

Zasady dokumentowania warunków hydrogeologicznych w rejonach projektowanych obiektów jądrowych

Grzegorz Olesiuk¹, Agnieszka Piasecka¹, Józef Mikołajków¹



G. Olesiuk



A. Piasecka



J. Mikołajków

Principles of documentation of hydrogeological conditions in areas designed for nuclear facilities. Prz. Geol., 62: 664–670.

Abstract. Due to planned construction of nuclear facilities in Poland it is necessary to determine the technical recommendations and guidelines for the assessment of the hydrogeological conditions. It is needed for a correct assessment of nuclear facilities potential locations for their safety and the impact on the environment. Current requirements and safety guidelines called the safety standards (Safety Standards) are issued by the International Atomic Energy Agency (IAEA) in three categories: Safety Fundamentals (basic safety), Safety Requirements (safety requirements), Safety Guides (safety guidelines). The following article presents essential

aspects of the nuclear facilities siting process in terms of the hydrogeological conditions assessment.

Keywords: nuclear facilities siting, technical recommendations, documenting the hydrogeological conditions

W ostatnich latach dyskusja dotycząca lokalizacji obiektów jądrowych na terenie Polski nabrała tempa w związku z planowaną budową elektrowni jądrowych. Do wielu czynników środowiskowych mających wpływ na wybór lokalizacji obiektu jądrowego należy również zaliczyć warunki hydrogeologiczne i ochronę wód podziemnych. W niniejszym artykule autorzy skupiają się na aspektach dotyczących obiektów energetyki jądrowej oraz powiązanej z nimi infrastruktury. Zgodnie z obowiązującą ustawą Prawo Atomowe z 29.11.2000 r. obiekty jądrowe to takie, w których materiał promieniotwórczy jest wykorzystywany i przebywa tymczasowo (choć może trwać to nawet kilkadziesiąt lat), w odróżnieniu od składowisk odpadów promieniotwórczych, które powinny być miejscem ostatecznego składowania.

Nie ulega wątpliwości, iż badania wykonywane pod kątem obiektu jądrowego oraz związanej z nim infrastruktury powinny uwzględniać ustalenia znajdujące się w tych przepisach. Jednakże obecnie obowiązujące regulacje prawne dotyczące ochrony wód podziemnych nie są wystarczającym narzędziem uwzględniającym właściwości obiektów jądrowych i w tym zakresie istnieje potrzeba rozwijania prac metodycznych w formie instrukcji oraz wykonawczych aktów prawnych.

PODSTAWOWE POJĘCIA

W celu lepszego zrozumienia przedstawionych zaleceń technicznych poniżej wyjaśniono kilka podstawowych terminów w oparciu o obowiązujące Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 sierpnia 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu przeprowadzania oceny terenu przeznaczonego pod lokalizację obiektu jądrowego, przypadków wykluczających możliwość uznania terenu za spełniający wymogi lokalizacji obiektu jądrowego oraz w sprawie wymagań dotyczących raportu lokalizacyjnego dla obiektu jądrowego.

Granica planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego – jest to obszar wytyczony okręgiem, o promieniu równym długości od środka do najdalej wysuniętego punktu nieruchomości, na której jest planowane usytuowanie obiektu jądrowego, poprowadzonym ze środka tej nieruchomości, tak by cała nieruchomość, na której jest planowane usytuowanie obiektu jądrowego, znalazła się w granicach wytyczonego okręgu.

Obszar lokalizacji – jest to teren w odległości do 5 km od granic planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego, a w uzasadnionych przypadkach związanych z budową podłoża o istotnym znaczeniu dla jego stateczności podczas sytuowania obiektu i po jego usytuowaniu – teren powiększony w stopniu pozwalającym na uzyskanie wyczerpujących danych i oceny odnośnie do stateczności podłoża.

Region lokalizacji – jest to obszar w odległości do 30 km od granic planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego.

PRAWNE UWARUNKOWANIA DOKUMENTOWANIA HYDROGEOLOGICZNEGO

Projektując obiekty jądrowe obowiązkowo należy wziąć pod uwagę m.in. przepisy prawa geologicznego i górniczego, prawa wodnego, prawa budowlanego i ochrony środowiska oraz związanych z nimi rozporządzeń wykonawczych. W ramach projektowania obiektu jądrowego należy wykonać badania hydrogeologiczne pod kątem oceny potencjalnego jego oddziaływania na otaczające środowisko gruntowo-wodne. Najistotniejsze jest określenie zagrożenia (lub jego brak), jakie projektowany obiekt jądrowy potencjalnie stwarza dla wód podziemnych. Oprócz zapisów wymienionych w ustawie również istotne jest przeanalizowanie potencjalnego oddziaływania wód podziemnych na obiekt jądrowy i związaną z nim infrastrukturę.

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; grzegorz.olesiuk@pgi.gov.pl, jozef.mikolajkow@pgi.gov.pl, agnieszka.piasecka@pgi.gov.pl.

Zgodnie z obowiązującym Prawem Atomowym oraz innymi ustawami (m. in. O przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie obiektów energetyki jądrowej oraz inwestycji towarzyszących z 29.06.2011 r.) dokumentowanie geologiczne związane z planowaniem i projektowaniem wspomnianych obiektów zaliczane jest do zadań o najwyższym priorytecie. Dokumentowanie hydrogeologiczne powinno być również prowadzone zgodnie z zasadami określonymi w rozporządzeniach ministra środowiska, obejmującymi:

– zasady wykonywania projektów – Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2011 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów robót geologicznych,

– merytoryczny zakres opracowania dokumentacji – Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej.

