. i zespół, 1992 – Badania geologiczno-poszukiwawcze złóż rud Zn-Pb w północnej części regionu śląsko-krakowskiego, obszar Boronów – Niegowa. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 239/93].

- WOLKOWICZ S., SMAKOWSKI T., SPECZIK S. (red.), 2011 – Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. PIG-PIB, Warszawa.
- WOLKOWICZ S., PAULO A., KRZAK M., 2015 – Potencjał złożowy pierwiastków ziem rzadkich w Polsce I na świecie. [W:] IV Ogólnopolska Konferencja Naukowa Złoża kopalin – aktualne problemy prac poszukiwawczych, badawczych i dokumentacyjnych. 15–17.04.2015, Warszawa. Abstrakty: 72–74. PIG-PIB, Warszawa.
- WOLKOWICZ S., MIECZNIK J.B., BOBINSKI W., 2016a – Haldy po poszukiwaniu i eksploatacji uranu w Sudetach. [W:] Wyzwania Polskiej Geologii. 3. Polski Kongres Geologiczny. Tom kongresowy (red. Wojewoda J.): 445–446. Polskie Towarzystwo Geologiczne, Wrocław.
- WOLKOWICZ S., PAULO A., KRZAK M., 2016b – The role of geochemical and mineralogical studies in the research of rare earth elements deposits: Polish and world experiences. *Mineralogia, Spec. Pap.*, 46: 61–63.
- WOLKOWICZ S., GABRYŚ-GODLEWSKA A., KOSTRZ-SIKORA P., 2018a – Problematyka surowców pospolitych w projekcie polityki surowcowej państwa. [W:] Kruszywa mineralne (red. Glapa W.). Tom 2: 213–222. Wyd. Geoinż., Górn. i Geol. Pol. Wrocław, Wrocław.
- WOLKOWICZ S., KOZŁOWSKA O., ANDRZEJEWSKA-KUBRAK K., BRZEZIŃSKI D., 2018b – Ochrona złóż kopalin – koncepcja waloryzacji i selekcji złóż o znaczeniu publicznym. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 472: 171–184.
- Wood Mackenzie, 2009 – Unconventional gas service. Analysis Poland/Silurian Shales. B.w., b.m.
- WOŹNY E., 1966 – Eocen z Siemienia koło Parczewa. *Kwart. Geol.*, 10 (3): 843–850.
- WÓJCICKI A., KIERSNOWSKI H., DYRKA I., ADAMCZAK-BIAŁY T., BECKER A., GLUSZYŃSKI A., JANAS M., KOZŁOWSKA A., KRZEMIŃSKI L., KUBERSKA M., PACZEŚNA J., PODHALAŃSKA T., ROMAN M., SKOWROŃSKI L., WAKSMUNDZKA M.I., 2014 – Progностyczne zasoby gazu ziemnego w wybranych zwężłych skałach zbiornikowych Polski. [W:] Wójcicki A. i zespół, 2017 – Szacowanie zasobów złóż węglowodorów – zadanie ciągłe PSG. I etap. Opracowanie końcowe. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 9046/2019].
- WÓJCICKI A., DYRKA I., KIERSNOWSKI H., ADAMCZAK-BIAŁY T., BECKER A., GLUSZYŃSKI A., JANAS M., KARCZ P., KOZŁOWSKA A., KUBERSKA M., PACZEŚNA J., PODHALAŃSKA T., ROMAN M., SKOWROŃSKI L., WAKSMUNDZKA M.I., 2015 – Progностyczne zasoby gazu ziemnego i ropy naftowej w skałach łupkowych dolnego paleozoiku w basenie bałtycko-podlasko-lubelskim w Polsce [W:] Wójcicki A. i zespół, 2017 – Szacowanie zasobów złóż węglowodorów – zadanie ciągłe PSG. I etap. Opracowanie końcowe. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 9046/2019].
- WÓJCICKI A., DYRKA I., KIERSNOWSKI H., ADAMCZAK-BIAŁY T., BECKER A., GLUSZYŃSKI A., JANAS M., KARCZ P., KOZŁOWSKA A., KUBERSKA M., PACZEŚNA J., PODHALAŃSKA T., ROMAN M., SKOWROŃSKI L., WAKSMUNDZKA M.I., 2016 – Progностyczne zasoby gazu ziemnego i ropy naftowej w skałach łupkowych niższego paleozoiku w basenie bałtycko-podlasko-lubelskim w Polsce. [W:] Wójcicki A. i zespół, 2017 – Szacowanie zasobów złóż węglowodorów – zadanie ciągłe PSG. I etap. Opracowanie końcowe. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 9046/2019].
- WÓJCICKI A., DYRKA I., KIERSNOWSKI H., ADAMCZAK-BIAŁY T., BECKER A., GLUSZYŃSKI A., JANAS M., KARCZ P., KOZŁOWSKA A., KUBERSKA M., PACZEŚNA J., PODHALAŃSKA T., ROMAN M., SKOWROŃSKI L., WAKSMUNDZKA M.I., 2017 (redakcja 2018) – Progностyczne zasoby gazu ziemnego i ropy naftowej w skałach łupkowych dolnego paleozoiku w basenie bałtycko-podlasko-lubelskim w Polsce. [W:] Wójcicki A. i zespół, 2017 – Szacowanie zasobów złóż węglowodorów – zadanie ciągłe PSG. I etap. Opracowanie końcowe. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 9046/2019].
- WÓJCICKI A. i zespół, 2017 – Szacowanie zasobów złóż węglowodorów – zadanie ciągłe PSG. I etap. Opracowanie końcowe. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 9046/2019].
- WÓJCICKI A. i zespół, 2019 – Ocena perspektywiczności geologicznej zasobów złóż węglowodorów oraz przygotowanie materiałów na potrzeby przeprowadzenia postępowania przetargowego w celu udzielenia koncesji na poszukiwanie i rozpoznawanie lub wydobywanie złóż węglowodorów – etap III. Ocena perspektywiczności geologicznej przestrzeni obszaru Polski o potencjale węglowodorowym. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa [nr inw. 9766/2019].
- WRÓBEL I., 1987 – Hydrologia złóż kredy i gytii jeziornych oraz kierunki zagospodarowania poeksploatacyjnych zbiorników wodnych. [W:] Perspektywy zagospodarowania złóż kredy i gytii jeziornych oraz kopalin towarzyszących w Polsce. Materiały II Konferencji Naukowo-Technicznej. PTPNoZ, Oddz. Ziemi Lubuskiej. Gorzów Wielkopolski, Zielona Góra.
- WRÓBEL M., KOSAKOWSKI P., KRZYWIEC P., 2012 – Petroleum processes in the Palaeozoic and Mesozoic strata between Tarnów and Rzeszów (SE Poland): 2-D modelling approach. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 82 (1): 81–97.
- WRÓBEL M., KOSAKOWSKI P., WIĘCŁAW D., 2016 – Petroleum processes in the Palaeozoic-Mesozoic strata of the Grobla-Limanowa area (basement of the Polish Carpathians). *Geol., Geophys. Environ.*, 42 (2): 185–206.
- WRÓBLEWSKI T., 1962 – Rys historyczny górnictwa kruszcowego w Górach Świętokrzyskich. *Prz. Geol.*, 10 (8): 414–417.
- Wstępne, typowe kryteria bilansowości złóż surowców ilastych do produkcji glinoporytu (1970). Min. Bud. i Przem. Mat. Bud., Warszawa.
- Wstępne, typowe kryteria bilansowości złóż surowców ilastych do produkcji keramzytu (1970). Min. Bud. i Przem. Mat. Bud., Warszawa.
- WYRWICKA K., 1981 – Katalog węglanowych złóż surowców wiążących w Polsce. [W:] Katalog węglanowych złóż surowców wiążących w Polsce (red. Kozłowski S.): 13–21. Wyd. Geol., Warszawa.
- WYRWICKA K., 1990 – Calcareous raw materials. [W:] Geology of Poland. Vol. VI. Mineral deposits (red. Osika R.): 264–277. Wyd. Geol., Warszawa.
- WYRWICKA K., KOZŁOWSKI S., 1988 – Zasady wydzielania jednostek surowcowych. *Prz. Geol.*, 36 (3): 135–140.
- WYRWICKA K., WYRWICKI R., 1994 – Waloryzacja złóż kopalin ilastych w Polsce. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- WYRWICKI R., 1988 – Litologia i właściwości ceramiczne zasiarczonych skał ilastych neokomu z Olszewic (niecka tomaszowska). *Kwart. Geol.*, 32 (2): 405–422.
- WYRWICKI R., 1996 – Określanie bilansowości otworów w dokumentowaniu złóż kredy jeziornej. *Górn. Odkryw.*, 38 (3): 144–151.
- WYRWICKI R., 1998 – Określanie składu mineralnego gytii wapiennej i kredy jeziornej na potrzeby dokumentowania. Część II. [W:] Materiały VI Seminarium „Metodyka rozpoznawania i dokumentowania złóż kopalin oraz geologicznej obsługi kopalń” (red. Nieć M.): 181–193. Wyd. Centrum PPGSMiE PAN, Kraków.
- WYRWICKI R., 2000 – Określanie składu mineralnego gytii wapiennej i kredy jeziornej na potrzeby dokumentowania. Cz. III. Gips, piryty czy zdysocjowany w wodzie siarczan wapnia? *Górn. Odkryw.*, 42 (2/3): 184–197.
- WYRWICKI R., 2001 – Holocenne osady wapienne; właściwości i chemizm żelu, skład części płynnej i suchej. *Prz. Geol.*, 49 (6): 525–532.
- WYRWICKI R., 2002 – Holocenna kreda jeziorna źródłem nawozowej siarki. *Górn. Odkryw.*, 44 (2/3): 126–128.

