



## RAPORTY Z PRAC ZAMAWIANYCH PRZEZ MINISTRA ŚRODOWISKA

### *Ocena możliwości występowania mineralizacji uranowej w Polsce na podstawie wyników prac geologiczno-poszukiwawczych*

Andrzej Solecki<sup>1</sup>, Wojciech Śliwiński<sup>1</sup>, Irena Wojciechowska<sup>1</sup>,  
Dagmara Tchorz-Trzeciakiewicz<sup>1</sup>, Piotr Syrczyński<sup>1</sup>, Marzena Sadowska<sup>1</sup>, Bartosz Makowski<sup>1</sup>

Raport *Ocena możliwości występowania mineralizacji uranowej w Polsce na podstawie wyników prac geologiczno-poszukiwawczych* (Solecki i in., 2010) został przygotowany przez interdyscyplinarny zespół specjalistów, kierowany przez dr. hab. Andrzeja Soleckiego. W trakcie przygotowywania go wykorzystano ponad 600 prac archiwalnych i publikowanych.

Część geologiczno-złożową opracowali poza wyżej wymienionym: dr Wojciech Śliwiński, prof. dr hab. Irena Wojciechowska i dr Dagmara Tchorz-Trzeciakiewicz. Analizę wielokryterialną uwzględniającą aspekty ekonomiczne i środowiskowe wykonał zespół w składzie dr Piotr Syrczyński, mgr Marzena Sadowska i mgr Bartosz Makowski. Podstawą wykonania raportu była umowa nr 330/2009/Wn-07/FG-sm-tx/D z dnia 28 lipca 2009 r. zawarta pomiędzy Ministrem Środowiska i Narodowym Funduszem Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej a firmą WS Atkins – Polska Sp. z o.o.

Celem realizacji przedsięwzięcia było podsumowanie wyników prac geologiczno-poszukiwawczych rud uranu w celu dokonania oceny możliwości eksploatacji udokumentowanych złóż oraz określenie perspektyw poszukiwawczych. W ramach projektu podjęto próbę oceny ewentualnego wykorzystania w przyszłości krajowych zasobów uranu jako paliwa dla polskich elektrowni jądrowych oraz ukierunkowania polityki koncesyjnej w zakresie poszukiwania i rozpoznawania złóż rud uranu. Z uwzględnieniem wstępnie planowanych mocy tych elektrowni, polskie zapotrzebowanie na uran w ciągu 60 lat może sięgać 72 240 ton uranu naturalnego (Strzelecki, 2010), co odpowiada 85 191 ton  $U_3O_8$ , będącego głównym składnikiem żółtego ciasta (*yellow cake*), podstawowej formy handlowej surowca uranowego.

Uran występujący w przyrodzie składa się z mieszaniny trzech izotopów:

<sup>238</sup>U (99,284%),

<sup>235</sup>U (0,711%),

<sup>234</sup>U (0,0058%).

<sup>238</sup>U jest pierwszym członem szeregu rozpadu promieniotwórczego, w którym w wyniku kolejnych rozpadów alfa i beta powstają różne izotopy promieniotwórcze (wśród nich <sup>234</sup>U), aż do powstania stabilnego ołowiu <sup>206</sup>Pb. W wyniku reakcji z neutronami w tzw. reaktorach powielających <sup>238</sup>U może przekształcić się w <sup>239</sup>Pu, będący materiałem rozszczepialnym. W reaktorach jądrowych możliwe jest nie tylko przekształcenie <sup>238</sup>U w rozszczepialny pluton, ale także przekształcenie toru <sup>232</sup>Th w rozszczepialny uran <sup>233</sup>U.

Jądro uranu <sup>235</sup>U może ulegać rozszczepieniu pod wpływem neutronów termicznych, dzięki czemu jest jedynym naturalnym materiałem rozszczepialnym.

Plany zabezpieczenia krajowego zapotrzebowania na uran powinny uwzględniać światowe trendy cenowe tego surowca. Odbiciem tych trendów stało się wprowadzenie Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 23 października 2008 r., opublikowanym w Dzienniku Ustaw z dnia 3 listopada 2008 r., nowych kryteriów bilansowości (tab.1).

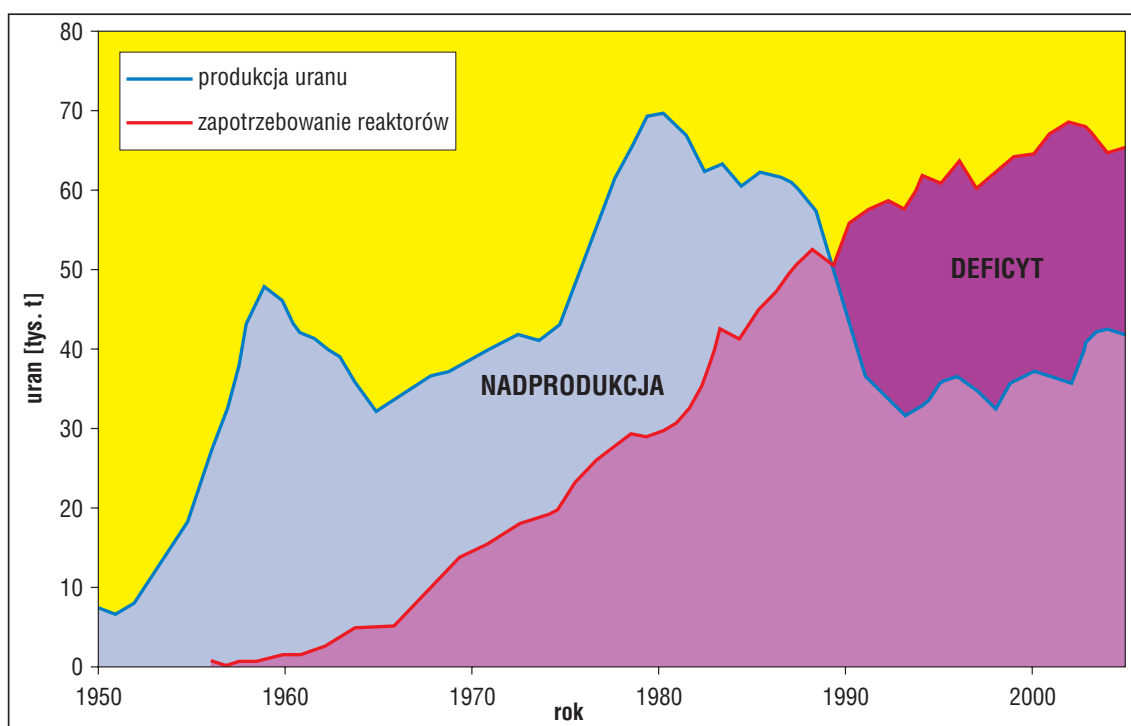
Związki uranu były stosowane już przez starożytnych Rzymian, co najmniej od roku 79, do barwienia szkła i wyrobów ceramicznych. Szeroką popularność od połowy XIX wieku do lat 20. XX wieku zdobyło tzw. szkło wazelinowe, zawierające nawet do 25% uranu (Skelcher, 2002). Po drugiej wojnie światowej wzrost produkcji uranu związany był z zapotrzebowaniem przemysłu zbrojeniowego (ryc. 1), a względy ekonomiczne miały drugorzędne znaczenie. Po wyprodukowaniu znacznych zapasów głowic nuklearnych w latach 60. ubiegłego stulecia zaznaczył się gwałtowny spadek produkcji uranu do poziomu nieznacznie przekraczającego 30 tysięcy ton rocznie, co z nawiązką pokrywało zapotrzebowanie ze strony raczkującej wówczas energetyki jądrowej.

**Tab. 1. Kryteria bilansowości dla złóż rud uranu w prowadzone w 2008 r (Dz.U. z 3 listopada 2008)**

Lp.	Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
1	Maksymalna głębokość dokumentowania złoża	m	1 000
2	Minimalna zawartość $U_3O_8$ w próbce konturującej złożo	% $U_3O_8$	0,03 (0,01)*
3	Minimalna średnia zawartość $U_3O_8$ w profilu złoża wraz z przerostami płonnymi	% $U_3O_8$	0,03 (0,01)*
4	Minimalna zasobność złoża ( $U_3O_8$ )	kg $U_3O_8/m^2$	1,2 (0,8)*

\* zasoby pozabilansowe

<sup>1</sup>WS Atkins – Polska Sp. z o.o., ul. Bonifraterska 17, 00-203 Warszawa; andrzej.solecki@ing.uni.wroc.pl



Ryc. 1. Światowe zapotrzebowanie i produkcja uranu w latach 1950–2006 na podstawie danych WEC 2007

Dynamiczny rozwój energetyki jądrowej i wzrost zapotrzebowania na uran związane były m.in. ze skokowym wzrostem cen ropy naftowej w latach 70. XX wieku. Awaria w Czarnobylu, która zbiegła się z jednoczesnym spadkiem cen ropy, spowodowała zmniejszenie zainteresowania energetyką jądrową, na co najszybciej zareagował przemysł wydobywczy – światowa produkcja uranu spadła do poziomu 30–40 000 t U w dekadzie 1995–2005, mimo rosnącego zapotrzebowania ze strony energetyki jądrowej.

Zapotrzebowanie ze strony energetyki jądrowej osiągnęło w roku 1990 około 50 000 t U i od tego czasu o kilkadziesiąt tysięcy ton przekracza produkcję tego pierwiastka. Deficyt pokrywany jest z tak zwanych źródeł wtórnych. Znaczne zapasy i spowodowany końcem zimnej wojny, mający trwać do 2013 roku, recycling sowieckich głowic bojowych oraz recycling paliwa i przeróbka nagromadzonych hałd spowodowały utrzymywanie się cen uranu na stosunkowo niskim poziomie. W rezultacie pod koniec roku 2000 cena uranu osiągnęła rekordowo niski poziom 18,45 USD/kg U. Niedostateczna podaż uranu wpłynęła jednak w końcu na wzrost cen tego pierwiastka od roku 2001. Wzrost ten dodatkowo wzmocniony został przez pożar w instalacji przerobczej na australijskim złożu Olympic Dam oraz przez wypadek powodujący czasowe unieruchomienie największej i dysponującej najbogatszą rudą kopalni McArthur River w Kanadzie. Efektem wzrostu cen stał się wzrost produkcji do poziomu 52 000 t U w roku 2006, co w dalszym ciągu było poniżej zapotrzebowania. Opóźnienie w otwarciu nowej kopalni Cigar Lake (Kanada), o projektowanej produkcji 7000 t rocznie, spowodowane osuwiskiem i zatopieniem, doprowadziło (wraz z wieloma innymi czynnikami, jakie akurat wystąpiły u innych producentów) do rekordowo wysokiej ceny uranu 194,80 USD/kg U w lutym 2007, a nawet 354 USD/kg U w czerwcu tegoż roku. Na początku 2008 roku cena uranu wynosiła 238 USD/kg U, w grudniu 2008 spadła do 138 USD/kg U

(WEC, 2007; NEA, 2008). Rekordowo wysoka cena uranu z roku 2007 spowodowała intensyfikację poszukiwań nowych złóż uranu. Mimo późniejszego kontynuowania tendencji spadkowych związanych z kryzysem prognozy dla energetyki jądrowej, a co za tym idzie dla górnictwa uranu, pozostają optymistyczne, a oczekiwany do roku 2030 wzrost zapotrzebowania na uran może dojść do poziomu od 94 000 do 122 000 t (Chwaszczewski, 2008).

