



PAŃSTWOWA
AGENCJA
ATOMISTYKI

**Zalecenia techniczne
Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki
dotyczące oceny warunków
geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych
dla lokalizacji obiektów jądrowych**

Warszawa, 2014

Państwowa Agencja Atomistyki
ul. Krucza 36
00-522 Warszawa

Praca powstała na podstawie materiałów opracowanych przez:

Zespół pracowników Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego (PIG-PIB) z Programów: Geologia dla Zagospodarowania Przestrzennego i Budownictwa oraz Zasoby i Ochrona Wód Podziemnych w składzie:

dr Zbigniew Frankowski upr. geol. 06 0295

dr Piotr Herbich upr. geol. V-1210

Zespół redakcyjny PAA:

Robert Truszkowski

Krzysztof Makowski

SPIS TREŚCI

ABSTRAKT	7
1. WSTĘP	8
1.1. Raport lokalizacyjny	11
1.2. Sposób pozyskania danych	13
1.3. Ocena wiarygodności i spodziewana metodyka interpretacji.....	16
1.4. Kompleksowa i zintegrowana baza danych	16
2. Ocena warunków geologiczno-inżynierskich podłoża	19
2.1. Cel.....	19
2.2. Etap I – region lokalizacji	21
2.2.1. Określenie intensywności procesów erozyjnych i akumulacyjnych z oceną możliwego wpływu na obiekt jądrowy	23
2.2.2. Charakterystyka ilościowa i rodzajowa istniejących form krasowych wraz z oceną możliwości rozwoju krasowienia w zmienionych warunkach obciążeń oraz dynamiki wód podziemnych	25
2.2.3. Określenie stabilności geologiczno-inżynierskiej podłoża gruntowego	27
2.2.4. Podsumowanie I etapu prac	27
2.3. Etap II – obszar lokalizacji	28
2.3.1. Dokumentowanie procesów sufozji i upłynnienia	32
2.3.2. Dokumentowanie procesów krasowienia	33
2.3.3. Dokumentowanie procesów zboczowych.....	34
2.3.4. Określenie stateczności istniejących skarp i zboczy	35
2.3.5. Procesy wietrzeniowe	40
2.3.6. Próbkki	40
2.3.7. Obserwacje hydrogeologiczne	41
2.3.8. Podsumowanie II etapu prac	41
2.4. Etap III – Granice planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego.....	42
2.4.1. Ocena sposobu posadowienia obiektu z uwzględnieniem warunków geologiczno-inżynierskich	46
2.4.2. Analiza osiadań obiektu z uwzględnieniem warunków geologiczno-inżynierskich	52
2.5. Zakres i rodzaj prac terenowych.....	53
2.5.1. Prace geodezyjne	53

2.5.2. Prace teledetekcyjne.....	54
2.5.3. Prace i roboty geologiczne.....	54
2.5.4. Badania znormalizowane i specjalistyczne	56
2.5.5. Badania geofizyczne	57
2.5.6. Badania środowiskowe	62
2.6. Badania laboratoryjne.....	63
2.7. Sposób przedstawienia uzyskanych wyników i danych	64
2.8. Sposoby interpretacji danych	69
2.9. Zalecenia dla etapu budowy i eksploatacji.....	72
3. Ocena warunków hydrogeologicznych.....	74
3.1. Cel.....	74
3.2. Etap I – region lokalizacji	76
3.2.1. Określenie charakterystyki systemu hydrogeologicznego	78
3.2.2. Identyfikacja warunków hydrogeologicznych w regionie lokalizacji obiektu jądrowego	78
3.2.3. Zebranie danych niezbędnych do rozpoznania charakterystyki systemu wodonośnego w regionie lokalizacji obiektu jądrowego	79
3.2.4. Opracowanie modelu hydrogeologicznego regionu lokalizacji obiektu jądrowego i jego otoczenia	81
3.2.5. Charakterystyka dynamiki wód podziemnych i jej zmiany	81
3.2.6. Identyfikacja danych niezbędnych do rozpoznania regionalnych kierunków i prędkości przepływu wód podziemnych w regionie lokalizacji obiektu jądrowego	82
3.2.7. Charakterystyka właściwości fizykochemicznych wód podziemnych, w szczególności ocena agresywności wód podziemnych w stosunku do betonu i stali	83
3.2.8. Badania terenowe i kartowanie hydrogeologiczne.....	84
3.2.9. Kartowanie sozologiczne.....	86
3.2.10. Charakterystyka systemu hydrogeologicznego.....	87
3.2.11. Model hydrogeologiczny (konceptualny) regionu lokalizacji.....	88
3.2.12. Przedstawienie uzyskanych wyników I etapu prac	92
3.3. Etap II – obszar lokalizacji	96
3.3.1. Badania terenowe i kartografia hydrogeologiczna	97
3.3.2. Kartowanie hydrogeochemiczne	99
3.3.3. Kartowanie sozologiczne.....	100
3.3.4. Wykonanie otworów badawczych i próbne pompowania.....	102

3.3.5. Ocena naturalnej podatności wód podziemnych pierwszego poziomu wodonośnego na zanieczyszczenie.....	103
3.3.6. Modelowanie matematyczne	105
3.3.7. Ocena warunków hydrogeologicznych	106
3.3.8. Przedstawienie wyników prac II etapu	106
3.4. Zalecenia dla etapu budowy i eksploatacji.....	109
4. Weryfikacja uzyskanych informacji.....	111
5. Literatura i akty prawne.....	113
5.1. Akty prawne.....	113
5.2. Instrukcje, wytyczne.....	114
5.3. Normy.....	115
5.4. Literatura.....	115

ABSTRAKT

Celem tej publikacji jest wskazanie oczekiwanych przez Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki rozwiązań, które są konieczne do najlepszego rozpoznania warunków geologiczno-inżynierskich oraz hydrogeologicznych i związanych z tym zagrożeń w obszarze rozważanym pod kątem lokalizacji obiektu jądrowego, uwzględniając wpływ działalności człowieka.