ETAPY PROCESU LOKALIZACYJNEGO I DOKUMENTACYJNEGO

Ocenę warunków hydrogeologicznych dla lokalizacji obiektu jądrowego przeprowadza się w czterech fazach (norma MAEA nr NS-G-3.6). W oparciu o standardy bezpieczeństwa MAEA (Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej), a zwłaszcza o wytyczne dotyczące lokalizacji obiektów jądrowych (norma MAEA nr NS-R-3) oraz oceny ich lokalizacji (norma MAEA nr NS-G-3.6) w zakresie warunków hydrogeologicznych, proces wyboru lokalizacji obiektu jądrowego odbywa się stopniowo, metodą tzw. kolejnych przybliżeń. W procesie wyróżnia się następujące fazy:

1. Faza selekcji i wyboru lokalizacji.
2. Faza charakterystyki lokalizacji:
 - a) weryfikacja danych,
 - b) potwierdzenia.
3. Faza budowy.
4. Faza eksploatacji.

W prezentowanej pracy szczególną uwagę poświęcono fazie charakterystyki lokalizacji na potrzeby opracowania dokumentacji hydrogeologicznej związanej z pozwoleniem na budowę w zakresie bezpieczeństwa jądrowego (BJ), zgodnie z wytycznymi MAEA (NS-G-3.6).

OCENA WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH

Zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 10 sierpnia 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu przeprowadzania oceny terenu przeznaczonego pod lokalizację obiektu jądrowego, przypadków wykluczających możliwość uznania terenu za spełniający wymogi lokalizacji obiektu jądrowego oraz w sprawie wymagań dotyczących raportu lokalizacyjnego dla obiektu jądrowego, celem badań hydrogeologicznych dla potencjalnej lokalizacji obiektu jądrowego jest:

1) scharakteryzowanie systemu hydrogeologicznego z uwzględnieniem:

– oceny dostępnych w regionie zasobów wód podziemnych w strukturach wodonośnych czwartorzędu i starszego podłoża oraz wód mineralnych, termalnych, leczniczych, solanek i utworzonych bądź planowanych dla nich obszarów górniczych, jak również funkcjonujących i planowa-

nych stref ochronnych ujęć wód podziemnych i obszarów ochronnych głównych zbiorników wód podziemnych;

– kierunków i prędkości przepływu wód podziemnych;

2) scharakteryzowanie właściwości filtracyjnych podłoża ze szczególnym uwzględnieniem dróg i głębokości migracji wód powierzchniowych i opadowych przy jednoczesnym uwzględnieniu zmian sezonowych;

3) określenie właściwości fizykochemicznych wód podziemnych, a zwłaszcza ocena agresywności wód podziemnych w stosunku do betonu i stali;

4) opracowanie dynamiki wód podziemnych i prognoza zmian w wyniku posadowienia obiektu jądrowego, obejmująca prognozę warunków stabilizacji systemu hydrogeologicznego oraz maksymalną głębokość i zasięg oddziaływania obiektu jądrowego na system wodonośny z uwzględnieniem wód powierzchniowych i infiltracji opadów oraz wpływu tych zmian na wody podziemne.

Wymieniony wyżej zakres nakreśla bardzo ogólny kierunek, w którym podążać powinien inwestor chcący dokładnie rozpoznać warunki hydrogeologiczne dla obiektu jądrowego.

Określenie charakterystyki systemu hydrogeologicznego wymaga opracowania kompleksowego modelu warunków hydrogeologicznych oraz warunków przepływu, zasilania i drenażu wód podziemnych w regionie i obszarze lokalizacji obiektu jądrowego. Jednym z najistotniejszych elementów jest ocena właściwości infiltracyjnych podłoża. Ocena ta powinna uwzględniać również sezonowe zmiany zasilania infiltracyjnego wód podziemnych. Ważne jest również określenie aktualnego stanu hydrodynamicznego i chemicznego wód podziemnych przed rozpoczęciem inwestycji (tzw. stan zerowy). Takie rozpoznanie powinno stanowić poziom odniesienia dla warunków jakie powstałyby w trakcie budowy i eksploatacji obiektu jądrowego.

Istotne jest również opracowanie oceny zagrożenia stanu wód podziemnych (możliwego zakresu ich zmian ilościowych i jakościowych) oraz ryzyka nieosiągnięcia celów środowiskowych, zdefiniowanych przez konieczność zaopatrzenia ludności w wodę do spożycia oraz zaspokojenie potrzeb wodnych ekosystemów lądowych zależnych od wód podziemnych. W przypadku ekosystemów zależnych od wód podziemnych odnosi się to do utrzymania wymaganego (minimalnego) przepływu w rzekach.

Wskazana jest również analiza warunków geologicznych w odniesieniu do anomalnych zmian własności fizykochemicznych wód podziemnych (np. obecność strefy ascencji wód zasolonych, mogącej być skutkiem tektoniki lub nieciągłości warstw lub efektem niewłaściwej likwidacji głębokich otworów poszukiwawczych).

