



## Material informacyjny

opracowany przez Departament Energii Jądrowej

Ministerstwa Energii

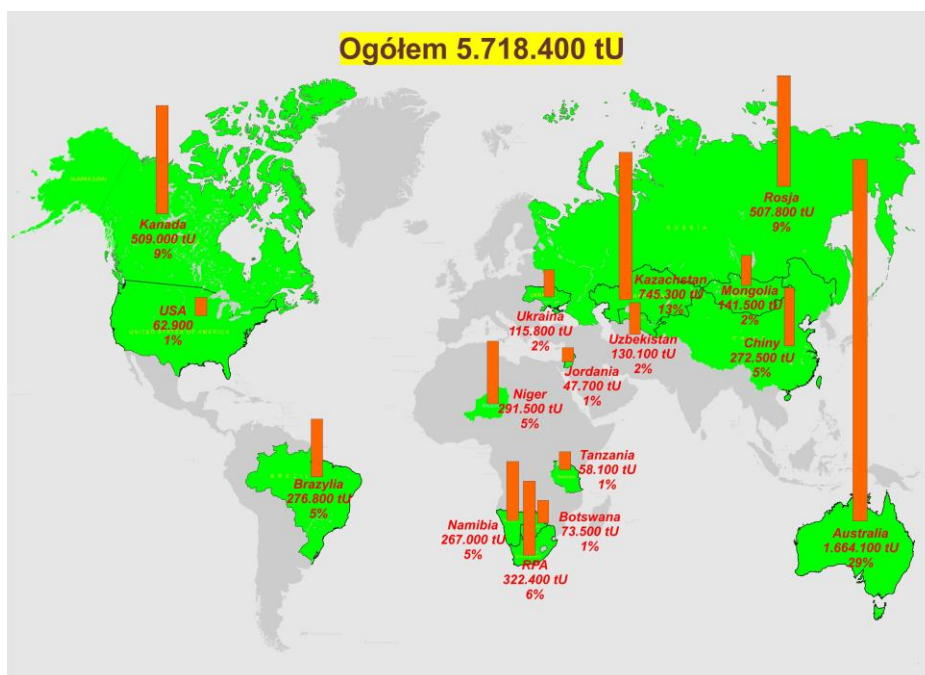
Kwiecień 2017

## URAN – ŹRÓDŁO ENERGII NA SETKI LAT

Trzy państwa (Kazachstan, Kanada i Australia) pokrywają 70% światowego wydobycia uranu. W 2015 r. zaledwie 9 przedsiębiorstw wyprodukowało 89% tego surowca. Przy obecnym rocznym zapotrzebowaniu na uran konwencjonalnych złóż wystarczy na ok. 150-200 lat (z niekonwencjonalnymi na 1000 lat). Dzięki zastosowaniu najnowszych reaktorów generacji III i III+ zapotrzebowanie na uran rośnie wolniej niż produkcja prądu w elektrowniach jądrowych.

W ciągu ostatnich 60 lat uran stał się jednym z najważniejszych surowców energetycznych na świecie. Podobnie jak inne metale, jest on wydobywany z rudy. Prawie w całości jest wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej. Jedynie jego niewielka ilość jest zużywana do wytwarzania izotopów medycznych, a także do napędu jednostek pływających.

Rudy uranu (zasoby konwencjonalne) występują powszechnie w skorupie ziemskiej. 96% światowych zasobów tego surowca rozmieszczonych jest równomiernie na wszystkich kontynentach na terytorium 16 krajów. Największe złoża znajdują się w Australii, Kazachstanie, Kanadzie, Rosji, RPA, Nigrze, Brazylii, Chin i Namibii.



