



## Tor jako alternatywa dla uranu

### Thorium as an alternative to uranium

Andrzej K. Dubiniewicz\*)

**Treść:** W artykule przedstawiono wielkość zasobów toru w państwach o największych jego zasobach. Porównano je z zasobami, powszechnie stosowanego jako paliwo jądrowe, uranu. Pomimo różnej wielkości całkowitych zasobów toru i uranu, są one w podobny sposób rozmieszczone na świecie. W 16 krajach skoncentrowane jest blisko 74,5% zasobów Th oraz około 74% zasobów U. W części z nich – Egipcie, Turcji, Finlandii, Wenezueli, Norwegii, Stanach Zjednoczonych, Szwecji, Indiach i Brazylii – występują większe zasoby toru niż uranu. Mniejszymi zasobami toru dysponuje z kolei Dania (Grenlandia), Chiny, Republika Południowej Afryki, Australia, Rosja, Kanada i Kazachstan. W Polsce wystąpienia toru nie mają znaczenia surowcowego.

**Abstract:** The article presents the resources of thorium in countries with the largest resources. They have been compared with the uranium resources, commonly used as nuclear fuel. Despite the different size of the total resources of thorium and uranium, both of these resources are similarly distributed around the world. Nearly 74,5% of Th resources and 74% of U resources are concentrated in 16 countries. In some of them – in Egypt, Turkey, Finland, Venezuela, Norway, United States, Sweden, India and Brazil – occur greater resources of thorium than uranium. On the other hand, Denmark (Greenland), China, South Africa, Australia, Russia, Canada and Kazakhstan have smaller thorium resources. The thorium occurrences in Poland have no economic significance.

#### Słowa kluczowe:

surowiec energetyczny, zasoby toru, zasoby uranu

#### Keywords:

energy resource, thorium resources, uranium resources

## 1. Wprowadzenie

Ceny surowców mineralnych na światowych rynkach zależą przede wszystkim od popytu na nie, możliwości ich zastąpienia, kosztów wydobycia i przetworzenia kopaliny. Wpływ na nie ma również dostępność złóż oraz sytuacja polityczna. Zamieszki w Kazachstanie na początku 2022 r. przyczyniły się do wzrostu cen uranu ([bloomberg.com](https://www.bloomberg.com), 2022). Niepewna sytuacja polityczna w państwach będących największymi producentami surowców energetycznych, w połączeniu z transformacją energetyczną i produkcją energii ze źródeł o niskiej emisji dwutlenku węgla sprawia, że poszukiwane są nowe nośniki energii. W Australii, Belgii, Brazylii, Chinach, Czechach, Danii, Finlandii, Francji, Indiach, Izraelu, Kanadzie, Korei Południowej, Niderlandach, Niemczech, Norwegii, Rosji, Stanach Zjednoczonych i Wielkiej Brytanii prowadzone są prace badawcze nad wykorzystaniem w energetyce jądrowej toru ([Sing, 2020](#)). W 2011 r. Chińska Akademia Nauk uruchomiła projekt, którego celem jest efektywne wykorzystanie energii toru i budowa torowego reaktora chłodzonego stopionymi solami TMSR (*thorium-based molten salt reactor*) do 2030 r. ([Xu, 2016](#); [Mallapat, 2021](#)). Jak do tej pory paliwo jądrowe produkowane jest niemal wyłącznie z uranu. W związku z rosnącym zainteresowaniem torem, celem niniejszego artykułu jest przedstawienie wielkości zasobów toru

w państwach o największych jego zasobach i porównanie ich rozmieszczenia na tle zasobów uranu.

Tor (łac. *thorium*) jest pierwiastkiem promieniotwórczym o liczbie atomowej 90 z grupy aktywności. Po raz pierwszy został on opisany w 1828 r. przez szwedzkiego chemika Jönsa Jacoba Berzeliusa. W skorupie ziemskiej średnia zawartość toru wynosi 5,6 ppm, przy czym w górnej jej części osiąga wartość 10,5 ppm ([Mernagh, Mieziti, 2008](#)). Jego średnia zawartość jest co najmniej trzykrotnie większa niż uranu ([World, 2019](#)). Tor jest podrzędnym lub głównym składnikiem około 60 minerałów z grupy tlenków i wodorotlenków, krzemianów, fosforanów oraz węglanów. Spośród nich największe znaczenie surowcowe ma monacyt. Zawartość toru zwykle nie przekracza w nim 10%, jednak niekiedy dochodzi ona do 26%. Zasoby toru szacuje się na poziomie 6 212 000 ton ([World 2019](#)) – są one zatem mniejsze od zasobów uranu, które według Agencji Energii Atomowej NEA i Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej IAEA ([2020](#)) wynoszą 8 070 400 t przy koszcie wydobycia nieprzekraczającym 260 USD/kgU

