



# 100 lat Państwowego Instytutu Geologicznego – dla gospodarki, nauki i edukacji

## Historia badań pierwiastków promieniotwórczych w PIG

Ryszard Strzelecki<sup>1</sup>, Stanisław Wołkowicz<sup>2</sup>



R. Strzelecki



S. Wołkowicz

**History of Uranium Research in the Polish Geological Institute.** Prz. Geol., 67: 75–90.

*A b s t r a c t.* The search for uranium in Poland began after the World War II and was initially conducted by Russians who in the mid-1950s were replaced by the Polish specialists. The Polish Geological Institute also took part in this research in 1956. In the initial phase of the search, the study was focused on the area of the Sudetes. Later, the research covered the entire territory of Poland using the so-called “parallel research”, which consisted mainly in the analysis of geo-physical measurements from all the boreholes performed in Poland, and then the collection of samples from the zones with anomalous radioactivity. In this way, concentrations of uranium were found in the Lower Ordovician Dictyonema Shale of the Podlasie Depression and in the Lower Triassic of the Peribaltic Syncline. Uranium was also searched in the area of the Carpathians, the Holy Cross Mountains, hard coal deposits of the Upper Silesian Coal Basin and in brown

coals and phosphates. Uranium deposits in Poland have not been found and the current concentrations are not of economic value. Research methodology, which was used for uranium prospecting in the 1990s, was successfully applied in geoenvironmental study, first of all for establishing post-Chernobyl cesium contamination and for preparing a map of the radon potential of the Sudetes.

**Keywords:** History of the Polish Geological Institute, uranium deposits, research of radioactive elements.

Początek geologicznych poszukiwań rud uranu, nie tylko w Polsce, datuje się na lata 40. XX wieku, kiedy podczas II wojny światowej opracowano możliwość wojskowego zastosowania uranu do produkcji bomby atomowej. Nieco później, w latach 50., opanowano technologię pokojowego wykorzystania uranu do produkcji energii. Pierwszy eksperymentalny blok energetyczny (moc 5 MW) uruchomili Rosjanie w Obińsku w 1954 r., a komercyjne elektrownie powstały od końca lat 50. w USA, Wielkiej Brytanii i Francji. Obecnie elektrownie jądrowe posiada 35 krajów, a energetyka oparta na atomie najszybciej rozwija się w Azji. Paliwo jądrowe zastosowano także na wielką skalę do napędu silników w okrętach podwodnych (USA – 191, ZSRR – 248, Francja, Wielka Brytania, Niemcy) oraz na lotniskowcach, krążownikach.

Licząca niespełna 80 lat historia geologicznych poszukiwań rud uranu jest przykładem błyskawicznego rozwoju zakresu i metodyki prac niezbędnych do dokumentowania złóż. W odróżnieniu od innych surowców w początkowym okresie, kiedy uran był potrzebny do konstruowania broni atomowej, koszty poszukiwań, wydobycia i przetworzenia rud uranu nie były istotnym kryterium dla geologów zajmujących się prospekcją i dokumentacją. Doskonale było to widoczne w Związku Radzieckim, który po II wojnie światowej natychmiast przystąpił do poszukiwań uranu na wielką skalę w krajach uzależnionych od siebie politycznie i, co może wydawać się dzisiaj dziwne, nawet je finansował. Był to czas „wielkiego głodu” surowca uranowego. Inną charakterystyczną cechą gospodarki rudami uranu było i jest bezpośrednio oraz pośrednio kontrolowanie jego

wydobycia, a także wytwarzania produktu handlowego jakim jest tzw. *yellow cake* przez największe mocarstwa. W latach 50. ub.w. monopol taki posiadały firmy ściśle kontrolowane przez USA, Związek Radziecki, Francję i Wielką Brytanię.

Obecnie znane zasoby rud uranowych wystarczą na potrzeby energetyki jądrowej na dziesiątki lat.

Występowanie minerałów uranowych na ziemiach polskich po raz pierwszy stwierdzono w Sudetach na długo przed odkryciem zjawiska promieniotwórczości. Websky (1853) opisał występujący w żyłach kruszcowych złoża Miedzianka nowy minerał – uranofan, a w trakcie budowy tunelu kolejowego k. Trzcina (okolice Jeleniej Góry) w granicy napotkano skupienia autunitu i torbernitu. Te przejawy mineralizacji, podobnie jak stwierdzone w 1912 r. występowanie smółki uranowej w Kowarach, nie wzbudziły jednak szerszego zainteresowania. Większe skupienia uranu znaleziono dopiero w 1926 r. w polu rudnym Wulkan kopalni „Wolność” w Kowarach (Schmiedeberg, kop. Bergfreiheit Grube), żyły kalcytowe ze smółką uranową dość często przecinały pokłady magnetytów. Z powodu braku zainteresowania wydobywane rudy były składowane na hałdach i dopiero w latach 1936–1939 sprzedawano je do zakładów badawczych w Oranienburgu k. Berlina oraz zakładów Stahlwerk A.G. w Hamburgu, w których odzyskiwano rad. Łącznie, do wymienionych zakładów dostarczono 64 756 kg rudy o średniej zawartości 73 mg/Ra/t. Rad był wykorzystywany do celów medycznych, a warto przypomnieć, że promotorką jego stosowania

<sup>1</sup> Emerytowany pracownik Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa

<sup>2</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; stanislav.wolkowicz@pgi.gov.pl

do leczenia nowotworów była nasza genialna rodaczka Maria Skłodowska-Curie.

Ale dopiero w latach powojennych rudy uranu w Sudetach nabrały nagle i na krótko wielkiego znaczenia.

Prace poszukiwawcze obejmujące prace projektowe, terenowe i dokumentacyjne były wykonywane w latach 1948–1990, a eksploatacja górnicza złóż i punktów mineralizacji uranowej ograniczona praktycznie do Sudetów, była prowadzona w okresie 1948–1963. Niewielkie złożo uranu odkryto i eksploatowano w 1952 r. w Gór Świętokrzyskich w kopalni pirytu „Staszic” w Rudkach k. Nowej Słupi.

## URAN W RĘKACH ROSYJSKICH

W okresie 1948–1956, który można śmiało nazwać „rosyjskim”, geologiczne prace poszukiwawcze na terenie Polski były prowadzone wyłącznie przez specjalistów radzieckich (Cieszykowska i in., 2017). Polacy stanowili tylko personel pomocniczy, np. wiertacze, górnicy, kierownicy *etc.* Co więcej, państwowa służba geologiczna, którą pełnił Państwowy Instytut Geologiczny, państwowa administracja geologiczna – Centralny Urząd Geologii, i wyższe uczelnie *de facto* nie miały prawa prowadzić na terenie kraju żadnych prac poszukiwawczych i badawczych dotyczących rud uranu. Całość tematyki uranowej była objęta ścisłą tajemnicą państwową. Taki stan rzeczy przyniosła umowa *W sprawie eksploatacji złóż kuźnieckich (byłych szmidebergskich) i dostawach rud z tych złóż do ZSRR* z dnia 15 września 1947 r., zawarta pomiędzy rządami RP i ZSRR. Została ona podpisana na lat 20, a na jej mocy utworzono specjalne przedsiębiorstwo, które od 1 stycznia 1948 r. podjęło poszukiwania i eksploatację złóż uranu w Polsce. Rudy uranowe o średniej zawartości 0,2% U były wywożone do Związku Radzieckiego.

Dokładny opis działalności Przedsiębiorstwa Państwowego „Kopalnie Kowarskie” przemianowanego w 1951 r. na Zakłady Przemysłowe R-1 przedstawiono w monografii pt. *W cieniu sudeckiego uranu* autorstwa Roberta Klementowskiego (2010), wydanej przez IPN.

Zakłady Przemysłowe R-1 wykonały olbrzymi zakres prac poszukiwawczych, przede wszystkim w Sudetach, ale także w Górach Świętokrzyskich, Karpatach i Górnos Śląskim Zagłębiu Węglowym. Stosowana metodyka opierała się na systematycznych zdjęciach emanometrycznych, radiometrycznych, hydrogeochemicznych na etapie prospekcyjnym, a następnie rozpoznania stwierdzonych anomalii promieniowania gamma metodami górnicznymi i wierceniami. Prace te, zwłaszcza w latach 1948–1953, pozwoliły na odkrycie w Sudetach 85 punktów mineralizacji uranowej (w następnych latach liczba ta wzrosła do 100) oraz 16 z 18 znanych złóż uranu w Sudetach oraz 1 złożo w Górach Świętokrzyskich (Burek, Krawczyk, 1958). Na przełomie lat 1955/1956 Rosjanie dość nagle podjęli decyzję o wycofaniu się z poszukiwań i eksploatacji uranu na terenie Polski, po niespełna 8 latach trwania międzyrządowej umowy polsko-radzieckiej (dostawy rud uranowych do ZSRR trwały jeszcze do roku 1967). Dlaczego? Naszym zdaniem przyczyną podjęcia takiej decyzji były niezadawalające wyniki poszukiwań, zwłaszcza w porównaniu do prowadzonych z dużym sukcesem prac poszukiwawczych na terenie b. NRD i Czechosłowacji, ale nie można pominąć także zawirowań politycznych roku 1956. Rezultaty pro-

wadzonych prac poszukiwawczych były negatywne, okazało się że brak jest perspektyw na odkrycie w Sudetach (i w innych obszarach Polski) łatwo dostępnych dużych, tj. o zasobach >1000 t, złóż uranu. Odkryte w tym okresie złożo typu żyłowego charakteryzowało niewielkie zasoby uranu. Trzy największe z nich: Wolność, Podgórze i Radoniów, miały zasoby 100–450 t U, przy średniej zawartości uranu w rudzie – 0,2%. Wszystkie wymienione złożo, a także małe złożo i punkty mineralizacji typu żyłowego cechowały się zanikiem mineralizacji wraz z głębokością.

Z kolei złożo uranu rozpoznane w skałach osadowych w Sudetach: Okrzeszyn, Grzmiąca i Wambierzyce, charakteryzowały się niską zawartością uranu, a także niewielkimi zasobami metalu, nieprzekraczającymi w przypadku każdego z nich wielkości 1000 t metalu (złożo Wambierzyce zaledwie 217 t). Złożo Staszic w Rudkach w Górach Świętokrzyskich było niewielkie, o zasobach nie przekraczających 100 ton U. Złożo Okrzeszyn wymagało zastosowania kosztownej technologii jego odzysku, np. z węgla.

Była to zupełnie inna sytuacja niż miało to miejsce w Czechosłowacji i b. NRD, gdzie spółki radziecko-czechosłowackie i radziecko-niemieckie o identycznym zakresie działania jak ZPR-1 odkryły olbrzymie złożo zarówno typu żyłowego, jak i złożo w skałach osadowych. Spółki te prowadziły działalność aż do zmian politycznych roku 1990, a uran eksportowano do ZSSR. Tylko w przypadku złóż z terenów b. NRD szacunki mówią o wydobyciu w latach 1948–1990 ponad 250 tys. t uranu (Barthel, 1993), a w przypadku Czech była to ilość niewiele mniejsza.

Ze złóż w Polsce w okresie 1948–1967 wydobyto i wyeksportowano do Związku Radzieckiego ok. 650 t uranu (Wołkowicz, Strzelecki, 1993; Strzelecki i in., 1995).

Na przełomie lat 1955/1956 w Zakładach Przemysłowych R-1 rozpoczęto stopniowe wycofywanie personelu radzieckiego i wprowadzanie polskich geologów i geofizyków (Bareja, 2007), którzy nie posiadali jednak jakiegokolwiek doświadczenia w prowadzeniu poszukiwań złóż uranu. Głównym geologiem został Władysław Adamski, w latach 1954–1955 pracownik Instytutu Geologicznego. Poważną przeszkodą był też brak dokumentów geologicznych z wynikami dotychczasowych prac poszukiwawczych w języku polskim. Całość dokumentacji geologicznej i górnicznej prowadzono w języku rosyjskim. Z tego powodu ówczesny rząd polski prosił władze radzieckie, aby w Kowarach w okresie przejściowym pozostało kilku radzieckich specjalistów – geologów i geofizyków. Rosjanie definitywnie opuścili Kowary w 1958 r.

W ZPR-1 w dokumencie pt. *Ocena uranonośności Sudetów* polska kadra przygotowała podsumowanie wyników prac poszukiwawczych prowadzonych do roku 1957 (Kaczmarek i in., 1959). Po odejściu Rosjan prace poszukiwawcze kontynuowano, stosując tę samą metodykę badawczą. W większym stopniu zwrócono uwagę na obecność uranu w formacjach osadowych depresji śródsudeckiej. Najważniejszym osiągnięciem było zakończenie w 1960 r. dokumentacji geologicznej, zgodnie z polskimi wymogami prawnymi, odkrytego w 1955 r. złożo Grzmiąca (Bojarski, Zamojski, 1960). Powrócono także do prac rewizyjnych w kopalniach węgla kamiennego w rejonie Wałbrzycha i Nowej Rudy. Jednakże nacisk położono na poszukiwanie mineralizacji uranowej w formacjach piaszczystych karbonu górnego, biorąc pod uwagę model mineralizacji uranowej w złożo Grzmiąca. Na przełomie lat 1962/1963 zakończono

no eksploatację ostatniego złoża typu żyłowego Radoniów, co miało katastrofalne skutki finansowe dla ZPR-1. Brak funduszy doprowadził do stopniowego ograniczania prac poszukiwawczych, a pod koniec lat 60. ub.w. Zakłady Przemysłowe R-1 zlikwidowano.

### INSTYTUT GEOLOGICZNY ROZPOCZYNA POSZUKIWANIA URANU

Centralny Urząd Geologii, dysponent krajowych funduszy na poszukiwania geologiczne, po wycofaniu się Związku Radzieckiego z poszukiwań uranu w Polsce preferował przejęcie prac poszukiwawczych przez podległy mu Instytut Geologiczny (IG). Była to instytucja naukowa o największym w Polsce potencjale kadrowym w zakresie geologii, zatrudniająca wówczas ok. 1000 pracowników, w tym 70% pracowników naukowych, stanowiła trzon służby geologicznej i prowadziła poszukiwania surowców i badania podstawowe budowy geologicznej Polski.

