

Zastosowanie energii jądrowej do produkcji energii elektrycznej generuje rocznie ok 12 000 ton wypalonego paliwa. Podczas procesu spalania paliwa w reaktorach powstaje ponad 300 radionuklidów, które pochodzą od blisko 50 różnych pierwiastków układu okresowego (od Ge do Dy i lżejsze aktywnowce). Ponowne przetwarzanie wypalonego paliwa jądrowego w celu odzyskania uranu i plutonu powoduje powstawanie wysoce radioaktywnych płynnych odpadów (HLW), które należy odizolować od biosfery, dopóki ich poziom radiotoksyczności nie spadnie do początkowego poziomu paliwa. Wśród wygenerowanych odpadów znajduje się m.in. długożyciowe izotopy ^{135}Cs , ^{129}I i ^{99}Tc , które wykazują niższą radioaktywność niż aktywnowce, ale są dużo bardziej od nich niebezpieczne ze względu na wysoką mobilność w środowisku geologicznym i rozpuszczalność w wodach gruntowych. W celu ograniczenia ich długotrwałego wpływu na środowisko poddaje się je przekształceniom w krótkotrwałe radionuklidy, stabilne niskotoksyczne izotopy (transmutacja) lub immobilizacji poprzez zamykanie w strukturze materiałów odpornych na czynniki zewnętrzne. W chwili obecnej w celu ograniczenia ryzyka migracji do biosfery, do selektywnej separacji i immobilizacji niebezpiecznych radionuklidów wykorzystuje się trwałe chemicznie materiały o długoterminowej stabilności i wysokiej odporności na uszkodzenia radiacyjne takie jak szkła, ceramiki lub szkło-ceramiki. W zastosowaniach przemysłowych wszystkie elementy HLW są unieruchamiane razem w matrycach stałych ze szkła glinoborokrzemianowego tzw. szklach jądrowych. Inne drogi utylizacji HLW nadal stanowią wielkie wyzwanie i wymagają udoskonaleń metod syntetycznych, aby stały się one istotne i atrakcyjne dla przemysłu.

Dlatego celem niniejszego projektu jest opracowanie nowych, efektywnych, wysoce wydajnych i opłacalnych ekonomicznie metod immobilizacji odpadów radioaktywnych poprzez ich wbudowanie i unieruchomienie w skali atomowej, w trwałych matrycach krystalicznych lub częściowo krystalicznych. Wzoruąc się na występujących w naturze minerałach takich jak perowskit CaTiO_3 , cyrkonolit $\text{CaZrTi}_2\text{O}_7$, kalcyryt $\text{Ca}_2\text{Zr}_5\text{Ti}_2\text{O}_{16}$, tausonit SrTiO_3 czy zeolity, które zbudowane są z połączenia jonów $\text{Ca}^{2+}/\text{Sr}^{2+}/\text{Ba}^{2+}$ i $\text{Ti}^{4+}/\text{Zr}^{4+}$ lub Al^{3+} i Ca^{2+} zaprojektowano heterometaliczne prekursorzy molekularne do wytwarzania matryc immobilizujących odpady radioaktywne. Ponieważ bezpieczna i skuteczna neutralizacja odpadów promieniotwórczych wymaga zastosowania matryc o ściśle określonych właściwościach fizykochemicznych, mechanicznych, stabilności i odporności na różne warunki otoczenia (temperatura, promieniowanie, ciśnienie, kwasowość/zasadowość) do ich wytwarzania wykorzystamy komponenty, których formę końcową będziemy kształtować za pomocą odpowiednio zaprojektowanego heterometalicznego prekursora.

Heterometaliczne klastry zbudowane z dwóch różnych jonów metali i dodatkowych ligandów zawierających atomy B, Si lub P tworzą zdefiniowany na poziomie molekularnym motyw $\text{M}-\text{O}-\text{M}'$ lub $\text{M}-\text{O}-\text{M}'-\text{O}-\text{B}(\text{Si}, \text{P})$, który po usunięciu lotnych związków organicznych przekształcony jest w materiał ceramiczny lub szkło-ceramiczny. Podstawowym celem proponowanych badań jest opracowanie wysoce wydajnych metod unieruchamiania odpadów promieniotwórczych poprzez ich związanie i wbudowanie w matrycę, która pozostanie stabilna przez wiele tysięcy lat.

Istotnym aspektem tego projektu jest znalezienie zależności pomiędzy strukturą prekursora, a postacią matrycy zawierającej związane radionuklidy. Wyniki te będą niezbędne do określenia wpływu struktury prekursora na morfologię i właściwości formowanych materiałów kompozytowych, pozwalając na określenie zmiennych niezbędnych do skutecznej immobilizacji odpadów promieniotwórczych. Informacje te posłużą do znalezienia korelacji między strukturą prekursorów, a właściwościami materiałowymi matrycy. Badania laboratoryjne HLW są niemożliwe do przeprowadzenia ze względu na ich wysoką radioaktywność, dlatego jony lantanowców ($\text{Ln}^{3+}/\text{Ln}^{4+}$) będą stosowane jako mimetyki transuranowców tj. Am^{3+} , Cm^{3+} , Pu^{4+} lub Np^{4+} . Inne radionuklidy krótko- lub długożyciowe, takie jak $^{135,137}\text{Cs}^+$, $^{87}\text{Rb}^+$, $^{90}\text{Sr}^{2+}$, $^{93}\text{Zr}^{4+}$ lub ^{129}I będą symulowane przez ich stabilne izotopy. Wbudowanie modelowych elementów HLW do matryc ceramicznych lub szkło-ceramicznych doprowadzi do powstania materiałów o wyjątkowych właściwościach fizykochemicznych i potencjalnie interesujących zastosowaniach katalitycznych lub elektrochemicznych.