

Uran w Polsce – historia poszukiwań i perspektywy odkrycia złóż

Jerzy B. Miecznik¹, Ryszard Strzelecki¹, Stanisław Wołkowicz¹



J.B. Miecznik

R. Strzelecki

S. Wołkowicz

Uranium in Poland – history of prospecting and chances for finding new deposits. *Prz. Geol.*, 59: 688–697.

A b s t r a c t. The plans for development of nuclear energy to cover Poland's needs for power raise the question of perspective domestic uranium resources. Prospecting for uranium deposits has been carried out with varying intensity since the end of the 1940s until the 1990s. In the early 1960s these works resulted in discovery of several uranium deposits and occurrences in the Sudetes. Outside of that region, uranium was also found and extracted from the Staszic pyrite deposit in Rudki, the Holy Cross Mountains. Total production of uranium in these times in Poland is estimated at about 650 t.

A new phase of prospecting was initiated by the Polish Geological Institute in 1956, resulting in discoveries of uranium mineralization in the Ordovician Dictyonema Shales in the Podlasie Depression and the Lower and Middle Triassic sediments in the Peribaltic Syncline. Moreover, the so-called parallel studies, based on all the available geological and geophysical borehole data from the whole area of Poland, made it possible to analyze distribution of uranium in practically all geological units and formations in the country, especially in the Oligocene Menillite Shales of the Carpathians, the Carboniferous of the Upper Silesian Coal Basin, Zechstein copper-bearing shale and phosphates. The performed analyses, including large-scale geological works aimed at identifying uranium concentrations in the Dictyonema Shale of the Podlasie Depression, Triassic rocks of the Peribaltic Syncline and Permian-Carboniferous rocks of the Intra-Sudetic Depression, gave us sufficient knowledge for evaluation of possible occurrences of uranium deposits in Poland. Based on our reanalysis of all available data, it may be stated that the Sudetic deposits are of historical importance only. The uranium concentrations known from Upper Carboniferous and Lower Permian rocks (Grzmiąca, Wambierzyce and Okrzeszyn deposits and mineralization shows found in adjacent areas) should be treated as areas with anomalous uranium contents but, unfortunately, without any greater economic significance due to low uranium content, low resources and often observed strong association of uranium with organic matter. The Rajsk deposit and uranium concentrations in the Dictyonema Shale formations (Podlasie Depression) are characterized by low grade uranium mineralization and occurrence at depths of over 400 m and, therefore, can not be considered as a potential source of uranium. The Triassic rocks of Peribaltic Syncline represent a possible uranium deposit of the sandstone type. However, because of large depth of occurrence (over 800 m), usually very high variability in uranium content and location mainly in areas under legal protection, these resources should be hypothetical, that is requiring further studies. It may be stated that the degree of recognition of radioactivity of individual geological formations and structures minimizes chances for discovery of any deposits of industrial importance.

Keywords: Poland, uranium deposits



Powrót do koncepcji budowy elektrowni jądrowych w Polsce sprawił, że aktualne stało się pytanie o możliwości wytwarzania paliwa z wykorzystaniem krajowych zasobów rud uranu. Należy ustalić, jakie ilości uranu są niezbędne do zaspokojenia potrzeb elektrowni. W planach rozwoju energetyki jądrowej przewiduje się zbudowanie i uruchomienie do 2030 roku dwóch elektrowni o łącznej mocy 6 GWe (6000 MW). Porównajmy to z danymi globalnymi, opublikowanymi w roku 2008 przez NEA (Nuclear Energy Agency) i IAEA (International Atomic Energy Agency) (OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development) (NEA & IAEA, 2008), z których wynika, że w 2006 roku moc pracujących na świecie elektrowni jądrowych wynosiła 370 GWe, a ich zapotrzebowanie na uran było równe 66 500 t. Zatem średnio na wytworzenie 1 GWe, niezależnie od stosowanej technologii, zużyto 180 t uranu. Można przyjąć, że elektrownia wytwarzająca 3 GWe będzie potrzebowała rocznie ok. 540 t uranu, a w przewidywanym 60-letnim okresie eksploatacji zużyje ok. 32 400 t uranu. Pomijamy tu prognozę rozwoju technologicznego w energetyce jądrowej, bo nie da się określić jego skali i wpływu na zmniejszenie zużycia surowca.

Nasuują się następujące pytania:

- jak duże są znane zasoby uranu w Polsce?
- czy są one w stanie choćby częściowo zaspokajać przewidywane potrzeby?
- jakie mogą być koszty finansowe pozyskania uranu z krajowych złóż?
- czy uwarunkowania środowiskowe i brak akceptacji społecznej nie będą przeszkodą w eksploatacji złóż?

Od ponad 2 lat pojawiają się w prasie informacje o polskim uranie i czas ustalić racjonalne, oparte na zgromadzonej wiedzy stanowisko w sprawie krajowych możliwości surowcowych. W roku 2009 w *Polityce Energetycznej* opublikowano artykuł Marka Niecia (Nieć, 2009) poświęcony perspektywom poszukiwania i ocenie znanych złóż uranu w Polsce. W 2010 roku na zlecenie Ministerstwa Środowiska zespół specjalistów pod kierunkiem Andrzeja Soleckiego przygotował obszerne studium pt. *Ocena możliwości występowania mineralizacji uranowej w Polsce na podstawie wyników prac geologiczno-poszukiwawczych*. Jeden z autorów niniejszego artykułu był recenzentem tego opracowania (Strzelecki, 2010). Zasadnicze jego tezy ukazały się w *Przeglądzie Geologicznym* (Solecki i in., 2011). Niniejszy artykuł jest głosem geologów Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego (Państwowy Instytut Geologiczny, PIG-PIB), którzy w latach 70. i 80. XX wieku bezpośrednio zajmowali się projektowa-

¹Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; jerzy.miecznik@pgi.gov.pl, ryszard.strzelecki@pgi.gov.pl, stanislaw.wolkowicz@pgi.gov.pl.

niem oraz realizacją poszukiwań i badań złóż uranu w Polsce. Miniony okres ponad 20 lat sprzyjał przemysłowi zdobytych wówczas doświadczeń i nabraniu dystansu do wielu podejmowanych przedsięwzięć i dokonywanych ocen. W tym czasie nie prowadzono żadnych geologicznych prac poszukiwawczych, które dostarczyłyby nowych danych.

W artykule zastosowano typologię złóż zaproponowaną przez Dahlkampa (1978), omówioną w literaturze polskiej przez Paulo i Piestrzyńskiego (1991).

Historia poszukiwań uranu w Polsce

Na początku chcielibyśmy zwrócić uwagę na ogromną ilość prac poszukiwawczych wykonanych po II wojnie światowej na terenie kraju. Obszerne omówienie przebiegu i zakresu tych prac w pierwszych dwóch dekadach (lata 50. i 60. XX wieku) znalazło się w artykule Soleckiego i in. (2011). Zainteresowanym historią Zakładów Przemysłowych R-1 w Kowarach polecamy wydaną w roku 2010 bogatą w informacje książkę Roberta Klementowskiego *W cieniu sudeckiego uranu. Kopalnictwo uranu w Polsce w latach 1948–1973*. Ograniczymy się zatem do wypunktowania kilku zagadnień:

- ❑ Rezygnacja Rosjan w 1956 roku z dalszego udziału w poszukiwaniach uranu wynikała z przesłanek ekonomicznych. Dysponowali oni już wiedzą, że obszar Polski nie jest interesujący z punktu widzenia możliwości występowania dużych i łatwo dostępnych złóż uranu. Świadczyć może o tym raport Pienińskiego (Zdulski, 2000). W niektórych innych tzw. krajach demokracji ludowej, np. w NRD i Czechosłowacji, gdzie odkryto bogate złoża uranu, udział Rosjan trwał jeszcze wiele lat.
- ❑ W latach 50. i 60. XX wieku uznano, że jedyna faktycznie uranonośna regionalna jednostka geologiczna w Polsce to Sudety, szczególnie krystalinik izersko-karkonoski oraz permokarbon depresji śródsudeckiej (ryc. 1). Odkryto kilka złóż rud uranu o zasobach od kilkudziesięciu do 938 t uranu, pośród nich *Radoniów*, *Podgórze*, *Wolność* (z uranem jako kopalina towarzysząca), które zostały wyeksploatowane, oraz *Okrzeszyn* i *Grzmiącą*, gdzie podjęto eksploatację próbną.
- ❑ Wszystkie większe złoża (z wyjątkiem *Grzmięcej*) odkryto na początku lat 50. XX wieku (lub wcześniej).