W kwietniu 1956 r. w Instytucie Geologicznym w Warszawie w strukturze Zakładu Metali Nieżelaznych powołano Pracownię Pierwiastków Promieniotwórczych, której kierownikiem został M. Sałdan. Zadaniem pracowni było kierowanie i kontrola badań, które nazwano badaniami równoległymi. Polegały one na zbieraniu informacji o pierwiastkach promieniotwórczych we wszystkich eksploatowanych kopalniach głębinowych, w niektórych kopalniach odkrywkowych, np. węgla brunatnych, oraz w otworach wiertniczych o głębokości większej niż 50 m. Wymóg prowadzenia badań równoległych został wprowadzony rozporządzeniem pełnomocnika rządu ds. wykorzystania energii atomowej. W górnictwie prowadzono obowiązkowe pomiary radiometryczne w wyrobiskach kopalnianych przy pomocy dość prostych liczników Geigera-Müllera. Zajmował się tym przeszkolony dozór geologiczny. W przypadku stwierdzenia podwyższonego promieniowania gamma informowano o tym instytut, którego pracownicy pobierali próbki skał do badań laboratoryjnych. Ustawodawca wprowadził system nagród finansowych dla odkrywców anomalii promieniotwórczych, a stosowny wniosek był sporządzany przez Pracownię Pierwiastków Promieniotwórczych instytutu. Pomiary w wyrobiskach kopalnianych były niechętnie widziane przez kierownictwo kopalń, angażowały dozór geologiczny, były olbrzymie problemy z aparaturą pomiarową, a dyrektorzy byli odpowiedzialni przed władzą przede wszystkim za wydobycie kopaliny. Niemniej jednak, badania równoległe w kopalniach głębinowych przyniosły wiele danych o obecności pierwiastków promieniotwórczych, zwłaszcza w kopalniach węgla kamiennego na Górnym i Dolnym Śląsku oraz miedzi w niecce północnosudeckiej w rejonie Bolesławca. W połowie lat 60. ub.w., po opracowaniu wyników badań równoległych, pomiary radiometryczne w wyrobiskach kopalnianych zostały praktycznie zlikwidowane, a w kopalniach węglowych wprowadzono pomiary dozymetryczne związane z bezpieczeństwem pracy górników.

Badania równoległe w otworach wiertniczych były prowadzone za pomocą sond rejestrujących naturalne promieniowanie gamma przewiercanych skał w profilu geologicznym otworu. Firmy geofizyczne prowadzące pomiary karotażowe przysyłały ich wyniki bezpośrednio do Instytutu Geologicznego. Analizy krzywych promieniowania gamma były prowadzone w instytucie do końca lat 80. XX w. Wyniki badań równoległych w otworach wiertniczych na

Niżu Polskim pozwoliły na odkrycie wielu przejawów mineralizacji uranowej, w tym najważniejszych w formacjach osadowych ordowiku i triasu Niżu Polskiego. Po zmianach ustrojowych w 1990 r. prac tych nie kontynuowano, a Państwowy Instytut Geologiczny zaprzestał prowadzenia prac poszukiwawczych uranu, co było naturalną konsekwencją fiaska koncepcji budowy elektrowni jądrowej w Żarnowcu.

### POWOŁANIE ZAKŁADU ZŁÓŻ SUROWCÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH

Wiosną 1957 r. w instytucie podjęto decyzję o rozszerzeniu prac poszukiwawczych w zakresie uranu. Powołana rok wcześniej Pracownia Pierwiastków Promieniotwórczych była zbyt słaba kadrowo, aby prowadzić badania równoległe oraz przejąć od ZPR-1 w Kowarach poszukiwania złóż uranu w Polsce. W połowie 1957 r. dyrektor IG prof. dr E. Rühle powierzył A. Jelińskiemu utworzenie zakładu naukowego, który miał prowadzić badania i poszukiwania uranu w Polsce. Jelińskiemu udało się pozyskać wielu młodych, bardzo ambitnych, pełnych zapału do pracy naukowej absolwentów studiów geologicznych, kończących w latach 1957/1958 m.in. Uniwersytet Warszawski (J. Lis, B. Lis, S. Przeniosło, T. Morawska), Akademię Górniczo-Hutniczą (H. Sylwestrzak), Uniwersytet Poznański (T. Depciuch), absolwentów uczelni radzieckich: Instytut Górniczy w Swierdłowsku (W. Zajączkowski, J. Kanasiewicz), Uniwersytet w Kijowie (R. Podstolski). Prawnie wszyscy z nich w ciągu 10 lat przygotowują i obronią prace doktorskie związane z tematyką uranową (tab. 1). Zespół uzupełniali bardziej doświadczeni pracownicy IG: chemik A. Jęczalik (Politechnika Lwowska), geodolży: J. Uberna (Uniwersytet Warszawski), M. Sałdan (AGH), J. Borucki (AGH) oraz A. Morawiecki, przedwojenny absolwent Uniwersytetu Warszawskiego i College de France w Paryżu, jedyna osoba posiadająca tytuł naukowy docenta nauk geologicznych w tworzonym zakładzie (w październiku 1959 r. otrzymał nominację profesorską).

Zakład Złóż Surowców Promieniotwórczych (ZZSP) rozpoczął formalnie działalność 1 września 1957 r. W jego strukturze znalazła się Pracownia Analityczna kierowana przez A. Jęczalika, która prowadziła oznaczenia pierwiastków promieniotwórczych (U, Th, Ra) oraz pierwiastków rzadkich i ziem rzadkich, Pracownia Badań Radiometrycznych, którą kierował M. Sałdan (badania równoległe) oraz Pracownia Poszukiwań Złóż (szeroko zakrojone badania poszukiwawcze uranu z zastosowaniem nowych metod badawczych). Działalność badawczą zakładu rozpoczęto od opracowań podsumowujących istniejącą wiedzę o występowaniu, wydobyciu i zasobach uranu w Polsce, wytyczających kierunki dalszych prac badawczych autorstwa A. Morawieckiego oraz J. Boruckiego.

W styczniu 1958 r. ukazało się opatrzone klauzulą „ściśle tajne” opracowanie autorstwa A. Morawieckiego (1958) sygnowane przez Instytut Geologiczny i Komisję Planowania przy Radzie Ministrów pt. *Stan krajowej bazy surowcowej pierwiastków promieniotwórczych, zwłaszcza uranu i perspektywy jej rozwoju*. Zostało ono sporządzone na podstawie materiałów archiwalnych Zakładów Przemysłowych R-1 oraz pełnomocnika rządu ds. energii jądrowej i przedstawiało stan wiedzy na 1.04.1957 r. Zasoby U w przeliczeniu na metal wynosiły dla złóż o wysokiej i średniej zawartości (Podgórze, Radoniów, Okrzeszyn, Staszic)

**Tab. 1.** Zestawienie doktoratów z tematyki geologii uranu  
**Table 1.** List of Ph.D. dissertations on uranium geology

Rok	Autor	Tytuł pracy	Promotor	Recenzenci
1961	Janusz Alfred Uberna	<i>Rozwój serii fosforytonośnej północnego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich na tle zagadnień sedymentologicznych albu i cenomanu</i>	prof. dr A. Morawiecki	prof. dr M. Turnau-Morawska, prof. dr W. Pożaryski
1961	Jerzy Borucki	<i>Uran w polskich fosforytach</i>	prof. dr K. Smulikowski	prof. dr A. Dorabialska, prof. dr M. Kamiński
1963	Aleksander Jeliński	<i>Geochemia uranu w granitowym masywie Karkonoszy z uwzględnieniem innych masywów granitoidowych Sudetów</i>	prof. dr A. Polański	prof. dr K. Smulikowski, prof. dr A. Morawiecki
1965	Tadeusz Depciuch	<i>Geochemia i geneza koncentracji uranu w górnokarbońskich osadach klastycznych niecki śródsudeckiej</i>	prof. dr A. Polański	prof. dr S. Jaskólski, prof. dr A. Morawiecki
1965	Włodzimierz Zajączkowski	<i>Geochemiczne podstawy poszukiwań uranu na tle niektórych jego koncentracji</i>	prof. dr S. Jaskólski	prof. dr A. Polański, doc. mgr inż. R. Osika
1966	Józef Lis	<i>Geochemia niektórych pierwiastków w granitoidowym masywie Karkonoszy</i>	prof. dr A. Polański	prof. dr K. Smulikowski, prof. dr A. Morawiecki
1966	Augustyn Jęczalik	<i>Geochemia uranu w uranonośnych węglach kamiennych w Polsce</i>	prof. dr J. Kuhl	prof. dr S. Jaskólski, prof. dr A. Polański
1967	Stanisław Przeniosło	<i>Uran w aluwjach na tle jego zawartości w skałach we wschodniej części metamorfiku Łądka i Śnieżnika Kłodzkiego</i>	prof. dr S. Jaskólski	prof. dr H. Gruszczyk, doc. E. Wutcen
1968	Hubert Sylwestrzak	<i>Geochemia uranu w młodopaleozoicznych wulkanitach na Dolnym Śląsku na tle ogólnego zróżnicowania geochemicznego tych skał</i>	prof. dr A. Polański	prof. dr A. Gaweł, doc. dr W. Narębski
1971	Marian Sałdan	<i>Mineralizacja uranowa w utworach pstrego piaskowca środkowego monokliny przedsudeckiej na tle ich wykształcenia litologicznego</i>	prof. dr M. Kamiński	prof. dr S. Jaskólski, doc. mgr inż. R. Osika
1979	Elżbieta Bareja	<i>Petrografia łupków dictyonemowych i ich mineralizacja na obszarze obniżenia podlaskiego</i>	doc. dr M. Sałdan	prof. dr H. Gruszczyk, doc. dr H. Pendias
1987	Jerzy Bartłomiej Miecznik	<i>Mineralizacja uranowa w utworach wyższego silezu depresji śródsudeckiej</i>	doc. dr M. Sałdan	prof. dr M. Banaś, prof. dr K. Dziedzic, doc. dr inż. S. Przeniosło
1988	Ryszard Strzelecki	<i>Mineralizacja uranowa utworów środkowego pstrego piaskowca na obszarze syneklizy perybałtyckiej</i>	doc. dr M. Sałdan	prof. dr M. Banaś, prof. dr K. Jaworowski, prof. dr J. Kłapciński
1992	Stanisław Wołkowicz	<i>Uranonośność łupków walchiowych z Ratna Dolnego (perm dolny depresji śródsudeckiej)</i>	doc. dr inż. S. Przeniosło	prof. dr M. Banaś, prof. dr K. Jaworowski

– 1203 t, a dla złóż o niskiej zawartości (Grzmiąca, Wambierzyce, Staszic, podsadzki, hałdy) – 1710,6 t. Wydobycie w latach 1950–1957 wyniosło łącznie 337,9 t U. Morawiecki na podstawie analizy geologicznej dostępnych materiałów rekomendował kontynuację prac poszukiwawczych w Sudetach, przede wszystkim w strefach tektonicznych osłony Karkonoszy, tj. złóż żyłowych typu Podgórze, w strefach tektonicznych w izerskim masywie gnejsowym, czyli złóż typu Radoniów, oraz w północnej części Gór Bystrzyckich i rejonie Kudowy. W niecce śródsudeckiej za perspektywiczne uważał utwory górnego karbonu i czerwonego spągowca oraz miedzionośny perm niecki północnosudeckiej. Ponadto, za obiecujący uznał obszar bloku przedsudeckiego, zawłaszcza masywy granitowe Strzegom-Sobótka, Strzelin i Otmuchów. Zwrócił uwagę na sylur Gór Kaczawskich, posiłkując się informacjami o złożach w formacjach sylurskich na terenie NRD. W drugiej kolejności wskazał na perspektywiczność badania stref tektonicznych w paleozoiku Gór Świętokrzyskich (złóż typ Rudki), a także rekomendował przebadanie ura-

nonośności cenomańskich i jurajskich fosforytów oraz miocenijskiej formacji burowęglowej. Za mało perspektywiczne uznał obszary Karpat i Górnośląskiego Zagłębia Węglowego.

W swoim opracowaniu Morawiecki (1958) zwrócił uwagę na konieczność rozwoju metodyki poszukiwawczej uranu. Dotychczas stosowane metody (w latach 1948–1957) doprowadziły do odkrycia złóż „powierzchniowych”, bowiem główną metodą poszukiwawczą były pomiary radiometryczne: regularne siatki pomiarowe w różnych skałach, np. w Karkonoszach 50 × 50 m, zdjęcia samochodowe i zastosowane w okresie 1955–1957 zdjęcie lotnicze oraz pomiary emanacyjne radonu. Była to konkluzja ze wszechmiar słuszna, gdyż głębokościowy zasięg prospekcji radiometrycznej wynosi ok. 1 m, a pomiarów emanacyjnych, przy wyjątkowo korzystnej sytuacji geologicznej – od 6 do 7 m. Konieczne było zatem rozszerzenie stosowanej metodyki prac poszukiwawczych pozwalającej na odkrywanie głęboko zalegających złóż uranu. Postulat autora to (...) *przeprowadzenie na dużą skalę prac geochemicznych, mineralo-*

gicznych, petrograficznych, radiohydrogeologicznych, itd (...) a także (...) szczegółowe rozpoznanie struktur tektonicznych na poszczególnych obszarach perspektywicznych (...).

W opracowaniu przedstawiono także analizę kosztów prac poszukiwawczych aż do roku 1976 (!), ale ze śmiałą tezą, że zasoby uranu na dzień 1 stycznia 1976 r. winny wynosić ok. 6000 t U.

Borucki i Krawczyk na podstawie szczegółowej analizy istniejących danych o mineralizacji w różnych jednostkach geologicznych i przeglądu światowej literatury „uranowej”, wówczas dość ubogiej, przedstawili ogólny program poszukiwań uranu w Sudetach i na bloku przedsudeckim (Burek, Krawczyk, 1958). Uwzględniono w nim prowadzenie prac poszukiwawczych przez ZPR-1, a program badań instytutu miał mieć charakter bardziej naukowy i być komplementarny do prac „Kowarczyków”. Stąd planowane szerokie spektrum badań geochemicznych, także na próbkach dostarczanych przez ZPR-1, np. z rozpoznawanego w niecce śródsudeckiej złoża Grzmiąca.