Rezultaty przeprowadzonych prac należy przedstawić w raportach i dokumentacjach hydrogeologicznych określających warunki hydrogeologiczne w związku z zamierzonym wykonywaniem przedsięwzięć mogących negatywnie oddziaływać na wody podziemne, w tym powodować ich zanieczyszczenie. Jednakże stopień dokładności rozpoznania warunków hydrogeologicznych powinien być dostosowany do poszczególnych faz procesu lokalizacyjnego obiektu jądrowego. Zdaniem autorów proponowana ścieżka postępowania powinna obejmować trzy fazy prac.

PROPOZYCJA ZAKRESU PRAC W POSZCZEGÓLNYCH FAZACH DOKUMENTOWANIA HYDROGEOLOGICZNEGO

Faza I – region lokalizacji

Głównym celem prac w pierwszej fazie powinno być rozpoznanie hydrogeologiczne w zakresie budowy geologicznej i występujących poziomów wodonośnych, zasobów wód podziemnych udokumentowanych i szacowanych, struktury poboru i wykorzystania wód podziemnych obejmujące region lokalizacji. Rozpoznanie powinno się opierać na dostępnych materiałach archiwalnych, które należy poddać weryfikacji podczas wizji lokalnych bez prowadzenia robót geologicznych. W ten sposób przed rozpoczęciem prac nie jest konieczne opracowanie projektu robót geologicznych, co znacznie usprawnia fazę rozpoznania. Pozyskane dane i rezultaty analiz w tej fazie powinny umożliwić ocenę możliwości realizacji inwestycji oraz stanowić element wyboru jej lokalizacji.

Pierwszym krokiem w pracach związanych z oceną lokalizacji obiektu jądrowego jest stworzenie kompleksowej i zintegrowanej bazy danych w systemie GIS. Dobrze zaprojektowana baza danych (najlepiej w formacie GIS) powinna obejmować informacje pozyskane ze źródeł archiwalnych oraz wyniki badań terenowych prowadzonych we wszystkich fazach rozpoznania warunków hydrogeologicznych, obejmując promień co najmniej 30 km od miejsca lokalizacji obiektu jądrowego. Kwerenda materiałów archiwalnych oraz ich analiza i weryfikacja powinna być jedną z najważniejszych czynności w ocenie warunków hydrogeologicznych wykonywanych w ramach pierwszej fazy. Tak powstałą bazę danych należy rozbudowywać w następnych fazach, w miarę zwiększania zasobów informacji pozyskanych w wyniku bardziej zaawansowanych prac terenowych, kartowania, wierceń, badań w otworach itp.

Pozyskane informacje z materiałów archiwalnych należy poddać analizie pod kątem ich wiarygodności. Ocenie trzeba poddać metodykę: pomiarową, przetwarzania danych oraz ich interpretacji, porównując rezultaty tych analiz do metodyki współcześnie wykonywanych badań geologicznych, hydrogeologicznych i geofizycznych. Jeżeli pojawią się wątpliwości co do poprawności wyników opracowań archiwalnych (szczególnie badań geofizycznych i modelowych) należy wykonać ich ponowne przetwarzanie (*reprocessing*).

Prawidłowa charakterystyka systemu wodonośnego w pierwszej fazie badań (region lokalizacji) powinna zawierać :

- charakterystykę parametrów hydrogeologicznych warstw wodonośnych i rozdzielających je warstw słabo przepuszczalnych,
- model koncepcyjny obejmujący strefę aktywnej wymiany wód podziemnych,
- analizy wykształcenia litologicznego i własności filtracyjnych utworów strefy przypowierzchniowej,
- charakterystykę kontaktu wód powierzchniowych z podziemnymi (zwłaszcza pierwszego poziomu wodonośnego).

Podczas prac w pierwszej fazie należy wziąć pod uwagę specyfikę terenu. Do oceny warunków hydrogeologicznych zasięg obszarowy regionu lokalizacji wskazany w Rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 10 sierpnia 2012 r. (w promieniu 30 km od planowanej lokalizacji) nie może

być granicą sztywną. Dla prawidłowej oceny warunków hydrogeologicznych i przepływu wód podziemnych granice rozpoznania regionalnego muszą być dowiązane do granic obszarów bilansowych wód podziemnych i uwzględnić naturalne warunki krążenia wód. W związku z tym odległość 30 km należy traktować orientacyjnie, a granice obszaru hydrogeologicznego rozpoznania regionalnego opierać o elementy istotne dla krążenia wód – granice zlewni, wododziały, strefy głębokiego drenażu. Najlepszym wariantem jest ocena warunków regionalnych w obszarze bilansowym o naturalnych granicach – np. zlewni, co pozwala na szczegółowe odtworzenie układu hydrodynamicznego w całym obszarze badań, a następnie uszczegóławianie go w miarę zwiększania rozpoznania, zbliżając się do miejsca lokalizacji obiektu jądrowego. Informacje te są niezbędne podczas konstruowania matematycznego modelu przepływu wód podziemnych i migracji masy w wodach podziemnych w tej oraz w kolejnych fazach badań.

Według stanu na rok 2013 niemal połowa kraju (około 48% powierzchni) posiadała udokumentowane zasoby wód podziemnych w obszarach bilansowych. Biejący harmonogram zakłada, że do 2019 r. udokumentowany zostanie cały kraj. Dokumentacje ustalające zasoby wód podziemnych dla obszarów bilansowych mogą stanowić dobry materiał wyjściowy do oceny warunków hydrogeologicznych w regionie planowanej lokalizacji obiektu jądrowego (Herbich i in., 2013).