Zasadniczym celem powołanego w 1956 roku Zakładu Pierwiastków Promieniotwórczych w Państwowym Instytucie Geologicznym (wówczas Instytucie Geologicznym) było rozpoznawanie uranonośności badanych dopiero wgłębnym struktur Niżu Polskiego. Stosowano tu tzw. badania równoległe, które polegały na robieniu pomiarów radiometrycznych skał i wód w wyrobiskach kopalnianych, analizie karotaży geofizycznych ze wszystkich wykonywanych wówczas w kraju otworów wiertniczych, a także opróbowywaniu i badaniu skał ze stwierdzonych tym sposobem anomalii radiometrycznych. W efekcie bardzo intensywnych wówczas geologicznych prac rozpoznawczych i poszukiwawczych realizowanych z zastosowaniem wierceń na obszarze całej Polski napływały ogromne ilości materiałów. Warto wspomnieć, że na Niżu Polskim do początku lat 80. XX wieku na potrzeby przemysłu naftowego wykonano 4,3 mln mb wierceń (Depowski, 1987), do czego należy doliczyć wiercenia parametryczno-strukturalne i poszukiwawczo-rozpoznawcze realizowane w

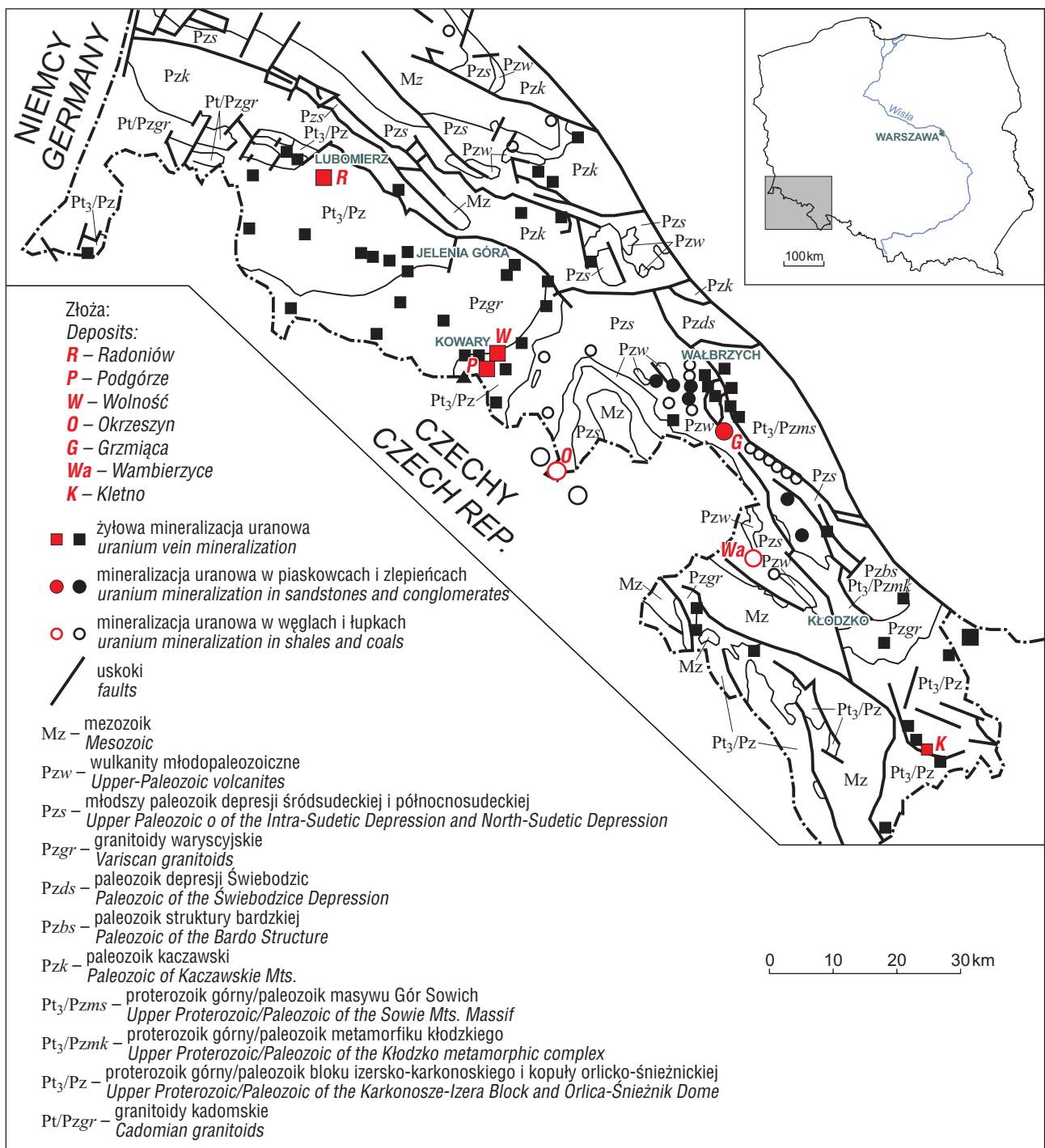
innych celach. Dzięki analizie karotaży promieniowania gamma (PG) odkryto koncentracje uranu w ordowickich łupkach dictyonemowych obniżenia podlaskiego (Sałdan, 1967) oraz w triasie syneklizy perybałtyckiej (Kanasiewicz i in., 1965) i monokliny przedsudeckiej (Sałdan, 1973). Uzyskano wiedzę na temat obecności uranu w bardzo różnych strukturach i formacjach geologicznych występujących na różnych głębokościach na Niżu Polskim i w innych rejonach kraju (Bareja i in., 1973; Morawski, 1973; Strzelecki, 1976, 1977, 1978; Miecznik, 1976; Bareja, 1977, 1979; Bareja & Kubicki, 1983).

W ramach badań równoległych podejmowano także badania uranonośności wybranych jednostek lub formacji geologicznych, m.in. Gór Świętokrzyskich (Uberna, 1962, 1964, 1970), fosforytów (Borucki, 1962), oligoceńskich łupków bitumicznych warstw menilitowych Karpat (Kita-Badak i in., 1965; Bareja i in., 1975), karbonu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (Sałdan, 1965), węgla kamiennych Polski (Jęczalik, 1970), cechsztyńskich łupków międzonośnych depresji północnosudeckiej (Kanasiewicz & Uberna, 1961), syluru Gór Kaczawskich i Gór Bardzkich (Miecznik & Strzelecki, 1978) czy kredy sudeckiej (Miecznik i in., 1980).

W Sudetach Państwowy Instytut Geologiczny wykonał geochemiczne zdjęcie uranometryczne (Zajączkowski, 1962, 1968) służące celom bezpośrednio prospekcyjnym, jego wyniki wykorzystano także w badaniach geologicznych, geochemicznych i mineralogicznych podjętych z udziałem Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, obejmujących niektóre złoża i wystąpienia uranu, jak również całe masywy skalne (Nielubowicz & Wróblewski, 1963; Banaś, 1965; Jaskólski, 1965; Jeliński, 1965; Mochnacka, 1966, 1975; Depciuch, 1968; Przeniosło, 1970; Sylwestrzak, 1972). Badania pozwoliły pogłębić i uporządkować wiedzę o rozmieszczeniu uranu, paragenezach mineralnych, genezie wystąpień, a także inspirowały do poszukiwań uranu (Lis & Sylwestrzak, 1979; Miecznik & Strzelecki, 1979).

Jednak głównym kierunkiem działań było poszukiwanie i rozpoznawanie wystąpień uranu w strukturach i formacjach zakrytych, niedostępnych podczas stosowania powierzchniowych metod poszukiwawczych.

W roku 1968 rozpoczęto wiercenia w celu rozpoznania uranonośności łupków dictyonemowych obniżenia podlaskiego (ryc. 2). Zachętą do podjęcia prac były bardzo obiecujące wyniki uzyskane w otworze Rajsk IG-1. W ramach kilku projektów robót poszukiwawczych opracowanych przez Mariana Sałdana odwiercono 62 otwory wiertnicze o łącznym metrażu ok. 38 000 mb, w tym otwór pełnordzeniowy w miejscu projektowanego szybu wydobywczego. Ponadto wykonano profilowania sejsmiczne i badania hydrogeologiczne, analizy warunków górniczych oraz badania technologiczne rud. W wyniku prac poszukiwawczych na obszarze o powierzchni 16 km² położonym na północ od Bielska Podlaskiego opracowano *Dokumentację geologiczną złoża rud uranu Rajsk* (Sałdan i in., 1976), a następnie dokonano podsumowania 10-letniego okresu prac badawczych prowadzonych w północno-wschodniej części obniżenia podlaskiego (Sałdan i in., 1977). Analiza wyników tych prac wykazała obecność w łupkach dictyonemowych ubogiej mineralizacji uranowo-wanadowo-molibdenowej nienadającej się – z ekonomicznego i technologicznego punktu widzenia – do podjęcia eksploatacji górniczej. Po roku 1977 prac geologicznych i badawczych już nie prowadzono.