### PROSPEKCJA I BADANIA GEOCHEMICZNE W SUDETACH – LATA 60. XX W.

Sudety w dalszym ciągu pozostały najważniejszym obszarem prac poszukiwawczych. Instytut za priorytet uznał rozpoczęcie poszukiwań „głębokich złóż” za pomocą nowoczesnego narzędzia, którym było regionalne aluwialne zdjęcie uranometryczne Sudetów. W założeniu metoda ta pozwalała na odkrycie geochemicznych anomalii wtórnych związanych z ciałami uranowymi występującymi na głębokościach do 60–80 m (Zajączkowski, 1968). Równocześnie zaplanowano prowadzenie badań litogeochemicznych waryscyjskich masywów granitowych Sudetów.

W latach 1959–1965 praktycznie dla całych Sudetów wykonano aluwialne zdjęcia uranometryczne w skali 1 : 25 000. Próbkę (waga ok. 70 g) były pobierane co 250 m w potokach, rzekach, rowach *etc.* W przypadku stwierdzenia zawartości anomalnych U interwał opróbowania zagęszczano do 25–50 m, a następnie, biorąc pod uwagę detalizację opróbowania aluwialnego, budowę geologiczną terenu, zwłaszcza tektonikę, wyznaczano obszar do badań glebowych uranometrycznych, które identyfikowały aureole pierwotne związane z ciałami rudnymi uranu. Analizy chemiczne wykonywano w Pracowni Analitycznej ZZSP, co gwarantowało porównywalność wyników.

W pierwszej kolejności (1960–1962) zdjęciem aluwialnym objęto Góry Izerskie oraz Masyw Śnieżnika i Góry Bialskie wraz z masywem kłodzko-złotostockim i Górami Bardzkimi. Osobno wykonano badania metodyczne w dolinie rzeki Jedlicy, która drenuje teren w pobliżu złoża uranu Podgórze w Kowarach (Podstolski, 1961). Wyniki z Jedlicy, co było niespodzianką, nie wykazały istnienia znaczącej anomalii wtórnej, która powinna odzwierciedlać obecność drugiego co do wielkości zasobów uranu w Sudetach żyłowego złoża Podgórze.

Uranometryczne zdjęcie aluwialne w Górach Izerskich ujawniło obecność kilku anomalii w rejonie: Jeziora Złotnickiego k. Gryfowa Śląskiego, Gierczyna–Przecznicy oraz Czerniawy–Pobiednej w pobliżu Świeradowa Zdroju. Obszary anomalne były przedmiotem szczegółowego uranometrycznego zdjęcia glebowego. Próbkę z podglebia pobierano siatkach w zależności od warunków geologicznych

nawet z gęstością 50 × 50 m (ponad 1000 próbek). W rejonie Jeziora Złotnickiego wyniki uranowego zdjęcia glebowego były na tyle interesujące, że w latach 1961–1963 wykonano tu szczegółowe prace poszukiwawcze obejmujące rowy, szurfy, profilowania elektrooporowe oraz kilkanaście wierceń. Mineralizacja uranowa w granitognejskich izerskich okazała się uboga, bez wartości przemysłowej (Zajączkowski i in., 1963; Sylwestrzak, 1963). Uranowa anomalia geochemiczna Jeziora Złotnickiego może być przedstawiana jako przykład tzw. fałszywej anomalii geochemicznej, która prowadzi do kosztownych prac poszukiwawczych.

W Masywie Śnieżnika i Górach Bialskich odkryto uranometryczne anomalie aluwialne w rejonie: Młynowca, Nowego Gierałtowa, Bielic, Śnieżnika Kłodzkiego, na których zostały następnie wykonane szczegółowe uranometryczne zdjęcia glebowe (Przeniosło, 1970). Najciekawszą okazała się anomalia na zboczach Śnieżnika Kłodzkiego. W kolejnych etapach prac poszukiwawczych wykonano tu szczegółowe zdjęcie geofizyczne, prace górnicze i wiercenia. Odkryto występowanie okruszczenia uranowego w strefach spękań i uskoków w tzw. glinkach tektonicznych. Zawartości U dochodziły w punktowych próbkach do 0,3%. Niestety nie stwierdzono obecności stref uranowych o wartości przemysłowej i w 1969 r. prace poszukiwawcze zakończono (Przeniosło, Sylwestrzak, 1969). Warto odnotować, że w potoku Kletno biegnącym w pobliżu największego złoża U w masywie Śnieżnika, w którym w latach 1952–1953 wydobyto ok. 20 t uranu, anomalii aluwialnej nie stwierdzono (Przeniosło, 1970).

W 1970 r. prowadzono rozpoznanie uranometrycznym zdjęciem glebowym anomalii Orłowca w pobliżu Łądka Zdroju, ale biorąc pod uwagę negatywne rezultaty w sąsiednich obszarach, szczegółowe rozpoznanie geologiczne anomalii zostało zaniechane.

Bardzo istotne dla poznania geochemii uranu w Karkonoszach i innych masywach granitowych Sudetów były badania litogeochemiczne Jelińskiego (1962, 1965) oraz Lisa (1962, 1970) nad geochemią niektórych pierwiastków, w tym uranu i toru, w masywie Karkonoszy. Próbkę w ilości ok. 2000 zostały pobrane w latach 1958–1960, a oznaczenia chemiczne wykonano w Pracowni Analitycznej ZZSP. Według wyników badań Jelińskiego, granity karkonoskie charakteryzują się wysokim tłem uranu, które wynosi 12,7 ppm, wykazują zróżnicowanie średnich zawartości od 18,5 ppm dla granitów z arkusza 1 : 25 000 Miedzianka do 8,7 ppm na ark. 1 : 25 000 Świeradów Zdrój. Wyższe koncentracje występują generalnie we wschodniej części masywu i grzbiecie głównym Karkonoszy. Wśród odmian petrograficznych najwyższą zawartość wykazują granity równoziarniste. Jeliński (1965) podkreśla wysoką ługowność uranu, najwyższą w NE części masywu, co dowodzi, że uran nie jest związany z minerałami akcesorycznymi, a wzbogacenia przypisuje procesom pomagmowym. Pozostałe masywy granitowe Sudetów mają tło geochemiczne uranu zdecydowanie niższe, np. granity strzegomskie – 8,5 ppm, strzelińskie – 7,4 ppm, kudowskie – 7,5 ppm, a rumburskie – 6,8 ppm. Z przeprowadzonych badań Jeliński wysnuł tezę poszukiwawczą, że w masywie nie ma możliwości powstania większych złóż uranu, gdyż jest on rozproszony w skalach.

Badania geochemiczne prowadzone przez Lisa (1970) oprócz uranu i toru objęły także składniki główne: Si, Ca,

Fe, Mg, K, Na, i szereg pierwiastków śladowych, np: Be, Ag, Ni, Co, Pb, Cu, Bi. Autor ten wykazał dwoistość form występowania uranu i toru w masywie karkonoskim. Jedna izomorficzna – jest związana z minerałami akcesorycznymi i uwarunkowana w magmie odpowiednim stężeniem cyrkonu, tytanu i pierwiastków ziem rzadkich. Druga, nieizomorficzna – z roztworami pomagmowymi i późniejszymi procesami sorpcji. Zaobserwował także, że najbogatsze w uran są granity końcowej fazy intruzji, w przypadku Karkonoszy granity równoziarniste i aplogranity. W obrazie przestrzennym rozmieszczenia uranu w masywie podkreśla, że wysoka zawartość w wydzielonym przez niego tzw. rejonie VII: 13,5–62,5 ppm, przy średniej 22,7 ppm, charakteryzuje brak zależności pomiędzy U a typem skały i chemizmem, co wskazuje na pomagmowe, prawdopodobnie hydrotermalne doprowadzenie uranu, podkreślając brak jednoczesnego wzbogacenia w inne pierwiastki, np. Bi, Ag, Ni, Co, Pb i, Cu, co jest często spotykane w hydrotermalnych żyłowych złożach uranu.

Badania geochemiczne prowadzono także w próbkach z utworów osadowych i wulkanicznych na obszarze depresji śródsudeckiej. Odkrycie przez ZPR-1 na przełomie lat 1948/1950 złoża uranu Okrzeszyn w węglach górnokarbońskich warstw radwanickich południowo-zachodniego skrzydła depresji śródsudeckiej oraz w 1955 r. w seriach piaskowcach i zlepieńców stefanu w pobliżu Głuszyca – złoża Grzmiąca było impulsem do przeprowadzenia szczegółowych badań prowadzonych przez T. Depciucha oraz H. Sylwestrzaka dla współwystępujących przestrzennie formacji młodopaleozoicznych wulkanitów.

Depciuch (1964, 1968), na podstawie 254 próbek dostarczonych przez ZPR-1 z otworów wiertniczych dokumentujących złoża Grzmiąca, wykonał szeroki zakres badań geochemicznych, mineralogicznych i petrograficznych, w rezultacie których podjął próbę wyjaśnienia genezy mineralizacji. W konkluzji stwierdził, że jest to złoża typu wietrzeniowego, które powstało wskutek wietrzenia chemicznego pierwotnie szarozielonych skał wzbogaconych w uran. W toku tego procesu nastąpiło utlenienie skał i ługowanie zawartych w nich metali, takich jak uran, miedź, cynk i ołów. Na wtórne utlenienie tych skał wskazuje obecność pseudomorfoz wodorotlenków żelaza po pirycie, pierścienie Liesegang’a z warstewkami o różnym stopniu utlenienia, obecność licznych form naciekowych podkreślonych zwiększoną zawartością tlenków żelaza oraz obecność reliktyw osadów niezupełnie utlenionych. Metale ciężkie, migrując w głąb, wytrącały się i koncentrowały poniżej zwierciadła wód gruntowych. Proces ten zachodził wieloetapowo, przy czym w każdym kolejnym etapie następowała coraz silniejsza koncentracja. Charakterystyczne jest to, że skały serii nadzłożowej są w całości czerwone i wiśniowe (utlenione), a skały serii podzłożowej są szarozielone (nieutlenione).

Badania Sylwestrzaka (1965, 1972) dotyczyły geochemii uranu w młodopaleozoicznych wulkanitach Dolnego Śląska na tle ogólnego zróżnicowania chemizmu tych skał. Badania oparto na 500 próbkach pobranych z wulkanitów dolnego permu i górnego karbonu w depresji śródsudeckiej oraz Gór Kaczawskich w roku 1960 i 1963. Badania laboratoryjne przeprowadzono w Pracowni Analitycznej ZZSP, a wg ich wyników stwierdzono, że zawartość uranu w młodopaleozoicznych wulkanitach jest dużo niższa niż w młodopaleozoicznych masywach granitowych. Wśród

wulkanitów najwyższą zawartością uranu charakteryzują się porfiry karbońskie w depresji śródsudeckiej – 5,49 ppm, a Górach Kaczawskich – 5,06 ppm, podczas gdy porfiry permskie w depresji śródsudeckiej – 3,18 ppm i 3,35 ppm w Górach Kaczawskich. Sylwestrzak (1972) zanotował zróżnicowanie przestrzenne zawartości uranu, a także obecność mineralizacji uranowej w strefach kontaktu karbońskich dajek porfirowych z pokładami węgla w kopalniach wałbrzyskich. Najwyższa zawartość uranu w porfirach i tufach porfirowych w depresji śródsudeckiej występuje pomiędzy Wałbrzychem a Głuszyca. Będzie to ważną przesłanką do prowadzenia dalszych prac poszukiwawczych złóż uranu typu Grzmiąca w piaskowcach depresji śródsudeckiej pod koniec lat 70. ub.w.

W latach 60. XX w. w ramach badań równoległych w Sudetach przeprowadzono analizę przejawów mineralizacji uranowej w wyrobiskach eksploatowanych niecki półnosudeckiej kopalń miedzi: „Lena”, „Nowy Kościół” i „Konrad”. Stwierdzone w serii miedzionośnej przejawy mineralizacji uranowej nie mają znaczenia przemysłowego (Kanasiewicz, Uberna, 1961).

Konkludując, uranometryczne zdjęcia geochemiczne oraz badania litogeochemiczne wykonane w Sudetach w latach 1959–1970, mimo że nie przyniosły spodziewanego efektu złożowego w postaci odkrycia nowych „głębokich” złóż uranu, ponieważ tych złóż najprawdopodobniej nie ma, to wprowadziły stosowanie w Polsce na skalę regionalną – dla całych Sudetów – nowoczesnych geochemicznych metod poszukiwawczych. Do interpretacji wyników w szerokim zakresie wykorzystano narzędzia statystyczne, dostarczając nowych danych naukowych o geochemii uranu w górotworze sudeckim. Doświadczenia pozyskane przez autorów projektów – J. Lisa, W. Zajączkowskiego, S. Przeniosło, T. Depciucha, H. Sylwestrzaka, J. Boruckiego były przedmiotem ich prac doktorskich wykonanych pod kierunkiem wybitnych profesorów: A. Polańskiego i K. Smulikowskiego z Uniwersytetu Warszawskiego oraz S. Jaskólskiego i M. Kamińskiego z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (tab. 1). Doświadczenia z Sudetów były wykorzystywane także poza granicami Polski. Wszyscy wyżej wymienieni „uranowcy” kierowali pracami poszukiwawczymi uranu i innych metali z wykorzystaniem zdjęć geochemicznych w krajach afrykańskich: Nigrze, Gabonie, Maroku, Rwandzie, Beninie, Madagaskarze, Kamerunie oraz na Haiti, m.in. na zlecenie ONZ.

