



SPOKOJNIE, URANU WYSTARCZY

dr inż. Andrzej Strupczewski
prof. nadzw. NCBJ

NIEWYCZERPALNY

Możliwość uzyskiwania uranu z wody morskiej może zapewnić praktycznie niewyczerpalne zasoby paliwa dla elektrowni jądrowych, co zapobiegnie wzrostowi cen uranu w miarę wyczerpywania tanich złóż rudy uranowej na lądzie

Fot.: 123.rf

Oceany zawierają ponad 4 miliardy ton uranu. Przy wykorzystaniu go jako surowca do produkcji paliwa jądrowego jest to dość, by zaspokoić potrzeby energetyczne całego świata. Jedyne warunki to opanowanie opłacalnego procesu ekstrakcji uranu z wody morskiej. A ubiegły rok przyniósł nam ogromny postęp w technice wydobywania.

Zasoby uranu w złożach lądowych

Zapewnienie tanich i niezawodnych technologii pozyskiwania uranu jest niezbędne, by energetyka jądrowa pozostała źródłem energii dla wielu pokoleń. Obecne ceny uranu są tak niskie, że jego koszt stanowi tylko około 5% całkowitego kosztu energii elektrycznej z elektrowni jądrowej. Dlatego bodźce ekonomiczne do poszukiwania nowych złóż uranu są słabe i tempo poszukiwań znacznie mniejsze niż było w połowie ubiegłego wieku. Mimo to, zasoby uranu rosną na skutek odkryć nowych złóż i w ciągu ostatniej dekady zwiększyły się o 30%.

Według ocen eksperckich zaakceptowanych przez Parlament Europejski, zidentyfikowane zasoby uranu przy stosowaniu obecnej techniki wydobywania i wykorzystaniu ich w reaktorach III generacji wystarczą na ponad 200 lat, a po wprowadzeniu cyklu zamkniętego z wielokrotnym wykorzystaniem paliwa jądrowego w reaktorach IV generacji – na dziesiątki tysięcy lat.

Chociaż przeciwnicy energetyki jądrowej od dziesiątków lat twierdzą, że uranu wkrótce zabraknie, kolejne raporty OECD co dwa lata rozpraszają te obawy. Najnowszy raport, który ukazał się w listopadzie 2016, kolejny raz potwierdził, że zasoby uranu są obfite, większe niż innych metali lub paliw i wystarczą dla energetyki jądrowej przez ponad 240 lat¹. Pomimo stałego wydobywania uranu jego znane zasoby w ziemi nie uległy zasadniczej zmianie od 2014 roku, gdy wydano poprzednią edycję raportu OECD. Rozpoznane zasoby uranu możliwe do wydobywania po koszcie poniżej 260 USD/kg U wzrosły nieznacznie o 0,1% i wynoszą obecnie 7,64 mln ton uranu. W kategorii zasobów, które można wydobyć po kosztach poniżej 80 USD/kg U, wystąpił wzrost o 8,6% z 1,96 mln tU do 2,13 mln tU.

W kategorii zasobów pewnych, największe złoża rudy uranowej występują w Australii, a dalej w kolejności idą Kanada, Kazachstan, Namibia, Rosja, Republika Południowej Afryki, Brazylia i inne kraje. Rozkład geograficzny złóż rudy uranowej jest inny niż rozkład zasobów ropy naftowej lub gazu ziemnego, a dzięki przynależności mających uran krajów do strefy wolnego handlu nie ma niebezpieczeństwa, że któryś z nich zechce wykorzystać uran jako broń strategiczną, pozwalającą narzucać swe zdanie innym krajom.

Niewyczerpalne zasoby uranu w wodzie morskiej

Chociaż prognozy ekspertów wskazują, że uranu ze złóż lądowych starczy na długo, w sporach o przyszłość energetyki jądrowej wciąż powraca zarzut, że uranu zabraknie². Przeciwnicy energetyki jądrowej stawiali nawet wymaganie, by wydanie licencji na budowę elektrowni jądrowej uzależnić od przedłożenia przez inwestora kontraktów na dostawy uranu wystarczające na cały przewidywany okres pracy tej elektrowni. Dlatego obok poszukiwań złóż uranu na lądzie, już od połowy XX wieku prowadzono prace zmierzające do opracowania technologii, która umożliwiłaby uzyskanie uranu z wody morskiej.

