

## GEOLOGICZNO-ŚRODOWISKOWE UWARUNKOWANIA SKŁADOWANIA NISKO- I ŚREDNIOAKTYWNYCH ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH W POLSCE

### GEOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL CONDITIONS FOR LOW AND INTERMEDIATE LEVEL RADIOACTIVE WASTE REPOSITORY (LILW) IN POLAND

ZBIGNIEW FRANKOWSKI<sup>1</sup>, PAWEŁ PIETRZYKOWSKI<sup>1</sup>

**Abstrakt.** Prowadzone są prace nad przygotowaniem projektu ostatecznego zamknięcia jedyne w Polsce Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych w Róźnie. Przy ciągłym dopływie odpadów radioaktywnych oraz uwzględnieniu planów rozwoju energetyki jądrowej w kraju, wytypowanie nowej lokalizacji na budowę składowiska jest przedsięwzięciem ważnym. W analizie wyboru nowego miejsca na składowanie radioaktywnych odpadów z różnych gałęzi przemysłu uwzględniane są warunki geologiczne, środowiskowe oraz społeczno-gospodarcze. W artykule przedstawiono dotychczasowe prace związane ze wskazaniem lokalizacji nowego miejsca składowania odpadów promieniotwórczych. Podano kryteria przydatności terenu do budowy takiego składowiska oraz warunki wykluczające lub ograniczające jego lokalizację.

**Słowa kluczowe:** odpady promieniotwórcze, składowisko odpadów.

**Abstract.** The final closure of the only National Radioactive Waste Repository in Różan is in progress. Continuous flow of radioactive waste and nuclear energy development plans in Poland make that the selection of a new location for repository of LILW is an important issue. Searching for a new place to store radioactive waste from various industries takes into account geological, environmental and socio-economic impact. The article presents the previous work related to the indication of the location of a new radioactive waste repository. The criteria of suitability of the site for the construction of the facility and conditions excluding or limiting the location are also pointed in the paper.

**Key words:** radioactive waste, waste disposal facilities.

## WSTĘP

W Polsce źródłem powstawania odpadów promieniotwórczych są różne prace prowadzone w instytutach badawczych, uczelniach i zakładach stosujących radionuklidy. Najczęstszymi odpadami są m.in. zużyte części reaktorów, filtry z układów oczyszczania, odpady podekontaminacyjne i zaaktywowane elementy reaktorowe. Przemysłowym odpadem radioaktywnym są także zużyte przyrządy pomiarowe (gęstościomierze, objętościomierze i popularne „czujki” dymu) oraz odpady pomedyczne w postaci radiacyjnych i radiogra-

ficznych zużytych źródeł terapeutycznych i przemysłowych o dużej aktywności oraz niewykorzystane radiofarmaceutyki i opakowania po nich. Rocznie w Polsce ilość powstających odpadów niskoaktywnych (LLW) wynosi szacunkowo około 300 m<sup>3</sup>, a ilość odpadów średnioaktywnych (ILW) nie przekracza kilku m<sup>3</sup>. Objętość odpadów alfa-promieniotwórczych (RW –  $\alpha$ ) o aktywności > 10 kBq/kg wynosi około 2 m<sup>3</sup> rocznie. Oprócz składowanych odpadów promieniotwórczych również pewną radioaktywnością charakteryzują się popio-

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; zbigniew.frankowski@pgi.gov.pl, pawel.pietrzykowski@pgi.gov.pl

ły ze spalania węgla w elektrowniach węglowych, odpady po wydobyciu i przetwarzaniu związków ropopochodnych, a także odpady „wojskowe”. Naturalną podwyższoną promieniotwórczość mają w wyniku procesów technologicznych odpady po produkcji energii geotermalnej, aluminium i nawozów oraz odpady po wydobyciu złota, srebra, miedzi, cyrkonu, pierwiastków ziem rzadkich i innych. Nie są one jednak składowane jako odpady radioaktywne.

Przepisy, które należy uwzględnić przy ustalaniu warunków zabudowy i zagospodarowania terenu dla potrzeb składowania odpadów promieniotwórczych, obejmują wiele aktów prawnych. Ustawodawstwo w zakresie bezpiecznego składowania odpadów obejmuje bezpośrednio lub pośrednio akty normatywne Unii Europejskiej dotyczące bezpieczeństwa jądrowego, w tym rozporządzenia i dyrektywy Rady Euratom oraz ustawy: Prawo atomowe (Dz.U. Nr 3, poz. 18, z późniejszymi zmianami), Prawo ochrony środowiska (Dz.U. Nr 62, poz. 627, z późniejszymi zmianami), O ochronie przyrody (Dz.U. Nr 92, poz. 880, z późniejszymi zmianami), Prawo budowlane (Dz.U. Nr 89, poz. 414, z późniejszymi zmianami), do którego w Rozporządzeniu Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 września 1998 r. (Dz.U. Nr 126, poz. 839) obiekty energetyki jądrowej zostały zaliczone do trzeciej kategorii geotechnicznej, dla których oprócz dokumentacji geotechnicznej należy wykonać dokumentację geologiczno-inżynierską, a także ustawy: O ochronie gruntów rolnych i leśnych (Dz.U. Nr 16, poz. 78, z późniejszymi zmianami), O planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz.U. Nr 80, poz. 717, z późniejszymi zmianami), Prawo wodne (Dz.U. Nr 115, poz. 1229, z późniejszymi zmianami), O odpadach (Dz.U. Nr 62, poz. 628, z późniejszymi zmianami), Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. Nr 27, poz. 96, z późniejszymi zmianami), gdzie składowanie odpadów

w górotworze, w tym w podziemnych wyrobiskach górniczych, oraz składowanie odpadów na powierzchni wymagają dokumentacji geologiczno-inżynierskiej, oraz najnowszą Ustawę z dnia 29 czerwca 2011 r. – O przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie obiektów energetyki jądrowej oraz inwestycji towarzyszących (Dz.U. Nr 135, poz. 789, z późniejszymi zmianami), w której wyszczególniono obiekty do przechowywania odpadów promieniotwórczych. W wyniku zapisów tej najnowszej ustawy „...decyzję o ustaleniu lokalizacji inwestycji w zakresie budowy obiektu energetyki jądrowej wydaje właściwy miejscowo wojewoda”. Wniosek o wydanie takiej decyzji zawiera „określenie charakterystycznych parametrów technicznych inwestycji oraz danych charakteryzujących jej wpływ na środowisko” oraz opinię „właściwego organu administracji geologicznej – w odniesieniu do terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi, występowania udokumentowanych złóż kopalin oraz przestrzeni objętych wyznaczonymi terenami górniczymi dla kopalin stanowiących przedmiot działalności wydobywczej”.

Polska jest członkiem-założycielem Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (IAEA) od 1957 r. i zobowiązana jest do stosowania międzynarodowych przepisów dotyczących bezpieczeństwa jądrowego przygotowywanych przez IAEA. Dokumenty mające status *Safety Fundamentals* obejmują podstawy zasad bezpieczeństwa i ochrony przy stosowaniu energii nuklearnej w celach pokojowych. Inne mają status *Safety Guides* i zawierają wytyczne i procedury, które powinny być stosowane w celu zachowania bezpieczeństwa przy obiektach energetyki jądrowej. Najważniejszymi dokumentami z serii są *Safety Requirements*, które muszą być stosowane przez państwa członkowskie IAEA w celu zapewnienia bezpieczeństwa w sprawach związanych z energią nuklearną.

## DOTYCHCZASOWE PRACE NAD WYTYPOWANIEM LOKALIZACJI SKŁADOWISKA ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH

Poszukiwania odpowiedniej lokalizacji składowiska odpadów promieniotwórczych (SOP) w Polsce mają już kilkudziesięcioletnią historię. Ukierunkowanie prac w różnych latach zmieniało się ze względu na konieczność dostosowania badań do zadań gospodarczych kraju, jak np. rozpoczęcia budowy elektrowni jądrowej w Żarnowcu.

Prace studialne nad wyselekcjonowaniem obszarów, które są przydatne do budowy składowiska odpadów promieniotwórczych, rozpoczęto w drugiej połowie lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Dotyczyły one wytypowania przydatnych lokalizacji dla składowisk w podziale na powierzchniowe, płytkie podziemne i głębokie podziemne. Za najodpowiedniejsze na składowisko podziemne uznano pokładowe złoża soli kamiennej, skały krystaliczne oraz utwory ilaste o znacznej miąższości. Do budowy składowiska płytkiego podziemnego wskazano formacje ilaste: ility krakowieckie sarmatu oraz ility miopliocenijskie. Obszary występowania piasków sandrowych leżących na glinach zwa-

łowych przyjęto jako korzystne do lokalizacji składowiska powierzchniowego.

Aktualne wytyczne IAEA (1994a, b) wskazują na prowadzenie i dokumentowanie prac w 4 etapach:

1. Koncepcja i planowanie.
2. Badania regionalne.
3. Szczegółowe badania obszarów kandydujących.
4. Badania dokumentujące poprawność wyboru lokalizacji.

W świetle zalecanej metodyki prace badawcze przeprowadzono dla etapów (1–3) preselekcji i selekcji. Z dużych obszarów wyodrębniono tereny perspektywiczne do dalszych badań szczegółowych. W odniesieniu do analizy warunków geologicznych przeprowadzono ocenę przydatności wytypowanych obszarów na podstawie występowania w nich warunków wykluczających lub ograniczających lokalizację.

Charakterystykę obszarów przeprowadzono analizując następujące zagadnienia:

- budowa geologiczna i warunki hydrogeologiczne,
- procesy geodynamiczne,
- potencjał zasobowy surowców mineralnych,
- hydrologia,
- meteorologia i klimat,
- zagospodarowanie i ochrona środowiska.

Większość rozpatrywanych lokalizacji skoncentrowana była w Polsce centralnej, na obszarze występowania sprzyjających warunków klimatycznych dla składowiska powierzchniowego. Warunki wykluczające przyjęto dla obszarów:

- prawnie chronionych (rezerваты, parki narodowe, krajobrazowe),
- o planowanym regionalnym ograniczeniu zagospodarowania przestrzennego,
- pod wpływem skoncentrowanej eksploatacji wód podziemnych,
- o zagrożeniu powodziowym wodą 100- i 500-letnią,
- o występowaniu wód podziemnych o wysokiej mineralizacji,
- o płytkim występowaniu wód gruntowych.

Dla części lokalizacji została wykonana również analiza społeczno-ekonomiczna.

Podsumowanie przeprowadzonych badań i analiz przedstawiono w opracowaniu Włodarskiego i in. (1996). Prace nad wyborem lokalizacji składowiska odpadów promieniotwórczych były kontynuowane w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku przez różne krajowe ośrodki naukowe. W latach 1997–1999 badania poszukiwawcze prowadzono w ramach zintegrowanej strategii państwa w zakresie bezpiecznej gospodarki odpadami promieniotwórczymi oraz wypalonym paliwem jądrowym, opracowanej przez Państwową Agencję Atomistyki i realizowanej jako Strategiczny Program Rządowy (Włodarski, 1995). Badania wykonane przez Państwowy Instytut Geologiczny dotyczyły wyboru lokalizacji powierzchniowego SOP (Frankowski i in., 1997–1999). Rozpoznanie przeprowadzono dla 24 lokalizacji. Oceną objęto różniące się pod względem powierzchni obszary. Ich wielkość wynosiła od kilkunastu – kilkudziesięciu hektarów do powierzchni całych gmin. Dla każdej lokalizacji zebrano następujące dane:

- warunki przyrodnicze i gospodarcze wytypowanych regionów: warunki meteorologiczne, gęstość zaludnienia, sieć osadnicza, planowane kierunki rozwoju regionu,
- możliwość wystąpienia ekstremalnych zjawisk klimatycznych: maksymalne opady i pokrywa śnieżna, maksymalna prędkość wiatru,

- warunki geologiczne, tektoniczne i sejsmiczne,
- warunki hydrogeologiczne: głębokość występowania pierwszego zwierciadła wód podziemnych, izolacja poziomu wodonośnego, położenie względem Głównych Zbiorników Wód Podziemnych,
- warunki geologiczno-inżynierskie: zjawiska geodynamiczne, erozja gruntów, spadki terenu,
- ekologiczna wrażliwość wytypowanych obszarów na potencjalne zagrożenia: odległość od obszarów chronionych, występowanie uprzywilejowanych dróg przepływu, opóźnienie czasu migracji – sorpcja.

Przy dokładniejszym porównaniu poszczególnych lokalizacji wyodrębniono elementy opisu badanego obszaru, które mają podstawowe znaczenie w zakresie radiologicznego bezpieczeństwa składowiska w fazie jego eksploatacji oraz po zamknięciu. Określono warunki bezpiecznej lokalizacji składowiska odpadów promieniotwórczych. W trakcie analiz zwracano uwagę, aby obiekt nie był położony w skomplikowanych warunkach środowiskowych. Zespół rozpatrywanych wówczas kryteriów, wykluczających przydatność obszaru dla lokalizacji SOP, omówiono w pracy Frankowskiego i Mitręgi (1998). Wszystkie rozważane lokalizacje charakteryzowały się stabilnością tektoniczną, hydrogeologiczną, brakiem intensywnych zjawisk erozji oraz nie były zagrożone powodzią. Weryfikacją właściwego doboru lokalizacji i poprawności analiz hydrologicznych było trwałe bezpieczeństwo wytypowanych obszarów w czasie powodzi w 1997 r., której wielkość odpowiadała 500–1000-letniej wodzie i objęła znaczną powierzchnię kraju. Wyniki przeprowadzonego rozpoznania warunków geologicznych i hydrogeologicznych, które uzyskano podczas realizacji tego programu, wskazują, że generalnie można wyróżnić dwa typy lokalizacji SOP:

- typ I – piaski wodnolodowcowe o miąższości około 15 m leżące na glinie zwałowej (**podłoże składowiska przepuszczalne**), zwierciadło wód gruntowych swobodne,
- typ II – glina zwałowa o miąższości około 15 m leżąca na piaskach polodowcowych (**podłoże składowiska słabo-przepuszczalne**), zwierciadło wód gruntowych napięte.

Dla poszczególnych lokalizacji zakres rozpoznania różnił się. Badania odpowiadające trzeciemu etapowi rozpoznania (szczegółowe badania obszarów kandydujących) zostały przeprowadzone w 15 lokalizacjach. Dla żadnej z rozpatrywanych działek/obszarów nie wykonano badań odpowiadających czwartemu etapowi rozpoznania według metodyki IAEA, tj. szczegółowych badań dokumentujących poprawność wyboru. Wytypowane lokalizacje SOP nie uzyskały akceptacji społecznej.

## WARUNKI GEOLOGICZNE WOKÓŁ KRAJOWEGO SKŁADOWISKA ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH W RÓŻANIE

Jedynym w Polsce składowiskiem, w którym są gromadzone od 1961 r. odpady radioaktywne, zlokalizowane jest w Różaniu, około 90 km na NNE od Warszawy. Jeden z trzech betonowych fortów wojskowych z okresu zaborów z początku XX w. przystosowano do składowania opadów promieniotwórczych

nisko- (LLW) i średnioaktywnych (ILW) o okresie połowicznego rozpadu zawartych w nich izotopów  $T_{1/2} < 30$  lat (Frankowski i in., 1997). Czasowo w Różaniu są przechowywane również alfa-promieniotwórcze odpady długożyciowe, które przed zamknięciem składowiska zostaną przeniesione

w inne miejsce. Dla odpadów LLW i ILW wystarczającym zabezpieczeniem jest system barier (*Engineered Barrier System* – EBS) składający się z dwustronnie ocynkowanych bębnow metalowych. Odpady są składowane w betonowych obiektach fortu oraz w odpowiednio przygotowanej fosie. Bębny ułożone warstwami zalewane są betonem z dodatkiem bentonitu, którego właściwości sorpcyjne wspomagają skuteczność izolacji odpadów. Wierzchnia warstwa betonu impregnowana mieszką bitumiczną ogranicza możliwości infiltracji wód opadowych do wnętrza tej konstrukcji.

Dodatkowym zabezpieczeniem przed szkodliwym i niekontrolowanym oddziaływaniem odpadów są sprzyjające warunki geologiczno-przyrodnicze w okolicy składowiska i lokalizacja w odległości ponad 1 km od terenów miejskich. Podłoże i skarpy fosy fortu wojskowego zbudowane są z glin zwałowych zlodowacenia Warty, wykształconych jako gliny piaszczyste, gliny i piaski gliniaste. Grunty spoiste stanowią naturalną warstwę izolującą. Zwierciadło wód podziemnych znajduje się w warstwie piasków pod glinami na głębokości

około 15 m pod dnem fosy i nie jest w żaden sposób zagrożone (fig. 1).

Wody podziemne odpływają w kierunku doliny Narwi oddalonej około 0,8 km od obiektu. Od 1989 r. są one objęte ciągłym monitoringiem. Próbkę wody do badań jakości pobierane są z piezometrów zlokalizowanych na terenie fortu i w jego otoczeniu oraz ze źródeł i wysięków na zboczach doliny Narwi. Monitoring prowadzony jest w 20 punktach obserwacyjnych, w tym także obejmuje studnie ujęcia miejskiego.

Na terenie składowiska i w jego otoczeniu prowadzone są różne badania uzupełniające, dotyczące rozpoznania warunków geologicznych i hydrogeologicznych, wytrzymałości konstrukcji obiektów, stateczności skarp składowiska, zmian położenia koryta Narwi oraz opracowania koncepcji ostatecznego zamknięcia składowiska. Wyniki badań bezpieczeństwa radiologicznego składowiska dla etapu ostatecznego zamknięcia zostały przedstawione w artykule Tomczaka (1998).

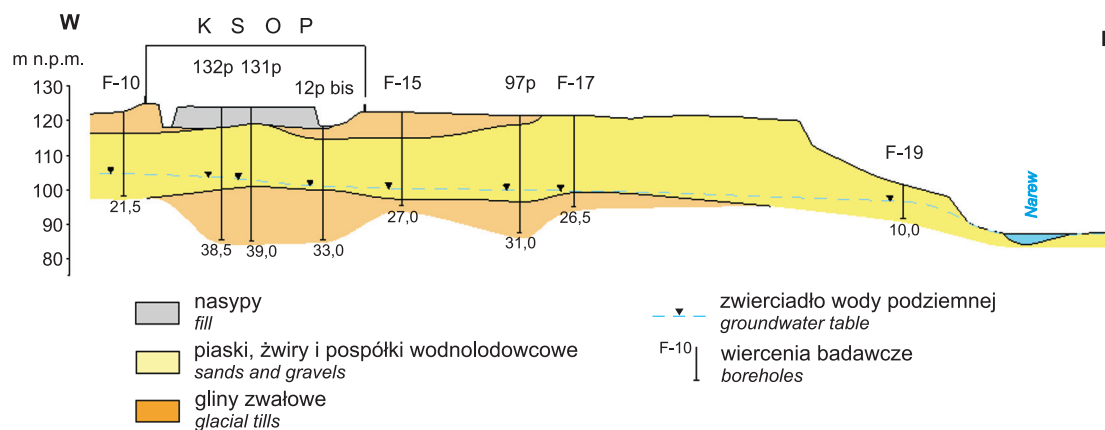


Fig. 1. Przekrój geologiczny przez okolice Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych (KSOP) w Różaniu

Geological cross-section in the area of National Radioactive Waste Repository (KSOP) in Różan

## METODYKA WYBORU LOKALIZACJI NOWEGO SKŁADOWISKA ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH

Ogólne wymagania stawiane przez IAEA (1994a, b) lokalizacji składowisk odpadów promieniotwórczych to:

- proste warunki środowiska umożliwiające wiarygodne udokumentowanie bezpieczeństwa radiologicznego i monitorowanie oddziaływania odpadów na otoczenie,
- stabilność procesów ewolucji obszaru, która jest podstawą prognozowania zmian w przypadku stopniowego uwalniania się radionuklidów w wyniku degradacji barier inżynierskich,
- warunki hydrologiczne i hydrogeologiczne minimalizujące zagrożenia wodne dla systemu składowiska.

Tereny, na których nie wolno lokalizować składowisk, zostały określone w Ustawie z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska (Dz.U. Nr 62, poz. 627, z późniejszymi zmianami). Kryteria lokalizacji składowiska wynikają

również z Ustawy z dnia 18 lipca 2001 r. – Prawo wodne. (Dz.U. Nr 115, poz. 1229, z późniejszymi zmianami).

Bezwzględny priorytetem przy wieloczynnikowej analizie lokalizacji składowiska odpadów promieniotwórczych (SOP) jest bezpieczeństwo życia i zdrowia ludzkiego. Przy wyborze jego lokalizacji uwzględniane są różne okoliczności wynikające z warunków społecznych, demograficznych, gospodarczych, meteorologicznych, geologicznych, hydrogeologicznych i ekologicznych.

Kryteria wykluczające przydatność obszaru dla lokalizacji SOP uwzględniają przede wszystkim złożoność warunków geologicznych, hydrogeologicznych oraz społeczno-gospodarczych. Mimo że Polska jest krajem asejsmicznym, lokalnie występują wstrząsy o różnej genezie i amplitudzie, co powoduje wyłączenie obszarów górniczych. Podłoże

składowiska musi być dokładnie rozpoznane i udokumentowane, a warunki możliwe do modelowania. Korzystne jest głębokie położenie wód podziemnych oraz brak w pobliżu składowiska zbiorników wodnych lub obiektów hydrotechnicznych. Wody podziemne powinny charakteryzować się stabilnym zwierciadłem. Lokalizacje SOP muszą wykluczać możliwości zalewów powodziowych, podtopień lub spływu powierzchniowego. Niekorzystne są także tereny o dużych deniwelacjach, które umożliwiają szybki przepływ wód podziemnych. Grunty w podłożu składowiska powinny charakteryzować się odpornością na procesy klimatyczne, deteriorację, procesy zamarzania i pęcznienia oraz inne. Potencjalne zanieczyszczenie wód podziemnych musi być łatwe do monitorowania, stąd należy wykluczyć tereny, na których mogą wystąpić zmiany kierunków i prędkości przepływu wód podziemnych. Możliwość zanieczyszczenia wód pitnych przez odpady promieniotwórcze musi być wyeliminowana całkowicie. Dla podłoża składowiska zbudowanego ze skał konieczne jest przeanalizowanie ewentualnych wystąpień w przyszłości zjawisk krasowych oraz wzrostu szczelinowatości masywu.

W każdym przypadku złożone warunki gruntowo-wodne spowodują skomplikowanie projektu inżynierskiego, zwiększą niepewność pomiarów i mogą być przyczyną błędów przy weryfikacji, kalibracji i walidacji modeli obliczeniowych.

Bardzo ważnym problemem jest dostęp do składowanych odpadów promieniotwórczych i możliwość szybkiego reagowania w przypadku wystąpienia niekontrolowanego promieniowania w wyniku awarii sztucznych i naturalnych barier izolacyjnych. Rozpatrując bezpieczeństwo przy składowaniu należy przeprowadzić analizy modelowe rozwoju zagrożenia. Zapewnienie takiego dostępu wiąże się również z wykorzystaniem w przyszłości wybranych elementów z odpadów radioaktywnych, których wydobywanie będzie ekonomicznie opłacalne, lub z koniecznością ich przeniesienia oraz możliwością unieszkodliwienia w inny sposób. Zakres wymienionych badań w poszczególnych etapach jest częściowo powtarzalny. Różnice związane są ze skalą i stopniem dokładności rozpoznania obszaru, która jest coraz dokładniejsza w kolejnych fazach dokumentowania (tab. 1). Zgodnie z wytycznymi, na etapie preselekcji i selekcji wskazywane są obszary i formacje geologiczne perspektywiczne dla dalszych szczegółowych badań. Na tych etapach wykonywane analizy mają charakter screeningu negatywnego, tzn. na wytypowanych obszarach ocenia się warunki wykluczające lub ograniczające. Zadaniem prac w dalszych etapach są szczegółowe badania wybranych lokalizacji, a następnie analizy dokumentujące ich bezpieczeństwo.

Kryteria przydatności obszaru, rozumiane jako zespół uwarunkowań sprzyjających zachowaniu bezpieczeństwa otoczenia obiektu, w którym składowane są odpady niebezpieczne, uwzględniać będą – oprócz zagadnień prawnych lokalizowania tego typu składowisk – następujące elementy wraz z oceną ilościową i jakościową:

- przypowierzchniową i wglębną budowę geologiczną i strukturalną obszaru;
- warunki hydrogeologiczne (występowanie warstw i poziomów wodonośnych oraz związki między nimi, charakterystyka przepuszczalności, zasilania i drenażu oraz prędkości przepływu);
- zagospodarowanie zasobów wodnych i pozycję wód podziemnych w zaopatrzeniu w wodę (ujęcia, zasoby, ochrona, alternatywne źródła zaopatrzenia);
- warunki geochemiczne pod kątem wpływu na opóźnienie migracji zanieczyszczeń;
- hydrografię i hydrauliczny związek wód powierzchniowych i podziemnych;
- warunki geologiczno-inżynierskie wraz z oceną parametrów podłoża gruntowego;
- możliwość wystąpienia zagrożeń ze strony zjawisk geodynamicznych powierzchniowych (silna erozja, spęływanie, zalewanie) i wglębnych (sejsmiczność) oraz hydrologicznych (powodzie, podtopienia).

Kolejnymi co do wagi są wskaźniki społeczno-gospodarcze, dla których również stosuje się kryteria wykluczające. Eliminacji powinny podlegać tereny:

- na których występują duże i średnie ośrodki miejskie,
- o dużej gęstości zaludnienia,
- o walorach rekreacyjno-krajoznawczych,
- rolne o wysokiej klasie bonitacji.

Przy wyborze lokalizacji SOP należy uwzględnić cechy środowiska geologicznego, które umożliwiają zminimalizowanie ujemnych skutków w przypadkach obniżenia skuteczności barier inżynierskich. Zachowanie odpowiedniego poziomu szczelności wymaga zastosowania systemu wielu barier naturalnych i inżynierskich. Dotychczasowe dane wskazują, że zewnętrzne bariery zbudowane z materiałów naturalnych są najskuteczniejsze. Stabilność warunków geologicznych, hydrogeologicznych i hydrologicznych powinna być zagwarantowana przez kilkadziesiąt lat pracy składowiska oraz po jej zakończeniu i ostatecznym zamknięciu obiektu. Kryteria techniczne dla bariery geologicznej wymagają, aby warstwa słabo przepuszczalna była jednorodna i charakteryzowała się znacznym rozprzestrzenieniem, dużą pojemnością sorpcyjną oraz małą rozpuszczalnością chemiczną i małą podatnością na procesy erozyjne. W polskim ustawodawstwie Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 26 lutego 2009 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów (Dz.U. Nr 39, poz. 320) dla odpadów niebezpiecznych określa minimalną miąższość bariery geologicznej na 5 m o współczynniku filtracji  $k \leq 10^{-9}$  m/s, jednakże przepis ten nie obejmuje – w świetle Ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. – O odpadach (Dz.U. Nr 62, poz. 628, z późniejszymi zmianami) – odpadów promieniotwórczych w rozumieniu przepisów prawa atomowego. Właściwości sorpcyjne mają na celu retencję radionuklidów i opóźnienie ich migracji w środowisku.

Tabela 1

## Etapy i proponowany zakres badań lokalizacyjnych Składowiska Odpadów Promieniotwórczych

Stages and proposed research for a location of radioactive waste repository

Zakres badań		Etap badawczy i jego cel	Forma procesu
Analizy przyrodnicze i inżynierskie	Analiza bezpieczeństwa i warunków społeczno-ekonomicznych		
<p>Założenie warunków lokalizacyjnych oraz wybór uwarunkowań przyrodniczych</p> <p>Określenie rodzajów potencjalnych przydatnych formacji geologicznych</p> <p>Ocena ilości, jakości i dostępności danych archiwalnych (kartografia geologiczna, rejestr obszarów górniczych, dokumentacje geologiczno-inżynierskie, dokumentacje hydrogeologiczne)</p>	<p>Ocena istniejących zagrożeń i ograniczeń prawnych wynikających z przepisów aktualnego prawa i wytycznych IAEA</p> <p>Określenie wymagań czasowych inwestycji</p> <p>Oszacowanie kosztów i zasobów ludzkich</p> <p>Określenie odpowiedzialności za poszczególne zadania</p>	<p>Koncepcja i planowanie i/lub wybór możliwych lokalizacji jako preselekcji (na podstawie założonego położenia obszarów, wybranych wskaźników oraz uwarunkowań przyrodniczych i społeczno-ekonomicznych)</p> <p>Wybór perspektywicznych obszarów</p> <p>Uzyskanie wsparcia politycznego</p>	Screening
<p>Wytypowanie obszarów spełniających założone warunki w trakcie preselekcji</p> <p>Analiza map regionalnych</p> <p>Analiza map szczegółowych</p> <p>Analiza obecności elementów przyrody chronionych prawem (parki narodowe, ujęcia wód, GZWP)</p> <p>Oszacowanie ilości odpadów i możliwości objętościowych planowanego składowiska</p>	<p>Wstępne uzgodnienia administracyjno-społeczne</p> <p>Analiza przepisów prawnych związanych z bezpieczeństwem atomowym</p> <p>Analiza konfliktu lokalizacji z planami zagospodarowania przestrzennego</p> <p>Analiza własności terenu</p> <p>Kontrola zgodności z przepisami prawa międzynarodowego dotyczącego obszarów transgranicznych</p>	<p>Wstępna ocena wytypowanych terenów</p> <p>Wybór kandydujących obszarów lokalizacyjnych</p> <p>Wsparcie polityczne (w tym samorządowe) przy uzyskiwaniu akceptacji mieszkańców</p> <p>Zgodność działań z organizacjami antynuklearnymi</p>	
<p>Szczegółowa analiza materiałów archiwalnych dotycząca wybranej lokalizacji (warunków środowiskowych, tektonicznych, geologiczno-inżynierskich, hydrogeologicznych itd.)</p>	<p>Uzgodnienie wyboru lokalizacyjnego oraz zasad współpracy dotyczącej badań bezpieczeństwa z władzami terytorialnymi i lokalną społecznością</p> <p>Analiza możliwości i kosztów transportu odpadów</p> <p>Analizy demograficzne</p> <p>Badania socjologiczne sprawdzające stanowisko lokalnego społeczeństwa</p>	<p>Szczegółowa analiza wytypowanego obszaru</p> <p>Wskazania lokalizacyjne</p> <p>Udokumentowanie bezpieczeństwa dla wskazanej lokalizacji i ocena oddziaływania na środowisko</p>	Szczegółowe badania weryfikacyjne
<p>Określenie założeń technicznych dla realizacji inwestycji</p> <p>Szczegółowe badania podłoża i rejonu inwestycji</p>	<p>Realizacja programu współpracy pomiędzy zainteresowanymi</p>	<p>Specjalistyczne badania dla określonych założeń projektowych</p> <p>Założenia projektowe</p> <p>Systemowa analiza bezpieczeństwa i jej udokumentowanie</p>	Zatwierdzenie wyboru lokalizacji
<p>Wstrzymanie dalszych badań i analiz wyłącznie, jeżeli:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– wszystkie niezbędne dane zostały już otrzymane i sprawdzone,</li> <li>– dalsze badania nie dostarczą nowych informacji,</li> <li>– otrzymane informacje są wystarczające do określenia wymaganego stopnia bezpieczeństwa</li> </ul>			

## PODSUMOWANIE

Bardzo restrykcyjne kryteria wyboru miejsca na składowanie odpadów promieniotwórczych podyktowane są wyłącznie kwestiami bezpieczeństwa. Należy zdawać sobie sprawę z ciągłych zmian warunków geologicznych, hydrogeologicznych czy klimatycznych, które wpływają na stabilność składowiska. Błędy pomiarowe, obliczeniowe i brak

walidacji modeli możliwych zmian nigdy nie zostaną całkowicie wyeliminowane. Trzeba jednak ograniczyć ryzyko do najniższego z możliwych (*ALAP – As Low As Possible*), ponieważ przy tak niebezpiecznych odpadach nie można mówić o zarządzaniu lub jego szacowaniu.

## LITERATURA

- FRANKOWSKI Z., MITRĘGA J., 1998 — Metodyka poszukiwania lokalizacji składowiska odpadów promieniotwórczych. *Postępy Techniki Jądrowej*, **41**, 4: 10–18. Państwowa Agencja Atomistyki, Polskie Towarzystwo Nukleoniczne, Warszawa.
- FRANKOWSKI Z., MITRĘGA J., CHOLERZYŃSKI A., TOMCZAK W., 1997 — Krajowe składowisko odpadów promieniotwórczych w Różanie – warunki geotechniczne. *W: Geotechnika w budowie składowisk odpadów. Konferencja Naukowo-Techniczna Pułtusk, październik 1997: 119–134.* Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa.
- FRANKOWSKI Z., MITRĘGA J., FELTER A., GAWIN A., ŚMIETAŃSKI L., 1997–1999 — Wytypowanie lokalizacji i opracowanie materiałów wyjściowych do koncepcji programowo-przestrzennej nowego składowiska odpadów promieniotwórczych (SOP) nisko- i średnioaktywnych. Etap I, II i III. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- IAEA, 1994a — Siting of Near – Surface Facilities. A Safety Guide, Safety Series, no. 111–G–3.1.
- IAEA, 1994b — Siting of Geological Disposal Facilities. A Safety Guide, Safety Series, no. 111–G–4.1.
- ROZPORZĄDZENIE MINISTRA SPRAW WEWNĘTRZNYCH I ADMINISTRACJI z dnia 24 września 1998 r. w sprawie ustalenia geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz.U. Nr 126, poz. 839).
- ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA z dnia 26 lutego 2009 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów (Dz.U. Nr 39, poz. 320).
- TOMCZAK W., 1998 — Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych w Różanie. *Postępy Techniki Jądrowej*, **41**, 4: 25–36. Państwowa Agencja Atomistyki, Polskie Towarzystwo Nukleoniczne, Warszawa.
- USTAWA z dnia 4 lutego 1994 r. – Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. Nr 27, poz. 96, z późniejszymi zmianami).
- USTAWA z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (Dz.U. Nr 89, poz. 414, z późniejszymi zmianami).
- USTAWA z dnia 3 lutego 1995 r. – O ochronie gruntów rolnych i leśnych (Dz.U. Nr 16, poz. 78, z późniejszymi zmianami).
- USTAWA z dnia 29 listopada 2000 r. – Prawo atomowe (Dz.U. Nr 3, poz. 18, z późniejszymi zmianami).
- USTAWA z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska (Dz.U. Nr 62, poz. 627, z późniejszymi zmianami).
- USTAWA z dnia 27 kwietnia 2001 r. – O odpadach (Dz.U. Nr 62, poz. 628, z późniejszymi zmianami).
- USTAWA z dnia 18 lipca 2001 r. – Prawo wodne (Dz.U. Nr 115, poz. 1229, z późniejszymi zmianami).
- USTAWA z dnia 27 marca 2003 r. – O planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz.U. Nr 80, poz. 717, z późniejszymi zmianami).
- USTAWA z dnia 16 kwietnia 2004 r. – O ochronie przyrody (Dz.U. Nr 92, poz. 880, z późniejszymi zmianami).
- USTAWA z dnia 29 czerwca 2011 r. – O przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie obiektów energetyki jądrowej oraz inwestycji towarzyszących (Dz.U. Nr 135, poz. 789, z późniejszymi zmianami).
- WŁODARSKI J., 1995 — Strategia gospodarki odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym w Polsce na tle rozwiązań przyjętych w niektórych krajach europejskich. Biuletyn Informacyjny Państwowej Agencji Atomistyki „Bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna”, nr 22/9.5.
- WŁODARSKI J., FRANKOWSKI Z., PRZENIOSŁO S., 1996 — Radioactive Waste Management in Poland: Current Status of Investigations for Radioactive Waste Repository Areas. Geological Problems in Radioactive Waste Isolation – Second Worldwide Review (ed. P.A. Witherspoon). Berkeley National Laboratory LBNL-38915.

## SUMMARY

In Poland, up to 300 m<sup>3</sup> per year of low- and intermediate radioactive waste is stored. Its main sources are: scientific research, industry and medicine. Waste disposal must be in conformity with many legal procedures i.e.: atomic law, environmental law, construction law, waste management act, geological and mining law and EU acts. Poland, as a member of the International Atomic Energy Agency, is obliged to compliance with its rules and directives. According to these

regulations the previous works on choosing a new location for an atomic waste disposal were carried out for several dozens of years with intensity depending on the country's economic tasks.

The beds of rock salt, crystalline rocks and clays of huge thickness were indicated as the best site for deep geological disposal. For shallow geological disposal the selected clay formations were specified. The sandur sands on glacial tills

were deemed to be beneficial for a location of a surface waste disposal. Stages of sitting process should be conducted in 4 steps: conceptual and planning stage, area survey stage, site characterization stage and site confirmation stage.

Geological structure, hydrogeological and climatic conditions were characterized. Protected areas like national parks, nature reserves, the areas with small depth of occurrence of groundwater, the areas of exploitation of mineral resources and the areas of unfavourable geological conditions were excluded in negative screening process.

The fourth step was not conducted in any location because of the lack of social acceptance. The national radioactive waste disposal in Różan located about 90 km to the

NNE of Warsaw is the only radioactive waste disposal in Poland and is monitored by many research institutes, including Polish Geological Institute – National Research Institute. According to the plan of this waste disposal closure in 2020, the methodology of choosing a new location has to be updated.

The negative screening which excludes or restricts the selected location due to unfavourable ground conditions must be conducted in the initial phase of the project. Next steps should include a detailed analysis of the chosen location and a confirmation of the choice. The absolute priority during this complicated and multi-stage analysis must be the safety of human life and health.