- WYSOCKA I., POROWSKI A., ROGOWSKA A., KACZOR-KURZAWA D., 2018 – Pierwiastki ziem rzadkich (REE) w wodach powierzchniowych i podziemnych Polski na tle innych krajów Europy. *Prz. Geol.*, 66 (11): 692–705.
- WYSZOMIRSKI P., 2018 – Rozwady *redivivus*. *Zesz. Nauk. IGSMiE PAN*, 106: 239–255.
- WYSZOMIRSKI P., GALOS K., 2007a – Surowce ilaste krajowego przemysłu ceramiki szlachetnej i technicznej. Część III. Czerwone iły triasowe. *Mat. Ceram.*, 59 (3): 102–110.
- WYSZOMIRSKI P., GALOS K., 2007b – Surowce mineralne i chemiczne przemysłu ceramicznego. Wyd. AGH, Kraków.
- WYZYKOWSKI J., 1958 – Poszukiwania rud miedzi na obszarze strefy przedsudeckiej. *Prz. Geol.*, 6 (1): 17–22.
- WYZYKOWSKI J., 1971a – Dotychczasowe wyniki geologicznych prac badawczych a dalsze perspektywy stwierdzenia nowych złóż rud miedzi w Polsce. *Cuprum*, 12: 20–29.
- WYZYKOWSKI J., 1971b – Wyniki poszukiwań cechsztyńskich rud miedzi w rejonie Głogów-Ścinawa. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Oddz. Dolnośląski, Wrocław [nr inw. 2380, nr kat. 4222/11].
- YANG S., SCHULZ H.-M., SCHOVISO N.H., BOJESEN-KOEFOED J., 2017 – Oil-source rock correlation of the Lower Palaeozoic petroleum system in the Baltic Basin northern Europe. *AAPG Bull.*, 101 (12): 1971–1993.
- ZAŁEWSKA Z., 1971 – Bursztyn bałtycki i jego złoża. *Wszelchświat*, 10: 261–265.
- ZAŁEWSKA Z., 1974 – Geneza i stratygrafia złóż bursztynu bałtyckiego. *Biul. Inst. Geol.*, 281: 139–173.
- ZAMĘCKI Ł., 2008 – Reorganizacja Państwowego Instytutu Geologicznego w latach poprzedzających II wojnę światową – w obliczu konieczności zmiany polityki surowcowej państwa. *Prz. Geol.*, 56 (3): 209–211.
- ZAMĘCKI Ł., 2010 – Polityka surowcowa II Rzeczypospolitej w latach 1935–1939. Wyd. UW, Warszawa.
- ZAMOJCIN J., 2012 – Analiza możliwości wykorzystania solanek jodkowo-bromkowych towarzyszących złożom ropnogazowym. *Nafta-Gaz*, 12: 976–981.
- ZAMOJCIN J., 2014 – Możliwość wykorzystania istniejących odwiertów do produkcji jodu z solanek jodkowo-bromkowych. *Nafta-Gaz*, 5: 283–292.
- Zasady dokumentowania złóż kopalin stałych (2002). Ministerstwo Środowiska, Komisja Zasobów Kopalin, Warszawa.
- ZAWISZA L., 2009 – Geologia naftowa. Wyd. AGH, Kraków.
- ZDANOWSKI A. (red.), 1999 – Atlas geologiczny Lubelskiego Zagłębia Węglowego 1:500 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- ZDANOWSKI A., 2011 – Zasoby węgla kamiennego w Lubelskim Zagłębiu Węglowym. *Prz. Gór.*, 7–8: 153–159.
- ZDULSKI M., 2000 – Źródła do dziejów kopalnictwa uranowego w Polsce. Wyd. DiG, Warszawa.
- ZIELIŃSKI K., SPECZIK S., 2017 – Głębokie złoża miedzi i srebra szansą dla górnictwa metali w Polsce. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 468: 153–164.
- ZIELIŃSKI K., WIERCHOWIEC J., 2018 – Miedzioność ekwiwalentna mineralizacji polimetalicznej Cu, Ag, Zn, Pb na monoklinie przedsudeckiej na przykładzie obszaru perspektywicznego Sulmierzyce-Odolanów. *Zesz. Nauk. IGSMiE PAN*, 106: 257–274.
- ZIELIŃSKI K., SPECZIK S., MAŁECKA K., 2017 – Strategia, instrumenty i rezultaty poszukiwań głębokich złóż rud miedzi i srebra na monoklinie przedsudeckiej. *Zesz. Nauk. IGSMiE PAN*, 100: 313–328.
- ZIENTEK M.L., OSZCZEPALSKI S., PARKS H.L., BLISS J.D., BORG G., BOX S.E., DENNING P.D., HAYES T.S., SPIETH V., TAYLOR C.D., 2015 – Assessment of undiscovered copper resources associated with the Permian Kupferschiefer, Southern Permian Basin, Europe. USGS Scientific Investigations Report, 2010–5090–U.
- ZIMNOCH E., 1978 – Mineralizacja kruszcowa złoża Miedzianka w Sudetach. *Biul. Inst. Geol.*, 308: 91–134.
- ZINOVYENKO G.W., GARECKIJ R.G., 2009 – Podlassko-Brestskaja wpadina, strojenie, istoria rozwitia o poleznye iskopajemyje. Nacjonalna Akademia Nauk Białorusi, Mińsk.
- ZNOSKO J., PAJCHŁOWA J. (red.), 1998 – Atlas tektoniczny Polski. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- ŻEŁAŹNIEWICZ A., ALEKSANDROWSKI P., BUŁA Z., KARNKOWSKI P.H., KONON A., OSZCZYPKO N., ŚLĄCZKA A., ŻABA J., ŻYTKO K., 2001 – Regionalizacja tektoniczna Polski. Komitet Nauk Geol. PAN, Wrocław.
- ŻELICHOWSKI A.M., 1972 – Rozwój budowy geologicznej obszaru pomiędzy Górami Świętokrzyskimi i Bugiem. *Biul. Inst. Geol.*, 263: 7–97.
- ŻELICHOWSKI A.M., PORZYCKI J., 1983 – Mapa strukturalno-geologiczna bez utworów młodszych od karbonu. [W:] Atlas geologiczno-surowcowy obszaru lubelskiego (red. Żelichowski A.M., Kozłowski S.). Inst. Geol., Warszawa.
- ŻGIET J., 1963 – Spostrzeżenia nad sedymentacją wkładek diatomitów i tułów w Karpatach. *Kwart. Geol.*, 7 (4): 714–715.
- ŻURAWSKI E., 1998 – Rozpoznanie geologiczno-wiertnicze obszaru morskiego. [W:] Ocena perspektyw poszukiwawczych złóż ropy naftowej i gazu ziemnego w utworach kambry synekliży bałtyckiej na podstawie analizy basenów sedymentacyjnych starszego paleozoiku (ze szczególnym uwzględnieniem bloków tektonicznych C i D) (red. Modliński Z.). *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa [nr inw. 2903/98].
- ŻUREK-PYSZ U., 2000 – Wskaźniki mikrostrukturalne czwartorzędowych utworów węglanowych. [W:] Materiały IV Konferencji Geologia i Geomorfologia Półbrzeża i Południowego Bałtyku: 74–75. Pomorska Akademia Pedagogiczna, Słupsk.
- ŻUREK-PYSZ U., 2001 – Właściwości litologiczne, chemiczne i fizyczne wybranych rodzajów czwartorzędowych osadów węglanowych. [W:] Materiały konferencyjne 2. Międzynarodowej Konferencji Ochrona i Rekultywacja Terenów Dorzecza Odry: Zagospodarowanie Zlewni. *Zesz. Nauk. Inż. Środ.*, 11: 427–436.

Akty prawne

Decyzja Ministra Hutnictwa z dnia 2 maja 1978 r. – Kryteria bilansowości dla złóż rud cyny, występujących w Paśmie Kamienieckim w Sudetach.

Decret Prezydenta Rzeczypospolitej z dnia 31 marca 1938 r. o państwowej służbie geologicznej (Dz.U. 1938 nr 22 poz. 193).

Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 11 maja 2016 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o ustanowieniu programu wieloletniego „Program ochrony brzegów morskich” (Dz.U. 2016 poz. 678).

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 stycznia 2007 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie kryteriów bilansowości złóż kopalin (Dz.U. 2007 nr 7 poz. 57)

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji geologicznej złoża kopaliny (Dz.U. nr 291 poz. 1712 z późn. zm.).

- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 lipca 2015 r. (2015a) w sprawie dokumentacji geologicznej złoża kopaliny, z wyłączeniem złoża węglowodorów (Dz.U. 2015 poz. 987).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 lipca 2015 r. (2015b) w sprawie dokumentacji geologiczno-inwestycyjnej złoża węglowodorów (Dz.U. 2015 poz. 968).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 grudnia 2001 r. w sprawie kryteriów bilansowości złóż kopalin (Dz.U. 2001 nr 153 poz. 1774).
- Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Załącznik: Wymagania izolacyjności cieplnej i inne wymagania związane z oszczędnością energii (Dz.U. 2013 poz. 926).
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 kwietnia 2006 r. w sprawie zakresu badań niezbędnych do ustalenia właściwości leczniczych naturalnych surowców leczniczych i właściwości leczniczych klimatu, kryteriów ich oceny oraz wzoru świadectwa potwierdzającego te właściwości (Dz.U. 2006 nr 80 poz. 565).
- Uchwała nr 113 Rady Ministrów z dnia 25 lipca 2017 r. w sprawie ustanowienia programu wieloletniego „Program Rozpoznania Geologicznego Oceanów” – PRoGeO (M.P. 2017 poz. 774 ze zm.).
- Ustawa o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym. z dnia 27 marca 2003 r. (Dz.U. Nr 80 poz. 717).
- Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. 2017 poz. 2126 tekst jednolity).