Opisany w zaleceniach zakres prac obejmuje m.in. opis budowy geologicznej i hydrogeologicznej, określenie stabilności podłoża oraz prognozę zmian dynamiki wód podziemnych. Przytoczone są źródła pozyskania danych wejściowych, sposób weryfikacji danych oraz interpretacji i przedstawienia wyników. Przewidziano etapowość dokonywania oceny od skali ogólnej – regionu lokalizacji, przez obszar lokalizacji, do najbardziej szczegółowego – w granicach planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego.

Prace prowadzone według niniejszych zaleceń mają doprowadzić do odpowiedzi, czy na danym obszarze, ze względu na budowę geologiczną, można posadzić obiekt jądrowy.

Na podstawie oceny terenu przeznaczonego pod lokalizację obiektu jądrowego inwestor opracowuje raport lokalizacyjny i przedstawia go Prezesowi Państwowej Agencji Atomistyki („Prezes PAA”). Raport lokalizacyjny podlega ocenie Prezesa PAA w toku postępowania o wydanie zezwolenia na budowę obiektu jądrowego.

1. WSTĘP

Zgodnie z art. 110 pkt. 3 ustawy z dnia 29 listopada 2000 r. - Prawo atomowe (Dz. U. 2012, poz. 264 z późn. zm.), do zakresu działania Prezesa PAA należy wykonywanie zadań związanych z zapewnieniem bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej kraju, a w szczególności wydawanie zaleceń technicznych i organizacyjnych w sprawach bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej. Zalecenia Prezesa PAA nie należą do katalogu źródeł powszechnie obowiązującego prawa w Polsce, dlatego też nie mogą przyznawać uprawnień ani obowiązków jednostkom organizacyjnym.

Niniejsze opracowanie ma na celu wskazanie podejścia dozorowego PAA do oceny warunków lokalizacji obiektu jądrowego w zakresie geologii inżynierskiej i hydrogeologii. Opracowanie dostosowano do przepisów polskich, w szczególności dotyczących wymogów bezpieczeństwa jądrowego, jak też aktów prawnych obowiązujących na podstawie odrębnych przepisów, norm, a także z zachowaniem zasad dobrej praktyki. Zalecenia spełniają wymagania wynikające z ustawy – Prawo atomowe oraz rozporządzenia 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 (Dz. U. 2012, poz. 1025), dalej zwanym rozporządzeniem lokalizacyjnym.

Należy wziąć pod uwagę, że mimo iż niniejszy dokument stanowi obszernie omówienie zagadnień dotyczących oceny warunków geologiczno-inżynierskich oraz hydrogeologicznych, to w żadnym wypadku nie może być uważany za to w żadnym wypadku nie może być uważany za wyczerpujący całość zagadnień i problemów związanych z tą oceną.

Zgodnie z Art. 7 ust. 1 ustawy – Prawo atomowe za przestrzeganie wymagań bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej odpowiada kierownik jednostki organizacyjnej wykonującej działalność związaną z narażeniem.

Zgodnie z art. 35 ust. 4 ustawy – Prawo atomowe w procesie lokalizacji obiektu jądrowego należy stosować rozwiązania techniczne i organizacyjne, które są niezbędne do spełnienia wymagań, o których mowa w art. 9 ust. 1, na wszystkich etapach funkcjonowania obiektu jądrowego. Art. 9 ust. 1 ustawy – Prawo atomowe stanowi, iż kierownik jednostki organizacyjnej zapewnia wykonywanie działalności zgodnie z zasadą optymalizacji, wymagającą, aby – przy rozsądnym uwzględnieniu czynników ekonomicznych i społecznych – liczba narażonych pracowników i osób z ogółu ludności była jak najmniejsza, a otrzymywane przez nich dawki promieniowania jonizującego były możliwie małe.

Przed przystąpieniem do prac badawczych powinien być opracowany dokument nakreślający plan konkretnych badań i analiz projektowanych do realizacji w każdym z trzech etapów omówionych poniżej. W dokumencie tym powinien zostać szczegółowo omówiony i uzasadniony zakres i parametry badań dla etapu I, natomiast opis badań dla etapu II i etapu III może być bardziej ogólny, gdyż szczegółowy plan badań będzie możliwy do

opracowania dopiero po podsumowaniu wyników prac w zrealizowanych etapach. Planowany podział prac przedstawiony został w tabeli 1.

Tabela 1. Podział prac.

Etap	Zakres	Geologia inżynierska	Hydrogeologia
I	Region lokalizacji	Harmonogram prac dla wszystkich etapów Projekt robót geologicznych (PRG)	Harmonogram prac dla wszystkich etapów PRG
II	Obszar lokalizacji	<u>Dokumentacja geologiczno-inżynierska (DG-I)</u>	Ostateczne udokumentowanie wykonanych robót hydrogeologicznych Posumowanie etapów I i II: <u>Dokumentacja hydrogeologiczna (DH)</u>
III	Granica planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego	PRG <u>DG-I</u>	

Efektom końcowej oceny warunków geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych dla wybranej lokalizacji obiektu jądrowego powinny być: dwie dokumentacje geologiczno-inżynierskie oraz dokumentacja hydrogeologiczna, które powinny zawierać:

- Określenie budowy geologicznej regionu lokalizacji, obszaru lokalizacji oraz w obrębie granic planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego (granice obiektu jądrowego),
- Opracowanie kompleksowej i zintegrowanej bazy danych,
- Opracowanie modelu geologicznego (z elementami geologiczno-inżynierskimi) oraz modelu hydrogeologicznego – począwszy od regionu lokalizacji, w tym numerycznego modelu przepływu wód podziemnych,
- Opracowanie charakterystyki systemu hydrogeologicznego,
- Rozpatrzenie kryteriów wykluczających dany teren ze zlokalizowania na nim obiektu jądrowego,
- Szczegółowa ocena warunków geologiczno-inżynierskich oraz hydrogeologicznych.

Zgodnie z rozporządzeniem lokalizacyjnym, wykorzystywane są następujące definicje dotyczące przestrzennego zakresu koniecznych badań:

Granice planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego – rozumie się przez 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 graniach wytyczonego okręgu.

Obszar lokalizacji – rozumie się przez 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 – rozumie się przez to teren w odległości do 30 km od granic planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego.