Na pewno wielką pomocą dla młodych naukowców była możliwość odbycia stażu we Francji, która pojawiła się z początkiem lat 60. ub.w. Rząd francuski ufundował stypendia w Commissariat à l’Energie Atomique, który prowadził poszukiwania i eksploatację złóż uranu. Francuzi, a był to czas „zimnej wojny” i utajnienia w Polsce i innych krajach „bloku radzieckiego” wszystkich informacji dotyczących uranu, umożliwili stypendystom zapoznanie się z metodyką badań polowych stosowanych przy poszukiwaniach uranu, metodami badań laboratoryjnych, systemami eksploatacji górniczej (zwiedzanie kopalń uranu) i przeróbki rud uranowych. Dotyczyło to nie tylko złóż na terytorium Francji, ale także doświadczeń z poszukiwań na innych kontynentach, zwłaszcza w Afryce. Warto pamiętać, że był to okres budowy potęgi francuskiej energetyki jądrowej, a geolodzy francuscy prowadzili poszukiwania uranu nieomal na całym świecie. Bezcenne było nawiązanie bezpośrednich kontaktów i dostęp do światowej literatury,

której nie było wówczas w Polsce. Pierwszy staż w okresie 1961/1962 r. odbył W. Zajączkowski, a w kolejnych latach: J. Borucki, J. Lis, H. Sylwestrzak, S. Przeniosło. Ta korzystna współpraca była kontynuowana, a w latach 70. w stażach uczestniczyli: B. Lis, T. Morawska, E. Bareja, E. Jancelewicz, J. Mikuszewski, M. Jęczmyk, natomiast w 80. – J.B. Miecznik. Ostatnim stażystą w dziedzinie rozpoznania złóż rud uranu był S. Wołkowicz, który rozpoczął swój staż w styczniu 1990 r., w zmienionej konfiguracji politycznej Europy.

Przełom lat 60. i 70. XX w. nie przyniósł spodziewanych odkryć nowych złóż uranu w Sudetach i na kilka lat przerwano prowadzenie tam bezpośrednich prac poszukiwawczych. Następny etap tych prac rozpocznie się pod koniec lat 70., a autorzy projektów będą brali pod uwagę znane już z literatury informacje o złożach uranu w Masywie Czeskim i Łużycach oraz literaturowe dane opisujące modele/typy złóż uranu na świecie. Przykłady takich analiz możliwości występowania uranu na obszarze Sudetów znalazły się m.in. w opracowaniach Miecznika i Strzeleckiego (1979) oraz Lisa i Sylwestrzaka (1979).

## BADANIA URANU POZA OBSZAREM SUDECKIM W LATACH 60. XX W.

### Fosforyty

Nawiązując do wyznaczonych priorytetów badawczych, w latach 1957–1960 Borucki (1962) podjął badania uranonośności polskich fosforytów. Przebadał kongregacje fosforytowe w 104 próbkach pobranych z różnych wieków skał osadowych z fosforytami. W próbkach fosforytów kredowych, które jako jedyne przedstawiały wówczas wartość przemysłową i były eksploatowane w kopalni w Annopolu na Lubelszczyźnie, zawartość U w próbce urobkowej była niska i wynosiła 53 ppm. W innych miejscach występowania kredowych fosforytów, tylko w Chałupkach zawartość uranu w pojedynczej próbce przekroczyła 100 ppm. Najwyższą zawartość – do 212 ppm U, autor ten stwierdził w dolnosylurskich fosforytach Gór Bardzkich. W karbońskich fosforytach Gór Świętokrzyskich uran osiągał zawartość 105 ppm, podobnego rzędu ilość (102 ppm) oznaczono w kredowych fosforytach Karpat. Ocena potencjału uranowego w polskich fosforytach była negatywna, bowiem średnia zawartość uranu >100 ppm jest uznawana na świecie za minimalną, aby myśleć o współodzysku U w procesie produkcji kwasu ortofosforowego.

W latach 70. ub.w. Instytut Badań Jądrowych planował uruchomienie odzysku U z fosforytów północnoafrykańskich (Maroko, Tunezja) przerabianych w Policach, ale analiza ekonomiczna wykazała nieopłacalność przedsięwzięcia.

### Górnośląskie Zagłębie Węglowe

Badania równoległe prowadzone od 1957 r., dzięki pomiarom radiometrycznym w wyrobiskach kopalń węgla kamiennego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym, dostarczyły wielu informacji o punktach podwyższonej promieniotwórczości w utworach karbońskich GZW. Prowadzący prace badawcze M. Sałdan (1961, 1962) zinwentaryzował w kopalniach GZW 140 punktów mineralizacji uranowej oraz 15 miejsc występowania wód radioaktywnych. W profilu stratygraficznym karbonu najwięcej punktów mine-

ralizacji występuje w warstwach łaziskich, orzeskich i libiąskich, we wschodniej części Zagłębia (kopalnie Bierut, obecnie część KWK Jaworzno i Siersza). Najwyższe koncentracje, maksymalnie 2660 ppm, stwierdzono w strefach uskokowych w łupkach przywęglowych, piaskowcach i węglach. Rozmiary stref zmineralizowanych są niewielkie. W węglach, poza strefami spękań, tło geochemiczne waha się od 0,7 do 1,9 ppm. W efekcie stwierdzono, że nagromadzenia uranu w skałach karbonu GZW mają wtórny i lokalny charakter i brak jest perspektyw występowania uranu w nagromadzeniach o znaczeniu gospodarczym (Sałdan, 1965). Uzupełnieniem badań węgla kamiennych było studium geochemiczne uranu w węglach kamiennych Górnośląskiego i Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego wykonane przez Jęczalika (1970).

### Karpaty

W Karpatach badania równoległe objęły czarne, bitumiczne łupki serii menilitowej oligocenu w rejonie Bezmiechowa–Monasterzec w pobliżu Leska. Podwyższoną radioaktywność łupków sygnalizowały lotnicze i samochodowe zdjęcia radiometryczne wykonane w połowie lat 50. ub.w. przez Zakłady ZPR-1. W trakcie badań, które objęły wykonanie 2 sztolni, stwierdzono obecność stref czarnych łupków bitumicznych z podwyższoną zawartością uranu rzędu 30–100 ppm, a w Bezmiechowej sięgające nawet 620 ppm. Stwierdzono związek uranu z substancją bitumiczną. Tło uranu w łupkach wynosi 12 ppm (Kita-Badak i in., 1965) i jest to wartość typowa dla formacji czarnych łupków. Ponowne badania łupków menilitowych wykonane w latach 70. XX w. potwierdziły, że łupki reprezentują przykład mineralizacji syngenetycznej typu *black shale*, o zbyt niskich koncentracjach uranu, aby mieć znaczenie złożowe. Dodatkowo, w latach 70. wykonano w Instytucie Badań Jądrowych badania technologiczne, które potwierdziły negatywną ocenę wartości przemysłowej mineralizacji uranowej w łupkach menilitowych (Bareja i in., 1975).

### Góry Świętokrzyskie

Obszar Gór Świętokrzyskich, który był obok Sudetów miejscem eksploatacji górniczej rud uranu, został przez Morawieckiego i Boruckiego uznany za perspektywiczny dla poszukiwań uranu. Najważniejsze wystąpienie uranu jest związane z kopalnią pirytu „Staszic” w Rudkach k. Nowej Słupi. Uran występuje tam w soczewie pirytovej oraz otaczających ją tzw. iłach rudonośnych dewonu. Soczewa pirytovej jest związana z megabrekcją tektoniczną złożoną z bloków kwarcytowych, piaskowcowych i dolomitowych tkwiących w wyprasowanych łupkach, mułowcach lub iłach czarnych lub pstrych. Mineralizacja uranowa jest zlokalizowana w północnej części złoża w brekcjach tektonicznych. Najwyższe koncentracje występują w formie gniazd uranowych w brekcjach z melnikowitem (odmiana pirytu), gdzie jego zawartość waha się od 0,15 do 3,0% (Uberna, 1970). W iłach rudonośnych zawartość uranu jest znacznie niższa i wynosi 70–1500 ppm (Borucki i in., 1967). Ze złoża w latach 1925–1972 prowadzono wydobycie rudy pirytovej jako surowca do produkcji kwasu siarkowego, a rudy uranu były wydobywane ubocznie do 1967 r.

Na obszarze Gór Świętokrzyskich zidentyfikowano jeszcze szereg innych wystąpień mineralizacji uranowej występujących w dość podobnej pozycji stratygraficzno-strukturalnej jak złożo w Rudkach, ale we wszystkich mineralizacja nie ma wartości przemysłowej.

W Miedzianej Górze uran występuje w czarnych i szarych iłach w postaci drobnych żyłek czerni uranowej. Maksymalna zawartość uranu sięga 0,2%, a średnia waha się od 90 do 500 ppm. Okruszczowanie uranem towarzyszy mineralizacji miedziowej.

W Winnej k. Łagowa stwierdzono występowanie okruszczowania uranowego w czarnych iłach pirytonośnych, w strefie uskokowej. Uran występuje głównie w brzeźnej partii strefy okruszczowanej pirytem, gdzie jego zawartość wynosi 100–500 ppm. W analogicznej sytuacji geologicznej została stwierdzona mineralizacja uranowa we Wzdole Kamieńcu.

W rejonie Daleszyc stwierdzono obecność uranu związanego z syderytowymi iłami serii przejściowej między dolnym i środkowym dewonem. W obszarach anomalnych wykonano 15 otworów wiertniczych o maksymalnej głębokości sięgającej 50 m. Średnia zawartość uranu okazała się jednak bardzo niska, wynosiła zaledwie 40 ppm, a maksymalnie w pojedynczych próbkach osiągając 300 ppm (Uberna, 1970).

W rejonie Łagowa i Bodzentyna na niewielką skalę Uberna (1962, 1964) próbował stosować do poszukiwań uranometryczne zdjęcie glebowe.

Badania koncentracji uranu na obszarze Gór Świętokrzyskich zostały podsumowane przez Ubernę (1970), a zawarta w tej pracy ocena uranonośności dewonu i całego obszaru Gór Świętokrzyskich jest negatywna.

### REORGANIZACJA ZAKŁADU ZŁOŻ SUROWCÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH W 1962, PIONIERSKIE BADANIA IZOTOPÓW

W październiku 1962 r. dotychczasowy Zakład Złóż Surowców Promieniotwórczych zmienił nazwę na Zakład Złóż Pierwiastków Rzadkich i Promieniotwórczych. Do jego obowiązków statutowych doszły badania i poszukiwanie pierwiastków rzadkich oraz badania wieku bezwzględnego skał i minerałów. Oznaczenia te wykonywano już od 1963 r. na aparacie własnej konstrukcji, metodą argonowo-potasową. Pionierami tych badań byli J. Borucki i T. Depciuch. Zakres badań ulegał stopniowemu poszerzeniu, a skonstruowana i udoskonalana przez nich aparatura umożliwiała otrzymywanie coraz precyzyjniejszych danych. Równoległe z badaniami wieku bezwzględnego od 1965 r. na spektrometrze mas wykonywano oznaczenia składu izotopowego ołowiu z galeny, w celu oznaczenia wieku i genezy złóż Zn-Pb, a w dalszej kolejności prowadzono badania nad oznaczaniem składu stałych izotopów węgla i tlenu w węglanach oraz składu izotopów węgla z węglowodorów na potrzeby poszukiwań złóż ropy i gazu. Rozwijano również badania nad oznaczaniem wieku bezwzględnego metodą helową i radiowęgla (Pendas, 1969).

Zakład po reorganizacji liczył cztery pracownice: Analityczną (kierownik A. Jęczalik), Badań Radiometrycznych



**Ryc. 1.** Zdjęcie pracowników zakładu (luty 1970 r.). Pierwszy rząd od dołu, od lewej: J. Mikuszewski, T. Wątkowski, T. Depciuch, M. Sałdan, J. Lis; drugi rząd od lewej: R. Misiewicz, E. Jancelewicz, M. Jęczmyk, E. Bareja, B. Lis, T. Morawska, B. Budzicka; stoją od lewej: M. Kruszewski, J. Kanasiewicz, E. Przeniosło, A. Jeliński, I. Pietrzak, A. Jęczalik

**Fig. 1.** Occasional pictures of the employees of the Department (February, 1970). The first row from the bottom, from the left: J. Mikuszewski, T. Wątkowski, T. Depciuch, M. Sałdan, J. Lis; second row from the left: R. Misiewicz, E. Jancelewicz, M. Jęczmyk, E. Bareja, B. Lis, T. Morawska, B. Budzicka; standing from the left: M. Kruszewski, J. Kanasiewicz, E. Przeniosło, A. Jeliński, I. Pietrzak, A. Jęczalik

(M. Sałdan), Złóż Pierwiastków Rzadkich (J. Kanasiewicz oraz Mineralogii i Geochemii (J. Borucki). Kierownikiem zakładu był nadal A. Jeliński, a zatrudnionych było w nim ok. 25 osób (ryc. 1). W tej formie organizacyjnej zakład funkcjonował do października 1971 r. Wtedy to do utworzonego w instytucie Zakładu Geochemii i Chemii Analitycznej została przeniesiona Pracownia Mineralogii i Geochemii. Kierownikiem Zakładu Złóż Pierwiastków Rzadkich i Promieniotwórczych został w październiku 1971 r. M. Sałdan, a Pracownia Badań Radiometrycznych została przemianowana na Pracownię Złóż Pierwiastków Promieniotwórczych, którą kierowała E. Bareja. Niewątpliwie jedną z przyczyn reorganizacji zakładu były wyjazdy zagraniczne wiodących naukowców tego zespołu, które spowodowały lukę kadrową. W 1966 r. dr J. Borucki wyjechał na Madagaskar, w 1967 r. dr W. Zajączkowski – do Nigru, a następnie do Maroka. Jego śladami w 1970 r. podążyli dr J. Lis i dr H. Sylwestrzak. Kilka lat później J. Lis wraz z żoną Barbarą udali się do Burundi, a 1972 r. dr S. Przeniosło – do Gabonu, a następnie na Haiti. Dwa lata później dr T. Depciuch podjął pracę w Dahomeju (obecnie Benin). Do strefy anglofońskiej wyjechał dr J. Kanasiewicz, który najpierw pracował w Indiach, a następnie w Libii. Tradycję pracy za granicą kontynuowali w latach późniejszych kolejni pracownicy – dr R. Strzelecki w Mauretanii i Algierii oraz dr J.B. Miecznik w Mongolii i Algierii. W Mongolii wiele lat spędzili również technicy geolodzy tego zakładu (L. Kaleta i J. Strąk).