Strony internetowe

- Aurelian Oil And Gas PLC, 2007 – Annual Report and Accounts 2007 – <http://www.sanleonenergy.com/investors/san-leon-aurelian-merger.aspx>
- Balamara Resources, 2013 – Balamara Resources reports promising drill results from Bogdan copper project in Poland [<https://www.mining-capital.com/companies/news/38729/balamara-resources-reports-promising-drill-results-from-bogdan-copper-project-in-poland-46291.html>].
- BP Statistical Review of World Energy, 2019 – <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>
- Centralna Baza Danych Geologicznych – <http://baza.pgi.gov.pl>
- CEP Ltd., 2019 – <https://www.cepetro.com/news.html>
- EIA, 2018 – <http://www.eia.gov>
- EIT Raw Materials, 2015 – <https://eitrawmaterials.eu/organisation>
- EUROSTAT, 2017 – <http://ec.europa.eu/eurostat>
- GUS, 2018 – Energia. Warszawa 2018 [<https://stat.gov.pl>]
- <https://bip.mos.gov.pl/koncesje-geologiczne/raporty-i-zestawienia-dotyczace-udzielonych-koncesji-w-tym-zestawienia-otworow-wiertniczych/raporty-i-zestawienia-rok-2018/raporty-i-zestawienia-grudzien-2018-r>
- http://geoportal.pgi.gov.pl/surowce/export_import
- <http://gov39.ru/region/natural.php>
- <http://lupki.mos.gov.pl>
- <http://santerra.pl/produkty>
- <http://www.amber.com.pl/wiadomosci/informacje/item/2321-litwa-szuka-dostepu-do-surowca>
- <http://www.baltyk3.pl/wp-content/uploads/2015/06/Dno-morskie-v2.pdf>
- <https://infolupki.pgi.gov.pl/pl>
- <https://inzynieria.com/paliwa/wiadomosci/55951,olbrzymi-potencjal-zloza-przemysl>
- <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/potash>
- <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/salt>
- <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/sulfur>
- <https://www.orlenupstream.pl/PL/DlaMediow/Aktualnosci/Strony/Sukces-poszukiwawczy-PKN-ORLEN-na-Podkarpaciu.aspx>
- ICSG, 2019 – <https://copperalliance.eu/benefits-of-copper/recycling>
- Kompania Górnicza Amarante, 2019 – Projekt Peryklina Żar [<https://kgamarante.pl/projekt-peryklina-zar>]
- Mapa Geośrodowiskowa Polski – <http://emgsp.pgi.gov.pl/emgsp>
- Orlen Upstream/FX Energy, 2017 – <http://www.orlenupstream.pl/PL/DlaMediow/Aktualnosci/Strony/PKN-ORLEN-kontynuuje-prace-w-wojew%C3%B3dztwie-kujawsko-pomorskim.aspx?year=2017&pageNumber=2>
- PGNIG, 2012 – <http://pgnig.pl/reports/annualreport2013/r-r-poszukiwanie-i-wydobycie.html>
- PGNIG, 2016 – <http://pgnig.pl/aktualnosci/-/news-list/id/pgnig-potwierdzilo-odkrycie-zloza-gazowego-w-zachodniopomorskiem/newsGroupId/10184?changeYear=2016¤tPage=13>
- Queensland production and reserves statistics, 2018 – <https://data.qld.gov.au/dataset/petroleum-gas-production-and-reserve-statistics>
- Surowce mineralne Polski – <http://surowce.pgi.gov.pl>
- System Gospodarki i Ochrony Bogactw Mineralnych MIDAS – <http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/midas>

Objaśnienia

udokumentowane złoża kopalin
wg stanu na dzień 31.12.2018 r.
System Gospodarki i Ochrony Bogactw
Mineralnych "MIDAS", PIG-PIB

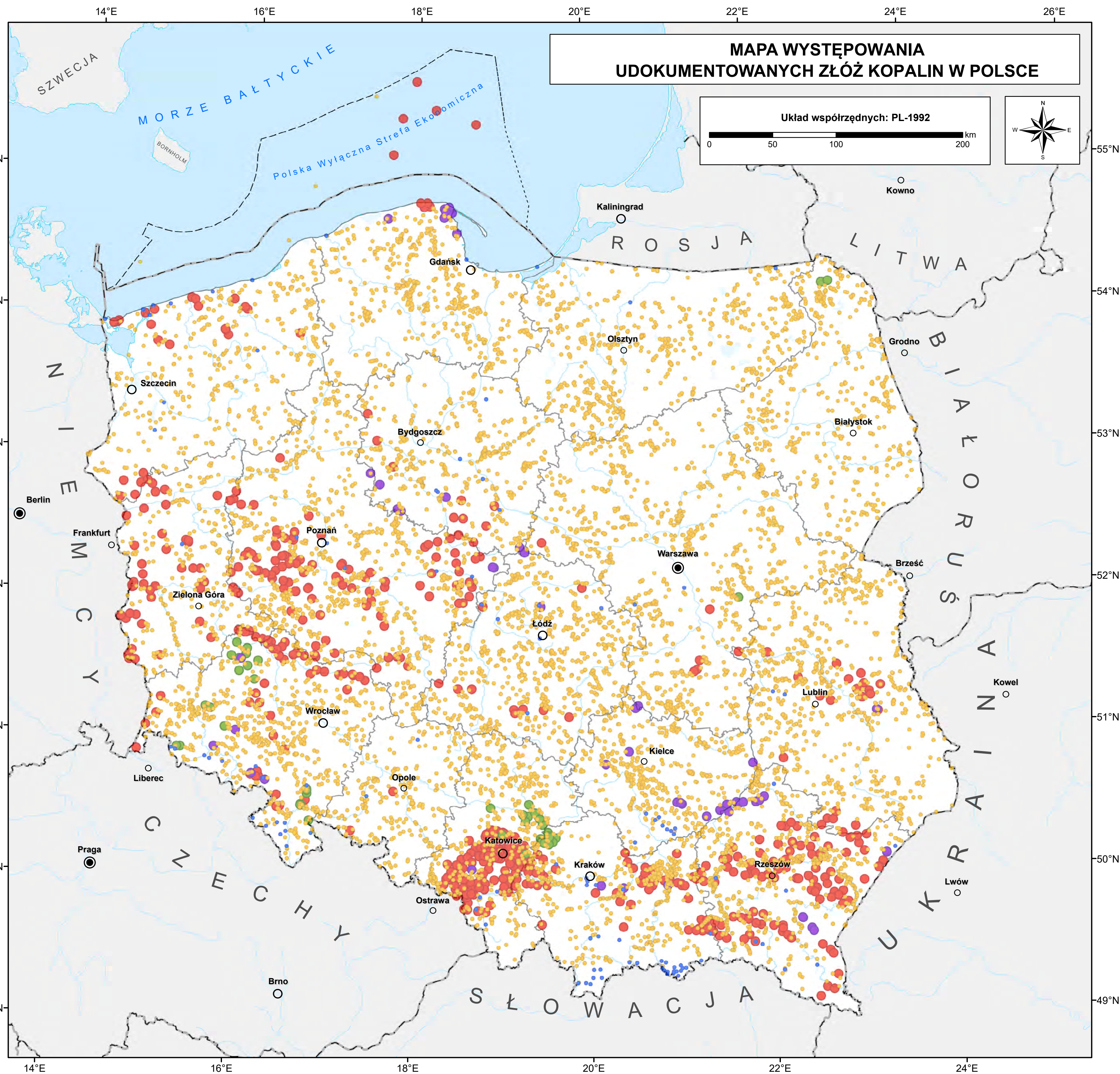
- złoża kopalin energetycznych
- złoża kopalin metalicznych
- złoża kopalin chemicznych
- wody uznane za kopalinę
- złoża kopalin skalnych

Szczegółowe informacje o zasobach
udokumentowanych złóż kopalin są dostępne
w corocznie publikowanym *Bilansie zasobów
złóż kopalin w Polsce*
<http://surowce.pgi.gov.pl>

jednostki podziałów terytorialnych kraju
wg stanu na dzień 06.03.2020 r.

Państwowy rejestr granic i powierzchni jednostek
podziałów terytorialnych kraju,
Główny Urząd Geodezji i Kartografii

- granice administracyjne państwa
- granica polskiej wyłącznej strefy ekonomicznej
- granice administracyjne województw