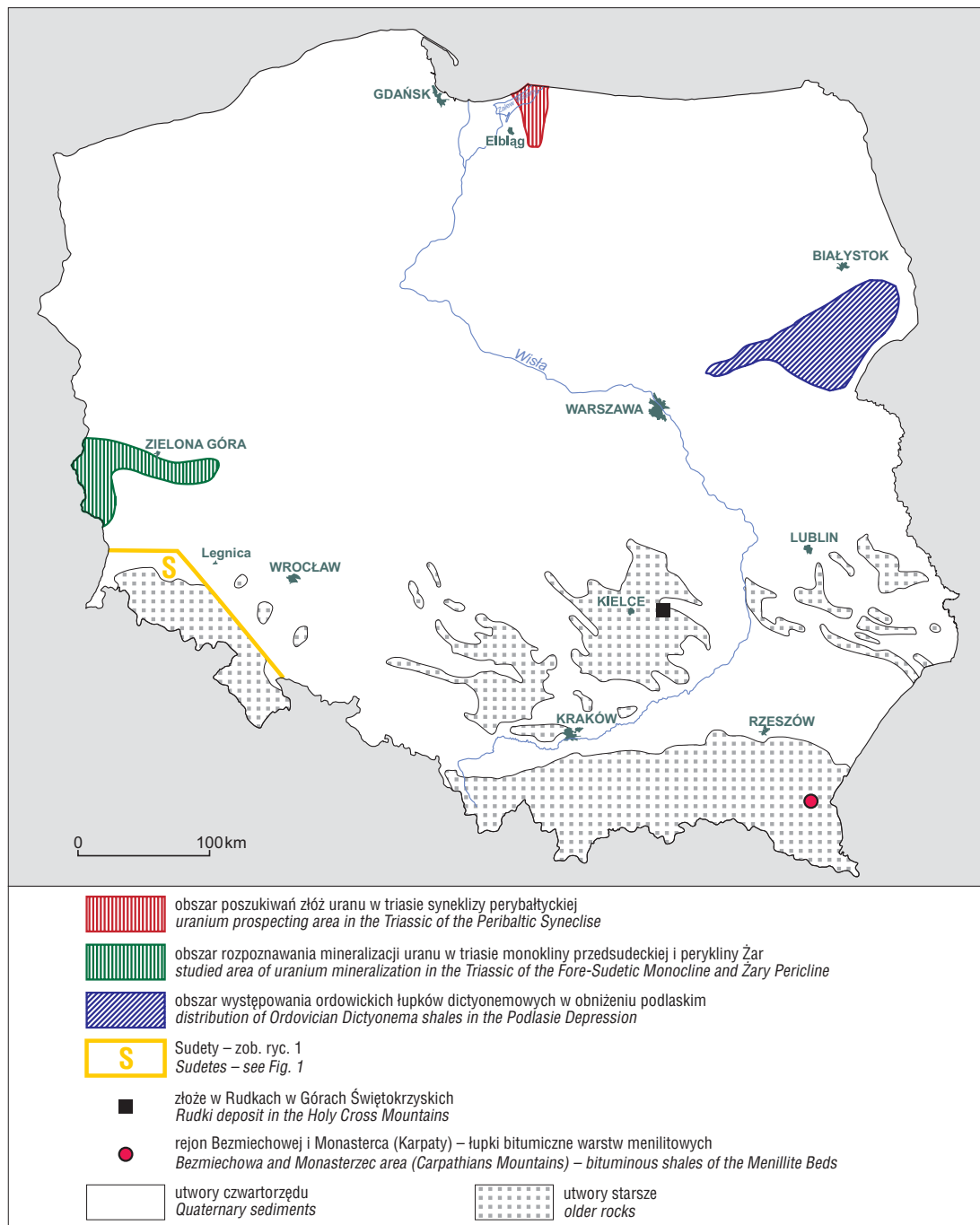


Ryc. 1. Złoża uranu i punkty mineralizacji uranowej w Sudetach (wg Barei i in., 1982, zmienione)
Fig. 1. Uranium deposits and occurrences in Sudetes (after Bareja et al., 1982, modified)

W roku 1975 rozpoczęto prace poszukiwawcze uranu w utworach triasu dolnego i środkowego syneklizy perybałtyckiej na podstawie projektu opracowanego przez Sałdanę i Strzeleckiego. W I etapie wykonano 12 otworów zlokalizowanych w strefie pomiędzy Krynica Morską (wieś Piaski) a Paślkiem. W 1977 roku rozszerzono program wierceń na Mierzei Wiślanej o kolejne 11 otworów wiertniczych. W sumie w latach 1975–1984 odwiercono 23 otwory o łącznym metrażu ok. 25 000 mb. Oprócz mało ciekawej mineralizacji zbliżonej do typu łupkowego w środkowym pstrym piaskowcu (formacja lidzbarska) w wyższej części profilu górnego pstręgo piaskowca (for-

macja elbląska) stwierdzono obecność mineralizacji w piaskowcach (*sandstone type deposits*) (Strzelecki, 1980; Bareja, 1983) o cechach bardzo zbliżonych do złóż w USA, Nigrze czy Kazachstanie.

W roku 1978 Państwowy Instytut Geologiczny wykonał wglębne rozpoznanie uranonośności górnego karbonu północno-wschodniego skrzydła depresji śródsudeckiej między złożem *Grzmiąca* a okolicą Nowej Rudy (ryc. 3). Głównym celem prac było ustalenie pozycji geologicznej mineralizacji i określenie czynników decydujących o jej występowaniu i rozmieszczeniu w najsłabiej rozpoznanym fragmencie depresji. Odwiercono 10 otworów rozpoznaw-



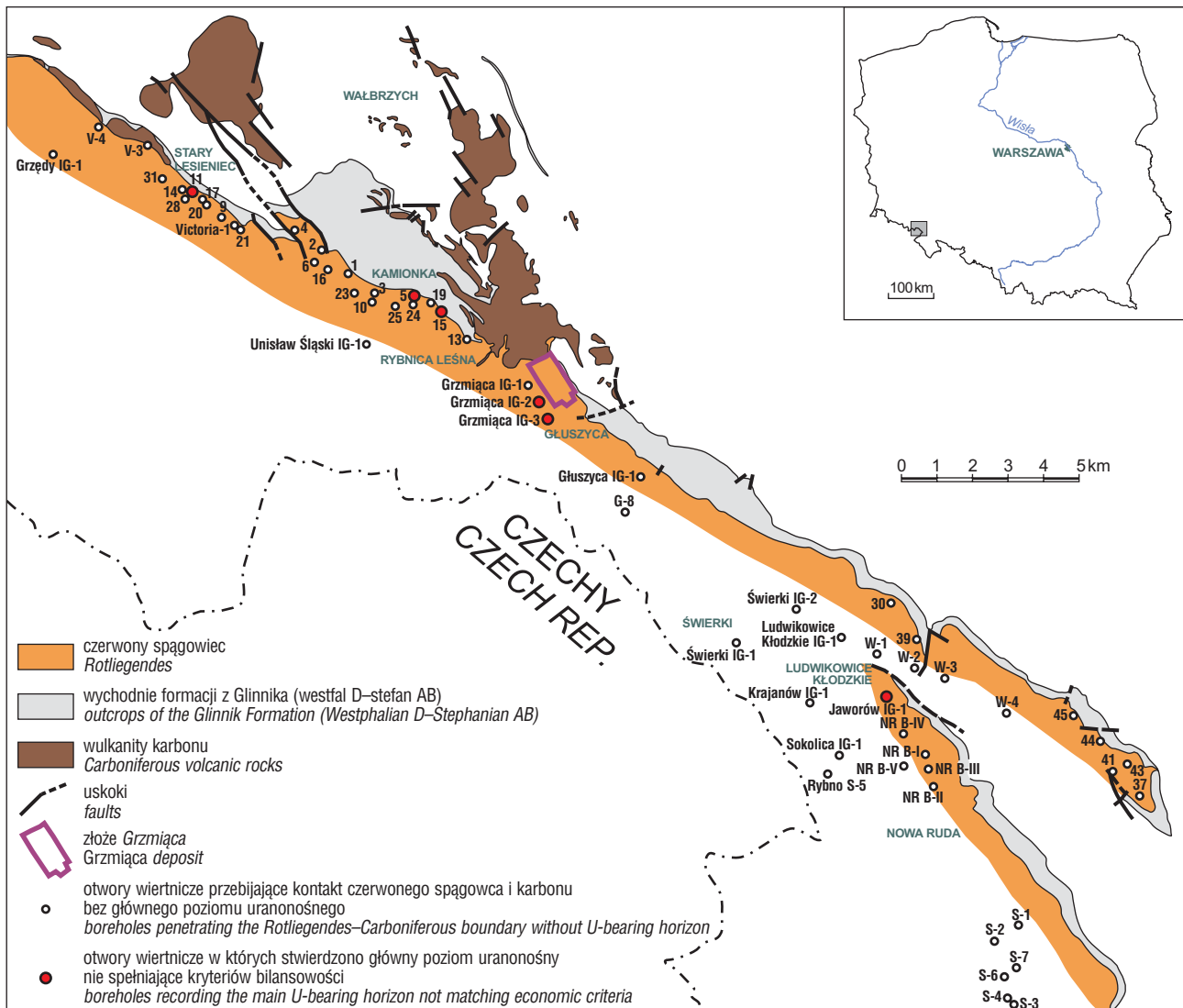
Ryc. 2. Wybrane obszary poszukiwań i badań uranu w Polsce
Fig. 2. Selected areas of uranium research in Poland

czych, wykorzystując jednocześnie do badań blisko 30 wierceń przemysłu węglowego i wierceń strukturalnych Oddziału Dolnośląskiego PIG-PIB. Innym celem było zbadanie rozprzestrzenienia mineralizacji uranowej w złożu *Grzmiąca* po upadzie. Zasoby złoża wynoszą 792 t uranu (Bojarski & Zamojski, 1960). W latach 70. XX wieku na zlecenie Ministerstwa Energetyki i Energii Atomowej *Cuprum* dokonało ekonomicznej analizy, która wykazała, że do podjęcia wydobycia minimalna ilość uranu w złożu powinna wynosić 2000 t.

Wyniki poszukiwań należy uznać za negatywne. W trzech otworach wiertniczych wykonanych w sąsiedztwie złoża *Grzmiąca* nie stwierdzono kontynuacji po upadzie minera-

lizacji spełniającej ówczesne kryteria bilansowości (Miecznik, 1983).

W latach 1981–1987 podjęto także szczegółowe badania geologiczno-poszukiwawcze złóż uranu w masywie Karkonoszy, opierając się na koncepcji możliwości występowania w granicy karkonoskim śródgranitowych złóż uranu, na co mogło wskazywać jego duże podobieństwo do uranonośnych granitów Masywu Centralnego i Wandei we Francji. W pracach zastosowano m.in. zdjęcie uranometryczne (aluwialne i litogeochemiczne), zdjęcie spektrometryczne gamma oraz wiercenia (4 otwory). Poszukiwania zakończyły się negatywnymi wynikami (Lis & Przeniosło, 1987).