Istotną częścią prac jest rozpoznanie strefy aeracji stanowiącej jeden z elementów oceny czasu infiltracji wód opadowych do poziomów wodonośnych, zwłaszcza dla obszarów położonych w zlewniowym systemie wodonośnym o zwierciadle swobodnym. Umożliwi to zaprojektowanie prac i badań uzupełniających istotne braki w rozpoznaniu strefy aeracji. Uzyskane wyniki pozwolą na pełniejszą charakterystykę strefy.

W ramach podsumowania charakterystyki warunków hydrogeologicznych w regionie lokalizacji obiektu jądrowego i jego granic oraz warunków zasilania powinien być opracowany konceptualny model hydrogeologiczny. Taki model musi przedstawiać pozycję systemu wodonośnego oraz jego podatność na zagrożenie stanu jakościowego i ilościowego w regionie lokalizacji. Będzie on punktem wyjściowym w projektowaniu prac i badań niezbędnych do uszczegółowienia rozpoznania w drugiej fazie (obszaru lokalizacji) oraz określenia zasad wykonania modelu matematycznego przepływu wód podziemnych. Po opracowaniu charakterystyki hydrogeologicznej regionu lokalizacji w oparciu o materiały archiwalne (w I fazie prac) należy zbudować wstępny numeryczny model przepływu wód podziemnych na tym obszarze (Kulma & Zdechlik, 2009).

Zwieńczeniem pierwszej fazy prac powinno być sporządzenie raportu określającego warunki hydrogeologiczne w związku z planowaną lokalizacją obiektu jądrowego. W zależności od przyjętego zasięgu regionu lokalizacji obiektu jądrowego dla opracowania sugerowana jest skala 1 : 50 000 lub 1 : 25 000. Styl takiego raportu powinien być zbliżony do zakresu dokumentacji hydrogeologicznej określającej warunki hydrogeologiczne w związku z zamierzonym wykonywaniem przedsięwzięć mogących negatywnie oddziaływać na wody podziemne, w tym powodować ich zanieczyszczenie (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 15 grudnia 2011 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących innych dokumentacji geologicznych). Jednak zważywszy na to, iż w pierw-

szej fazie nie przewiduje się robót geologicznych, a skala opracowania regionalnego nie jest dostosowana do wypełnienia wszystkich wymagań ww. rozporządzenia, nie ma potrzeby sporządzenia dokumentacji hydrogeologicznej. Zakres raportu sporządzanego w tej fazie uzależniony jest od stanu prac przy projektowaniu obiektu jądrowego. Istotna jest w tym wypadku wiedza o tym, na ile dokładnie planowana jest lokalizacja poszczególnych obiektów, infrastruktury towarzyszącej oraz proponowane rozwiązania techniczne.

Bazując na regionalnym rozpoznaniu warunków hydrogeologicznych należy przeprowadzić ocenę stanu rozpoznania i wskazać obszary wymagające uzupełnienia. Na tej podstawie trzeba opracować projekt robót geologicznych, który pozwoli uzupełnić istniejące rozpoznania w obszarze lokalizacji. Wśród wniosków uzyskanych w pierwszej fazie badań należy:

- określić rejon wymagające rozpoznania warunków hydrogeologicznych poprzez wykonanie wierceń i badań hydrogeologicznych w wykonanych piezometrach i hydrowęzłach,

- określić rejon wymagające budowy stałej sieci monitoringu wód podziemnych,

- zdefiniować obszary o niewystarczającym rozpoznaniu i wymagające uszczegółowienia, np. badaniami geofizycznymi.

Wyniki prac I fazy badań stanowią podstawę do sporządzenia projektu robót geologicznych dla fazy II.

Faza II – obszar lokalizacji

Specyfika dokumentowania warunków hydrogeologicznych skutkuje tym, że zakres prac w II i III fazie sprawia, że częściowo się pokrywa i uzupełnia. Celem drugiej fazy dokumentowania powinno być sporządzenie szczegółowej dokumentacji warunków hydrogeologicznych w obszarze lokalizacji ze szczególnym uwzględnieniem miejsca usytuowania obiektu jądrowego, z wykorzystaniem wszystkich dostępnych informacji zarówno z kartowania w obszarze lokalizacji (w promieniu około 5 km), jak i z bezpośredniego miejsca usytuowania obiektu jądrowego. Stopień szczegółowości rozpoznania w tej fazie powinien odpowiadać zakresowi stosowanemu przy opracowaniach w skali 1 : 10 000 (obszar lokalizacji), a w bezpośrednim sąsiedztwie obiektu – 1 : 1000. Generalnie w II fazie badań znajomość szczegółowych rozwiązań technicznych obiektu jądrowego nie jest konieczna. Natomiast istotna jest przewidywana głębokość posadowienia. Uszczegółowienie rozpoznania w bezpośrednim sąsiedztwie obiektu powinno obejmować wyniki prac planowanych do wykonania po I etapie oraz wyniki innych prac rozpoznawczych, a zwłaszcza badań geologiczno-inżynierskich. Skutkiem tych prac powinno być: rozpoznanie warunków hydrogeologicznych, kierunków i prędkości przepływu wód podziemnych, kontaktów pomiędzy poziomami wodonośnymi, interakcji wód podziemnych i powierzchniowych oraz chemizmu wód podziemnych, parametrów niezbędnych do określenia czasu migracji potencjalnych zanieczyszczeń.

