

Stefan CHWASZCZEWSKI*

Czy dostępność paliwa jądrowego może być barierą dla przyszłego rozwoju energetyki jądrowej?

STRESZCZENIE. W pracy przedstawiono analizy zasobów paliw jądrowych – w szczególności uranu – wykorzystywanych w jądrowych reaktorach energetycznych. Wykazano, że negatywne oceny dostępności w przyszłości paliw jądrowych, wynikały z porównania obecnie ekonomicznie uzasadnionych kosztami wydobycia zasobów uranu, z obecnym lub perspektywnym zapotrzebowaniem na ten surowiec. Mała czułość kosztów wytwarzania energii elektrycznej w elektrowniach jądrowych uzasadnia wzrost akceptowalnych ekonomicznie kosztów wydobycia uranu ze środowiska, prowadzące do znacznie zwiększonych zasobów uranu. Przedstawiono również perspektywiczne technologie wykorzystania jako materiałów paliwotwórczych nierozszczepialnego izotopu U238 i toru. Wykorzystanie tych materiałów znacząco zwiększa zasoby dostępnych paliw jądrowych

SŁOWA KLUCZOWE: paliwo jądrowe, uran, tor, reaktor jądrowy

Wprowadzenie

Pytanie zawarte w tytule jest tym bardziej zaskakujące, że pierwotnym źródłem energii na ziemi są przemiany i reakcje jądrowe. Głównym źródłem jest reakcja syntezy jądrowej zachodząca w słońcu – moc, jaką ziemia otrzymuje od słońca – gigantycznego reaktora termojądrowego – ocenia się na prawie 90 PW (P-peta = 10^{15}). Niejako uzupełniającym

* Prof. dr hab. — Instytut Energii Atomowej.

źródłem energii jest rozpad pierwiastków promieniotwórczych zawartych w ziemi – około $1,5 \cdot 10^{16}$ ton uranu oraz ponad $7 \cdot 10^{16}$ ton toru. Ocenia się, że moc tego źródła wynosi 3,4 PW. Odnawialne źródła energii: energia wodna, energia wiatru, energia geotermalna, energia biomasy – to nic innego jak przetworzona energia przemian jądrowych. Co więcej, konwencjonalne surowce energetyczne takie jak węgiel, ropa naftowa czy gaz ziemny, to nic innego jak nośniki tej samej energii procesów jądrowych wytwarzane przez miliardy lat, a które obecnie wykorzystujemy w zawrotnym tempie.

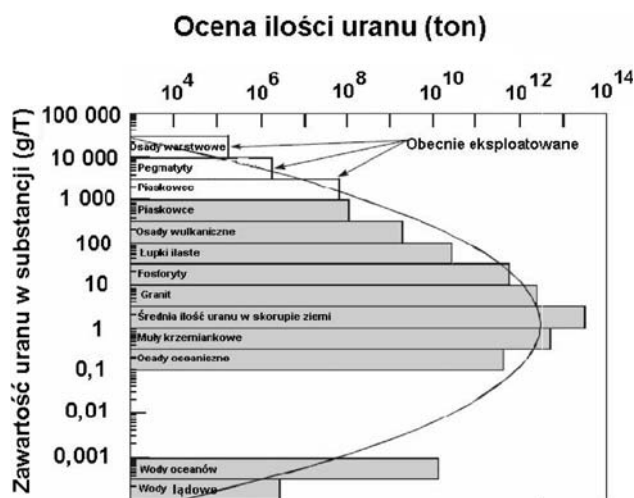
Tym niemniej, pojęcie ograniczonych zasobów jądrowych paliw rozszczepialnych jest wykorzystywane jako argument przeciw rozwojowi energetyki jądrowej opartej na reaktorach rozszczepieniowych przez entuzjastów fuzji termojądrowej, którzy odnieśli już sukces otrzymując fundusze 10 mld euro na budowę eksperymentalnego reaktora termojądrowego ITER. Jednakże perspektywy czasowe uruchomienia komercyjnego reaktora termojądrowego nie są już tak entuzjastyczne. Przewiduje się, że termin ten – przy pozytywnych rezultatach programu ITER – będzie w 2100 roku. Drugą grupą, wykorzystującą argument o ograniczonych zasobach rozszczepialnych paliw jądrowych są ekolodzy, upatrujący rozwiązania problemu energetycznego świata w wykorzystaniu energii odnawialnych.

