

Uran – źródło energii

Adam Maksymowicz¹



W przyrodzie uran nie istnieje jako wolny pierwiastek. Jego najbardziej rozpowszechnionym minerałem jest uraninit (UO_2), nazywany też blendą uranową, która jest silnie promieniotwórcza. W zależności od stopnia utlenienia uraninitu i stosunku $UO_2 : UO_3$ wyróżnia się cztery rodzaje uraninitu i jego odmiany naciekowej, którą określa się nazwą nasturan,

smółka uranowa lub smółka smolista (Bolewski, 1982). Smółka uranowa jest najbardziej znaną rudą uranu, zawierającą 95% tlenku uranu i występującą czasami w postaci wielotonowych bloków. Większość pozostałych rud zawiera znacznie mniej uranu. Wydobycie staje się opłacalne, gdy tona rudy zawiera co najmniej kilka kg uranu. Eksploatacja rudy uranowej jest prowadzona tradycyjnymi metodami odkrywcowymi i podziemnymi, w zależności od głębokości zalegania i rodzaju złoża. Ruda wydobyta w kopalniach lub odkrywkach zostaje poddana dalszej obróbce. Kolejnym etapem jest jej przerób polegający na uzyskaniu koncentratu w postaci tlenków uranu o zawartości ponad 75% U_3O_8 . Zmielona ruda jest trawiona kwasem siarkowym (metoda kwaśna) bądź węglanami (metoda alkaliczna). Uzyskany koncentrat uranowy poddaje się następnie kilku reakcjom chemicznym, otrzymując ostatecznie dwutlenek uranu UO_2 . W związku tym występuje uran naturalny, tzn. o zawartości 0,714% izotopu ^{235}U . Takie paliwo może być stosowane w reaktorach jądrowych (Portal Nuclear.pl).

GEOLOGIA ZŁÓŻ RUD URANU

Poszczególne złoża rud uranu występują na ogół w całym odmiennych warunkach geologicznych. Są one związane zarówno ze skałami osadowymi, jak i ze strefami tektonicznymi i towarzyszącymi im brekcjami oraz pegmatytami. Przyjęta klasyfikacja wyróżnia 15 typów złóż uranu i jest oparta na ich zróżnicowanych formach wystąpień. Są to złoża związane z intruzjami granitowymi, polimetalicznymi brekcjami, zjawiskami magmowymi i wulkanicznymi, procesami metasomatycznymi i metamorficznymi. Występują one w proterozoicznych strefach tektonicznych oraz w towarzyszących im piaskowcach i konglomeratach kwarcytowych w wapieniach i dolomitach często związane ze strefami uskokowymi w tych skałach. Minerale uranu występują również w kenozoicznych piaskach i glinach ze spoiwem węglanowo-wapienno-magnezowym, w węglu brunatnym i towarzyszącymi mu wystąpieniami pirytu. Na ogół niska ilość uranu występuje w fosforytach i czarnych łupkach zawierających promieniotwórczy materiał organiczny (Word Nuclear..., 2020; International Atomic..., 2013).

ZASOBY ZŁÓŻ RUD URANU I ICH EKSPLOATACJA

Zróżnicowanie warunków geologicznych złóż rud uranu pozwala na zaprezentowanie tylko ich charakterystycznych wystąpień. Najważniejszą rolę gospodarczą odgrywają złoża rud uranu związane z piaskowcami. Stanowią one ok. 28% światowych udokumentowanych zasobów uranu i ok. 40% zasobów wnioskowanych. Tego rodzaju złoża mają duże znaczenie gospodarcze w Kazachstanie, Uzbekistanie, USA i Nigerze. Zawartość uranu waha się w nich od niskiego do średniego stopnia (0,05–0,35% U). Zasoby poszczególnych złóż są małe lub średniej wielkości do maksymalnie 50 tys. t U. Z reguły są one eksploatowane metodami ługowania *in situ* (*In-situ leaching* – ISL). Olympic Dam jest największym na świecie złożem uranu i stanowi większość zasobów tego minerału w Australii. Jest on odzyskiwany tylko jako produkt uboczny podczas wydobywania rud miedzi. Kopalnia eksploatuje bogaty w hematyt granitowy kompleks brekcji w Gawler Craton. Jest on przykryty ok. 300-metrowymi poziomo zalegającymi skałami osadowymi w prowincji geologicznej Stuart Shelf. W złożu tym występuje żelazo, miedź, uran, złoto, srebro, pierwiastki ziem rzadkich (głównie lantan i cer) oraz fluor. Odzyskuje się tylko miedź, uran, złoto i srebro. Średnie zawartości uranu wynoszą od 0,07 do 0,035% U (Reid, 2019). Syntetyczny pogląd na złoża uranu na świecie przedstawiono w tabeli 1 i 2.

Z prezentowanych tabel wynika, że trzy kraje dominują zarówno w ilości posiadanych zasobów, jak i skali ich wydobywania. Są to: Kazachstan, Kanada i Australia. Kraje te zdominowały rynek uranu, powodując, że eksploatacja uboższych rud w innych krajach nie jest opłacalna. Jak wynika z tabeli 2 (rubryka % światowego zapotrzebowania) wraz z rozpoczęciem w 2018 r. wojny handlowej USA z Chinami następuje stopniowy deficyt w zaopatrzeniu rynku w uran, przy zbliżonym poziomie jego wydobywania.

USA – LIDER W ENERGETYCE JĄDROWEJ

Stany Zjednoczone mają najwięcej elektrowni jądrowych. Odpowiadają one za ponad 30% produkcji tego rodzaju energii na świecie. Czynnymi jest 96 reaktorów, które wytwarzają 20% energii elektrycznej w USA. Elektrownie jądrowe zużywają 25 tys. t uranu rocznie, czyli na jedną z nich przypada średnie zużycie ok. 260 t uranu. Od 2007 r. złożono 16 wniosków na budowę 24 nowych elektrowni jądrowych. Aktualnie dopiero rozpoczęto realizację tych projektów. Kolejne dwie elektrownie mają być oddane do użytku po 2021 r. USA i ich sojusznicy dysponują dużymi złożami uranu wystarczającymi na setki lat dla ich własnych elektrowni jądrowych. Utrzymująca się dłuższy

¹ Gazeta Obywatelska, ul. Barlickiego 28, 50-324 Wrocław; adam.maksymowicz@op.pl

czas cena 25 USD za funt uranu powodowała, że jego wydobycie w USA było nieopłacalne. Podczas kryzysu spowodowanego pandemią generalnie wszystkie surowce, z wyjątkiem złota i srebra, traciły na wartości. Uran jednak

przebił oba te metale szlachetne, gdyż nastąpił 40% wzrost jego ceny z 25 do 35 USD. Spowodowało to, że w wielu krajach jego wydobycie stało się zyskowne, a nowe elektrownie jądrowe są w trakcie projektowania i budowy (Conta, 2020).

Tab. 1. Zasoby uranu według krajów w 2017 r. (OECD-NEA / IAEA, World Nuclear Association)

	Tony U	Procent świata
Australia	1 818 300	30%
Kazachstan	842 200	14%
Kanada	514 400	8%
Rosja	485 600	8%
Namibia	442 100	7%
Afryka Południowa	322 400	5%
Chiny	290 400	5%
Niger	280 000	5%
Brazylia	276 800	5%
Uzbekistan	139 200	2%
Ukraina	114 100	2%
Mongolia	113 500	2%
Botswana	73 500	1%
Tanzania	58 200	1%
USA	47 200	1%
Jorgia	43 500	1%
Inny	280 600	4%
Suma na świecie	6 142 600	

FRANCUSKA ENERGETYKA JĄDROWA

Po Stanach Zjednoczonych Francja jest drugim krajem na świecie, który posiada najwięcej elektrowni jądrowych. Jest ich aktualnie 58 i wytwarzają one 72% krajowej energii elektrycznej. Całkowita produkcja energii elektrycznej w 2017 r. wyniosła 562 TWh, z czego energetyka jądrowa wytworzyła 398 TWh. Francja zużywa ok. 12 400 t koncentratu tlenku uranu (10 500 t U) rocznie do produkcji energii elektrycznej. Import uranu pochodzi głównie z Kanady (4500 t U / rok) i Nigru (3200 t U / rok) oraz z Australii, Kazachstanu i Rosji. Dekretem prezydenckim w 2008 r. została powołana Rada ds. Polityki Nuklearnej (*Conseil Politique Nucléaire – CPN*). Przewodniczy jej prezydent i składa się ona z premiera oraz sekretarzy gabinetu ds. energetyki, spraw zagranicznych, gospodarki, przemysłu, handlu zagranicznego, badań naukowych i finansów. Do rady należy też szef Komisji Energii Atomowej (CEA), sekretarz generalny obrony narodowej i szef sztabu wojskowego. Ceny detaliczne energii elektrycznej we Francji są poniżej 90% średniej ceny energii w UE. Jest ona też największym na świecie eksporterem energii elektrycznej, ze względu na bardzo niski koszt jej wytwarzania i zarabia na tym ponad 3 mld euro rocznie (Nuclear Power..., 2020).