W ramach drugiej fazy badań zalecane jest również sporządzenie oceny potencjalnego oddziaływania na środowisko planowanego obiektu i wskazania (dla inwestora) środków ograniczających niekorzystne oddziaływanie, które można wykorzystać na etapie wykonywania szczegółowego projektu technicznego obiektu oraz infrastruktury

ry towarzyszącej. Szczegółowa analiza warunków hydrogeologicznych może mieć również wpływ na określenie ostatecznej lokalizacji obiektu jądrowego i infrastruktury towarzyszącej.

Wśród prac wykonywanych w drugiej fazie zalecane jest również sporządzenie prognozy zmian dynamiki wód podziemnych w wyniku posadowienia obiektu jądrowego, obejmującej m.in. maksymalną głębokość i zasięg oddziaływania obiektu jądrowego na system hydrogeologiczny. Proponowana prognoza powinna uwzględniać przede wszystkim infiltrację wód powierzchniowych i opadowych oraz potencjalną migrację zanieczyszczeń. Istotne jest również określenie wpływu zmian dynamiki wód podziemnych na eksploatowane i potencjalnie użytkowe poziomy wodonośne oraz zbiorniki wód podziemnych (główne i tzw. lokalne). Prognoza powinna również zawierać spis niezbędnych prac geofizycznych, wiertniczych, pomiarowych, inwentaryzacyjnych i modelowych.

Badania w obszarze lokalizacji obiektu jądrowego należy poprzedzić sporządzeniem projektu robót geologicznych, w którym przedstawiony zostanie pełen zakres prac i robót dla określenia szczegółowych warunków hydrogeologicznych w promieniu co najmniej 5 km od granic usytuowania obiektu jądrowego. W zależności od zakresu i harmonogramu dalszych prac wyniki wykonanych robót powinny zostać opracowane i przedstawione organowi administracji geologicznej, który zatwierdził projekt (zgodnie z ustawą Prawo geologiczne i górnicze). Jeżeli po zakończeniu prac nie powstanie wspomniana wcześniej dokumentacja (np. na skutek decyzji o zmianie lokalizacji obiektu jądrowego), to wyniki dotychczasowych robót geologicznych powinny być w ciągu 6 miesięcy zebrane, opracowane i przedstawione w postaci innej dokumentacji geologicznej, zgodnie z procedurami wskazanymi w tej ustawie.

W celu sporządzenia szczegółowej charakterystyki systemu wodonośnego w drugiej fazie procesu lokalizacji obiektu jądrowego należy przeprowadzić kartowanie hydrogeologiczne, hydrogeochemiczne i sozologiczne obejmujące promień co najmniej 5 km od granic usytuowania obiektu jądrowego. Proponowana skala w tym przypadku to 1 : 10 000.

Korzystając z rezultatów i wniosków uzyskanych w pierwszej fazie (istotny jest tu model matematyczny), należy w wytypowanych miejscach wykonać pojedyncze piezometri i/lub hydrowęzły. Pozwoli to uzyskać wiarygodne dane i parametry o zidentyfikowanych poziomach wodonośnych.

Lokalizację, liczbę i głębokość otworów należy dostosować do lokalnych warunków tak, by uzyskać pełne rozpoznanie systemu wodonośnego zarówno w obrębie obszaru lokalizacji obiektu jądrowego, jak i w miejscu jego lokalizacji. Generalnie na terenie kraju można spodziewać się kilku poziomów wodonośnych, w związku z tym należy zdecydować, które z nich wymagają monitoringu.

Niezwykle istotne jest, by w trakcie wierceń dokonywać pomiaru ustabilizowanego zwierciadła wody w każdym napotkanym horyzoncie wodonośnym. Oprócz tego zalecany jest pobór ciągłych rdzeni z danego otworu. Każde napotkane wydzielenie litologiczne powinno być opróbowane w celu dokładnego określenia składu granulometrycznego, porowatości efektywnej, odsączalności oraz innych parametrów. Są one niezbędne do konstrukcji poprawnego modelu matematycznego przepływu wód podziemnych oraz modelu transportu masy i migracji

potencjalnych zanieczyszczeń. Model migracji zanieczyszczeń może być w dalszych badaniach wykorzystany do symulacji awarii – np. wycieku radionuklidów z obiektu jądrowego do gruntu i przenikania do wód podziemnych.

W otworach obserwacyjnych należy przeprowadzić badania i testy hydrogeologiczne pozwalające na określenie parametrów hydraulicznych poszczególnych poziomów wodonośnych (próbne pompowania lub *slug test*) – w zależności od warunków hydrogeologicznych i konstrukcji otworów. Jednym ze standardowych sposobów są próbne pompowania pozwalające na wyznaczenie parametrów hydraulicznych badanej warstwy wodonośnej oraz określenie reakcji systemu wodonośnego w zasięgu oddziaływania pompowania. Podczas próbnego pompowania obserwacjami zwierciadła wody powinny być objęte wszystkie poziomy wodonośne, co do których istnieje podejrzenie kontaktu hydraulicznego z badanym poziomem wodonośnym.

Wskazane jest również wykonanie dodatkowych testów i badań przewodności hydraulicznej, stosując np. *slug test* czyli metodę wymuszonej (sztucznej) zmiany potencjału hydraulicznego w otworze. Test ten pozwala na dokładne określenie stanu technicznego wykonanych otworów obserwacyjnych oraz parametrów hydrogeologicznych strefy przyotworowej (współczynnik filtracji i przewodność warstwy wodonośnej).

