

Złóża soli w Polsce — stan aktualny i perspektywy zagospodarowania

Grzegorz Czapowski¹, Krzysztof Bukowski²



G. Czapowski

K. Bukowski

Salt deposits in Poland — the current state and perspectives for management of the resources. Prz. Geol., 57: 798–811.

A b s t r a c t. The rock salts occur in Poland (Central Europe) in two salt bearing formations of the Upper Permian (Zechstein) and the Neogene (Middle Miocene) and the potash salts — in the Upper Permian only. The total resources of rock salts are estimated at over 84×10^9 Mg. The share of Permian salts is here predominating as resources related to 4 thick rock salt complexes with extent comprising almost two thirds of the area of Poland are estimated at over 80×10^9 Mg in 15 documented salt deposits both of stratiform and diapir types. These deposits are currently exploited in 2 underground salt mines and 2 solution mines and annual output totalled about 3.1×10^6 Mg in 2007 (mainly from the diapirs). The most perspective future use of these rock salt deposits is construction of safe underground cavern storages for oil and gas (now 2 such ones

already exist) and depositories. The Neogene deposits (stratiform and stratiform-folded), exploited in the past millennium, occur in a limited area in southern Poland and are now only of historical-touristic value. The potash salts, quite frequent in the Permian evaporite complexes, are documented in one salt diapir in central Poland where they are mainly represented by carnallite and kieserite with resources $> 72 \times 10^6$ Mg and are occasionally exploited on limited scale. They are also documented in sulphate horizons accompanying the rock salt seam in northern Poland (4 deposits of polyhalite with resources of ca. 0.67×10^9 Mg). However, low market prices of potash products offered by the neighbouring countries e.g. Russia, Belarus, Ukraine, make exploitation of these domestic potash salt resources uneconomic.

Keywords: salt deposits, management of resources, Poland

Sole kamienne występują w Polsce głównie w obrębie dwóch formacji salinarnych: neogeńskiej (mioceńskiej) i górnopermskiej (cechszyńskiej), zajmujących łącznie ponad 2/3 powierzchni kraju (ryc. 1; Czapowski i in., 2008a).

Najlepiej znaną i najwcześniej eksploatowaną (zapisy historyczne od XI wieku) jest mioceńska formacja solonośna, występująca w zapadlisku przedkarpaccim. Ma ona obecnie już jedynie historyczne znaczenie wobec zakończenia wydobycia soli w latach 90. XX wieku. Udokumentowane w niej złoża soli (7) znajdują się głównie blisko brzegu nasunięcia Karpat na przedpolu, od terenu Śląska poprzez Wieliczkę i Bochnię w kierunku wschodniej granicy Polski (ryc. 1). Zasoby złóż tej formacji — z których jedynie 3 są ujmowane w bilansie zasobów kopalni (Gientka i in., 2008) — stanowią 5,4% krajowych zasobów soli kamiennej. W utworach tej formacji na terenie Polski nie stwierdzono występowania nagromadzeń soli potasowych i potasowo-magnezowych.

Sole kamienne i potasowo-magnezowe występujące w utworach cechszyńskiej formacji solonośnej zajmują większą część obszaru Polski niżowej. Sole te tworzą 4 miąższe kompleksy ewaporatowe (odpowiadają one kolejnym cyklotomom cechsztynu — od PZ1 do PZ4), występujące na głębokości od kilkuset metrów (północna i południowo-zachodnia Polska) do 7 km (obszar Niżu Polskiego). Na terenie Niżu sole te tworzą kilkadziesiąt wysadów i poduszek solnych, w obrębie których udokumentowano 13 złóż solnych (Czapowski i in., 2008a; Orska & Werner, 1987), spośród nich 11 jest ujmowanych w aktualnym bilansie zasobów kraju (Gientka i in., 2008). Zasoby

soli kamiennej w tych złożach są szacowane na 56×10^9 Mg, co stanowi 66,3% krajowych zasobów soli. W 2007 r. cechszyńska sól wydobywana z trzech złóż wysadowych stanowiła niemal całą krajową produkcję soli. Wyniosła ona $3,104 \times 10^6$ Mg (tab. 1), włączając w to: $2,59 \times 10^6$ Mg soli pozyskanej z kopalni ługowniczych (Góra i Mogilno — ilość oszacowana na podstawie objętości pozyskanej solanki) oraz $0,517 \times 10^6$ Mg soli kruszonej z podziemnej kopalni Kłodawa (tab. 2; ryc. 1). Ponadto w 2007 r. w zakładach odsalania wód kopalnianych pozyskano $0,06 \times 10^6$ Mg soli. W 2006 r. całkowita ilość produkowanej w Polsce soli ($4,01 \times 10^6$ Mg) stanowiła 1,7% światowej produkcji tego surowca (dane wg www.saltinstitute.org).

W 2008 r. bilansowe zasoby geologiczne soli kamiennej w Polsce, udokumentowane w 19 złożach, wynosiły $> 85 \times 10^9$ Mg, a pozabilansowe — $20,68 \times 10^9$ Mg (tab. 1). Zasoby czterech zagospodarowanych złóż to $12,6 \times 10^9$ Mg, trzy zaś złoża soli mioceńskich, o zasobach 188×10^6 Mg, zostały usunięte z bilansu zasobów. Pozostałych 12 udokumentowanych, lecz dotąd niezagospodarowanych złóż soli kamiennej (mioceńskich i cechszyńskich) zawiera około $72,6 \times 10^9$ Mg soli (tab. 1). Większość (7) tych złóż stanowią obiekty rozpoznane wstępnie w kategorii C₂ lub C₁ + C₂ (tab. 2).

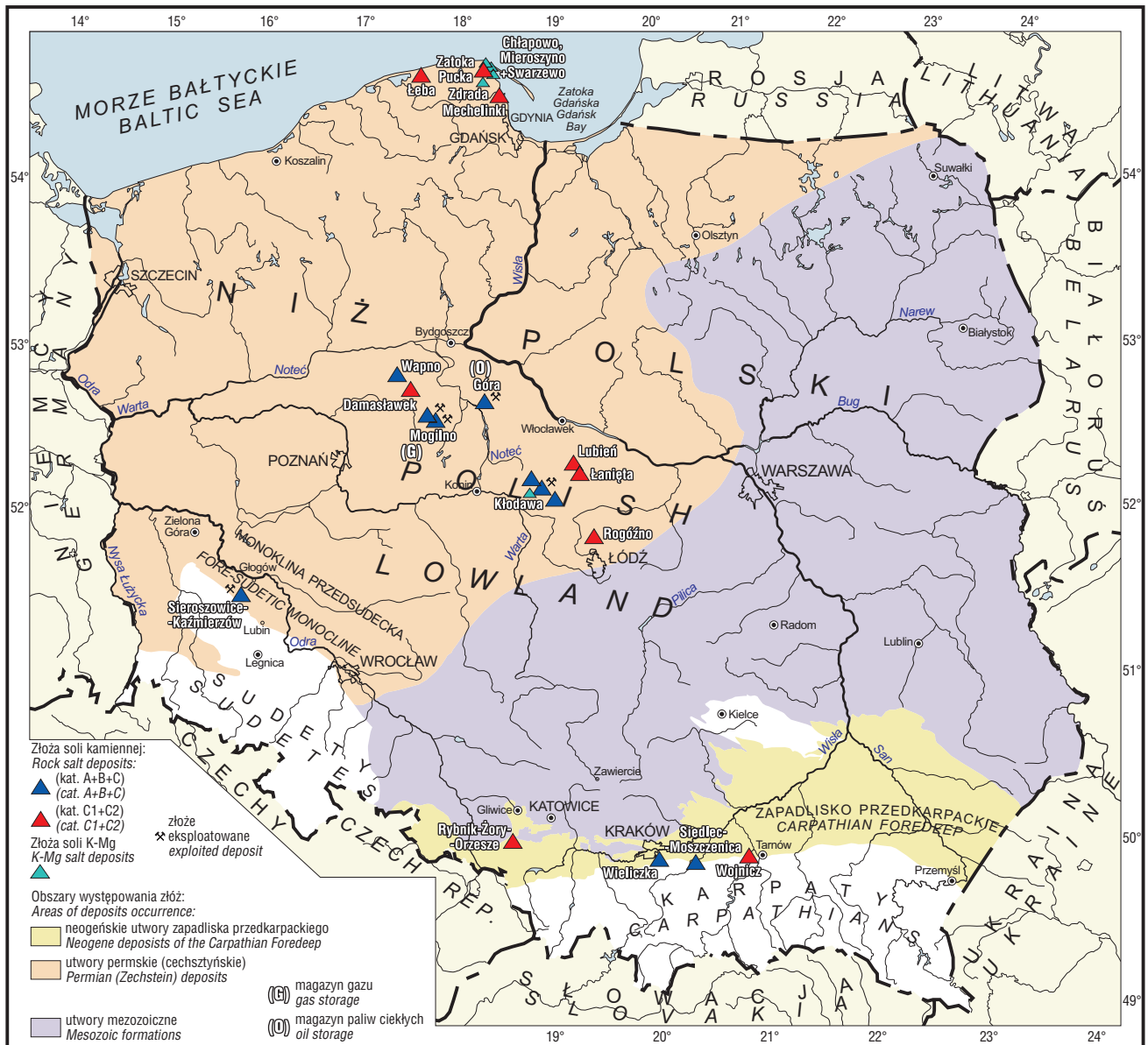
Obecnie są eksploatowane jedynie złoża soli cechszyńskich (trzy złoża wysadowe: Mogilno, Góra i Kłodawa, oraz okresowo jedno złożo pokładowe: Kazimierzów–Sieroszowice), ponadto w dwu diapirach solnych (Mogilno i Góra) wyrobiska wykorzystano jako podziemne, kawernowe magazyny gazu i paliw (ryc. 1).

Towarzyszące cechszyńskim solom kamiennym złoża soli potasowych (udokumentowane w wysadzie Kłodawa) i potasowo-magnezowych (4 złoża w rejonie Zatoki Puckiej) nie zostały dotąd zagospodarowane.

Stopień rozpoznania zasobów, a także stan zagospodarowania poszczególnych złóż soli kamiennej — z podziałem na pokładowe, pokładowo-fałdowe i wysadowe — zestawiono w tabeli 2. W tabeli pominięto dwa złoża soli

¹Państwowy Instytut Geologiczny — Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; grzegorz.czapowski@pgi.gov.pl

²Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; buk@agh.edu.pl



Ryc. 1. Mapa występowania udokumentowanych złóż soli kamiennej i potasowo-magnezowej w Polsce
 Fig. 1. Distribution of documented rock salt and potash deposits in Poland

kamiennej: Wieliczkę i Wapno, które zaprzestano eksploatować, a ich zasoby zaklasyfikowano jako pozabilansowe (Gientka i in., 2006).

Należy podkreślić, że poza pozyskiwaniem soli dla potrzeb przemysłu chemicznego, nawozowego i drogownictwa coraz większego znaczenia nabiera zagospodarowanie złóż soli jako obiektów geologicznych o optymalnych cechach do budowy podziemnych magazynów ropy naftowej i gazu ziemnego oraz bezpiecznych składowisk odpadów (np. Brańka i in., 1978, 2006a, b; Czapowski, 2006a; Karnkowski & Czapowski, 2007; Kłeczek & Zejła, 2004; Kunstman i in., 2002; Ślizowski i in., 2004). A koncepcją o znaczeniu badawczym jest projekt umieszczenia w złóżach soli specjalistycznego laboratorium fizyki cząstek (Markiewicz i in., 2007).

Permskie sole kamienne

Podstawowym obiektem eksploatacji soli w Polsce jest obecnie cechsztyńska formacja solonośna, zawierająca 4

mięszcze kompleksy soli kamiennej, występujące na blisko 2/3 obszaru Polski (ryc. 1), na głębokości od kilkuset metrów (Polska północna: wyniesienie Łeby oraz w strefie przedsubdeckiej — pokładowe złoża soli) do siedmiu kilometrów (środkowa część Niżu Polskiego). W Polsce centralnej (obszar bruzdy śródpolskiej z regionem kujawskim) utwory solne tworzą różnej wysokości (do 7 km) kopuły, poduszki, słupy i grzbień solne, w obrębie których udokumentowano w ciągu ostatnich 150 lat wiele wysadowych złóż solnych (tab. 1 i 2).

Na 14 udokumentowanych złóż cechsztyńskich soli kamiennych (ryc. 1; tab. 2), o geologicznych zasobach bilansowych szacowanych na > 78 mld t, składają się cztery złoża pokładowe (o zasobach ok. 24,9 mld t) i 10 złóż wysadowych (o zasobach > 53,9 mld t) ulokowanych w 7 wysadach. Metodą podziemną jest eksploatowane jedno złożo pokładowe (Kazimierzów-Sieroszowice; okresowo) i jedno wysadowe (Kłodawa Centrum), a metodą otworową trzy złoża wysadowe (w tym dwa: Mogilno II i Góra, pełniąc rolę podziemnych magazynów paliw; tab. 2).

