

Konferencja naukowo-techniczna „Polska nauka i technika dla elektrowni jądrowych w Polsce”

Konferencję naukowo-techniczną „POLSKA nauka i technika dla elektrowni jądrowych w Polsce” organizuje Polskie Towarzystwo Nukleoniczne w dniach 13-14 stycznia 2011 roku w Mądralinie koło Warszawy. Nawiązuje ona do dwudniowej konferencji, która odbyła się w pod hasłem „POLSKA nauka i technika dla energetyki jądrowej jutra” w dniach 13-14 kwietnia 2000 roku.

Celem Konferencji jest przedstawienie możliwości udziału polskiej nauki (wyższe uczelnie i instytuty naukowo-badawcze) oraz techniki (zakłady przemysłowe) w budowie i eksploatacji elektrowni jądrowej w Polsce. Każdy z potencjalnych oferentów zapewnia o udziale polskiego przemysłu w budowie elektrowni, ale konieczne jest skorelowanie możliwości krajowych przedsiębiorstw z potrzebami i wymaganiami, jakie stawia energetyka jądrowa. Wiadomo że niektóre zakłady przemysłowe już

uczestniczą w budowie elektrowni jądrowych za granicą (EJ Olkiluoto w Finlandii). W przyszłości udział tych zakładów w inwestycjach krajowych powinien być znacznie większy. Drugim, równie ważnym zagadnieniem jest wykorzystanie możliwości polskiej nauki także w przygotowaniu kadr do bezpiecznej i efektywnej ekonomicznie eksploatacji elektrowni jądrowych. Organizatorzy mają nadzieję, że dyskusja przedstawicieli przemysłu i nauki pozwoli znaleźć sposoby sprostania wysokim wymaganiom stawianym przez producentów instalacji jądrowych.

Zadaniem Konferencji będzie próba oceny możliwości polskiego przemysłu oraz programu działania dla uczelni i instytutów. Przewidywane są trzy sesje tematyczne: ogólna, uczelnie i instytuty, przemysł krajowy, a na zakończenie dyskusja panelowa. Planuje się zorganizowanie sesji plakatowej.

Wojciech Głuszewski

Czy możemy mieć uran dla przyszłych reaktorów energetycznych z własnych zasobów?

Na to pytanie pozwoli odpowiedzieć realizowany obecnie w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej (IChTJ) projekt badawczy „Analiza możliwości pozyskiwania uranu dla energetyki jądrowej z zasobów krajowych”, współfinansowany przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka. Pracuje nad nim konsorcjum naukowe składające się z Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej oraz Państwowego Instytutu Geologicznego (PIG). W przeszłości oba instytuty uczestniczyły w programie energetyki jądrowej, którego uwieńczeniem miała być budowa pierwszej elektrowni jądrowej w Żarnowcu. Już wtedy opracowywano niektóre etapy cyklu paliwowego, m.in. początkową fazę pozyskiwania uranu z wykorzystaniem krajowych zasobów. Zaowocowało to szeregiem

oryginalnych rozwiązań aparaturowych i technologicznych.

Celem obecnie realizowanego projektu jest rozpoznanie możliwości zaspokojenia potrzeb polskiej energetyki jądrowej w uran z wykorzystaniem krajowych zasobów, a także opracowanie metod jego pozyskiwania zarówno z rud uranowych, jak i odpadów przemysłowych i półproduktów. Pod uwagę brane są odpady z przemysłu miedziowego, fosforyty – używane w technologii produkcji nawozów sztucznych, a także kwas fosforowy – produkt pośredni procesu. Zostaną opracowane schematy procesowe oraz studia ekonomiczno-techniczne otrzymywania uranu z wytypowanych źródeł krajowych.