Rys.1. Rozmieszczenie rozpoznanych światowych konwencjonalnych zasobów uranu o koszcie wydobycia poniżej 130 \$/kgU



		Zasoby [tU]	Udział [%]
1.	Australia	1.664.100	29
2.	Kazachstan	745.300	13
3.	Kanada	509.000	9
4.	Rosja	507.800	9
5.	RPA	322.400	6
6.	Niger	291.500	5
7.	Brazylia	276.800	5
8.	Chiny	272.500	5
9.	Namibia	267.000	5
10.	Mongolia	141.500	2
11.	Uzbekistan	130.100	2
12.	Ukraina	115.800	2
13.	Botswana	73.500	1
14.	USA	62.900	1
15.	Tanzania	58.100	1
16.	Jordania	47.700	1
17.	Inne	232.400	4
<b>Razem Świat</b>		<b>5.718.400</b>	

**Tab. 1. Rozmieszczenie rozpoznanych światowych konwencjonalnych zasobów uranu o koszcie wydobycia poniżej 130 \$/kgU**

Zasoby **rozpoznane** (zidentyfikowane) obejmują zasoby racjonalnie pewne (ang. *Reasonably Assured Resources* - RAR) i zasoby przypuszczalne (ang. *Inferred Resources* - IR). Rozpoznane światowe konwencjonalne zasoby uranu (RAR+IR ang. *Known Recoverable Resources*) w wyniku intensywnych prac poszukiwawczych, wzrosły w ciągu ostatniej dekady o 25%. Według danych OECD z 2015 r. wynoszą **5.718.400 tU** przy koszcie wydobycia nie przekraczającym 130 \$/kgU.

Zasoby **nierozpoznane** składają się z zasobów prognozowanych (ang. *Prognosticated Resources* - PR) i spekulatywnych (ang. *Speculative Resources* – SR). Są one szacowane na podstawie wiedzy o strukturach geologicznych, które zwykle zawierają uran. Przewidywane światowe zasoby nierozpoznane (PR+SR ang. *Undiscovered Resources*), w tej samej kategorii cenowej wynoszą **3.910.100 tU**.

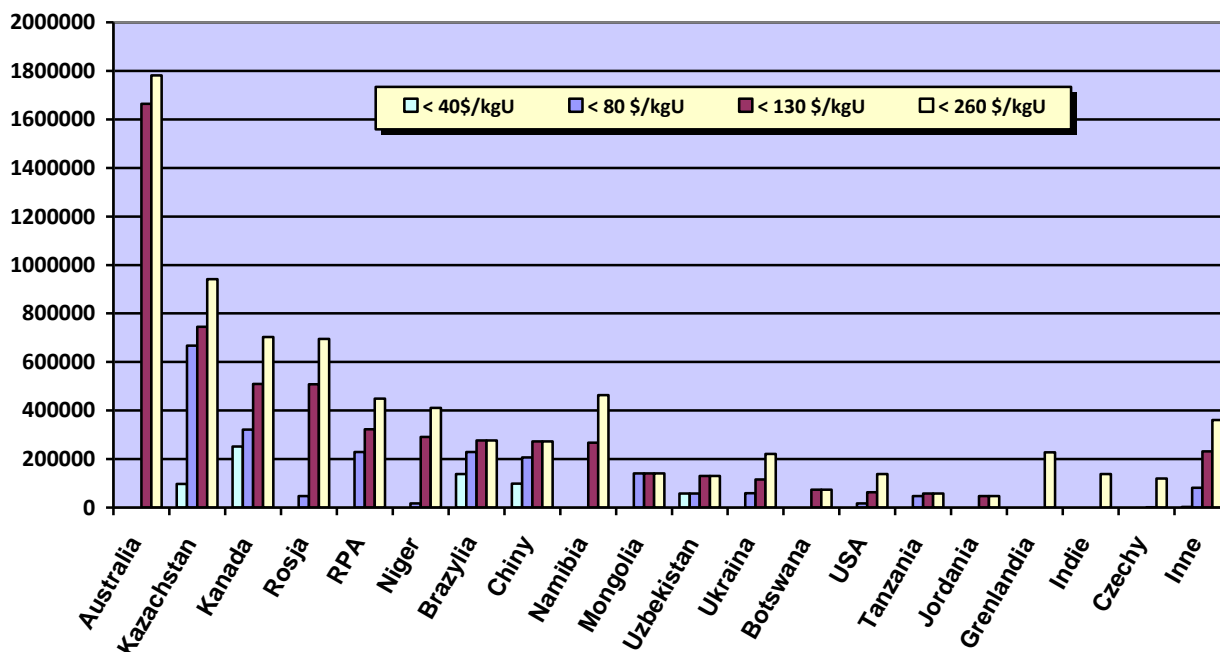
Przy koszcie wydobycia nie przekraczającym 260 \$/kgU odpowiednio zasoby rozpoznane wynoszą 7.641.600 tU, a zasoby nierozpoznane 5.032.100 tU.



Wraz z wyczerpywaniem się zasobów uranu o niższych kosztach wydobycia uwaga producentów uranu będzie skupiać się na zasobach o wyższych kosztach i pojawią się nowi potencjalni dostawcy uranu, tacy jak: Czechy, Indie, Grenlandia i USA. W październiku 2013 r. rząd Grenlandii zniósł 25-letni zakaz eksploatacji rudy uranu, co umożliwiło przeprowadzenie przez firmę *Greenland Minerals and Energy Ltd* (GMEL) studium wykonalności eksploatacji złoża uranu i metali ziem rzadkich Kvanefjeld. Według wstępnych szacunków zawiera ono 228.100 tU i 11,13 mln ton metali ziem rzadkich.

Kategoria zasobów	Koszty wydobycia			
	< 40 \$/kgU	< 80 \$/kgU	< 130 \$/kgU	< 260 \$/kgU
Racjonalnie pewne (RAR)	478.500	1.223.600	3.458.400	4.386.400
Przypuszczalne (IR)	168.400	901.100	2.260.000	3.255.200
<b>Rozpoznane (RAR+IR)</b>	<b>646.900</b>	<b>2.124.700</b>	<b>5.718.400</b>	<b>7.641.600</b>
Prognozowane (PR)	bd	534.400	1.031.600	1.674.600
Spekulatywne (SR)	bd	bd	2.878.700	3.357.500
<b>Nierozpoznane (PR+SR)</b>		<b>534.400</b>	<b>3.910.300</b>	<b>5.032.100</b>
<b>Razem</b>		<b>2.659.100</b>	<b>9.628.700</b>	<b>12.673.700</b>

Tab.2. Światowe konwencjonalne zasoby uranu w tonach

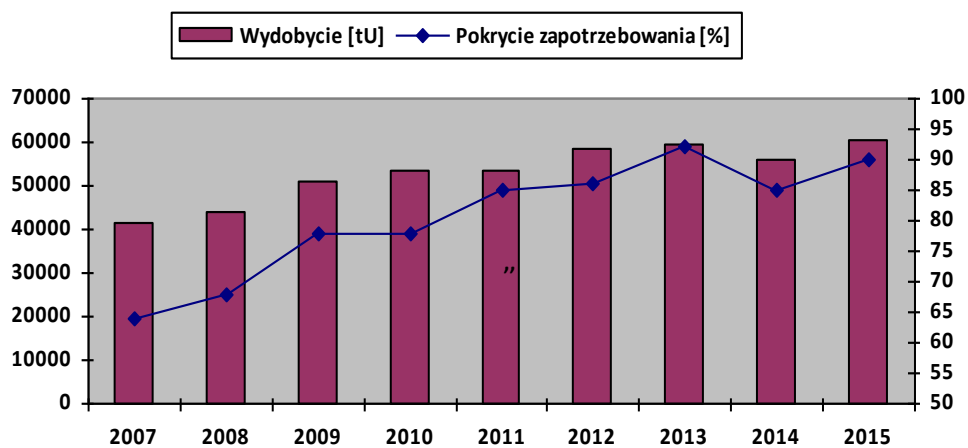


Rys.2. Rozmieszczenie rozpoznanych światowych konwencjonalnych zasobów uranu w zależności od kosztów wydobycia



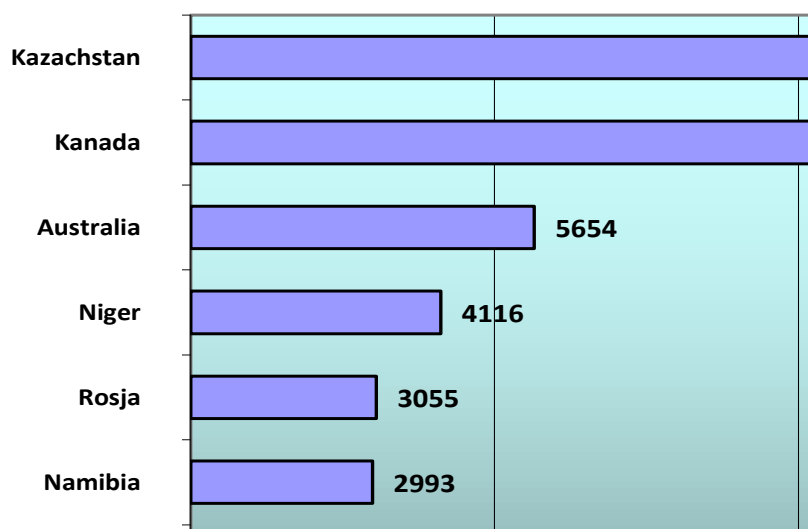
Przy obecnym rocznym zapotrzebowaniu na poziomie ok. **63.000 tU** konwencjonalnych złóż uranu wystarczy na ok. **150-200 lat**. Wykorzystując niekonwencjonalne zasoby uranu takie jak: fosforyty, wodę morską i metale ziem rzadkich okres ten wydłuży się do **1000 i więcej lat**. Dodatkowo planowane wdrożenie w latach 2030-2050 technologii reaktorów prędkich IV Generacji pozwoli na powielanie paliwa uranowego oraz zastosowanie toru w charakterze paliwa jądrowego, którego jest w skorupie ziemskiej cztery razy więcej niż uranu.

Konwencjonalne światowe zasoby uranu zgromadzone są w **regionach stabilnych politycznie**, z tego powodu jest on traktowany przez państwa, które wykorzystują go do celów energetycznych, jako gwarancję bezpieczeństwa i niezależności energetycznej oraz podstawę ich **trwałego i zrównoważonego rozwoju**.



Rys. 3. Światowe wydobycie uranu w latach 2007-2015

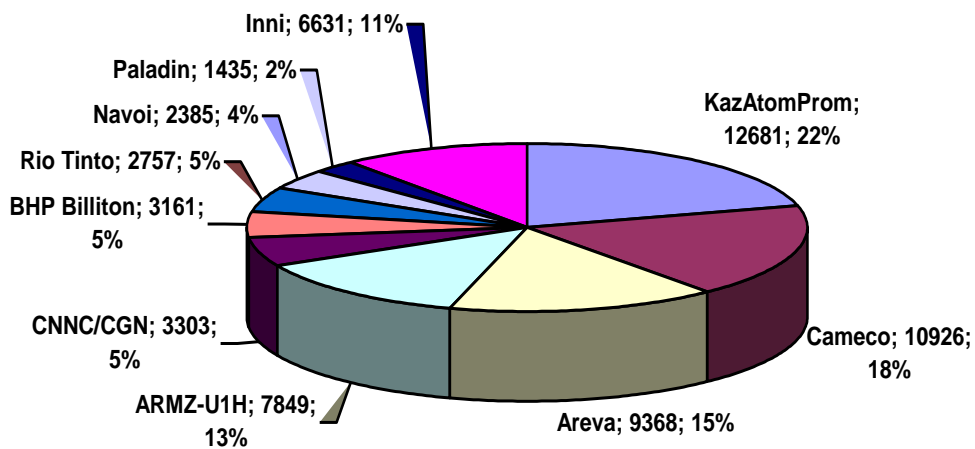
Wydobycie uranu po okresie spadku w latach 90. ubiegłego wieku od 2003 r. stale wzrasta. W 2015 roku wyniosło **60.496 tU** (71.343 tU<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) i zanotowano nieznaczny wzrost wydobycia w porównaniu z rokiem 2014 (56.041 tU (66.089 tU<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)). Zlokalizowane ono było głównie w **Kazachstanie** - 23.800 tU (39%), **Kanadzie** – 13.325 tU (22%) i **Australii** – 5.654 tU (9%). Te trzy państwa pokrywają **70%** światowego wydobycia uranu.



