

ARTYKUŁY

CHEMICZNE ASPEKTY ENERGETYKI JĄDROWEJ W PROJEKCIE NARODOWEGO CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU

„TECHNOLOGIE WSPOMAGAJĄCE BEZPIECZNY ROZWÓJ ENERGETYKI JĄDROWEJ”

*Chemical aspects of nuclear power in the National Centre
of Research and Development project*

„Technologies supporting the safe development of nuclear power”

Jacek Michalik

Artykuł przedstawia najważniejsze rezultaty prac prowadzonych w ramach trzech zadań projektu strategicznego Narodowego Centrum Badań i Rozwoju „Technologie wspierające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej” dotyczących chemicznych aspektów energetyki jądrowej. W realizacji tych zadań koordynowanych przez Instytut Chemii i Techniki Jądrowej uczestniczyło 14 różnych instytucji.

The article presents the most important results of three research tasks in NCBR (National Centre of Research and Development) strategic project “Technologies supporting the safe development of nuclear power” related to chemical aspects of nuclear energy production. Fourteen institutions coordinated by the Institute of Nuclear Chemistry and Technology had been working on different topic related to those research tasks.

Słowa kluczowe: chemia cyklu paliwowego, chemia wody układu chłodzącego, generacja wodoru

Key words: fuel cycle chemistry, chemistry of water cooling system, hydrogen generation

W celu wsparcia rządowego programu rozwoju energetyki jądrowej Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR) ustanowiło strategiczny projekt badawczy „Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej”. Projekt ten realizowany w latach 2010 - 2014 składał się z 10 zadań badawczych, z których trzy dotyczące chemicznych aspektów energetyki jądrowej koordynowane były przez Instytut Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie:

- Zadanie nr 4 „Rozwój technik i technologii wspomagających gospodarkę wypalonym paliwem i odpadami promieniotwórczymi”,
- Zadanie nr 7 „Analiza procesów generacji wodoru w reaktorze jądrowym w trakcie normalnej eksploatacji w sytuacjach awaryjnych z propozycjami działań na rzecz podniesienia bezpieczeństwa jądrowego”,
- Zadanie nr 8 „Analiza procesów zachodzących przy normalnej eksploatacji obiegów wodnych z propozycjami działań na rzecz podniesienia bezpieczeństwa jądrowego”.

Główna tematyka tych zadań została ukierunkowana na zagadnienia istotne dla bezpieczeństwa eksploatacji reaktorów jądrowych, które aktualnie rozwijane są przez wiodące ośrodki jądrowe na świecie tak, aby umożliwić włączanie się polskich naukowców w międzynarodowe programy badawcze. Zainteresowanie ich wynikami wyra-

ziły Polska Grupa Energetyczna - PGE EJ 1 i Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych - ZUOP wyrażając je w pismach skierowanych do NCBR.

Tematyka zadania nr 4 dotyczyła końcowej części cyklu paliwowego, postępowania z wypalonym paliwem i odpadami promieniotwórczymi oraz wydzielania plutonu i długożyciowych aktywności z wypalonego paliwa, obejmowała również pewne zagadnienia wytwarzania prekursorów paliwa dla reaktorów nowych generacji. W realizacji zadania uczestniczyło, osiem instytucji naukowych: Narodowe Centrum Badań Jądrowych, POLATOM, Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Instytut Fizyki Jądrowej, Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych, Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Chemii Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej i Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych.

Znaczącą część prowadzonych prac stanowiły badania nad zmniejszeniem radiotoksyczności nisko- i średnioaktywnych odpadów promieniotwórczych. Przebadano kilka nowych sorbentów umożliwiających oczyszczanie odpadów ciekłych oraz wykonano optymalizację procesów hybrydowych oraz ich ocenę techniczno-ekonomiczną w celu zastosowania w procesach przeróbki odpadów ciekłych. Opracowano także metody zestalania wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych w szklach oraz

materiałach typu Synroc oraz zbadano właściwości tych materiałów. Wykazano, że tani krajowy materiał - glinaka czerwona - posiada właściwości sorpcyjne, które pozwalają stosować go jako bariery w składowiskach nisko- i średnioaktywnych odpadów promieniotwórczych. W ramach zadania opracowano też metody odzysku wybranych izotopów promieniotwórczych z odpadów powstałych podczas przerobu paliwa jądrowego (^{106}Ru , ^{90}Sr i ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{65}Zn), które mogą znaleźć zastosowanie w innych dziedzinach niż energetyka jądrowa.

Zadanie nr 8 realizowane było przez sieć naukową, w skład której wchodził Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Instytut Chemii Fizycznej PAN, Wydział Chemii Uniwersytetu Warszawskiego oraz Uczelniane Centrum Badawcze „Materiały Funkcjonalne” Politechniki Warszawskiej. Prawidłowa kontrola składu chemicznego wody chłodzącej jest jednym z najważniejszych zagadnień decydujących o bezpiecznej pracy reaktora. Woda obiegu pierwotnego zawiera izotopy promieniotwórcze powstające w wyniku aktywacji niektórych zawartych w wodzie chłodzącej substancji śladowych, m.in. dyfundujących z nieszczelnych prętów paliwowych i produktów korozji materiałów konstrukcyjnych. Ponadto woda ulega radiolizie, co powoduje powstawanie wielu agresywnych chemicznie produktów, takich jak rodniki hydroksylowe, wodór atomowy, czy nadtlenek wodoru. Produkty te w znaczny sposób wpływają na szybkość korozji materiałów konstrukcyjnych elementów obiegu pierwotnego i koszulek paliwowych.