Tak pesymistyczne oceny wynikają z niewiedzy albo z dążenia do wykazania niecelowości rozwoju energetyki jądrowej. Jak będzie to wykazane poniżej globalne zasoby uranu są ogromne, ale rozproszone w środowisku. Udokumentowane zasoby uranu są podawane dla określonych, akceptowalnych w danej chwili kosztów ich wydobycia. Porównanie zapotrzebowania, z tak określonymi zasobami, jest źródłem nieprawidłowych ocen.

Pesymistyczne oceny wynikają także ze stosowanej obecnie technologii wykorzystania rozszczepialnych paliw jądrowych w reaktorach energetycznych. W reaktorach tych jest wykorzystywany głównie rozszczepialny izotop U235, którego zawartość w uranie naturalnym wynosi około 0,7%. Do wytworzenia, w obecnie eksploatowanych reaktorach energetycznych, 1 TWh energii elektrycznej niezbędne jest wydobycie ze środowiska około 23 ton uranu naturalnego. Z tej ilości 20 ton, to uran zubożony pozostały przy wzbogaceniu pozostałych trzech ton paliwa reaktorowego do około 5% w U235. W reaktorze rozszczepieniu ulega tylko około 150 kg paliwa jądrowego. Reszta to wypalone paliwo. W koncepcji prawie idealnego reaktora, reaktora na stopionych solach uranu i toru, do wytworzenia tej porcji energii wystarcza 50 kg naturalnego uranu i 50 kg toru. To porównanie daje pogląd o prawie niewyczerpalnych zasobach jądrowych surowców energetycznych.

1. Zasoby paliw jądrowych

W odróżnieniu od organicznych surowców energetycznych (węgiel, ropa naftowa, gaz) występujących jako wyodrębnione złoża tych surowców w mniejszym lub większym stopniu zanieczyszczone obcymi substancjami, uran występuje w środowisku w postaci bardzo rozproszonej. Można określić go jako zanieczyszczenie w innych substancjach. Średnia zawartość uranu w skorupie ziemskiej to 2,4 g/tonę, ale zdarzają się złoża o zawartości uranu do 20% wagowych (Kanada). Zawarte w zewnętrznej, dostępnej w eksploatacji warstwie skorupy ziemskiej zasoby uranu, w zależności od udziału wagowego, są przedstawione na rysunku 1 [1].



Rys. 1. Rozkład uranu w skorupie ziemskiej [1]

Fig. 1. Distribution of uranium in earth's crust [1]

Największe zasoby uranu znajdują się w Australii, na drugim miejscu znajduje się Kazachstan, a na trzecim Kanada. W 2007 roku, światowa produkcja naturalnego uranu osiągnęła poziom 41 254 ton, z czego w Kanadzie wydobyto prawie 23%, w Australii prawie 21%, a w Kazachstanie ponad 16%[2].

Jak przedstawiono powyżej, dostępne, potencjalne zasoby uranu są ogromne. Natomiast wykorzystywane zasoby są określane przez poziom akceptowalnych przez rynek kosztów ich wydobycia. Obecnie, rynek akceptuje koszty pozyskania poniżej 130 US\$(wg cen 2005 r.)¹ za kgU. Według [3] udokumentowane zasoby uranu² uzyskiwane w tych kosztach, określone w roku 2007 wynoszą 5 500 000 ton. Dla porównania, w 2005 określano je na 4 700 000 ton. Nieprzebadane zasoby uranu³, których koszt wydobycia jest również niższy od 130 US\$/kg oceniono w 2007 roku na 10 500 000 ton. Dopuszczenie do eksploatacji złóż o kosztach wydobycia 200 US\$/kg zwiększa te zasoby do poziomu około 100 000 000 ton. A to są zasoby wystarczające na eksploatację nawet rozwijającej się „floty” reaktorów jądrowych na setki lat.