Warto jednak pamiętać, że potencjalnym źródłem dostaw są nie tylko kopalnie uranu, ale istnieje też możliwość odzyskiwania izotopu  $^{235}\text{U}$  w wyniku powtórnego przerobu zapasów zubożonego uranu pozostałych po ekstrakcji tego izotopu.

W części geologicznej omawianego raportu opisano historię poszukiwań i eksploatacji uranu w Polsce, wykonano analizę formacyjną złóż uranu w nawiązaniu do znanych z literatury złóż światowych. Przeprowadzono również analizę opisanych w materiałach archiwalnych wyników dotychczasowych poszukiwań pod kątem oceny możliwości udokumentowania zasobów spełniających aktualne kryteria bilansowości.

### Historia poszukiwań i eksploatacji uranu w Polsce

Pierwsze doniesienie o obecności uranu na terenie Sudetów pochodzą z drugiej połowy XIX wieku (Websky, 1853; Traube, 1888). Uran był wówczas traktowany jako odpad, względnie surowiec do produkcji farb uranowych. W momencie odkrycia rudy (1898) ruda uranowa stała się surowcem do pozyskiwania tego pierwiastka. Początkowo informacje o obecności uranu dotyczyły rejonu Miedzianki i Kowar, z czasem rozciągnięte zostały na cały obszar Sudetów (Petraschek, 1933, 1934; Kohl, 1942). W początkowym okresie drugiej wojny światowej uran nie wzbudził jeszcze większego zainteresowania, ale już w latach 1943–1944 wydobyto w Kowarach kilkadziesiąt ton rudy i

przetransportowano do Berlina z przeznaczeniem do badań dla celów wojskowych (Adamski, 1989).

Po II wojnie światowej na terenie Dolnego Śląska rozpoczęła działania polska Rządowa Komisja Inwentaryzacyjna pod kierownictwem profesora Andrzeja Bolewskiego. Przedmiotem jej prac, oprócz złóż innych surowców, były również złoża uranu (Wojciechowska, inf. ustna 2009). Udokumentowane zainteresowanie złożami rud uranu w Polsce rozpoczęło się w 1947 r. od wizyty radzieckich ekspertów geologicznych. Wiązało się to z faktem znalezienia na terenie Niemiec rud uranu pochodzących z terenu Sudetów. Eksperci radzieccy wysunęli wniosek o złożowej perspektywiczności Sudetów i celowości prowadzenia na tym terenie prac poszukiwawczych za złożami uranu. Organizacją prac poszukiwawczych i wydobywczych zajęło się powołane 1 stycznia 1948 r., na podstawie umowy pomiędzy rządami PRL i ZSRR, przedsiębiorstwo *Kuznieckije Rudniki* (polska nazwa *Kopalnie Kowarskie*). W 1951 r. przemianowane ono zostało na *Zakłady Przemysłowe R-1, Państwowe Przedsiębiorstwo Wyodrębnione* w Kowarach. Po utworzeniu przedsiębiorstwa w styczniu 1948 r. rozpoczęły działalność poszukiwawcze grupy ekspertów radzieckich (ok. 30 osób kadry geologicznej i geofizycznej). Początkowo (1948–1950) prace miały głównie charakter rewizyjny i polegały na przeglądzie wszystkich wyrobisk górniczych oraz hałd kopalń czynnych i nieczynnych na terenie Dolnego Śląska. Drugi etap prac (1950–1953) polegał na aktywnych poszukiwaniach z użyciem metod geologicznych, geofizycznych, geochemicznych, wiertniczych i górniczych (w tym aeroradiometrycznych, emanacyjnych i radiohydrologicznych); przebadano wszystkie struktury geologiczne Sudetów i objęto nimi Góry Świętokrzyskie, Karpaty, Zagłębie Górnośląskie, Zagłębie Częstochowskie i zmagazynowane rdzenie wiertnicze. Celem było wykrycie powierzchniowych i płytko zalegających złóż uranu. Prace te miały ogromny zasięg i rozmiary, tylko w rejonie Kowar, Miedzianki i Kletna wykonano 71 sztolni, 41 szybów i 360 km wyrobisk podziemnych, a w całych Sudetach tysiące kilometrów kwadratowych zdjęć emanacyjnych. W sumie w latach 1948–1955 na obszarze Polski odkryto 17 złóż uranu i kilkaset miejsc występowania anomalii promieniotwórczych. Większość z nich została udostępniona metodami górniczymi i wyeksploatowana w trakcie badań. Całość prac prowadzona była przez *Zakłady Przemysłowe R-1* i finansowana przez stronę radziecką. Jakość sprzętu badawczego i samych prac, a tym samym wiarygodność wyników, była w opinii Kaczmarka (1958) niska, zwłaszcza w początkowym okresie.

Odkrycie nowych złóż na terenie Związku Radzieckiego i odwilż w stosunkach międzynarodowych spowodowały spadek znaczenia polskich złóż uranu. W latach 1956–1957 prace geologiczne i wydobywcze rud uranu przeszły stopniowo w kompetencje polskiej służby geologicznej. W 1956 r. na Instytut Geologiczny nałożono obowiązek prowadzenia i nadzorowania tzw. badań równoległych, polegających na: wykonywaniu pomiarów radiometrycznych skał i wód kopalnianych w wyrobiskach górniczych, w otworach wiertniczych, pomiarach radiometrycznych rdzeni i pomiarach radiometrycznych wykonywanych podczas kartowania geologicznego. W IG w Warszawie powstała powołana w tym celu Pracownia Badań Radiometrycznych Zakładu Złóż Pierwiastków Rzadkich i

Promieniotwórczych. Od 1957 r. *Zakłady Przemysłowe R-1* prowadzone były już wyłącznie przez polskich geologów i geofizyków. Powstała w tym czasie ekspertyza oceniła jako niską możliwość znalezienia na powierzchni znaczących złóż uranu na terenie Polski (Burek, 1958) i zaleciła rozszerzenie prac geofizycznych, wiertniczych i górniczych, zmierzających do znalezienia złóż zalegających głębiej w górotworze. Prace te miały być poprzedzone pracami koncepcyjnymi nad genezą i prawidłowościami wystąpień złóż.

W 1959 r. powstało pierwsze polskie opracowanie (w literaturze jako redaktor wymieniany jest najczęściej autor pierwszego rozdziału A. Kaczmarek) pt. *Ocena uranośności Sudetów w oparciu o wyniki dotychczasowych prac poszukiwawczych prowadzonych przez Zakłady Przemysłowe R-1*. Ta bardzo obszerna, trzypięciotomowa praca stała się bazą wszystkich późniejszych opracowań na temat złóż i wystąpień uranu w Sudetach (np. Borucki i in., 1965; Cwojdzński in., 2008).

Spośród kilkudziesięciu sudeckich złóż i wystąpień uranu znaczącym sukcesem poszukiwawczym i eksploatacyjnym okazały się tylko dwa złoża: Podgórze (eksploatacja w latach 1950–1958) i Radoniów (1956–1964). Formalnej dokumentacji geologicznej doczekały się tylko trzy złoża: Radoniów, Okrzeszyn i Grzmiąca.

Złoże Okrzeszyn w utworach najwyższego karbonu i dolnego permu zostało udokumentowane w 1956 r. (Unkowskij & Burawlow; dokumentacja rosyjska), a następnie aneksowane (Kaczmarek, 1958; dokumentacja polska), łącznie określono zasoby na 937 ton metalicznego uranu. W 1959 r. przeprowadzono na niewielką skalę próbną eksploatację złoża. Złoże to nie weszło jednak do eksploatacji ze względu na brak wówczas skutecznej i taniej technologii odzysku metalu z węgla i nie podjęto już takiej próby później.

W 1955 r. stwierdzono otworami mineralizację uranową w piaskowcach górnokarbońskich w rejonie wsi Grzmiąca, a w 1957 r. traktowano je już jako złożo i prowadzono intensywne prace wiertnicze. Złoże udokumentowane zostało ostatecznie w 1960 r. z zasobami wynoszącymi 820 ton uranu (zasoby bilansowe i pozabilansowe łącznie; Bojarski & Zamojski, 1960). Prowadzone, z przerwami, po lata 80. XX w. wiertnicze prace poszukiwawcze nie przyniosły powiększenia zasobów złoża.

Ostatnim obszarem na terenie Sudetów, w którym prowadzono na szeroka skalę prace poszukiwawcze, był rejon Wambierzyc. Prace i roboty geologiczne w tym rejonie prowadzono z długimi przerwami od 1952 do 1987 roku. Oszacowane w latach pięćdziesiątych przez Rosjan zasoby na 217,5 ton uranu (w mułowcach i łupkach ilastych dolnego permu) ostatecznie uznano za nieperspektywiczne z uwagi na zbyt niską zawartość uranu w rudzie i niekorzystną, z technologicznego punktu widzenia, formę jego występowania (Wołkiewicz, 1991).

Prowadzone przez Instytut Geologiczny badania równoległe przyniosły, poczynając od lat 50. XX w., szereg cennych odkryć. Pierwszym z nich było stwierdzenie bogatej anomalii radiometrycznej związanej z obecnością uranu w utworach pstrego piaskowca na obszarze syneklizy perybałtyckiej (rok 1958, otwór Paślęk IG-1; Kanasiewicz i in., 1965). Prace kontynuowane w latach 70. XX w. przyniosły początkowo kolejne interesujące znaleziska w rejonie od Paślęku po Krynicy Morską. Jednakże dalsze roboty geolo-



giczne, w końcu lat 70. ubiegłego stulecia, nie doprowadziły do planowanego udokumentowania złoża w kategorii C2 (Bareja i in., 1983) i ostatecznego określenia morfologii i rozprzestrzenienia wystąpienia uranu, a oszacowane zasoby miały jedynie orientacyjny charakter (Nieć i in., 1989).

