



INSTYTUT CHEMII
I TECHNIKI JĄDROWEJ



Narodowe Centrum
Badań i Rozwoju

ROZWÓJ TECHNIK I TECHNOLOGII WSPOMAGAJĄCYCH GOSPODARKE WYPALONYM PALIWEM I ODPADAMI PROMIENIOTWÓRCZYMI

Zadanie wykonane

w ramach projektu strategicznego NCBR

TECHNOLOGIE WSPOMAGAJĄCE ROZWÓJ BEZPIECZNEJ ENERGETYKI JĄDROWEJ

INSTYTUT CHEMII I TECHNIKI JĄDROWEJ

Warszawa 2014

Redaktor naukowy

dr Leon Fuks

Redakcja techniczna i skład

mgr Ewa Godlewska-Para

Projekt okładki

Sylwester Wojtas

Instytucje realizujące zadanie nr 4 „Rozwój technik i technologii wspomagających gospodarkę wypalonym paliwem i odpadami promieniotwórczymi” strategicznego projektu badawczego Narodowego Centrum Badań i Rozwoju „Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej”



Instytut Chemii i Techniki Jądrowej – koordynator zadania



Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica



Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego PAN



Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych



Narodowe Centrum Badań Jądrowych



Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej



Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych



Narodowe Centrum Badań Jądrowych – POLATOM

© Copyright by Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa 2015

ISBN 978-83-933935-3-4

SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA	5
Rozdział 1 ZBADANIE WPLYWU WYBRANYCH LIGANDÓW HYDROFILOWYCH NA PROCES GRUPOWEJ EKSTRAKCJI AKTYNOWCÓW – GANEX <i>Jerzy Narbutt, Magdalena Rejnis, Irena Herdzik-Koniecko, Łukasz Steczek, Artur Wodyński</i>	9
Rozdział 2 BADANIA STABILNOŚCI RADIACYJEJ WYBRANYCH UKŁADÓW EKSTRAKCYJNYCH WAŻNYCH Z PUNKTU WIDZENIA PROCESU GANEX <i>Monika Celuch, Krzysztof Bobrowski</i>	27
Rozdział 3 BADANIA STABILNOŚCI RADIACYJNEJ CIECZY JONOWYCH STOSOWANYCH W EKSTRAKCJI PLUTONU I AKTYNOWCÓW MNIejszościowych <i>Tomasz Szreder, Grażyna Strzelczak, Andrzej Skrzypczak</i>	47
Rozdział 4 BADANIA TRANSMUTACJI DŁUGOŻYCIOWYCH PRODUKTÓW ROZSZCZEPIONIA ORAZ AKTYNOWCÓW W REAKTORACH PRĘDKICH I W PODKRYTYCZNYM ZESTAWIE STEROWANYM PRZEZ ZEWNĘTRZNE ŹRÓDŁO NEUTRONÓW (ADS) <i>Marcin Szuta, Stanisław Kilim, Elżbieta Strugalska-Gola, Bronisław Słowiński</i>	65
Rozdział 5 OTRZYMYWANIE ZrO₂ ZA POMOCĄ KOMPLEKSOWEJ METODY ZOL-ŻEL (CSGP) <i>Marcin Brykała, Rafał Walczak, Magdalena Rejnis</i>	89
Rozdział 6 LOCAL MINERALS FOR ENGINEERING BARRIERS FOR THE NATIONAL RADIOACTIVE WASTE REPOSITORY (NRWR): SORPTION OF U(VI), Am(III), Sr(II) AND Cs(I) IONS ON RED CLAY <i>Ewelina Grabias, Jan Solecki, Agnieszka Gładysz-Płaska, Leon Fuks, Agata Oszczak, Marek Majdan</i>	105
Rozdział 7 INTELIGENTNE NANOSORBENTY DO ZASTOSOWAŃ W BEZPIECZNEJ ENERGETYCE JĄDROWEJ <i>Wojciech Starosta</i>	115
Rozdział 8 MODYFIKOWANE ZWIĄZKI NATURALNE JAKO SORBENTY W PROCESACH SKŁADOWANIA NISKO- I ŚREDNIOAKTYWNYCH ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH <i>Agata Oszczak, Leon Fuks, Marek Majdan</i>	135