Stężenie uranu rozpuszczonego w wodzie morskiej jest bardzo niskie, zaledwie około 3 miligramy na tonę, podczas gdy najbogatsze rudy uranowe (Kanada) zawierają 200 kg uranu na tonę. Ale wody w oceanie jest dużo – 1250 milionów km sześciennych. W sumie w wodzie morskiej rozpuszczone są 4 miliardy ton uranu.

Co więcej, stężenie uranu w wodzie jest regulowane przez reakcje chemiczne w stanie niemal równowagi pomiędzy wodą a skałami w skorupie ziemskiej, a skały te zawierają 100 000 miliardów ton uranu. Gdy część uranu zostanie usunięta z wody morskiej, dalsze ilości uranu będą wymyte przez wodę morską ze skał. Proces ten zapewnia utrzymanie koncentracji uranu w wodzie morskiej na stałym poziomie. Ludzie nie mogliby wydobyć tak dużo uranu z wody morskiej, by jego stężenie w wodzie zmalało, nawet gdyby energia jądrowa zaspakajała 100% potrzeb energetycznych ludzkości przez miliard lat³.

Innymi słowy, uran w wodzie morskiej jest w pełni odnawialny. Tak odnawialny jak promieniowanie słoneczne. Oczywiście, ilość uranu na Ziemi jest skończona. Ale Słońce również ciągle wypromieniowuje część swojej masy i w przyszłości musi się wypalić⁴. Gdy dojdzie do tego za pięć miliardów lat, nawet wiatr na Ziemi przestanie wiać, bo nasza atmosfera wyparuje w chwili agonii Słońca przemieniającego się w Czerwonego Karła. Ale wtedy troska o klasyfikację wiatru i uranu będzie najmniejszym z naszych zmartwień.

Historia badań nad ekstrakcją uranu z wody morskiej

Poszukiwania metod wydobywania uranu z wody morskiej prowadzono od lat 50. do 80. w Niemczech, we Włoszech, w Wielkiej Brytanii i w USA. W Japonii od 1981 r. do 1988 r. Agencja Zasobów Naturalnych i Energii, Ministerstwo Międzynarodowego Handlu i Przemysłu oraz Agencja Górnictwa Metali współpracowały dla doskonalenia metod adsorpcji uranu z wody morskiej w oparciu o adsorbenty z dwutlenku tytanu TiO_2 . Adsorpcja zachodziła, ale powoli. W latach 90. naukowcy z Japońskiej Agencji Energii Atomowej (JAEA) podjęli swe prace na nowo, tym razem w oparciu o włókna na bazie amidoksyumu.

RYS. 1

Położenie warkoczy adsorbentu w morzu (cytowane za zezwoleniem PNNL)⁵



W badaniach prowadzonych od 1999 do 2001 r. w Oceanie Spokojnym w pobliżu prefektury Aomori udało się doprowadzić do uzyskania w ciągu 30 dni 0,5 g uranu na kg adsorbentu, a więc pięciokrotnie więcej niż uzyskiwano przy użyciu TiO_2 .