Dodatkowo, do opracowania niniejszego dokumentu, wykorzystano następujące wytyczne Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA):

- Safety Guide No. NS-G-3.6: Geotechnical Aspects of Site Evaluation and Foundations for Nuclear Power Plants,
- Safety Requirements No. NS-R-3: Site Evaluation for Nuclear Installations,
- Safety Guide No. NS-G-3.1: External Human Induced Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants,
- Specific Safety Guide No. SSG-18: Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations,
- Specific Safety Guide No. SSG-9: Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations for protecting people and the environment.

Zgodnie ze Standardami bezpieczeństwa MAEA, szczególnie z wymaganiami dotyczącymi lokalizacji obiektów jądrowych NS-R-3, jak też wytycznymi NS-G-3.6, dotyczącymi oceny lokalizacji obiektu jądrowego w zakresie warunków geotechnicznych i geologiczno-inżynierskich, proces wyboru lokalizacji obiektu jądrowego odbywa się etapowo, tj. drogą „kolejnych przybliżeń”. Wyróżnia się następujące etapy:

- **etap wyboru lokalizacji**, w którym dokonuje się rozpoznania i oceny warunków geologiczno-inżynierskich oraz hydrogeologicznych danego terenu pod kątem spełnienia wymagań dot. lokalizacji obiektu jądrowego (NS-G-3.6), Na etapie tym brane są pod uwagę nie tylko wymogi bezpieczeństwa jądrowego, lecz także m.in. ekonomiczne, transportowe, technologiczne (przyłączenie do sieci itp.),

- **etap charakterystyki lokalizacji** predestynowanej do posadowienia obiektu jądrowego, który składa się z (NS-R-3, NS-G-3.6):
 - **etapu weryfikacji** danych uzyskanych na etapie wyboru lokalizacji,
 - **etapu potwierdzenia** wstępnie przyjętych założeń odnośnie charakterystyki terenu przeznaczanego pod budowę,
- **etap budowy**, w którym wybrane prace, rozpoczęte w poprzednich etapach, są kontynuowane, a wyniki badań, uzyskane w poprzednich etapach są weryfikowane w celu ostatecznego potwierdzenia uzyskanych danych (NS-G-3.6),
- **etap eksploatacji**, w którym wybrane badania dot. charakterystyki terenu są nadal kontynuowane (NS-G-3.6).

1.1. Raport lokalizacyjny

Raport lokalizacyjny zgodnie z § 6. rozporządzenia lokalizacyjnego powinien zawierać:

- 1) dokumentację geologiczno-inżynierską wykonaną zgodnie z przepisami dotyczącymi sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich na potrzeby posadawiania obiektów budowlanych,
- 2) dokumentację hydrogeologiczną wykonaną zgodnie z przepisami dotyczącymi sporządzania dokumentacji hydrogeologicznej określającej warunki hydrogeologiczne w związku z projektowaniem inwestycji mogących zanieczyścić wody podziemne.

Zgodnie z Prawem geologicznym i górnictwem (Dz. U. 2011, nr 163, poz. 981 z późn. zm.) prace geologiczne z zastosowaniem robót geologicznych mogą być wykonywane tylko na podstawie opracowanego i zaakceptowanego projektu robót geologicznych. Projekt ten powinien spełniać wymagania rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2012 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów robót geologicznych, w tym robót, których wykonywanie wymaga uzyskania koncesji (Dz. U. 2011, nr 288, poz. 1696).

Dokumentacja geologiczno-inżynierska i hydrogeologiczna, oprócz wymagań zawartych w ustawie Prawo geologiczne i górnicze oraz w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 8 maja 2014 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i geologiczno-inżynierskiej (Dz. U. 2014, poz. 596), musi zawierać wyniki przeprowadzonej oceny terenu przeznaczanego pod lokalizację obiektu jądrowego, zgodnie z § 2. rozporządzenia lokalizacyjnego, a mianowicie:

- 1) w zakresie warunków geologiczno-inżynierskich:
 - warunki geologiczno-inżynierskie podłoża oraz ich zmiany, ze szczególnym uwzględnieniem właściwości fizyczno-mechanicznych podłoża, zwłaszcza nośności, osiadania i zapadowości, jak też ryzyko wystąpienia upłynnienia i pęcznienia oraz innych procesów niekorzystnych dla posadawiania obiektu jądrowego,

- proces osiadania obiektu jądrowego, z uwzględnieniem lokalnych warunków geologiczno-inżynierskich,
- intensywność procesów erozyjnych i akumulacyjnych z oceną możliwego wpływu na obiekt jądrowy, w tym na systemy chłodzenia obiektu jądrowego, w odniesieniu do:
 - erozji powierzchniowej,
 - akumulacji, w tym wodnej, a dla regionów nadmorskich także eolicznej, z uwzględnieniem ekstremalnych zjawisk meteorologicznych i hydrologicznych,
- na terenach występowania skał węglanowych oraz gipsowych – charakterystykę ilościową i rodzajową istniejących form krasowych wraz z oceną możliwości rozwoju krasowienia w zmienionych warunkach obciążeń oraz dynamiki wód podziemnych,
- występowanie i możliwość wystąpienia deformacji filtracyjnych typu sufozji, przebicia hydraulicznego i wyparcia hydraulicznego, z uwzględnieniem zmiany dynamiki krążenia wód podziemnych,
- stateczność istniejących skarp i zboczy i jej możliwe zmiany, w szczególności na skutek statycznego obciążenia od obiektu jądrowego i działania obciążeń dynamicznych eksploatacyjnych oraz będących skutkiem wstrząsów sejsmicznych, a także zjawisk meteorologicznych i hydrologicznych,
- w przypadku występowania gruntów o słabych parametrach mechanicznych, gruntów mogących podlegać upłynnieniu, gruntów pęczniejących, niewystarczającej stateczności istniejących skarp, zboczy lub nasypów lub w przypadku innych procesów geologicznych niepożądanych przy budowie lub eksploatacji obiektu jądrowego – propozycje projektowe zapewnienia stateczności podłoża dla obiektu jądrowego, opracowane na podstawie charakterystycznych parametrów technicznych planowanego obiektu jądrowego;

2) w zakresie warunków hydrogeologicznych:

- charakterystykę systemu hydrogeologicznego z:
 - oceną dostępnych w regionie lokalizacji zasobów wód podziemnych w utworach czwartorzędowych i paleogeńsko-neogeńskich oraz starszego podłoża, ze szczególnym uwzględnieniem utworzonych i planowanych stref ochronnych ujęć wód podziemnych i obszarów ochronnych głównych zbiorników wód podziemnych oraz występowania wód mineralnych, termalnych, leczniczych, solanek, a także utworzonych lub planowanych dla nich obszarów górniczych,
 - kierunkami i prędkościami migracji wód podziemnych,

- właściwości filtracyjne podłoża, ze szczególnym uwzględnieniem dróg i głębokości migracji wód powierzchniowych i opadowych, zmiany sezonowe,
- właściwości fizykochemiczne wód podziemnych, w tym w szczególności ocenę agresywności wód podziemnych w stosunku do betonu i stali,
- charakterystykę dynamiki wód podziemnych i jej zmian,
- prognozę zmian dynamiki wód podziemnych w wyniku posadawiania obiektu jądrowego, obejmującą prognozę warunków stabilizacji systemu hydrogeologicznego oraz maksymalną głębokość i zasięg oddziaływania obiektu jądrowego na ten system, z uwzględnieniem dróg i głębokości migracji wód powierzchniowych i opadowych oraz wpływu tych zmian na eksploatowane i potencjalnie użytkowe zbiorniki wód podziemnych oraz poziomy wodonośne.

Opracowana na potrzeby raportu lokalizacyjnego dokumentacja geologiczno-inżynierska stanowi jednocześnie załącznik do wniosku o pozwolenie na budowę zgodnie z art. 34 ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (Dz. U. 2013, poz. 1409 z późn. zm.).

1.2. Sposób pozyskania danych

Sposób pozyskania danych oraz ich znaczenie zależy od etapu prac prowadzonych w celu oceny warunków lokalizacji obiektu jądrowego. W trakcie etapu I główne znaczenie odgrywają materiały archiwalne, a także w pewnych przypadkach dane pomiarowe. Etap II wykorzystuje głównie dane pomiarowe oraz dane pochodzące z monitoringu, a także informacje uzyskane w etapie I. Etap III opiera się głównie na wykorzystywaniu danych pomiarowych i monitoringowych wraz z wynikami uzyskanymi w etapie I i etapie II. Szczególnie ważne jest, żeby prace realizowane na etapach II i III w pełni wykorzystywały wszystkie wyniki uzyskane w poprzednich etapach. W związku z tym rekomenduje się, by przed przystąpieniem do etapu II przygotowane zostało podsumowanie wszystkich wyników uzyskanych w trakcie etapu I i analogicznie, by przed przystąpieniem do etapu III, przygotowane zostało podsumowanie wszystkich wyników uzyskanych w trakcie etapu II. Zaleca się także, by podsumowanie wyników uzyskanych w etapie I zawarte było w projekcie robót geologicznych, który będzie określał zadania do realizacji odpowiednio w ramach etapu II, natomiast podsumowanie etapu II (a także III) będzie w formie odpowiedniej dokumentacji geologicznej. Przygotowując plan prac badawczych dotyczących poszczególnych etapów należy pamiętać, iż opisany poniżej zakres danych i informacji rekomendowanych do pozyskania traktować należy jako punkt wyjścia dla określenia finalnego zakresu badań. W szczególności, nie można wykluczyć, iż dla konkretnych badanych obszarów pozyskane mogą być pewne specyficzne typy danych i informacji, nie umieszczone w poniższym spisie. Rolą inwestora powinna być taka organizacja badań, by uzyskane wyniki oparte były na jak najpełniejszym zestawie dostępnych danych i informacji. Również sposób pozyskania danych powinien być optymalny, a podane poniżej rekomendowane sposoby ich pozyskania traktować należy tylko jako zalecenia, które nie muszą wyczerpywać wszystkich możliwości pozyskania danych potrzebnych czy wręcz niezbędnych do poprawnej oceny warunków

geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych miejsca planowanego posadowienia obiektu jądrowego.

Dane do oceny lokalizacji obiektu jądrowego pod kątem oceny warunków geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych należy podzielić na trzy ogólne kategorie.

Dane archiwalne: dane zgromadzone w istniejących bazach danych, archiwach oraz w materiałach opublikowanych itp.

Celem pozyskania materiałów historycznych jest dostarczenie jak największej liczby danych o analizowanym terenie (granicy planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego, obszaru lokalizacji, regionu lokalizacji) głównie w pierwszym etapie prac. Informacje te powinny zostać zweryfikowane i uzupełnione (w kolejnych etapach) o dane pomiarowe z badań terenowych i laboratoryjnych.

Do danych archiwalnych zaliczają się m.in:

- dokumentacje geologiczne oraz inne opracowania geologiczne,
- opinie geotechniczne oraz inne opracowania geotechniczne,
- mapy o tematyce geologicznej:
 - mapy geologiczne,
 - mapy geologiczno-gospodarcze i geośrodowiskowe,
 - mapy geologiczno-inżynierskie,
 - mapy geofizyczne,
 - mapy hydrogeologiczne,
 - mapy glebowe,
 - mapy tektoniczne,
 - mapy i szkice geomorfologiczne.
- mapy topograficzne, zdjęcia satelitarne i ortofotomapy, numeryczne modele terenu,
- dokumentacje hydrogeologiczne oraz inne opracowania hydrogeologiczne,
- dane o obecnej i przeszłej działalności górniczej, w tym dane o możliwych oddziaływaniach takich jak osiadania i wstrząsy sejsmiczne (w tym również plany nieczynnych kopalni),
- zapisy sejsmologiczne i dane o trzęsieniach ziemi,
- profile otworów wiertniczych (geologiczno-inżynierskich, geotechnicznych, poszukiwawczych, złożowych, stratygraficznych, hydrogeologicznych piezometrów),

- dane o współczesnych osuwiskach, powodziach, osiadaniach i innych procesach geodynamicznych,
- informacje o sąsiadujących obiektach budowlanych.