Tab. 1. Liczba, zasoby i zagospodarowanie złóż soli kamiennej w Polsce (stan na koniec 2008 r.; wg Gientki i in., 2008, uzupełnione; zasoby szacowane poza filarami ochronnymi)

Table 1. Number, resources and management of rock salt deposits in Poland (as of the end of 2008, after Gientka et al., 2008, supplemented; resources calculated outside protection pillars)

Zasoby Resources	Liczba złóż Number of deposits	Zasoby geologiczne [mln t] Geological resources [10 ⁶ Mg]		Wydobycie soli [mln t] Salt production [10 ⁶ Mg]
		Bilansowe Balance (categories: A + B + C ₁ + C ₂)	Pozabilansowe Outbalance	
ZASOBY OGÓLEM Total resources	19	85416,72	20677,81	3,1
ZASOBY ZŁÓŻ ZAGOSPODAROWANYCH RESOURCES OF MANAGED DEPOSITS				
Całkowite zasoby Total resources	4	12588,33	7,77	3,1
Złóża zakładów czynnych Mined deposits	3	6890,83	7,77	3,1
Złóża eksploatowane okresowo (podziemny magazyn) Seasonally exploited deposits (cavern storage)	1	5697,51		
ZASOBY ZŁÓŻ NIEZAGOSPODAROWANYCH RESOURCES OF UNMANAGED DEPOSITS				
Całkowite zasoby Total resources	12	72640,51	20482,80	–
Złóża rozpoznane szczegółowo Deposits documented in details	5	27540,05	10017,78	–
Złóża rozpoznane wstępnie Deposits preliminary recognized	7	451090,46	10465,02	–
ZASOBY ZŁÓŻ KTÓRYCH EKSPLOATACJI ZANIECHANO RESOURCES OF ABANDONED DEPOSITS				
Całkowite zasoby Total resources	3	187,88	187,25	–

Tab. 2. Stopień udokumentowania i zagospodarowania, wydobycie oraz zasoby różnych typów złóż soli kamiennej w Polsce (stan na koniec 2008; dane częściowo wg Gientki i in., 2008)

Table 2. Actual resources, salt production, documentation and management stage of various types of rock salt deposits in Poland (as of the end of 2008, some data from Gientka et al., 2008)

Nazwa i wiek złoża Deposit name and age	Stan zagospodarowania złoża/ rok rozpoczęcia prac górniczych Deposit management/ onset of mining works	Zasoby geologiczne bilansowe [mln t] Total resources: measured + indicated + inferred [10 ⁶ Mg]	Wydobycie [mln t] Salt production [10 ⁶ Mg]	Kategoria rozpoznania [rok] Documenting category [year]
ZŁOŻA POKŁADOWE STRATIFORM DEPOSITS				
ŁEBA (PZ)	P	2 751,00	–	C ₂ (1980)
MECHELINKI (PZ)	R	2 975,00	–	C ₁ (1975, 2008)
ZATOKA PUCKA (PZ)	R	16 336,03	–	C ₁ (1978)
KAZIMIERZÓW–SIEROSZOWICE (PZ)	E/1991	2 936,17	–	C ₁ (1990) B + C ₁ (2006)
RYBNIK–ŻORY–ORZESZE (Ne)	P	2 098,60	–	C ₂ (1969)
ZŁOŻA POKŁADOWO-FALDOWE STRATIFORM-FOLDED DEPOSITS				
SIEDLEC–MOSZCZENICA (Ne)	Z	187,88	–	C ₂ (1961) C ₁ + C ₂ (1975) B + C ₁ + C ₂ (1988, 1994)
WOJNICZ (Ne)	P	2 083,00	–	C ₂ (1982)

Objaśnienia: P — złożo o zasobach wstępnie rozpoznanych, R — złożo o zasobach szczegółowo rozpoznanych, E — złożo eksploatowane, M — złożo zagospodarowane jako podziemny magazyn, Z — złożo którego eksploatację zakończono, Ne — złożo wieku neogéńskiego, PZ — złożo wieku permjskiego (cechsztyn)

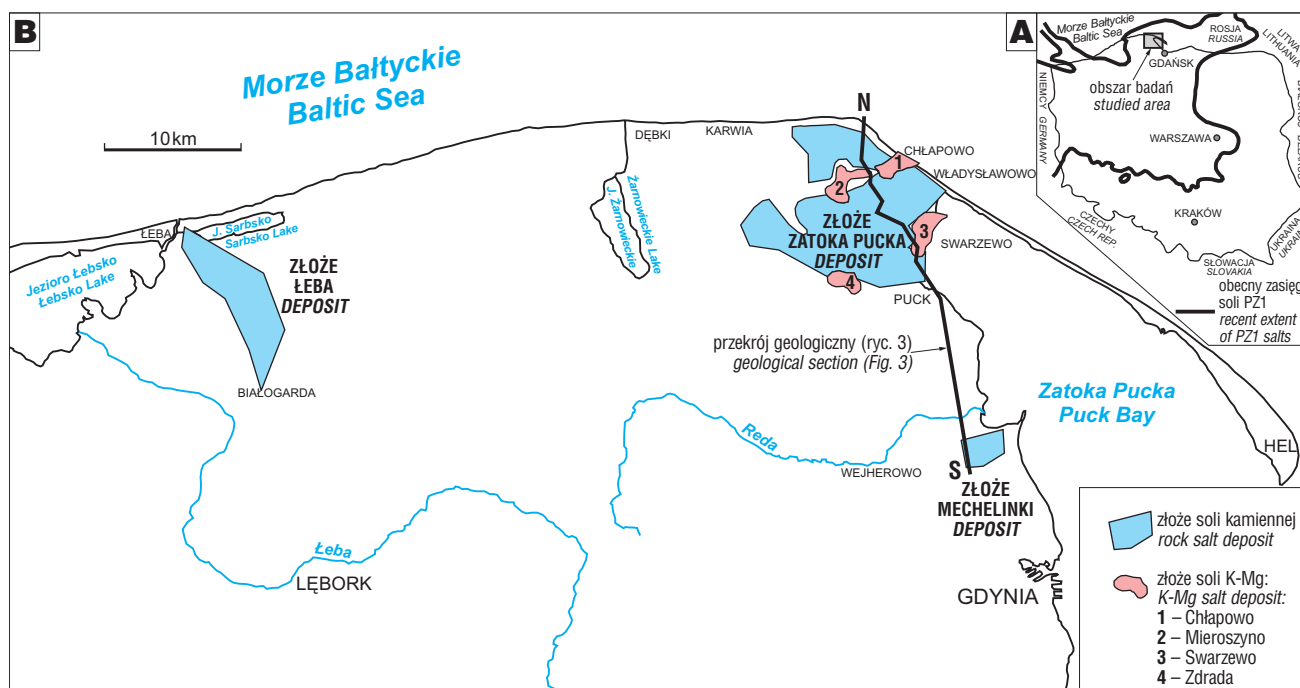
Explanations: P — deposit with preliminary recognized resources, R — deposit documented in details, E — deposit actually exploited, M — deposit used as a cavern storage, Z — abandoned deposit, Ne — Neogene deposit, PZ — Permian (Zechstein) deposit; Documentary categories: B — measured deposits, C₁ — indicated deposits, C₂ — inferred deposits

Nazwa i wiek złoże <i>Deposit name and age</i>	Stan zagospodarowania złoże/ rok rozpoczęcia prac górniczych <i>Deposit management/ onset of mining works</i>	Zasoby geologiczne bilansowe [mln ton] <i>Total resources: measured + indicated + inferred [10⁶ Mg]</i>	Wydobycie [mln ton] Salt production [10 ⁶ Mg]	Kategoria rozpoznania [rok] <i>Documenting category [year]</i>
ZŁOŻA WYSADOWE <i>DEPOSITS IN SALT DIAPIRS</i>				
DAMASŁAWEK (PZ)	P	17 690,43	–	C ₂ (1983)
GÓRA (PZ)	E/1965; M/1998	2 336,71	1,010	C ₁ (1960) B + C ₁ + C ₂ (1982, 1994, 2001, 2004, 2005)
MOGILNO I (PZ)	E/1978	3 642,96	1,577	C ₂ (1963) C ₁ + C ₂ (1981, 1982) B + C ₁ + C ₂ (2006)
MOGILNO II (PZ)	M/1992	5 697,50	–	C ₁ + C ₂ (1981, 1991, 2007)
LUBIEŃ (PZ)	R	4 070,84	–	C ₂ (1956) C ₁ (1979)
ŁANIĘTA (PZ)	R	2 127,00	–	C ₂ (1964) C ₁ (1980)
KŁODAWA PÓLNOC (PZ)	P	6 888,19	–	C ₁ (1953) B + C ₁ (1958) B + C ₁ + C ₂ (1962) A + B + C ₁ (1972) A + B + C ₁ + C ₂ (1989)
KŁODAWA CENTRUM (PZ)	E/1949	911,16	0,517	
KŁODAWA POŁUDNIE (PZ)	P	4 072,24	–	
ROGÓŻNO (PZ)	P	8 612,00	–	C ₂ (1963)

Złoże pokładowe

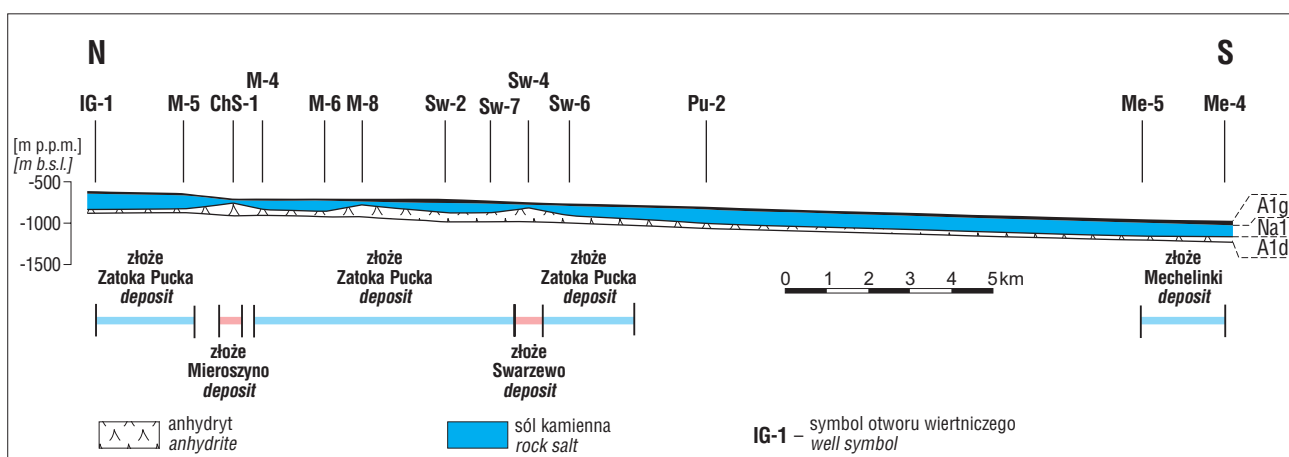
Cechsztyńskie złoże pokładowe cechuje stosunkowo prosta budowa geologiczna. Największe złoże rozpoznano w północnej Polsce, na zachód od Zatoki Gdańskiej (ryc. 2),

na NW skłonie syneklizy perybałtyckiej. Obszar ten we wczesnym cechsztynie oferował dogodne warunki do akumulacji dużych ilości chlorków, co zaowocowało powstaniem miąższego (> 220 m) pokładu najstarszej soli kamiennej (Na1). Pokład ten, lekko nachylony ku SE, zale-



Ryc. 2. Obecny zasięg występowania soli cyklu PZ1 w Polsce (A) i rozmieszczenie pokładowych złożeń soli kamiennej i potasowo-magnezowej w rejonie Zatoki Puckiej (B) — wg Czapowskiego i in., 2008b

Fig. 2. Recent extent of PZ1 salts in Poland (A) and distribution of stratiform rock salt and potash deposits at the Puck Bay (B) — after Czapowski et al., 2008b



Ryc. 3. Przekrój geologiczny przez pokład najstarszej soli kamiennej (Na1) i sąsiadujące ogniwa anhydrytu dolnego (A1d) i anhydrytu górnego (A1g) w rejonie Zatoki Puckiej z zaznaczonymi zasięgami złóż soli kamiennej i potasowo-magnezowej (wg Czapowskiego i in., 2008b)

Fig. 3. Geological section through the Oldest Halite (Na1) seam and accompanying Lower Anhydrite (A1d) and Upper Anhydrite (A1g) units at the Puck Bay with indicated extent of rock salt and potash deposits (after Czapowski et al., 2008b)

ga tu na głębokości od 490,5 m do 1285,3 m (ryc. 3), jego grubość, uwarunkowana głównie czynnikami facjalnymi, zmienia się znacznie — od 0 m do 225,5 m (średnio wynosi 127,4 m). W obrębie tego pokładu w latach 1975–1980 udokumentowano w kategorii C₁ i C₂ w rejonie od Łeby po Rewę 3 duże złoża soli kamiennej o łącznych zasobach około 21 mld t: a) Mechelinki (1975, 2008, kategoria C₁) o powierzchni 9,0 km² i zasobach ok. 2,98 mld t, b) Zatoka Pucka (1978, kategoria C₁) o powierzchni 101 km² i zasobach ok. 16,3 mld t oraz c) położone na zachód złożo Łeba (1980, kategoria C₂) o powierzchni 50 km² i zasobach ok. 2,7 mld t.