Historia Zakładu Złóż Pierwiastków Rzadkich i Promieniotwórczych w Instytucie Geologicznym zakończyła się w grudniu 1976 r. W styczniu 1977 r. zakład został zlikwidowany. Chichotem historii jest to, że doc. dr M. Sałdan, który w 1956 r. był inicjatorem powstania i pierwszym kierownikiem Pracowni Badań Promieniotwórczych, po 20 latach, sprawując funkcję zastępcy dyrektora IG ds. geologii złóż i prognoz surowcowych, współdecydował o likwi-



dacji zakładu w czasie trwania kilku ważnych projektów poszukiwania uranu. Tematyka badawcza w zakresie poszukiwania złóż tego pierwiastka była kontynuowana w utworzonej Pracowni Złóż Pierwiastków Promieniotwórczych, którą kierowała dr E. Bareja, działającej w strukturze Zakładu Geologii Złóż Rud Metali. W tej formie organizacyjnej pracownia dotrwała do 1991 r. Wówczas, przy generalnej zmianie filozofii poszukiwań surowców mineralnych w naszym kraju, uznającej, że wszystko załatwią koncesje podmiotów zainteresowanych eksploatacją surowca, prace poszukiwawcze uranu i praktycznie wszystkich innych kopalnin zostały wstrzymane. W przypadku uranu dodatkowym asumptem do zaprzestania poszukiwań było zatrzymanie rozwoju energetyki jądrowej w Polsce.

## POSZUKIWANIA ZŁÓŻ URANU W FORMACJACH OSADOWYCH NIŻU POLSKIEGO

Po roku 1956 rozpoczął się okres intensywnego rozpoznania wglębnej budowy geologicznej Niżu Polskiego. Instytut Geologiczny wykonywał głębokie parametryczno-strukturalne otwory wiertnicze, ale najwięcej głębokich otworów na tym obszarze odwiercił przemysł naftowy. Jednocześnie instytut prowadził liczne projekty poszukiwawcze surowców, m.in. miedzi i soli na monoklinie przedsudeckiej, rud żelaza na niżu i na platformie wschodnioeuropejskiej, węgla brunatnych oraz węgla kamiennych na Lubelszczyźnie. Do Zakładu Złóż Pierwiastków Rzadkich i Promieniotwórczych, a po roku 1977 do Pracowni Złóż Pierwiastków Promieniotwórczych, w ramach badań równoległych spływały setki wyników karotaży i naturalnego profilowania gamma ze wszystkich wykonywanych odwiertów. Analiza diagramów gamma-spektrometrycznych dość szybko umożliwiła ocenę potencjału uranowego formacji osadowych występujących w profilach geologicznych wszystkich jednostek geostukturalnych i weryfikację hipotez wysuwanych w programach poszukiwawczych Morawieckiego i Boruckiego. Przykładowo, wyjaśniono, że mioceńska formacja burowęglowa w żadnym z rozpoznawanych na niżu złóż węgla brunatnego nie wykazuje choćby śladów podwyższonego promieniowania gamma.

Największym sukcesem badań równoległych było odkrycie mineralizacji uranowej w utworach triasu dolnego Niżu Polskiego, szczególnie na obszarze syneklizy perybałtyckiej (Kanasiewicz i in., 1965) oraz dolnego ordowiku obniżenia podlaskiego.

### MINERALIZACJA W TRIASIE MONOKLINY PRZEDSUDECKIEJ – DUŻE NADZIEJE

Z początkiem lat 60. XX w. w kilkunastu otworach wiertniczych przemysłu naftowego zlokalizowanych w centralnej i zachodniej części monokliny przedsudeckiej (Nowa Sól, Gubin, Zielona Góra) stwierdzono występowanie dwóch poziomów, które wyróżniały się podwyższoną promieniotwórczością, związanych z utworami środkowego pstręgo piaskowca. Ponieważ większość otworów przewiercała trias bezrdzeniowo, opracowano projekt wykonania specjalnego otworu badawczego (Jarogniewice IG 1) oraz rdzeniowania otworów triasowych w 25 otworach, planowanych do odwiercenia przez przemysł naftowy. Program badań zrealizowano w latach 1965–1969. We wszystkich otworach stwierdzono przejawy mineralizacji

uranowej w utworach środkowego pstręgo piaskowca. Uran jest tam związany z seriami 12–16 wyróżnianymi w podziale litostratygraficznym środkowego pstręgo piaskowca monokliny, a podwyższona zawartość U występuje w szarych wapieniach i dolomitach oolitowych z przewarstwieniami mułowców, iłowców i piaskowców. Zawartość uranu nie przekracza 0,1% i sięga przykładowo: 560 ppm w otworze Stare Żabno 1, 350 ppm – Jarogniewice IG 1 i Przyborowice 1 oraz 250 ppm – Drzonów 2. W sumie z rdzeni wiertniczych pobrano do badań geochemicznych, petrograficznych i mineralogicznych ponad 700 próbek. Obliczone tło geochemiczne dla skał szarych (nieutlenionych) wynosi: dla mułowców i iłowców – 96,8 ppm, piaskowców – 12,9 ppm, dolomitów z oolitami – 49,2 ppm i wapieni z oolitami – 12,5 ppm. Dla utworów czerwono-brązowych i wiśniowych (utlenionych) wynosi odpowiednio: 3,6 ppm dla iłowców i mułowców, 3,4 ppm – piaskowców; 4,5 ppm – dolomitów z oolitami i 9,6 ppm – wapieni z oolitami. Oprócz uranu stwierdzono obecność selenu (do 56 ppm) i molibdenu (do 280 ppm) (Sałdan, Strzelecki, 1980). Geneza mineralizacji jest związana z syngenetycznym dostarczaniem uranu do zbiornika, np. tło geochemiczne wapieni, i procesami diagenetycznymi oraz epigenetycznymi, które spowodowały wzbogacenie dolomitów i iłowców.

Przejawy mineralizacji uranowej stwierdzono także na peryklinie Żar (otwór wiertniczy P-9, 600 ppm), a anomalie promieniotwórcze w podobnej pozycji stratygraficznej – w środkowym pstrym piaskowcu w niecce szczecińskiej i niecce brzeźnej.

Niewielkie miąższości i niskie średnie zawartości U spowodowały negatywną ocenę wartości złożowej mineralizacji uranowej w triasie na monoklinie przedsudeckiej. Efektem tych prac była rozprawa doktorska Sałdana (1970). Po roku 1971 zaprzestano tu prowadzenia dalszych prac badawczych.

### ŁUPKI DICTYONEMOWE DOLNEGO ORDOWIKU OBNIŻENIA PODLASKIEGO – CIEKAWÉ, ALE ZBYT UBOGIE

W 1964 r. na północnym skłonie obniżenia podlaskiego instytut rozpoczął realizację projektu poszukiwań rud żelaza w utworach starszego paleozoiku. W wykonanym w 1965 r. otworze wiertniczym Rajsk IG 1, położonym kilka kilometrów na N od Bielska Podlaskiego, na głębokości 550 m w profilu utworów ordowiku, stwierdzono wysoką anomalię promieniotwórczą, która była związana z czarnymi łupkami dictyonemowymi tremadoku. W próbkach łupków stwierdzono niezwykle wysokie zawartości uranu, które sięgały 2,45%. Okruszcowanie o tej skali stwierdzono tylko w pojedynczej próbce o miąższości... 1cm. W 1967 r., dla zweryfikowania wiarygodności tak wysokich koncentracji, w odległości ok. 50 m, wykonano otwór wiertniczy Rajsk IG 2, który potwierdził obecność wysokich koncentracji uranu. Były one nieco niższe, ale wciąż bardzo wysokie, jak na formację czarnych łupków (Sałdan, 1967). We wrześniu 1968 r. opracowano projekt poszukiwawczy przewidujący odwiercenie 8 otworów w rejonie Rajaska, a następnie w 1970 r. przygotowano duży projekt regionalnego rozpoznania mineralizacji łupków dictyonemowych wzdłuż północnego skłonu obniżenia podlaskiego (Sałdan, 1970). Do 1975 r. wykonano 62 otwory wiertnicze o łącz-

nym metrażu ok. 38 tys. mb., badania sejsmiczne, badania technologiczne oraz pełnordzeniowy otwór wiertniczy Rajsk IG 3 do podłoża krystalicznego. Ponieważ w Polsce w latach 70. planowano rozpoczęcie budowy pierwszej elektrowni atomowej, zasoby uranu w łupkach dictyonemowych brano pod uwagę jako potencjalne źródło do produkcji paliwa atomowego. Z tego względu zaczęto bardzo wstępnie planować w rejonie Rajska budowę kopalni uranu. W miejscu przyszłego szybu wydobywczego wykonano otwór wielkośrednicowy Rajsk IG 4.

W Instytucie Badań Jądrowych w Warszawie przeprowadzono badania technologii odzysku uranu i pierwiastków towarzyszących – wanadu i molibdenu. Analizy były prowadzone na dużych próbach, bowiem dla pozyskania rdzenia odwiercono kilka tzw. otworów wielodennych, w których z otworu pionowego, po dość prostym odchyleniu przewodu wiertniczego, serię rudną przewiercano sześcioma otworami odchyłonymi. Badania technologiczne, z uwagi na łupkowy typ mineralizacji, miały duży wpływ na ocenę wartości przemysłowej złoża.

Mineralizacja uranowa jest związana wyłącznie z warstwą ciemnych łupków dictyonemowych tremadoku, których miąższość waha się od kilku centymetrów do 4 m, średnio ok. 2,7 m. W profilu litologicznym serii łupkowej, w spągu, ponad piaskowcami obolusowymi występują łupki czarne (1,0–1,5 m), przechodzące w łupki brunatne i w stropie w jasnobezowe łupki z fosforanami (ok. 5 cm) (Sałdan i in., 1977). Mineralizacja uranowa występuje przede wszystkim w łupkach czarnych, a tło geochemiczne uranu jest rzędu 70 ppm, przy zawartości maksymalnej sięgającej 1000 ppm. W łupkach brunatnych tło jest dwukrotnie niższe. Oprócz uranu w łupkach czarnych stwierdzono wysokie koncentracje wanadu, rzędu 1100–2000 ppm, oraz molibdenu – od kilkunastu do 750 ppm. Rozpoznana głębokość zalegania łupków wynosi od 400 m w północno-wschodniej części zapadliska (rejon Białowieży), 550–650 m w rejonie wykonanej dokumentacji złoża Rajsk do ponad 1000–1200 m w rejonie zachodniej i południowej części zapadliska (okolice Brańska) (Sałdan i in., 1977).

Na obszarze ok. 16 km<sup>2</sup>, w rejonie Rajsk–Rzepniwo–Haćki w 1976 r. na podstawie 30 otworów wiertniczych wykonano *Dokumentację geologiczną złoża uranu Rajsk w kat. C2*, w której udokumentowano zasoby ok. 1444 t U o średniej zawartości w rudzie 249,6 ppm U oraz 3880 t U – 74,7 ppm (Sałdan i in., 1976). Złoże z uwagi na niską zawartość U oraz drogą i mało efektywną technologię odzysku metali (np. odzysk uranu i molibdenu odbywał się w innym procesie technologicznym niż wanadu) oraz powstawanie olbrzymich ilości odpadów posttechnologicznych, zostało uznane za pozabilansowe. Koszt uzyskania 1 kg koncentratu uranowego zwanego *yellow cake* był 4-krotnie wyższy od ówczesnych światowych cen jego zakupu, a trzeba brać pod uwagę, że w latach 70. ub. w uran osiągał bardzo wysokie ceny w porównaniu do cen z przełomu XX i XXI w.

Biorąc pod uwagę obszar zalegania łupków rzędu 1900 km<sup>2</sup>, średnią zawartość i miąższość warstwy uranowej, zasoby perspektywiczne w łupkach dictyonemowych w obniżeniu podlaskim oszacowano na 88,85 tys. t uranu, w tym do głębokości 1000 m ok. 45 tys. t U (Sałdan i in., 1976).

Mineralizacja łupków dictyonemowych północnego skłonu obniżenia podlaskiego reprezentuje złoża typu

*black shale*, która znana jest w Szwecji – łupki alunowe górnego kambru, Estonii i okolic St. Petersburga – łupki dictyonemowe, w USA – łupki Chatanooga, w Chinach – łupki złoża Chanziping i wielu innych krajach. Z powodu niskiej zawartości uranu i wysokich kosztów technologicznych i środowiskowych eksploatacji, złoża tego typu są uznawane za nieekonomiczne i prognozy nie przewidują ich eksploatacji w najbliższej przyszłości.