Sposób pozyskania materiałów archiwalnych:

Dane historyczne dostępne są w następujących archiwach, bibliotekach, zbiorach danych itp.:

- Narodowym Archiwum Geologicznym, Centralnej Bazie Danych Geologicznych, różnego rodzaju archiwach lokalnych (wojewódzkich, powiatowych itp.),
- archiwach firm komercyjnych krajowych i zagranicznych, które są właścicielami danych geologicznych i hydrogeologicznych, obejmujących region lokalizacji obiektu jądrowego – po uzyskaniu stosownych zgód wymaganych przez ustawę Prawo geologiczne i górnicze i inne regulacje prawne,
- publikacjach naukowych i innych opracowaniach dostępnych w domenie publicznej,
- bibliotekach np.: Biblioteka Narodowa, biblioteka PIG-PIB,
- jednostkach badawczych i uczelniach wyższych,
- na stronach internetowych np.: dokumenty.pgi.gov.pl, atlasy.pgi.gov.pl, psh.gov.pl,
- Centralnym Banku Danych Hydrogeologicznych - Bank HYDRO,
- bazy danych „Pobory” (PIG-PIB), informacje o ujęciach i poborach wód podziemnych,
- dane z sieci monitoringu krajowego wód podziemnych dotyczące stanów i chemizmu tych wód w punktach zlokalizowanych w regionie planowanej lokalizacji,
- dane z katastru wodnego, zgromadzone we właściwych terytorialnie Regionalnych Zarządach Gospodarki Wodnej,
- baza danych GIS Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (PIG-PIG, KZGW),
- informacje o złożach, terenach i obszarach górniczych - Rejestr Obszarów Górniczych oraz system Gospodarki i Ochrony Bogactw Mineralnych Polski MIDAS (PIG-PIB),
- dane z państwowego rejestru granic,

po uzyskaniu stosownych zgód wymaganych przez ustawę Prawo geologiczne i górnicze, ustawę o dostępie do informacji publicznej, a także inne przepisy szczegółowe.

Dane pomiarowe: dane uzyskane w wyniku specjalistycznych prac pomiarowych, zrealizowanych specjalnie na potrzeby oceny warunków geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych przedmiotowego terenu.

Zakres i rodzaj prac terenowych powinien być dostosowany do etapu badań lokalizacyjnych oraz przewidywanego stopnia skomplikowania warunków gruntowych. Zaleca się przeprowadzić zarówno badania geologiczno-inżynierskie, hydrogeologiczne oraz geofizyczne.

Dane pozyskuje się w ramach prac terenowych do których można zaliczyć:

- prace geodezyjne,
- prace teledetekcyjne,
- prace i roboty geologiczne,
- badania znormalizowane (np. sondowania) i specjalistyczne,
- badania laboratoryjne,
- badania geofizyczne,
- badania środowiskowe.

Dane z ciągłego monitoringu: dane zebrane z zainstalowanych urządzeń takich jak np.: piezometry, inklinometry.

1.3. Ocena wiarygodności i spodziewana metodyka interpretacji

Prace analityczne oparte będą na danych archiwalnych, w związku z tym należy ocenić jakość tych danych, w szczególności danych pochodzących z projektów badawczych i dokumentacji zrealizowanych wiele lat temu. Przeanalizować należy zastosowaną metodykę pomiarową, metodykę przetwarzania danych oraz metodykę ich interpretacji, odnosząc wyniki tych analiz do metodyki współcześnie prowadzonych badań geologicznych, hydrogeologicznych i geofizycznych. W trakcie prowadzonych analiz należy dokonać kompilacji i reinterpretacji danych archiwalnych (zwłaszcza badań geofizycznych i modelowych), w uzasadnionych przypadkach wykonując ich ponowne przetwarzanie (reprocessing).

Dane dotyczące lokalizacji obiektów, ich stanu, sposobu wykorzystania, aktualnego poboru wody należy weryfikować w trakcie prac kartograficznych bezpośrednio w terenie.

1.4. Kompleksowa i zintegrowana baza danych

Ogólnie przyjęte jest, że zebrane przedmiotowe dokumenty, informacje i dane (na przykład dotyczące terenu badań dla lokalizacji obiektów jądrowych) przetrzymuje się w postaci baz danych. Bazę danych należy prowadzić niezależnie dla rozpoznania geologiczno-inżynierskiego i hydrogeologicznego. Zawarcie wszelkich dostępnych zagadnień

dotyczących badanego elementu zapewnia kompleksowość przetrzymywanych danych. Zespolecie baz danych, w których zgromadzono różnego rodzaju materiały oraz wszystkie możliwe informacje z rozmaitych dziedzin pozwala na zintegrowanie ich w jedną bazę danych.

Kompleksowa i zintegrowana baza danych oferuje pełne wsparcie informacyjno-decyzyjne, zarówno w sensie swobodnego dostępu do informacji na różnym poziomie szczegółowości, integracji funkcjonalnej i złożoności prezentacyjnej. Gwarantuje również, dzięki narzędziom eksploracji danych i ekstrakcji wiedzy, możliwość wykorzystania złożonych procedur analitycznych, prognostycznych, takich jak na przykład statystyczne analizy geoprzestrzenne.

Najważniejszymi składnikami bazy danych dla podmiotowego celu są elementy takie jak:

- baza archiwalnych dokumentacji – skupiająca wszelkie opracowania zawierające informacje na temat badań wykonanych na danym terenie,
- baza literaturowa – zawierająca spis dostępnej, dziedzinowej literatury z obszaru badań,
- baza pism i dokumentów – kumulująca wszystkie pisma i dokumenty związane z prowadzeniem działań lokalizacyjnych dla obiektów jądrowych,
- otworowa baza punktów dokumentacyjnych – zbierająca możliwie wszystkie profile punktów dokumentacyjnych (wraz z ich lokalizacją) położonych w pobliżu obszarów przeznaczonych do lokalizacji obiektów jądrowych,
- baza warstw rastrowych – zawierająca wszelkie dostępne rastrowe warstwy informacyjne dotyczące terenu badań, np.: podkłady topograficzne, ortofotomapy itp.,
- baza warstw wektorowych – gromadząca cyfrowe warstwy wektorowe (punktowe, liniowe, poligonowe i przestrzenne) niezbędne przy lokalizowaniu obiektów jądrowych.