Na terenie łęckiego masywu syenitowego stwierdzono w latach 1964–1982 wysokie anomalie gamma o charakterze uranowo-torowym i wysokie koncentracje pierwiastków ziem rzadkich. Ze względu na dużą głębokość występowania i stosunkowo niskie zawartości uranu, wystąpienia te nie były brane pod uwagę w kategoriach złożowych (Bareja & Kubicki, 1983).

W latach 1965–1969 przeprowadzono szczegółową interpretację setek otworów z obszaru monokliny przedsudeckiej, w wyniku czego zarejestrowano szereg anomalii promieniowania gamma w utworach triasu dolnego (Bareja i in., 1973; Strzelecki, 1977, 1978).

W 1967 r. w wyniku badań równoległych w utworach dolnego ordowiku obniżenia podlaskiego stwierdzono podwyższone zawartości uranu, wanadu i molibdenu w próbkach z otworu Rajsk-1. W rezultacie realizacji kolejnych projektów poszukiwawczych (1967–1972) odwiercono w tym rejonie 62 otwory, z których tylko jeden (Rajsk IG-2), położony w bezpośrednim sąsiedztwie Rajska-1, potwierdził bardzo wysoką koncentrację uranu. Podsumowaniem prac była dokumentacja geologiczna złoża uranu *Rajsk* w kat. C2, dla części badanego terenu (Sałdan i in., 1976).

Na terenie Gór Świętokrzyskich w latach 1952–1956 prace poszukiwawcze prowadziły *Zakłady Przemysłowe R-1*, a następnie kontynuowane były w ramach badań równoległych (Uberna, 1962, 1970). Znajdująca się w Rudkach kopalnia pirytu *Staszic* była jedyną, poza Sudetami, gdzie prowadzono regularne wydobywanie rud uranu i jednocześnie najdłuższą działającą w Polsce (do roku 1968). Wydobyto tu w latach 1960–1964 ok. 2,5 tony uranu (o wcześniejszym i późniejszym wydobywaniu brak danych). Ostatnia sudecka kopalnia uranu – *Radoniów* – została zamknięta w 1964 r.

Poszukiwania uranu w Karpatach (1956–1962) skoncentrowane były na uranonośnych łupkach menilitowych, nie doprowadziły jednak do udokumentowania złóż uranu (Kita-Badak i in., 1963).

Na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego *Zakłady Przemysłowe R-1* prowadziły regularne prace rewizyjne, w wyniku których zlokalizowano szereg drobnych anomalii uranowych. Opublikowanym podsumowaniem problemów metalogenezy uranu w utworach GZW jest praca Sałdana (1965).

Ruda uranu wydobywana w Polsce była w całości sprzedawana do ZSRR. W ramach między państwowych porozumień strona radziecka zobowiązała się kupować rudę o zawartości 2000 ppm uranu, i taka ruda była przedmiotem polskiego eksportu do ZSRR w latach 50. XX w. Z początkiem lat 60. ubiegłego stulecia doszło do wyczerpania bardziej bogatych części złóż. Próba zaradzenia istniejącym trudnościom było powołanie zakładu doświadczalnego w Kowarach, którego zadaniem miało być uzyskanie koncentratu spełniającego wymagania odbiorcy. Ze względu jednak na coraz uboższy skład rud, wyczerpywanie się złóż i nierozwiązane problemy technologiczne,

zakład został zlikwidowany, a infrastruktura przekazana Politechnice Wrocławskiej.

Według trudnych do zweryfikowania i niekompletnych danych w latach 1948–1968 wydobyto na terenie Polski około 880 ton uranu.

### Przegląd złóż i obszarów perspektywicznych na terenie Polski

Poniżej omówiono tylko najbardziej interesujące ze złóż. Znane dotychczas złoża i mineralizacje uranowe występują zasadniczo na terenie następujących jednostek geologicznych Polski (ryc. 2.):

1. platformy prekambryjskiej (zapadlisko podlaskie – ordowickie łupki dictyonemowe i synekliza perybałtycka – piaskowce dolnotriasowe);
2. bloku dolnośląskiego (Sudety – zarówno waryscyjskie podłoże, jak i powaryscyjska platforma);
3. zrębu Gór Świętokrzyskich i dolnego Sanu (G. Świętokrzyskie – strefy tektoniczne w obrębie cokołu i pokrywy);
4. struktury śląsko morawskiej (Zagłębie Górnośląskie – górnokarbońska seria węglonośna);
5. platformy paleozoicznej (monoklina przedsudecka – piaskowce dolnotriasowe);
6. Karpat – oligoceńskie łupki menilitowe.

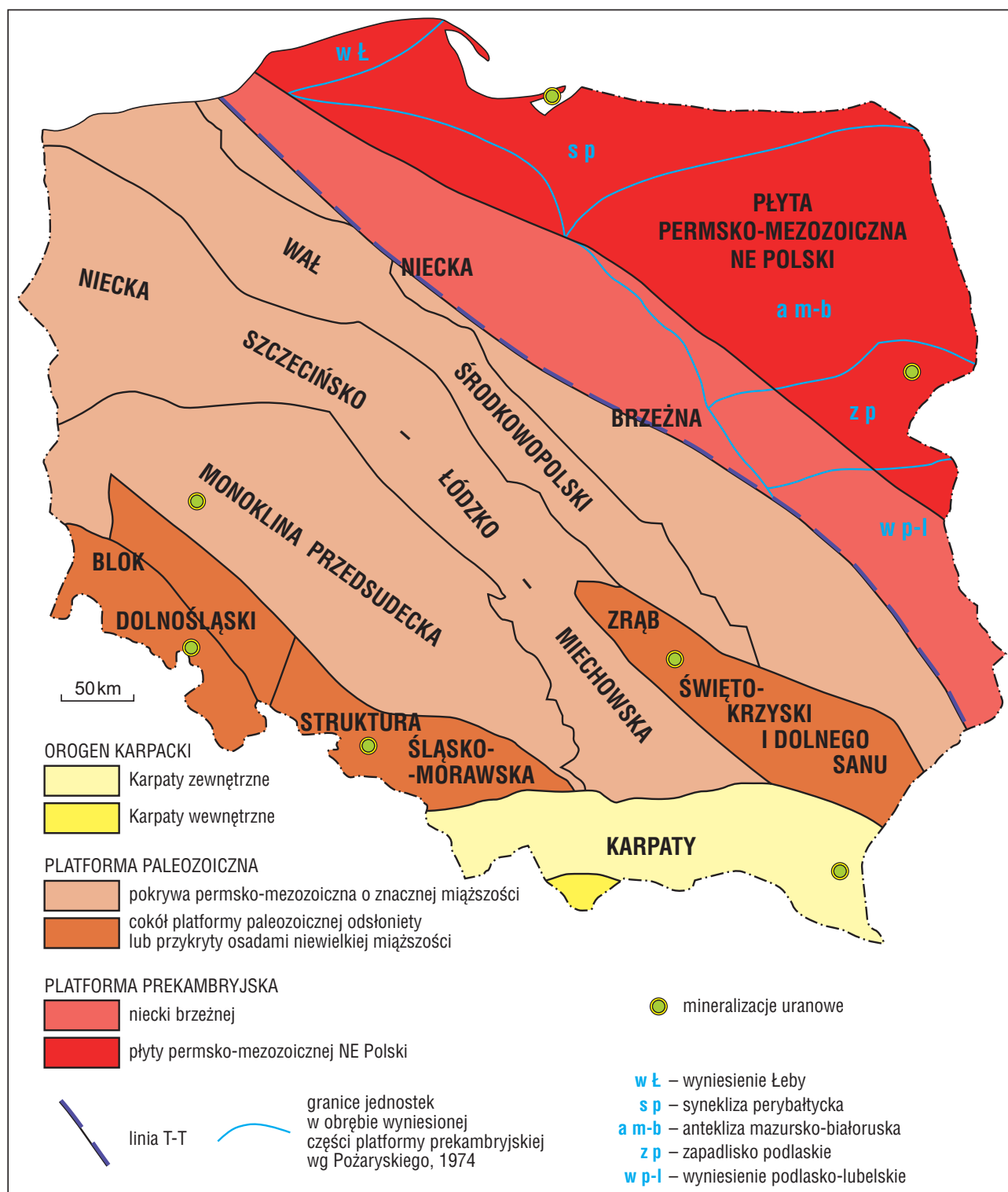
W serii ordowickich łupków dictyonemowych zapadliska podlaskiego (ryc. 3) z zasobów udokumentowanych w 1976 r. (Sałdan i in., 1976) tylko 470,6 ton  $U_3O_8$  spełnia kryteria bilansowości z roku 2008. W świetle obliczeń sprawdzających wykonanych w ramach omawianego raportu jest to tylko 450,3 ton  $U_3O_8$ .

Przesłanki geologiczne wskazują, że potencjalnie można liczyć się z dwukrotnym zwiększeniem zasobów po rozpoznaniu obszaru przyległego od wschodu do otworu Rajsk 1 (ryc. 4).

Przy dużej głębokości zalegania (544 m) i małych zasobach pozostaje do ewentualnego wdrożenia tylko eksploatacja otworowa, wymagająca opracowania nowej technologii. Mimo stosunkowo wysokiej średniej zawartości uranu w tej całej serii łupków, a zwłaszcza w jej czarnej odmianie, o jakości złoża decydują wtórne procesy mineralizacyjne, prawdopodobnie związane ze strefą tektoniczną (ryc. 3). Dlatego też zasoby perspektywiczne, udokumentowane w 1977 r. (Sałdan i in., 1977), należy uznać za niespełniające aktualnych kryteriów, chociaż istnieją na tym obszarze szanse znalezienia stref wtórnego wzbogacenia. Znaczne światowe zasoby skał o podobnych zawartościach uranu odsłaniających się na powierzchni (fosforyty Maroka i USA, łupki dictyonemowe Estonii) sprawiają, że trudno oczekiwać, aby w przyszłości zaistniały warunki ekonomiczne do wydobywania uranu z łupków Podlasia, poza strefami wtórnego wzbogacenia. Pewne nadzieje można mieć w przypadku powiązania prac poszukiwawczych wydobywczych rud uranu z pracami poszukiwawczymi za gazem łupkowym.

Należałoby rozważyć połączony odzysk uranu za pomocą metody otworowej połączonej z wypalaniem substancji organicznej, generacją gazu i ługowaniem pozostałości w celu wydobywania uranu.