Trudno jest określić graniczną zawartość uranu w złożu, które ze względu na koszt wydobycia nadaje się do eksploatacji. Uran jest wydobywany w kopalniach odkrywkowych (21%), w kopalniach głębokich (40%), metodą podziemnego wylugowania – ISL (In Situ Leaching) – (29%) oraz jako produkt uboczny, przy wydobyciu innych substancji, czy surowców (10%) [3]. W każdym przypadku koszt wydobycia jest różny.

W 2006 roku na świecie eksploatowano 1200 reaktorów wojskowych i badawczych oraz 439 reaktory energetyczne dostarczające ponad 7% światowego zapotrzebowania na energię pierwotną i wytwarzające około 16% światowej produkcji energii elektrycznej. Roczne zapo-

¹ Wielkości US\$ w całym referacie odnoszą się do cen z 2005 roku.

² Identified amount of conventional uranium resources.

³ Undiscovered resources.

trzebowanie na uran naturalny, niezbędny do eksploatacji całej tej „floty” reaktorowej, wynosi 66 500 ton. Pomimo, w zasadzie stałego zapotrzebowania w latach 2002–2007 na uran naturalny na poziomie powyżej 66 000 ton, poziom produkcji w kopalniach uranu był znacznie mniejszy. Wielkość wydobycia uranu w tym okresie przedstawia tabela 1.

Różnicę pomiędzy zapotrzebowaniem na uran a wielkością wydobycia pokrywały zapasy uranu z demontowanych urządzeń militarnych.

Przewiduje się, że w wyniku rozwoju energetyki jądrowej na świecie (w budowie jest 35 reaktorów, w różnych stadiach projektowania znajduje się 30 reaktorów) zapotrzebowanie na uran naturalny wzrośnie w 2030 roku od 94 000 ton do 122 000 ton rocznie.

W strukturze kosztów wytwarzanej w elektrowniach jądrowych energii elektrycznej cena naturalnego uranu (pozyskiwanego po kosztach 130 US\$/kg) stanowi od 5 do 7%. W tabeli 2 przedstawiono wpływ zmiany ceny uranu na koszt wytworzenia 1 MWh energii elektrycznej w eksploatowanych obecnie elektrowniach jądrowych z reaktorami lekko wodnymi: PWR lub BWR. Z przedstawionych w tabeli danych wynika, że znaczne zmiany cen uranu naturalnego nie wpłyną znacząco na koszt wytwarzanej w elektrowniach jądrowych energii elektrycznej kształtujących się na poziomie 30–45 US\$/MWh.

Jednakże dla obecnej technologii reaktorów wodnych, wykorzystujących głównie naturalny izotop rozszczepieniowy U235, którego zawartość w naturalnym uranie wynosi 0,72%, zasoby stosunkowo taniego surowca są ograniczone. Można powiedzieć, że obecne technologie energetyki jądrowej, wykorzystujące reaktory wodne z paliwem uranowym są urządzeniami marnotrawiącymi jądrowy surowiec energetyczny. Proces rozszczepienia prowadzący do wytwarzania energii obejmuje mniej niż 1% wydobywanego ze środowiska uranu.