Wymienione złoża cechuje stosunkowo prosta budowa, brak istotnego zaangażowania tektonicznego (stosunkowo nieliczne struktury uskoku — np. Dadlez i in., 1995; Peryt i in., 1984; Werner, 1978), dość jednorodne wykształcenie i skład mineralny (m.in. Czapowski, 1987; 1998; Czapowski & Tomasi-Morawiec, 1985; Tomasi-Morawiec, 2003) oraz nieliczne (16), o niewielkim rozprzestrzenieniu i miąższości, w przedziale 0,2–11,2 m, przewarstwienia soli potasowo-magnezowych (typu polihalitowego, syn- i wczesnodiagenetyczne — np. Peryt 1995; Peryt i in., 1998). Podłoże i nadkład pokładu soli stanowią dość grube — kilka do blisko 200 m — poziomy anhydrytów ogni anhydrytu dolnego (A1d) i górnego (A1g), stanowiące (przy braku spękań) dobre horyzonty izolacyjne. W obrębie pokładu soli kamiennej występują wkładki anhydrytowe (od 1 do 5), grubości 0,1–2,0 m (liczniejsze w strefach maksymalnych miąższości soli, grubsze w strefach bliskich dużej miąższości utworów ogniwa A1d), z których tylko pojedyncze korelują się na większych obszarach. W odwierconych w rejonie Zatoki Puckiej blisko 100 otworach odnotowano jedynie 6 grubszych, miąższości 10,0–35,0 m, wkładek o lokalnym rozprzestrzenieniu. Wkładowe te, podobnie jak wzmiankowane przewarstwienia polihalitowo-anhydrytowe, mogą utrudnić wykonywanie w pokładzie soli wyrobisk metodą ługowania otworowego. Jednak ogólnie prosta budowa złóż i jednorodne wykształcenie soli sprzyjają ich wykorzystaniu do lokalizacji podziemnych kawernowych magazynów paliw (np. złożo Mechelinki, koncepcja z lat 70. XX w. — Werner, 1975; w 2009 r. rozpoczęto prace udostępniające

złożo do ługowania kavern magazynowych — Laskowska i in., 2009), czy budowie w ich obrębie podziemnych składowisk odpadów promieniotwórczych (np. w okolicach Łeby czy Lisewa–Salina — Nielubowicz, 1989; Ślizowski i in., 2004 i literatura cytowana).

Poza zagospodarowywanym obecnie koło Kosakowa złożem Mechelinki, w pokładzie najstarszej soli kamiennej można wskazać też inne obszary, które ze względu na warunki występowania soli nadają się pod budowę kavernowych magazynów gazu i paliw bądź składowisk niebezpiecznych odpadów. Są to okolice: Jastrzębiej Góry (pokład soli o miąższości 177,7–190,6 m występuje na głębokości 622,4–681,5 m), Władysławowa (pokład soli o miąższości 170,8–185,9 m na głębokości 708,1–732,4 m), Łebcza (pokład soli o miąższości ponad 165 m na głębokości 744 m), Lisewa–Zdrady (pokład soli o miąższości 192,4–200,6 m na głębokości 712–770 m), Pucka (pokład soli o miąższości 168,2 m na głębokości 818,5 m) oraz Białogardy (pokład soli o miąższości 133,4–225,7 m na głębokości 632,0–663,7 m).

Na terenie monokliny przedsudeckiej w nadkładzie złóż rud miedzi na obszarze Lubińsko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM) udokumentowano w latach 1990 i 2006 odpowiednio w kategorii C₁ i B + C₁ pokładowe złożo soli kamiennej Kazimierzów na obszarze górnym Sieroszowice I, reprezentujące formację najstarszej soli kamiennej (Na1 — Preidl, 1990). Pokład soli zalega tu na głębokości 827,0–1270,0 m. Jego grubość jest warunkowana czynnikami facjalnymi oraz tektoniką (np. Banaszak i in., 2007; Czapowski i in., 1992; Czapowski & Tomasi-Morawiec, 2006; Garlicki i in., 1996; Kijewski & Salski, 1978; Kozula i in., 2006; Szybist, 1976) i zmienia się od kilku do 200 m. W obrębie pokładu występują strefy silnie zaburzone tektonicznie i pojawiają się nieciągłe warstwy anhydrytu sródsolnego (ryc. 4). Podłoże i nadkład pokładu soli tworzą twory ogni anhydrytu dolnego (A1d) i górnego (A1g), sam zaś pokład, pozbawiony domieszek soli potasowo-magnezowych i istotnej ilościowo substancji ilastej, zawiera niemal czystą sól kamienną o wysokim udziale NaCl (75,46–99,82%, przeważnie 98%) i o zawartości siarczanu do 6%. Wydobywanie soli kamiennej ze złoża

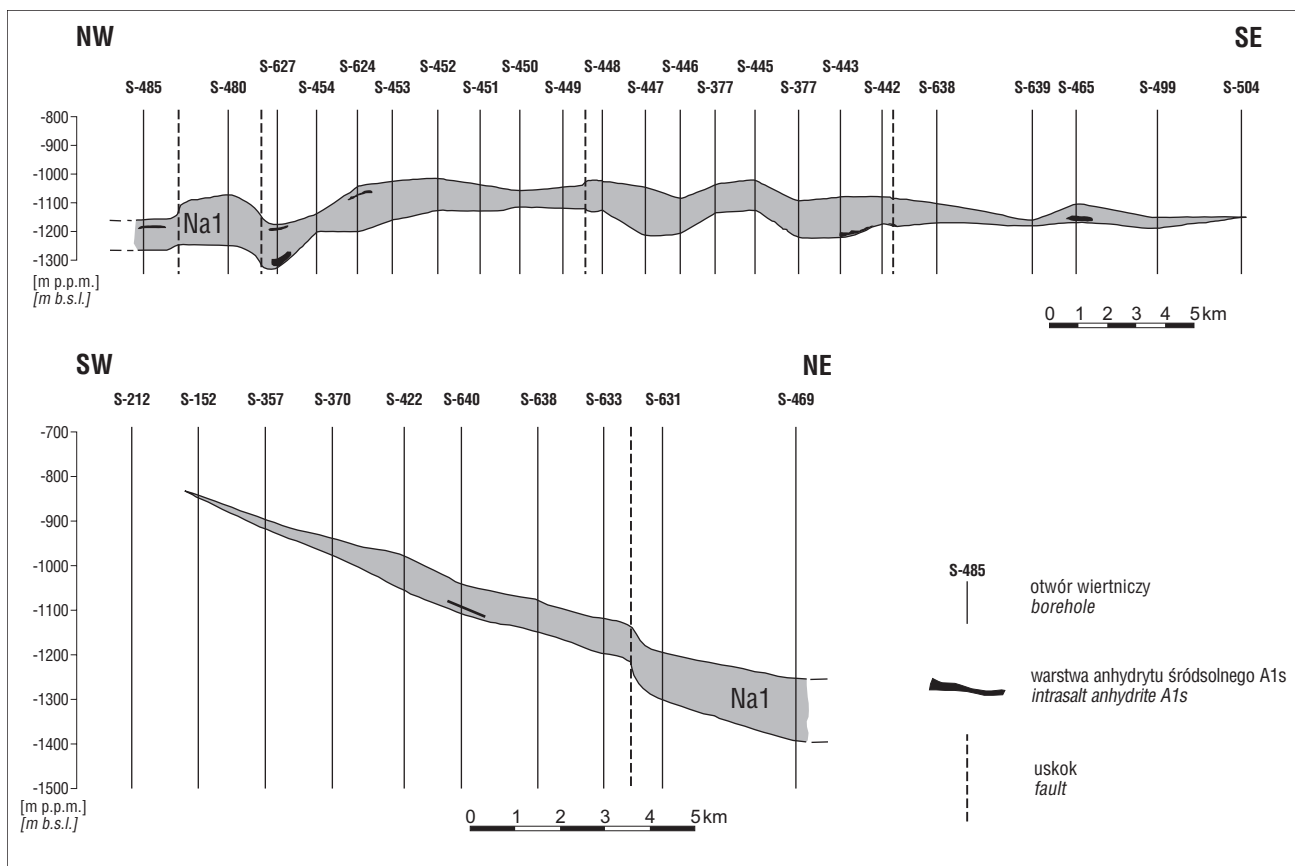
Kazimierzów–Sierszowice, o zasobach oszacowanych na 2,9 mld t, prowadzi się okresowo w ramach prac rozpoznawczych i udostępniających. W obrębie pokładu soli w rejonie Sierszowic rozpatrywano możliwość wybudowania składowiska odpadów promieniotwórczych (Kłeczek & Zejlaś, 2004) bądź specjalistycznego laboratorium fizyki cząstek (Markiewicz i in., 2007).

Poza wspomnianym pokładem najstarszej soli kamiennej, mającym na obszarze monokliny największe rozpręślenie, w regionie wydobywania rud miedzi występują jeszcze trzy młodsze pokłady soli kamiennej (starszej — Na2, młodszej — Na3 i najmłodszej — Na4), nachylone ku NW pod kątem 10–50°, o grubości od kilku do blisko 300 m (Czapowski i in., 1992; Garlicki i in., 1996). Wymienione kompleksy soli występują w NW części obszaru LGOM na głębokości: 1039,5–1376,5 m (Na2), 1126,0–1232,5 m (Na3) oraz 1104,0–1276,0 m (Na4), ich grubość zaś zmienia się od 31,0 m (Na2) do 110,0 m (Na3) i 0–43,7 m (Na4). Sole kamienne cechuje zmienny udział NaCl (88–98%) i spory siarczanów oraz substancji ilastej (5–8%). Podobnie jak pokład najstarszej soli kamiennej są one pocięte systemami dyslokacji, których zrzuty sięgają 100 m (Garlicki i in., 1996; Kozula & Golczak, 1988). Na obszarze występowania tych pokładów soli udokumentowano, nie ujęte w aktualnym bilansie zasobów (Gientka i in., 2008), złożo Bytom Odrzański (Kozula & Golczak, 1988), którego szacunkowe zasoby utworów najstarszej soli kamiennej w kategorii C₁ ustalono na 8,52 mld t, a szacunkowe zasoby wszystkich pokładów soli obliczono na 48,76 mld t.

Należy podkreślić, że pomimo stosunkowo znacznych grubości pokładów i dość jednorodnego wykształcenia soli kamiennej oraz braku przewarstwień soli potasowo-magnezowych, sole cechsztyńskie rejonu LGOM występują w trudniejszych warunkach geologicznych niż omawiane wcześniej pokładowe złoża Polski północnej. Spowodowane jest to ich znacznie większą przebudową tektoniczną (uskoki, strefy silnie spękanne — m.in. Banaszak i in., 2007; Markiewicz, 2007). Tym niemniej są rozpatrywane możliwości wykorzystania najbardziej mięjszych pokładów soli w północnej części obszaru LGOM i dalej na północ w obrębie monokliny przedsudeckiej pod budowę podziemnych kawernowych magazynów paliw (Brańka i in., 2006b).

Złoża wysadowe

Wysadowe złoża soli cechsztyńskich udokumentowano dotychczas w dziewięciu wysadach solnych w środkowej Polsce (ryc. 5), z czego dwa złoża: w wysadach Wapno i Inowrocław, zostały w latach 70. i 80. ubiegłego wieku skreślone z rejestru zasobów wobec zaprzestania eksploatacji. Aktualnie do głębokości 1000 m i 1800 m udokumentowanych jest 9 złóż soli kamiennej w 7 wysadach (ryc. 1, 5; tab. 2), w tym w wysadzie Kłodawa wydzielono 3 złoża solne o łącznych zasobach blisko 12 mld t: Kłodawa Północ, Centrum i Południe, udokumentowane w latach 1953–1989 (5 dokumentacji) w kategoriach od C₂ do A (najdokładniej jest udokumentowana eksploatowana od 1957 r. część centralna, o zasobach szacowanych na 0,9 mld t). Działalność kopalni jest planowana do roku 2025. Obecnie eksploatacja w wysadzie jest prowadzona do głębokości 700 m. Zagospodarowanie niższych poziomów (–750 m)