## 2. Typy genetyczne złóż toru

Największe zasoby toru występują w złożach okrucowych minerałów ciężkich, karbonatytach oraz złożach żyłowych mono- i polimetalicznych ([World, 2019](#)). Stanowią one ponad 88% jego całkowitych zasobów (tabela 1). Potencjalnym źródłem toru są także kompleksy skał alkalicznych

\*) Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

**Tabela 1. Typy genetyczne złóż toru i ich zasoby (World, 2019)****Table 1. Genetic types of thorium deposits and their resources (World, 2019)**

Typ genetyczne złóż	Zasoby [t]	Udział [%]
Złóża okruchowe minerałów ciężkich	2 182 000	35,13
Karbonatyty	1 783 000	28,70
Złóża żyłowe mono- i polimetaliczne	1 528 000	24,60
Kompleksy skał alkalicznych i peralkalicznych	584 000	9,40
Inne	135 000	2,17
Całość	6 212 000	100,00

nych i peralkalicznych. Mniejsze znaczenie surowcowe mają pegmatyty i skarny.

Złóża okruchowe minerałów ciężkich ze względu na mechanizm i środowisko powstania dzielone są na złóża eluwialne, deluwialne, proluwialne, aluwialno-mierzejowe, lateralne, glacialne i eoliczne. Z tego typu złóż tor odzyskiwany może być głównie z monacytu. Bogate złóża piasków monacytowych występują w pasie Neendakara–Kayamkulam w południowo-zachodnich Indiach oraz wzdłuż wybrzeży Australii, Sri Lanki, Brazylii i Nowej Zelandii. Karbonatyty są endogenicznymi skupieniami minerałów węglanowych – głównie kalcytu, rzadziej dolomitu oraz sporadycznie ankerytu i syderytu. Przestrzenie i genetycznie związane są z intruzjami ultrazasadowo-alkalicznymi (World 2019). Minerale toru w karbonatytach obecne są w złóżu Bayan Obo (Chiny), Phalaborwa (Republika Południowej Afryki), Tundulu (Malawi), Bou Naga (Mauretania) i Kowdor (Rosja). Złóża żyłowe mono- i polimetaliczne z torem występują w strefach spekań, szczelin i uskoków (rejon Lemhi Pass w Stanach Zjednoczonych, Kizilcaören w Turcji i Vanrhynsdorp w prowincji Western Cape w Republice Południowej Afryki) (World 2019). Przykładem kompleksu skał alkalicznych i peralkalicznych z podwyższoną zawartością toru jest masyw Pocos de Caldas w Brazylii, masywy Lovozero i Chibiny w Rosji oraz masyw Ilímaussaq na Grenlandii (World 2019). Pegmatyty są produktem krystalizacji resztkowej magmy

w końcowych stadiach zastygania masywów intruzywnych. Powstają one z intruzji magm granitowych, alkalicznych, zasadowych i ultrazasadowych na znacznych głębokościach i przy wysokich ciśnieniach. Pegmatyty ziem rzadkich, w których często występują minerale toru (np. pegmatyt Bancroft), tworzą się na głębokości ok. 9 km. Skarny powstają z kolei w wyniku metasomatozy w przykontaktowej strefie intruzji w skałach węglanowych lub skałach krzemianowych (Ginzburg, Rodoniov 1960). Mineralizację torową w skarnach stwierdzono między innymi w złóżu Tranomaro na Madagaskarze (World 2019).