Kolejnym istotnym zagadnieniem w ramach prac dokumentacyjnych jest wykonanie oceny naturalnej podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w obszarze lokalizacji. Uwzględnić należy przede wszystkim następujące elementy:

- charakterystykę utworów powierzchniowych, w tym miąższość i litologię strefy aeracji oraz osadów izolujących, w nadkładzie analizowanego poziomu wodonośnego;
- głębokość występowania i amplitudę wahań poziomów wodonośnych (w tym poziomów zawieszonych);
- głębokość do stropu poziomów wodonośnych, których podatność jest analizowana;
- różnice naporów hydraulicznych pomiędzy analizowanymi poziomami wodonośnymi.

Analiza podatności na zanieczyszczenia wód podziemnych powinna być zwieńczona wykonaniem mapy naturalnej odporności pierwszego poziomu wodonośnego lub głównego użytkowego poziomu użytkowego w oparciu o czas migracji zanieczyszczeń konserwatywnych z powierzchni terenu. Czas pionowej migracji zanieczyszczeń konserwatywnych (przepływu wody) z powierzchni terenu do warstwy wodonośnej (t) jest sumą czasu przesączania przez strefę aeracji (t_a) i czasu przesiąkania przez nadkład słabo przepuszczalną warstwy wodonośnej (t_p) w strefie saturacji: $t = t_a + t_p$. W przybliżeniu odpowiada on czasowi wymiany wody w profilu. Czas przesączania przez strefę aeracji liczyć można według procedur podanych w opracowaniu Kleczkowskiego (1984) lub sposobu wskazanego przez Witczaka i Żurka (1994).

Wspomniane wcześniej prace modelowe w drugiej fazie powinny skupić się na sporządzeniu matematycznego modelu niustalonego przepływu wód oraz transportu masy w wodach podziemnych w obszarze lokalizacji obiektu jądrowego. Głównym celem modelowania powinno być określenie zasięgu i zakresu potencjalnego zagrożenia skażeniem promieniotwórczym wód podziemnych po upływie 1 roku, 5 lat, 25 lat i 50 lat od wystąpienia potencjalnej awarii obiektu jądrowego. Model matematyczny

powinien pokazać potencjalne drogi (trajektorie) migracji zanieczyszczeń (zwłaszcza radionuklidów) w przypadku awaryjnego uwolnienia ich z obiektu jądrowego. Oczywiście kroki czasowe mogą być zmniejszone, jeżeli wyniki badań wskazują na szybszą migrację zanieczyszczeń niż zakładano wcześniej (Kulma & Zdechlik, 2009).

Model matematyczny sporządzony w drugiej fazie (obejmujący zarazem region lokalizacji) stanowi weryfikację modelu hydrogeologicznego opracowanego na etapie rozpoznania regionu lokalizacji obiektu jądrowego (I faza projektu). Model ten określa kierunki oraz prędkości przepływu wód podziemnych w granicach regionu lokalizacji obiektu jądrowego z uszczegółowieniem i doprecyzowaniem w obszarze lokalizacji i bezpośrednim sąsiedztwie miejsca usytuowania obiektu. Tym samym model numeryczny przepływu będzie przygotowany (po uwzględnieniu dodatkowych danych uzyskanych w III etapie badań) do symulacji transportu radionuklidów uwolnionych awaryjnie z obiektu jądrowego do wód podziemnych.

Dodatkowym celem prac modelowych w drugiej fazie badań jest prognoza zmian dynamiki przepływu wód podziemnych w wyniku posadowienia obiektu jądrowego. Wiąże się to z potrzebą określenia przybliżonego miejsca lokalizacji obiektu jądrowego i głębokości posadowienia oraz wymiarów. Pozwoli to określić potencjalne zmiany układu hydrodynamicznego oraz lokalnych kierunków przepływu wód podziemnych.

Wyniki prac realizowanych w drugiej fazie należy opisać w dokumentacji określającej warunki hydrogeologiczne w związku z zamierzonym wykonywaniem przedsięwzięć mogących negatywnie oddziaływać na wody podziemne, w tym powodować ich zanieczyszczenie – zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 8 maja 2014 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej.

Faza III – granice planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego

Trzecia faza prac powinna zakładać pogłębioną (w stosunku do fazy II) analizę warunków hydrogeologicznych w miejscu usytuowania obiektu jądrowego oraz jego bezpośrednim sąsiedztwie. Do wykonania przewidzianych w tej fazie badań hydrogeologicznych niezbędny będzie projekt techniczny obiektu, w tym lokalizacja poszczególnych elementów obiektu oraz infrastruktury towarzyszącej. W miejscu lokalizacji obiektu jądrowego niezbędne będzie wykonanie eksperymentów znacznikowych *in situ*, co pozwoli na określenie rzeczywistej prędkości przepływu wód podziemnych oraz innych parametrów, takich jak stała dyspersji dla modelu migracji radionuklidów w warstwie wodonośnej. Należy zaznaczyć, że brak możliwości wyznaczenia wartości stałych dyspersji *in situ* radykalnie wpłynie na obniżenie wiarygodności prognoz transportu radionuklidów w wodach podziemnych.

Podczas trzeciej fazy badań głównym celem powinno być:

- wyznaczenie wiarygodnych parametrów gruntu (pojemność sorpcyjna, stała podziału, porowatość efektywna, współczynnik opóźnienia migracji) determinujących prędkość i zasięg migracji zanieczyszczeń w wodach podziemnych, a zwłaszcza izotopów promieniotwórczych;
- szczegółowe scharakteryzowanie właściwości filtracyjnych podłoża;

- wyznaczenie lokalnych kierunków i prędkości przepływu wód podziemnych oraz migracji potencjalnych zanieczyszczeń w wodach podziemnych;

- określenie właściwości fizykochemicznych wód podziemnych, a zwłaszcza ocena agresywności wód podziemnych w stosunku do betonu i stali;

- wykonanie matematycznego modelu rozprzestrzeniania się izotopów promieniotwórczych uwolnionych do wód podziemnych w wyniku potencjalnej awarii.

Badania w granicach planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego powinny zakładać wykonanie dodatkowych otworów badawczych i/lub piezometrów. Wykonanie wspomnianych otworów należy poprzedzić projektem robót geologicznych, w którym trzeba opisać pełny zakres prac i robót geologicznych oraz badań w otworach mających na celu określenia szczegółowych warunków hydrogeologicznych w obszarze obiektu jądrowego. W zależności od specyfiki danej lokalizacji może być konieczne rozszerzenie obszaru badań poza granice lokalizacji obiektu jądrowego.

Lokalizację nowych otworów badawczych należy projektować bazując na rezultatach badań w dwóch poprzednich fazach, a zwłaszcza wynikach symulacji matematycznych. Nowe otwory mają na celu uzupełnienie informacji dla tych miejsc, gdzie dotąd istniał jeszcze pewien stopień niepewności w rozpoznaniu budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych. Oprócz badań i obserwacji w nowych otworach badawczych i piezometrach należy prowadzić kolejne obserwacje w zakresie nie mniejszym niż w fazie II. W piezometrach wykonanych w ramach drugiej i trzeciej fazy należy zamontować aparaturę do ciągłej rejestracji głębokości zwierciadła wody. Zbieranie danych i weryfikacja na podstawie pomiarów bezpośrednich powinna być na tyle częsta (optymalna częstotliwość to około 4 tygodnie), by luki w pomiarach, spowodowane ewentualnymi usterkami sprzętu pomiarowego, nie miały istotnego wpływu na uzyskane wnioski z obserwacji. Pobór próbek wody z otworów obserwacyjnych wykonanych w ramach drugiej i trzeciej fazy badań należy prowadzić w odstępach nie większych niż 6 miesięcy (rekomendowane jest opróbowanie w odstępach 2–3 miesięcznych).

Jednym z niezbędnych badań jest także określenie naturalnej zawartości izotopów promieniotwórczych w systemie wodonośnym – tzw. stanu zerowego przed wykonaniem inwestycji. Krok ten pozwoli na łatwiejsze rozwiązywanie potencjalnych konfliktów (np. między lokalną społecznością i inwestorem), wywołanych ich obecnością w wodach podziemnych, niesłusznie identyfikowanych z oddziaływaniem obiektu jądrowego podczas fazy budowy i eksploatacji (np. spowodowanych czynnikami geogenicznymi).

Charakterystyka środowiska gruntowo-wodnego w miejscu lokalizacji obiektu jądrowego, wzbogacona o nowe informacje, powinna zostać uwzględniona w modelu matematycznym. Uszczegółowienie modelu pozwoli na dokładniejsze obliczenie tzw. transportu masy w strumieniu wód podziemnych (transportu zanieczyszczeń) oraz uwzględnienie migracji zanieczyszczeń i podstawowych reakcji substancji występujących w wodzie z gruntem. Dzięki temu matematyczny model przepływu będzie w pełni przygotowany do symulacji transportu radionuklidów uwolnionych do wód podziemnych w wyniku potencjalnej awarii obiektu jądrowego. Symulację migracji radionuklidów należy wykonać w oparciu o scenariusze awaryjne, w których sprecyzowane są potencjalne miejsca

wycieku, natężenie strumienia radionuklidów, długość i czas trwania emisji.

Rezultatem trzeciej fazy badań powinno być uszczegółowienie rozpoznania budowy geologicznej, warunków hydrogeologicznych i krążenia wód podziemnych w rejonie miejsca usytuowania obiektu jądrowego. Kolejnym istotnym elementem jest ocena składu chemicznego wód podziemnych wraz z oceną ich agresywności oraz tła hydrochemicznego w odniesieniu do podstawowych składników i potencjalnych zanieczyszczeń związanych z funkcjonowaniem obiektu jądrowego oraz infrastruktury towarzyszącej. Zwieńczeniem prac będzie ostateczny numeryczny model krążenia wód podziemnych w rejonie obiektu, który można będzie zastosować do symulacji przepływu wód i migracji zanieczyszczeń uwalnianych do środowiska w wyniku potencjalnych awarii. Wyniki przeprowadzonych analiz należy przedstawić w raporcie opisującym założenia prowadzonych symulacji, potencjalne zagrożenia wód podziemnych, kierunki oraz zasięg migracji radionuklidów dla poszczególnych scenariuszy.

Zważywszy na to, iż obiekty jądrowe zaliczane są do przedsięwzięć mogących w znaczący sposób oddziaływać na środowisko (Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko), dokumentacja określająca warunki hydrogeologiczne w związku z zamierzonym wykonywaniem przedsięwzięć mogących negatywnie oddziaływać na wody podziemne, w tym powodować ich zanieczyszczenie oraz raport z prowadzonych symulacji sytuacji awaryjnych będą podstawą do opracowania oceny oddziaływania na wody podziemne planowanego obiektu jądrowego. Ocena ta powinna być realizowana zgodnie z wymaganiami Ustawy z dnia 3.10.2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko.

Wyniki prowadzonych badań mogą być podstawą dla wytycznych monitoringu wód podziemnych, który powinien być prowadzony w fazie budowy i funkcjonowania obiektu jądrowego. Lokalizacja punktów monitoringu musi być dostosowana do szczegółowego projektu obiektu oraz rezultatów prognoz wykonanych dla zakładanych scenariuszy uwolnienia zanieczyszczeń, a w szczególności radionuklidów. Częstotliwość opróbowania powinna być dostosowana do prędkości przepływu wód podziemnych i rodzaju zakładanych zagrożeń. Również zakres analiz powinien uwzględniać specyfikę obiektu jądrowego, a także potencjalnych izotopów lub związków, które mogą przedostać się do wód podziemnych.

PODSUMOWANIE

Opisane wyżej propozycje prac przedstawiają ogólny zakres i cykl działań, niezbędnych w procesie lokalizowania i oceny oddziaływania na środowisko projektowanych obiektów jądrowych. Jedną z najistotniejszych spraw jest zasięg obszaru badań, który nie powinien opierać się wyłącznie na z góry ustalonym promieniu dla poszczególnych etapów. Wskazania obszaru, który powinien być objęty badaniami na poszczególnych etapach prac, należy traktować orientacyjnie.

Poprawna ocena warunków hydrogeologicznych wymaga analiz w obszarach bilansowych wód podziemnych lub przynajmniej w oparciu o naturalne granice krążenia wód podziemnych, zwłaszcza poziomów wodo-

nośnych potencjalnie zagrożonych oddziaływaniem obiektu jądrowego. Dopiero na podstawie właściwego rozpoznania warunków hydrogeologicznych możliwe jest przeprowadzenie wiarygodnych symulacji prognostycznych. Dotyczy to zwłaszcza wariantów przewidujących migrację radionuklidów uwolnionych w wyniku potencjalnej awarii obiektu jądrowego w wodach podziemnych.

Badania prowadzone pod kątem lokalizowania obiektów jądrowych powinny mieć charakter kompleksowy, a jednocześnie w miarę możliwości ujednoczony, co ułatwiłoby obiektywne porównanie. Kluczowym zagadnieniem jest również podział badań na fazy. Rezygnacja z danej lokalizacji na wczesnym etapie pozwala inwestorowi uniknąć niepotrzebnych kosztów. Byłyby one znaczenie wyższe w przypadku konieczności wykonania kompleksowych i szczegółowych badań warunków hydrogeologicznych dla każdej zakładanej lokalizacji obiektu jądrowego.

LITERATURA

- HERBICH P., KAPUŚCIŃSKI J., NOWICKI K. & RODZIOCH A. 2013 – Metodyka określania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w obszarach bilansowych z uwzględnieniem potrzeb jednolitych bilansów wodnospodarczych. Poradnik metodyczny. Ministerstwo Środowiska Warszawa.
- KLECZKOWSKI A.S., JORDAN H.P., SILAR J., SZESTAKOW W.M. & WITCZAK S. (red.) 1984 – Ochrona wód podziemnych. Wyd. Geol., Warszawa.
- KULMA R. & ZDECHLIK R. 2009 – Modelowanie procesów filtracji. AGH, Uczelniane wydawnictwa naukowo dydaktyczne Kraków.
- NS-G-3.6 – Safety Guide: Geotechnical Aspects of Site Evaluation and Foundations for Nuclear Power Plants.
- NS-R-3 – Safety Requirements: Site Evaluation for Nuclear Installations. ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 8 maja 2014 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. 2014, poz. 596).
- ROZPORZĄDZENIE Rady Ministrów z dnia 10 sierpnia 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu przeprowadzania oceny terenu przeznaczanego pod lokalizację obiektu jądrowego, przypadków wykluczających możliwość uznania terenu za spełniający wymogi lokalizacyjnego dla obiektu jądrowego (Dz.U. 2012, poz. 1025)
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. 2011 Nr 163, poz. 981 z późn. zm.; Dz.U. 2014 Nr 0, poz. 596; Dz.U. 2012 nr 0, poz. 1025).
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2011 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów robót geologicznych (Dz.U. Nr 288, poz. 1696).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 15 grudnia 2011 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących innych dokumentacji geologicznych (Dz.U. 2011 Nr 282, poz. 1656).
- ROZPORZĄDZENIE Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko, Dz.U. 2010 Nr 213, poz. 1397 z późn. zm.
- USTAWA z dnia 29 czerwca 2011 r. O przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie obiektów energetyki jądrowej oraz inwestycji towarzyszących (Dz.U. 2011 Nr 135, poz. 789).
- USTAWA z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. 2011 Nr 163, poz. 981 z późn. zm.).
- USTAWA z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe (Dz.U. 2001 Nr 3, poz. 18, z późn. zm.).
- USTAWA z dnia 3.10.2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (Dz.U. 2008 Nr 199, poz. 1227).
- WITCZAK S. & ŻUREK A. 1994 – Wykorzystanie map glebowo-rolniczych w ocenie ochronnej roli gleb dla wód podziemnych. [W:] KLECZKOWSKI A.S. i in. (red.) – Metodyczne podstawy ochrony wód podziemnych. Wyd. AGH, Kraków: 155–180.