Rozdział 9**ROZWÓJ TECHNIK I TECHNOLOGII W ZAKRESIE PRZEROBU I POSTĘPOWANIA Z NISKO- I ŚREDNIOAKTYWNYMI ODPADAMI PROMIENIOTWÓRCZYMI – PROCESY HYBRYDOWE**

Grażyna Zakrzewska-Kołtuniewicz, Agnieszka Miśkiewicz, Wioleta Olszewska, Marian Harasimowicz, Agnieszka Jaworska-Sobczak, Corneliu Cojocar

149

Rozdział 10**ROZWÓJ TECHNIK I TECHNOLOGII W ZAKRESIE ZMNIEJSZENIA RADIOTOKSYCZNOŚCI ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH, W TYM METODAMI RADIOCHEMICZNYMI**

Barbara Filipowicz, Magdalena Blicharska, Barbara Bartoś, Monika Łyczko, Przemysław Koźmiński, Marek Pruszyński, Aleksander Bilewicz

167

Rozdział 11**ELEKTROCHEMICZNE METODY WYDZIELANIA METALI Z ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH**

Izabela Cieszykowska, Małgorzata Żółtowska, Mieczysław Mielcarski

171

Rozdział 12**WYTWARZANIE ZA POMOCĄ CYKLOTRONU AIC-144 IZOTOPÓW RADIOAKTYWNYCH DO WYKORZYSTANIA W BADANIACH DOTYCZĄCYCH GOSPODARKI WYPALONYM PALIWEM JĄDROWYM**

Ryszard Misiak, Bogdan Wąs, Mirosław Bartyzel, Jerzy Wojciech Mietelski

189

Rozdział 13**OTRZYMYWANIE SZKIEŁ KRZEMIONKOWYCH ORAZ MATERIAŁÓW TYPU SYNROC**

Patryk Wojtowicz, Tomasz Smoliński, Andrzej Deptuła

205

Rozdział 14**ANALIZA WŁASNOŚCI PIROCHLORU W WARUNKACH NARAŻENIA NA DEFEKTOWANIE RADIACYJNE**

Jacek Jagielski, Iwona Józwick-Biała, Anna Piątkowska, Grzegorz Gawlik, Urszula Brykała, Przemysław Józwick, Magdalena Romaniec, Andrzej Zagojski

219

Rozdział 15**MATERIAŁY DO UNIESZKODLIWIANIA STAŁYCH ODPADÓW NISKO- I ŚREDNIOAKTYWNYCH**

Paweł Stoch, Małgorzata Ciecńska, Agata Stoch

227

Rozdział 16**WYKORZYSTANIE PIERWIASTKÓW WYODREBNIONYCH Z WYPALONEGO PALIWA DO WYTWARZANIA PREKURSORÓW PALIWA DO REAKTORÓW NOWEJ GENERACJI**

Marcin Brykała, Marcin Rogowski

235

PRZEDMOWA

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej od 2011 roku uczestniczył w realizacji strategicznego projektu badawczego Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBR) „Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej”. Projekt ten był odpowiedzią na postulat zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego kraju w warunkach wdrażania w Polsce energetyki jądrowej i miał ścisły związek z implementacją „Polityki energetycznej Polski do 2030 roku”, dokumentu przyjętego uchwałą Rady Ministrów, oraz z przyjęciem przez Unię Europejską pakietu klimatyczno-energetycznego.

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej był głównym wykonawcą zadania nr 4 „Rozwój technik i technologii wspomagających gospodarkę wypalonym paliwem i odpadami promieniotwórczymi” wspomnianego projektu badawczego.