Baza danych GIS powinna obejmować pozyskane z różnych źródeł dane archiwalne oraz wyniki badań terenowych prowadzonych we wszystkich etapach rozpoznania warunków hydrogeologicznych, w promieniu co najmniej 30 km od miejsca lokalizacji obiektu jądrowego. Zbieranie, weryfikację i analizę materiałów archiwalnych należy traktować jako jedną z najważniejszych czynności w ocenie warunków geologiczno-inżynierskich oraz hydrogeologicznych, wykonywanych w ramach pierwszego etapu prac.

Istotną kwestią jest tutaj odpowiednie oprogramowanie bazodanowe lub grupa programów (w postaci systemu baz danych), w których przetrzymywane są wszystkie elementy bazy danych. Program powinien być zbudowany modułowo i obsługiwać wszystkie lub prawie wszystkie rodzaje przetrzymywanych informacji (tekstowe, liczbowe, rastrowe, wektorowe itp.). Poza gromadzeniem, program powinien także umożliwiać aktualizowanie

oraz dodawanie nowych danych w miarę poszerzania wiedzy i zdobywania nowych informacji (pozyskanych w wyniku prac terenowych, kartowania, wierceń, badań w otworach itp.).

Oprogramowanie bazodanowe powinno być oparte o aktualne, najnowsze standardy sprzętowo-programowe, z możliwością przenoszenia na różne platformy zarówno jeśli chodzi o sprzęt, systemy operacyjne, infrastrukturę teleinformatyczną, bezpieczeństwo zachowania danych itp. Obecnie tego typu programy i bazodanowe systemy informacyjne tworzone są w oparciu o centralne zarządzanie danymi i serwer bazy danych przy wykorzystaniu graficznego interfejsu użytkownika, z pełnym zabezpieczeniem przed utratą danych.

2. Ocena warunków geologiczno-inżynierskich podłoża

2.1. Cel

Celem badań geologiczno-inżynierskich jest:

- ocena stanu środowiska geologicznego pod kątem czynników istotnych dla posadawiania obiektów,
- wiarygodna prognoza zmian stanu środowiska geologicznego w zakresie istotnym dla posadawiania obiektów, opracowana na określony czas, z dokładnością wymaganą w kolejnych etapach badań lokalizacyjnych.

Wiarygodność i dokładność oceny i prognozy jest uzależniona od:

- stopnia rozpoznania budowy geologicznej i procesów geodynamicznych: naturalnych i indukowanych,
- stopnia poznania naturalnych procesów, które ukształtowały środowisko geologiczne,
- efektów wpływu na środowisko geologiczne działalności ludzkiej, zarówno aktualnej, jak i przewidywanej w związku ze zmianami planów zagospodarowania przestrzennego, działalnością górniczą i prowadzeniem robót budowlanych,
- doświadczeń w zakresie wpływu środowiska geologicznego i jego zmian na sposób zagospodarowania terenu oraz na konstrukcje obiektów budowlanych.

Zebranie odpowiedniej liczby danych, których analiza i synteza umożliwia:

- ocenę warunków geologiczno-inżynierskich środowiska geologicznego,
- prawidłową prognozę zmian warunków geologiczno-inżynierskich w czasie,
- określenie wpływu tych zmian na projektowane, wykonywane lub eksploatowane obiekty budowlane.

Przy ocenie warunków geologiczno-inżynierskich należy wyróżnić dwa typy procesów:

- procesy, które zostały zidentyfikowane w trakcie badań lokalizacyjnych i na pewno będą wpływać na obiekt jądrowy,
- procesy, które mogą ujawnić się w trakcie budowy i eksploatacji obiektu jądrowego.

Jednym z podstawowych celów i efektów oceny warunków geologiczno-inżynierskich jest opracowanie modelu geologicznego. Model geologiczny zaleca się opracować na pierwszym etapie badań lokalizacyjnych.

W kolejnych etapach badań lokalizacyjnych model geologiczny podlega aktualizacji - uszczegółowieniu. W efekcie uzyskiwany jest coraz dokładniejszy (prawdopodobny) model geologiczny dostosowany do dokładności rozpoznania, czyli stopnia udokumentowania modelu geologicznego, który jest wymagany na kolejnych etapach badań.

W celu opracowania modelu geologicznego konieczne jest:

- zebranie i analiza materiałów historycznych (archiwalnych),
- ustalenie zakresu badań geologiczno-inżynierskich w zależności od etapu badań lokalizacyjnych, który w odpowiednim stopniu udokumentuje model geologiczny,
- identyfikacja zagrożeń i określenie prawdopodobieństwa ich wystąpienia w zależności od obszaru badań oraz określenie konsekwencji, jakie mogą spowodować dla obiektu jądrowego

Ustalenie zakresu badań geologiczno-inżynierskich zależy zarówno od etapu badań lokalizacyjnych jak i stopnia skomplikowania (złożoności) warunków gruntowych. Wyróżnia się trzy rodzaje warunków gruntowych:

- proste,
- złożone,
- skomplikowane.

Stopień skomplikowania warunków gruntowych ustala się w pierwszej kolejności w oparciu o analizę zebranych danych historycznych (archiwalnych), a następnie potwierdza je w kolejnych etapach, na podstawie wyników i ocen przeprowadzonych badań.

Model geologiczny na każdym etapie badań lokalizacyjnych powinien zawierać:

- układ przestrzenny wydzielań litologiczno-stratygraficznych (rozciągłość warstw skalnych w poziomie i pionie, ich miąższość, przejścia facjalne, geometria struktur geologicznych),
- właściwości fizyczno-mechaniczne i chemiczne gruntów i skał oraz wartości parametrów wykorzystanych dla celów klasyfikacyjnych,
- prędkości fal poprzecznych i podłużnych, zależności naprężenie-odkształcenie, wartości parametrów wytrzymałościowych w warunkach obciążeń statycznych i dynamicznych, parametry odkształceniowe (w tym

parametry konsolidacji), parametry przepuszczalności oraz inne parametry mechaniczne uzyskane z badań in situ lub badań laboratoryjnych,

- położenie zwierciadła wód podziemnych i zakres jego wahań w odniesieniu do stanów powodziowych oraz warunków przyrodniczych i meteorologicznych.