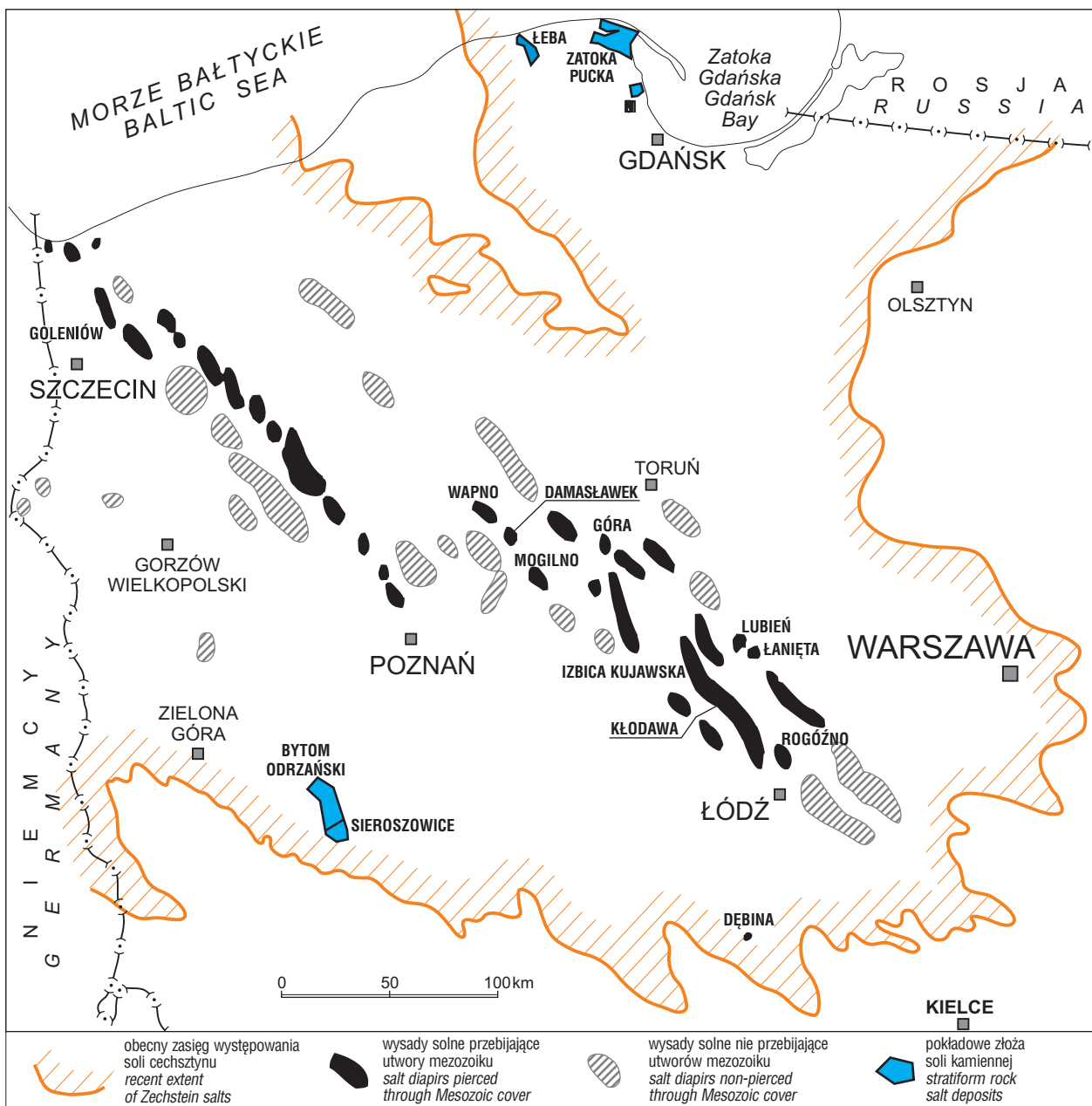
Ryc. 4. Przekroje geologiczne przez pokład najstarszej soli kamiennej (Na1) na obszarze LGOM (monoklina przedsudecka)
Fig. 4. Simplified geological sections through the Oldest Halite (Na1) seam in the LGOM area (Fore-Sudetic Monocline)

będzie zależne od rachunków ekonomicznych (cen i popytu na sól na rynku światowym i krajowym oraz kosztów pozyskiwania surowca w tej stosunkowo starej technicznie kopalni). Część wyrobisk na poziomie –600 m udostępniono jako trasę turystyczną, prezentując techniki wydobycia soli i unikalne stanowiska geologiczne (Czapowski i in., 2005) — obecnie kopalnia Kłodawa jako jedyna w Polsce udostępnia turystom i badaczom wyrobiska w wysadzie solnym.

W wysadzie Mogilno wydzielono dwa złoża: Mogilno I (eksploatowane metodą ługowania otworowego od 1986 r.) udokumentowane w latach 1963–2006 (4 dokumentacje) w kategoriach od C₂ do B, o zasobach bilansowych soli szacowanych na 3,6 mld t, oraz złożo Mogilno II (udostępnione w 1992 r. jako podziemny, kawernowy magazyn gazu) udokumentowane w latach 1981–2007 (3 dokumentacje) w kategorii C₁ + C₂, o zasobach bilansowych 5,7 mld t.

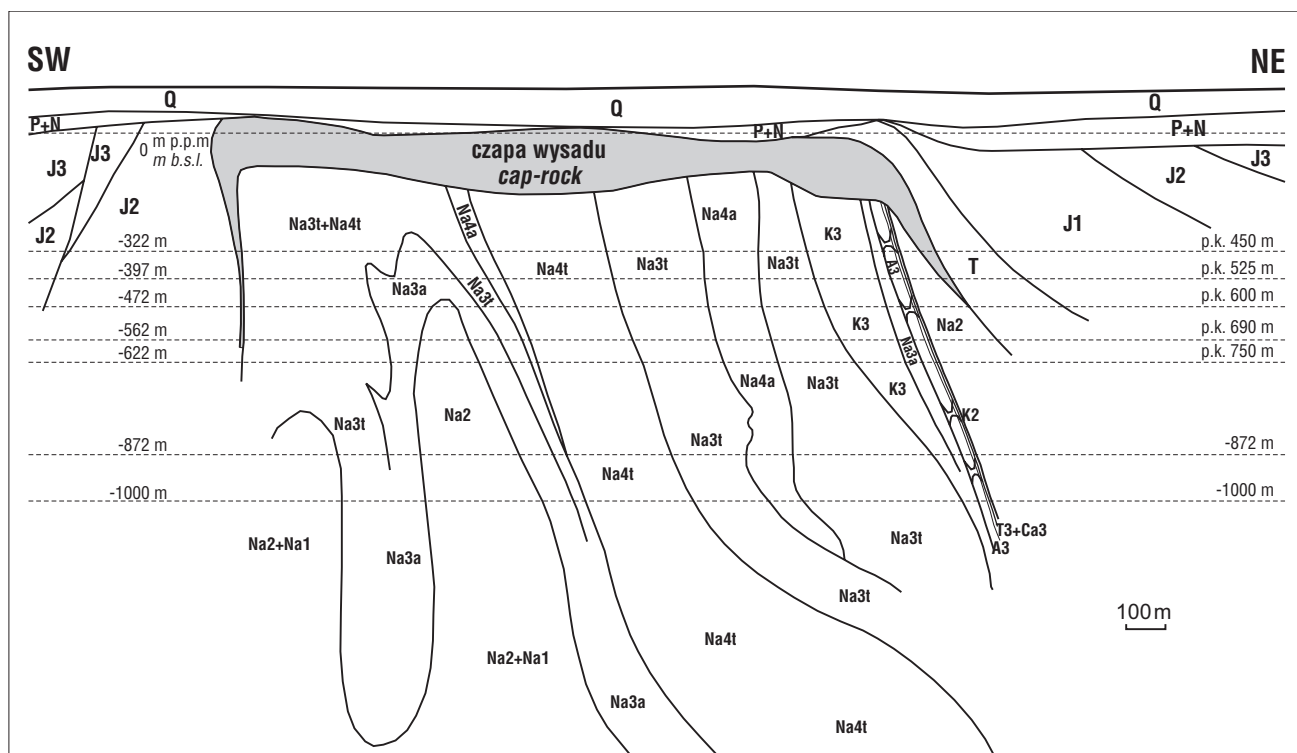
Ostatnim z zagospodarowanych wysadów jest wysad Góra, gdzie od 1968 r. pozyskuje się sól metodą ługowania otworowego, od 2002 r. zaś magazynuje się w części wyrobisk ropę, olej napędowy i olej opałowy (Drogowski & Tadych, 2006). Złożo to udokumentowano początkowo w 1960 r. w kategorii C₁, a następnie w latach 1982–2005 (5 dokumentacji) w kategorii B + C₁ + C₂. Jego zasoby bilansowe oszacowano na 2,3 mld t.

Pozostałe 4 niezagospodarowane złoża wysadowe soli zostały udokumentowane wstępnie w kategorii C₂ (Damasławek w 1983 r., o zasobach szacowanych na 17,7 mld t oraz Rogóźno w 1963 r., o zasobach 8,6 mld t). Nieco dokładniej, w kategorii B + C₁ + C₂, opracowano złoża bliźniaczych wysadów Lubień (2 dokumentacje w latach 1956–1979 — zasoby ocenione na 4 mld t) i Łanięta (2 dokumentacje w latach 1964–1980 — zasoby oszacowane na 2,1 mld t).



Ryc. 5. Rozmieszczenie ważniejszych wysadowych struktur solnych i pokładowych złóż soli kamiennej w Polsce (wg Karnkowskiego & Czapowskiego, 2007)

Fig. 5. Distribution of salt diapirs and stratiform rock salt deposits in Poland (after Karnkowski & Czapowski, 2007)



Ryc. 6. Schematyczny przekrój geologiczny przez wysad Kłodawa (wg Burligi, 1997). Objasnienia: Q — czwartorzęd, P + N — neogen (miocen–pliocen) i paleogen, J3 — jura górna, J2 — jura środkowa, J1 — jura dolna, T — trias; wydzielenia litostratigraficzne cechsztyńskie: Na4t — zuber czerwony, Na4a — najmłodsza sól kamienna, Na3t — zuber brunatny, K3 — młodsza sól potasowa, Na3a — młodsza sól kamienna dolna, A3 — anhydryt główny, T3 + Ca3 — szary il solny + dolomit płytowy, K2 — starsza sól potasowa, Na2 — starsza sól kamienna, Na1 — najstarsza sól kamienna; p.k. — poziom kopalniany

Fig. 6. Schematic section through the Kłodawa salt diapir (after Burligi, 1997). Explanations: Q — Quaternary, P + N — Neogene (Miocene–Pliocene) and Paleogene, J3 — Upper Jurassic, J2 — Middle Jurassic, J1 — Lower Jurassic, T — Triassic; Zechstein lithostratigraphic units: Na4t — Red Zuber, Na4a — Youngest Halite, Na3t — Brownish Zuber, K3 — Younger Potash, Na3a — Lower Younger Halite, A3 — Main Anhydrite, T3 + Ca3 — Grey Pelite + Platy Dolomite, K2 — Older Potash, Na2 — Older Halite, Na1 — Oldest Halite; p.k. — mining level

Złoża wysadowe soli cechsztyńskich cechuje bardzo skomplikowana budowa wewnętrzna (np. Burliga, 1997; Czapowski i in., 2009; Tarka, 1972; Werner i in., 1960), wynikająca z dużej zmienności litologicznej utworów i złożonej tektoniki (ryc. 6). Utrudnia to zarówno prawidłową interpretację budowy wewnętrznej górotworu podczas prowadzenia prac rozpoznawczych w złożu (także wiarygodne oszacowanie jego zasobów), jak i same zagospodarowanie złoża, zarówno metodą podziemną, jak i ługowania otworowego. W większości rozpoznanych struktur wysadowych w Polsce w obrębie górnej części pnia solnego występują utwory solne najmłodszych cykli cechsztyńskich (PZ3 i PZ4), zawierające obok soli kamiennej i siarczanów także sole potasowo-magnezowe i zuber, utrudniające ługowanie prawidłowych kawern solnych do celów magazynowania. Zwykle dopiero niżej pojawiają się sole cyklu PZ2, a w niektórych strukturach, np. w wysadzie Kłodawa — najstarszego cyklu PZ1 (Burliga, 1997; Burliga i in., 1995; Czapowski i in., 2005).

Zwierciadło solne w znacznej części struktur wysadowych na terenie Polski zalega na głębokości większej niż 1500 m, co obecnie eliminuje te struktury jako potencjalne obiekty pod budowę podziemnych zbiorników (Czapowski & Ślizowski, 2008) — zwykle warunkiem jest występowanie zwierciadła solnego na głębokości do 1000 m. Jednak trzy wysady oferują bardziej obiecujące warunki: dwa w rejonie Wolina i wysad Grzędno k. Nowogardu, rozpoznane wstępnie badaniami geofizycznymi i otworami wierni-

czymi, w których zwierciadło solne lokuje się w przedziale głębokości 1000–1500 m.