### TRIAS SYNEKLIZY PERYBAŁTYCKIEJ – LATA 70. XX W. – PRAWDZIWE ZŁOŻE?

W 1975 r. został przygotowany w ZZPRZiP projekt poszukiwań złóż rud uranu w rejonie Paślęka–Braniewa–Krynicy Morskiej (Sałdan, Strzelecki, 1975). Na podstawie analizy wyników diagramów profilowania gamma z ponad 50 otworów wiertniczych przemysłu naftowego wykonanych na obszarze syneklizy perybałtyckiej w latach 1959–1972, w których trias przewiercano metodą bezrdzeniową, oraz 12 otworów parametrycznych Instytutu Geologicznego, autorzy projektu zaplanowali wykonanie w środkowej części syneklizy pomiędzy Piaskami na Mierzei Wiślanej–Fromborkiem–Braniewem a Paślękiem, regionalnego profilu badawczego, obejmującego 12 otworów wiertniczych usytuowanych w odległościach co 5 km. Najpierw wykonano skrajne otwory: Marianka IG 1 w części południowej w pobliżu Paślęka oraz na północy – Ptaszkowo IG 1 zlokalizowany w miejscowości Piaski na Mierzei Wiślanej. Po odkryciu w 1976 r. w otworze Ptaszkowo IG 1 niezwykle bogatej mineralizacji uranowej z pierwiastkami towarzyszącymi: wanadem, molibdenem i selenem, opracowano aneks obejmujący rozpoznanie obszaru Mierzei dodatkowymi 11 otworami, których lokalizacja, z uwagi na warunki naturalne (Morze Bałtyckie i Zalew Wiślany oraz granicę z Rosją), nie mogła być optymalna z poszukiwawczego punktu widzenia i ograniczała się do możliwych logistycznie miejsc w liczącym 300–500 m szerokości zalesionym pasie łąd. W latach 1975–1983 wykonano w ramach projektu 23 badawcze otwory wiertnicze o łącznym metrażu ok. 25 tys. mb., w których w skałach triasu dolnego i środkowego stwierdzono trzy poziomy z mineralizacją uranową (Strzelecki, 1985, 1988). Najwyższe koncentracje uranu, spełniające kryteria bilansowości, występują w tzw. II poziomie uranonośnym, w kontynentalnych seriach piaskowcowo-zlepieńcowych formacji elbląskiej górnego pstrego piaskowca. W najbogatszym otworze – Ptaszkowo IG 1 zlokalizowanym na Mierzei Wiślanej – zawartość maksymalna uranu sięga 1,54%, a średnia dla miąższości ok. 3,4 m – 0,34%, przy głębokości zalegania rzędu 800 m. Uranowi towarzyszy podwyższona zawartość V, Mo, Pb i Se (Sałdan, Strzelecki, 1980; Strzelecki, 1980; Strzelecki i in., 1995). Uran występuje w postaci minerałów: coffinitu i nasturanu (Bareja, 1984). Mineralizacja stanowi typowy przykład piaskowcowego typu złóż – (*sandstone type deposits*) (Strzelecki, 1985), które stanowią ok. 20% światowych zasobów przemysłowych złóż uranu. Wiercenia wykonane na Mierzi Wiślanej (13 otworów) wykazały, że zdefiniowanie przebiegu i rozmiarów odkrytych tam dwóch ciał rudnych: Ptaszkowo i Krynica Morska, będzie wymagało, jak wykazują doświadczenia krajów eksploatujących złoża piaskowcowe, zastosowania bardzo gęstej siatki wierceń, nawet rzędu 50 × 50 m. Niestety z uwagi na wąski pasek łąd, który stanowi Mierzeja w rejonie Piasków, ochronę

wód Zalewu Wiślanego i Bałtyku i obecność obszarów Natura 2000, wykonanie tak gęstej siatki wierceń było i jest niemożliwe. Niebagatelną przeszkodą w rozpoznaniu tych ciał rudnych jest ich głębokość zalegania.

Na południe od Zalewu Wiślanego poziom II stwierdzono w kilku otworach rejonie Fromborka, Młynar i Pasłęka. Koncentracje uranu są tu zdecydowanie niższe, niemniej mieszczą się w granicach kryteriów bilansowości. Głębokość zalegania ciał rudnych wynosi 950–980 m w rejonie Fromborka, 1000–1020 m – Młynar i 1170 m w Pasłęku. Obszar występowania II poziomu tworzy pas uranonośny o przebiegu zbliżonym do N–S na przestrzeni ok. 45 km, a biorąc pod uwagę położony ok. 30 km na SW od Pasłęka otwór wiertniczy Prabuty IG 1, w którym mineralizację II poziomu stwierdzono na głębokości ok. 1600 m, rozciągłość N–S strefy uranonośnej sięga 75 km. Szacowana szerokość pasa uranonośnego wynosi ok. 10 km na Mierzei Wiślanej i zwiększa się do ok. 40 km na wysokości równolężnika Pasłęk–Malbork.

W strefie Krynica Morska–Pasłęk mineralizacja uranu typu piaskowcowego została stwierdzona na pograniczu formacji elbląskiej z formacją fromborską reprezentującą dolny wapień muszlowy. Poziom ten, tzw. I poziom uranonośny, występuje dość regularnie na Mierzei Wiślanej, gdzie stwierdzono najwyższe koncentracje uranu, sięgające 0,051% przy średniej miąższości 2,32 m (otwór Krynica Morska IG 8). Na południe od Zalewu Wiślanego zawartości uranu w poziomie I są dużo niższe i nie tworzą koncentracji odpowiadających kryteriom bilansowości.

Ponadto, na całym obszarze syneklizy perybałtyckiej w formacji lidzbarskiej triasu dolnego jest obecny tzw. III poziom uranonośny. Uran jest związany ze skałami iłowcowymi, a okruszcowanie reprezentuje łupkowy typ złoża (*black shale type deposits*). Koncentracje uranu są niskie, rzędu kilkudziesięciu ppm, w żadnym z otworów nie ma znaczenia przemysłowego. Poziom ten odpowiada poziomom z mineralizacją uranową na monoklinie przedsudeckiej i innych częściach triasowego basenu Niziu Polskiego.

Na podstawie wyników prac poszukiwawczych na obszarze syneklizy perybałtyckiej za perspektywiczną należy uznać mineralizację typu piaskowcowego II poziomu uranonośnego. W strefie Piaski (Mierzeja Wiślana)–Pasłęk odkryto dotychczas pięć ciał rudnych, które można porównywać z wyróżnianym wśród złóż typu piaskowcowego podtypem *tabular deposits* (Strzelecki, 1985). Kompleksowa dokumentacja geologiczna została opracowana w 1983 r. (Bareja, 1983). Bazując na zawartych w niej danych, można szacować, że wielkość zasobów uranu dla poszczególnych ciał rudnych może się znacząco wahać, w zależności od zawartości U i rozmiarów ciała rudnego, a łączne zasoby perspektywiczne dla całej strefy wynoszą ok. 20 tys. t U (Miecznik i in., 2011; Strzelecki, Wołkowicz, 2011).

Istotnym efektem projektu było także uzyskanie nowych danych o stratygrafii, sedymentacji i paleogeografii triasu wschodniej i środkowej części syneklizy perybałtyckiej (Strzelecki, 1985; Jaworowski, 1986).

Pod koniec lat 80. ub.w. prowadzono prace badawcze nad możliwością podziemnego ługowania uranu (*in situ leaching*). Niestety zaniechanie na początku lat 90. kontynuowania budowy elektrowni atomowej w Żarnowcu, ograniczenia środowiskowe oraz spadek cen uranu spowodowały, że nie prowadzono dalszych prac poszukiwawczych w triasie syneklizy.

## SUDETY – LATA 70/80. UB.W. – POWRÓT BEZ SUKCESU (NOWE NADZIEJE)

Koniec lat 70. ubiegłego stulecia przyniósł nowe analizy poszukiwawcze uranu w Sudetach. Lepsza znajomość złóż w czeskiej części Sudetów i Masywu Czeskiego, coraz więcej danych o złożach uranu i metodyce poszukiwań dostępnych w literaturze światowej oraz udział w specjalnych sympozjach uranowych organizowanych przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (MAEA) w Wiedniu, ale także trwający cały czas nacisk ze strony ówczesnego Ministerstwa Energetyki i Energii Atomowej na posiadanie własnych zasobów uranu umożliwiły rozpoczęcie nowych projektów uranowych w Sudetach.

### Karkonosze – złoża śródgranitowe

Lis i Sylwestrzak, wychodząc z wyników badań litogeochemicznych Karkonoszy oraz wiedzy o złożach śródgranitowych w waryscyjskich masywach granitowych we Francji: Masyw Centralny i Wandee (Bretania), powrócili do poszukiwań złóż uranu w Karkonoszach (Lis, Sylwestrzak, 1979). Program prac poszukiwawczych (Lis, Przeniosło, 1981) wykonanych w latach 1981–1987 obejmował zdjęcie gamma-spektrometryczne, geochemiczne aluwialne i glebowe zdjęcia uranometryczne, a co najważniejsze – 4 pełnordzeniowe otwory wiertnicze. Na podstawie wyników tych prac negatywnie oceniono możliwość odkrycia złóż uranu w obrębie masywu Karkonoszy (Lis, Przeniosło, 1987).

### Kreda sudecka

Opublikowanie w roku 1970 w materiałach z Sympozjum Uranium Exploration Geology, organizowanego przez MAEA w Wiedniu, artykułu V. Ruzicki (uciekiniiera z Czech po 1968 r.) z informacjami o występowaniu bogatych złóż uranu w piaskowcach cenomanu północnej części czeskiej płyty kredowej: Hamr – Stráž pod Ralskem, Teplice, Ceska Lipa oraz w kredzie łużyckiej w okolicach Dřezna było sygnałem do przyjrzenia się uranonośności utworów kredy w depresji śródsudeckiej i niecce północnosudeckiej. Wykonano pomiary radiometryczne oraz pobrano próbki utworów kredowych do oznaczeń chemicznych uranu w niecce Krzeszowa, zapadlisku Kudowy, niecce Batorowa oraz rowie Górnej Nysy Kłodzkiej. Wykonano analizę diagramów profilowania gamma z istniejących otworów wiertniczych. Podobny zakres badań przeprowadzono dla utworów kredy niecki północnosudeckiej. Wyniki analiz były jednoznaczne: kreda sudecka nie zawiera żadnych podwyższeń promieniowania gamma, a zawartość U w piaskowcach cenomanu rzędu 0,7 ppm jest w granicach naturalnego tła geochemicznego dla tego typu skał. Porównano także wykształcenie litofacjalne warstw uranonośnych. W odróżnieniu od wykształcenia skał kredowych Czech, litofacje kontynentalnych piaskowców cenomanu nie występują w kredzie polskiej części Sudetów (Miecznik, Strzelecki, 1979).

### Karbon górny depresji śródsudeckiej

W 1960 r. ZPR-1 udokumentowały w serii piaskowcowo-zlepieńcowej najwyższego karbonu depresji śródsudeckiej w rejonie Głuszycy złoża uranu Grzmiąca. Zasoby ura-

nu wynoszą ok. 792 t, przy średniej zawartości w rudzie 0,05% i są zbyt małe, aby można było rozpocząć eksploatację górniczą. W opracowaniu typu *feasibility study* wykonanym w latach 70. ub.w. w Ministerstwie Energetyki i Energii Atomowej określono wielkość zasobów złoża na 2000 t uranu, jako minimalną dla osiągnięcia rentowności budowy kopalni. Biorąc to pod uwagę, instytut opracował projekt prac geologicznych (Bareja i in., 1977) rozpoznania uranonośności najwyższego karbonu w północno-wschodnim skrzydle depresji śródsudeckiej. Zakładał on odwiercenie 3 otworów sprawdzających możliwość kontynuacji po upadzie mineralizacji uranowej złoża Grzmiąca oraz regionalnych otworów poszukiwawczych w północno-wschodnim skrzydle depresji śródsudeckiej pomiędzy Głuszycą a Nową Rudą. Geologia tej części depresji była bardzo słabo rozpoznana, a z racji występowania karbonu na przestrzeni ok. 20 km teoretycznie było tam miejsce na kolejne piaskowcowe złoża uranu typu Grzmiąca. Ponadto zaprojektowano wykonanie 7 otworów wiertniczych do głębokości 1300 m oraz zdjęcia emanacyjnego i gamma-spektrometrycznego w rejonie pasma Rusinowa–Grzmiąca. W badaniach wykorzystano także inne otwory wykonane w latach 70. i 80. przez górnictwo węglowe i Oddział Dolnośląski Instytutu Geologicznego. Przy projektowaniu prac wzięto pod uwagę również wyniki poszukiwawczych prowadzonych przez ZPR-1 w latach 1961–1964 na obszarze położonym na NW od złoża Grzmiąca (Rybnica Leśna, Kamionka, Stary Lesieniec).

Wyniki prac poszukiwawczych nie przyniosły odkrycia nowych punktów przejawów mineralizacji uranowej w górnym karbonie, w Grzmiącej złożu nie kontynuuje się po upadzie, a mineralizacja uranowa zanika wraz z głębokością (Miecznik, 1983, 1989a, b, 1990).

#### **DOLNOPERMSKIE ŁUPKI WALCHIOWE DEPRESJI ŚRÓDSUDECKIEJ – ŁUPKI ZBYT UBOGIE W URAN**

Ostatnią jednostką geologiczną, której uranonośność została zweryfikowana, były dolnoperskie łupki walchowe depresji śródsudeckiej. W latach 1982–1984 wykonano na obszarze wychodni tej formacji badania geofizyczne (geoelektryczne i gamma-spektrometryczne) (Szewczyk i in., 1982). Wykazały one obecność licznych anomalii promieniowania gamma o znacznej rozciągłości. Wyniki te były podstawą projektu badań geologicznych (Bareja, Wołkiewicz, 1984), który był realizowany w latach 1985–1987. Wykonano 10 otworów o głębokości 100–352 m. W badanej formacji łupkowej stwierdzono występowanie 12 poziomów o podwyższonej zawartości uranu. Miąższość poszczególnych poziomów waha się w granicach od 0,2 do 1,5 m, a średnia ważona zawartość uranu wynosi 40–200 ppm (Wołkiewicz, 1988, 1990, 1992). Niska zawartość uranu i jego silny związek z substancją organiczną utrudniająca odzysk metalu oraz duże odległości między poziomami uranonośnymi powodują, że mineralizacja nie przedstawia wartości gospodarczej. Należy jeszcze dodać, że obszar ten ma duże walory przyrodnicze oraz turystyczne i jest położony w bezpośrednim sąsiedztwie Parku Narodowego Gór Stołowych.