W piaskowcach dolnotriasowych syneklizy perybałtyckiej nie zostały jak dotychczas udokumentowane

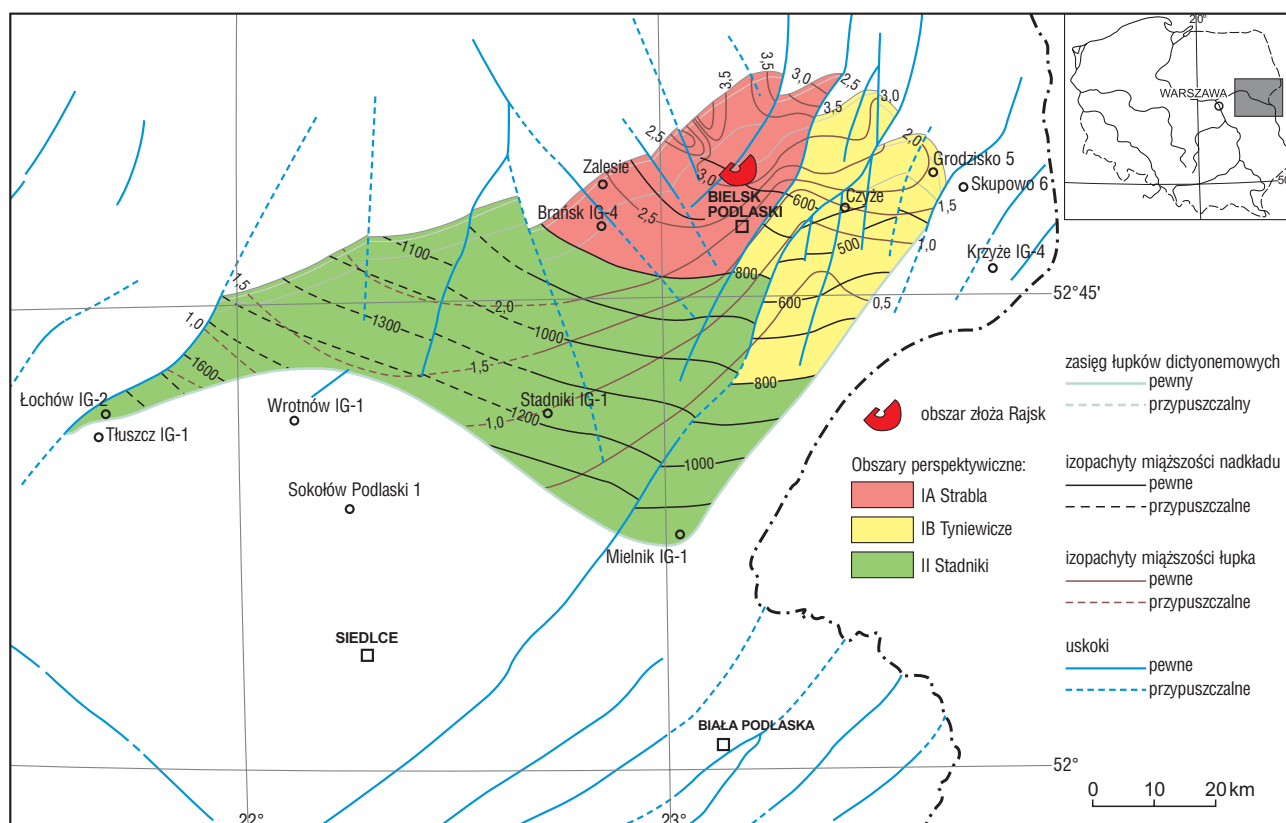


Ryc. 2. Lokalizacja wystąpień mineralizacji uranowych na tle jednostek geologicznych Polski<sup>2</sup> (wg Pożaryski, 1974; Stupnicka, 1989)

zasoby rud uranu. Uzyskane wyniki stwarzają perspektywę udokumentowania złóż spełniających kryteria bilansowości z 2008 r. Konieczne jest jednak rozpoznanie warunków hydrogeologicznych kluczowych dla procesu podziemnego ługowania. W świetle dotychczasowych badań

warunki litologiczne zalegania mineralizacji są niesprzyjające i wymagają poważnych modyfikacji istniejących technologii podziemnego ługowania. Dotychczasowe rozpoznanie warunków litologicznych, a zwłaszcza porowatości i przepuszczalności, należy uznać za niewystarczające,

<sup>2</sup> Nowsze podziały można znaleźć w artykułach: Dadlez & Narkiewicz, 2008 (Prz. Geol., 56: 394) oraz w artykułach z *Przeglądu Geologicznego*, vol. 56, nr 10, poświęconego w całości regionalizacji geologicznej Polski (przyp. red.).



Ryc. 3. Lokalizacja złoża Rajsk i obszarów perspektywicznych w obrębie zapadliska podlaskiego (na podstawie Sałdan i in., 1977)

co pozwala mieć nadzieję, że mogą okazać się one lepsze niż można sądzić na podstawie istniejących danych. Brak jest pewności co do kształtu stref mineralizowanych i nie ma pewności, czy mają one kształt sierpowaty (*roll front*) czy też tabularny (ryc. 5).

Należy podkreślić, że dla otworów w rejonie Krynicy Morskiej i Ptaszkowa średnia zasobność I i II poziomu zmineralizowanego wynosi  $8,8 \text{ kg U}_3\text{O}_8/\text{m}^2$  (maksymalna dochodzi do  $34 \text{ kg U}_3\text{O}_8/\text{m}^2$ ), co odpowiada  $8800 \text{ t U}_3\text{O}_8/\text{km}^2$ . Biorąc pod uwagę znane z literatury rozmiary ciał rudnych typu *roll front* i zasięg stwierdzonej mineralizacji od Krynicy Morskiej po Pasłęk (ryc. 6), do celów projektowania geologicznych prac poszukiwawczych można wstępnie założyć, że istnieją potencjalne szanse na udokumentowanie złoża o powierzchni rzędu  $50 \text{ km}^2$ , co mogłoby dać zasoby rzędu  $440\,000 \text{ t U}_3\text{O}_8$ . Wielkość ta wielokrotnie przekracza ilość  $72\,240 \text{ ton}$  uranu, potrzebne na  $60 \text{ lat}$  działania obu planowanych elektrowni jądrowych (por. Strzelecki, 2010), nie ma jednak żadnej gwarancji uzyskania powyższych zasobów. Ponieważ znane z literatury złoża typu *roll front* charakteryzują się znacznym wydłużeniem, można liczyć na to, że duża część odkrytego ewentualnie w rejonie Krynicy Morskiej złoża będzie leżała poza obszarami chronionymi (ryc. 6).

Mineralizacje uranowe obszaru Sudetów (ryc. 7) były w przeszłości jedynym (poza kopalnią *Staszic* w G. Świętokrzyskich) miejscami eksploatacji uranu w Polsce. W chwili obecnej jedyne znaczące, choć niewielkie zasoby pozostały tylko w złożach Okrzeszyn i Grzmiąca.

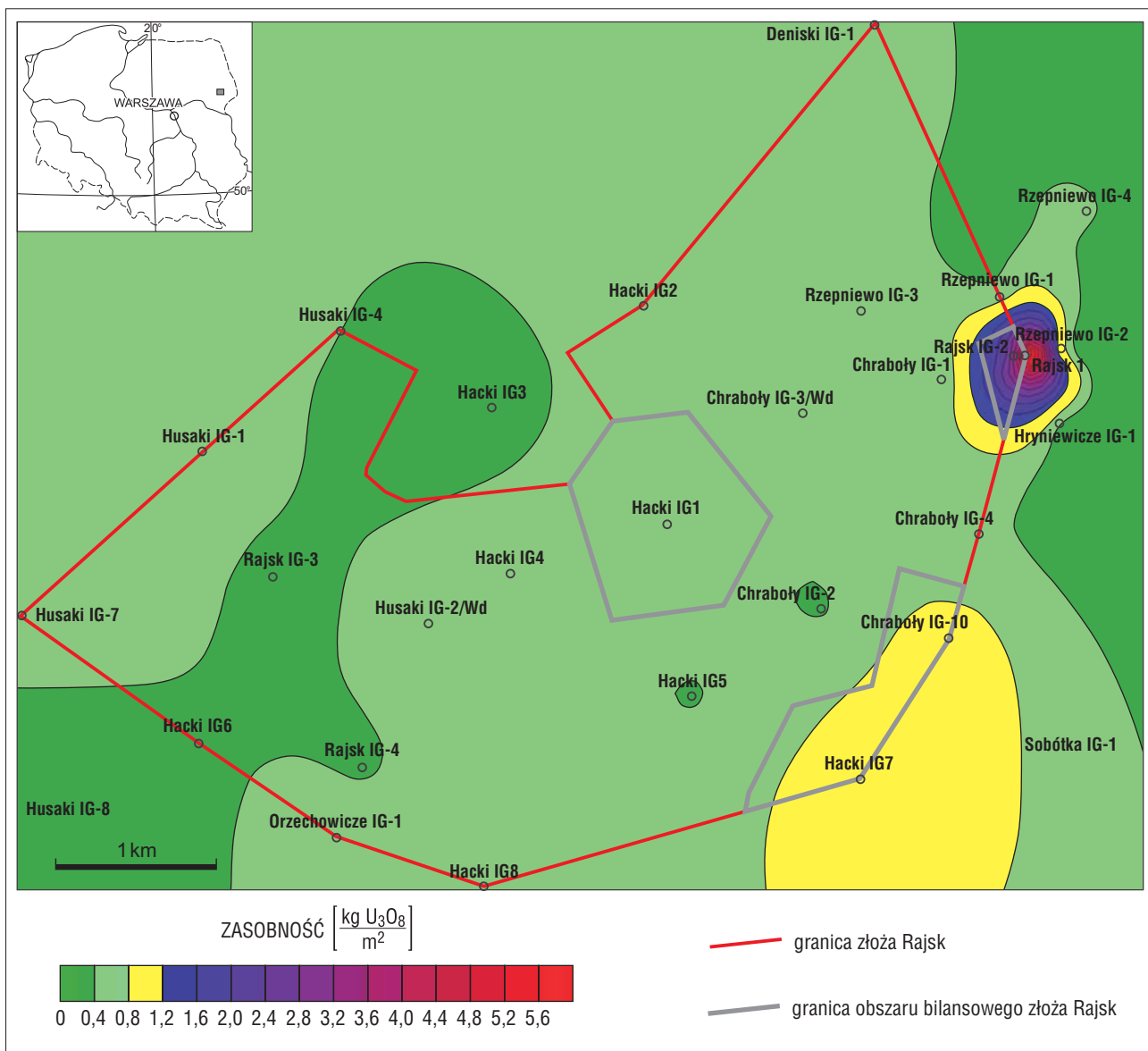
Weryfikacja danych odnośnie do złoża Okrzeszyn jest utrudniona ze względu na niekompletność materiałów

archiwalnych. Okruszcowanie uranowe w Okrzeszynie rozmieszczone jest w kilkunastu horyzontach w pokładach węgla, wklądkach węglowych oraz ilasto-węglistych łupkach należących do formacji z Glinika (piętro stefiańskie B, karbon górny) i czerwono-brunatnych osadach klastycznych z wklądkami wapieni zaliczanych do formacji z Ludwikowic (stefan C) i formacji z Krajanowa (dolna część autunu), znanych także jako łupki antrakozjowe dolne i górne.