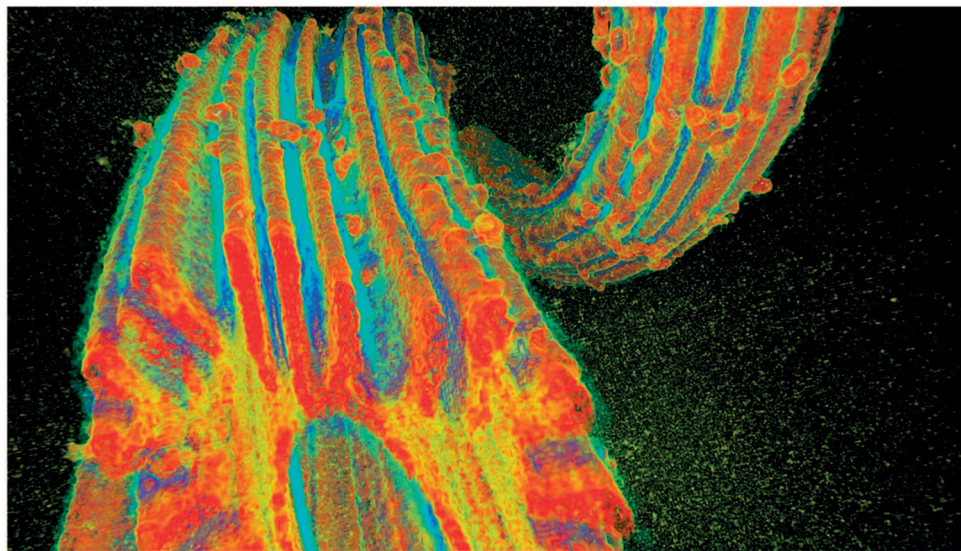
W 2012 roku zespół badaczy japońskich ocenił, że przy ówczesnie dostępnej technologii można wydobywać uran z wody morskiej po cenie 300 USD za kilogram. Była to cena trzykrotnie wyższa od ówczesnej ceny rynkowej, ale te osiągnięcia technologiczne stały się podstawą do szerszych badań, które obecnie przyniosły upragnione rezultaty.

Równoległe z Japonią intensywne badania prowadziły Stany Zjednoczone. W 2011 r. Departament Energii USA zainicjował multidyscyplinarny program mający doprowadzić do ekonomicznie opłacalnego wydobywania uranu z wody morskiej. Uczestniczyli w nim specjaliści z laboratorium narodowych, uniwersytetów i instytutów badawczych USA. Naukowcy amerykańscy współpracowali z naukowcami z Japonii i Chin w ramach umów zawartych między Departamentem Energetyki (DOE) USA a JAEA i Chińską Akademią Nauk. Głównym celem było opracowanie i sprawdzenie nowej generacji adsorbentów, które wykazują większą zdolność wiązania uranu, większą szybkość tego procesu i mniejszą degradację przy wielu cyklach użycia ich w wodzie morskiej. W ciągu 5 lat zespół tych naukowców opracował nowe adsorbenty, które pozwoliły na znaczne obniżenie kosztów ekstrakcji uranu z wody morskiej.

Wytworzenie materiału najkorzystniejszego dla adsorpcji uranu z wody morskiej wymagało zespołu specjalistów w dziedzinie chemii, komputerów, zjawisk oceanicznych i ekonomistów. Analizy komputerowe zapewniły wgląd w grupy chemiczne wiążące selektywnie uran. Badania termodynamiczne rzuciły światło na chemię uranu i jego związki chemiczne występujące w wodzie morskiej. Studia kinetyczne pozwoliły wykryć czynniki, które regulują tempo wiązania uranu w wodzie morskiej z materiałami adsorbującymi. Zrozumienie własności adsorbentów w laboratorium było sprawą kluczową dla opracowania najbardziej opłacalnych adsorbentów i przystosowania ich do jak największego pochłaniania uranu.

Ta zbiorowa praca doprowadziła do stworzenia warkoczy włókien polietylenowych o średnicy około 15 cm i długości wielu metrów, zawierających związek chemiczny zwany amidoksymem, który przyciąga uran. Dotychczas badania prowadzono w laboratorium z prawdziwą wodą morską, gdzie

przepływ wody przez włókna zapewniało pompowanie pochłaniające znaczną energię. Ale na następnym etapie prac warkocze amidoksymowe umieszczono w oceanie, gdzie naturalne procesy mieszania wody pozwalają uniknąć wydatków na pompowanie dużych ilości wody morskiej przez włókna. Po kilku tygodniach zanurzenia w wodzie morskiej włókna nasycone tlenkiem uranu są zdalnie kierowane na powierzchnię i zbierane. Obróbka kwasowa powoduje desorpcję – to jest uwolnienie – jonów uranylu i regeneruje adsorbent tak, że warkocze można



RYS. 2
Warkocze z amidoksymu z adsorbowanym na nich uranem
(źródło: Andy Sproles at ORNL⁷ – cytowane za zezwoleniem)

wykorzystywać wiele razy. Skoncentrowane związki uranylu można wzbogacać, a po dalszej obróbce otrzymuje się materiał paliwowy dla elektrowni jądrowych⁵.