### 3. Zasoby toru na świecie

Największymi zasobami toru na świecie, szacowanymi na 846 500 t, dysponują Indie (World 2019). Do państw zasobnych w ten surowiec należy także: Brazylia (632 000 t), Australia (595 000 t), Stany Zjednoczone (595 000 t), Egipt (380 000 t), Turcja (374 000 t) i Wenezuela (300 000 t). Zasoby toru o wielkości od 50 000 do 172 000 t rozpoznane są w: Kanadzie, Rosji, Republice Południowej Afryki, Chinach i Kazachstanie. W Europie zasoby toru w ilości poniżej 100 000 t. stwierdzono w: Norwegii, Danii, Finlandii i Szwecji (tabela 2). W wymienionych państwach znajduje się blisko 74,5% światowych zasobów toru, a także około 74% światowo-

**Tabela 2. Państwa o największych zasobach toru na świecie i główne typy złóż (World, 2019)****Table 2. Countries with the largest thorium resources in the world and main types of deposits (World, 2019)**

Państwo	Zasoby toru [t]	Udział [%]	Główne typy złóż
Indie	846 500	13,63	złóża okruchowe minerałów ciężkich, kompleksy skał alkalicznych i peralkalicznych, karbonatyty, pegmatyty, złóża żyłowe mono- i polimetaliczne, węgiel kamienny (popioły ze spalania)
Brazylia	632 000	10,17	pegmatyty, karbonatyty, kompleksy skał alkalicznych i peralkalicznych, złóża okruchowe minerałów ciężkich
Australia	595 000	9,58	złóża okruchowe minerałów ciężkich, złóża żyłowe mono- i polimetaliczne, kompleksy skał alkalicznych i peralkalicznych, karbonatyty
Stany Zjednoczone	595 000	9,58	złóża żyłowe mono- i polimetaliczne, karbonatyty, kompleksy skał alkalicznych i peralkalicznych, złóża okruchowe minerałów ciężkich
Egipt	380 000	6,12	złóża okruchowe minerałów ciężkich
Turcja	374 000	6,02	karbonatyty
Wenezuela	300 000	4,83	karbonatyty, kompleksy skał alkalicznych i peralkalicznych
Kanada	172 000	2,77	pegmatyty, karbonatyty, oligomiktyczne zlepnie z otoczkami kwarcu
Rosja	155 000	2,50	kompleksy skał alkalicznych i peralkalicznych, karbonatyty, złóża okruchowe minerałów ciężkich
RPA	148 000	2,38	złóża okruchowe minerałów ciężkich, złóża żyłowe mono- i polimetaliczne, karbonatyty
Chiny	100 000	1,61	karbonatyty, złóża okruchowe minerałów ciężkich
Norwegia	87 000	1,40	karbonatyty
Dania (Grenlandia)	86 000	1,38	kompleksy skał alkalicznych i peralkalicznych
Finlandia	60 000	0,97	karbonatyty
Szwecja	50 000	0,80	karbonatyty
Kazachstan	50 000	0,80	złóża żyłowe mono- i polimetaliczne

**Tabela 3. Zasoby uranu w państwach o największych zasobach toru na świecie (Uranium 2020)**

**Table 3. Uranium resources in countries with the largest thorium resources in the world (Uranium 2020)**

Państwo	Zasoby uranu [t]	Udział [%]	Stosunek zasobów toru do zasobów uranu
Indie	195 900	2,43	4,32
Brazylia	276 800	3,43	2,28
Australia	2 049 400	25,39	0,29
Stany Zjednoczone	101 900	1,26	5,84
Egipt	1 900	0,02	200
Turcja	13 600	0,17	27,5
Wenezuela	0	0,00	-
Kanada	873 000	10,82	0,20
Rosja	661 900	8,20	0,23
RPA	447 700	5,55	0,33
Chiny	269 700	3,34	0,37
Norwegia	0	0,00	-
Dania (Grenlandia)	114 000	1,41	0,75
Finlandia	1 200	0,01	50
Szwecja	9 600	0,12	5,21
Kazachstan	969 200	12,01	0,05

wych zasobów uranu (tabela 3). Wielkość zasobów obu tych surowców różni się jednak w poszczególnych państwach. Znacznie większe zasoby toru niż uranu (tabela 2 i tabela 3) występują przede wszystkim w Egipcie, Turcji i Finlandii oraz w Stanach Zjednoczonych, Szwecji, Indiach i Brazylii, a także w Wenezueli i Norwegii, które według raportu (Uranium 2020) nie posiadają zasobów uranu. Z kolei Dania (Grenlandia), Chiny, Republika Południowej Afryki, Australia, Rosja, Kanada i Kazachstan dysponują mniejszymi zasobami toru niż zasobami uranu.