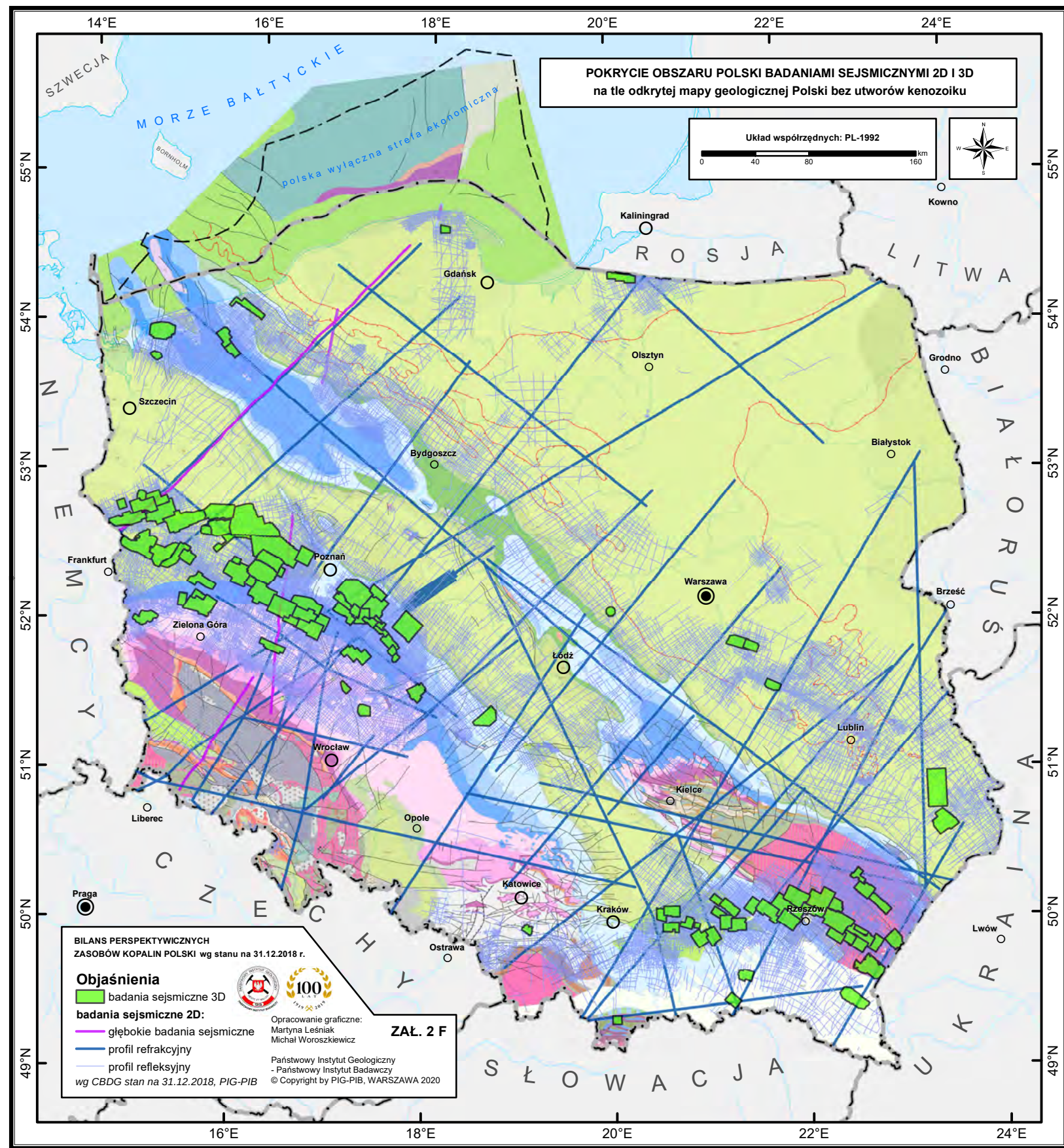
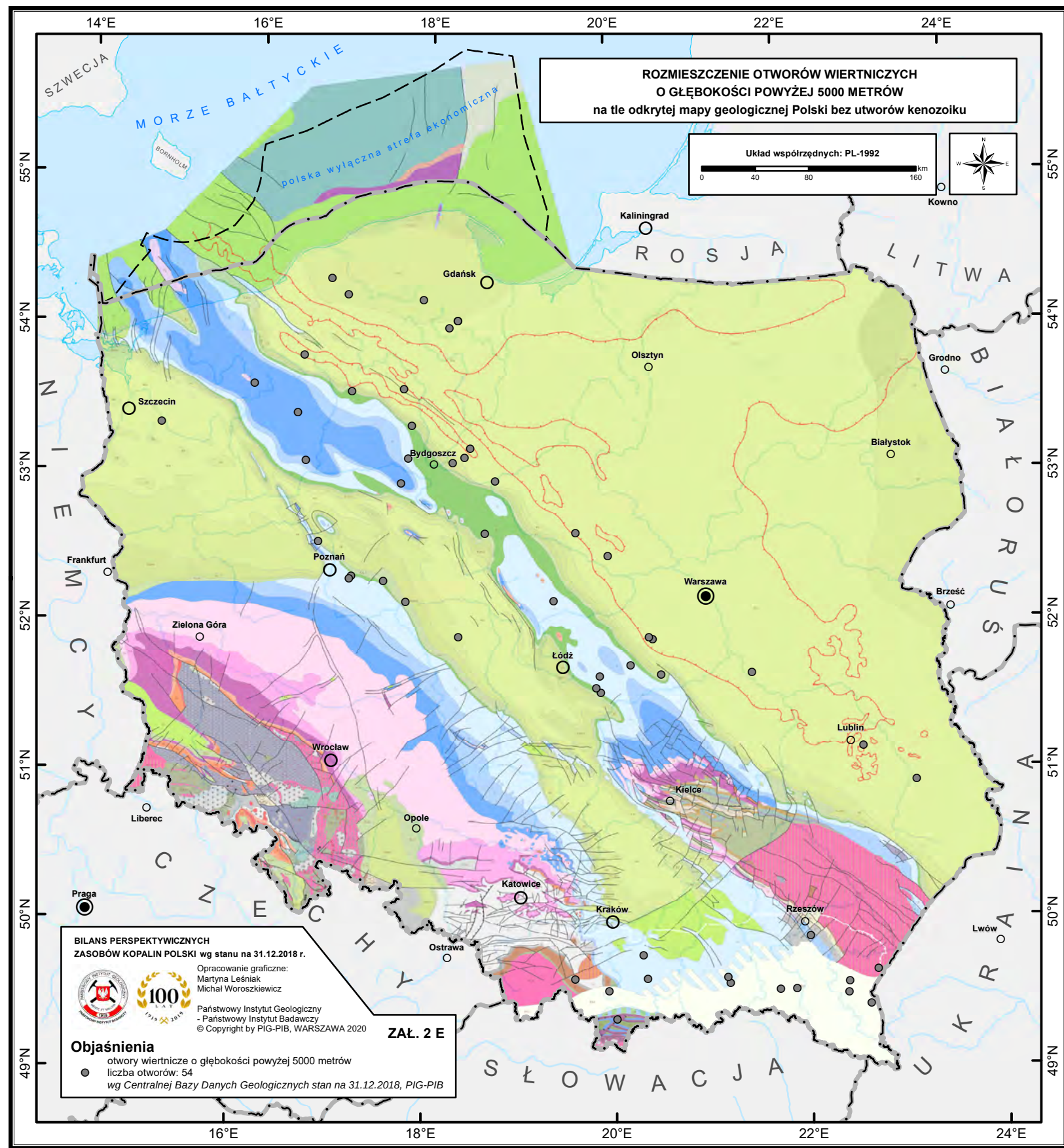
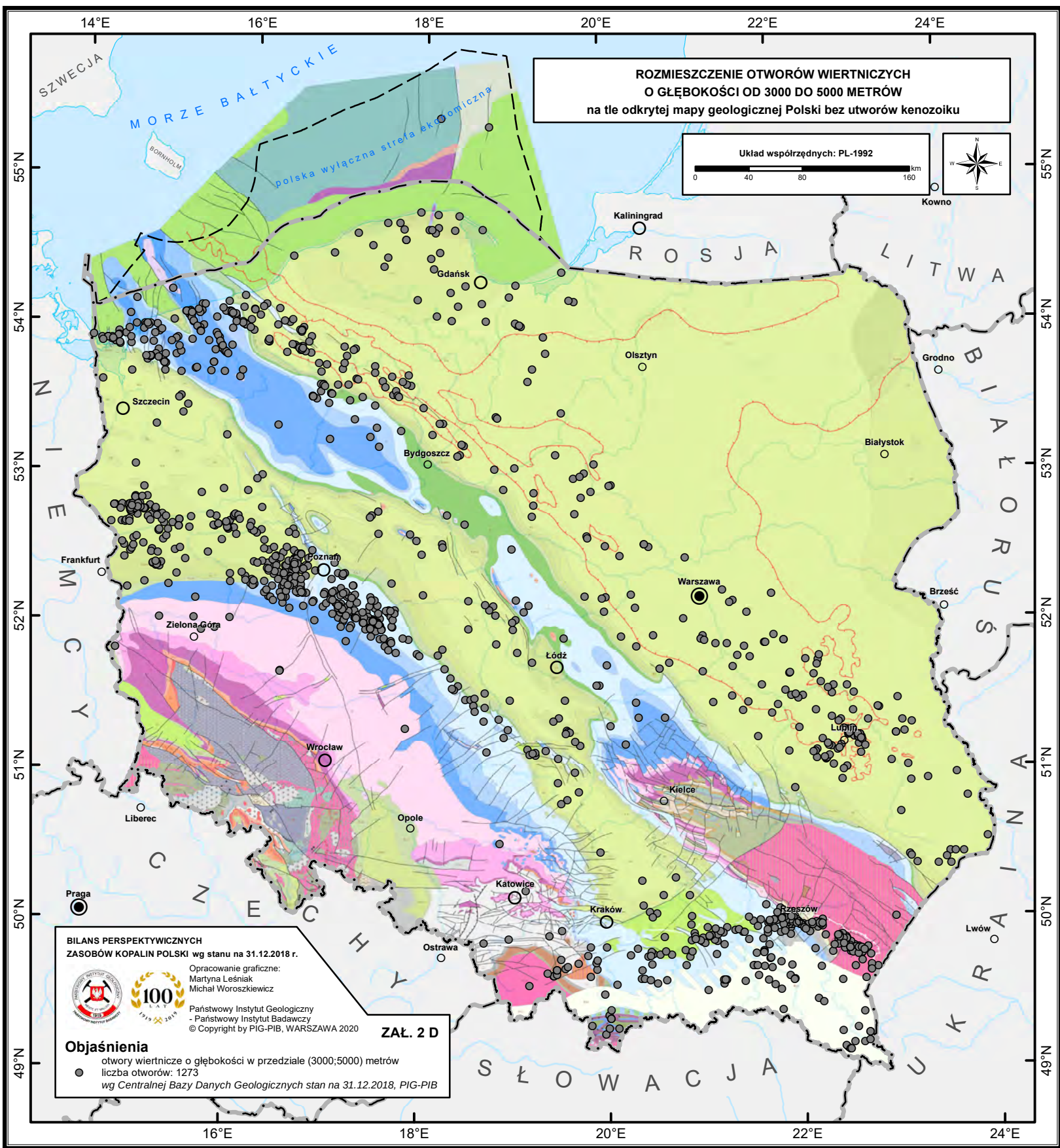