Uran jest paliwem dla większości pracujących obecnie elektrowni jądrowych. Jest on najcięższym pierwiastkiem występującym naturalnie na Ziemi,

m.in. w skałach, glebie, wodzie i organizmach żywych. Więcej uranu znajduje się w minerałach, takich jak uraninit i blenda smolista, złożone tlenki, krzemiany, fosforany, wanadany, węglany, siarczany, fluorki, arseniany i in. W przyrodzie uran występuje w trzech formach izotopowych: ^{238}U (ok. 99,3%), ^{234}U (ok. 0,006%) i rozszczepialnego pod wpływem neutronów powolnych ^{235}U (ok. 0,7%). Wzbogacony w ^{235}U uran naturalny jest stosowany jako paliwo w reaktorach jądrowych. Zanim jednak paliwo trafi do elektrowni wydobyta ruda uranowa musi przejść wiele etapów technologicznych, jak: kruszenie, mielenie, ługowanie oraz oczyszczanie na drodze ekstrakcji i wymiany jonowej. W ich efekcie otrzymuje się czysty tlenek U_3O_8 , tzw. *yellow cake*, który jest materiałem wyjściowym do produkcji pastylek paliwowych. Uzyskany tlenek ma naturalny skład izotopowy, zatem musi zostać wzbogacony w ^{235}U w wielostopniowych kaskadach rozdzielczych. Wzbogacanie izotopowe prowadzone jest w fazie gazowej, dlatego stały tlenek musi wcześniej ulec konwersji do gazowego sześćfluorku uranu UF_6 . Po procesie wzbogacania następuje ponowna konwersja do tlenku U_3O_8 , z którego produkuje się paliwo.

Polska, jak większość krajów na świecie, posiada jedynie ubogie złoża rud uranowych. W latach siedemdziesiątych w kraju działało 5 kopalni uranu, zlokalizowanych w Sudetach i w Górach Świętokrzyskich. Według Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (dane z 2003 r.) zasoby czystej rudy uranowej występują w Polsce w okolicach miejscowości: Grzmiąca (woj. dolnośląskie), Kowary (woj. dolnośląskie, powiat jeleniogórski), Krynica Morska (woj. pomorskie, powiat nowodworski), Okrzeszyn (woj. dolnośląskie, powiat kamiennogórski), Radoniów (woj. dolnośląskie, powiat lwówecki), Rajsk (woj. podlaskie, powiat bielski) i Wam-

bierzyce (woj. dolnośląskie, powiat kłodzki). Zawartość uranu w polskich rudach waha się od 250 do 1100 ppm. Obecnie żadna z wcześniej eksploatowanych kopalni nie pracuje, gdyż bogate i łatwo dostępne zasoby uranu zostały wyczerpane, a wykorzystanie pozostałych wydaje się dzisiaj nieopłacalne. Rozpoznane wstępnie złoża położone w rejonie Obniżenia Podlaskiego i Mierzei Wiślanej wymagają szczegółowych badań geologicznych i geofizycznych.

Wzrost cen uranu na światowym rynku oraz postęp technologiczny w dziedzinie górnictwa uranowego mogą sprawić, że nieuzasadniona dzisiaj ekonomicznie eksploatacja polskich złóż może być opłacalna w przyszłości. Ocenie krajowych złóż, a także materiałów odpadowych z przemysłu miedziowego i nawozów sztucznych, jako potencjalnych źródeł uranu dla polskich elektrowni jądrowych, ma służyć realizowany przez IChTJ i PIG projekt. Bez względu na obecną zasadność wydobycia uranu w Polsce, taka ocena jest ważna z punktu widzenia strategicznych celów państwa. Polska potrzebuje energetyki jądrowej, bo tylko ona może zaspokoić zapotrzebowanie kraju na energię elektryczną, które około roku 2020 ma się podwoić. Energia uzyskiwana w elektrowniach jądrowych jest tańsza, a jej produkcji nie towarzyszy emisja CO_2 . Zapewnienie bezpieczeństwa paliwowego przyszłych elektrowni jest ważnym elementem rozwoju energetyki jądrowej i powinno być przedmiotem pierwszych decyzji podjętych przez państwo decydujące się na taką opcję pozyskiwania energii. Rozwinięcie tematyki badawczej związanej z cyklem paliwowym umożliwi również odbudowanie polskiego potencjału naukowo-badawczego utraconego w momencie zaniechania budowy energetyki jądrowej po roku 1990.

Grażyna Zakrzewska-Trznadel

Tor paliwem jądrowych reaktorów energetycznych

W światowej energetyce nadszedł czas trudnych wyborów koniecznych do zapobiegania zmianom klimatycznym i zwiększenia globalnego bezpieczeństwa energetycznego. Gwałtowny wzrost zapotrzebowania na energię – szczególnie rozwijających się Chin i Indii – nie tylko powoduje zmiany w środowisku, lecz również szybki spadek zasobów surowców energetycznych. Analizy wykazują, że ograniczenia w dostępie do surowców energetycznych mogą wystąpić już w drugiej połowie XXI wieku.