Ryc. 3. Uran w najwyższym karbonie północno-wschodniego skrzydła depresji śródsudeckiej (wg Miecznika, 1990, zmienione)
Fig. 3. Uranium in the uppermost Carboniferous in north-eastern part of Intra-Sudetic Depression (after Miecznik 1990, modified)

W latach 1985–1987 w depresji śródsudeckiej w rejonie Wambierzyce prowadzono rozpoznanie poziomów uranonośnych w dolnopermskich łupkach walchiowych. Jest to uboga syngenetyczna mineralizacja uranowa typu czarnych łupków (*black shale deposits*), charakteryzująca się stosunkowo małą zmiennością. W latach 50. XX wieku Zakłady Przemysłowe R-1 udokumentowały w wybranym fragmencie łupków walchiowych zasoby 217,5 t uranu, opisane jako złoża *Wambierzyce* (Kaczmarek i in., 1959). W pracach PIG-PIB zastosowano m.in. zdjęcie spektrometryczne gamma i wykonano 10 otworów wiertniczych. Nie stwierdzono tutaj rekonzentracji uranu, która mogłaby doprowadzić do powstania bogatej mineralizacji, jak to miało miejsce w przypadku znanego złoża Lodève w permie Masywu Centralnego (Wołkowicz, 1988, 1990, 1992).

Równoległe z pracami geologicznymi prowadzono badania technologiczne nad wzbogacaniem i ekstrakcją uranu z rudy. W początkowym okresie, tj. w latach 50. XX wieku, kiedy eksploatowano najbogatsze partie złóż, całość rudy była wywożona do Związku Radzieckiego. Gdy jednak zawartość uranu w rudzie zaczęła spadać, konieczna stała się produkcja koncentratów. W tym celu powołano w Zakładach Przemysłowych R-1 specjalny zakład doświadczalny. Jego wyposażenie po likwidacji zakładów R-1 w

1973 roku przejęła Politechnika Wrocławska. W roku 1956 badania technologiczne nad przeróbką rud uranu rozpoczął Instytut Badań Jądrowych (IBJ), w którym zajmowano się m.in. piaskowcową rudą z rozpoznawanego wówczas złoża *Grzmiąca*. Zespół doc. Pinkasa z IBJ (a po reorganizacji – z Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej) przez wiele lat prowadził badania technologiczne przeróbki uranonośnych łupków dictyonemowych, piaskowców triasowych z syneklizy perybałtyckiej, piaskowców karbońskich i permskich łupków walchiowych depresji śródsudeckiej oraz karpaccich łupków menilitowych. W skali laboratoryjnej prowadzono badania również pod kątem eksploatacji uranu metodą ługowania otworowego.

Zaniechanie budowy elektrowni atomowej w Żarnowcu w roku 1990 i w ogóle odejście od koncepcji rozwoju krajowej energetyki jądrowej spowodowały zakończenie poszukiwań złóż uranu w Polsce i rezygnację z badań w zakresie geologii i technologii uranu.

Ocena i perspektyw poszukiwań złóż uranu

Sudety.

Najbogatsze pod względem zawartości uranu złoża na obszarze krystaliniku karkonosko-izerskiego, o zasobach

szacowanych na ok. 880 t uranu (Borucki i in., 1967), zostały już w przeważającej części wyeksploatowane. We wschodniej osłonie metamorficznej granitu Karkonoszy (złoża *Wolność*, *Miedzianka*, *Podgórze*, *Rubezal*, *Wiktoria*, *Mniszków*) były one najliczniejsze. Większość złóż i wystąpień odznaczało się prostym składem mineralnym. Obok smółki uranowej i wtórnych minerałów uranu w strefach wietrzenia występowały najczęściej hematyt, piryt, markasyt, rzadziej galena, sfaleryt, chalkopiryt, a ponadto kalcyt, fioletowy fluoryt i kwarc. Jedynie złoża *Wolność* i *Miedzianka* miały charakter polimetaliczny i bogaty skład mineralny. Mineralizacja była związana z uskokami o przebiegu N–W i N–E. Koncentracje uranu sięgały 4%, a średnia jego zawartość w eksploatowanych rudach wynosiła 0,2%. Cechą charakterystyczną złóż był zanik okruszczenia z głębokością (od kilkudziesięciu do 660 m).

Pojedyncze wystąpienia mineralizacji uranowej w granitach karkonoskich stwierdzone przez Zakłady Przemysłowe R-1 (Majewo, Bobrów, Jagniątków) nie mają znaczenia ekonomicznego. Badania prowadzone przez Państwowy Instytut Geologiczny nie potwierdziły możliwości występowania śródgranitowych złóż uranu (Lis & Przeniosło, 1987).

W krystalniku izerskim okruszczenie uranowe najczęściej jest obecne w strefach kontaktu pasm łupków łuszczkowych z gnejsami, granitognejsami i leukogranitami. W wysuniętym na północ złożu *Radoniów*, największym znanym w polskich Sudetach złożu żyłowym (342 t uranu, z czego wydobyto 252 t), mineralizacja jest związana z dwoma lokalnymi uskokami (o kierunku 240–245° i stromym upadzie) w gnejsach izerskich i ma formę sztokwerkową. Występuje w trzech słupach rudnych, które wyklinowują się w głębi i sięgają maksymalnie do 555 m p.p.t. W strefie utlenienia występują tlenki żelaza, humit i minerały uranu (uraninit, metauranocyryt, autunit, torbernit i inne), zaś w strefie pierwotnej, poniżej 250 m, pojawia się prosta parageneza mineralna: fluoryt, nasturan i tlenki żelaza. Złożo to było szczegółowo badane przez Jaskólskiego (1965), który określił je jako uranowe ascenzyjno-hydrotermalne.

Złożo *Wojcieszycze* (o zasobach ok. 16 t uranu, w całości wyeksploatowanych) było związane ze strefami zbrekcjowania i wkładkami łupków łuszczkowych w gnejsach z amfibolitami i dajkami lamprofirów, przeciętych uskokiem o kierunku N–W. Mineralizacja składała się ze smółki i czerni uranowej, walpurgitu i autunitu z hematytem i siarczkami. Zawartości uranu w rudzie wahały się w granicach 0,1–0,2%. Mineralizacja zanikała poniżej 80 m p.p.t.

W metamorfiku izerskim znane są inne, drobniejsze wystąpienia mineralizacji uranowej. Nieć (2009) zwraca uwagę na leukogranity występujące między Wojcieszycami i Świeradowem, ich przestrzenny, a także możliwy genetyczny związek z przejawami mineralizacji uranowej w strefie Kopaniec–Mała Kamienica. Autor ten sugeruje, że mamy tu do czynienia z formacją złóż uranu w metasomatytach albitowych (albitytach). Jako modelowy przykład podaje złożo *Miczurinskoje* na Ukrainie. Zakłady Przemysłowe R-1 prowadziły rozpoznanie tej strefy w latach 50. ub. wieku, dokumentując kilka punktów mineralizacji uranowej. Do prac rozpoznawczych powrócono w latach 60. XX wieku, stwierdzając wystąpienie rud uranu Kopaniec-II w Starej Kamienicy, o zasobach 6,3 t uranu i przejawy mineralizacji w Małej Kamienicy. Wykonane prace, m.in. sztolnie i wiercenia, nie przyniosły pomysłu

nych wyników ze względu na zanikanie mineralizacji ze wzrostem głębokości (Cwojdzinski i in., 2008).

Drugim obszarem po krystalniku karkonosko-izerskim, w którym stwierdzono znaczniejsze przejawy żyłowej mineralizacji uranowej, jest metamorfik Łądką i Śnieżnika Kłodzkiego. Odkryto tam kilka punktów mineralizacji uranowej i jedno niewielkie złożo *Kopaliny–Kletno*, z którego wydobyto 20 t uranu (całość zasobów). Okruszczenie jest związane z kontaktem gnejsów śnieżnickich i oskarnianych marmurów. W strefie nasunięcia Kletna ciała rudne występują w formie gniazd lub żyłek z blendą smolistą, siarczkami i selenkami, fluorytem i kwarcem. Istnieje także przestrzenny związek z mineralizacją magnetytową (Banaś, 1965).

Po stronie czeskiej odkryto i eksploatowano w latach 1959–1968 złożo *Javornik Zálesi*. Łącznie wydobyto tam 400 t uranu (*Przegląd złóż...*, 2000).

Niewielkie przejawy żyłowej mineralizacji uranowej znane są też z karbońskich wulkanitów depresji śródsudeckiej (wschodnia część niecki wałbrzyskiej), zachodniej części Gór Sowich, z Gór Kaczawskich i Gór Bystrzyckich.

Przechodząc do podsumowania naszej wiedzy o żyłowej mineralizacji uranowej w Sudetach i jej perspektywiczności, należy zwrócić uwagę na prawidłowość polegającą na zanikaniu mineralizacji ze wzrostem głębokości. Ma ona praktyczne konsekwencje, znacznie bowiem ogranicza możliwości znalezienia nowych złóż w bardzo silnie spenetrowanym terenie. Dotyczy to szczególnie wschodniej osłony metamorficznej granitów Karkonoszy. Nie można wykluczyć możliwości odkrycia ciał rudnych w metamorfiku izerskim i metamorfiku Łądką i Śnieżnika Kłodzkiego. Jednak, biorąc pod uwagę na ogół niewielkie zasoby takich ciał (kilka–kilkadziesiąt t uranu), wymagałoby to odkrycia przynajmniej kilkunastu stref rudnych o zasobach łącznych powyżej 1000 t uranu, aby eksploatacja była rentowna. W świetle wykonanych poszukiwań jest to mało prawdopodobne.