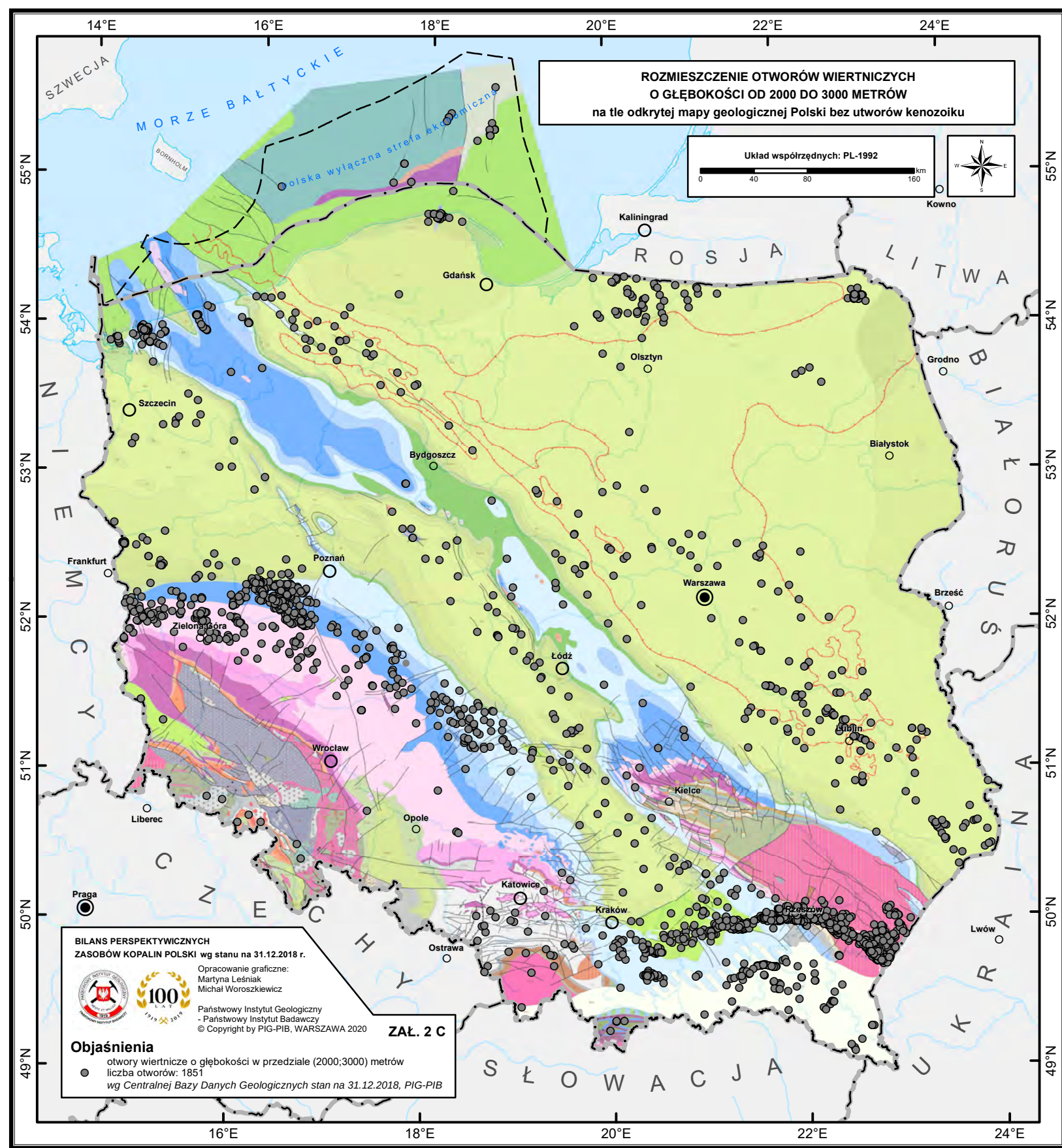
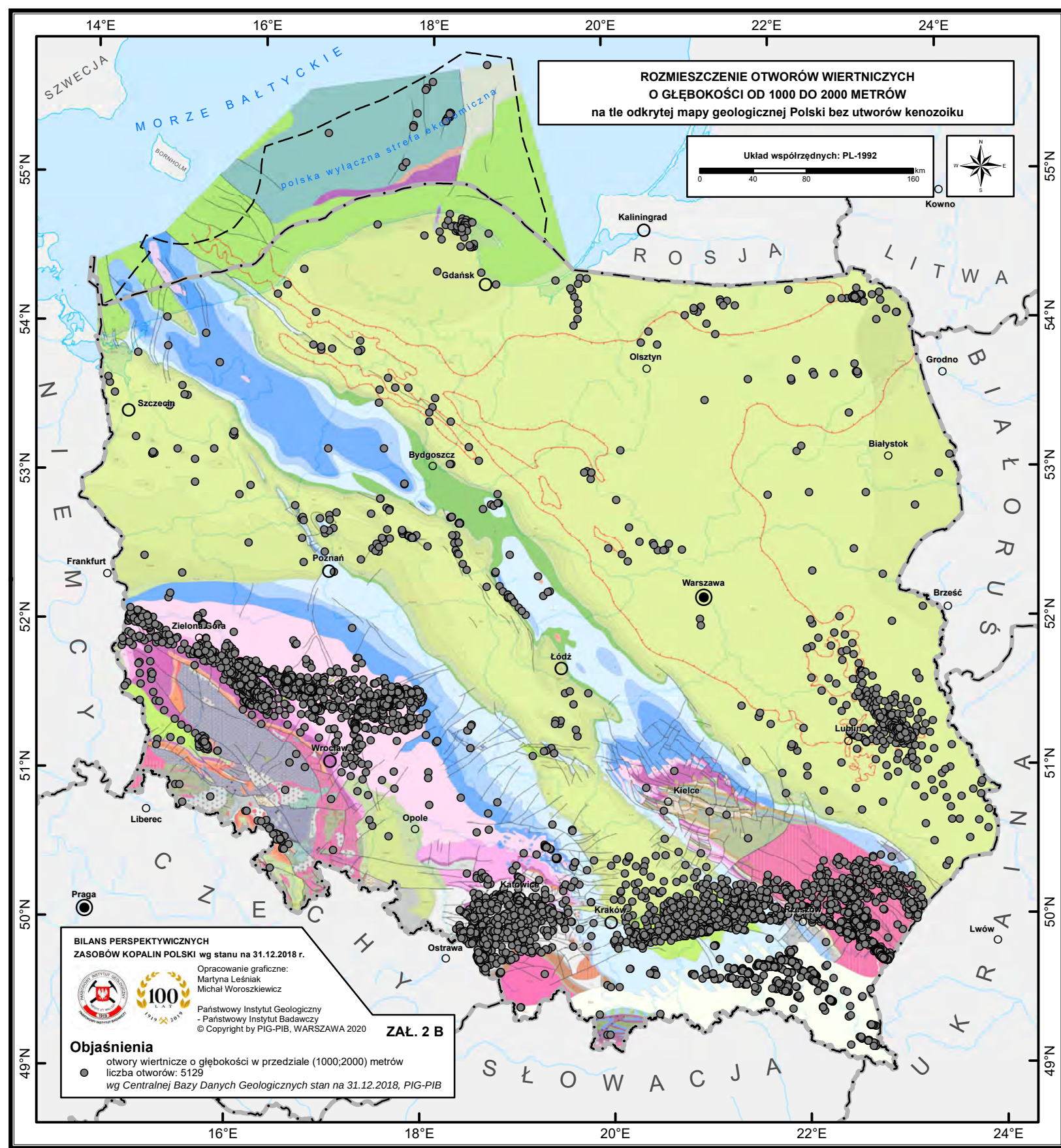
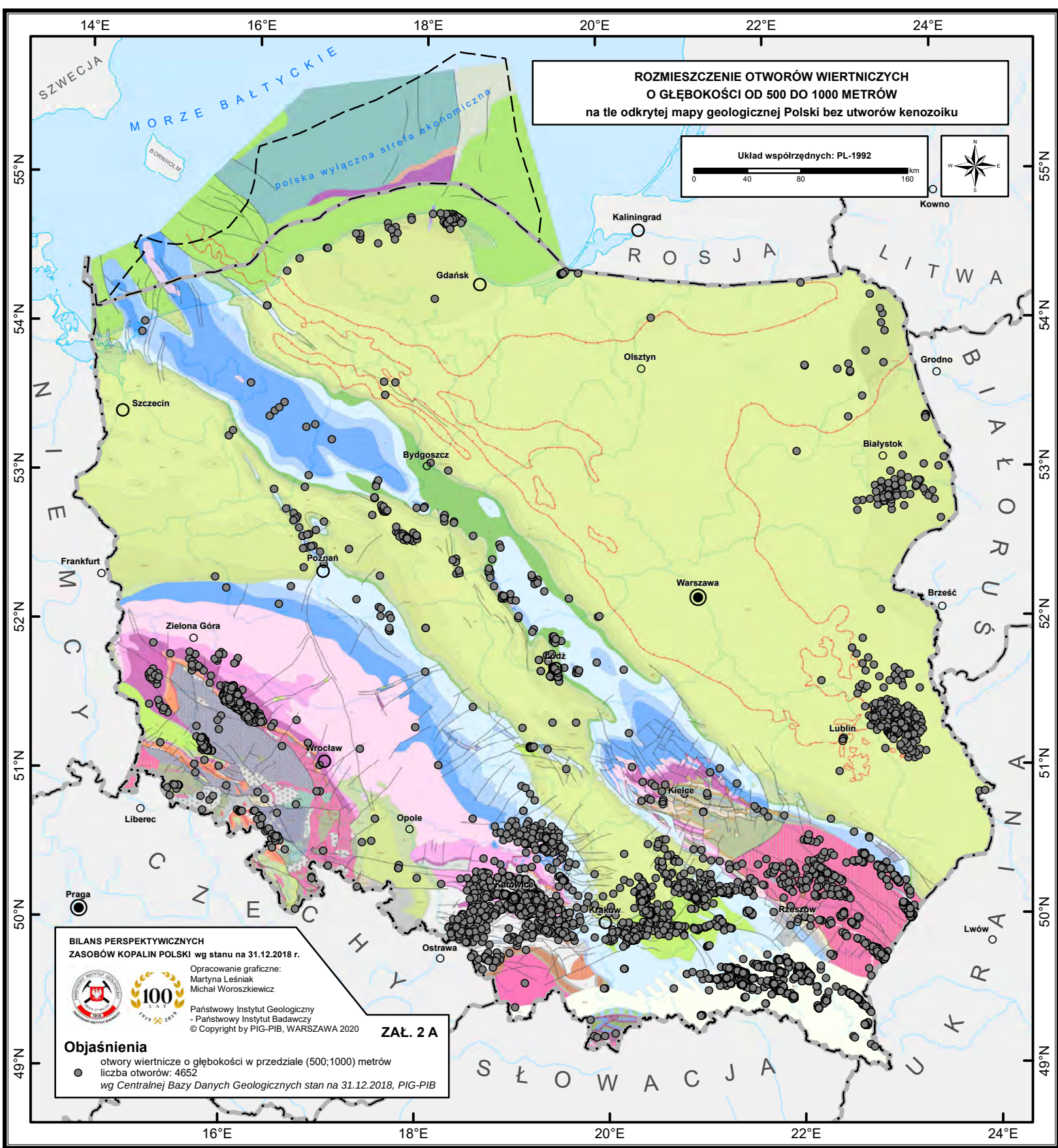