Model geologiczny umożliwia racjonalną interpretację danych geologicznych uzyskanych z badań terenowych, archiwalnych oraz laboratoryjnych. Umożliwia także odpowiednie projektowanie rodzaju i zakresu dalszych badań geologicznych. Warunki gruntowe są bowiem wynikiem historii geologicznej i geomorfologicznej danego miejsca, na co składają się stratygrafia osadów i skał, ich struktura, dawne i współczesne procesy geomorfologiczne, a także warunki klimatyczne, zatem model geologiczny jest punktem startowym do dalszych prac geotechnicznych i inżynierskich.

Model geologiczny powinien zawierać i charakteryzować wszystkie istotne elementy danego terenu/miejsca. Podstawowe jednostki geologiczne – warstwy gruntów i skał zidentyfikowane w modelu wg kryterium litologiczno-genetycznego są w dalszej kolejności dzielone na warstwy geologiczno-inżynierskie na podstawie takich czynników jak: stan gruntu (plastyczność i zagęszczenie), stopień konsolidacji, stopień zwietrzenia, stopień spękania, parametry wytrzymałościowe i odkształceniowe, warunki hydrogeologiczne itd. Model geologiczny musi uwzględniać wszystkie naturalne i indukowane zagrożenia geologiczne i geotechniczne mogące objąć swoim zasięgiem miejsce usytuowania obiektu jądrowego, takie jak aktywność sejsmiczna, uskoki, osuwiska i inne ruchy masowe, zjawiska krasowe, podtopienia itp. Musi także uwzględniać zagrożenia antropogeniczne, np.: szkody górnicze, obecność kawern poeksploatacyjnych, zanieczyszczenia chemiczne itp.

Model geologiczny, w dalszej kolejności jest parametryzowany przez inżyniera geotechnika i zintegrowany z konstrukcją obiektu. Model powinien także być analizowany numerycznie, aby upewnić się, czy założenia projektowe są spełnione (np. dopuszczalne osiadania).

2.2. Etap I – *region lokalizacji*

W etapie I należy zebrać materiały historyczne oraz przeprowadzić wizję terenową i wywiad środowiskowy oraz prace kartograficzne i dokumentacyjne rozpatrywanego terenu. Przed przystąpieniem do prac powinien być opracowany harmonogram, zgodnie z którym należy prowadzić badania.

Pierwszym krokiem oceny warunków geologiczno-inżynierskich w tym etapie jest zebranie i analiza dostępnych materiałów archiwalnych, która powinna dostarczyć informacji dotyczących:

- dotychczasowego zagospodarowania przestrzennego terenu,
- prowadzonych i planowanych inwestycji budowlanych,
- procesów geodynamicznych i zagrożeń geologicznych,

- budowy geologicznej, hydrografii, warunków geologiczno-inżynierskich, czy warunków hydrogeologicznych, ze szczególnym uwzględnieniem kierunku przepływu wód podziemnych i ich chemizmu oraz związków hydraulicznych,
- topografii i morfologii terenu,
- stopnia udokumentowanego rozpoznania regionu lokalizacji.

Dodatkowo zaleca się wykonanie wizji lokalnej wraz z wywiadem środowiskowym. Czynności te powinny zostać przeprowadzone przed rozpoczęciem prac terenowych, a po analizie materiałów historycznych. W ramach wizji lokalnej i wywiadu środowiskowego należy wykonać następujące czynności:

- weryfikacja i aktualizacja danych uzyskanych z materiałów historycznych,
- weryfikacja zgodności posiadanych podkładów topograficznych z warunkami rzeczywistymi stwierdzonymi w terenie,
- weryfikacja i aktualizacja wstępnej interpretacji danych teledetekcyjnych oraz analiza terenu pod względem geomorfologicznym z uwzględnieniem zróżnicowania rzeźby terenu,
- lokalizacja miejsc występowania procesów geodynamicznych, niekorzystnych zjawisk geologicznych oraz procesów i zjawisk antropogenicznych (wietrzenie, sufozja, erozja, upłynnienie gruntów itp.), a także wstępne określenie ich intensywności, przebiegu oraz zasięgu,
- lokalizacja miejsc odsłoneń naturalnych i antropogenicznych (kamieniołomy, piaskownie, wykopy budowlane, odkrywki, wyrobiska itp.) oraz ich rejestracja,
- lokalizacja hałd i nasypów,
- lokalizacja występowania zasobów naturalnych i miejsc działalności górniczej,
- określenie występowania wód powierzchniowych wraz z ustaleniem maksymalnego zasięgu wód powodziowych oraz prawdopodobieństwa ich wystąpienia,
- określenie warunków hydrogeologicznych, maksymalnego stanu wód podziemnych, w tym terenów zagrożonych podtopieniami oraz lokalizacja przejawów wód gruntowych (źródła, podmokłości, wysięki itp.),
- sprawdzenie stopnia zagospodarowania terenu wraz z określeniem stanu istniejących obiektów budowlanych, w tym lokalizacja miejsc zwartej zabudowy, która może utrudnić wykonywanie dalszych badań,
- weryfikacja poprawności projektowanej lokalizacji badań terenowych ze względu na dostępność terenu, występowanie istniejącej podziemnej infrastruktury technicznej, a także wpływu na środowisko,
- lokalizacja granic obszarów chronionych.

Dodatkowo, podczas prowadzenia wizji lokalnej, szczególną uwagę należy zwrócić na obszar lokalizacji. Wizję należy wykonać z taką dokładnością, aby było możliwe zaprojektowanie marszrut i punktów dokumentacyjnych wykonywanych w II etapie w ramach kartowania geologiczno-inżynierskiego dla obszaru lokalizacji.

W ramach oceny regionalnej niezbędna jest analiza zjawisk występujących w regionie lub możliwość ich wystąpienia w nietypowych, ekstremalnych warunkach. Mogą to być zjawiska zarówno naturalne, jak i indukowane, których aktywacja przy danej budowie geologicznej może wpłynąć na warunki gruntowe w bliskim sąsiedztwie miejsca posadowienia obiektu lub bezpośrednio na to miejsce. Istotne jest oszacowanie intensywności tych zjawisk, ponieważ wpływa ono na to, czy ich efekty wystąpią w znacznym oddaleniu od miejsca posadowienia obiektu, czy też w jego bezpośrednim sąsiedztwie lub granicach usytuowania.

Zgodnie z rozporządzeniem lokalizacyjnym zakres oceny warunków geologiczno-inżynierskich dla regionu lokalizacji obejmuje poniższe zagadnienia.