Głównym celem zadania nr 4 było wykonanie badań naukowych i prac rozwojowych dotyczących przechowywania, przerobu, przetwarzania i składowania wypalonego paliwa jądrowego oraz odpadów promieniotwórczych, które powstaną w trakcie eksploatacji przyszłych polskich elektrowni jądrowych, a aktualnie generowane są przez przemysł i medycynę nuklearną.

Cele szczegółowe zadania były następujące:

- metody wyodrębniania plutonu i długozyciowych aktywności oraz wykorzystywanie ich do wytwarzania prekursorów paliwa dla reaktorów nowej generacji;
- metody skracania okresu rozpadu promieniotwórczego składników wypalonego paliwa w reaktorach na neutrony prędkie lub metodami transmutacji (tj. przemian jednych pierwiastków w inne zachodzących w wyniku reakcji jądrowych);
- opracowanie nowych technologii przerobu i postępowania z nisko- i średnioaktywnymi odpadami promieniotwórczymi;
- opracowanie nowych technologii zmniejszenia radiotoksyczności odpadów promieniotwórczych, w tym metodami radiochemicznymi;
- opracowanie fizykochemicznych podstaw technologii kondycjonowania odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa (tj. poddawania materiału zabiegom mającym na celu uzyskanie pożądanego stanu).

Pomimo znacznej poprawy bezpieczeństwa eksploatacji elektrowni jądrowych, w dalszym ciągu otwarty pozostaje problem zagospodarowania zużytego paliwa jądrowego. Przebiegająca elektrownia atomowa o mocy 1 GW produkuje ok. 35-40 ton odpadów promieniotwórczych rocznie. Jedynie ok. 15% wyprodukowanych na świecie odpadów poddawanych jest częściowej przeróbce w nielicznych zakładach we Francji, Szwecji, Japonii i USA. Pozostała część jest składowana. Działanie takie jest potencjalnie niebezpieczne ze względu na nieprzewidywalne, długofalowe skutki wywierane na środowisko naturalne. Ponadto składowane odpady zawierają w dalszym ciągu znaczne ilości materiałów rozszczepialnych oraz innych cennych materiałów, które powinny zostać wykorzystane. Z drugiej strony należy zaznaczyć, że obecne koszty przerobu zużytego paliwa są wysokie i sięgają ok. 1000 dolarów za kilogram materiału. W konsekwencji cena nowego materiału jądrowego jest znacznie niższa niż otrzymanego z wypalonych paliw jądrowych. Z ekonomicznego punktu widzenia istotne jest zatem znaczne obniżenie kosztów przerobu wypalonego paliwa jądrowego.

Realizacja celów zadania badawczego nr 4 była przedsięwzięciem multidyscyplinarnym; obejmowała badania w dziedzinach: chemii, fizyki, nauk materiałowych oraz technicznych. W części dotyczącej syntezy nowych materiałów i prekursorów paliwa zostały zgłoszone dwa patenty oraz przewidywane są kolejne zgłoszenia. Praktycznego wykorzystania rezultatów w pracach nad nowatorskimi rozwiązaniami, wymagającymi szczegółowych badań typu podstawowego, można spodziewać się w przyszłości. Realizacja zadania przewidywała też ścisłą współpracę z przemysłem krajowym (np. Zakładem Unieszkodliwiania Odpadów Pro-

mieniotwórczych, PGE) i unijnym (np. AREVA). Prowadzone wspólnie z ZUOP badania stwarzają możliwość bezpośredniego wykorzystania wyników do planowania programu przechowywania wypalonego paliwa i odpadów promieniotwórczych.

Problem odpadów zawierających substancje radioaktywne jest problemem globalnym i choć Polska obecnie nie posiada energetyki jądrowej, to jej przyszła akceptacja przez polskie społeczeństwo uzależniona jest m.in. od rozwiązania problemu zagospodarowania produkowanych w elektrowniach odpadów. Realizacja projektu powinna przynieść bezpośrednie efekty ekonomiczne przez wprowadzanie rozwiązań ekonomicznych i energooszczędnych, jak i pośrednie – wynikające z pobudzenia gospodarki przez wprowadzanie na rynek nowych, innowacyjnych produktów i technologii.