BILANS PERSPEKTYWICZNYCH ZASOBÓW KOPALIN POLSKI
wg stanu na 31.12.2018 r.



Opracowanie graficzne:
Martyna Leśniak
Michał Woroszkiewicz

Państwowy Instytut Geologiczny
- Państwowy Instytut Badawczy
© Copyright by PIG-PIB, WARSZAWA 2020



Objaśnienia

obszary perspektywiczne
wg stanu na dzień 31.12.2018 r.

węglowodory (prowincje naftowe)
wg Wójcika i zespołu, 2019, z modyfikacjami

- prowincja zachodniopolska (w tym podprowincja: zachodniopomorska i wielkopolsko-śląska)
- prowincja północnopolska (w tym: podprowincja bałtycka)
- prowincja południowopolska (w tym podprowincja: górnośląska, podkarpacka, karpacka)
- prowincja wschodniopolska (w tym: podprowincja lubelska)

niekonwencjonalne węglowodory
wg Podhalańskiej i zespołu, 2018; Wójcickiego i zespołu, 2014; Wójcickiego i zespołu, 2017

- gaz i ropa zamknięta
- gaz i ropa w łupkach

metan pokładów węgla
DZW i LZW - wg Kwarciańskiego, 2011;
GZW - wg Hadry i Jureczki, na potrzeby
nijnieszego Bilansu

węgiel kamienny
wg Jureczki, Ihnatowicza, Kriegera, Kotlarek
i Młynarczyka, na potrzeby niniejszego Bilansu

węgiel brunatny
wg Ciuka i Piwockiego, 1990

jednostki podziałów terytorialnych kraju
wg stanu na dzień 06.03.2020 r.

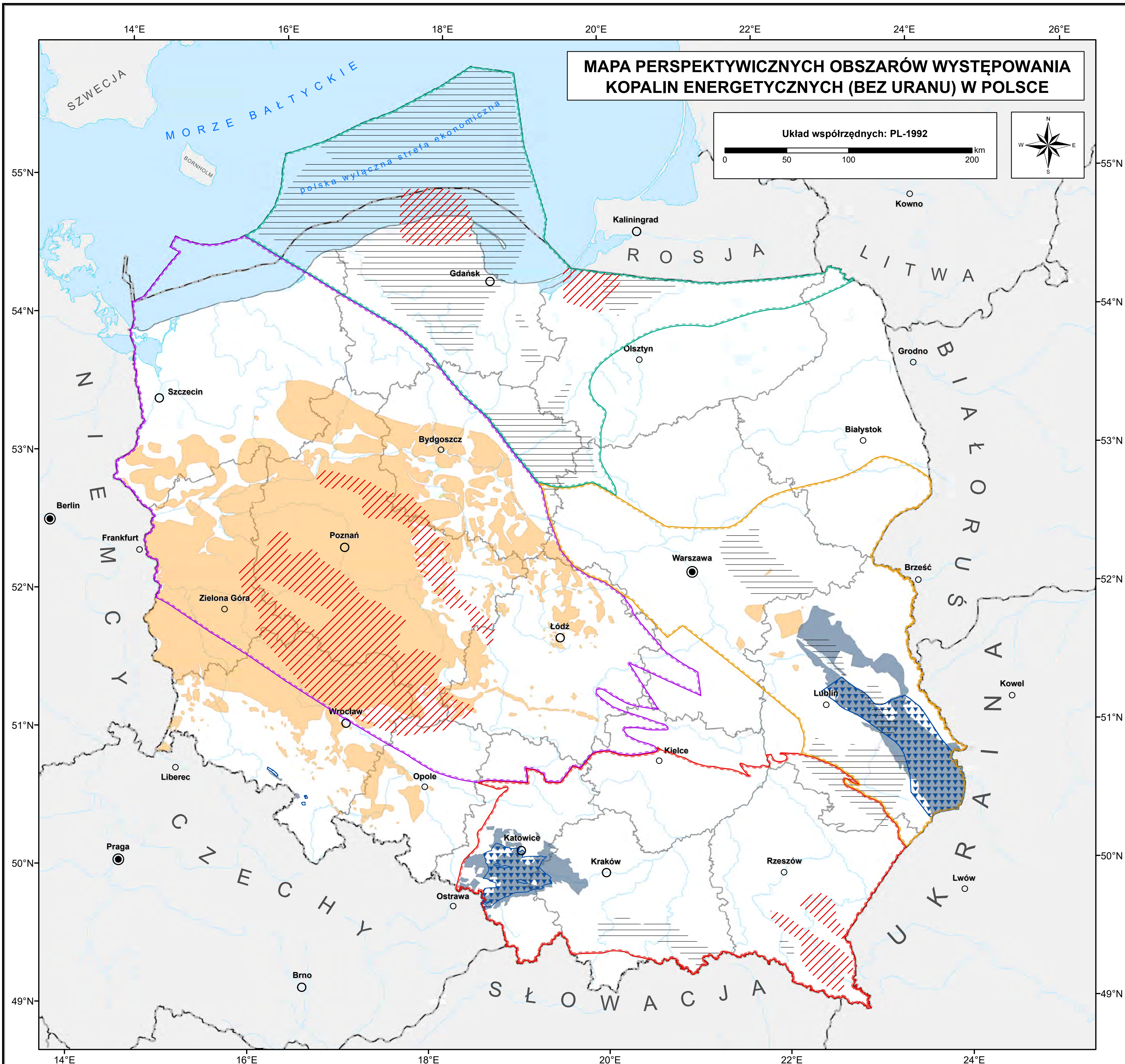
Państwowy rejestr granic i powierzchni jednostek
podziałów terytorialnych kraju,
Główny Urząd Geodezji i Kartografii

- granice administracyjne państwa
- granica polskiej wyłącznej strefy ekonomicznej
- granice administracyjne województw

BILANS PERSPEKTYWICZNYCH ZASOBÓW KOPALIN POLSKI
wg stanu na 31.12.2018 r.



Opracowanie graficzne:
Martyna Leśniak
Michał Woroszkiewicz
Państwowy Instytut Geologiczny
- Państwowy Instytut Badawczy
© Copyright by PIG-PIB, WARSZAWA 2020



Objaśnienia

obszary perspektywiczne
wg stanu na dzień 31.12.2018 r.

obszary perspektywiczne kopalin metalicznych

- rudy miedzi i srebra
wg Mikulskiego S.Z. i in., 2015b;
Oszczepalskiego i in., 2016
- rudy cynku i ołowiu
wg Mikulskiego S.Z. i in., 2015b
- pozostałe kopaliny metaliczne
wg Mikulskiego S.Z. i in., 2015b;
Oszczepalskiego i Chmielewskiego, 2015

**obszary perspektywiczne i hipotetyczne
pierwiastków ziem rzadkich**
wg Wołkowicza i in., na potrzeby niniejszego Bilansu

- * pierwiastki ziem rzadkich - perspektywiczne
- * pierwiastki ziem rzadkich - hipotetyczne

jednostki podziałów terytorialnych kraju
wg stanu na dzień 06.03.2020 r.

Państwowy rejestr granic i powierzchni jednostek
podziałów terytorialnych kraju,
Główny Urząd Geodezji i Kartografii

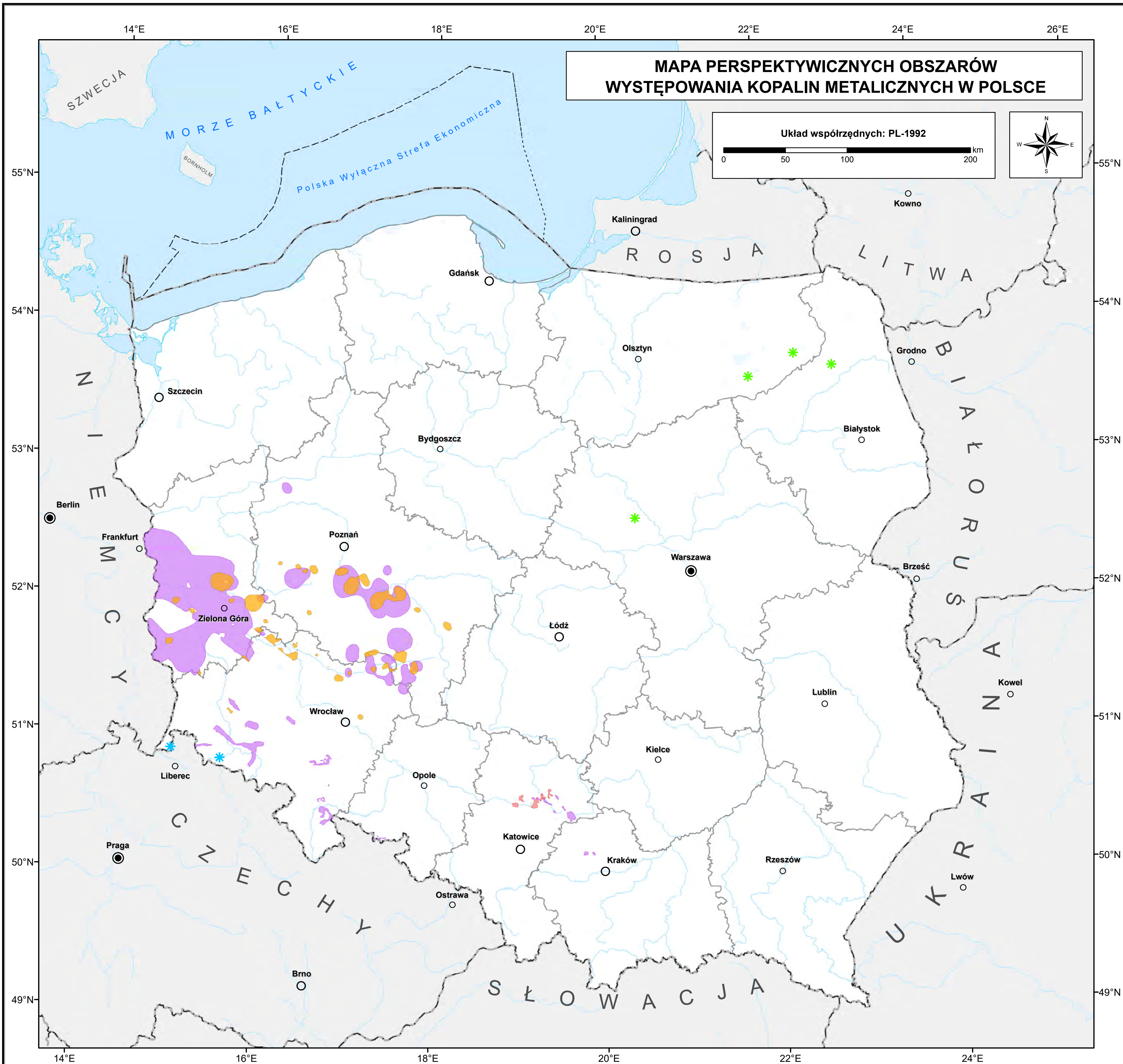
- granice administracyjne państwa
- - - granica polskiej wyłącznej strefy ekonomicznej
- granice administracyjne województw

BILANS PERSPEKTYWICZNYCH ZASOBÓW KOPALIN POLSKI
wg stanu na 31.12.2018 r.