W 2012 roku badacze z laboratoriów Oak Ridge National Laboratory (ORNL) i Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) opublikowali zachęcające wyniki prób prowadzonych przy użyciu technologii japońskiej. Udało im się podwoić ilość uranu otrzymanego przy użyciu włókien plastikowych o powierzchni dziesięciokrotnie większej niż w rozwiązaniu japońskim. Zmniejszyło to koszt pozyskania uranu z wody morskiej z 1232 USD/kg do 660 USD/kg.

W kolejnych latach badacze z PNNL przebadali adsorbenty opracowane w ORNL i w innych laboratoriach, stosując pobraną z zatoki Sequim Bay w stanie Waszyngton wodę morską filtrowaną i niefiltrowaną, w warunkach kontrolowanej temperatury i przepływu. Poza badaniami adsorbentów w wodzie morskiej w naturalnych warunkach, badacze ocenili zdolność adsorbentu do przyciągania uranu, jego trwałość, wpływ narostu organizmów morskich na adsorpcję uranu i względną toksyczność materiałów adsorbujących. Laboratorium PNNL przeprowadziło także doświadczenia mające na celu optymalizację procesu uwalniania uranu z adsorbentu i ponownego wykorzystania adsorbentu przy użyciu roztworów kwasowych i dwuwęglanowych.

Przeprowadzone do 2016 roku badania w morzu wykazały, że opracowany w ORNL adsorbent potrafi zatrzymać 5,2 grama uranu na kilogram adsorbentu w ciągu 49 dni wystawienia go na działanie naturalnej wody morskiej. Warkocz adsorbentu miały średnicę 15 cm i długość kilkunastu metrów. Dalsze próby prowadzone w amerykańskim programie „Uranium from Seawater” doprowadziły w połowie 2016 roku do uzyskania 6 gramów uranu na kilogram adsorbentu po 56 dniach wystawienia go na działanie wody morskiej. Oznaczało to wydajność o 15% wyższą niż rezultaty opublikowane w pierwszym kwartale 2016 roku.

Setki warkocz z włókien adsorbujących uran są zakotwiczone w wodzie morskiej przez około miesiąc lub dwa, dopóki nie napełnią się uranem. Następnie na sygnał radiowy są one uwalniane z uwięzi i wypływają

”

Już od połowy XX w. prowadzono prace zmierzające do opracowania technologii, która umożliwiłaby uzyskanie uranu z wody morskiej

na powierzchnię, gdzie odzyskuje się uran, a warkocz wprowadza ponownie pod wodę.

Badacze z PNNL wystawili włókna adsorbujące uran opracowane w ORNL na działanie wody morskiej oraz bakterii tlenowych *pseudomonas fluorescens*, zdolnych do wytwarzania fluorescencyjnego barwnika peptydowego, powodującego świecenie w promieniach UV. Przy użyciu udoskonalonego źródła fotonów dla mikrotomografii w Argonne National Laboratory utworzono trójwymiarowe zdjęcia pozwalające określić mikrostrukturę i skutki interakcji z wodą morską i organizmami morskimi.