Złoża uranu znane są także z depresji śródsudeckiej. Mineralizacja uranowa jest tu związana z formacjami osadowymi górnego karbonu i dolnego permu. Wyróżnia się trzy typy mineralizacji: piaskowcową (złożo *Grzmiąca*), łupkową (łupki walchiowe rejonu Radków–Wambierzyce) i mineralizację w węglach (złożo *Okrzeszyn*).

Złożo *Grzmiąca* zlokalizowane jest w utworach stefanu (ogniwo z Łomnicy formacji z Glinika). Okruszczenie – w postaci głównie tlenków uranu z niewielkimi ilościami pirytu, galeny, sfalerytu i chalkopirytu – występuje w spoiwie nieutlenionych piaskowców i zlepieńców przewarstwianych mułowcami i ilowcami. Tworzy ono kilka warstw rudnych w strefie o miąższości ok. 20 m, z których trzy są szerzej rozprzestrzenione. Średnia zawartość uranu w złożu wynosi 0,05%, zaś zasoby metalu – ok. 792 t. Najbogatszy, środkowy poziom rudny jest związany z dyskordancją oddzielającą nieutlenione na ogół skały formacji z Glinika od przeważnie utlenionych skał wyżejległego czerwonego spągowca (formacja z Ludwikowic). Ważną rolę w powstaniu złoża odegrała obecność w bezpośrednim sąsiedztwie ryolitów pasma Rusinowa–Grzmiąca, stanowiących pierwotne źródło uranu (Miecznik, 1989a, 1990). Mineralizacja ma charakter epigenetyczny. Uran był wielokrotnie przemieszczany przez podziemne wody utleniające w przepuszczalnych skałach klastycznych, obfitujących w materiał ryolitowy i pierwotnie już wzbogaconych w metal, i wytrącany w sprzyjających warunkach geoche-

micznych (Depciuch, 1968). Barię migracji, na której dochodziło do koncentracji uranu, była wspomniana wcześniejszą dyskordancją.

Przejawy mineralizacji uranowej typu piaskowcowego znane są również z innych części depresji śródsudeckiej. W Kamionce, Rybnicy Leśnej i Starym Lesieńcu są one związane, tak jak w złożu *Grzmiąca*, z dyskordantnym kontaktem utlenionych skał czerwonego spągowca z nieutlenionymi seriami skał wyższego silezu. Na podstawie analizy zakresu prac poszukiwawczych wykonanych po zachodniej stronie pasma Rusinowa–Grzmiąca, obejmujących m.in. zdjęcia emanacyjne i gamma spektrometryczne oraz wiercenia (ryc. 3), które nie przyniosły pomyślnych rezultatów, trudno znaleźć miejsce dla złoża analogicznego do *Grzmiącej*. W rejonie Nowej Rudy koncentracje uranu występują w niższych partiach formacji z Glinika i wykazują związek z okrzuszczeniami węgla i rozproszoną w osadzie substancją węglistą pochodzącą z redepozycji węglonosisnych utworów formacji żaclerskiej (Miecznik, 1989a, b, 1990). Rejon ten rozpoznano szczegółowo w związku z eksploatacją złóż węgla i można go uznać za nieperspektywiczny z punktu widzenia poszukiwań uranu.

Wyrażone ostatnio sugestie o możliwości eksploatacji złoża *Grzmiąca* metodą ługowania podziemnego (Solecki i in., 2010) są nieuzasadnione. Wśród czynników niesprzyjających stosowaniu tej metody można wymienić m.in.: wysoki stopień zdiagenezowania skał uranosisnych, sprawiający, że są one nieprzepuszczalne lub prawie nieprzepuszczalne, występowanie licznych uskoków w serii złożowej i znaczne nachylenie warstw – rzędu 20–30° (Miecznik, 1983).

W dolnopermskich łupkach walchiowych rejonu Radkowa i Wambierzyc występuje 12 poziomów o podwyższonej zawartości uranu. Miąższości poziomów wahają się w granicach od 0,2 do 1,5 m, a średnie ważone zawartości U_3O_8 wynoszą od 40 do 200 ppm (Wołkowicz, 1990, 1992). Niskie zawartości uranu, jego silny związek z substancją organiczną, który stwarza utrudnienia technologiczne, oraz duże odległości między poziomami uranosisnymi powodują, że mineralizacja nie ma wartości gospodarczej. Dodać jeszcze należy, że obszar ten posiada duże walory przyrodnicze oraz turystyczne i jest położony w bezpośrednim sąsiedztwie Parku Narodowego Gór Stołowych.

Mineralizacja uranowa w węglach znana jest z formacji żaclerskiej (westfal A–C) w niecce wałbrzyskiej i w rejonie Nowej Rudy, przede wszystkim jednak ze złoża *Okrzeszyn*. Złoże to znajduje się w południowo-zachodnim skrzydle depresji śródsudeckiej w stefañskich pokładach radwanickich i autuñskich łupkach antrakozjowych. Okruszcowanie jest związane z kilkoma pokładami węgla i łupków węglowych, które są oddzielone grubymi pakietami skał pñonnych. Częściowo tkwi również w otaczających je piaskowcach i zlepieńcach. Mineralizacja uranowa występuje w postaci smug i warstw zgodnych z uwarstwieniem węgla, w formie nieregularnych skupień związanych z konkrekcjami markasytowymi i wzdłuż szczelin przecinających węgle (Nielubowicz & Wróblewski, 1963). Zawartości uranu dochodzą do 0,2% (średnio 0,13%), a jego zasoby wynoszą 938 t (Kaczmarek i in., 1959). Złoże rozpoznano do głębokości 300 m wierceniami i do 500 m po upadzie wyrobiskami górnictwymi. Mała miąższość ciał rudnych (średnio 0,2 m) i bardzo duża nieregularność rozmieszczenia mineralizacji w pokładach węgla mogłyby stanowić poważny problem podczas eksploatacji, a niekompletność danych o złożu i zasobach uranu każą podchodzić do

Okrzeszyna z dużym sceptycyzmem. Przebieg granicy państwowej uniemożliwia powiększenie zasobów. Trzeba wspomnieć, że w latach 50. XX wieku uran był eksploatowany w położonych bezpośrednio po drugiej stronie granicy złożach *Radwanice* i *Rybnicek* stanowiących naturalną kontynuację złoża *Okrzeszyn* (Przegląd złóż..., 2000).

Reasumując, należy stwierdzić, że możliwości odkrycia nowych złóż lub zwiększenia znanych zasobów uranu w formacjach osadowych permokarbonu depresji śródsudeckiej są bardzo ograniczone. Nie ma szans na poszerzenie zasobów złoża *Grzmiąca*, ani warunków geologicznych do jego eksploatacji metodą ługowania podziemnego. Unikatowy charakter złoża, polegający na przestrzennym i genetycznym związku ze skałami ryolitowymi pasma Rusinowa–Grzmiąca, źle wróży podejmowaniu prób odkrycia podobnych złóż w depresji śródsudeckiej, a tym bardziej w depresji północnosudeckiej, co sugeruje Nieć (2009). O nieperspektywiczności górnego karbonu i permu, a także triasu depresji północnosudeckiej świadczą całkowicie negatywne wyniki poszukiwań prowadzonych przez Zakłady Przemysłowe R-1, potwierdzone późniejszymi badaniami równoległymi Państwowego Instytutu Geologicznego.

Opinia Niecia (2009) o perspektywiczności kredy Sudetów nie znajduje potwierdzenia w znanych nam faktach. Z porównania uranosisnych utworów czechskiej płyty kredowej z kredą sudecką wynika, że uranosisne w Czechach litofacie cenomanu lądowego i dolnej części wyżejległego cenomanu morskiego są na obszarze Sudetów rozwinięte w postaci szczątkowej jedynie w okolicy Krzeszowa (Miecznik i in., 1980). Wszystkie złoża uranu w czechskiej płycie kredowej (*Břevniště*, *Hamr*, *Osečná–Kotel Straž* i inne) znajdują się w północnej części struktury, wyróżnianej jako kreda łuzyccka (Bernard, 1991), zaś kreda sudecka uważana jest za nieperspektywiczną (Vavřin, 1974). Pomiary radiometryczne wykonane na wychodniach skał i w wierceniach oraz oznaczenia zawartości uranu w skałach kredy depresji śródsudeckiej i północnosudeckiej w pełni potwierdzają tę negatywną ocenę (Miecznik i in. 1980).

Góry Świętokrzyskie.

Jedynym poza Sudetami miejscem w Polsce, gdzie pozyskiwano uran, była kopalnia siarczoków żelaza *Staszic* w Rudkach w Górach Świętokrzyskich (Uberna, 1970). Jak wynika z raportu Pieniñskiego (Zdulski, 2000), mineralizację uranową odkryli geolodzy radzieccy w roku 1952, a zasoby w roku 1958 wynosiły ok. 40 t uranu. Rudę uranu wydobywano jako kopalinę towarzyszącą do roku 1968. W związku z rozpoczęciem wydobycia siarki rodzimej w rejonie tarnobrzeskim kopalnię *Staszic* zlikwidowano w 1973 roku, pozostawiając ok. 10 t uranu w nieekonomicznym już złożu (Zdulski *op. cit.*).