Rezultaty uzyskane w trakcie realizacji projektu przeznaczone są dla następujących grup odbiorców:

- organów administracji państwowej, osób podejmujących decyzję o budowie elektrowni jądrowych w kraju i zakresie zastosowania w nich krajowych technologii przeróbki odpadów promieniotwórczych;
- ośrodków zajmujących się zastosowaniem izotopów, produkujących izotopy i substancje znaczone, zakładów medycyny nuklearnej, a w przyszłości elektrowni jądrowych, w których zagospodarowanie ciekłych, niskoaktywnych odpadów promieniotwórczych będzie ważnym problemem do rozwiązania.

Pośrednio rezultaty realizacji projektu kierowane są do producentów aparatury dla sektora ochrony środowiska: zakładów zajmujących się wytwarzaniem membran i modułów membranowych oraz całych systemów do filtracji membranowej; do producentów komponentów instalacji do oczyszczania ścieków radioaktywnych – wytwórców układów pomiarowych i aparatury kontrolnej, systemów zdalnego sterowania, producentów pomp wysokociśnieniowych, zaworów i orurowania.

Proponowane metody mogą znaleźć zastosowanie również poza przemysłem jądrowym, w branżach produkujących ścieki o niskim zasoleniu, zawierających substancje toksyczne, niebiodegradowalne, trudne w obróbce i przeznaczone do czasowego składowania.

Dodatkowym, ale bardzo istotnym działaniem podjętym w ramach projektu było kształcenie młodej kadry badawczej, która stanie się naukowym zapleczem dla powstającego w Polsce programu budowy energetyki jądrowej. Część uczestników projektu posiada doświadczenie zdobyte w trakcie prac naukowo-badawczych i konstrukcyjnych prowadzonych dla pierwszej elektrowni jądrowej w Żarnowcu oraz w trakcie staży naukowych w wiodących ośrodkach jądrowych w świecie. Wiedzę tę przekazują oni uczestnikom Studium Doktoranckiego prowadzonego przez Instytut Chemii i Techniki Jądrowej oraz studentom warszawskich uczelni w trakcie wykładów i warsztatów naukowych organizowanych przez IChTJ. Wspólne prowadzenie prac w ramach projektu, zarówno przez dużą liczbę studentów, doktorantów, młodych pracowników naukowych, jak i doświadczonych pracowników, powinno zaowocować wykształceniem młodej kadry i ekspertów dla odradzającej się w Polsce energetyki jądrowej.

Realizacja badań w ramach zadania nr 4 „Rozwój technik i technologii wspomagających gospodarkę wypalonym paliwem i odpadami promieniotwórczymi” przewidywała rozwiązanie sześciu celów szczegółowych:

- 1) rozwój technik i technologii w zakresie wyodrębniania plutonu i długożyciowych aktywności;
- 2) rozwój technik i technologii w zakresie skracania okresu rozpadu promieniotwórczego, komponentów wypalonego paliwa w reaktorach na neutrony prędkie i/lub metodami transmutacji;
- 3) rozwój technik i technologii w zakresie technologii przerobu i postępowania z nisko- i średnioaktywnymi odpadami promieniotwórczymi;
- 4) rozwój technik i technologii w zakresie zmniejszenia radiotoksyczności odpadów promieniotwórczych, w tym metodami radiochemicznymi;

Tabela. Schemat realizacji zadania badawczego nr 4 „Rozwój technik i technologii wspomagających gospodarkę wypalonym paliwem i odpadami promieniotwórczymi” strategicznego projektu badawczego NCBR „Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej”.