Opracowanie graficzne:
Martyna Leśniak
Michał Woroszkiewicz

Państwowy Instytut Geologiczny
- Państwowy Instytut Badawczy
© Copyright by PIG-PIB, WARSZAWA 2020



Objaśnienia

obszary perspektywiczne
wg stanu na dzień 31.12.2018 r.

obszary perspektywiczne kopalin chemicznych

- baryt
wg Srogi, 2011
- fluoryt
wg Srogi, 2011
- baryt z fluorytem
wg Srogi, 2011
- sole potasowo-magnezowe
wg Mikulskiego S.Z. i in., 2015b;
Czapowskiego i Bukowskiego, 2015
- sól kamienna
wg Mikulskiego S.Z. i in., 2015b;
Czapowskiego i Bukowskiego, 2015
- siarka
wg Gąsiewicza, na potrzeby niniejszego
Bilansu
- fosforyt
wg Uberny, 1987, z modyfikacjami

jednostki podziałów terytorialnych kraju
wg stanu na dzień 06.03.2020 r.

Państwowy rejestr granic i powierzchni jednostek
podziałów terytorialnych kraju,
Główny Urząd Geodezji i Kartografii

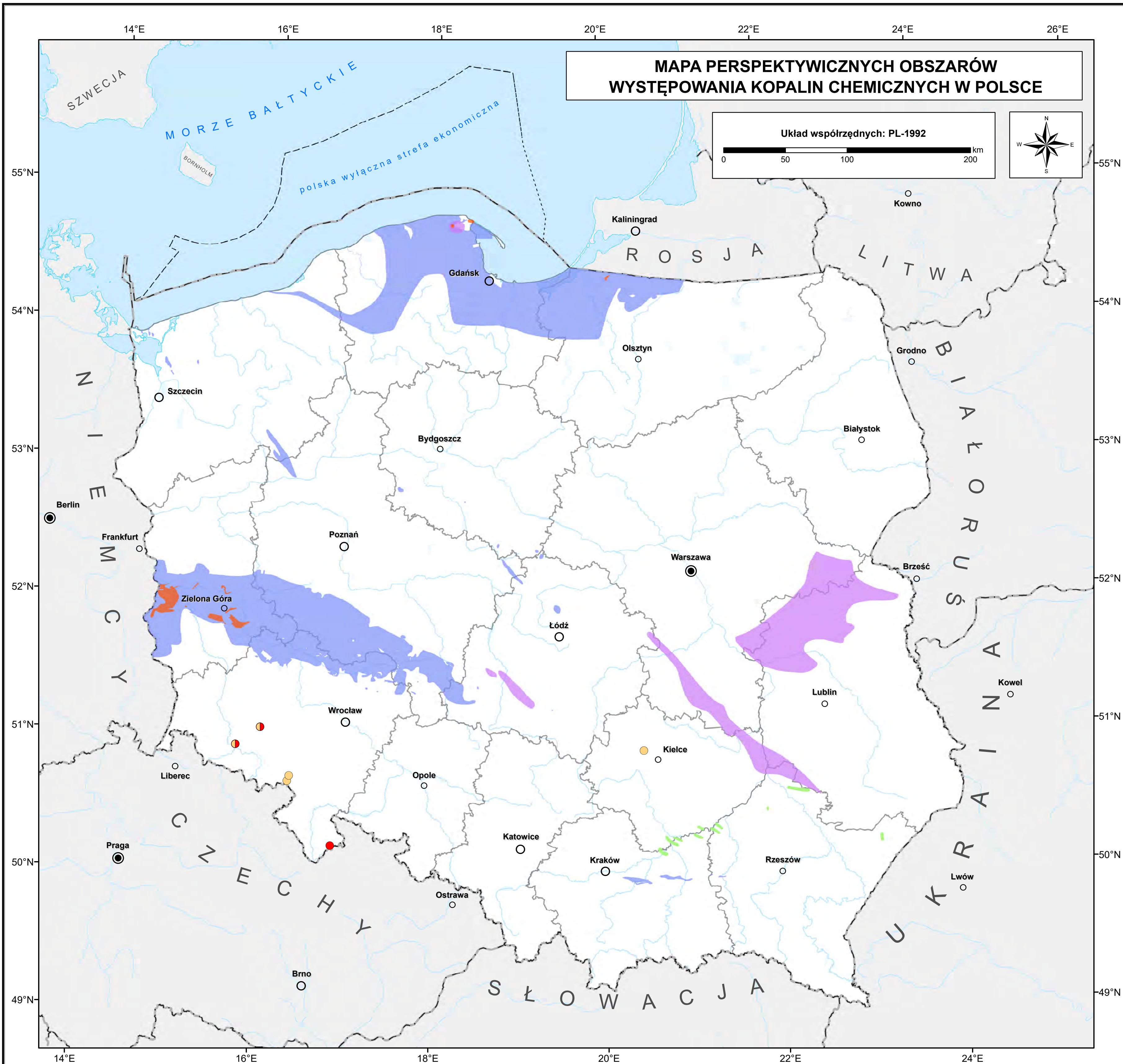
- granice administracyjne państwa
- granica polskiej wyłącznej strefy ekonomicznej
- granice administracyjne województw

BILANS PERSPEKTYWICZNYCH ZASOBÓW KOPALIN POLSKI
wg stanu na 31.12.2018 r.



Opracowanie graficzne:
Martyna Leśniak
Michał Woroszkiewicz

Państwowy Instytut Geologiczny
- Państwowy Instytut Badawczy
© Copyright by PIB-PIB, WARSZAWA 2020



Objaśnienia

obszary perspektywiczne
wg stanu na dzień 31.12.2018 r.

- gipsy i anhydryty
wg Mikulskiego S.Z. i in., 2015b
- bursztyny
wg Kramarskiej, Kasińskiego i Słodkowskiej,
na potrzeby niniejszego Bilansu
- kruszywa naturalne (p/ż)
wg Mapy Geośrodowiskowej Polski, PIG-PIB;
Mapy geośrodowiskowej polskich obszarów
morskich 1:250 000, (Kramarska i in., 2019)
- surowce ilaste
wg Mapy Geośrodowiskowej Polski, PIG-PIB
- kamienie łamane i bloczne
wg Mapy Geośrodowiskowej Polski, PIG-PIB
- pozostałe surowce skalne
wg Mapy Geośrodowiskowej Polski, PIG-PIB
- skała diatomitowa
wg Mapy Geośrodowiskowej Polski, PIG-PIB
- kamienie ozdobne
wg Mapy Geośrodowiskowej Polski, PIG-PIB
- ziemia krzemionkowa
wg Mapy Geośrodowiskowej Polski, PIG-PIB

jednostki podziałów terytorialnych kraju
wg stanu na dzień 06.03.2020 r.

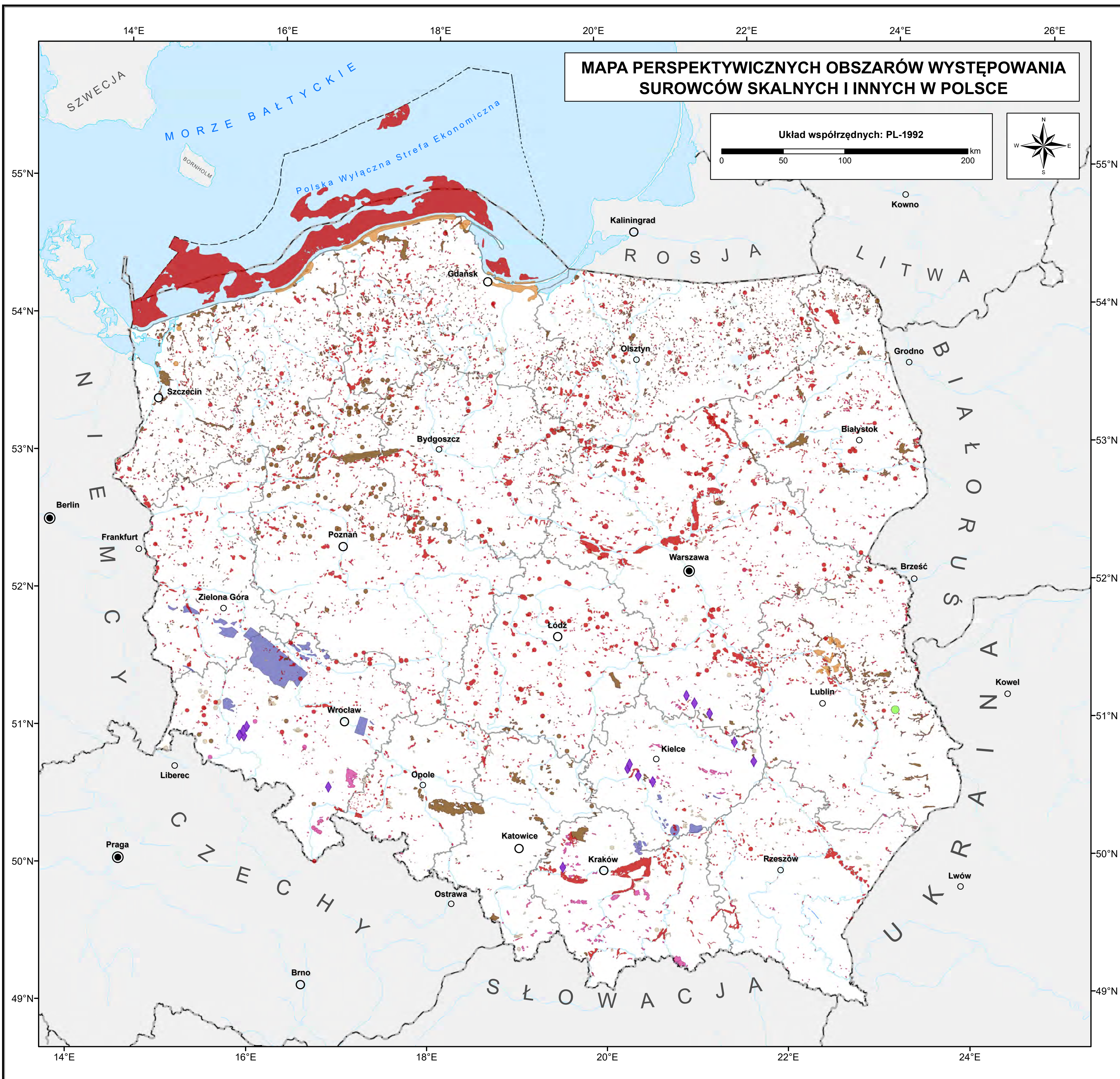
Państwowy rejestr granic i powierzchni jednostek
podziałów terytorialnych kraju,
Główny Urząd Geodezji i Kartografii