Zsumowanie wyników obliczeń autorów pierwszej dokumentacji (Unkowskij & Burawlow, 1956) i drugiej (Kaczmarek, 1958) daje wynik  $938 \text{ ton}$  uranu, według przyjętych wówczas kryteriów bilansowości dla zasobów bilansowych i pozabilansowych. Obecne kryterium zawartości  $\text{U}_3\text{O}_8$  spełnia jednak tylko część (od  $30,4$  do  $46,7\%$ ) spośród profili przyjętych wówczas do obliczeń. Nieistniejące w latach 50. XX w. kryterium zasobności spełnione jest przez jeszcze mniejszą ilość profili (od  $4,7$  do  $23,6\%$ ) w zależności od analizowanego pokładu. W tej sytuacji wobec niespełnienia obu kryteriów i braku możliwości wykreślenia zwartych pól zasobowych, nie można uznać zasobów złoża Okrzeszyn za bilansowe.

Dodatkowe utrudnienie ewentualnej eksploatacji złoża stanowią wielopokładowy charakter złoża, nierozwiązany sposób odzyskiwania uranu z węgla oraz najprawdopodobniej konieczność powtórzenia części lub większości robót geologicznych na tym złożu.

Złoże Grzmiąca występuje w piaszczysto-zlepieńcowatych osadach ogniwa z Łomnicy (formacja z Glinika, stefan AB). Osady ogniwa z Łomnicy cechują się naprzemianległym, nieregularnym występowaniem zlepieńców, piaskowców, mułowców i łupków ilastych o zmiennej



Ryc. 4. Zasobność łupków dictyonemowych w rejonie złoża Rajska

miąższości od kilkunastu centymetrów do kilku metrów. Cykle sedimentacyjne mają charakter drobniejący ku górze, przy czym przeważają osady gruboklastyczne.

Złoże Grzmiąca dysponuje zasobami 810 ton uranu występującymi w 3 pokładach. Aktualne kryterium zawartości  $\text{U}_3\text{O}_8$  jest spełnione przez wszystkie przekroje wzięte do obliczeń zasobów, kryterium zasobności spełnia większość przekrojów (nie spełniają tego kryterium trzy przekroje w pokładzie niższym i jeden w wyższym, ryc. 8).

Zdaniem autorów opracowania, dobry stan rozpoznania złoża oraz sprzyjające warunki geologiczne predysponują złoże Grzmiąca do eksploatacji. Za szczególnie korzystną należy przyjąć metodę podziemnego ługowania, sprzyjają temu:

a) fakt występowania mineralizacji w porowatych i przepuszczalnych osadach detrytycznych – w piaskowcach i zlepieńcach;

b) obecność w miarę regularnych ilastych utworów izolujących pokłady uranonośne od utworów płonnych,

szczególnie dotyczy to pokładu głównego i niższego, a także na wielu odcinkach pokładu wyższego;

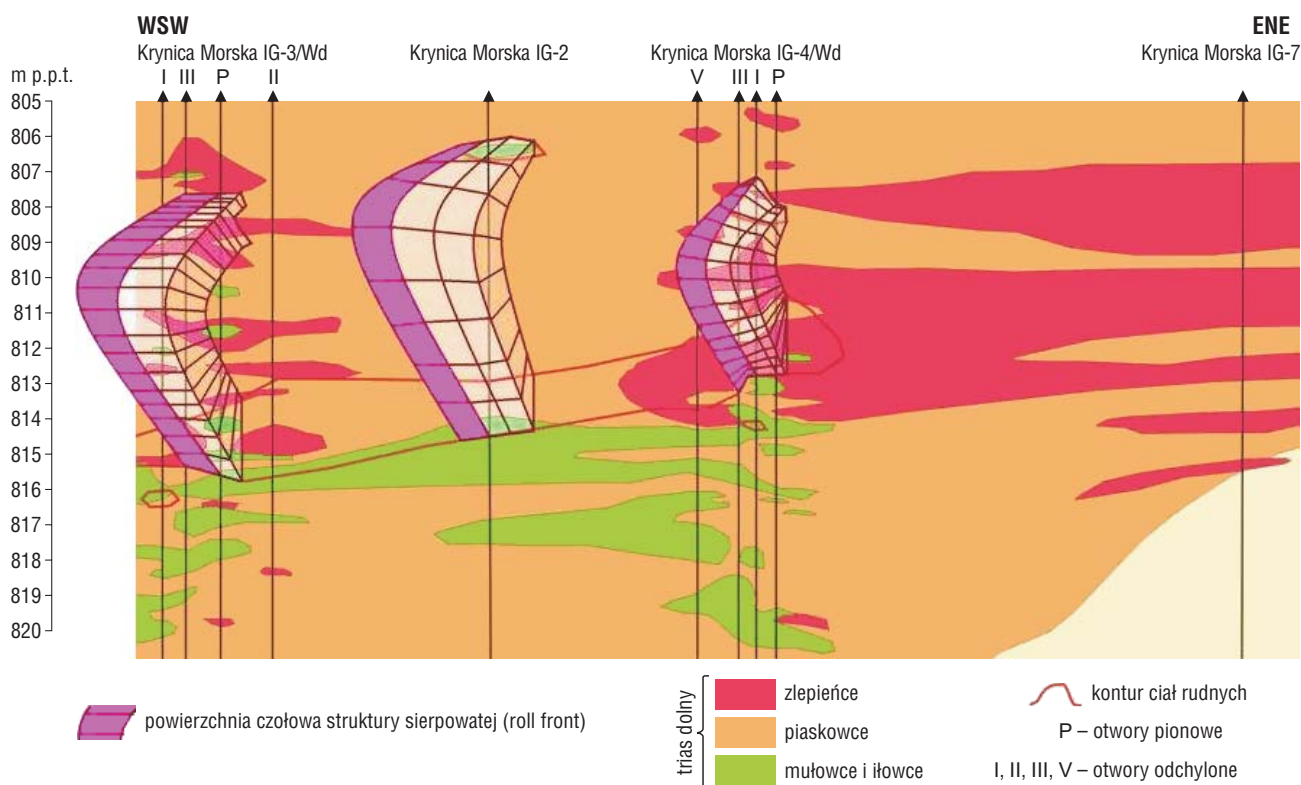
c) częste położenie sąsiednich pokładów uranonośnych w obrębie jednej ławicy klastycznej (dotyczy to części pokładów głównego i niższego);

d) niewielka ilość minerałów węglanowych co znacznie upraszcza proces ługowania kwasowego.

W wyniku przeprowadzonej analizy, opartej na cytowanych w raporcie opracowaniach i publikacjach, za perspektywiczne dla wystąpień żyłowych i sztokwerkowych można uznać obszary zaznaczone na ryc. 7. Szczególnie interesujący jest obszar A (ryc. 7) uznany przez Niecia (w pracy: Cwojdzński i in., 2008) za perspektywiczny dla wystąpień związanych z albitami.

Spośród karpacczych czarnych łupków prawdopodobnie część serii menilitowej rejonu Bezmiechowej spełnia aktualne kryteria bilansowości. Biorąc pod uwagę podawaną przez Kita-Badaka i in. (1963) miąższość łupków uranonośnych, wahającą się od 2 do 5 m, przy średniej zawartości





Ryc. 5. Przekrój przez ciało rudne Krynica Morska (wg Bareja i in., 1983) z zaznaczonym hipotetycznym przebiegiem powierzchni sierpowatej (*roll-front*)

238 ppm  $U_3O_8$ , dla gęstości objętościowej  $2 \text{ t/m}^3$ , można oczekiwać wydajności od 0,95 do  $2,4 \text{ kg } U_3O_8 / \text{m}^2$ . Można zatem sądzić, że znaczna ich część może spełniać aktualne kryteria bilansowości, ale w celu zapewnienia paliwa dla planowanych w Polsce dwóch elektrowni jądrowych potrzeba, uwzględniając dane Strzeleckiego (2010), ponad  $35 \text{ km}^2$  złoża o takiej zasobności – czego trudno oczekiwać.

Eksploatacja tych skał była rozważana w latach 60. XX w. do celów pozyskiwania oleju łupkowego i już wtedy było to przedsięwzięcie na granicy opłacalności. W rejonie Wyżnego Synowódzka (obecnie Verkhnye Synyovydne, Ukraina) jeszcze przed II wojną światową *Wspólnota Interesów Górniczo-Hutniczych w Katowicach* podjęła próbę przemysłowej eksploatacji łupków menilitowych w celu produkcji oleju łupkowego (Pazdro, 1948), kontynuowaną później przez firmy ukraińskie. W obecnych warunkach ekonomicznych należałoby rozważyć połączony odzysk uranu i oleju łupkowego, w tym także za pomocą metody otworowej połączonej z wypalaniem substancji organicznej, generacją gazu i ługowaniem pozostałości w celu wydobycia uranu.