Tab. 2. Wydobycie uranu na świecie [t] (OECD-NEA / IAEA, World Nuclear Association)

Kraj	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Kazachstan	17 803	19 451	21 317	22 451	23 127	23 607	24 586	23 321	21 705	22 808
Kanada	9783	9145	8999	9331	9134	13 325	14 039	13 116	7001	6938
Australia	5900	5983	6991	6350	5001	5654	6315	5882	6517	6613
Namibia	4496	3258	4495	4323	3255	2993	3654	4224	5525	5476
Niger	4198	4351	4667	4518	4057	4116	3479	3449	2911	2983
Rosja	3562	2993	2872	3135	2990	3055	3004	2917	2904	2911
Uzbekistan (est.)	2400	2500	2400	2400	2400	2385	2404	2404	2404	2404
Chiny (szac.)	827	885	1500	1500	1500	1616	1616	1885	1885	1885
Ukraina	850	890	960	922	926	1200	1005	550	1180	801
USA	1660	1537	1596	1792	1919	1256	1125	940	582	67
Indie (szac.)	400	400	385	385	385	385	385	421	423	308
RPA (szac.)	583	582	465	531	573	393	490	308	346	346
Iran (est.)	0	0	0	0	0	38	0	40	71	71
Pakistan (est.)	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Republika Czeska	254	229	228	215	193	155	138	0	0	0
Rumunia	77	77	90	77	77	77	50	0	0	0
Brazylia	148	265	326	192	55	40	44	0	0	0
Francja	7	6	3	5	3	2	0	0	0	0
Niemcy	8	51	50	27	33	0	0	0	0	0
Malawi	670	846	1101	1132	369	0	0	0	0	0
Świat totalny	53 671	53 493	58 493	59 331	56 041	60 304	62 379	59 462	53 498	53 656
U ₃ O ₈ [t]	63 291	63 082	68 974	69 966	66 087	71 113	73 560	70 120	63 087	63 273
% światowego zapotrzebowania	84%	87%	94%	91%	85%	98%	96%	93%	80%	79%

Francję spośród wszystkich innych krajów posiadających elektrownie jądrowe wyróżnia zakład recyklingu odpadów z elektrowni atomowych *La Hague* w Normandii. Odzyskuje się tu uran i pluton ze zużytego paliwa w celu ponownego jego wykorzystania, zmniejszając tym samym ilość wysoko aktywnych odpadów. Recykling pozwala odzyskać do 96% materiału nadającego się do ponownego wykorzystania. Zakład ten dostarcza 17% naturalnego uranu dla francuskiej energetyki jądrowej. W ciągu 46 lat swego istnienia *La Hague* przetworzyła ponad 23 tys. t wypalonego paliwa. Odzyskana ilość uranu wystarcza do zasilania francuskich elektrowni jądrowych przez 14 lat. Zakład ten podaje recyklingowi również odpady jądrowe dostarczane z elektrowni na całym świecie (Kricorian, 2019).

RYNEK URANU

Uran jest jedynym metalem energetycznym, który służy jako paliwo do wytwarzania energii elektrycznej w reaktorach jądrowych. Jest ona produkowana przez 440 reaktorów, które pokrywają ok. 10% światowego zapotrzebowania na energię. Na różnych etapach budowy są 53 reaktory. Chiny budują 11 nowych reaktorów, w Rosji planowanych jest ponad 20 reaktorów jądrowych, podobnie Indie – mają 7 reaktorów w budowie. Największe zapotrzebowanie na uran mają właśnie elektrownie. Handel uranem różni się od handlu wszystkimi innymi surowcami mineralnymi. Jego właściwości promieniotwórcze ze względów bezpieczeństwa są ściśle monitorowane, a jego nabywanie jest określone międzynarodowymi przepisami. W przeciwieństwie do innych towarów, takich jak złoto i srebro, uran fizyczny nie jest przedmiotem handlu na otwartych rynkach. Nabywcami są często przedsiębiorstwa użyteczności publicznej, które kupują wzbogacony uran do wykorzystania jako paliwo jądrowe, na podstawie bezpośrednich negocjowanych umów ze sprzedawcami. Kontrakty dotyczące uranu mogą trwać od dwóch do dziesięciu lat i są ustalane po stałej, długoterminowej cenie albo bieżąca cena uranu jest traktowana jako bazowa, z korektami ekonomicznymi, które mają być dokonywane w późniejszych terminach, na podstawie wcześniej zawartych uzgodnień. Podobnie jak w przypadku wielu rynków towarowych na świecie, globalny kryzys COVID-19 ograniczył produkcję uranu. Sytuacja taka zaistniała pod koniec sierpnia 2020 r. w Kazachstanie. Największy producent uranu *Kazatom-prom* ogłosił, że zaczął kupować uran na rynku, po to aby zrealizować zawarte dotychczas kontrakty. Było to jedną z przyczyn aktualnego wzrostu cen tego surowca. Jest ona nadal daleka od powszechnie uznanej za opłacalną w skali globalnej, która została ustalona na 50 USD za funt uranu. Po stronie podaży – bardzo niskie ceny uranu powstrzymały inwestycje związane z poszukiwaniem nowych jego złóż. Na skutek tej sytuacji główni producenci zamykali kopalnie i wstrzymali ich projekty rozwojowe. Przykładem