Śród innych niezagospodarowanych struktur solnych rozpatrywanych jako potencjalne obiekty do budowy kawernowych magazynów obecnie najlepiej rozpoznana strukturą jest wysad Damasławek, którego dokumentację geologiczną sporządzono w roku 1983, a w latach 1997–2001 prowadzono w jego obszarze prace geologiczno-geofizyczne (np. Twarogowski i in., 2002). W pozostałych trzech wysadach spełniających ww. warunek od ponad ćwierćwiecza (dokumentacje geologiczne: Rogóźno — 1963 r., Lubień — 1979 r. i Łanięta — 1980 r.) nie prowadzono systematycznych badań geologicznych w celu rozpoznania ich budowy. Podobna sytuacja dotyczy wysadu Goleniów (ryc. 5), położonego w niecce szczecińskiej najbliższej przyszłego gazoportu w Świnoujściu, który oferuje dogodne warunki do budowy kawernowego magazynu gazu — jego zwierciadło solone zalega na głębokości ok. 890 m (Czapowski & Ślizowski, 2008). Rola tego wysadu jako potencjalnego magazynu wzrosła z chwilą podpisania w tym roku przez koncern ORLEN długoterminowego kontraktu na dostawy gazu *via* gazoport w Świnoujściu. Jednak dotychczasowe rozpoznanie budowy geologicznej wysadu jest skąpe. Dane odnośnie jego budowy, podobnie jak dane o innych wymienionych strukturach wysadowych, pochodzą sprzed blisko pół wieku i są często powierzchowne (mała dokładność stosowanych wówczas metod badawczych i interpretacyjnych). Podjęcie decyzji o przyszłej formie zagospodarowania tych struktur będzie

Tab. 3. Stopień rozpoznania, główne parametry geologiczno-surowcowe i zasoby złóż soli potasowo-magnezowej w Polsce (częściowo wg Gientki i in., 2008)

Table 3. Recognition, main geological and geochemical parameters and resources of potash salt deposits in Poland (partly after Gientka et al., 2008)

Nazwa złoża (obszar [km ²]), kategoria udokumentowania (rok) <i>Deposit name (area [km²]), category (year)</i>	Głębokość stropu pokładu soli (min.–maks.) <i>Depth of the salt seam (depth interval) [m]</i>	Grubość pokładu soli (min.–maks./średnia) <i>Salt seam thickness (thickness interval/average) [m]</i>	Zawartość składnika użytecznego (min.–maks./średnia) <i>Content of main salt component (content interval/average) (%)</i>	Zasoby bilansowe [mln t] <i>Balance resources [10⁶ Mg]</i>
ZŁOŻA POKŁADOWE <i>STRATIFORM DEPOSITS</i>				
CHŁAPOWO (3,55) C ₂ (1967, 1980)	752,3–787,9	5,6–6,5/6,03	–/13,78 (K ₂ O)	32,09
MIEROSZYNO (7,39) C ₂ (1967, 1980)	737,8–802,0	1,9–73,0/26,02	7,74–15,97/8,75 (K ₂ O)	341,74
SWARZEWO (4,56) C ₂ (1971, 1974)	799,4–823,0	15,0–36,3/13,5	7,19–8,48/7,74 (K ₂ O)	144,03
ZDRADA (2,25) C ₂ (1972)	824,1–858,0	1,9–37,0/18,5	3,5–12,2/8,42 (K ₂ O)	79,17
ZŁOŻA WYSADOWE <i>DEPOSITS IN SALT DIAPIRS</i>				
KŁODAWA (część środkowa) C ₁ (1953) B + C ₁ (1958) B + C ₁ + C ₂ (1962)	–	15,0–30,0	–/8,5 (K ₂ O) –/8,1 (MgO)	72,09

wymagać przeprowadzenia systematycznych badań geologicznych.

Permskie sole potasowo-magnezowe

Pojęciem sole potasowo-magnezowe określa się potocznie sole potasowe (mające jako kation jon potasowy, np. sylwinity) i sole potasowo-magnezowe (w których kationami są potas, magnez i wapń, np. karnalityty i polihality) o różnych anionach — siarczanowym i chlorkowym. W Polsce ich wystąpienia są dość powszechne wśród utworów ewaporatowych cykli PZ1 do PZ3, a nagromadzenia złożowe udokumentowano głównie w obrębie wysadów solnych i złóż pokładowych soli w regionie gdańskim (ryc. 1; tab. 3). W utworach chlorkowych należą zwykle do składników pierwotnych, natomiast w obrębie siarczanów są najczęściej tworem epigenetycznym.

W rejonie Zatoki Gdańskiej w latach 1964–1971 rozpoznano i udokumentowano w kategorii C₂ cztery złoża soli potasowo-magnezowych typu polihalitytowego o łącznych zasobach 597 mln t. Polihalityt (uwodniony siarczan potasowo-magnezowo-wapniowy) występuje tu jako minerał syn-wczesnodiagenetyczny w obrębie:

a) przewarstwień siarczanowych w pokładzie najstarszej soli kamiennej (Na1) lub w formie rozproszonej w samej soli (tzw. polihalityt halitowy — Peryt & Smakowski, 2006), jak np. w złożu Chłapowo. W rejonie Zatoki Gdańskiej zarejestrowano łącznie występowanie 14 przewarstwień grubości od 0,2 m do 6,5 m i pojedynczą warstwę miąższości 11,2 m w otworze Chłapowo S-1;

b) górnej części ogniwa anhydrytu dolnego (A1d) jako tzw. polihalityt anhydrytowy, np. w złożach Swarzewo i Zdrada.

Przyjęta początkowo koncepcja pokładowego występowania polihalitytu jako minerału pierwotnie sedymentowanego (np. Werner, 1967, 1971, 1972a) została w ostatnich

latach zweryfikowana i zastąpiona koncepcją o genezie infiltracyjnej, wczesnodiagenetycznej, wynikającej z zastępowania pierwotnego siarczanu wapnia przez polihalityt (np. Peryt, 1995; Peryt i in., 1998). Zmiana poglądu na temat pochodzenia polihalitytu uzasadnia dość nieregularny kształt jego większych nagromadzeń i w konsekwencji — sugeruje konieczność ponownego przeszacowania zasobów poszczególnych złóż, wyliczanych przy założeniu ich pokładowej geometrii.

Istotną sprawą w lokalizacji złóż polihalitytu nad Zatoką Gdańską jest powiązanie większości z nich — szczególnie typu polihalitytu anhydrytowego — z wyniesieniami paleo-basenu ewaporatowego (Czapowski i in., 2008b), gdzie najgrubszy jest kompleks utworów anhydrytu dolnego, tworzących obrzeżenia miąższych wstępień soli kamiennej (ryc. 2). Tak są położone złoża: Mieroszyno, Swarzewo i Zdrada, natomiast złożo Chłapowo, typu polihalitytu halitowego, lokuje się na skraju wyniesienia Sławoszyńka-Mieroszyna oraz basenów Jastrzębiej Góry i Władysławowa (Czapowski i in., 2008b).

Złożo polihalitytu Chłapowo (ryc. 2) rozpoznano wraz ze złożem Mieroszyno w latach 1964–1967 trzema otworami wiertniczymi w rejonie Chłapowa i udokumentowano w 1967 r. (Werner, 1967). Złożo tworzy pokład polihalitytu typu halitowego. Powierzchnię złoża określono na 4,47 km² (a powierzchnię części bilansowej — na 3,457 km²). Zasoby bilansowe oszacowano na 37,56 mln t, całość zasobów geologicznych zaś — na 41,51 mln t. Głębokość występowania pokładu polihalitytu wynosi 752,3–787,9 m, jego grubość to 5,6–6,5 m, średnio — 6,03 m (tab. 3), a średnia zawartość K₂O — 13,78%. W 1980 r. dokonano ponownego przeliczenia zasobów złoża (Orska, 1980), co zaowocowało zmniejszeniem jego całkowitej powierzchni do 3,55 km² (części bilansowej do 2,94 km²) oraz zasobów bilansowych do 32,093 mln t.

Złoże polihalitu Mioszyny (ryc. 2) rozpoznano wraz ze złożem Chłapowo trzema otworami wiertniczymi w rejonie Mioszyny i udokumentowano w 1967 r. (Werner, 1967). Złoże tworzy pokład polihalitu typu halitowego, występujący w spągowej części pokładu najstarszej soli kamiennej (Na1), oraz 2 warstwy polihalitu w górnej części ogniwa anhydrytu dolnego (A1d). Głębokość występowania I pokładu polihalitu ustalono na 737,8–746,9 m, grubość pokładów zmienia się od 1,9 m do 73,0 m, średnio wynosi 31,3 m. Zawartość K_2O w złożu oceniono na 7,74–15,97%, średnio 8,79%. W 1980 r. dokonano ponownego przeliczenia zasobów złoża, uwzględniając dane z nowego otworu wiertniczego ChS-1 (Orska, 1980), i określono jego całkowitą powierzchnię na 7,39 km² (części bilansowej — na 6,64 km²) oraz zasoby bilansowe — na 341,735 mln t. Głębokość występowania I pokładu polihalitu ustalono wówczas na 737,8–802,0 m, średnią grubość pokładu na 26,02 m, a średnią zawartość K_2O w złożu na 8,75% (tab. 3).

Złoże polihalitu Swarzewo (ryc. 2) rozpoznano trzema otworami wiertniczymi w latach 1969–1970 w rejonie Swarzewa nad Zatoką Pucką i udokumentowano w 1971 r. (Werner, 1971). Złoże tworzy pokład polihalitu typu anhydrytowego, występujący w górnej części ogniwa anhydrytu dolnego (A1d). W 1974 r. dokonano ponownego przeliczenia zasobów złoża, uwzględniając dane z nowego otworu wiertniczego Sw-8 (Werner, 1974). Całkowitą powierzchnię oceniono na 4,56 km², a całkowite zasoby — na 157,033 mln t (zasoby bilansowe — na 144,027 mln t). Głębokość występowania pokładu polihalitu przyjęto na 799,48–823,0 m, średnią grubość pokładu na obszarze złoża ustalono na 13,5 m, przy wahaniami od 15,0 m do 36,3 m. Zawartość K_2O zmienia się od 7,19% do 8,48%, średnia zawartość K_2O w złożu wynosiła 7,74% (tab. 3).

Złoże polihalitu Zdrada (ryc. 2) rozpoznano w latach 1968–1971 dwoma otworami wiertniczymi zlokalizowanymi na zachód od Pucka i udokumentowano w 1972 r. (Werner, 1972b). Złoże to, podobnie jak złożo Swarzewo, składa się z 3 przewarstwień polihalitu typu anhydrytowego, występujących w górnej części ogniwa anhydrytu dolnego (A1d). Udokumentowana cała powierzchnia złoża wynosi 2,25 km², bilansowe zasoby geologiczne oszacowano wówczas na 61,157 mln t, a całość zasobów na 67,814 mln t. Głębokość występowania I pokładu polihalitu ustalono na 824,1–858,0 m, grubość pokładów zmienia się od 1,9 m do 37,0 m, średnio wynosi 18,5 m. Zawartość K_2O w złożu zmienia się od 3,5% do 12,2%, średnia zawartość wynosi 8,42% (tab. 2). W późniejszym okresie przeszacowano całkowite zasoby złoża, ustalając je na 79,17 mln t (Gientka i in., 2007).

Projekt zagospodarowania wymienionych złóż polihalitów zarysował się w latach 1980. (Peryt & Smakowski, 2006). Skład mineralny oraz chemiczny polihalitów umożliwia produkcję z nich siarczanowych soli K-Mg, bardzo poszukiwanych na rynku międzynarodowym jako składnik nawozów mineralnych i znacznie droższych od soli chlorkowych K-Mg (Peryt & Smakowski, 2006). Aktualnie brak jeszcze projektu wykorzystania tych złóż. Sytuację może zmienić rozwój intensywnego rolnictwa w kraju w odpowiedzi na rosnące światowe ceny żywności.

W rejonie Zatoki Puckiej podczas rozpoznawania złóż soli stwierdzono ponadto w 4 otworach wiertniczych występowanie w stropowej części pokładu soli kamiennej łącznie 6 warstw chlorkowych (sylwin i karnalit), chlorkowo-siarczanowych (kainit) i siarczanowych (kizeryt, tenardyt, heksahydryt i epsomit) soli potasowo-magnezowych

(Stępniewski, 1973). Cztery z nich mają grubość 2,0–3,3 m, dwie zaś — w otworach Lisewo IG1 i Chałupy IG3 — miąższość 13,0–14,1 m (Czapowski, 1998). Ich rozprzeszczenie jest jednak ograniczone do otoczenia otworów i nie oszacowano ich zasobów.

Na obszarze Niziu Polskiego nagromadzenia soli potasowych i potasowo-magnezowych są związane z ogniwa- mi: starszej (K2p) i młodszej (K3p) soli potasowej oraz rozpoznane w wysadach w Inowrocławiu, Górze, Mogilnie czy Kłodawie (np. Charysz, 1973; Garlicki, 1956; Hanczke, 1969; Stańczyk-Stasik, 1976). Jedynie w wysadzie kłodawskim sole te zostały udokumentowane w kategoriach złożowych (np. Chlebowski, 1953; Werner, 1958, 1962) jako tzw. pokład przemysłowy w obrębie ogniwa młodszej (K3p) soli potasowej. Pokład ten, o przeciętnej grubości 15–30 m i średniej zawartości: K_2O — 8,5% i MgO — 8,1%, jest zbudowany głównie z halitytu i karnalitowca kizerytowego i przebiega w obrębie skrzydła północnego NE antykliny solnej. Zasoby bilansowe tych soli w części środkowej wysadu kłodawskiego oceniono na > 72 mln t. Ich systematyczna eksploatacja nie jest prowadzona ze względu na trudne warunki geologiczne (zmienna miąższość i zawartość składników użytecznych). W 2000 r. wydobyto tu jednorazowo 1,4 tys. t soli potasowej (Przeniosło, 2004).

Z obszaru przedsuddeckiego serie soli potasowo-magnezowych typu pokładowego w obrębie sekwencji cykli PZ2 i PZ3 były opisywane w wielu pracach (np. Kłapciński, 1964; Podemski, 1972, 1974, 1975), lecz do chwili obecnej nie zostały udokumentowane złożowo (Czapowski, 2006b i literatura tam cytowana). Pokład starszej soli potasowej (K2p) na monoklinie odwiercono w 90 otworach, od granicy państwa po rejon Sulechowa i Nowej Soli, na głębokości od 917 m w rejonie Nowej Soli do 1510–1880 m w rejonie Rybak na zachód od Krosna Odrzańskie. Grubość pokładu zmienia się od 0 m do 20 m, maksymalnie sięga 30 m. Jest on zbudowany z przemiennej warstw grubości 0,1 m do 1 m, zawierających asocjacje: halit + sylwin, halit + anhydryt + polihalit, z dominacją polihalitu w stropie i spągu serii. Średnia zawartość K_2O w tych skałach wynosi 1–9% (4–9% w partiach bogatszych), maksymalnie 25%. W rejonie Rybak (Czapowski, 2006b) pokład ten, silnie zaburzony tektonicznie, osiąga grubość 3,5–26 m i zalega na gł. ok. 1510–1870 m. Występuje w nim głównie sylwin, skupiony w 2–3-centymetrowych warstewkach i smugach oraz rozproszony w halicie, ponadto polihalit. Zawartość K_2O w tych skałach wynosi 9–18% (otwór Rybaki 14). Z kolei pokład młodszej soli potasowej (K3p) odwiercono w 20 otworach w pasie szerokości 10 km, od Nowej Soli po rejon Sulechowa, gdzie zalega na gł. 838–1068 m. Tworzą go dwie strefy potasone, przedzielone kilkunastometrową serią soli kamiennej:

a) strefa górna, grubości do 12 m, składa się z sylwinu, kizerytu i polihalitu; zawartość K_2O wynosi 1–16%;

b) strefa dolna, grubości do 6 m, składa się z soli kamiennej z anhydrytem i skupień polihalitu; zawartość K_2O wynosi 1–4,5%.

Jak już wspomniano, wystąpienia te nigdy nie zostały udokumentowane złożowo i wobec znacznej głębokości ich zalegania (> 900 m) oraz zróżnicowania miąższości i litologii uznano, że nie przedstawiają one wartości przemysłowej (Bąk & Przeniosło, 1993). Ocena ich przydatności w świetle nowych potrzeb gospodarczych i technik górniczych będzie wymagać ponownego, kompleksowego rozpoznania geologicznego i udokumentowania zasobów.

Reasumując — mimo znaczących zasobów soli potasowo-magnezowych (głównie cenne polihality) — w Polsce

praktycznie nie wydobywa się tej kopaliny. Wynika to głównie z niskich cen tego surowca na rynku europejskim i dużej jego podaży z eksploatowanych wielkich złóż na Białorusi, w Rosji czy na Ukrainie.

Miocenijskie sole kamienne

Złoża miocenijskiej formacji solonośnej z południa Polski nie są eksploatowane od 1996 r., kiedy to zakończono wydobycie złoża Barycz. Zasoby bilansowe 3 złóż, ujętych obecnie w rejestrze zasobów (ryc. 1, tab. 1 i 2), wynoszą ok. 4,37 mld t, co odpowiada 5,7% zasobów złóż perm-skich. Wśród tych złóż największe, o zasobach > 2 mld t, jest złożem pokładowym (złoże Rybnik–Żory–Orzesze), dwa pozostałe zaś (Siedlec–Moszczenica i Wojnicz) reprezentują typ pokładowo-fałdowy — składają się z autochtonicznej części pokładowej oraz części pofałdowanej i nasuniętej.

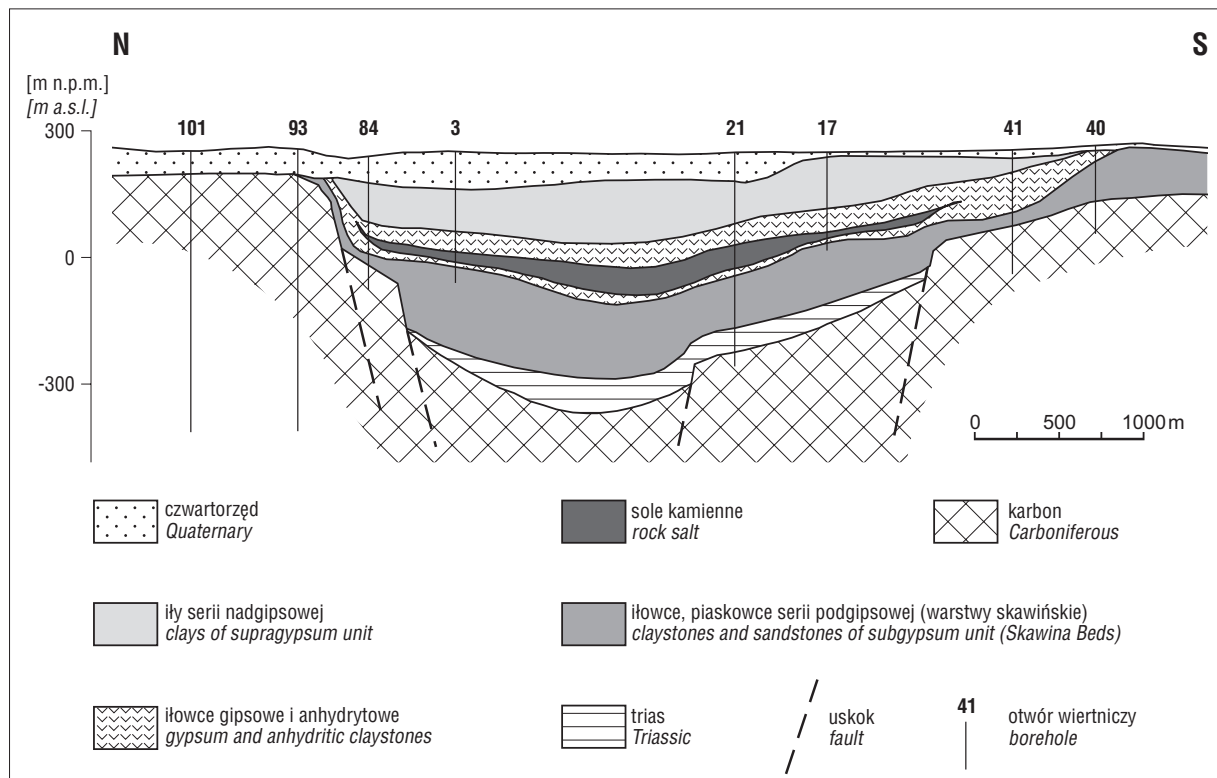
Pokładowe złożo soli kamiennej występuje między miejscowościami Rybnik, Orzesze i Żory na obszarze zapadliska górnośląskiego. Kształt ma zbliżony do elipsy, której dłuższa oś, o kierunku W-E, wynosi ok. 13 km, krótsza zaś — 6 km. Seria solna zalega na głębokości 200–300 m w obrębie miocenijskich osadów ilasto-piaszczystych i ilasto-marglistych (ryc. 7). Miąższość pokładu solnego jest zmienna — waha się w granicach od 5 m do 35 m. Największą miąższość (do 40 m) stwierdzono w okolicy Palowic.

Serię ewaporatową rozpoczyna zespół ilowców anhydrytowych o grubości 4 m, a ponad nimi pojawia się kompleks soli białej i szarej, gruboziarnistej, dość czystej, miąższości do 35 m. W środkowej części kompleksu spotyka się sole ilasto-zubrowate. Powyżej występują margliste ilowce anhydrytowe i gipsowe o różnym stopniu zapiaszczenia. Sól kamienna jest nierównomiernie zanieczyszczona materiałem terygenicznym, wskutek czego zawartość NaCl zmienia się od 68% do 98% (średnio wynosi ok. 89%).

Podłoże złoża Rybnik–Żory–Orzesze wykazuje wyraźne cechy rowu tektonicznego o kierunku W-E. Ramy rowu tworzą uskoki, przy czym po stronie północnej występuje główny uskok o zrzucie > 100 m. Zalegające wśród ilów złożo soli ma kształt niecki o bardzo łagodnym ugięciu brzegów w kierunkach równoległych do osi rowu oraz silnym wygięciu w kierunku N-S. Na brzegu północnym występuje fleksuralne przegięcie. Złożo Rybnik–Żory–Orzesze zostało rozpoznane otworami wiertniczymi w latach 1900–1907. Po II wojnie światowej przeprowadzono wiele wierceń, na podstawie których złożo zostało udokumentowane w 1969 r. w kategorii C₂.

Złożo fałdowe Siedlec–Moszczenica jest zlokalizowane w powiecie bocheńskim, kilka kilometrów na wschód od Łęczkowic. Od wschodu złożo jest ograniczone filarem kopalni soli Bochnia, od zachodu zaś filarem bezpieczeństwa dla rzeki Raby. Długość złoża wynosi ok. 6 km, a szerokość ok. 1 km. Utwory serii solnej, zmiennej miąższości, napotkano na głębokości od 25 m do 490 m. Złożo tworzy system fałdów i łusek ściśniętych na małym odcinku, przy czym utwory starsze są niejednokrotnie nasunięte na utwory młodsze, a granice złoża są dość silnie zaburzone tektonicznie. Rozpoznanie złoża Siedlec–Moszczenica postępowo z przerwami w latach 1942–1975, czyli do momentu rozpoczęcia budowy kopalni podziemnej. Zasoby udokumentowano (4 dokumentacje) w latach 1961–1994 w kategorii od C₂ do B (dwie ostatnie dokumentacje, w kategorii B + C₁ + C₂, wykonano w latach 1988 i 1994). Eksploatację podziemną, w założeniu na dwu poziomach, rozpoczęto w roku 1989, jednak wobec braku zapotrzebowania na solankę w planowanej pierwotnie wielkości (2 mln m³ rocznie) kopalnię zamknięto w roku 1991. W złożu pozostało jeszcze niezagospodarowanych 187,8 mln t soli kamiennej.

Złożo pokładowo-fałdowe Wojnicz (ryc. 1, 8) występuje na odcinku długości 10 km i szerokości 1 km, pomiędzy



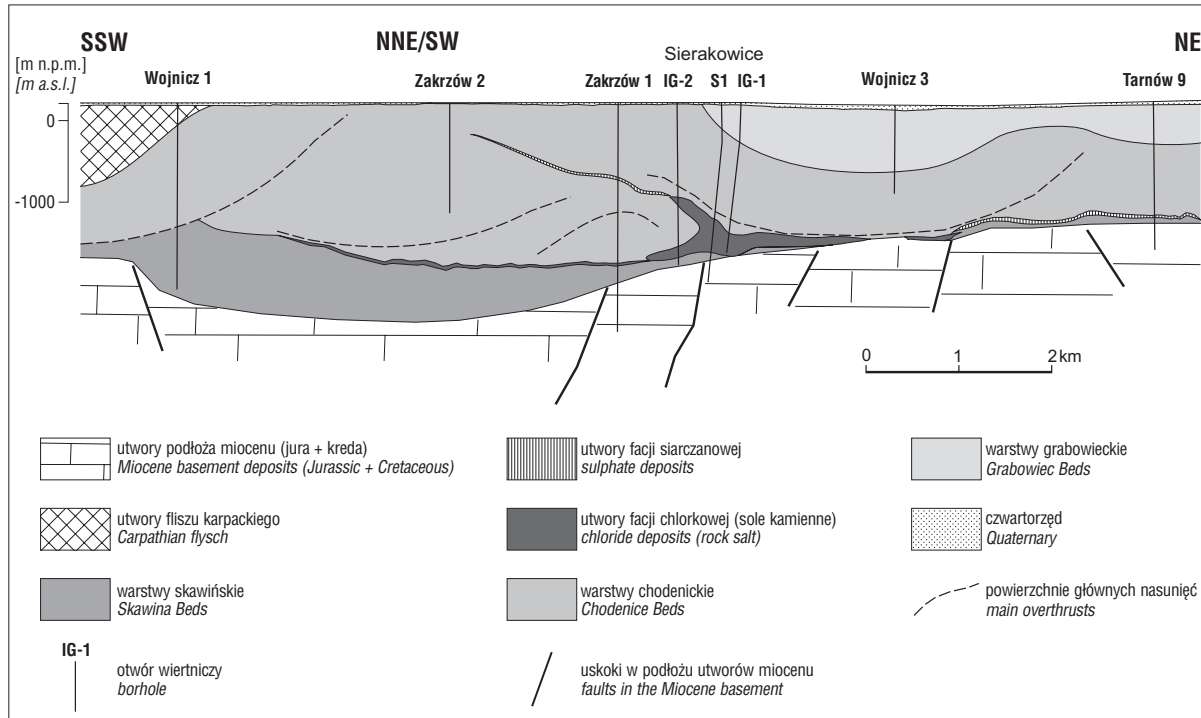
Ryc. 7. Przekrój geologiczny przez złożo soli kamiennej Rybnik–Żory–Orzesze (wg Darskiego, 1964)

Fig. 7. Geological section through the Rybnik–Żory–Orzesze rock salt deposit (after Darski, 1964)