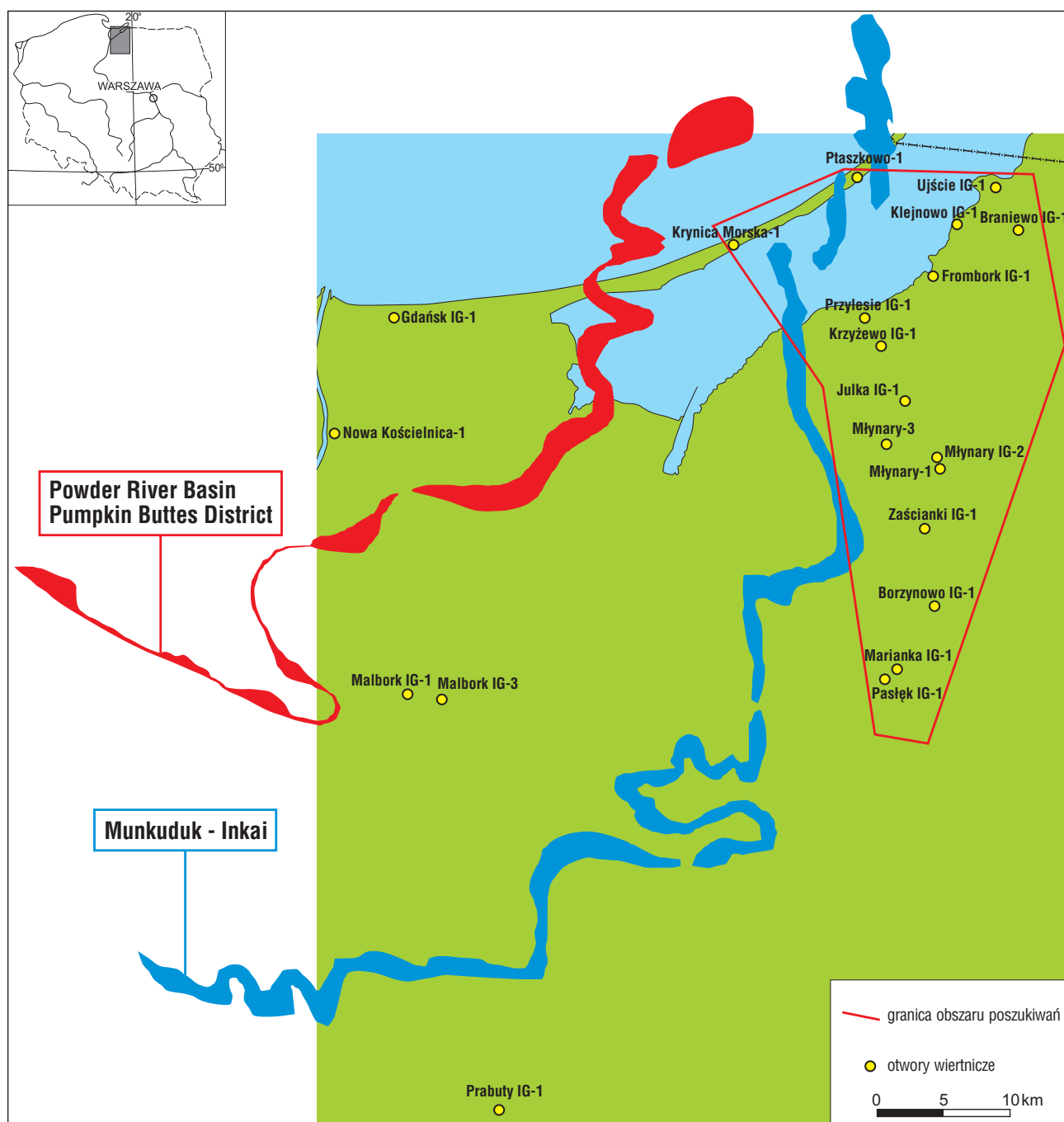
W świetle poglądów Gawła (1970) szczególnie interesujący jest fakt występowania najsilniej zmineralizowanych wystąpień łupków (Bezmiechowa Góra, Monasterzec) w rejonie strefy nasunięcia płaszczowiny śląskiej (ryc. 9), mogącej być dobrą drogą migracji roztworów węglanych i wtórnego wzbogacenia w uran łupków, które niezależnie od tego charakteryzują się pierwotnie syngensydemantacyjnymi podwyższonymi zawartościami. Roztarte w spągu płaszczowiny pakiety tych łupków mogły być źródłem uranu dla migrujących z głębi roztworów. Przyjęcie takiej hipotezy wskazywałoby na tektoniczne uwarunkowania najbardziej perspektywicznych lokalizacji poszuki-

wawczych. Niemniej należy tu oczekiwać raczej złóż niewielkich, natomiast głównym przedmiotem wydobycia może być raczej olej (lub gaz) łupkowy.

### Analiza wielokryterialna

W opinii autorów przyjęcie strategii poszukiwań własnych złóż uranu na terenie Polski, w świetle istniejących materiałów archiwalnych, jest w większym stopniu decyzją polityczną niż ekonomiczną. Jej głównym celem będzie raczej uniezależnienie kraju od wahań popytu i podaży na rynku światowym. Do oceny możliwości perspektyw poszukiwania i eksploatacji złóż uranu w Polsce kluczowym zagadnieniem są kwestie ekonomiczne. Światowy rynek uranu posiada ustalone schematy prowadzenia badań geologicznych, dokumentowania zasobów oraz wykonywania raportów z wydobycia i produkcji ze złóż i zakładów przerobczych uranu. Na rynku tym jest czterech najważniejszych producentów: *Cameco*, *BHP Billiton*, *Areva* i *Rio Tinto*, kontrolujących razem ok. 60 % światowej produkcji, ale duże znaczenie ma konkurencja nowych firm działających na nowych obszarach perspektywicznych w Kazachstanie, Kanadzie, USA, Australii, Mongolii, Namibii i kilku innych krajach afrykańskich. Istnieje również kilka państw, które potencjalnie mogą odegrać istotną rolę, ale ich zasoby nie są do końca niezależnie zweryfikowane (Brazylia, Rosja, Chiny, Jordania, RPA – też złoża w hałdach). W jednym z rozdziałów naszego raportu (Solecki i in., 2010) przedstawiono aktualną sytuację firm działających na rynku uranu oraz opisano najważniejsze projekty zagraniczne, mające istotny wpływ na kształtowanie się cen uranu. Zainteresowani powinni w tym celu





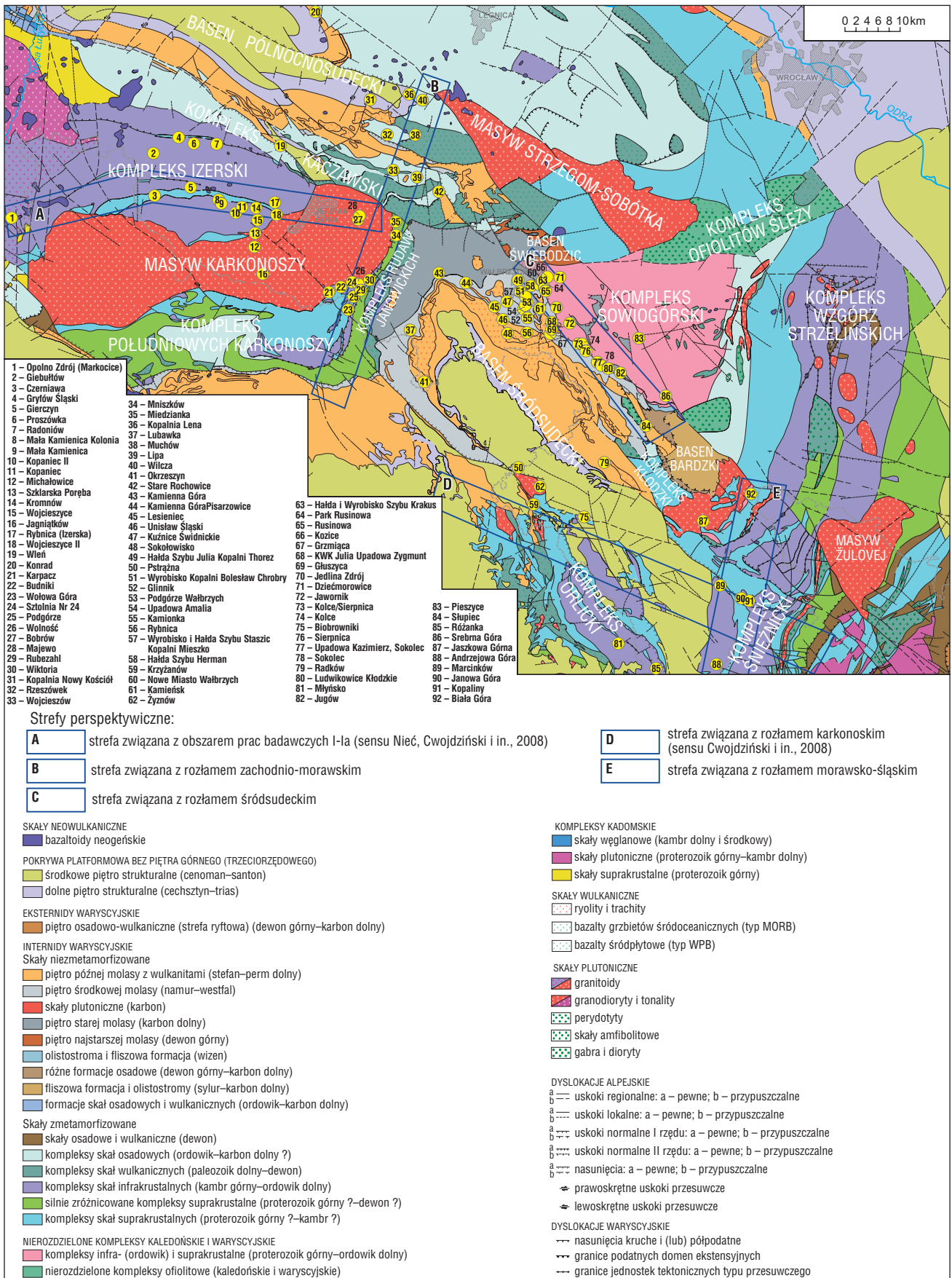
Ryc. 6. Porównanie kształtów i rozmiarów światowych złóż typu *roll-front* z obszarem poszukiwań w obrębie syneklizy perybałtyckiej

zapoznać się z pełną wersją naszego raportu i wieloma wnioskami, z których ważniejsze to:

- ❑ rynek uranu jest o wiele bardziej przejrzysty niż np. rynek gazu ziemnego czy rynek niektórych produktów petrochemicznych;
- ❑ na uruchomienie oczekuje wiele projektów, które są opłacalne dopiero przy poziomie cen około 65 USD za funt U (143 USD za kg U);
- ❑ obecnie (druga połowa 2010 roku) cena w kontraktach długoterminowych jest około 10–14 USD za funt U (21–30 USD za kg U) wyższa niż w kontraktach z dostawą w ciągu kilku miesięcy, co świadczy o uspokojeniu się rynku;
- ❑ podawane przez OECD i IAEA dane z kwestionariuszy nadesłanych przez rządy poszczególnych państw

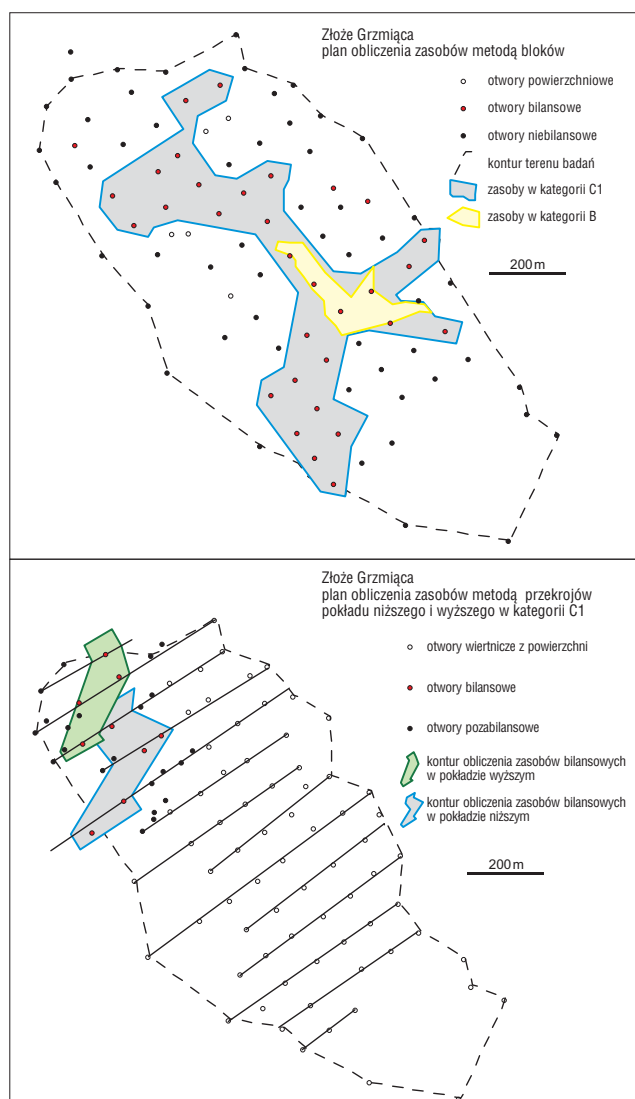
są tylko częściowo prawdziwe – te dane niekoniecznie zawierają informacje z najnowszych danych ujawnianych na giełdzie (można oszacować opóźnienie informacyjne na ok. 1,5 roku).