Omawiane złoże jest związane ze strefą uskokową o przebiegu N–S. Ma formę soczewy o zmiennej miąższości (do 40 m), wypełniającej szczelinę uskokową między piaskowcowo-ilastymi skałami syluru i dewonu dolnego a skałami węglanowymi dewonu środkowego. Główny składnik rudy stanowi markasyt, ponadto występują syderyt i hematyt. Okruszcowanie przesledzono na długości ok. 600 m (Rubinowski, 1987). Mineralizacja uranowa znajduje się głównie w północnej części złoża w formie gniazd w strefach zbrekcjowania, gdzie tworzy z markasytem spoiwo brekcji, oraz w otaczających czarnych iłach z markasytem. Stwierdzono obecność czerni uranowej, blendy smolistej i mik uranowych. Zawartość uranu w brekcjach tektonicznych dochodziła do 4%, zaś w czarnych iłach wahała się od

0,03 do 0,15% (Uberna, 1970). Żyło w Rudkach jest uważane za hydrotermalne (Rubinowski, 1969) lub osadowe (Gruszczak, 1972).

Pozostałe, nieliczne i drobne wystąpienia uranu w Górach Świętokrzyskich są związane z czarnymi łupkami utworów przejściowych pomiędzy dolnym a środkowym dewonem, tzw. kuwinem, i występują zwykle w pobliżu stref tektonicznych. Były one rozpoznawane przez Zakłady Przemysłowe R-1, a potem przez Państwowy Instytut Geologiczny i zostały uznane za nieperspektywiczne (Uberna, 1970).

Węgle Górnosląskiego Zagłębia Węglowego.

Przejawy mineralizacji uranowej w węglach Górnosląskiego Zagłębia Węglowego stwierdzono podczas radiometrycznych rewizji kopalń w latach bezpośrednio powojennych, a po roku 1956 były badane przez Państwowy Instytut Geologiczny. Występują głównie w górnych poziomach karbonu produktywnego (warstwy orzeskie, łaziskie i libiąskie), we wschodniej części zagłębia (kopalnia *Sobieski* – dawniej *Bierut* i *Siersza*). Uran znajduje się w węglu, często w strefach uskokowych, w strefach częściowego wymycia pokładów i w stropowych partiach pokładów na kontakcie z piaskowcami (Sałdan, 1965). Maksymalnie zawartość uranu sięga 0,26%. Nie stwierdzono większych ciał rudnych i nie wskazano znaczenia ekonomicznego.

Łupki bitumiczne warstw menilitowych Karpat.

Solecki i in. (2011) formułują tezę o perspektywiczności czarnych łupków serii menilitowej rejonu Bezmiechowej–Monasterca (powiat Lesko) w Karpatach.

Oligoceńskie warstwy menilitowe Karpat ze względu na występujące w ich obrębie czarne łupki bitumiczne stanowiły przedmiot zainteresowania Zakładów Przemysłowych R-1. Regionalne prace geofizyczne (m.in. radiometria lotnicza i samochodowa) i oznaczenia zawartości uranu w wybranych strefach wykazały ich nieperspektywiczność. Mimo to badania uranonośności łupków podjęto potem w Państwowym Instytucie Geologicznym w ramach badań równoległych (Sałdan, 1961). Okresowo łupki te stanowiły także przedmiot zainteresowania jako ewentualne źródło pozyskiwania oleju łupkowego. Zawartości uranu we wzbogaconych partiach wahają się w granicach 30–100 ppm, ich tło geochemiczne zostało określone na ok. 12 ppm. Jedynie w rejonie Bezmiechowej–Monasterca napotkano na koncentracje uranu dochodzące do 620 ppm (średnio 110 ppm) (Kita-Badak i in., 1965). Ponowne badania łupków z rejonu Bezmiechowej i Monasterca, wykonane w latach 70. XX wieku, nie potwierdziły wysokich zawartości uranu, a badania technologiczne wykazały, że mineralizacja nie ma wartości przemysłowej (Bareja i in., 1975).

Łupki dictyonemowe obniżenia podlaskiego.

Mineralizacja uranowa związana jest z warstwą silnie zdiagenezowanych ciemnych łupków dictyonemowych dolnego ordowiku (tremadoku) o miąższości od kilkunastu cm do 4 m (średnio ok. 2,7 m). W profilu litologicznym tej serii występują łupki czarne (1,0–1,5 m) przechodzące ku górze w łupki brunatne, w stropie których znajdują się jasnobżowe łupki z fosforanami (ok. 5 cm) (Bareja, 1978). W spągu serii łupkowej znajdują się krusze, silnie porowate piaskowce obolusowe, a powyżej rozmytego stropu łupków – glaukonityt i wapienie arenigu. Utwory te leżą niemal płasko i są słabo zaburzone uskawkami. Uran występuje przede wszystkim w łupkach czarnych, w których

jego tło geochemiczne wynosi 70 ppm. Wysoka koncentracja uranu w otworze Rajsk 1, sięgająca 2,4%, oraz w położonym w odległości 50 m otworze Rajsk IG-2 jest związana ze strefą uskokową, w której doszło do redepozycji uranu. Na podstawie całości wykonanych prac rozpoznawczych można stwierdzić, że ma ona raczej unikatowy charakter. Oprócz uranu w łupkach czarnych stwierdzono relatywnie wysokie koncentracje wanadu (1100–2000 ppm) oraz molibdenu (od kilkunastu do 500 ppm). W łupkach brunatnych tło uranu jest niższe dwukrotnie, a wanadu nawet trzykrotnie. Głębokość zalegania łupków wynosi od 400 m w części północno-wschodniej obniżenia podlaskiego przez 550–650 m w rejonie złoża Rajsk do ponad 1000–1200 m w zachodniej i południowej części tego obniżenia (Sałdan i in., 1977). Na podstawie danych z kilkudziesięciu otworów określono, że na powierzchni 840 km² i głębokości do 800 m zasoby prognostyczne uranu wynoszą 88 850 t.

Jest to mineralizacja typu *black shale*, znana ze Szwecji (łupki alunowe górnego kambru), Estonii i okolic Sankt Petersburga (łupki dictyonemowe), USA (łupki Chattanooga), Chin (łupki złoża *Chanziping*) i wielu innych krajów. Z powodu niskiej zawartości uranu oraz wysokich kosztów technologicznych i środowiskowych eksploatacji złoża tego typu uznawane są za nieekonomiczne i w prognozach nie przewiduje się ich eksploatacji w bliskiej przyszłości (Strzelecki & Wołkiewicz, 2011).

Trias syneklizy perybałtyckiej.

W utworach triasu praktycznie wszędzie na Niżu Polskim obecne są poziomy uranonośne. Najbardziej rozprzeźstrzeniony jest poziom występujący w środkowym pstrym piaskowcu, znany z monokliny przedsudeckiej, perykliny Żar, niecki szczecińskiej, niecki brzeźnej i syneklizy perybałtyckiej (2–3 warstwy) (Sałdan & Strzelecki, 1980). Jest on związany ze skałami ilasto-mułowcowymi, w mniejszym stopniu z drobnoziarnistymi piaskowcami i skałami węglanowymi. Zawartość uranu w tym poziomie jest niska i tylko w pojedynczych próbkach sięga do 300 ppm, a średnie zawartości ważone sporadycznie osiągają granicę 100 ppm przy miąższości poniżej 0,5 m. Poziom ten nie ma znaczenia przemysłowego.

W środkowej części syneklizy perybałtyckiej w utworach górnego pstręgo piaskowca (formacja elbląska) występuje mineralizacja uranowa typu piaskowcowego. Najbogatsza mineralizacja, związana z drobnoziarnistymi, szarymi i szarozielonymi, słabo związłymi piaskowcami, znajduje się na Mierzei Wiślanej. W otworze wiertniczym Ptaszkowo IG-1 stwierdzono zawartość uranu o średniej ważonej 0,26% w warstwie o miąższości 4,43 m. Uranowi towarzyszą wysokie zawartości wanadu, selenu, molibdenu, ołowiu i arsenu. Badania minerałów wykazały obecność coffinitu i nasturanu oraz siarczków: galeny, piryty i selenku ołowiu – claustralitu. Na Mierzei Wiślanej zidentyfikowano dwa ciała rudne, *Ptaszkowo* i *Krynica Morska*, które prawdopodobnie mają formę zbliżoną do typu tabliczkowo-soczewkowatego, zwaną w literaturze *tabular* (Strzelecki, 1988). Głębokość zalegania ciał rudnych na Mierzei Wiślanej wynosi od 750 do 800 m.

Na południe od Zalewu Wiślanego obecność uranu stwierdzono w kilku otworach wiertniczych w rejonie Fromborka, Młynar i Pasłęka, na głębokości od ok. 950 m do 1170 m. Koncentracje uranu są wielokrotnie niższe i tylko w pojedynczych próbkach piaskowców przekraczają 1000 ppm. Także asocjacja geochemiczna jest zdecydowa-

nie uboższa i tylko w otworze Krzyżewo IG1 (gm. Frombork) uranowi towarzyszą selen, wanad, ołów i miedź, natomiast w rejonie Młynar i Pasłęka z uranem współwystępuje jedynie ołów (Strzelecki, 1988).

Z uzyskanych dotychczas danych wynika, że mineralizacja piaskowcowa w trisiasie syneklizy perybałtyckiej obecna jest w strefie o przebiegu południkowym – począwszy od Mierzei Wiślanej do Pasłęka i nawet dalej, do Prabut. Szerokość pasa zmineralizowanego waha się od ok. 2–3 km na Mierzei Wiślanej do ok. 40 km na równoleżniku Pasłęka.