W trakcie realizacji zadania opracowano szereg nowych rozwiązań analitycznych umożliwiających ocenę szczelności prętów paliwowych i wykorzystujących między innymi metody przepływowe do oznaczania Sr^{90} , Tc^{99} , Pu^{241} i Am^{241} . Zaproponowano także optymalne metody monitoringu stężenia produktów korozji obiegu pierwotnego z wykorzystaniem spektrometrii mas i chromatografii jonowej. Ważnym aspektem były zagadnienia związane z opracowaniem nowoczesnych selektywnych sorbentów do oczyszczania wody obiegu pierwotnego z cezu i innych radionuklidów również w sytuacji awaryjnej, gdy do chłodzenia używana jest woda morska zawierająca duże ilości sodu.

W zadaniu nr 7, w którym uczestniczyły cztery jednostki zewnętrzne: Wydział Chemiczny Politechniki Łódzkiej, Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni im. Jerzego Habera PAN, Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej Politechniki Warszawskiej oraz Instytut Techniki Ciepłej Politechniki Śląskiej podjęto próbę kompleksowej analizy zagadnień związanych z powstawaniem wodoru w wodzie obiegu pierwotnego oraz usuwaniem go z obudowy bezpieczeństwa. Analiza ta obejmowała zarówno rozpoznanie reakcji radiacyjnych, jak i procesów termokatalitycznych prowadzących do rozkładu wody chłodzącej w aktualnie pracujących reaktorach wodno-ciśnieniowych (PWR), a także ocenę nowych rozwiązań technologicznych, które mogą wyraźnie ograniczyć gromadzenie się wodoru w obudowie reaktora w sytuacjach awaryjnych.

W badaniach radiacyjnych skoncentrowano się na określeniu wpływu temperatury i zanieczyszczeń tlenkami metali w wodzie chłodzącej na wydajność chemoradiacyjną cząsteczkowego wodoru. Wykonane badania potwierdziły gwałtowny wzrost szybkości utleniania wody atomem wodoru wraz ze wzrostem temperatury. W temperaturze pracy chłodziwa wodnych reaktorów jądrowych ($\sim 300^\circ\text{C}$) reakcja ta staje się istotnym źródłem wodoru i korozjogennego rodnika hydroksylowego.

Badania nad rozprzestrzenianiem się wodoru w obudowie reaktora w wyniku awarii LOCA prowadzono przy zastosowaniu metod obliczeniowych CFD - kodu Ansys Fluent oraz systemowego kodu obliczeniowego HEPSCAL. Modelowanie CFD cyrkulacji gazu oraz procesów kondensacji pary wodnej wewnątrz instalacji TOSQAN przeznaczonej do badania procesów zachodzących w obudowie bezpieczeństwa reaktorów LWR wykazało dobrą zgodność obliczeń z wynikami doświadczalnymi. Kod HEPSCAL zastosowano do symulacji awarii LOCA w reaktorach EPR i ABWR. Zmiany koncentracji wodoru w obudowie bezpieczeństwa wskazują na przekroczenie granicy zapłonu wodoru (4%) po ok. pół godzinie od momentu wystąpienia rozszczelnienia. Wyniki wskazują również na możliwość istotnego obniżenia ilości gazowego wodoru w obudowie, w której zainstalowano pasywne autokatalityczne rekombinatory wodoru (PAR).

W ramach zadania opracowano także nowe katalizatory dla rekombinatorów wodoru (PAR) wykazujące aktywność już przy niskim stężeniu wodoru oraz niski stopień dezaktywacji pod wpływem wody. Katalizatory te zawierają nanocząstki bimetaliczne Pd-Pt i Pd-Au osadzone na nośnikach SiO_2 i Al_2O_3 .

W realizacji wszystkich zadań uczestniczyło wielu młodych naukowców, którzy prowadząc prace badawcze oraz biorąc udział w seminariach i konferencjach zdobyli szeroką wiedzę z zakresu atomistyki. Ta młoda kadra badawcza w przeszłości będzie stanowić zaplecze naukowe dla polskiej energetyki jądrowej.

Jednocześnie wyniki prowadzonych prac, jak i wykształcone przy realizacji projektu kadry, winny być wykorzystane zarówno przez PGE EJ 1, Państwowej Agencji Atomistyki oraz ZUOP przy wyborze technologii, ich ocenie, zapewnieniu spełniania standardów bezpieczeństwa. A także w trakcie budowy i eksploatacji pierwszej polskiej elektrowni jądrowej.

Bieżący numer PTJ zawiera szczegółowe omówienie rezultatów uzyskanych w trakcie realizacji zadania nr 4. W następnym numerze zostaną przedstawione rezultaty prac w zadaniach 7 i 8.

*prof. dr hab. Jacek Michalik,
zastępca dyrektora IChTJ ds. Naukowych,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa*