

Skały ilaste – bariery ochronne dla odpadów radioaktywnych

# Ilasta pułapka



## ARKADIUSZ GAŚIŃSKI

Wydział Geologii Uniwersytetu Warszawskiego  
 agasin@uw.edu.pl  
 Dr Arkadiusz Gasiński jest adiunktem na Wydziale Geologii UW zajmuje się surowcami ilastymi i krystalochemią glinokrzemianów



## STANISŁAW SPECZIK

Wydział Geologii Uniwersytetu Warszawskiego  
 Państwowy Instytut Geologiczny  
 Państwowy Instytut Badawczy  
 s.speczik@uw.edu.pl  
 Profesor Stanisław Speczik kieruje zespołem badawczym pracującym na polu poszukiwań złóż metali przy użyciu różnych metod analitycznych, w tym geochemii organicznej

**W wielu krajach europejskich od lat znaczny udział w produkcji energii mają elektrownie nuklearne. Jednym z głównych problemów powstających przy tego typu produkcji są duże ilości szkodliwych odpadów powstających podczas spalania paliwa jądrowego**

Odpady powstające przy produkcji energii w elektrowni nuklearnej są zazwyczaj wysokoaktywne i muszą być składowane w specjalnych warunkach. Obecnie przechowywane są najczęściej w starannie izolowanych składowiskach naziemnych. Jednak coraz częściej myśli się o stosowaniu na szeroką skalę składowisk podziemnych, w których funkcję bariery oddzielającej szkodliwe odpady od biosfery mogłyby pełnić skały. Skały takie muszą spełniać kilka warunków: leżeć na głębokości przynajmniej 200-300 m, mieć odpowiednią miąższość (grubość warstwy skalnej) – zwykle minimum 100 m, charakteryzować się odpowiednio niską przepuszczalnością i dużą zdolnością sorpcyjną, tzn. możliwością zatrzymywania i pochłaniania pewnych składników.

Wśród kandydatów na składowiska odpadowych materiałów wysoko radioaktywnych wymieniane są skały typu granitów, skały solne oraz skały ilaste. Wobec planów zbudowania w Polsce elektrowni jądrowych

problem długoterminowego składowania materiałów aktywnych będzie wymagał zastosowania odpowiednich rozwiązań. Prowadzone na świecie badania wskazują, że to właśnie skały ilaste mogą stać się najlepszą naturalną barierą użyteczną do budowania podziemnych składowisk odpadów radioaktywnych powstałych po stosowaniu paliw jądrowych.

## Zatrzymać radioaktywne atomy

Dlaczego właśnie skały ilaste są rozważane jako jeden z najlepszych materiałów do konstruowania takich składowisk? Celem składowania materiałów radioaktywnych jest zatrzymanie radioaktywnych atomów przez bardzo długi czas w jednym miejscu i uniemożliwienie ich przemieszczania się do biosfery. Zatem skała, w której zbudowane będzie składowisko materiałów radioaktywnych, musi mieć bardzo niską przepuszczalność oraz duże zdolności do sorpcji nuklidów. Takie właśnie warunki spełnia znaczna część skał ilastych.

Skały ilaste są zbudowane głównie z minerałów ilastych – są to minerały najczęściej z grupy smektytów, illitu lub kaolinitu. Minerale te mają szczególną budowę wewnętrzną, która składa się z warstw tworzących różnego rodzaju pakiety decydujące o ich szczególnych właściwościach. Minerale ilaste są ważnymi sorbentami radionuklidów z uwagi na ujemny ładunek pakietów strukturalnych, dużą powierzchnię właściwą i obecność grup wodorotlenowych na powierzchni, co powoduje, że obecność tych minerałów zmniejsza zdolność przemieszczania się zanieczyszczeń radioaktywnych w skałach. Szczególnie korzystne właściwości mają bentonity, powstałe z przeobrażenia skał osadowych pochodzenia wulkanicznego. Bentonit jest materiałem używanym do konstruowania naziemnych składowisk odpadów radioaktywnych. Prowadzone są też badania nad zastosowaniem tego materiału do budowy warstw izolujących dla tego typu odpadów również w składowiskach podziemnych. To właśnie ze skałami ilastymi wiązane są duże



**Kopaliny ilaste**  
towarzyszące złożom  
węgla brunatnego  
w kopalni Turów

nadzieje, gdy w przyszłości konieczne będzie składowanie znacznie większej ilości wysoko radioaktywnych odpadów niż obecnie.

Przy rozpatrywaniu skały ilastej jako przechowalnika odpadów nuklearnych musimy uwzględnić wiele właściwości fizycznych i chemicznych tych skał. Najlepszymi właściwościami sorpcyjnymi charakteryzują się zwykle minerały z grupy montmorillonitu. Minerale z tej grupy wykazują zdolność licznych podstawień i wymiany kationów międzypakietowych. Skały zawierające dużo tych minerałów są również ośrodkami bardzo słabo przepuszczającymi roztwory wodne. Z kolei minerały z grupy kaolinitu cechują się dużo słabszą sorpcją w odniesieniu do kationów metali, w tym również pierwiastków radioaktywnych, zachowując jednak korzystnie niską przepuszczalność. Dlatego bardzo ważne są badania nad składem mineralnym i chemicznym danej skały ilastej. W badaniach wykazano, że możliwości sorpcyjne skał montmorillonitowych z obszaru Polski w odniesieniu do kationów metali ciężkich są duże i można przypuszczać, że podobnie będą kształtować się ich możliwości sorpcyjne względem pierwiastków radioaktywnych.

Jednak nawet pozytywne wyniki badań nad sorpcją i przepuszczalnością kopaliny ilastej nie są wystarczającym kryterium uznania tych skał za potencjalne zbiorniki dla odpadów radioaktywnych. Ważne są bowiem kryteria geologiczne i fizykochemiczne – np. obecność spękań, przewarstwień skał porowatych typu piasków, zjawi-

ska pęcznienia, tworzenie się faz koloidalnych to czynniki mogące sprzyjać migracji roztworów wodnych na znaczne odległości w stosunkowo krótkim czasie, co jest szczególnie niekorzystne przy tworzeniu barier.

Jeśli chcemy zaklasyfikować daną skałę ilastą jako odpowiednią do budowy składowiska materiałów radioaktywnych, niezbędne jest wykonanie wielu badań, m.in. mineralogicznych, składu chemicznego, fazowego, pojemności sorpcyjnej, jak również badań geofizycznych i petrograficznych na skalę regionalną.

### Czym to grozi

Najlepszym rozwiązaniem na przyszłość jest budowanie składowisk dla odpadów radioaktywnych w skałach, minimum 300 m poniżej powierzchni terenu. W momencie wypełnienia składowisk naziemnych wybudowanie takich podziemnych magazynów wydaje się najbezpieczniejszą metodą. Osady ilaste są jedną z najlepszych lokalizacji na takie składowiska, jednak nie mamy jeszcze pełnej wiedzy o oddziaływaniu odpadów radioaktywnych na otaczające skały ilaste. Ważnym przesłaniem w kierunku tworzenia takich konstrukcji jest konieczność długoterminowego składowania odpadów. Tymczasem wzajemne długofalowe oddziaływanie minerałów ilastych z odpadami radioaktywnymi może przybrać nieoczekiwany kierunek. Odpady takie mają zwykle formę szklistej matrycy, w której rozproszone są nuklidy radioaktywne. Znane są badania doku-

## Skały ilaste – bariery ochronne dla odpadów radioaktywnych

mentujące obniżoną trwałość takiego szkliwa w kontakcie z fazami krzemianów warstwowych. Równocześnie dla faz krzemianowych obserwowano obniżenie zdolności sorpcyjnych w kierunku radionuklidów. W wypadku większych głębokości proces ten może zostać przyspieszony przez wysoką temperaturę i ciśnienie. Jest wiele niejasności dotyczących tego typu zjawisk, a szczególnie ich długoterminowego przebiegu. Rodzi się pytanie, czy nie dojdzie np. do dyfuzji znacznych ilości radionuklidów w obrębie skał ilastych?

### Konieczne szczegółowe badania

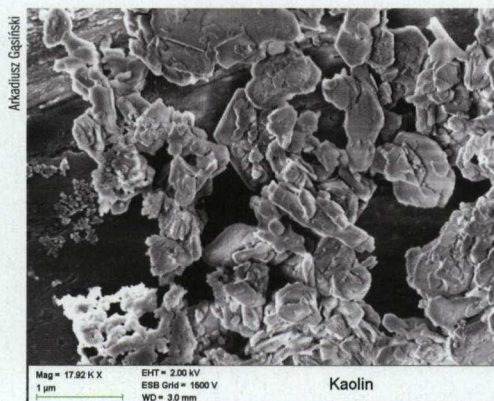
Kolejną bardzo ważną sprawą jest oddziaływanie samych izotopów radioaktywnych z kryształami krzemianów warstwowych. Zjawisko to jest wciąż dość słabo poznane, a bardzo istotne, zarówno w odniesieniu do budowania podziemnych składowisk, jak i w odniesieniu do materiałów ilastych używanych do konstruowania barier naziemnych. Udokumentowane zostało, że obecność nuklidów radioaktywnych powoduje powstawanie defektów punktowych w sieci krystalicznej niektórych minerałów ilastych. Promieniowanie alfa może z kolei doprowadzić do amorfizacji (tzn. przeobrażenia kryształu w ciało bezpostaciowe) struktury krystalicznej minerałów ilastych. Oblicza się, że w wypadku wycieku substancji radioaktywnych amorfizacja inżynierskiej bariery ochronnej z bentonitu nastąpiłaby w ciągu 1000 lat. Proces ten na szerszą skalę może zajść jednak tylko przy ekstremalnie wysokich dawkach promieniowania. Możliwe jest powstawanie istotnych zmian we właściwościach fizykochemicznych krzemianów warstwowych, takich jak zdolność do pęcznienia, zdolność do wymiany jonowej, rozpuszczalność. Efekty te nie zostały jeszcze szczegółowo zbadane. Promieniowanie jonizujące może też doprowadzić do redukcji żelaza w strukturze minerałów warstwowych i przez to powodować zmiany właściwości minerałów ilastych. Konieczne jest zatem prowadzenie dalszych wyprzedzających badań eksperymentalnych nad zmianami właściwości krzemianów warstwowych pod wpływem promieniowania jonizującego. Bardzo ważne jest również prowadzenie stosownego modelowania komputerowego długoterminowych prognoz efektów oddziaływań promieniowania jonizującego w ciągu tysięcy i dziesiątek tysięcy lat.

### Najlepiej pod ziemią

W wypadku uruchomienia w przyszłości elektrowni nuklearnych w Polsce składowanie odpadów radioaktywnych pod powierzchnią ziemi wydaje się najlepszą, najbezpieczniejszą możliwością. Rozstrzygnięcie kwestii, które skały – granity, ewaporaty czy ility – będą najlepszym gospodarzem, wymaga szeroko zakrojonych szczegółowych badań interdyscyplinarnych. Polska jest krajem zasobnym w skały ilaste, niektóre z nich są położone na odpowiedniej głębokości. Wstępne badania pokazują też, że niektóre typy tych skał mają korzystne właściwości sorpcyjne. Jeśli w strategii energetycznej naszego kraju na przyszłe dziesięciolecie zostanie uwzględnione znaczne wykorzystanie energii jądrowej, należy przeprowadzić badania nad potencjalnie użytecznymi typami skał ilastych. Konieczne będzie wybranie najbezpieczniejszej lokalizacji geologicznej oraz szczegółowe określenie właściwości skał w skali regionu. Takie badania mogą okazać się bardzo kosztowne, podobnie jak wybudowanie samego składowiska podziemnego. Wydaje się, że są one jednak niezbędne, by zminimalizować ryzyko wystąpienia skażeń radioaktywnych oraz by wyselekcjonować najlepsze lokalizacje kopalni ilastych do budowy składowisk naziemnych. ■

### Chcesz wiedzieć więcej?

- Allard Th., Calas G. (2009). Radiation effects on clay mineral properties. *Applied Clay Science*, 43, 143-149.
- Deepthi Rani R., Sasidhar P. (2011). Physico-chemical characterization of clays AT Kalpakkam nuclear plant site towards assesment of radionuclide waste disposal. *Nuclear Engineering and Design*, 241, 2353-2358.
- Huysmans M., Dassargues A. (2006). Hydrogeological modeling of radionuclide transport In low permeability media: a comparison between Boom Clay and Ypresian Clay. *Environ. Geol.*, 50, 122-131.



Obraz ziaren kaolinitu widziany w skaningowym mikroskopie elektronowym