Rys. 4. Wydobywanie uranu na świecie w 2015 r. w tU

Uran jest traktowany przez państwa rozwijające energetykę jądrową jako surowiec strategiczny. Kraje te podejmują działania mające na celu zapewnienie dywersyfikacji dostępu do jego złóż, nie tylko na własnym terytorium, lecz także poza granicami. Zapewniają sobie w ten sposób gwarancje i niezależność dostaw uranu oraz mniejsze koszty jego pozyskiwania. Działania takie podejmowane są przez firmy rosyjskie, chińskie i francuskie. **Od początku lat 90. XX w. obserwuje się konsolidację na światowym rynku producentów uranu. Dokonuje się ona poprzez przejęcia firm, ich łączenie i zamykanie.**

Przemysł wydobywczy uranu charakteryzuje się istnieniem mniejszej ilości dostawców (producentów) niż ma to miejsce w przypadku innych podstawowych metali. **W 2015 r. zaledwie 9 przedsiębiorstw pokryło aż 89% produkcji tego surowca.** Wśród firm wydobywczych pierwsze miejsce od kilku lat utrzymuje firma z Kazachstanu KazAtomProm, która w roku 2015 wyprodukowała 12.681 tU (22%). Kolejne pozycje zajmują kanadyjska Cameco – 10.926 tU (18%) i francuska Areva – 9.368 tU (15%). Rosyjsko-kanadyjska firma ARMZ-Uranium One spadła na czwarte miejsce z wynikiem 7.849 tU (13%), natomiast chińskie firmy CNNC/CGN zajęły miejsce piąte z wynikiem 3.303 tU (5%).



Rys.5. Główni producenci uranu na świecie w 2015 r.

Obecna produkcja z istniejących kopalń oraz przewidywana z nowych projektów nie wystarcza do pokrycia zapotrzebowania na uran dla celów energetycznych (obecnie pokrywa to zapotrzebowanie w 90%). Brakujące ilości uranu dostarczane są na rynek z innych źródeł (tzw. wtórnych), do których należą:

- przerób wypalonego paliwa i produkcja paliwa MOX oraz ERU. MOX (Mixed OXide fuel) to paliwo jądrowe, które zawiera pluton zmieszany z uranem naturalnym lub odzyskanym z przerobu wypalonego paliwa (reprocessed uranium - RepU) albo zubożonym (depleted uranium – DU). MOX stosowane jest w reaktorach lekkowodnych jako zamiennik niskowzbożonego paliwa uranowego (LEU). ERU (Enriched Reprocessed Uranium) to paliwo jądrowe wyprodukowane z RepU.
- uran zaoszczędzony poprzez zmniejszenie resztkowej koncentracji  $^{235}\text{U}$  w uranie zubożonym (DU), który jest odpadem podczas procesu wzbogacania izotopowego (*underfeeding*).
- uran uzyskany przez poddanie ponownemu wzbogacaniu (*re-enrichment*) zubożonego uranu będącego odpadem z pierwotnego procesu wzbogacania (*tails stripping*). Proces ten realizowany jest przez Rosję w zakładach w Nowouralsku i Zielenogorsku.
- nadwyżka uranu i plutonu zgromadzonych dla celów militarnych. W 2013 r. nastąpiło zakończenie programu konwersji uranu zgromadzonego dla celów militarnych „*Megatons to Megawatts*” (M2M), który w okresie ostatnich 20 lat był źródłem paliwa powstałego ze stopienia wysokowzbożonego uranu klasy zbrojeniowej (*Weapons Grade Uranium, WGU*) z uranem zubożonym, w wyniku czego powstawał uran niskowzbożony (LEU) przeznaczony jako paliwo dla reaktorów energetycznych. Rosja pozbyła się w ten sposób 500 ton WGU, a Stany Zjednoczone 210 ton. Oprócz tego, państwa te zobowiązały się do redukcji po 34 ton plutonu militarnego (*Weapons Grade Plutonium, WGPu*), który posłużyć ma do produkcji paliwa typu MOX dla reaktorów energetycznych.
- zgromadzone w latach ubiegłych zapasy paliwa w elektrowniach,
- uran i pluton zgromadzone w sektorze cywilnym poza zapasami w elektrowniach jądrowych.



**Przerób wypalonego paliwa** w celu odzyskania uranu (RepU) oraz plutonu (Pu) i coraz szersze stosowanie **paliwa MOX** oraz **ERU** pozwala zmniejszyć o ok. 30% zapotrzebowanie na uran naturalny. Na przykład we Francji ponad 17% elektryczności pochodzi z recyklingu paliwa jądrowego.

Duży wpływ na skalę wzrostu popytu na uran ma rozwój technologii reaktorów mający na celu **zwiększanie efektywności ich pracy**. Dzięki zastosowaniu nowoczesnego paliwa jądrowego w najnowszych reaktorach generacji III i III+ możliwe jest uzyskiwanie **wyższego stopnia jego wypalenia** (do 65.000 MWd/t), co uzyskuje się m.in. poprzez **zwiększanie stopnia wzbogacenia** z 3,3 do 5%  $^{235}\text{U}$ . Pozwala to wydłużyć okres pomiędzy przeładunkiem paliwa i zmniejszyć jego zużycie.

Ocenia się, że w stosunku do reaktorów II Generacji można zmniejszyć o 6% wsad uranu naturalnego kosztem zwiększenia o 2% ilości pracy rozdzielania (*separative work* - SW). Wszystko to powoduje, że **mimo stałego wzrostu zainstalowanej mocy reaktorów energetycznych zapotrzebowanie na uran nie rośnie w tym samym tempie**. W latach 1980-2008 ilość energii elektrycznej wyprodukowana w elektrowniach jądrowych wzrosła 3,6 krotnie, podczas gdy ilość zużytego uranu wzrosła jedynie o współczynnik 2,5.

**Zmniejszenie z 0,3 do 0,2% zawartości  $^{235}\text{U}$  w odpadach** z procesu wzbogacania, pozwala zaoszczędzić od 5000 do 8000 tU rocznie. Jest to w ostatnich latach możliwe dzięki zastosowaniu technologii wzbogacania przy użyciu wirówek gazowych, które zużywają mniej energii i obniżają koszt procesu w porównaniu do stosowanej dotąd metody dyfuzji gazowej.

**Ponowne wzbogacanie zubożonego uranu (DU)** pozwala także zmniejszyć zapotrzebowanie na uran naturalny niezbędny do produkcji uranu wzbogaconego. Na świecie dotychczas zgromadzono ok. 1,3 mln ton DU, który wciąż zawiera ok. 0,3-0,4 %  $^{235}\text{U}$ . Wykorzystując nadwyżkę zdolności zakładów wzbogacania uranu można te zapasy ponownie wzbogacać do poziomu uranu naturalnego (0,7%  $^{235}\text{U}$ ), pozostawiając w odpadach zaledwie 0,1-0,2 %  $^{235}\text{U}$ .