Wyjściem z tej sytuacji jest wykorzystanie nierozszczepialnego neutronami termicznymi izotopu U238 do wytwarzania poprzez napromienianie tego izotopu neutronami no-

TABELA 1. Roczne wydobycie naturalnego uranu (ton)

TABLE 1. Annual uranium production from mines (ton)

Rok	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Wydobycie	36 063	35 613	40 251	41 702	39 429	41 279

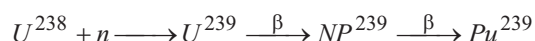
Źródło [4]

TABELA 2. Udział cen uranu naturalnego w kosztach wytworzenia w elektrowni jądrowej 1 MWh energii elektrycznej

TABLE 2. Contribution of natural uranium price in 1 MWh electric energy cost generation in NPP(LWR)

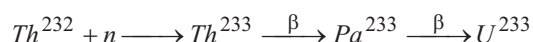
Cena Uranu nat. US\$/kg	40	80	130	200	260
Koszt uranu w koszcie 1 MWh energii elektrycznej US\$	0,64	1,27	2,07	3,18	4,14

wego izotopu rozszczepialnego – Pu239. Reakcje jądrowe zachodzące w tym procesie są następujące:



Opisaną powyżej reakcję prowadzącą do wytwarzania rozszczepialnego plutonu, poprzez napromienianie U238, nazywamy cyklem U-Pu. Reakcja ta jest w niewielkim zakresie wykorzystywana w eksploatowanych obecnie reaktorach energetycznych i wytworzony pluton uczestniczy również w procesie rozczepienia w reaktorze jądrowym. Dlatego, w nowoczesnych reaktorach PWR czy BWR rozszczepieniu ulega do 6% uranu, pomimo, że paliwo to zawiera tylko 4–5% rozszczepialnego izotopu U235, a w wyładowanym z reaktora wypalonym paliwie znajduje się jeszcze około 1% U235. Różnica – to właśnie rozszczepienia na wytworzonym w czasie eksploatacji Pu239 oraz rozszczepienia U238 neutronami przedkimi. Dodatkowo, w wyładowanym wypalonym paliwie pozostaje część wytworzonego plutonu, który wydobyty w procesie przerobu jest wykorzystywany do produkcji paliwa jądrowego MOX⁴

Podobną reakcję można wykorzystać do wytwarzania izotopu rozszczepialnego – U233 poprzez napromienianie toru neutronami:



Reakcja ta jest nazywana cyklem Th-U.

Aby zobrazować korzyści z wykorzystania do wytwarzania energii nierozszczepialnego izotopu U238 oraz toru, w tabeli 3 przedstawiono ilość energii elektrycznej wytworzonej w elektrowniach ciepłych zasilanych energią wytwarzaną z różnych surowców, różnymi technologiami.

Powstaje naturalne pytanie, dlaczego nie wprowadza się obecnie tak oszczędnych technologii, a w eksploatacji znajdują się stosunkowo „nieoszczędne” reaktory lekko wodne, typu PWR i BWR. Odpowiedzią są uwarunkowania ekonomiczne. Procesy chemicznego, czy izotopowego przerobu wypalonego paliwa, niezbędne przy wykorzystaniu cyklu U-Pu czy Th-U, są jeszcze zbyt kosztowne, aby skompensować oszczędności w pozyskaniu uranu naturalnego. Spodziewany wzrost zapotrzebowania na paliwo jądrowe i związany z tym wzrost cen uranu oraz rozwój technologii przerobu, doprowadzi w końcu do ekonomicznego uzasadnienia ich wykorzystania.

Należy podkreślić jeszcze jeden walor zwiększonego wykorzystania uranu (i toru) w procesie wytwarzania energii. Ilość odpadów promieniotwórczych i okres ich rozpadu jest znacznie mniejszy od ilości i okresu rozpadu odpadów promieniotwórczych powstających w obecnie eksploatowanych reaktorach energetycznych. Dla przykładu, odpady promieniotwórcze powstające w procesie eksploatacji reaktora na stopionych solach zawierają prawie wyłącznie produkty rozszczepienia, których aktywność po okresie 500 lat zrównuje się z naturalną aktywnością środowiska naturalnego i mogą być traktowane jako zwykłe odpady komunalne.

⁴ Paliwo MOX – *Mixed Oxides Fuel*, paliwo, w którym wykorzystuje się mieszaninę dwutlenków uranu i plutonu.

TABELA 3. Ocena ilości energii elektrycznej uzyskiwanej z wykorzystania 1 kg różnego paliwa w różnych technologiach

TABLE 3. Estimated electrical energy generated from 1 kg fuel in various technology

Paliwo	Ilość kWh energii otrzymanej z 1 kg paliwa
Zrębki drzewa	1
Węgiel kamienny	3
Węgiel brunatny	1
Olej opałowy	4
Gaz ziemny	6
Uran naturalny (CANDU, GCR)	40 000
Uran wzbogacony (3–5%) (PWR, BWR) – otwarty cykl paliwowy w przeliczeniu na uranium naturalny	45 000
arsid1595461 Wykorzystanie 50% paliwa MOX w reaktorach III generacji PWR i BWR w przeliczeniu na uranium naturalny	70 000
Reaktory powielające (FBR) w cyklu U-Pu, w przeliczeniu na uranium naturalny*	3 500 000
Tor w cyklu Th-U z przerobem wypalonego paliwa**	4 800 000
Tor + uranium naturalny, reaktor na stopionych solach, 0,5 kg Unat+ 0,5 kg toru***	10 000 000

Źródło: [5] i analizy własne autora

* Reaktor powielający na neutronach prędkich – FBR – *Fast Breeder Reactor*.

** Tor może być wykorzystany w reaktorach na neutronach termicznych.

*** Reaktor na stopionych solach – reaktor, w którym paliwem i chłodziwem jest mieszanina stopionych w wysokiej temperaturze fluorków uranu i fluorków toru. Nagrzane w rdzeniu reaktora paliwo/chłodziwo oddaje energię cieplną w wymienniku ciepła, a następnie jest oczyszczane z produktów rozszczepienia i kierowane do rdzenia reaktora.

2. Wykorzystanie paliw wytwarzanych w cyklu U-Pu

Cykl paliwowy U-Pu został wykorzystany w pierwszym okresie wykorzystania reaktorów do celów militarnych. Jedną z bomb atomowych zrzuconą w sierpniu 1945 r. na Japonię posiadała ładunek z plutonu wytworzonego w specjalnych, wojskowych reaktorach przystosowanych do produkcji tego materiału. Cykl paliwowy U-Pu jest również wykorzystywany w pewnym rozmiarze, w eksploatowanych obecnie reaktorach PWR i BWR.

Jednakże w tych reaktorach ilość izotopu rozszczepialnego, otrzymanego w wyniku przerobu napromienionych elementów uranowych, stanowi niewielką część izotopu rozszcze-

pialnego, wykorzystanego w reaktorze w czasie napromieniania. Stosunek ilości wydzielonego izotopu rozszczepialnego do ilości izotopu rozszczepialnego, wykorzystanego podczas napromieniania jest określany jako „współczynnik powielania” (BR – *breeding ratio*). Dopiero przy $BR > 1$ otrzymujemy przyrost w czasie ilości materiału rozszczepialnego wytwarzanego w cyklu U-Pu, umożliwiającego zasilanie nowych reaktorów w paliwo jądrowe.

W przypadku cyklu U-Pu, $BR > 1$ jest możliwe do uzyskania w reaktorach powielających, pracujących na neutronach o wysokich energiach, tzw. neutronach prędkich. Dlatego, nieco przekrętnie, reaktory te są nazywane „prędkimi reaktorami powielającymi: *Fast Breeder Reactor* – FBR. Ze względu na konieczność utrzymania w rdzeniu reaktora wysokiej energii neutronów, w reaktorach tych nie mogą być stosowane substancje zawierające pierwiastki o małej liczbie atomowej i dlatego, w reaktorach tych jako chłodziwo mogą być stosowane ciekłe metale lub gaz.

W okresie szybkiego rozwoju energetyki jądrowej, w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych ubiegłego stulecia, zbudowano i uruchomiono 7 reaktorów tego typu, z czego 2 są nadal eksploatowane: BN-600 w Federacji Rosyjskiej i PHENIX we Francji. W budowie są dwa reaktory: BN-800 w Federacji Rosyjskiej i PFBR w Indiach. Jeden reaktor – MONJU – jest okresowo wyłączony z eksploatacji, natomiast pozostałe są trwale wyłączone. Powodem rezygnacji, z tego typu reaktorów, był brak konkurencyjności ekonomicznej tych obiektów w sytuacji wstrzymania rozwoju energetyki jądrowej w świecie po katastrofie reaktora w Czarnobylu i względnie niskich cen uranu. Wszystkie te reaktory wykorzystywały jako chłodziwo ciekły sód, którego właściwości przyczyniły się do rezygnacji z eksploatacji tych reaktorów w wielu krajach. Pomijając konieczność wykorzystania pośredniego układu chłodzenia w tych reaktorach ze względu na wysoką aktywację sodu pod wpływem neutronów, to chemiczne powinowactwo sodu i wody w wytwornicach pary i pożary wywołane ewentualnymi nieszczelnościami były przyczyną odstąpienia w wielu krajach od eksploatacji tych obiektów. Jedynie w Federacji Rosyjskiej, w konstrukcji reaktorów BN przyjęto zasadę, że pożar wytwornicy pary jest naturalnym elementem eksploatacji. Modułowe wytwornice pary umieszczone w ogniotrwałych boksach i w przypadku pożaru tę wytwornicę pary – wyłączano, włączano inną, pożar gaszono automatycznie, a wytwornica była remontowana.

Innym czynnikiem chłodzącym w reaktorach tego typu może być ciekły ołów lub eutektyka ołów-bizmut. Ten ostatni czynnik był stosowany w reaktorach napędu okrętów podwodnych w byłym ZSRR, a obecnie w Federacji Rosyjskiej.

W sytuacji renesansu energetyki jądrowej na świecie reaktory powielające w cyklu U-Pu wróciły znów w perspektywicznych programach energetyki jądrowej. W dokumencie [6] jako perspektywiczne kierunki rozwoju przyjęto reaktory powielające chłodzone sodem, ołowiem oraz wysokotemperaturowe reaktory powielające. Zagadnienia rozwoju reaktorów powielających w cyklu U-Pu zostały także podniesione w Unii Europejskiej w programowym dokumencie [7].

2.1. Cykl Th-U

Tor jest pierwiastkiem, którego zawartość w skorupie ziemskiej jest trzy–cztery razy większa od zawartości uranu. Zasoby tego pierwiastka oceniane wg kosztów wydobycia do

80 \$/kg oceniane są na 2 500 000 ton według [8] – z marca 2008 roku, w porównaniu do 1 200 000 ton według wcześniejszych ocen. Zaletą cyklu Th-U jest szansa uzyskania współczynnika konwersji większego od 1 w reaktorach na neutronach termicznych (PWR, BWR i nowoczesnych reaktorach CANDU), ponieważ efektywność przetwarzania toru na rozszczepialny izotop neutronami termicznymi jest czterokrotnie większa od efektywności cyklu U-Pu. Jednocześnie, uzyskany w cyklu Th-U materiał rozszczepialny, jest łatwo identyfikowalny przez przenikliwe promieniowanie gamma, wytwarzane przez U232, stanowiący nieodłączne zanieczyszczenie U233. Ta właściwość ułatwia kontrolę nad transportem, ale utrudnia, a nawet uniemożliwia jego wykorzystanie do celów terrorystycznych. Dodatkowo, jak przedstawiono w [9], poprawia charakterystyki eksploatacyjne reaktora.

Próby z wykorzystaniem toru jako materiału paliworodnego były prowadzone już w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych, zarówno w reaktorach doświadczalnych, jak i w reaktorach energetycznych. Wyniki dotychczasowych badań i analiz są obiecujące. Uzyskano wypalenie elementów paliwowych z torem – w reaktorze Fort ST Vrain (USA) 170 GWd/tTh – w porównaniu do paliwa uranowego do 60 GWd/tU. W Advanced Heavy Water Reactor (AHWR) w Indiach ponad 75% energii jest wytwarzana z U233 wygenerowanym, w umieszczonych w tym reaktorze prętach torowych.