Był to ostatni duży projekt poszukiwawczy złóż rud uranu w Polsce, który był realizowany z wykorzystaniem badań geofizycznych, wierceńiami i pracami analitycznymi na dużą skalę. Zbiegł się w czasie ze zmianą systemu

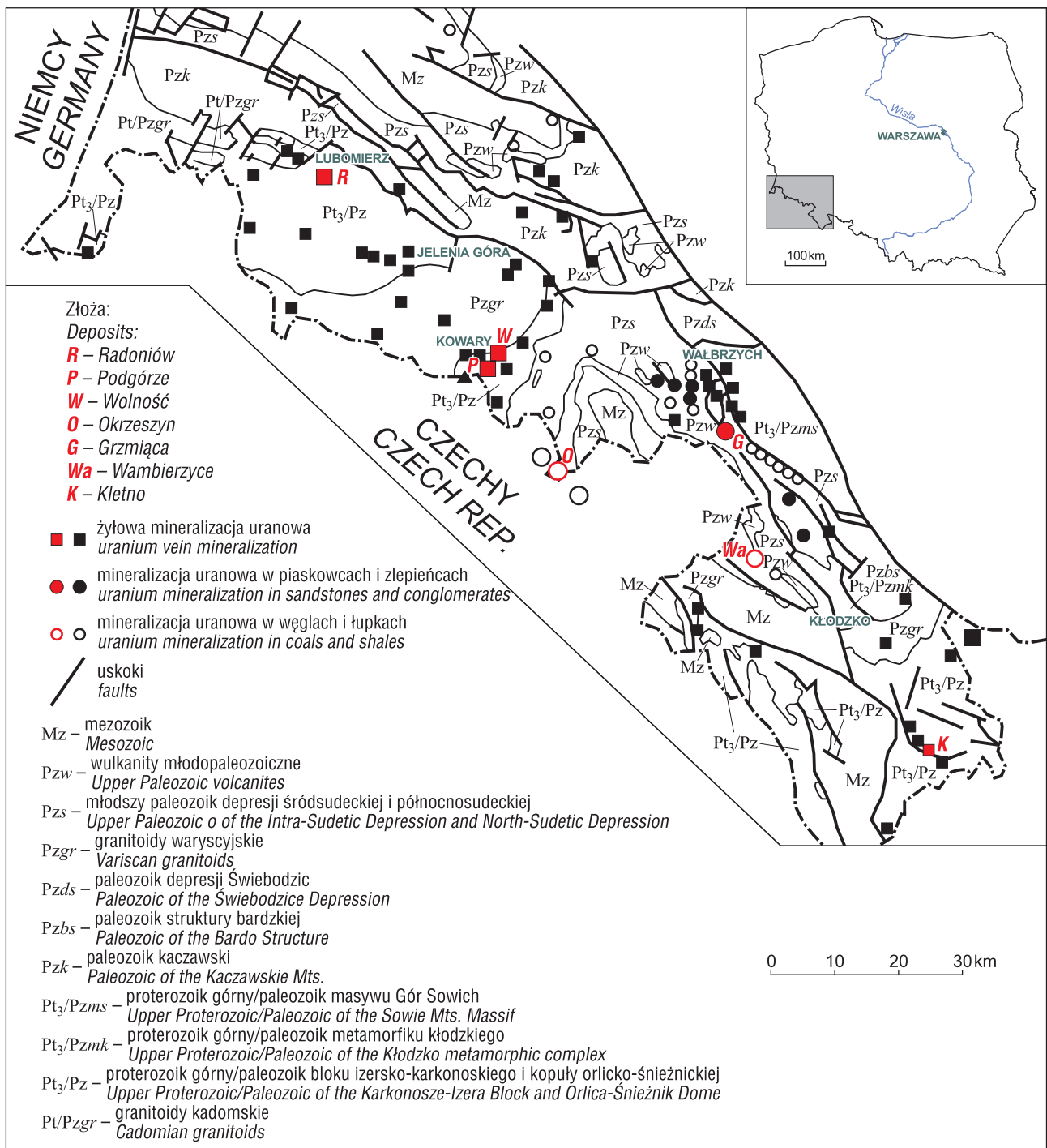
gospodarczego Polski. Zaczęto liczyć pieniądze i koszty, a geologia gospodarcza nabrała realnego kształtu. Uran stał się prawie normalnym pierwiastkiem, podlegającym regulom rynkowym, chociaż jego dostępność i technologia produkcji paliwa jądrowego są kontrolowane ze względów bezpieczeństwa międzynarodowego.

#### **W OCZEKIWANIU NA PROGRAM ROZWOJU ENERGETYKI JĄDROWEJ**

Pierwszą strategiczną decyzją polskiego rządu w dziedzinie energetyki po czerwcu 1989 r. było postawienie w stan likwidacji Elektrowni Jądrowej „Żarnowiec” w budowie”. Stosowną uchwałę podjęła Rada Ministrów 17 grudnia 1990 r. (Uchwała, 1990). Uran przestał być potrzebny Polsce. Z dużego zespołu naukowców specjalizujących się w geologii złóż rud uranu tematyką promieniotwórczości zajmowali się jedynie autorzy niniejszego artykułu. Mając duże doświadczenie i znajomość metod prospekcji złóż pierwiastków promieniotwórczych, przygotowali wspólnie z dr. J. Szewczykiem projekt badań gamma-spektrometrycznych w aspekcie skażenia obszaru Polski poczarobylskim cezem. Pomiary terenowe w ilości prawie 20 tys. punktów pomiarowych wykonano w 1993 r. w niespełna 6 miesięcy. Oprócz cezu była mierzona również dawka całkowita promieniowania gamma oraz stężenia uranu, toru i potasu. W ten sposób Polska uzyskała jedną z najlepszych map rozkładu poczarobylskiego cezu w Europie. Kolejnym etapem były prace detalizacyjne na obszarach anomalnych. Wyniki prac były publikowane nie tylko w formie artykułów naukowych (Strzelecki i in., 1993, 1994a, 1995; Strzelecki i in., 1994b; Lis i in., 1997), ale także szeroko komentowane w prasie. Strzelecki i Wołkiewicz (1993) w artykule *Radon – zagrożenie większe niż „Czarnobyl”* jako pierwsi podnieśli w polskiej literaturze problem radonu w środowisku człowieka. Problematyka ta była kontynuowana przez następne lata. Prowadzone wspólnie z Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR) badania objęły obszar Dolnego i Górnego Śląska, a pomiary wykonywano zarówno w powietrzu glebowym, jak i w budynkach. Sudety, jako jednostka o stwierdzonych najwyższych stężeniach radonu w powietrzu glebowym, doczekały się dość szczegółowego zbadania i została opracowana mapa potencjału radonowego (Wołkiewicz, 2007). Pomiary były również prowadzone na innych obszarach, np. na Suwalszczyźnie, ale na znacznie mniejszą skalę (Karpińska i in., 2002, 2003).

Musiało minąć prawie 20 lat, by 13 stycznia 2009 r. Rada Ministrów podjęła uchwałę o rozpoczęciu prac nad nowym *Programem Polskiej Energetyki Jądrowej*. W latach 2009–2013 PIG uczestniczył w realizacji projektu, którego liderem był Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, *Analiza możliwości pozyskiwania uranu dla energetyki jądrowej z zasobów krajowych*, który współfinansowano ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka 2007–2013. Z kolei w latach 2011–2013 pod kierunkiem pracowników Wydziału Biologii Uniwersytetu Warszawskiego realizowano strategiczny projekt badawczy *Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej*, w ramach którego PIG uczestniczył w zadaniu *Podstawy zabezpieczenia potrzeb paliwowych polskiej energetyki jądrowej*.





**Ryc. 3.** Wybrane obszary poszukiwań i badań uranu w Polsce  
**Fig. 3.** Selected areas of uranium research in Poland

Wyniki wszystkich tych prac jedynie potwierdziły to, co było wiadomo o wystąpieniach uranu w Polsce przed rokiem 1989. Regionalny zasięg wykonanych prac był ogromny (ryc. 2), a szczegółowość prac wykonanych w Sudetach doprowadziła do odkrycia dużej ilości punktów mineralizacji uranowej (ryc. 3). Syntetyczne oceny wystąpień uranu w Polsce zostały opublikowane przez Strzeleckiego i Wołkowicza (2011) oraz Miecznika i in. (2011). Analiza możliwych źródeł zaopatrzenia potencjalnych elektrowni jądrowych w Polsce została przedstawiona przez Smakowskiego i in. (2013). Zbadano również pouranowe hałdy sudeckie, na których znajduje się nie więcej niż 10–30 t uranu (Wołkowicz i in. 2016). Projekt kopalni dla tzw.

złoża Rajsk, oparty na aktualnych cenach realizacji takiego przedsięwzięcia, wykazał, że tylko sam koszt wydobywania skał wzbogaconych w uran niezbędnych do wyprodukowania 1 kg produktu handlowego jakim jest *yellow cake* to 800 USD (Galica i in., 2016). Aktualna cena tego produktu na rynku światowym nie przekracza 100 USD.

### ROZWÓJ NAUKOWY ZESPOŁU SPECJALISTÓW ZŁOŻ RUD URANU

Poszukiwania złóż rud uranu w Polsce były prowadzone przez zespół osób, które z jednej strony wykonywały rozległe prace geologiczne, spędzając wiele miesięcy w

roku w terenie na opróbowaniu geochemicznym, nadzorze prac geofizycznych i wiertniczych, opisywaniu kilometrów rdzeni wiertniczych, pomiarach radiometrycznych i poborze próbek w kopalniach węgla kamiennego czy miedzi. Z drugiej strony, pracownicy ci dużo publikowali, pomimo że przygotowane dokumentacje geologiczne miały często sygnaturę „tajne” lub „poufne”. Rozwój naukowy był jednym z najważniejszych elementów pracy. Dobre opracowanie uzyskanych wyników badań było możliwe tylko dzięki właściwie opanowanemu warsztatowi naukowemu. Wzespół panowała przyjazna atmosfera i wzajemne wspieranie się, które nie ograniczało się tylko do sfery służbowej. Liczne uczestnictwo w stażach zawodowych we Francji czy liczne wyjazdy na kontrakty zagraniczne, zwłaszcza w latach 70. ub.w., dużej grupy dobrze znających się kolegów były efektem nie tylko chęci pomagania sobie, ale i pewności kompetencji wszystkich tych osób. Niewątpliwie ważnym czynnikiem wpływającym zwłaszcza na kontrakty zagraniczne był czynnik ekonomiczny: dobry kontrakt w państwach afrykańskich oznaczał możliwość finansowej stabilizacji na wiele lat. A prawie wszyscy pochodzili z tzw. głębokiej prowincji i sami musieli dojść praktycznie do wszystkiego. Warszawiacy, którzy mogli liczyć na jakieś wsparcie rodziny, stanowili margines tego zespołu. Być może to stanowiło o sile zespołu i sprawiło, że nieomal wszyscy jego członkowie uzyskali stopień doktora. Pierwsze doktoraty powstawały pod kierunkiem doświadczonych profesorów: A. Morawieckiego, A. Polańskiego i S. Jaskólskiego. Potem promotorami byli M. Sałdan czy S. Przeniosło. Recenzentami byli zazwyczaj również specjaliści z najwyższej półki, co ilustruje tabela 1.

## KONKLUZJE

Poszukiwania rud uranu w Polsce nie doprowadziły do udokumentowania ich złóż, ale obszar naszego kraju został bardzo dobrze rozpoznany w tym względzie w czasie ostatnich 60 lat. Biorąc pod uwagę specyfikę tego pierwiastka, z całą pewnością można stwierdzić, że nie ma możliwości znalezienia takich koncentracji, które w obecnych warunkach ekonomicznych i geopolitycznych nadawałyby się do uzasadnionej ekonomicznie eksploatacji. Nie stoi to jednak w żadnej sprzeczności z możliwością i potrzebą rozwoju energetyki jądrowej w Polsce. Wobec konieczności ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, przy jednoczesnym wzroście gospodarczym, niezbędne jest pozyskiwanie energii ze źródeł przyjaznych dla środowiska, a takim źródłem jest energetyka jądrowa.

## LITERATURA

BAREJA E. 1984 – Minerale uranu w utworach triasu syneklizy perybałtyckiej. *Kwart. Geol.*, 28 (2): 353–366.  
 BAREJA E. 1983 – Wyniki badań geologiczno-poszukiwawczych złóż rud uranu w utworach triasu syneklizy perybałtyckiej, woj. elbląskie. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, nr arch. 3129/146.  
 BAREJA E., MIECZNIK J.B., SAŁDAN M., STRZELECKI R. 1977 – Projekt robót geologiczno-poszukiwawczych złóż rud uranu w utworach górnokarbońskich rejonu Głuszycy–Nowa Ruda (niecka śródsudecka). *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, nr inw. 1946, kat. 4623/866.  
 BAREJA E., SAŁDAN M., STRZELECKI R. 1975 – Ocena możliwości wykorzystania łupków menilitowych z rejonu Bezmiechowej i Monasterca jako surowca uranowego. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, nr inw. 44663, kat. 5035/113.  
 BAREJA E., WOŁKOWICZ S. 1984 – Projekt badań geologiczno-poszukiwawczych złóż rud uranu w łupkach walchiowych w depresji śróds-