Spadek zasobów surowców energetycznych dotyczy również energetyki jądrowej. Przy obecnym poziomie wykorzystania paliwa jądrowego na poziomie 6% w mixie paliw pierwotnych konwencjonalnych zasobów uranu – ocenianych na ponad 17 mln ton – wystarczy na około 400 lat. W sytuacji ograniczenia dostępu do innych surowców ener-

getycznych i zwiększającego się zapotrzebowania na energię jądrową niezbędną będzie zmiana technologii wykorzystania paliw jądrowych – z technologii bazującej głównie na rozszczepialnym izotopie ^{235}U na technologię bazującą w większym stopniu na ^{238}U i ^{232}Th . Około 40% energii wytwarzanej w reaktorach LWR pochodzi z rozszczepień izotopów ^{239}Pu i ^{241}Pu , które powstają w wyniku przetwarzania ^{238}U (cykl U-Pu). Wykorzystanie paliwa typu MOX zwiększa ten udział o 14%. Tor naturalny, posiadający jeden izotop ^{232}Th , po napromieniowaniu neutronami w reaktorze przekształca się w rozszczepialny izotop ^{233}U . Proces ten jest określany jako cykl Th-U i jest analogiczny do procesu U-Pu.

Cykl paliwowy U-Pu jest wykorzystywany od początku ery atomowej. To w tym cyklu wytwarzano pluton do zastosowań militarnych. To ten pro-

ces jest dodatkowym źródłem energii w obecnie eksploatowanych reaktorach LWR. Trwają prace nad zwiększeniem udziału wytworzonego w reaktorze plutonu w generacji energii.

Tor, pierwiastek, może być stosowany w reaktorze jądrowym jako materiał paliworodny. Cykl Th-U ma szereg zalet w porównaniu z cyklem U-Pu, a mianowicie:

- Zawartość toru w skorupie ziemskiej jest około trzy do czterech razy większa niż uranu. Tor może być wydobywany metodami odkrywkowymi.
- Wydajność wytwarzania rozszczepialnego izotopu w cyklu Th-U jest około czterokrotnie większa niż w cyklu U-Pu. O ile uzyskanie powielania paliwa (wytworzenie w procesie większej ilości materiału rozszczepialnego niż wykorzystanego) w przypadku cyklu U-Pu jest możliwe tylko w reaktorach powielających na neutronach prędkich, to w przypadku cyklu Th-U teoretycznie jest to możliwe w reaktorach lekkowodnych lub ciężkowodnych.
- Zastosowanie paliwa torowego do celów militarnych nie jest możliwe ze względu na silnie gamma promieniotwórczy izotop ^{232}U , będący nieodzownym zanieczyszczeniem powstającego ^{233}U .
- Dzięki znacznemu opóźnieniu w powstawaniu ^{233}U w cyklu Th-U istnieje możliwość wykorzystania go jako wypalającej się trucizny na początku cyklu paliwowego w reaktorze i jako źródła materiału rozszczepialnego w końcu cyklu paliwowego. Efekt ten pozwala na znaczne wydłużenie czasu pracy reaktora bez załadunku nowego paliwa.
- Możliwość uzyskania rozszczepialnego izotopu ^{233}U w procesie chemicznego przerobu napromienionego toru z nieznacznym zanieczyszczeniem innymi izotopami uranu.
- Znaczące zmniejszenie ilości długożyciowych transuranowców w wypalonym paliwie.

Prace badawcze nad zastosowaniem toru w reaktorach energetycznych prowadzono już w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych ubiegłego stulecia. Zostały one przerwane po katastrofie reaktora w Czarnobylu w perspektywie odchodzenia społeczeństw od energetyki jądrowej. Obecny renesans energetyki jądrowej i perspektywa znaczącego wzrostu zapotrzebowania na materiały rozszczepialne spowodowały powrót do badań nad wykorzystaniem cyklu Th-U do wytwarzania materiałów rozszczepialnych. Wiodącym krajem w tym zakresie są Indie, gdzie uzyskano w modyfikowanych reaktorach ciężkowodnych 70% udział cyklu Th-U w wytwarzaniu energii.