#### 4. Wystąpienia toru w Polsce

Podwyższona mineralizacja Th związana jest z łupkami miedzionośnymi na monoklinie przedsudeckiej i obecnym w nich tucholitem (World 2019). Stwierdzono ją również w kilku miejscach w Sudetach: w okolicach Szklarskiej Poręby, Wołowej Góry, Budnik, Kopańca-Małej Kamienicy, Markocic i Jasnej Góry (Kanasiewicz, 193.; Lis, Sylwestrak, 1986). Koncentracja toru występuje także w sjenitowym masywie Ełku (Bareja, Kubicki, 1983). Domieszki tego pierwiastka znane są poza tym z alkaliczno-ultrazasadowej intruzji Tajna, gdzie występuje on w burbankicie (Kubicki, Ryka, 1984). Potencjalnie tor może być obecny również w alkaliczno-gabrowej intruzji Piszta oraz alkalicznych masywach Mławy i Olsztynka. Wystąpienia toru w Polsce nie mają jednak znaczenia surowcowego z uwagi na jego niską zawartość, zaleganie na znacznych głębokościach i położenie w obrębie cennych przyrodniczo obszarów.

#### 5. Podsumowanie

1. Ponad 74% światowych zasobów toru i uranu skoncentrowana jest w 16 państwach. Nierównomierne rozmieszczenie zasobów toru, nawet w przypadku jego technicznej możliwości wykorzystania jako paliwa jądrowego, może mieć wpływ na to, że państwa nie będą zainteresowane rozwojem energetyki jądrowej z powodu braku własnych zasobów. Największe zasoby tego promieniotwórczego

pierwiastka znajdują się w Indiach, Brazylii, Australii i Stanach Zjednoczonych, gdzie skupione jest prawie 43% wszystkich zasobów. Występują one głównie w złożach okruchowych minerałów ciężkich, karbonatytach, kompleksach skał alkalicznych i peralkalicznych, a także w pegmatytach oraz żyłach mono- i polimetalicznych

2. Spośród państw o największych zasobach toru, zasoby toru wyraźnie dominują nad zasobami uranu w Egipcie, Turcji, Finlandii, Wenezueli, Norwegii, Stanach Zjednoczonych, Szwecji, Indiach i Brazylii. Mniejsze zasoby toru niż uranu ma natomiast Dania (Grenlandia), Chiny, Republika Południowej Afryki, Australia, Rosja, Kanada i Kazachstan.
3. W Polsce mineralizacja torowa znana jest z kilku stanowisk zlokalizowanych w południowo-zachodniej (monoklina przedsudecka i Sudety) oraz północno-wschodniej jej części, gdzie związana jest z alkalicznymi masywami w okolicach Ełku, Piszta, Mławy, Olsztynka i jeziora Tajno. Nie ma ona jednak znaczenia surowcowego z uwagi na warunki geologiczno-górnice występowania toru.

#### Literatura

- BAREJA E., KUBICKI S. 1983 - Mineralizacja sjenitów ełckich w strefach przeobrażeń metasomatycznocno-hydrotermalnych (NE Polska). Kwartalnik Geologiczny, 27 (2), 215-224.
- GINZBURG A.I., RODIONOV G.G. 1960 - On the depths of the granitic pegmatite formation. Geologiya Rudnykh Mestorozhdeniy, 1, 45-54.
- KANASIEWICZ J. 1983 - O możliwości występowania karbonatytów facji subwulkanicznej w rejonie niecki zytawskiej (Sudety Zachodnie). Kwartalnik Geologiczny, 27 (4), 755-762.
- KUBICKI S., RYKA W. 1984 - Późnokambryjski magmatyzm platformowy i karbonatyty w polskiej części platformy wschodnioeuropejskiej. Przegląd Geologiczny 32 (5), 252-260.
- LIS J., SYLWESTRAK H. 1986 - Minerale Dolnego Śląska. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- MALLAPATY S. 2021 - China prepares to test thorium-fuelled nuclear reactor. Nature, 597 (7876), 311-312.
- MERNAGH T.P., MIEZITIS Y.A. 2008 - Review of the Geochemical Processes Controlling the Distribution of Thorium in the Earth's Crust