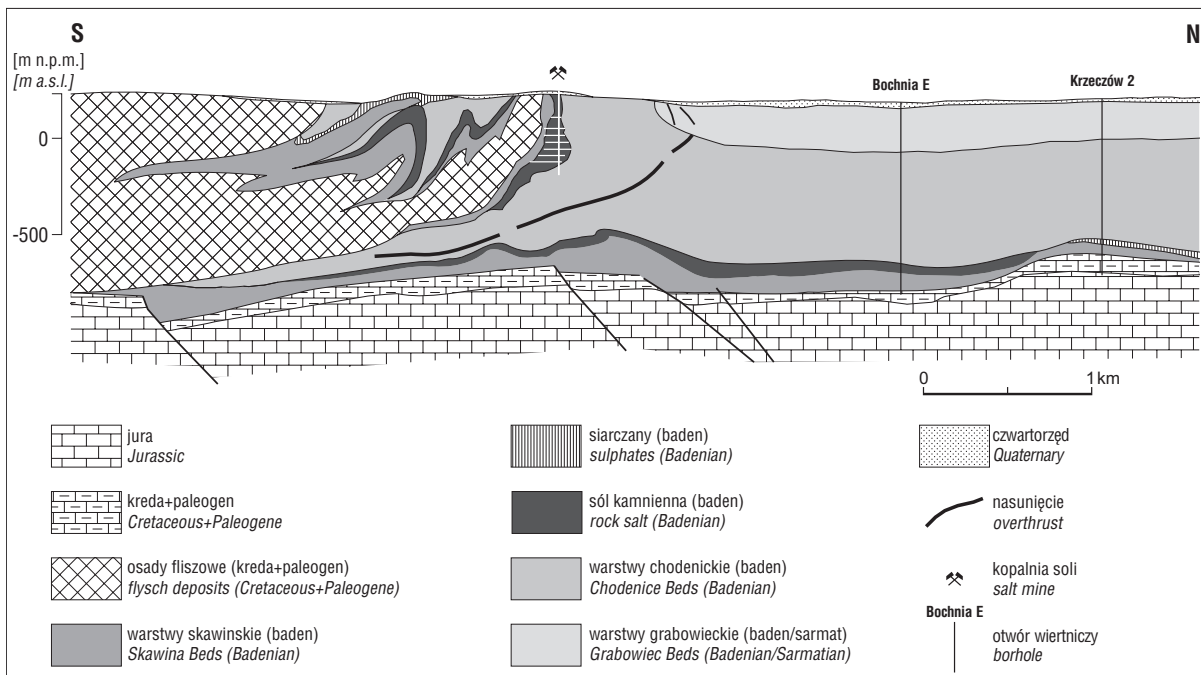
miejszczościami Biadolina i Zgłobice pod Tarnowem. Rozpoznano część wschodnią złoza, o długości ok. 2 km, w okolicy Zgłobice. Głębokość zalegania serii solnej na tym odcinku wynosi od 1000 m do 1600 m. Rozpoznane w otworach wiertniczych osady solne o łącznej miąższości nie przekraczającej 100 m są zbliżone wykształceniem do złozy Podkarpacia Bocheńskiego (sole południowe, środkowe i północne). Pokłady soli cechuje niewielki udział zanieczyszczeń oraz przerostów ilastych i anhydrytowych.

Średnia zawartość NaCl w złożu jest wysoka i wynosi ok. 95%. Budowa wewnętrzna złoza jest skomplikowana — występują w nim stromo ułożone fałdy i łuski, wzajemnie na siebie nasunięte (ryc. 8). Złoże rozpoznane otworami wiertniczymi zostało udokumentowane w kategorii C₂ w 1982 r., a jego zasoby bilansowe wynoszą 2,08 mld t.

Pozostałe złoza miocenickich soli kamiennych na obszarze zapadliska przedkarpackiego, niegdyś eksploatowane: Wieliczka, Barycz, Bochnia (ryc. 9) i Łęczkowice, mają



Ryc. 8. Schematyczny przekrój geologiczny przez złoże soli kamienną Wojnicz
Fig. 8. Schematic section through the Wojnicz rock salt deposit



Ryc. 9. Schematyczny przekrój geologiczny przez złoże soli kamienną Bochnia (wg niepublikowanej pracy J. Poborskiego, zmieniony)
Fig. 9. Schematic geological section through the Bochnia rock salt deposit (after J. Poborski's unpublished materials, modified)

jedynie historyczne znaczenie i niektóre — Wieliczka i Bochnia — są udostępniane jako obiekty turystyczno-sanatoryjne i muzealne. Pozostała w tych złożach pewna ilość zasobów stanowi filary ochronne zabytkowych części kopalni lub występuje pod terenem zabudowanym, a ich eksploatacja byłaby możliwa jedynie metodą otworową, co zdecydowanie przyczyniłoby się do degradacji środowiska w ich rejonie.

Skomplikowana budowa geologiczna złóż miocenijskich, zmienna miąższość, wykształcenie i głębokość zalegania warstw soli oraz duże zagrożenia wodne i gazowe powodują, że dalsza eksploatacja już udostępnionych złóż i zagospodarowanie nowych wydają się nieopłacalne.

Podsumowanie

Obecnie w Polsce jedynie złoża formacji permskiej mają znaczenie ekonomiczne i są przedmiotem eksploatacji.

Cztery wysadowe złoża permskiej soli kamiennej (Góra, Mogilno I i II oraz Kłodawa Centrum), eksploatowane metodami podziemną i otworową, są rozpoznane szczegółowo i mają w miarę aktualne dokumentacje (ostatnie z lat 1989–2007). Spośród pozostałych pięciu złóż wysadowych, rozpoznanych wstępnie w kategorii C₂ i C₁, jedynie złożo Damasławek ma w miarę aktualną dokumentację (1983 r.) i zostało kompleksowo zbadane w latach 1997–2001. Informacja geologiczna o pozostałych złożach pochodzi sprzed ponad ćwierć wieku. W części wydaju Mogilno (złożo Mogilno II) utworzono nowoczesny, kawernowy magazyn gazu, w wydaju Góra zaś część kawern solnych została wykorzystana do przechowywania paliw. Czas użytkowania podziemnej kopalni w wydaju Kłodawa, gdzie część wyrobisk udostępniono do celów edukacyjno-turystycznych, ocenia się na 16 lat (do roku 2025) i jest on zależny od warunków geologiczno-górnicych i rachunku ekonomicznego kosztów pozyskiwania soli w stosunku do zysków z jej sprzedaży.

Spośród pokładowych permskich złóż soli kamiennej rozpoznanych w SW Polsce obecnie jest eksploatowane jedno złożo (Kazimierzów-Sieroszowice) w obrębie pokładu najstarszej soli kamiennej ponad złożem rud miedzi w Sieroszowicach (obszar przedsudecki), udokumentowane w kategorii B + C₁ w latach 1990–2006. Istnieje koncepcja wykorzystania tego i innych pokładów soli permskich w okolicach Głogowa, np. do kawernowego magazynowania (Brańka i in., 2006a).

Wielkie możliwości różnorodnego zagospodarowania (eksploatacja soli połączona z funkcjami magazynowania i składowania) oferują — dzięki prostej budowie geologicznej i znacznej jednorodności wykształcenia soli — trzy duże pokładowe złoża soli kamiennej nad Zatoką Gdańską, udokumentowane wstępnie w kategorii C₁ i C₂ w latach 1975–1980, o łącznych zasobach ok. 21 mld t. Złoża te były już rozpatrywane jako potencjalne obiekty do budowy kawernowych magazynów gazu (realizację budowy kawernowego magazynu w złożu Mechelinki rozpoczęto w ub. roku) i podziemnych składowisk odpadów (Ślizowski & Lankof, 2009 i literatura tam cytowana).

Prowadzone zwykle przed ćwierć wiekiem badania większości niezagospodarowanych dotychczas złóż soli permskich w Polsce powodują, że wiedza o ich budowie wymaga aktualizacji z zastosowaniem nowoczesnych technik badawczych i interpretacyjnych. Aktualizacja ta jest szczególnie ważna w sytuacji, gdy rysuje się światowa tendencja wykorzystywania złóż soli kamiennej nie tylko

jako źródła pozyskiwania surowca dla przemysłu chemicznego czy drogownictwa, lecz także jako wyjątkowo bezpiecznych magazynów czy składowisk różnych mediów. Wiele z już stwierdzonych polskich złóż spełnia takie warunki, lecz podjęcie decyzji o ich zagospodarowaniu wymaga bezwzględnie opracowania ich aktualnej dokumentacji, z wykorzystaniem najnowszych metod badawczych, analitycznych i interpretacyjnych.

Udokumentowane w rejonie Zatoki Puckiej złoża soli potasowo-magnezowej (polihalitu) mogą stać się znaczącym krajowym źródłem cennego surowca do produkcji nawozów mineralnych, lecz ich wykorzystanie wymaga zmiany polityki rolnej oraz ponownego udokumentowania wobec zmiany koncepcji o genezie nagromadzeń polihalitu. Barię dla ich przemysłowego zagospodarowania są jak dotąd niskie ceny i wysoka podaż soli potasowo-magnezowych na rynkach, m.in. z wielkich złóż Białorusi, Ukrainy czy Rosji.

Autorzy bardzo dziękują Szanownemu Recenzentowi, prof. dr. hab. Tadeuszowi M. Perytowi z Państwowego Instytutu Geologicznego — Państwowego Instytutu Badawczego, za wnikliwą ocenę i cenne uwagi merytoryczno-redakcyjne, pomocne w ostatecznym przygotowaniu pracy do druku.

Literatura

- BANASZAK A., GARLICKI A. & MARKIEWICZ A. 2007 — Budowa geologiczna złoża soli kamiennej „Kazimierzów” w O.G. Sieroszowice I (kopalnia Polkowice-Sieroszowice). *Gosp. Sur. Miner.*, 23: 9–20.
- BAK B. & PRZENIOSŁO S. (red.) 1993 — Zasoby perspektywiczne kopalni Polski wg stanu na 31.II.1990 r. Państw. Inst. Geol.
- BRAŃKA S., MAZUR M. & WAWRZYŃIAK J. 2006a — Koncepcja budowy kawernowego magazynu gazu ziemnego w rejonie Dolnego Śląska. *Abstr. XI Międz. Symp. Solne QUO VADIS SAL*, Szklarska Poręba, 9–10 listopada 2006: 37–38.
- BRAŃKA S., JAWOR E., LANKOF L., MACIEJEWSKI A., MAZUR M., NEY R., PISIEWICZ T., ROGOWSKA E., ŚLIZOWSKI J., ŚLIZOWSKI K., URBAŃCZYK K. & WIŚNIEWSKA M. 2006b — Ocena możliwości magazynowania substancji w złożach soli kamiennej. *Inst. Gosp. Sur. Miner. Ener. PAN, CAG Państw. Inst. Geol.*, nr arch. 715/206.
- BRAŃKA S., CHARYSZ W., GARLICKI A., WERNER Z. & ZIĄBKA Z. 1978 — Podziemne magazynowanie węglowodorów oraz innych substancji w złożach soli w Polsce jako nowy kierunek ich wykorzystania dla gospodarki narodowej. *Prz. Geol.*, 26: 90–96.
- BURLIGA S. 1997 — Ewolucja wydaju solnego Kłodawy. *Mat. konf. Tektonika solna regionu kujawskiego, Uniejów*, 23–25.10.1997. WIND, Wrocław: 1–14.
- BURLIGA S., KOŁONKO P., MISIEK G. & CZAPOWSKI G. 1995 — Kłodawa Salt Mine. Upper Permian (Zechstein) profile from basin center, salt tectonics, mineral transformations, salt mining problems. XIII International Congress on Carboniferous-Permian Guide to Excursion A3. *Państw. Inst. Geol.*: 45–54.
- CHARYSZ W. 1973 — Cechsztyńskie piętro soli młodszych (Z3) w rejonie kujawskim. *Pr. Inst. Geol.*, 75: 1–68.
- CHLEBOWSKI T. 1953 — Dokumentacja geologiczna kłodawskiego złoża soli potasowych. *CAG Państw. Inst. Geol.*, nr arch. 3928/394.
- CZAPOWSKI G. 1987 — Sedimentary facies in the Oldest Rock Salt (Na) of the Leba elevation (northern Poland). *Springer Verlag, Lecture Notes of Earth Sciences*, 10: 207–224.
- CZAPOWSKI G. 1998 — Geneza najstarszej soli kamiennej cechsztyńskiej w rejonie Zatoki Puckiej (Studium sedimentologiczne). *CAG Państw. Inst. Geol.*, nr arch. 696/99.
- CZAPOWSKI G. 2006a — Możliwości bezpiecznego podziemnego magazynowania węglowodorów (paliw) w strukturach geologicznych na obszarze Polski. *Prz. Geol.*, 54: 658–659.
- CZAPOWSKI G. 2006b — Cechsztyńskie sole potasowo-magnezowe na obszarze centralnej i południowo-zachodniej Polski. *Prz. Geol.*, 54: 317.
- CZAPOWSKI G. & ŚLIZOWSKI K. 2008 — Stan rozpoznania niezagospodarowanych wydajów solnych w Polsce: optymizm czy problem? *Gosp. Sur. Miner.*, 24: 299–303.
- CZAPOWSKI G. & TOMASSI-MORAWIEC H. 1985 — Sedymentacja i geochemia najstarszej soli kamiennej w rejonie Zatoki Puckiej. *Prz. Geol.*, 33: 663–670.