Cel szczegółowy	Etap	Tytuł etapu	Rodzaj badań	Podjęmowane działania	Odpowiedzialny
1	1	Rozwój technik i technologii w zakresie wyodrębniania plutonu i długożyciowych aktywności	1	Zbadanie wpływu wybranych ligandów hydrofilowych na proces grupowej ekstrakcji aktywności w procesie GANEX	prof. dr hab. J. Narbutt
				Badania stabilności radiacyjnej wybranych układów ekstrakcyjnych ważnych z punktu widzenia procesu GANEX	
				Badania stabilności radiacyjnej cieczy jonowych stosowanych w ekstrakcji plutonu i aktywności mniejszościowych	
2	2	Skracanie okresu rozpadu promieniotwórczego komponentów wypalonego paliwa w reaktorach na neutrony prędkie i/lub metodami transmutacji	1	Badania transmutacji długożyciowych produktów rozszczepienia oraz aktywności w reaktorach prędkich oraz w podkrytycznym zestawie sterowanym przez zewnętrzne źródło neutronów (ADS) – NCBJ, dr hab. M. Szuta, prof. NCBJ	prof. dr hab. J. Narbutt
				Otrzymywanie ZrO ₂ za pomocą kompleksowej metody zol-żel (CSGP)	
3	3	Krajowe materiały kopalniane jako potencjalne bariery w KSUOP	1	Krajowe materiały kopalniane jako potencjalne bariery w KSUOP	dr L. Fuks
	4	Inteligentne nanosorbenty do zastosowań w bezpiecznej energetyce jądrowej	2	Inteligentne nanosorbenty do zastosowań w bezpiecznej energetyce jądrowej	
	5	Modyfikowane związki naturalne jako sorbenty w procesach składowania nisko- i średnioaktywnych odpadów promieniotwórczych	1	Modyfikowane związki naturalne jako sorbenty w procesach składowania nisko- i średnioaktywnych odpadów promieniotwórczych	
	6	Rozwój technik i technologii w zakresie technologii przerobu i postępowania z nisko- i średnioaktywnymi odpadami promieniotwórczymi – procesy hybrydowe	2	Rozwój technik i technologii w zakresie zmniejszenia radiotoksyczności odpadów promieniotwórczych, w tym metodami radiochemicznymi	
4	7	Zmniejszenie radiotoksyczności odpadów promieniotwórczych, w tym metodami radiochemicznymi	2	Elektrochemiczne metody wydzielenia metali z odpadów promieniotwórczych	prof. dr hab. A. Bilewicz
				Wytwarzanie za pomocą cyklotronu AIC-144 izotopów radioaktywnych służących do wykorzystania w badaniach dla potrzeb nad gospodarką wypalonym paliwem jądrowym – IFJ PAN, prof. dr hab. W.J. Mielicki	
				Otrzymywanie szkieł krzemionkowych oraz materiałów typu Synrock	
5	8	Fizykochemiczne technologie kondycjonowania odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa	2	Analiza własności pirochloru w warunkach narażenia na defektowanie radiacyjne	dr A. Deptuła
				Materiały dla unieszkodliwiania stałych odpadów nisko- i średnioaktywnych	
6	9	Wykorzystywanie wyodrębnionych pierwiastków z wypalonego paliwa do wytwarzania prekursorów paliwa dla reaktorów nowej generacji	2	Wykorzystywanie wyodrębnionych pierwiastków z wypalonego paliwa do wytwarzania prekursorów paliwa dla reaktorów nowej generacji	dr inż. M. Brykała

- 5) rozwój technik i technologii-w zakresie fizykochemicznych technologii kondycjonowania odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa;
- 6) rozwój technik i technologii w zakresie wykorzystywania wyodrębnionych pierwiastków z wypalonego paliwa do wytwarzania prekursorów paliwa dla reaktorów nowej generacji.

Badania podzielono na dziewięć prowadzonych równolegle etapów. Schemat realizacji zadania wraz z podstawowymi informacjami przedstawiono w tabeli. Prace badawcze trwały 36 miesięcy.

W niniejszej monografii przedstawiono aktualny stan wiedzy oraz najważniejsze wyniki uzyskane w ramach wykonywania zadania nr 4.

Dr Leon Fuks