Sukces badaczy z laboratorium w Stanford

W połowie 2016 roku badacze z laboratorium w Stanford opracowali ulepszoną technologię tego procesu⁸. Użyli oni prototypowego włókna wykonanego z amidoksydu i przewodzącego prąd związku węgla. Dzięki przesyłaniu prądu wzdłuż włókna udało się zaabsorbować dziewięciokrotnie więcej uranu niż poprzednio, bez osiągnięcia stanu nasycenia włókna. W ciągu 11-godzinnego testu przeprowadzonego w Half Moon Bay w USA, włókna wychwyciły trzy razy więcej uranu i miały trzykrotnie dłuższy czas życia od standardowego amidoksydu. Oznacza to otwarcie drzwí do wprowadzenia uranu uzyskiwanego z wody morskiej jako źródła paliwa dla elektrowni jądrowych. Do zrobienia pozostaje wciąż wiele, ale opłacalność energetyczna procesu ekstrakcji uranu z wody morskiej

została zademonstrowana. Możliwość uzyskiwania uranu z wody morskiej może zapewnić praktycznie niewyczerpalne zasoby paliwa dla elektrowni jądrowych, co zapobiegnie wzrostowi cen uranu w miarę wyczerpywania tanich złóż rudy uranowej na lądzie. Proces ten daje krajom niemającym własnych złóż uranu gwarancję, że będą zawsze miały surowiec energetyczny wystarczający do zaspokojenia ich potrzeb.

Opanowanie technologii wydobywania uranu z wody morskiej oznacza istotny przełom w klasyfikowaniu różnych źródeł energii. Dotychczas lobbyści wiatru i paneli fotowoltaicznych forsowali pojęcie „odnawialnych” w przeciwieństwie do „nieodnawialnych” źródeł energii. Tymczasem ilość uranu w wodzie morskiej jest nie tylko niewyczerpalna, ale i odnawialna w ścisłym tego słowa znaczeniu⁹.

Pojęcie „energia odnawialna” oznacza, że energia, którą ludzie uzyskują ze źródeł naturalnych zostaje odtworzona wskutek procesów zachodzących w przyrodzie. Obecnie uran jako paliwo jądrowe spełnia wymagania tej definicji. Energia atomowa jest energią w pełni dyspozycyjną, generowaną zgodnie z potrzebami człowieka, w przeciwieństwie do wiatru i słońca, które generują energię niestabilnie i niepewnie w zależności od pory dnia i warunków meteorologicznych. Dlatego klasyfikowanie energii jądrowej jako OZE byłoby pomniejszeniem jej wartości. Natomiast można i trzeba stwierdzić, że zasoby uranu są z punktu widzenia potrzeb ludzkości równie niewyczerpalne jak zasoby OZE.

Literatura

- 1 Uranium 2016: Resources, Production and Demand, OECD 2016, NEA No. 7301, NUCLEAR ENERGY AGENCY, ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, <https://www.oecd-neo.org/ndd/pubs/2016/7301-uranium-2016.pdf>
- 2 <http://www.stormsmith.nl/i43.html>
- 3 <http://ansnuclearcafe.org/2016/10/03/nuclear-power-becomes-completely-renewable-with-extraction-of-uranium-from-seawater/#sthash.d11Y2iYL.F7zVRzkL.dpbs>
- 4 http://energyeducation.ca/encyclopedia/Nuclear_fusion_in_the_Sun
- 5 <http://ansnuclearcafe.org/2016/10/03/nuclear-power-becomes-completely-renewable-with-extraction-of-uranium-from-seawater/#sthash.d11Y2iYL.F7zVRzkL.dpbs>
- 6 <http://ansnuclearcafe.org/2016/10/03/nuclear-power-becomes-completely-renewable-with-extraction-of-uranium-from-seawater/#sthash.d11Y2iYL.X5Okmt3c.dpuf>
- 7 <http://ansnuclearcafe.org/2016/10/03/nuclear-power-becomes-completely-renewable-with-extraction-of-uranium-from-seawater/#sthash.d11Y2iYL.tZ608q1a.dpuf>
- 8 <https://www.engadget.com/2017/02/20/endless-nuclear-power-can-be-found-in-the-seas/>
- 9 <http://ansnuclearcafe.org/2016/10/03/nuclear-power-becomes-completely-renewable-with-extraction-of-uranium-from-seawater/#sthash.d11Y2iYL.F7zVRzkL.dpbs>