- CZAPOWSKI G. & TOMASSI-MORAWIEC H. 2006 — Wykształcenie, geochemia, geneza i kierunki zagospodarowania cechsztyńskich pokładowych złóż soli kamiennych na obszarze Lubiąsko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego. Abstr. XI. Międz. Symp. Solnego QUO VADIS SAL, Szklarska Poręba, 9–10 listopada 2006: 7–10.
- CZAPOWSKI G., DĘBSKI J., KASPRZYK A., KIEŻEL W., LANGIER-KUŹNIAROWA A. & PERYT T.M. 1992 — Monografia anhydrytu i soli kamiennej na monoklinie przedsudeckiej (rejon LGOM). CAG Państw. Inst. Geol., nr arch. 20/93.
- CZAPOWSKI G., SADOWSKI A., MISIEK G. & KOLONKO P. 2005 — Możliwości niekonwencjonalnego wykorzystania walołów przyrodniczych i technicznych kopalni soli Kłodawa. Tech. Posz. Geol., Geosynoptyka i Geotermia, 234–235, 4–5: 35–47.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K. & GIENKA M. 2008a — Aktualny stan rozpoznania geologicznego złóż soli kamiennej w Polsce. Biul. Państw. Inst. Geol., 429: 27–36.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., CHEŁMIŃSKI J. & TOMASZCZYK M. 2008b — Stopień rozpoznania i perspektywy zagospodarowania cechsztyńskich złóż soli w rejonie Zatoki Gdańskiej. Gór. Odkryw., XLX/II, 2–3: 47–55.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., TADYCH J., GRZYBOWSKI Ł. & SZTYRAK T. 2009 — Wykształcenie i tektonika utworów solnych cechsztynu w wydzie solnym Góra koło Inowrocławia w świetle wyników kompleksowych badań geochemiczno-litologicznych w wybranych otworach wiertniczych. Prz. Geol., 57: 494–503.
- DADLEZ R., MOJSKI J.E., SŁOWAŃSKA B., UŚCINOWICZ S. & ZACHOWICZ J. (eds) 1995 — Atlas geologiczny południowego Bałtyku, skala 1 : 500 000. Państw. Inst. Geol.
- DARSKI J. 1964 — Miocenska seria solna okolicy Rybnika w świetle nowych materiałów geologicznych. Arch. WGGiOŚ AGH.
- DROGOWSKI J. & TADYCH J. 2006 — Budowa geologiczna i zagospodarowanie wydajnych solnych „Mogilno I” i „Góra” — stan aktualny i perspektywy. Prz. Geol., 54: 306.
- GARLICKI A. 1956 — Sole starsze na wydzie kłodawskim ze szczególnym uwzględnieniem poziomów soli potasowo-magnezowych. CAG Państw. Inst. Geol., nr arch. 3928/470.
- GARLICKI A., KJIEWSKI P. & SZYBIST A. 1996 — Sól kamienna na obszarze przedsudeckim. KGHM Polska Miedź S.A., Lubin.
- GIENKA M., MALON A. & TYMIŃSKI M. (eds) 2006 — Bilans zasobów kopalni i wód podziemnych w Polsce wg stanu na 31.XII.2005 r. Państw. Inst. Geol.
- GIENKA M., MALON A. & TYMIŃSKI M. (eds) 2007 — Bilans zasobów kopalni i wód podziemnych w Polsce wg stanu na 31.XII.2006 r. Państw. Inst. Geol.
- GIENKA M., MALON A. & DYLAĞ K. (eds) 2008 — Bilans zasobów kopalni i wód podziemnych w Polsce wg stanu na 31.XII.2007 r. Państw. Inst. Geol.
- HANCZKE T. 1969 — Mineralogia i petrografia soli cechsztyńskich kopalni Kłodawa. Pr. Muz. Ziemi, 16: 3–52.
- KARNKOWSKI P.H. & CZAPOWSKI G. 2007 — Underground hydrocarbons storages in Poland: actual investments and prospects. Prz. Geol., 55: 1068–1074.
- KJIEWSKI P. & SALSKI W. 1978 — Cechsztyńska sól kamienna cyklotemu Z1 w południowo-zachodniej części monokliny przedsudeckiej. Geol. Sudet., 3: 97–134.
- KŁAPCZYŃSKI J. 1964 — Paleogeografia cechsztynu monokliny przedsudeckiej. Roczn. PTG, 34: 551–557.
- KŁECZEK Z. & ZEJLAŚ D. 2004 — Lokalizacja podziemnego składowiska odpadów promieniotwórczych w Polsce. Prz. Geol., 52: 649–652.
- KOZULA R. & GOLCZAK A. 1988 — Dokumentacja geologiczna złoża rud miedzi „Bytom Odrzański” w kat. C₁ i C₂. CAG Państw. Inst. Geol., nr arch. 17185.
- KOZULA R., KORZEKWA W. & MARKIEWICZ A. 2006 — Aneks nr 1 do projektu prac rozpoznawczych złoża soli kamiennej „Kazimierzów” w kategorii C₁ i B (Część złoża soli kamiennej występującego ponad złożem rud miedzi „Sieroszwice”). Pr. KGHM CUPRUM sp. z o.o. (CBR).
- KUNSTMAN A., POBORSKA-MŁYNARSKA K. & URBAŃCZYK K. 2002 — Zarys otworowego ługownictwa solnego. Aktualne kierunki rozwoju. Ucel. Wydaw. Nauk.-Dydak. AGH.
- LASKOWSKA T., SZCZEBYŁO J., GAŚKA K. & WILKOSZ P. 2009 — Polskie magazyny gazu ziemnego — od mogilna do Kosakowa. Prz. Geol., 57: 755–756.
- MARKIEWICZ A. 2007 — Naskórkowa struktura południowej części monokliny przedsudeckiej a zagospodarowanie utworów najstarszej soli kamiennej (Na1). Gosp. Sur. Miner., 23: 35–49.
- MARKIEWICZ A., PYTEL W. & ZALEWSKA A. 2007 — Koncepcja wybudowania Laboratorium Fizyki Cząstek w złożu najstarszej soli kamiennej na terenie LGOM. Gosp. Sur. Miner., 23: 190–192.
- NIELUBOWICZ B. 1989 — Odpady promieniotwórcze. Wstępne badania i analizy wyboru lokalizacji składowiska. Centrum Informatyki Energetyki, Biblioteka Postępów Techniki Jądrowej, Ochrona przed Promieniowaniem, nr 99 (666).
- ORSKA J. 1980 — Dodatek do dokumentacji złoża polihalitu i soli kamiennej „Chłapowo-Mieroszyno”, gm. Władysławowo, Puck, woj. gdańskie. CAG Państw. Inst. Geol., nr arch. 7790.
- ORSKA J. & WERNER Z. 1987 — Sole kamienne i potasowe. [W:] Budowa geologiczna Polski, T. 6, Złoża surowców mineralnych, Osika R. (red.). Wyd. Geol.: 418–438.
- PERYT T. M. 1995 — Geneza złóż polihalitu w cechsztynie rejonu Zatoki Puckiej w świetle badań sedimentologicznych i geochemicznych. Prz. Geol., 43: 1041–1044.
- PERYT T.M. & SMAKOWSKI T. 2006 — Cechsztyńskie sole potasowo-magnezowe w rejonie Zatoki Gdańskiej. Prz. Geol., 54: 316–317.
- PERYT T.M., CZAPOWSKI G., DĘBSKI J., GAŚIEWICZ A., HERBICH E. & PIZON A. 1984 — Poszukiwania złóż soli cechsztyńskich polihalitu na wyniesieniu Łeby. Cześć I. Analiza geologicznych warunków występowania i genezy polihalitu i soli cechsztyńskich na wyniesieniu Łeby. CAG Państw. Inst. Geol., nr arch. 33716, 33/177.
- PERYT T.M., PIERRE C. & GRYNIV S.P. 1998 — Origin of polyhalite deposits in the Zechstein (Upper Permian) Zdrada platform (northern Poland). Sedimentology, 45: 565–578.
- PODEMSKI M. 1972 — Cechsztyńskie sole kamienne i potasowe cyklotemów Z2, Z3 w okolicach Nowej Soli. Biul. Inst. Geol., 260: 5–62.
- PODEMSKI M. 1974 — Wyniki dotychczasowych badań soli potasowych w strefie przedsudeckiej. Prz. Geol., 21: 7–12.
- PODEMSKI M. 1975 — Sole cechsztyńskie w rejonie struktury Rybaki. Biul. Inst. Geol., 286 (III): 5–63.
- PREIDL M. 1990 — Dokumentacja geologiczna złoża soli kamiennej występującej ponad złożem rud miedzi kopalni Sieroszwice. Zasoby w kategorii C₁ i szacunkowe. CAG Państw. Inst. Geol., nr arch. 732/91.
- PRZENIOSŁO S. (ed.) 2004 — Bilans zasobów kopalni i wód podziemnych w Polsce wg stanu na 31.12.2003 r. Państw. Inst. Geol.
- STAŃCZYK-STASIK I. 1976 — Utwory epigenetyczne w kopalniach soli regionu kujawskiego. Pr. Geol. PAN, Oddz. w Krakowie, 90: 1–64.
- STĘPNIŃSKI M. 1973 — Niektóre pierwiastki śladowe w cechsztyńskich minerałach solnych z rejonu Zatoki Puckiej. Biul. Inst. Geol., 272, 10: 7–68.
- SZYBIST A. 1976 — Złoże soli kamiennej w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym. Prz. Geol., 24: 572–576.
- ŚLIZOWSKI K. & LANKOF L. 2009 — Uwarunkowania geologiczne składowania wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych w złożach soli w Polsce. Prz. Geol., 57: 829–838.
- ŚLIZOWSKI K., KÖHSLING J. & LANKOF L. 2004 — Uwarunkowania podziemnego składowania odpadów niebezpiecznych w Polsce. Studia, Rozprawy, Monografie IGSMiE PAN, 129: 1–264.
- TARKA R. 1992 — Tektonika wybranych złóż soli w Polsce na podstawie badań mezostrukturalnych. Pr. Państw. Inst. Geol., 147: 1–47.
- TOMASSI-MORAWIEC H. 2003 — Charakterystyka geochemiczna najstarszej soli kamiennej (Na1) w rejonie Zatoki Puckiej. Prz. Geol., 51: 693–702.
- TWAROGOWSKI J., BRUSZEWSKA B., CZAPOWSKI G., DĄBROWSKA B. & ZIENTARA P. 2002 — Kompleksowe badanie budowy geologicznej struktur przypowierzchniowych z zastosowaniem analizy danych geologiczno-geofizycznych na przykładzie rozpoznania wydaju solnego „Damasławek” i jego otoczenia. Prz. Geol., 50: 1169–1176.
- WERNER Z. 1958 — Dokumentacja geologiczna złoża soli potasowo-magnezowych i soli kamiennej w Kłodawie. CAG Państw. Inst. Geol., nr arch. 3928/369.
- WERNER Z. 1962 — Dokumentacja geologiczna złoża soli potasowo-magnezowych i soli kamiennej w kłodawskim wydzie solnym. CAG Państw. Inst. Geol., nr arch. 3927/209.
- WERNER Z. 1967 — Dokumentacja geologiczna złoża polihalitu i soli kamiennej „Chłapowo-Mieroszyno”. CAG Państw. Inst. Geol., nr arch. 2973/32.
- WERNER Z. 1971 — Dokumentacja geologiczna złoża polihalitu „Swarzewo”, pow. Puck. CAG Państw. Inst. Geol., nr arch. 3027/213.
- WERNER Z. 1972a — Złoża soli potasowych w rejonie Zatoki Puckiej. Przew. 54. Zjazdu PTG, Cetniewo: 37–46.
- WERNER Z. 1972b — Dokumentacja geologiczna złoża polihalitu „Zdrada”, pow. Puck. CAG Państw. Inst. Geol., nr arch. 30126/113.
- WERNER Z. 1974 — Dodatek do dokumentacji geologicznej złoża polihalitu „Swarzewo”, pow. Puck. CAG Państw. Inst. Geol., nr arch. 2927/40.
- WERNER Z. 1975 — Dokumentacja geologiczna złoża soli kamiennej „Mechelinki”, kat. C₁, woj. gdańskie. CAG Państw. Inst. Geol., nr arch. 11637.
- WERNER Z. 1978 — Dokumentacja geologiczna złoża soli kamiennej w kat. C₁ w rejonie Zatoki Puckiej, woj. gdańskie. CAG Państw. Inst. Geol., nr arch. 13050.
- WERNER Z., POBORSKI J., ORSKA J. & BĄKOWSKI J. 1960 — Złoże solne w Kłodawie w zarysie geologiczno-górnictwym. Pr. Inst. Geol., 30: 467–512.

Praca wpłynęła do redakcji 02.07.2009 r.

Po recenzji akceptowano do druku 16.07.2009 r.