jest zamknięcie przez firmę *Cameco* kopalni *McArthur River* w Saskatchewan w 2018 r. oraz uranowego giganta w Cigar Lake w Kanadzie (Pistilli, 2020).

POLSKIE ZŁOŻA URANU

Analizy występowania rud uranowych przeprowadzone na terenie kraju wykazały, że są one związane z:

- platformą wschodnioeuropejską (zapadlisko podlaskie – ordowickie łupki dictyonemowe i synekliza perybałtycka – piaskowce dolnotriasowe);
- blokiem dolnośląskim (Sudety – zarówno warwyscyjskie podłoże, jak i powaryscyjska platforma);
- zrębem Gór Świętokrzyskich i dolnego Sanu (Góry Świętokrzyskie – strefy tektoniczne w obrębie cokołu i pokryw);
- strukturą śląsko-morawską (Zagłębie Górnos Śląskie – górnokarbońska seria węglonośna);
- platformą paleozoiczną (monoklina przedsudecka – piaskowce dolnotriasowe);
- Karpatami – oligoceńskie łupki menilitowe.

Za najkorzystniejsze lokalizacje uznaje się złoża Okrzezyn i Grzmiąca w Sudetach, złożo Rajsk w województwie podlaskim oraz perspektywiczny obszar rejonu Bezmiechowej w Karpatach. Potencjalnie największe zasoby mogą się znajdować w złożu Krynica Morska – ok. 440 tys. t rudy uranu, jednak jego lokalizacja wyklucza je z ewentualnej przyszłej eksploatacji. Pozostałe wystąpienia zawierają niskoprocentowe rudy o szacowanych zasobach w skali ok. 1000 t. Pod względem ekonomicznym ich eksploatacja jest nieopłacalna (Solecki i in., 2011).

LITERATURA

- BOLEWSKI A. 1982 – Mineralogia szczegółowa. Wydanie III. Wyd. Geol., Warszawa.
- CONTA J. 2020 – How The Uranium Market Will Evolve For The Post-Pandemic Energy World. *Forbes*, 22.05.2020.
- INTERNATIONAL Atomic Energy Agency (IAEA), maj 2013.
- KRICORIAN S. 2019 – France's Efficiency in the Nuclear Fuel Cycle: What Can 'Oui' Learn? IAEA Department of Nuclear Energy, 4.09.2019.
- NUCLEAR Power in France – World Nuclear Association, październik 2020.
- PISTILLI M. 2020 – What Was the Highest Price for Uranium? *Uranium Investing News*, 23.11.2020.
- PORTAL Nuclear.pl – Wydobywanie i przerób rudy uranu; <https://nuclear.pl/podstawy,cykl1,wydobywanie-i-przerob-rudy-uranu,0,0.html>
- REID A. 2019 – The Olympic Cu-Au Province, Gawler Craton: A Review of the Lithospheric Architecture, Geodynamic Setting, Alteration Systems, Cover Successions and Prospectivity. *MDPI – Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Minerals*, 6: 371.
- SOLECKI A., ŚLIWIŃSKI W., WOJCIECHOWSKA I., TCHORZ-TRZECIAKIEWICZ D., SYRYCZYŃSKI P., SADOWSKA M., MAKOWSKI B. 2011 – Ocena możliwości występowania mineralizacji uranowej w Polsce na podstawie wyników prac geologiczno-poszukiwawczych. Raporty z prac zamawianych przez Ministra Środowiska. *Prz. Geol.*, 59 (2): 98–110.
- WORD Nuclear Association – Geology of Uranium Deposit, maj 2020; <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/geology-of-uranium-deposits.aspx>