- and Australia's Thorium Resources. Geoscience Australia, Canberra, 1-48.
- SINGH M.M. 2020 - Thorium. Mineral Commodity Summaries, U.S. Geological Survey, 170-171.
- URANIUM 2020: RESOURCES, PRODUCTION AND DEMAND. 2020. A Joint Report by the Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency, NEA No. 7551.
- WORLD THORIUM OCCURRENCES, DEPOSITS AND RESOURCES. 2019. International Atomic Energy Agency, IAEA-TECDOC-1877, Vienna.
- XU H. 2016 - Thorium Energy and Molten Salt Reactor R&D in China. [In]: Revol J.P., Bourquin M., Kadi Y., Lillestol E., de Mestral J.C., Samec K. (eds). Thorium Energy for the World. Springer, 37-44.

Źródła internetowe

<https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-01-05/turmoil-in-uranium-rich-kazakhstan-threatens-to-elevate-prices> [dostęp: 23.01.2022]

Artykuł wpłynął do redakcji w maju 2022 r.  
Artykuł zaakceptowano do druku 20.07.2022 r.

Andrzej K. Dubiniewicz, mgr inż., absolwent Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH w Krakowie o specjalności Geologia i Prospekcja Złóż. Aktualnie jest asystentem na Wydziale Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej UMK w Toruniu. W Katedrze Geologii i Hydrogeologii prowadzi badania właściwości fizyczno-mechanicznych kruszyw, a także ogólne badania geologiczno-złożowe; dubiniewicz@umk.pl

## ICI JOURNALS MASTER LIST

Szanowni Państwo,

Uprzejmie informujemy, że czasopismo „Przeгляд Górnicy (ISSN: 0033-216X)” pozytywnie przeszło proces oceny i jest indeksowane w bazie ICI Journals Master List za rok 2021.

Na podstawie weryfikacji informacji z ankiety ewaluacyjnej oraz analizie wydań czasopisma z 2021 roku, wyznaczona została wartość wskaźnika Index Copernicus Value (ICV) za rok 2021.

**ICV 2021 = 73.68**

Wyznaczona ocena jest widoczna na liście czasopism ICI Journals Master List 2021 <https://journals.indexcopernicus.com/search/formjml> oraz w Paszporcie Państwa czasopisma <https://journals.indexcopernicus.com/search/details?id=28377&lang=pl>

Jednocześnie zapraszamy Państwa do skorzystania z dodatkowych możliwości wynikających z indeksacji czasopisma na liście ICI Journals Master List 2021:

Raport Szczegółowy z oceny

Prezentujący szczegóły przeprowadzonej oceny w formie pojedynczych kryteriów oraz ich grup wraz z uzyskanymi wartościami punktowymi, co pozwala na analizę przyznanej punktacji, a także identyfikację pojedynczych elementów, które Redakcja może poprawić wprowadzając niewielkie modyfikacje w działalności wydawniczej.

Ozdobny certyfikat

Certyfikat potwierdzający indeksację czasopisma. Przygotowany jest dla konkretnego czasopisma, zawiera jego numer ISSN, tytuł oraz rok indeksacji. Znajduje się w szklanej ramie i opatrzony jest identyfikacją wizualną ICI Journals Master List.

Logotyp Index Copernicus

Roczna licencja na korzystanie z Logotypu Index Copernicus, którym Redakcja może posługiwać się w wydaniach drukowanych i elektronicznych. Zamieszczenie Logotypu w czasopiśmie wskazuje, że jest ono aktualnie indeksowane na międzynarodowej liście czasopism naukowych ICI Journals Master List, co pomaga budować markę czasopisma, zwiększa jego prestiż, a także wspiera jego promocję.

Zachęcamy do złożenia zamówienia telefonicznie lub on-line w systemie ICI World Of Journals. Aby dowiedzieć się więcej i poznać szczegóły oferty, prosimy o kontakt pod numerem telefonu +48 22 487 53 93 lub adresem e-mail: [evaluation@indexcopernicus.com](mailto:evaluation@indexcopernicus.com).

Z poważaniem,

Zespół Ewaluacji Czasopism Naukowych  
Index Copernicus International  
[www.indexcopernicus.com](http://www.indexcopernicus.com)