Szczegółowe rozpoznanie wielkości zasobów ciał rudnych, jak to wynika z doświadczeń krajów eksploatujących złoża typu piaskowcowego, wymagałoby zastosowania gęstych siatek wierceń (50 × 50 m i głębiej). Potwierdzają to wyniki wierceń na Mierzei Wiślanej. Biorąc pod uwagę koszty wierceń przy tak dużych głębokościach oraz walory przyrodnicze i rekreacyjne obszaru Mierzei Wiślanej i Zalewu Wiślanego (obszar *Natura 2000*), a także ochronę ekosystemu Bałtyku, realizacja dalszych prac poszukiwawczych w tej najbardziej perspektywicznej północnej części strefy uranonośnej wydaje się nierealna (Strzelecki & Wołkowicz, 2011).

Wnioski

1. Z przedstawionych danych wynika, że Polska nie ma możliwości zaspokojenia potrzeb paliwowych projektowanych elektrowni jądrowych z krajowych zasobów, jeśli założyć, że dla 1 elektrowni zapotrzebowanie wyniesie ok. 540 t uranu.

2. Dużymi i jednocześnie łatwo dostępnymi złożami uranu nigdy nie dysponowaliśmy, a najbogatsze, w większości wyeksploatowane złoża sudeckie miały łączne zasoby zaledwie ok. 880 t uranu.

3. Zasoby geologiczne złoża *Grzmiąca* w Sudetach wyliczono na niespełna 800 t uranu, ale nie wiadomo ile z nich można by faktycznie pozyskać. Czy istnieją ekonomiczne podstawy do podjęcia eksploatacji tak niewielkiego pojedynczego złoża?

4. Możliwości odkrycia nowych złóż w Sudetach są bardzo ograniczone, a ewentualne odkrycia nie zmieniają w znaczącym stopniu sytuacji zasobowej.

5. Jest możliwe, że na terenie syneklizy perybałtyckiej w rejonie Mierzei Wiślanej i Zalewu Wiślanego występują zasobniejsze złoża uranu typu piaskowcowego, jednak duża głębokość ich zalegania (co najmniej 800 m), konieczność rozpoznania gęstą siatką wierceń rozpoznawczych (50 × 50 m) oraz lokalizacja w obszarach prawnie chronionych sprawiają, że obszary te można uznać za hipotetyczne dla występowania złóż rud uranu. W rejonie tym wskazane jest wykonanie szczegółowych badań sejsmicznych, których celem będzie określenie możliwości okonturowania uranowych ciał rudnych metodami geofizycznymi z powierzchni terenu.

6. Duże zasoby uranu tkwią w łupkach dictyonemowych, jednak bardzo niska zawartość tego pierwiastka, brak zadowalającej technologii odzysku i do tego znaczna głębokość występowania sprawiają, że eksploatacja jest nieopłacalna.

7. Budowa geologiczna Polski nie daje nadziei na odkrycie dostępnych do eksploatacji złóż uranu o znaczących zasobach. Dobry stopień rozpoznania radioaktywności różnych formacji i struktur geologicznych, uzyskany na podstawie analizy karotaży geofizycznych wierceń

badawczych i dokumentacyjnych, zmniejsza do minimum prawdopodobieństwo odkrycia złoża przemysłowego.

8. Szanse pozyskania uranu na potrzeby polskiej energetyki jądrowej leżą poza granicami kraju. Wzorem innych państw europejskich należy ich szukać poza Europą, np. w Afryce. Państwowy Instytut Geologiczny jest przygotowany do podjęcia takiego zadania i dysponuje informacjami o możliwych kierunkach działań.

Autorzy dziękują Panu prof. dr. hab. inż. Andrzejowi Paulo i anonimowemu Recenzentowi za cenne uwagi zgłoszone do rękopisu. Artykuł został przygotowany w ramach realizacji zadania *Analiza możliwości pozyskiwania uranu dla energetyki jądrowej z zasobów krajowych* (POIG.01.01.02-14-094/09-00).

Literatura

- BANAŚ M. 1965 – Przejawy mineralizacji w metamorfiku Śnieżnika Kłodzkiego. Pr. Geol. Kom. Nauk Geol. PAN Oddz. w Krakowie, 27: 7–82.
- BAREJA E. 1977 – Wyniki badań geochemicznych i mineralogicznych uranu w cechsztyńskich utworach miedzionośnych Lubin–Polkowice. Kwart. Geol., 21: 37–46.
- BAREJA E. 1978 – Metalonośność łupków dictyonemowych w NE części obniżenia podlaskiego. Kwart. Geol., 22: 431–432.
- BAREJA E. 1979 – Wstępne wyniki badań mineralizacji U-Th-TR-Nb w elckim masywie syenitowym. Kwart. Geol. 23: 898–899.
- BAREJA E. 1983 – Wyniki badań geologiczno-poszukiwawczych złóż rud uranu w utworach triasu syneklizy perybałtyckiej, woj. elbląskie. CAG Państw. Inst. Geol.
- BAREJA E., JĘCZMYK M., KANASIEWICZ J., LIS J., MIECZNIK J.B. & SAŁDAN M. 1982 – Pierwiastki promieniotwórcze w Sudetach. Biul. Inst. Geol., 341: 259–272.
- BAREJA E. & KUBICKI S. 1983 – Mineralizacja syenitów elckich w strefach przeobrażeń metasomatyczno-hydrotermalnych (NE Polska). Kwart. Geol., 27: 215–223.
- BAREJA E., MORAWSKI W. & SAŁDAN M. 1973 – Mineralizacja uranowa w utworach cechsztyńskich na monoklinie przedsudeckiej. Kwart. Geol., 17: 910–911.
- BAREJA E., SAŁDAN M. & STRZELECKI R. 1975 – Ocena wykorzystania łupków menilitowych z rejonu Bezmiechowej i Monasterca. CAG Państw. Inst. Geol.
- BERNARD J.H. 1991 – Empirical types of ore mineralizations in the Bohemian Massif. Geol. Survey, Prague.
- BOJARSKI R. & ZAMOJSKI J. 1960 – Dokumentacja geologiczna złoża rud uranowych w Grzmiącej. CAG Państw. Inst. Geol.
- BORUCKI J. 1962 – Uran w fosforytach polskich. Pr. Inst. Geol., 30: 239–285.
- BORUCKI J., GŁOWACKI Z., MASŁOWSKI W., SAŁDAN M., UBERNA J. & ZAJĄCZKOWSKI W. 1967 – Ocena perspektyw poszukiwawczych złóż rud uranu w Polsce. Pr. Spec. Inst. Geol.
- 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. CAG Państw. Inst. Geol.
- DAHLKAMP F.J. 1978 – Classification of uranium deposits. Mineral. Deposita, 13: 83–104.
- DEPCIUCH T. 1968 – Geochemia i geneza koncentracji uranu w górnokarbońskich osadach klastycznych niecki śródsudeckiej. Biul. Inst. Geol., 214: 75–180.
- DEPOWSKI S. 1987 – Ropa naftowa i gaz ziemny. [W:] Osika R. (red.) Budowa geologiczna Polski, Tom VI, Złoża surowców mineralnych. Wydaw. Geol., Warszawa.
- GRUSZCZYK H. 1972 – Nauka o złożach. Wydaw. Geol., Warszawa.
- JASKÓLSKI S. 1965 – Polimetaliczna mineralizacja tlenkowo-siarczkowa w granitognejsach Gór Izerskich (Dolny Śląsk) i jej pochodzenie. Pr. Geol. Kom. Nauk Geol. PAN Oddz. w Krakowie, 43: 7–78.
- JELIŃSKI A. 1965 – Geochemia uranu w granitowym masywie Karkonoszy z uwzględnieniem innych masywów granitoidowych Dolnego Śląska. Biul. Inst. Geol., 193: 5–110.
- JĘCZALIK A. 1970 – Geochemia uranu w uranonośnych węglach kamiennych w Polsce. Biul. Inst. Geol., 224: 103–204.