Podsumowanie

Reasumując, można wymienić szereg czynników, które mogą spowodować wstrzymanie rozwoju energetyki jądrowej na świecie czy też w poszczególnych krajach. Ale tym powodem nie może być rzeczywista ograniczoność zasobów paliw jądrowych. Najpoważniejszymi przyczynami może być brak konkurencyjności energetyki jądrowej z innymi źródłami energii, jak również nieufność społeczeństwa w odniesieniu do technologii energetyki jądrowej. W odniesieniu do konkurencyjności to wśród obecnie eksploatowanych lub rozwijanych technologiach wytwarzania energii, energetyka jądrowa nie ma perspektywicznego konkurenta. Wzrostowi konkurencyjności energetyki jądrowej będą sprzyjać wprowadzane w Unii Europejskiej ograniczenia w emisjach szkodliwych substancji oraz gazów cieplarnianych do środowiska. Z całą odpowiedzialnością twierdzę, że bez wykorzystania energetyki jądrowej Unia Europejska nie osiągnie zakładanych poziomów emisji CO₂ do środowiska. Zastosowanie rozwijanych obecnie technologii CCS (*Carbon Capture and Storage*), czy CCT (*Clean Carbon Technology*) znacznie zwiększy konkurencyjność energetyki jądrowej w stosunku do obiektów wykorzystujących spalanie paliw organicznych.

Natomiast nieufność społeczeństwa do energetyki jądrowej zmieni się pod wpływem wzrastających cen energii elektrycznej, obciążonej kosztami zakupu limitów CO₂, kosztami budowy i eksploatacji elektrowni z układami CCS oraz wzrastającymi kosztami wydobycia węgla, spowodowanymi koniecznością budowy nowych kopalni, zapewnieniem godziwej płacy górnikom i warunków bezpieczeństwa ich pracy.

Literatura

- [1] Presentation, RS 038-00. American Nuclear Society Winter Meeting Reno, 2001.
- [2] Annual Report 2007 — Euratom Supply Agency.
- [3] Uranium 2007 — Resources, production and demand. Nuclear Energy Agency and International Atomic Energy Agency, 2008.
- [4] World Uranium Mining, World Nuclear Association Information Papers, July 2008.
- [5] SUTHERLAND J., 2003 — Nuclear cycles and nuclear resources. Energy Pulse.
- [6] A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems. US DOE Nuclear Energy Advisory Committee and the Generation IV International Forum. December 2002.
- [7] The Sustainable Nuclear Energy Technology Platform. A vision report. European Commission, Directorate-General for Research, EURATOM, 2007.
- [8] Thorium (2008) World Nuclear Association Information Papers, March 2008
<http://www.worldnuclear.org/info/inf62.htm>
- [9] CHWASZCZEWSKI S., KILIM S., MAŁY M., 2007 — Wykorzystanie toru w energetyce jądrowej. Polityka Energetyczna t. 10, z. spec. 2, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, s. 97–112.

Stefan CHWASZCZEWSKI

The accessibility of the nuclear fuel can be a barrier for use of the nuclear power in future?

Abstract

The analysis of nuclear fuels resources – in particularly of the uranium – used in nuclear energy-reactors were presented. It is shown that negative estimations of uranium accessibility on nuclear power expansion in future was based on the comparison of present production cost determined reserve with present or future demand of this fuel. The small tenderness of costs of the electricity generation in NPP on natural uranium costs will accept higher cost of uranium production leading to considerable enlarged uranium resources.

The perspective technologies of use nonfissionable materials as U230 and thorium in nuclear power generation were presented. The use of such breeding materials significantly enlarges of nuclear fuel resources.

KEY WORDS: nuclear fuel, uranium, thorium, nuclear reactor