Od kwietnia 2009 roku Instytut Energii Atomowej POLATOM we współpracy z Instytutem Chemii i Techniki Jądrowej realizuje projekt pt: „Analiza efektów wykorzystania toru w jądrowym reaktorze energetycznym”, finansowany z Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka nr UDA-POIG. 01.03.01-00-076/08-00.

Do głównych zadań projektu należy:

- opracowanie systemu programów do analiz kampanii paliwowej reaktorów PWR(EPR);
- określenie zawartości izotopów w napromienionych w reaktorze MARIA próbkach ThO_2 i na podstawie wyników pomiarów określenie metody wyznaczania uśrednionych przekrojów czynnych procesów zachodzących w cyklu Th-U dla przyjętych w obliczeniach kampanii paliwowej grup energetycznych neutronów;
- zbadanie efektów zastosowania prętów z ThO_2 lub UO_2/ThO_2 w kampanii paliwowej reaktora PWR(EPR).

Na podstawie dostępnej literatury zebrano informacje o konstrukcji rdzenia reaktora EPR. Nie jest to prosty reaktor do obliczeń kampanii paliwowej. W rdzeniu tego reaktora zastosowano 7 rodzajów kaset paliwowych, w których wykorzystano paliwo jądrowe o różnym stopniu wzbogacenia w izotop ^{235}U , nawet wzdłuż wysokości pręta paliwowego. Szereg prętów paliwowych w każdej kasecie zawiera dwutlenek uranu domieszkowany rozmieszczoną w centralnej części rdzenia, wypalającą się trucizną (Gd_2O_3) o różnej koncentracji.

Do obliczeń kampanii reaktora użyto systemu programów GNOMER-2 (udostępnionego przez NEA DATA BANK), opartego na programach WIMS do transportowych obliczeń makroskopowych przekrojów czynnych dla wszystkich rodzajów siatek reaktorowych oraz programie GNOMER do obliczeń przestrzenno-energetycznych rozkładów strumieni neutronów i rozkładów generowanej mocy. Dla sprawdzenia poprawności działania wymienionego powyżej systemu kodów przeprowadzono obliczenia testowej kampanii paliwowej EJ Almaraz udostępnionej przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej. W celu porównania przeprowadzono obliczenia kaset reaktora kodem Monte Carlo MCPN/MCPNX 2.6.0. Trwają prace nad prawidłowym odwzorowaniem w programach obliczeniowych prętów paliwowych z wypalającymi się truciznami.

Przeprowadzono napromieniania próbek dwutlenku toru w kilku miejscach rdzenia reaktora MARIA charakteryzujących się różnym rozkładem energetycznym strumienia neutronów. Próbki te zawierały kilka miligramów ThO_2 do badań składu izotopowego metodą gamma spektrometrii oraz próbki zawierające około 100 mg ThO_2 do analiz chemicznych i spektrometrii masowej. Próbki te napromieniano razem z monitorami fluencji neutronów.

Oddzielnym problemem było określenie rozkładu energetycznego neutronów w poszczególnych miejscach napromieniania próbek w reaktorze MARIA. Do tego celu wykorzystano tzw. detektory aktywacyjne mające zróżnicowaną zależność przekroju czynnego od energii neutronów. Przeprowadzono napromieniania detektorów aktywacyjnych zawierających ^{197}Au , ^{59}Co , ^{45}Sc , ^{113}In , ^{46}Ti , ^{47}Ti , ^{48}Ti , ^{54}Fe , ^{58}Fe , ^{58}Ni . Część z tych detektorów umieszco-

no w osłonie kadmowej chroniącej detektory przed oddziaływaniem neutronów termicznych. Rozkłady energetyczne neutronów w miejscach pomiaru wyznaczano za pomocą kodu REBUS/WIMS. Przedmiotem porównań były szybkości reakcji w wymierzonych wyżej detektorach aktywacyjnych. Obecnie trwają prace nad usunięciem rozbieżności między mierzonymi i obliczonymi wielkościami.

Pomiary zawartości izotopów wytworzonych w próbce napromienionej w reaktorze dwutlenku toru prowadzone są metodą spektrometrii gamma zarówno w Instytucie Energii Atomowej POLATOM, jak również w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej. Napromienione próbki są obecnie „chłodzone” w celu rozpadu ^{233}Pa , którego promieniowanie gamma dominuje w zmierzonych widmach.

W Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej prowadzone są badania, których celem jest opracowanie metody oznaczania stosunków izotopowych U powstałego z Th napromienionego w strumieniu neutronów w reaktorze jądrowym. Do napromienienia użyto ThO_2 . Opracowano metodę przeprowadzania ThO_2 do roztworu. Na podstawie studiów literaturowych do rozpuszczania ThO_2 wytypowano układy: TOREX ($13\text{ M HNO}_3 + 0,1\text{ M AlNO}_3 + 0,05\text{ M HF}$) oraz mieszaninę HNO_3 stęż. + $0,0001\text{ M NaF}$. Prowadzono badania w celu optymalizacji procesu rozpuszczania (wpływu temperatury, stężenia jonów F^- jako katalizatora i czasu prowadzenia procesu). Proces prowadzono w układzie zamkniętym w bombie teflonowej. Oznaczenia składu pierwiastkowego ThO_2 wykonano metodą neutronowej analizy aktywacyjnej (oznaczenie pierwiastków tworzących długożyciowe radionuklidy w wyniku reakcji wychwytu radiacyjnego neutronów) oraz metodą spektrometrii mas plazmy indukcyjnie

wzbudzonej (ICP-MS). Na podstawie uzyskanych wyników wybrano ThO_2 o odpowiedniej czystości i napromieniono próbki o masie 100 mg w reaktorze MARIA.

Prowadzono także badania nad metodą wydzielenia U z napromienionego ThO_2 . Badano następujące układy rozdzielcze: Dowex 50WX8[H^+] – HNO_3 , Dowex 1X8[Cl^-] – HNO_3 , TEVA i UTEVA – kwas solny i $\text{CF}_3\text{SO}_3\text{H}$, TEVA i UTEVA – HNO_3 oraz układ ekstrakcyjny TOPO/SM-2 – kwas solny i azotowy. Opracowana, zoptymalizowana procedura zostanie zastosowana do rozdzielania U, Pa i Th z napromienionego ThO_2 i oznaczenia stosunków izotopowych wydzielonego U metodą ICP-MS.

Wynikiem badań nad zastosowaniem prętów z ThO_2 lub ThO_2/UO_2 w reaktorze energetycznym PWR – których zakończenie jest przewidywane na koniec września 2011 roku – będzie:

- określenie oszczędności paliwa uranowego;
- możliwość wydłużenia okresu eksploatacji reaktora pomiędzy przeładunkami paliwa;
- redukcja ilości i radiotoksyczności wypalonego paliwa;
- ocena możliwości uzyskania powielania paliwa w cyklu Th-U.

Dodatkową korzyścią wynikającą z prac nad projektem jest możliwość wyszkolenia kadry oraz przystosowanie posiadanych narzędzi obliczeniowych do analiz kampanii paliwowych nowoczesnych reaktorów energetycznych wodno-ciśnieniowych, do których zalicza się reaktor EPR opracowany przez firmę AREVA. Zarówno kadra, jak i zestaw kodów obliczeniowych będzie przydatny do analiz kampanii paliwowych reaktorów przewidywanych do budowy w Polsce.

Stefan Chwaszczewski



**INNOWACYJNA
GOSPODARKA**

NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Instytut Chemii i Techniki Jądrowej realizuje projekt „Centrum Radiochemii i Chemii Jądrowej na potrzeby energetyki jądrowej i medycyny nuklearnej” współfinansowany przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Regionalnego. Projekt uzyskał dofinansowanie w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, 2.1. Rozwój ośrodków o wysokim potencjale badawczym.



Wydawca: Polskie Towarzystwo Nukleoniczne
c/o Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, ul. Dorodna 16, 03-195 Warszawa
tel. 22 504 12 88, fax: 22 811 15 32??, e-mail: ptn@ichtj.waw.pl, www.nuclear.pl

Kolegium redakcyjne: Wojciech Głuszewski, Edward T. Józefowicz, Andrzej Mikulski, Tadeusz Musiałowicz, Ryszard Siwicki, Zdzisław Stęgowski, Lech Waliś (przewodniczący)

Skład i korekta: Ewa Godlewska-Para

Materiały informacyjne: wykorzystano materiały własne, jak również z NucNet, Postępów Techniki Jądrowej, World Nuclear Association News Briefing.

Publikacja dofinansowana przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.