udeckiej, rejon Wambierzyce, woj. wałbrzyskie wraz z aneksem nr 1. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, nr inw. 14811.  
 BAREJA J.W. 2007 – Jak to było z uranem w Polsce? Księga Pamiątkowa Absolwentów Wydziału Geologii 1952–2007. Stow. Absolwentów Geologii UW.  
 BARTHEL F.H. 1993 – Die Urangewinnung auf dem Gebiet der ehamaligen DDR von 1945 bis 1990. *Geol. Jb. A*, 142: 335–346.  
 BOJARSKI R., ZAMOJSKI J. 1960 – Dokumentacja geologiczna złoża rudy uranowej w Grzmiącej pow. Wałbrzych, woj. wrocławskie. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, nr inw. Dok/tj/BIV/6 CUG.  
 BORUCKI J. 1962 – Uran w fosforytach polskich. *Prace Inst. Geol.*, 30 (3): 239–285.  
 BORUCKI J., GŁOWACKI Z., MASŁOWSKI W., SAŁDAN M., UBERNA J., ZAJĄCZKOWSKI W. 1967 – Ocena perspektyw poszukiwawczych złóż rud uranu w Polsce. *Pr. Inst. Geol.*, Warszawa.  
 BUREK J., KRAWCZYK W. 1958 – Stan rozpoznania i wykorzystania bazy surowcowej i wnioski o perspektywach jej poszerzenia w zakresie rud uranu w latach 1961–1975. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, kat. Kowary/70 Arch.  
 CIESZYKOWSKA I., FORMALSKI K., GAJDA D., GAJDA P., JANCZYCZYŃ J., LATEK S., MIKOŁAJCZAK R., RABIŃSKI M., RZYMKOWSKI K., SOBIESZCZAK-MARCINIAK M., STRZELECKI R., SZREDER T., WOŁKOWICZ S. 2017 – Polska Atomistyka. *Polish Nuclear Science*. Wyd. Instytutu Zrównoważonej Energetyki. Kraków.  
 DEPCIUCH T. 1964 – Geochemia złoża uranowego w Grzmiącej. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, nr inw. 18398, kat. 4623/691.  
 DEPCIUCH T. 1968 – Geochemia i geneza koncentracji uranu w górnokarbońskich osadach klastycznych niecki śródsudeckiej. *Biul. Inst. Geol.*, 214: 75–180.  
 GALICA D., DUNST N., WOŁKOWICZ S. 2016 – Wykorzystanie cyfrowego modelu złoża i harmonogramu produkcji do stworzenia koncepcji zagospodarowania złoża uranu „Rajsk”. *Wiadomości górnicze*; 2: 94–99.  
 JAWOROWSKI K. 1986 – Source of uranium in the Elbląg Formation, (Upper Buntsandstein): sedimentological approach. *Prz. Geol.*, 34 (4): 184–188.  
 JELIŃSKI A. 1962 – Geochemia uranu i jego rozmieszczenie w granitoidach. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, nr inw. 15298, kat. R/823.  
 JELIŃSKI A. 1965 – Geochemia uranu w granitowym masywie Karkonoszy z uwzględnieniem innych masywów granitoidowych Dolnego Śląska. *Biul. Inst. Geol.*, 193: 6–110.  
 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. T. I–III. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*.  
 KANASIEWICZ J., UBERNA J. 1961 – Nowe przejawy mineralizacji uranowej na tle budowy niecki leszczyńskiekiej. *Prz. Geol.*, 9 (8): 433–434.  
 KANASIEWICZ J., SAŁDAN M., UBERNA J. 1965 – Uranonośność pstręgo piaszczowca okolic Pasłęka. *Biul. Inst. Geol.*, 193: 171–205.  
 KARPIŃSKA M., WOŁKOWICZ S., MNICH Z., ZALEWSKI M., MAMONT-CIEŚLA K., KAPAŁA J., ANTONOWICZ K., KACZMAREK M. 2002 – Stężenie radonu na wybranych obszarach Suwalszczyzny. *Prz. Geol.*, 50 (6): 521–525.  
 KARPIŃSKA M., WOŁKOWICZ S., MAMONT-CIEŚLA K., MNICH Z., KAPAŁA J. 2003 – Comparison of radon hazard to inhabitants of the Augustów Plane sandr and inhabitants of the Suwałki region of fluvioglacial sands and gravels. *Nukleonika*, 48 (4): 197–200.  
 KITA-BADAK M., BADAK J., SAŁDAN M. 1965 – Charakterystyka łupków uranonośnych serii menilitowej w Karpatach Środkowych. *Kwart. Geol.*, 9 (1): 137–156.  
 KLEMENTOWSKI R. 2010 – W cieniu sudeckiego uranu. IPN Wrocław.  
 LIS J. 1962 – Metodyczne badania nad związkiem uranu z niektórymi pierwiastkami rzadkimi w skałach masywu granitowego Karkonoszy (sprawozdanie przejściowe). *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, nr inw. 14739, kat. 4521/240.  
 LIS J. 1970 – Geochemia niektórych pierwiastków w granitoidowym masywie Karkonoszy. *Biul. Inst. Geol.*, 224: 5–102.  
 LIS J., PRZENIOSŁO S. 1981 – Projekt badań geologiczno-poszukiwawczych złóż rud uranu w masywie Karkonoszy. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, nr inw. 13415a  
 LIS J., PRZENIOSŁO S. 1987 – Badania geologiczno-poszukiwawcze złóż rud uranu w masywie Karkonoszy. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, nr arch. 72/83.  
 LIS J., PASIECZNA A., STRZELECKI R., WOŁKOWICZ S., LEWANDOWSKI P. 1997 – Geochemical and radioactivity mapping in Poland. *J. Geoch. Explor.*, 60: 39–53.

- LIS J., SYLWESTRZAK H. 1979 – Episyjenity i perspektywy występowania śródrogranicznych złóż uranu w masywie Karkonoszy. *Prz. Geol.* 27: 223–228.
- MIECZNIK J.B. 1983 – Wyniki badań geologiczno-poszukiwawczych mineralizacji uranowej w utworach górnokarbońskich rejonu Głuszyca - Nowa Ruda (depresja śródsudecka) woj., wałbrzyskie. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB.*
- MIECZNIK J.B. 1989a – O mineralizacji uranowej w permo-karbonie depresji śródsudeckiej. *Prz. Geol.*, 37 (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., STRZELECKI R. 1979 – Możliwości występowania mineralizacji uranowej w niektórych formacjach osadowych Sudetów. *Prz. Geol.*, 27 (6): 314–318.
- MIECZNIK J.B., STRZELECKI R., WOŁKOWICZ S. 2011 – Uran w Polsce – historia poszukiwań i perspektywy odkrycia złóż. *Prz. Geol.*, 59 (10): 688–697.
- MORAWIECKI A. 1958 – Stan krajowej bazy surowcowej pierwiastków promieniotwórczych, zwłaszcza uranu i perspektywy jej rozwoju. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, nr inw. 504/59, kat. ObO/721.
- PENDIAS H. 1969 – Laboratoria i aparatura badawcza. *Biul. Jubileuszowy IG*, 250: 57–71.
- PODSTOLSKI R. 1961 – Aureola geochemiczna uranu złoża „Wolność”. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, nr inw. 710, kat. 4522/390.
- PRZENIOSŁO S. 1970 – Geochemia uranu w aluwjach wschodniej części obszaru metamorfiku Łądką i Śnieżnika Kłodzkiego. *Biul. Inst. Geol.*, 224: 205–298.
- PRZENIOSŁO S., SYLWESTRZAK H. 1969 – Wyniki poszukiwań złóż rud uranu w rejonie Śnieżnika Kłodzkiego. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, nr inw. 41075, kat. 4824/19.
- SAŁDAN M. 1961 – Metalogeneza i możliwości poszukiwawcze uranu w Zagłębiu Górnośląskim (wyniki wstępne, sprawozdanie za okres V–XII, 1960). *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, nr inw. 756, kat. GS/154.
- SAŁDAN M. 1962 – Perspektywy występowania uranu w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, nr inw. 907, kat. GS/219.
- 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. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, nr arch. 3736/44.
- SAŁDAN M. 1970 – Projekt robót geologiczno-poszukiwawczych złóż rud uranu w łupkach dolnego ordowiku w rejonie Bielska Podlaskiego (północna część obniżenia podlaskiego). *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, Warszawa.
- SAŁDAN M. 1970 – Mineralizacja uranowa w utworach pstrego piaskowca środkowego na monoklinie przedsudeckiej na tle ich wykształcenia litologicznego. *Pr. dokt., Nar. Arch. Geol., PIG-PIB.*
- SAŁDAN M., BAREJA E., STRZELECKI R. 1976 – Dokumentacja geologiczna złoża rud uranu „Rajsk”. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, nr arch. 3736/114.
- SAŁDAN M., BAREJA E., LIS B., MIECZNIK J.B., STRZELECKI R. 1977 – Wyniki poszukiwań geologicznych złóż rud uranu w łupkach dycyonemowych na obszarze północno-wschodniej części obniżenia podlaskiego. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, nr arch. 3736/109.
- SAŁDAN M., STRZELECKI R. 1975 – Projekt robót geologiczno-poszukiwawczych złóż rud uranu w piaskowcu pstrym w rejonie Pastęka-Braniewa-Krynicy Morskiej. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, Warszawa.
- SAŁDAN M., STRZELECKI R. 1980 – Uranium in the Bunter Sediments in the Polish Area. *Biul. Inst. Geol.*, 328: 95–103.
- SMAKOWSKI T., WOŁKOWICZ S., MIECZNIK J.B. 2013 – Możliwe źródła zaopatrzenia w paliwo potencjalnych elektrowni jądrowych w Polsce. *Zesz. Nauk. IGSMiE PAN*, 85: 295–307.
- STRZELECKI R. 1980 – Wyniki badań mineralizacji uranowej w triasie syneklizy perybałtyckiej. *Kwart. Geol.*, 24 (4): 933–934.
- STRZELECKI R. 1985 – O sedymentacji górnego pstrego piaskowca w syneklizie perybałtyckiej. *Prz. Geol.*, 33 (4): 217–220.
- STRZELECKI R. 1988 – Mineralizacja uranowa utworów środkowego pstrego piaskowca na obszarze syneklizy perybałtyckiej. *Pr. dokt., Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, Warszawa.
- STRZELECKI R., WOŁKOWICZ S. 1993 – Radon – zagrożenie większe niż „Czarnobyl”. *Prz. Geol.*, 41 (3): 151–155.
- STRZELECKI R., WOŁKOWICZ S., SZEWCZYK J., LEWANDOWSKI P. 1993 – Mapy radioekologiczne Polski Część I: Mapa mocy dawki promieniowania gamma w Polsce; Mapa stężeń cezu w Polsce. Skala 1 : 750 000. *Wyd. Państw. Inst. Geol.*
- STRZELECKI R., WOŁKOWICZ S., SZEWCZYK J., LEWANDOWSKI P. 1994 – Mapy radioekologiczne Polski Część II: Mapy koncentracji uranu, toru i potasu w Polsce. *Wyd. Państw. Inst. Geol.*
- STRZELECKI R., WOŁKOWICZ S., LEWANDOWSKI P. 1994 – Koncentracje cezu w Polsce. *Prz. Geol.*, 42 (1): 3–8.
- STRZELECKI R., WOŁKOWICZ S., SZEWCZYK J., LEWANDOWSKI P. 1995 – Use of gamma-ray spectrometric survey for radioecological mapping in Poland. [W:] *Application of uranium exploration data and techniques in environmental studies. Proc. of Tech. Comm. IAEA. Vienna.*
- STRZELECKI R., SYLWESTRZAK H., WOŁKOWICZ S. 1995 – Poszukiwanie i wydobycie uranu na ziemiach polskich. *Pr. Spec. Pol. Tow. Mineral.*, 7: 140–143.
- 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. Państw. Inst. Geol., Warszawa: 71–75.*
- SYLWESTRZAK H. 1963 – Mineralizacja uranowa w granitognejsach w rejonie Jeziora Złotnickiego. *Sprawozdanie przejściowe p.p.3a. Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, nr inw. 924, kat. 4421/65.
- SYLWESTRZAK H. 1967 – Geochemia uranu w młodopaleozoicznych wulkanitach Dolnego Śląska na tle ogólnego zróżnicowania geochemicznego tych skał. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, nr inw. 37438, kat. 72/56.
- SYLWESTRZAK H. 1965 – Rozmieszczenie uranu w porfirach Gór Kaczawskich i Niecki Śródsudeckiej. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, nr inw. 19474, kat. 4421/399.
- Sylwestrzak H. 1972 – Geochemia uranu w młodopaleozoicznych wulkanitach Dolnego Śląska na tle ogólnego zróżnicowania geochemicznego tych skał. *Biul. Inst. Geol.*, 259: 5–92.
- SZEWCZYK J., WYBRANIEC S., STRZELECKI R. 1982 – Projekt badań geofizycznych dla poszukiwań złóż uranu w łupkach walchowych w depresji śródsudeckiej, rejon Wambierzyce. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, nr inw. 13760.
- UBERNA J. 1962 – Poszukiwania złóż i przejawów mineralizacji uranowej w Górach Świętokrzyskich. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, nr inw. 854, kat. 4531/602.
- UBERNA J. 1964 – Uranometryczne zdjęcie glebowe wybranych stref tektonicznych w Górach Świętokrzyskich. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, nr inw. 17612, kat. 4531/638.
- UBERNA J. 1970 – Występowanie uranu w Górach Świętokrzyskich. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, nr arch. 4531/865.
- UCHWAŁA nr 204 Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 1990 r. w sprawie postawienia inwestycji Elektrownia Jądrowa „Zarnowiec” w budowie i stan likwidacji. *M.P.* 1990 nr 49 poz. 373.
- WEBSKY M. 1853 – Ueber die geognostischen Verhältnisse der Erzlagertstätten von Kupferberg und Rudelstadt in Schlesien. *Zeitschr. Deutschen Geol. Ges.*, 373–438.
- WOŁKOWICZ S. 1988 – Wyniki badań geologiczno-poszukiwawczych złóż rud uranu w łupkach walchowych w depresji śródsudeckiej, rejon Wambierzyce, woj. wałbrzyskie. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, Warszawa.
- WOŁKOWICZ S. 1990 – Uranium enrichment in the Permian organic-rich Walchia shale, Intra-Sudetic Depression, southwestern Poland. *Spec. Publs. Int. Ass. Sediment.*, 11: 217–224.
- WOŁKOWICZ S. 1992 – Geneza mineralizacji uranowej w dolnopermskich łupkach walchowych (depresja śródsudecka) na tle wykształcenia litofacjalnego. *Prz. Geol.*, 40 (4): 212–216.
- WOŁKOWICZ S., 2007 – Potencjał radonowy Sudetów i wybranych jednostek bloku przedsudeckiego. [W:] *Wołkowicz S. (red.), Potencjał radonowy Sudetów wraz z wyznaczeniem obszarów występowania potencjalnie leczniczych wód radoczynnych. Wyd. Państw. Inst. Geol., Warszawa: 5–106.*
- WOŁKOWICZ S., STRZELECKI R. 1993 – Prawda i mity o złożach uranu w Polsce. III Konferencja „Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi”. *PAN, Zakopane, 17–19 XI 1993.*
- WOŁKOWICZ S., MIECZNIK J.B., BOBIŃSKI W. 2016 – Hałdy po poszukiwaniu i eksploatacji uranu w Sudetach. III Polski Kongres Geologiczny. 14–18 września 2016, Wrocław.
- ZAJĄCZKOWSKI W., JĘCZYK M., PODSTOLSKI R., SYLWESTRZAK H. 1963 – Szczegółowe rozpoznanie anomalii uranometrycznych w Górach Izerskich, Rejon Jeziora Złotnickiego k/Gryfowa Śląskiego. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, nr inw. 17005, kat. 4420/117.
- ZAJĄCZKOWSKI W. 1968 – Poszukiwania złóż uranu metodami geochemicznymi na wybranych obszarach Sudetów. *Biul. IG*, 214: 5–66.