Wykonana przez autorów raportu analiza kosztów budowy kopalń wskazuje na to, że poziom opłacalności dla techniki ISL (podziemnego ługowania) osiąga się dopiero przy zasobach złoża rzędu kilkunastu milionów funtów (pow. 6 000 ton tlenku uranu) i to pod warunkiem, że złożo występuje w odpowiednich warunkach geologicznych oraz jest możliwe odwiercenie odpowiedniej ilości odwiertów zatłaczających i odbierających roztworu używanego do wymywania. Ponadto, ze względu na konieczność dostosowania układu reakcji chemicznych i żywic jonowymiennych dopasowanych do konkretnego złoża, opracowanie



Ryc. 7. Lokalizacja punktów mineralizacji uranowej w Sudetach na tle mapy Cymermana (2004)<sup>3</sup>

<sup>3</sup>Odmienne poglądy oraz polemikę na temat regionalizacji geologicznej Sudetów można znaleźć w pracach: Żelaźniewicz & Aleksandrowski, 2008 (Prz. Geol., 56: 904–911) oraz Mazur i in., 2010a, b (Prz. Geol., 58: 133–145, 1001–1009) i Cymerman, 2010 (Prz. Geol., 58: 998–1001) (przyp. red.).



**Ryc. 8.** Plan obliczenia zasobów pokładu głównego złoża Grzmiąca

technologii wydobycia zajmuje minimum 3, a niekiedy nawet do 7 lat. Projekt inwestycyjny kopalni typu ISL wymaga nakładów rzędu 200 mln USD. W niektórych krajach należy się liczyć ponadto z żądaniem opłacenia udziału danego państwa (czyli przekazania mu bezpłatnie części udziałów), co realnie zwiększa koszty projektu.

Poziom opłacalności dla budowy typowej kopalni podziemnej uranu zależy w drastyczny sposób od tego, czy trzeba będzie budować własny zakład przerobczy (*uranium mill*), czy też można wykorzystać do tego celu usługi innego zakładu, już istniejącego i pracującego w większej skali. W tym drugim przypadku może być opłacalna nawet budowa małych kopalń, o koszcie inwestycji od 20 mln USD na obiekt i zasobach ok. 1000 ton, o ile wydobyta ruda ma zawierać przynajmniej 800–1000 ppm  $U_3O_8$ . Jeżeli jednak na miejscu trzeba zbudować zakład przerobczy i dane złożo ma sfinansować jego powstanie, wówczas należy się liczyć z inwestycją rzędu minimum 120 mln USD. Tego typu inwestycja opłacalna jest obecnie dopiero dla złoża o zasobach co najmniej 8000 ton  $U_3O_8$  (lub dla grupy złóż położonych obok siebie i posiadających takie zasoby).

Wszystkie projekty „małe” będą, tak czy inaczej, miały kłopoty ze sfinansowaniem pierwszego etapu prac, tj. pełnego rozpoznania złoża, i opracowania studium wykonalności, co stanowi koszt nawet do kilkunastu mln USD. Na tym pierwszym etapie prac jest trudno uzyskać finansowanie dla małych projektów, zwłaszcza gdy ceny *spot* nie przekraczają 50 USD za funt U, a wiadomo, że typowe małe projekty opłacają się dopiero przy cenach powyżej 65 USD za funt U (a niekiedy dopiero od ok. 80 USD za funt U).

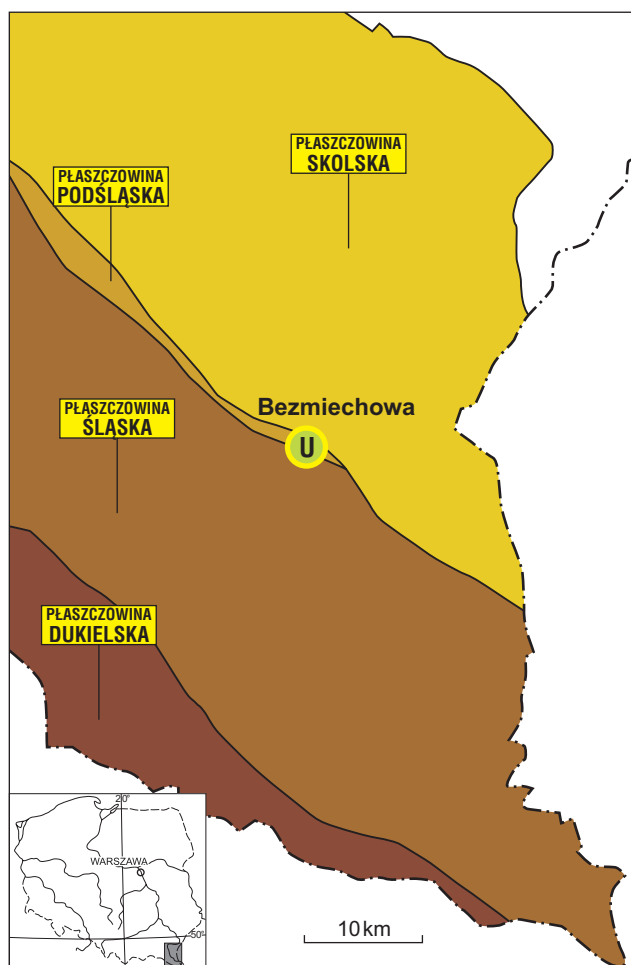
Na rynku światowym istnieje konkurencja małych projektów uranowych z dużymi, np. kopalniami w Namibii Palencia, Trekkopje i Husab, czy też projektem rozbudowy kopalni Olympic Dam (Australia). Opisane „małe” projekty oferują na rynku jednocześnie dwa elementy: udział kapitałowy w samym projekcie i kontrakt długoterminowy na odbiór tlenku uranu (częstokroć uczestnictwo w projekcie jest uzależnione właśnie od podpisania też kontraktu na odbiór i vice versa), a zatem kupujący musi wziąć na siebie część ryzyka politycznego oraz prawie zawsze jest zobowiązany partycypować w kosztach ryzyka geologicznego i technologicznego. Z tego powodu nie jest do końca jasne, na jakim poziomie cen oferowane są te kontrakty, ale dane światowe wskazują, że w 2010 r. jest to prawdopodobnie cena między 55 a 63 USD za funt U (plus ryzyko jw., czyli bez pewności dostaw w określonym terminie, ale z konieczną gwarancją płatności za projekt po stronie kupującego). Duże projekty wymagają tak poważnych nakładów inwestycyjnych (od 500 mln USD w górę), że podjęcie decyzji o ich finansowaniu jest niekiedy długo odkładane i zazwyczaj odbiorcy wiele lat wcześniej podpisują zobowiązanie do odbioru określonej ilości uranu po ustalonej cenie.

Rozwój sytuacji na rynku uranu będzie silnie zależeć od tego, czy będzie podjęta pozytywna decyzja o rozbudowie Olympic Dam w połowie 2011 roku. Podjęcie jej zależy właśnie od tego, czy niektórzy ważni odbiorcy (Chiny, Rosja, ew. Indie oraz USA) zgodzą się na proponowany przez właściciela projektu poziom cen oraz zgodzą się na zapisy proponowanych umów (w tym kwestie podziału ryzyka i indeksacji cen). Podaż uranu na rynku zależeć będzie także od opanowania problemów technicznych w kopalni Cigar Lake – uruchomienie tej kopalni w 2013 r. pozwoli prawdopodobnie utrzymywać ceny na poziomie 60–63 USD za funt U, co skutecznie zablokuje wiele małych projektów uranowych na kilka następnych lat (przynajmniej do 2016 r.).

Projekty w krajach Unii Europejskiej praktycznie nie liczą się na rynku uranu, gdyż dotyczą projektów małych, a ponadto prawie każdy z nich (najlepszy przykład Kuriškova na Słowacji) ma problemy z oporem społecznym przeciwko takiej inwestycji. W kilku innych krajach pozaeuropejskich istnieje wysoki poziom ryzyka politycznego.

W krajach Unii Europejskiej (np. w Szwecji czy Słowacji) istnieje ponadto wysokie ryzyko związane z kwestiami środowiskowymi i nie jest jasne, czy ich rządy zezwolą ostatecznie na uruchomienie istniejących projektów. Dodatkowo istnieje ryzyko, że rządy tych krajów mogą w sposób ukryty prowadzić politykę zmuszania inwestora, aby przed uzyskaniem ostatecznej zgody na uruchomienie kopalni zadeklarował sprzedaż całości, czy też znacznej części spodziewanej produkcji podmiotom produkującym energię





Ryc. 9. Lokalizacja punktu mineralizacji uranem w rejonie Bezmiechowej i Monasterca

elektryczną w tych krajach. Może zatem się okazać, że w ogóle nie ma możliwości pozyskania uranu z tych krajów przez inne podmioty na wolnym rynku.