- KACZMAREK A., ADAMSKI W., BAREJA J. & GŁOWACKI Z. 1959 – Ocena uranonośności Sudetów w oparciu o wyniki dotychczasowych prac poszukiwawczych prowadzonych przez Zakłady Przemysłowe R-1. Tom I–III. CAG Państw. Inst. Geol.
- KANASIEWICZ J., SAŁDAN M. & UBERNA J. 1965 – Uranonośność pstrego piaskowca okolic Pasłęka. Biul. Inst. Geol., 193: 171–205.
- KANASIEWICZ J. & UBERNA J. 1961 – Nowe przejawy mineralizacji uranowej na tle budowy niecki leszczyńskiej. Prz. Geol., 8: 433–434.
- KITA-BADAK M., BADAK J. & SAŁDAN M. 1965 – Charakterystyka łupków uranonośnych serii menilitowej w Karpatach Środkowych. Kwart. Geol., 9: 137–156.
- KLEMENTOWSKI R. 2010 – W cieniu sudeckiego uranu. Kopalnictwo uranu w Polsce w latach 1948–1973. IPN, Wrocław.
- LIS J. & PRZENIOSŁO S. 1987 – Badania geologiczno-poszukiwawcze złóż rud uranu w masywie Karkonoszy. CAG Państw. Inst. Geol.
- LIS J. & SYLWESTRZAK H. 1979 – Episyjenity i perspektywy występowania śródgranitowych złóż uranu w masywie Karkonoszy. Prz. Geol., 4: 223–228.
- MIECZNIK J.B. 1976 – Promieniotwórczość naturalna utworów prekambryjskich i paleozoicznych NE obrzeżenia GZW. Kwart. Geol., 20: 932–933.
- MIECZNIK J.B. 1983 – Wyniki badań geologiczno-poszukiwawczych mineralizacji uranowej w utworach górnokarbońskich rejonu Głuszycy – Nowa Ruda (depresja śródsudecka) woj. wałbrzyskie. CAG Państw. Inst. Geol.
- MIECZNIK J.B. 1989a – O mineralizacji uranowej w permo-karbonie depresji śródsudeckiej. Prz. Geol., 10: 485–488.
- MIECZNIK J.B. 1989b – Utwory wyższego silezu i autunu dolnego północno-wschodniego skrzydła depresji śródsudeckiej. Biul. Państw. Inst. Geol., 363: 5–39.
- MIECZNIK J.B. 1990 – Koncentracje uranu w utworach karbonu górnego i permu depresji śródsudeckiej. Biul. Państw. Inst. Geol., 364: 61–95.
- MIECZNIK J.B., SAŁDAN M. & STRZELECKI R. 1980 – Uranonośność utworów kredowych Sudetów. Kwart. Geol., 24: 651–662.
- MIECZNIK J.B. & STRZELECKI R. 1978 – Badanie uranonośności dolnego syluru na obszarze Gór Kaczawskich i Gór Bardzkich. CAG Państw. Inst. Geol.
- MIECZNIK J.B. & STRZELECKI R. 1979 – Możliwości występowania mineralizacji uranowej w niektórych formacjach osadowych Sudetów. Prz. Geol., 6: 314–318.
- MOCHNACKA K. 1966 – Minerale kruszcowe złoża polimetalicznego w Kowarach (Dolny Śląsk). Pr. Min. Kom. Nauk Geol. PAN Oddz. w Krakowie, 4: 7–71.
- MOCHNACKA K. 1975 – Mineralizacja skał metamorficznych części Pogórza Izerskiego. Pr. Geol. Kom. Nauk Geol. PAN Oddz. w Krakowie, 89: 7–87.
- MORAWSKI W. 1973 – Przejawy uranonośności w osadach górnego kambriu na tle promieniotwórczości naturalnej pokrywy osadowej wyniesienia Leby. Kwart. Geol., 17: 713–725.
- NEA & IAEA 2008 – Uranium 2007. Resources, production and demand. OECD Publishing, Paris, France.
- NIEĆ M. 2009 – Występowanie rud uranu i perspektywy ich poszukiwań w Polsce. Polityka Energetyczna, 12: 435–451.
- NIELUBOWICZ B. & WRÓBLEWSKI T. 1963 – Przyczynki do rozpoznania okruszczenia uranowego w węglach warstw radwanickich na Dolnym Śląsku. Kwart. Geol. 7: 114–130.
- PAULO A. & PIESTRZYŃSKI A. 1991 – Materiały do ćwiczeń z nauki o złożach i geologii gospodarczej, Część I, Surowce energetyczne. Wydaw. AGH., Kraków
- Przegląd** złóż i wystąpień rud uranu na obszarze Republiki Czeskiej wraz z ilościami pozyskanego metalu większymi niż 0,1 t U (stan 31–12–2000) [http://mineraly.pg.gda.pl/promieniotworczość/zloze_javornik_zalesi/tabela.html].
- PRZENIOSŁO S. 1970 – Geochemia uranu w aluwjach wschodniej części obszaru metamorfiku Łądką i Śnieżnika Kłodzkiego. Biul. Inst. Geol., 224: 205–298.
- RUBINOWSKI Z. 1969 – Pozycja mineralizacji syderytowo-pirytowej w metalogenezie trzonu paleozoicznego Gór Świętokrzyskich. Roczn. Pol. Tow. Geol., 39: 721.
- RUBINOWSKI Z. 1987 – złoża pirytu w Rudkach i Wieściszowicach. [W:] Osika R. (red.) Budowa geologiczna Polski, Tom VI, Złoża surowców mineralnych. Wydaw. Geol., Warszawa.
- SAŁDAN M. 1961 – Przejawy mineralizacji uranowej w łupkach menilitowych opracowane na podstawie wskazań badań równoległych. CAG Państw. Inst. Geol.
- SAŁDAN M. 1965 – Metalogeneza uranu w utworach karbońskich Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Biul. Inst. Geol., 193: 111–169.
- SAŁDAN M. 1967 – Komunikat o odkryciu bogatej mineralizacji uranowej w łupkach dolnego ordowiku w północnej części obniżenia podlaskiego. CAG Państw. Inst. Geol.
- SAŁDAN M. 1973 – Mineralizacja uranowa w utworach pstrego piaskowca środkowego monokliny przedsudeckiej na tle ich wykształcenia litologicznego. Pr. Inst. Geol.
- SAŁDAN M., BAREJA E., LIS B., MIECZNIK J.B. & STRZELECKI R. 1977 – Wyniki poszukiwań geologicznych złóż rud uranu w łupkach dictyonemowych na obszarze północno-wschodniej części obniżenia podlaskiego. CAG Państw. Inst. Geol.
- SAŁDAN M., BAREJA E. & STRZELECKI R. 1976 – Dokumentacja geologiczna złoża rud uranu Rajska. CAG Państw. Inst. Geol.
- SAŁDAN M. & STRZELECKI R. 1980 – Uranium in the Bunter Sediments in the Polish Area. Biul. Inst. Geol., 328: 95–104.
- SOLECKI A., ŚLIWIŃSKI W., WOJCIECHOWSKA I., TCHÓRZ-TRZECIAKIEWICZ D., SYRYCZYŃSKI P., SADOWSKA M. & MAKOWSKI B. 2011 – Ocena możliwości występowania mineralizacji uranowej w Polsce na podstawie wyników prac geologiczno-poszukiwawczych. Prz. Geol., 59: 98–110.
- SOLECKI A., WOJCIECHOWSKA I., TCHÓRZ-TRZECIAKIEWICZ D.E., ŚLIWIŃSKI W.R., SYRYCZYŃSKI P., SADOWSKA M. & MAKOWSKI B. 2010 – Ocena możliwości występowania mineralizacji uranowej w Polsce na podstawie wyników prac geologiczno-poszukiwawczych. CAG Państw. Inst. Geol.
- STRZELECKI R. 1976 – Poziomy promieniotwórcze w profilu pokrywy osadowej syneklizy perybałtyckiej. Kwart. Geol., 20: 414–416.
- STRZELECKI R. 1977 – Uran i tor w utworach allitowych dolnego karbonu NE części LZW. CAG Państw. Inst. Geol.
- STRZELECKI R. 1978 – Promieniotwórczość naturalna utworów triasu dolnego na obszarze perykliny Żar i N części niecki północnosudeckiej. CAG Państw. Inst. Geol.
- STRZELECKI R. 1980 – Wyniki badań mineralizacji uranowej w triasie syneklizy perybałtyckiej. Kwart. Geol., 24: 933–934.
- STRZELECKI R. 1988 – Mineralizacja uranowa utworów środkowego pstrego piaskowca na obszarze syneklizy perybałtyckiej (praca doktorska). CAG Państw. Inst. Geol.
- STRZELECKI R. 2010 – Koreferat do opracowania „Ocena możliwości występowania mineralizacji uranowej w Polsce na podstawie wyników prac geologiczno-poszukiwawczych”. CAG Państw. Inst. Geol.
- STRZELECKI R. & WOŁKOWICZ S. 2011 – Uran. [W:] Wołkowicz S., Smakowski T. & Speczik S. (red.) Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. PIG-PIB Warszawa: 71–75.
- SYLWESTRZAK H. 1972 – Geochemia uranu w młodopaleozoicznych wulkanitach Dolnego Śląska na tle ogólnego zróżnicowania geochemicznego tych skał. Biul. Inst. Geol., 259: 5–92.
- UBERNA J. 1962 – Perspektywy występowania uranu w Górach Świętokrzyskich. CAG Państw. Inst. Geol.
- UBERNA J. 1964 – Uranometryczne zdjęcie glebowe wybranych stref tektonicznych w Górach Świętokrzyskich. CAG Państw. Inst. Geol.
- UBERNA J. 1970 – Występowanie uranu w Górach Świętokrzyskich. CAG Państw. Inst. Geol.
- VAVŘÍN I. 1974 – Uranová mineralizace. [W:] Geologie české křídové pánve a jejího podloží. Ústřední ústav geologický, Praha.
- WOŁKOWICZ S. 1988 – Wyniki badań geologiczno-poszukiwawczych złóż rud uranu w łupkach walchiowych w depresji śródsudeckiej, rejon Wambierzyc, woj. wałbrzyskie. CAG Państw. Inst. Geol.
- WOŁKOWICZ S. 1990 – Uranium enrichment in the Permian organic-rich Walchia shale, Intra-Sudetic Depression, southwestern Poland. Spec. Publ. Inter. Assoc. Sediment., 11: 217–224.
- WOŁKOWICZ S. 1992 – Geneza mineralizacji uranowej w dolno-permskich łupkach walchiowych (depresja śródsudecka) na tle wykształcenia litofacialnego. Prz. Geol., 4: 212–216.
- ZAJĄCZKOWSKI W. 1962 – Metodyka prospekcji geochemicznej. Prz. Geol., 6: 478–479.
- ZAJĄCZKOWSKI W. 1968 – Poszukiwania złóż uranu metodami geochemicznymi na wybranych obszarach Sudetów. Biul. Inst. Geol., 214: 5–74.
- ZDULSKI M. 2000 – Źródła do dziejów kopalnictwa uranowego w Polsce. Wydaw. DiG, Warszawa.

Praca wpłynęła do redakcji 27.05.2011 r.

Po recenzji akceptowano do druku 1.08.2011 r.