- granice administracyjne państwa
- granica polskiej wyłącznej strefy ekonomicznej
- granice administracyjne województw

BILANS PERSPEKTYWICZNYCH ZASOBÓW KOPALIN POLSKI
wg stanu na 31.12.2018 r.



Opracowanie graficzne:
Martyna Leśniak
Michał Woroszkiewicz
Państwowy Instytut Geologiczny
- Państwowy Instytut Badawczy
© Copyright by PIG-PIB, WARSZAWA 2020



Objaśnienia

obszary perspektywiczne
wg stanu na dzień 31.12.2018 r.

obszary perspektywiczne wód leczniczych
wg Paczyńskiego i Płochniewskiego, 1996,
z modyfikacjami

- chlorkowe
- siarczkowe
- szczawy i kwasowęglowe

obszary perspektywiczne wód termalnych

- Niż Polski - utwory kredy dolnej i jury dolnej
(temp. wód w stropie powyżej 40°C)
wg Góreckiego, 2006
- Sudety i blok przedsudecki -
obręb Sudeckiego Regionu Geotermicznego
(temp. wód 20-90°C)
wg Dowgiałły i Paczyńskiego, 2002
- Niecka Podhalańska -
utwory paleogenu i mezozoiku
(temp. wód 20-80°C)
wg Paczyńskiego i Płochniewskiego, 1996
- Karpaty zewnętrzne i zapadlisko
przedkarpackie - utwory neogeńskie,
mezozoiczne i paleozoiczne
(temp. wód w stropie powyżej 40°C)
wg Góreckiego, 2011, 2012, 2013

regionalizacja hydrogeologiczna
wg Dowgiałły i Paczyńskiego, 2002

- granice prowincji
- A** prowincja platformy prekambryjskiej
- B** prowincja platformy paleozoicznej
- C** prowincja sudecka
- D** prowincja karpacka

złoża wód termalnych
wg Szuflickiego i in., 2019

- eksploatowane
- nieeksploatowane

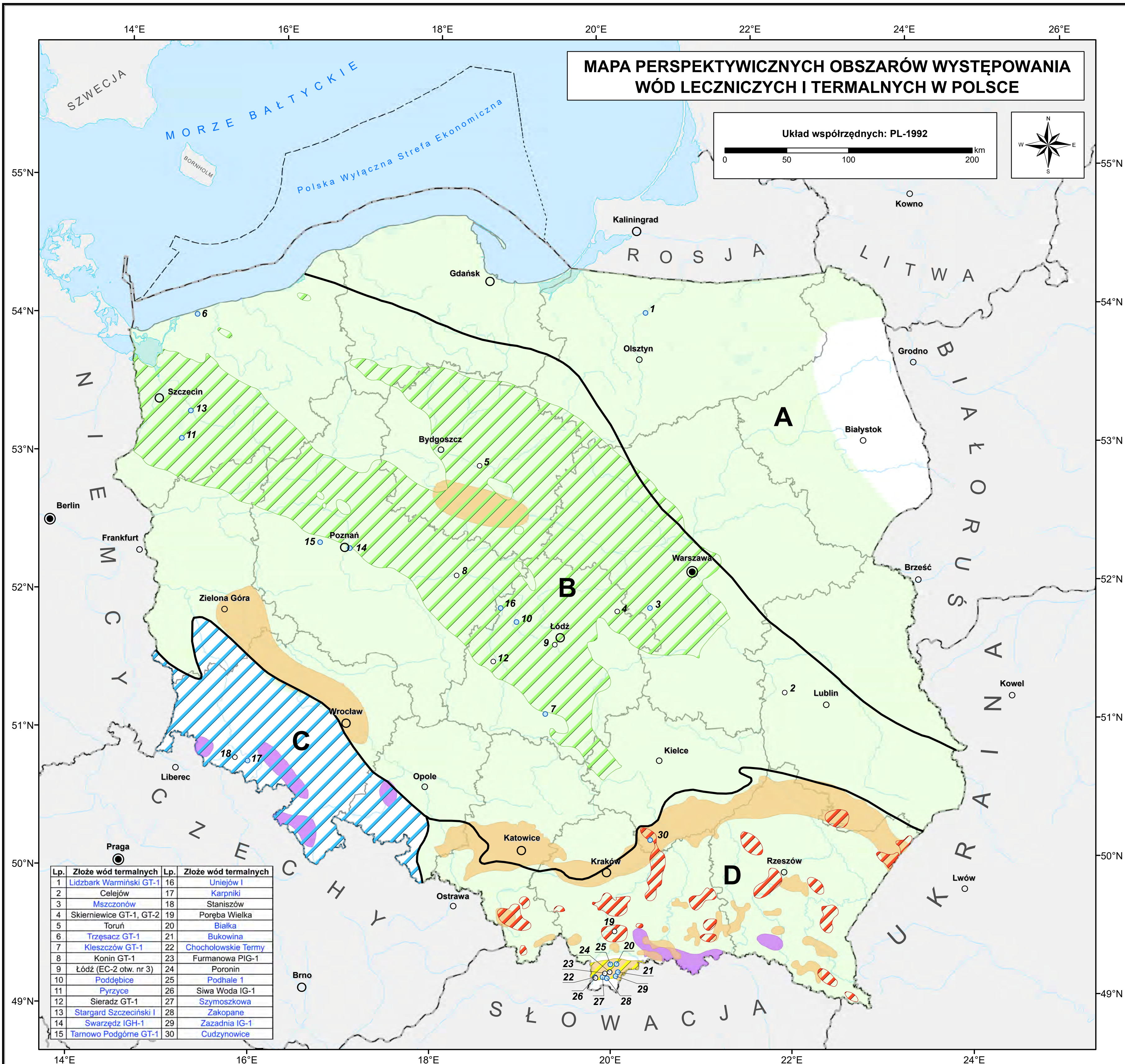
jednostki podziałów terytorialnych kraju
wg stanu na dzień 06.03.2020 r.

Państwowy rejestr granic i powierzchni jednostek
podziałów terytorialnych kraju,
Główny Urząd Geodezji i Kartografii

- granice administracyjne państwa
- granica polskiej wyłącznej strefy ekonomicznej
- granice administracyjne województw

BILANS PERSPEKTYWICZNYCH ZASOBÓW KOPALIN POLSKI
wg stanu na 31.12.2018 r.

Opracowanie graficzne:
Martyna Leśniak
Michał Woroszkiewicz
Państwowy Instytut Geologiczny
- Państwowy Instytut Badawczy
© Copyright by PIG-PIB, WARSZAWA 2020

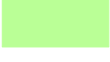
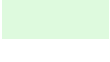


Objaśnienia

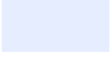
obszary chronione Natura 2000
wg stanu na dzień 15.10.2019 r.

-  obszary specjalnej ochrony ptaków
Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska
-  specjalne obszary ochrony siedlisk
Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska

obszary przyrodnicze
wg stanu na dzień 15.10.2019 r.

-  parki narodowe z otuliną
Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska
-  parki krajobrazowe z otuliną
Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska
-  rezerваты z otuliną
Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska
-  obszary chronionego krajobrazu
Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska
-  obszary leśne
Vmap level 2, 2011, zgeneralizowana
Centralny Ośrodek Dokumentacji
Geodezyjnej i Kartograficznej

główne zbiorniki wód podziemnych
wg stanu na dzień 08.03.2019 r.

-  główne zbiorniki wód podziemnych
Baza danych o Głównych Zbiornikach
Wód Podziemnych - GZWP, PIG-PIB

jednostki podziałów terytorialnych kraju
wg stanu na dzień 06.03.2020 r.

Państwowy rejestr granic i powierzchni jednostek
podziałów terytorialnych kraju,
Główny Urząd Geodezji i Kartografii

-  granice administracyjne państwa
-  granica polskiej wyłącznej strefy ekonomicznej
-  granice administracyjne województw

BILANS PERSPEKTYWICZNYCH ZASOBÓW KOPALIN POLSKI
wg stanu na 31.12.2018 r.



Opracowanie graficzne:
Martyna Leśniak
Michał Woroszkiewicz
Państwowy Instytut Geologiczny
- Państwowy Instytut Badawczy
© Copyright by PIG-PIB, WARSZAWA 2020