Pomimo opisanych kłopotów rynek uranu w 2010 r. jest o wiele bardziej przejrzysty niż 20 lub 40 lat temu. Czołowe firmy z rynku uranu są notowane na giełdzie w Toronto i publikują regularnie dokładne niezależne raporty o swoich zasobach, a także silnie konkurują o nowe środki inwestycyjne od swoich akcjonariuszy. Ta sytuacja pozwala porównać polskie projekty z najlepszymi zagranicznymi przykładami. Po wykonaniu tej analizy uważamy zdecydowanie, że idea budowy dużej komercyjnej kopalni uranu w Polsce nie ma szans, biorąc pod uwagę obecnie znane występowania mineralizacji uranowej. Można jednak poważnie rozważyć przygotowanie kopalni „rezerwowej”, która byłaby jedynie zabezpieczeniem na wypadek ewentualnych krótkoterminowych, politycznie uwarunkowanych skoków cenowych. Zdaniem autorów raportu możliwym rozwiązaniem byłoby pozyskanie udziału w kilku projektach zagranicznych w różnych krajach.

Można podjąć próbę zorganizowania i otwarcia procesu koncesyjnego w Polsce, wymaga to jednak znacznego nakładu prac dodatkowych (w tym szeregu zmian legislacyjnych) w celu stworzenia warunków porównywalnych z istniejącymi w innych, bardziej przyjaznych dla inwestorów krajach.

Bardzo istotnymi dla przygotowania i realizacji inwestycji wydobywczej rud uranu w Polsce są zagadnienia ochrony środowiska i kwestie społeczne. Każda z analizowanych lokalizacji znajduje się na obszarach atrakcyjnych przyrodniczo, co sprzyjało rozwijaniu funkcji turystycznych i wypoczynkowych. Z założenia, prowadzenie prac poszukiwawczych i przyszła eksploatacja takiej kopaliny jak uran pozostaje w konflikcie z obecnym sposobem i planami zagospodarowania znacznych części gmin. Perspektywiczne lokalizacje znajdują się często na obszarze więcej niż jednej gminy, a część z nich również w bliskim sąsiedztwie granicy państwa. Powoduje to znaczne utrudnienia w prowadzeniu procedur administracyjnych zarówno na poziomie lokalnym, jak i międzynarodowym.

W podsumowaniu wszystkich zagadnień opisanych w raporcie autorzy przeprowadzili analizę wielokryterialną dla oceny potencjalnej możliwości prowadzenia prac poszukiwawczych i eksploatacyjnych złóż uranu w Polsce. Za najbardziej znaczące dla poszczególnych lokalizacji wystąpień mineralizacji uranowych uznano następujące zagadnienia:

- środowiskowe,
- społeczne,
- ekonomiczne,
- logistyczne,
- geologiczne.

Za przyjęciem takich kryteriów przemawiały wymagania instytucji finansujących, bezpośrednie doświadczenie autorów w realizacji inwestycji przemysłu wydobywczego oraz analiza realizacji nowych projektów kopalń uranu na świecie.

Z przeprowadzonej analizy, z uwzględnieniem powyższych kryteriów (kładących nacisk na zagadnienia środowiskowe i społeczne, stanowiące w opinii autorów główne ryzyko dla realizacji inwestycji) wynika, że najmniej korzystną lokalizacją jest strefa Krynica–Paśłek, średnio korzystnymi lokalizacjami są strefa Świeradów Zdrój–Wojcieszyce–Bogatynia i Nowa Sól (Sudety). Za najkorzystniejsze lokalizacje w świetle wykonanej analizy należy uznać złoża Okrzeszyn i Grzmiącą w Sudetach, złożo Rajsk w województwie podlaskim oraz perspektywiczny obszar rejonu Bezmiechowej w Karpatach.

## Literatura

- ADAMSKI W. 1989 – Zakłady Przemysłowe R-1 [W:] T. Bugaj [red.] Kowary. Szkice z dziejów miasta, t. II; Jelenia Góra 1989: 63.
- BAREJA E. 1973 – Przejawy mineralizacji uranowej w górnokarbońskich utworach niecki śródsudeckiej (Manifestations of uranium mineralization in upper Carboniferous rocks of the Intrasudetic Basin). Kwart. Geol., 17: 911–912.
- BAREJA E. & KUBICKI S. 1983 – Mineralizacja syenitów ełckich w strefie przeobrażeń metasomatyczno-hydrotermalnych (NE Polska). Kwart. Geol., 27: 215–224.
- BAREJA E., MORAWSKI W. & SAŁDAN M. 1973 – Mineralizacja uranu w utworach cechsztyńskich na monoklinie przedsudeckiej. Kwart. Geol., 17: 910–911.
- BAREJA E., STRZELECKI R., SAŁDAN M., SZEWCZYK J. & UBERNA J. 1983 – Wyniki badań geologiczno-poszukiwawczych złóż uranu w utworach triasu syneklizy perybałtyckiej. CAG Państw. Inst. Geol.
- BOJARSKI R. & ZAMOJSKI J. 1960 – Dokumentacja geologiczna złoża rudy uranowej w Grzmiącej. Kowary. CAG Państw. Inst. Geol.
- BORUCKI J. i in. 1965 – Ocena perspektyw poszukiwawczych złóż uranu w Polsce. CAG Państw. Inst. Geol.



- BUREK J. 1958 – Plan poiskov uranu w Polsce. (Plan poszukiwań uranu w Polsce). Warszawa. CAG Państw. Inst. Geol.
- CHWASZCZEWSKI S. 2008 – Czy dostępność paliwa jądowego może być barierą dla przyszłego rozwoju energetyki jądowej. Sympozja i konferencje nr 73. Materiały XXII Konferencji z cyklu zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej, Ustroń, 19–22.10.2008, 7–15.
- 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.
- CYMERMAN Z. 2004 – Tectonic Map of the Sudetes and the Fore-Sudetic Block – Mapa tektoniczna Sudetów i bloku przedsudeckiego, 1 : 200 000, PIG.
- GAWĘŁ A. 1970 – Geneza realgaru w utworach fliszowych okolic Baligrodu (Karpaty fliszowe). Mineralogia Polonica, 1: 7–16.
- KACZMAREK A. 1958 – Aneks do dokumentacji geologicznej złóż rud uranowych w Okrzeszynie. Kowary. CAG Państw. Inst. Geol.
- KACZMAREK A. 1959 – Ocena uranowości Sudetów w oparciu o wyniki dotychczasowych prac poszukiwawczych prowadzonych przez Zakłady Przemysłowe R-I. CAG Państw. Inst. Geol.
- KANASIEWICZ J., SAŁDAN M. & UBERNA J. 1965 – Uranonośność pstręgo piaskowca okolic Pasłęka. Biuletyn Inst. Geol., 193: 171–199.
- KITA-BADAK M., BADAK J. & SAŁDAN M. 1963 – Charakterystyka łupków uranonośnych serii menilitowej w Karpatach Środkowych. CAG Państw. Inst. Geol.
- KOHL E. 1934 – Die Eisenerzvorräte des Deutschen Reiches. Schlesien [Zasoby rud żelaza Rzeszy Niemieckiej. Śląsk.] Arch. Lagerst.-Forsch. 58: 114–121.
- NARKIEWICZ M. & DADLEZ R. 2008 – Geologiczna regionalizacja Polski – zasady ogólne i schemat podziału w planie podkenozoicznym i podpermskim. Prz. Geol., 56: 391–397.
- NEC 2008 – Nuclear Energy Data 2008 OECD, Nuclear Energy Agency. Published by OECD Publishing.
- NIEĆ M., MOTYKA J. & MAŁECKI T. 1989 – Wstępne studium założeń geologiczno-technicznych do eksploatacji uranu w utworach triasu rejonu gdańskiego. Część I: Wariantowe przedstawienie modeli piaskowcowych złóż uranu w ujęciu geologii inżynierskiej i hydrogeologii. CAG Państw. Inst. Geol.
- PAZDRO Z. 1948 – Łupki Bitumiczne Karpat. Nafta, nr 5.
- PETRASCHECK W.E. 1933 – Die Erzlagerstätten des Schelesischen Gebirges [Złóża rud w górach śląskich]. Arch. Lagerst. – Forsch. 59: 53.
- PETRASCHECK W.E. 1934 – Die Vererzung des Sudeten [Złóża rud w Sudetach]. Mitt. Geol. Ges. Wien 26: 191–206.
- POŻARYSKI W. 1974 – Podział obszaru Polski na jednostki tektoniczne. [W:] Budowa geologiczna Polski, T. IV, Tektonika, cz. 1 Niż Polski, WG, Warszawa: 24–34.
- SAŁDAN M. 1965 – Metalogeneza uranu w utworach karbońskich Górnosląskiego Zagłębia Węglowego. Biuletyn Instytutu Geologicznego, 193: 111–163.
- SAŁDAN M., BAREJA E. & STRZELECKI R. 1976 – Dokumentacja Geologiczna Złóża rud uranu Rajsk woj. Białystok, CAG Państw. Inst. Geol.
- SAŁDAN M., BAREJA E., LIS B., MIECZNIK J. & STRZELECKI R. 1977 – Wyniki poszukiwań geologicznych złóż uranu w łupkach dietyonemowych na obszarze północno-wschodniej części obniżenia podlańskiego. CAG Państw. Inst. Geol.
- SKELCHER B. 2002 – Big Book of Vaseline Glass, Schiffer, 208 p.
- SOLECKI A., ŚLIWIŃSKI W., WOJCIECHOWSKA I., TCHORZ-TRZECIAKIEWICZ D., 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. 1978 – Promieniotwórczość naturalna utworów triasu dolnego na obszarze perykliny Żar i w N części niecki północno-sudeckiej. 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.
- STUPNICKA E. 1989 – Geologia regionalna Polski W.G. Warszawa, s.286.
- TRAUBE H. 1888 – Die Minerale Schesiens. Breslau.
- UBERNA J. 1962 – Perspektywy występowania uranu w Górach Świętokrzyskich I.G. CAG Państw. Inst. Geol.
- UBERNA J. 1970 – Występowanie uranu w Górach Świętokrzyskich. CAG Państw. Inst. Geol.
- UNKOWSKIJ A. & BURAWŁOW J. 1956 – Adnotacja do geologicznego sprawozdania ze szczególnym podkreśleniem zasobów rud uranu ze złóż Okrzeszyn wg stanu na dzień 1.01.1956 r. (w języku rosyjskim). CAG Państw. Inst. Geol.
- WEBSKY M. 1853 – Über die geognostischen Verhältnisse der Erzlagerstätten von Kupferberg und Rudelstadt in Schlesien [O stosunkach geognostycznych złóż rud w Miedziance I Ciechanowicach na Śląsku]. Z. Deutch. Geol. Ges. Bd. 5: 373–438.
- WEC 2007 – Survey of Energy Resources World Energy Council 2007 Uranium.
- WOŁKOWICZ S. 1991 – Uranonośność łupków walchowych z Ratan Dolnego (perm dolny depresji śródsudeckiej). CAG Państw. Inst. Geol.