2.2.1. Określenie intensywności procesów erozyjnych i akumulacyjnych z oceną możliwego wpływu na obiekt jądrowy

Procesy erozji i akumulacji są ze sobą związane, stąd należy je rozpatrywać łącznie. Rezultaty tych analiz powinny odnosić się do tempa procesów i ich możliwego wpływu na obiekt jądrowy. Wpływ ten może mieć charakter nagły, na przykład wystąpienie ruchów masowych, lub długoterminowy – poprzez naturalnie zachodzące procesy takie, jak zmiany linii brzegowej zbiorników wodnych lub powolna depozycja materiału.

W skali regionalnej powinno się ocenić intensywność oraz możliwość wystąpienia następujących procesów erozji powierzchniowej:

- erozji wodnej tj. zmian rzeźby w wyniku działalności wód – zarówno rzek, jezior i mórz, jak też wód opadowych. Należy przeanalizować intensywność erozji bocznej i brzegowej, a także ocenić ryzyko podcinania skarp, zboczy, czy wysokich brzegów zbiorników wodnych. Może to skutkować wystąpieniem ruchów masowych i bezpośrednim zagrożeniem dla fragmentów infrastruktury obiektu, także liniowych. Drugim elementem jest ocena potencjału akumulacji materiału wyerodowanego w innej części regionu, w niepożądanych miejscach związanych z przebiegiem lub umiejscowieniem infrastruktury obiektu, szczególnie – zewnętrznych obiektów liniowych, zbiorników wodnych;
- erozji eolicznej, tj. zmian rzeźby w wyniku działalności wiatrowej, co może wpływać na akumulację materiału w niepożądanych miejscach. Ten aspekt jest opisany w części dotyczącej akumulacji.

Akumulacja osadów także może być istotna dla drożności zewnętrznych części systemów chłodzenia przyszłej elektrowni jądrowej. Proces ten zachodzić może poprzez:

- samoczynną sedymentację osadów w zbiorniku wodnym, występującą w normalnych warunkach danego regionu, tj. przy przeciętnych warunkach meteorologicznych i hydrologicznych (akumulacja rzeczna, wiatrowa itp.), oraz w wyniku podtopień,
- depozycję osadów wskutek gwałtownych zjawisk, takich jak: powódzie, nawalne deszcze, silne wiatry o charakterze huraganowym. Szczególnie ważna jest ocena ryzyka wystąpienia ruchów masowych związanych z erozją skarp, zboczy oraz linii brzegowych zbiorników wodnych.

W związku z powyższym, analizy w skali regionalnej powinny obejmować:

- rzeźbę terenu i tereny ryzyka wystąpienia erozji, w tym ruchów masowych powodowanych erozją (podcinanie skarp, zboczy, linii brzegowej itp.):
 - archiwalne materiały i dokumentacje geologiczne, szczególnie dotyczące procesów denudacyjnych,
 - literaturę geomorfologiczną, dla ustalenia okresów o dużym nasileniu procesów morfodynamicznych,
 - współczesne czynniki decydujące o erozji i akumulacji – okresy suche i mokre w skali wielolecia, wpływ zapylenia antropogenicznego, wylesienia terenu w ciągu ostatnich kilkuset lat,
 - analizę danych teledetekcyjnych: zdjęć lotniczych i satelitarnych,
- identyfikację czynników ryzyka mogących bezpośrednio wpłynąć na obiekt jądrowy – zależy to w znacznej mierze od rzeźby terenu i usytuowania infrastruktury obiektu – w tym obiektów liniowych (kanały wody chłodzącej, linie przesyłowe), jak też wyników pomiarów tempa i rozmiarów erozji.

Rezultatem analizy materiałów archiwalnych i koncepcji planistycznych obiektu powinny być:

- weryfikacja przyrodniczych uwarunkowań współczesnych procesów morfogenetycznych w regionie,
- selekcja punktów szczegółowych obserwacji jakościowych i pomiarów ilościowych – w odniesieniu do planowanego przebiegu infrastruktury, szczególnie kanałów wody chłodzącej, linii przesyłowych itp., jak też terenów oddalonych od obiektu, jednak objętych znaczącą erozją i transportem materiału w kierunku obiektu,
- wybór metodyki badań ilościowych i urządzeń pomiarowych do badań terenowych (np. specjalnych łapaczy w wytyczonych punktach badawczych, co pozwala na zbiór wody i niesionego z nią materiału). Otrzymane w ten sposób dane są przetwarzane statystycznie wybraną metodą (np.: wzory Zachar, Gerlach, modele USLE, MEM, TMEM). Wyniki uzyskane

z analiz pozwalają wprost ocenić tempo erozji i akumulacji, z uwzględnieniem rzeźby terenu i warunków meteorologicznych.

W przypadku stwierdzenia zagrożenia wystąpienia ruchów masowych powodowanych erozją, należy przeprowadzić także ocenę stateczności zagrożonego zbocza, skarpy lub brzegu. Metodyka tych badań opisana jest w rozdziale 2.3.4.

2.2.2. Charakterystyka ilościowa i rodzajowa istniejących form krasowych wraz z oceną możliwości rozwoju krasowienia w zmienionych warunkach obciążeń oraz dynamiki wód podziemnych

Powyższa charakterystyka przeprowadzana jest na terenach występowania skał węglanowych oraz gipsowych. Potencjalne zagrożenie ze strony utworów krasowych wynika bowiem z podatności tych skał na wietrzenie chemiczne, tj. rozpuszczanie. W konsekwencji prowadzi to do powstawania pustek, kawern i innych form, co przy nadmiernym obciążeniu może powodować zawały i zapadliska.

Czynnikami warunkującymi możliwość wystąpienia krasu są:

- występowanie skał rozpuszczalnych w wodzie (węglany, gipsy i inne siarczany itp.),
- przepływ (obieg) wód podziemnych po powierzchni stropu tych warstw lub masywów oraz poprzez nie, jako czynnik rozpuszczający.

Trudności w zagospodarowaniu terenów występowania krasu to:

- niebezpieczeństwo wystąpienia nagłych osiadań powierzchni terenu (zapadlisk),
- możliwość wystąpienia znacznych nierównomiernych osiadań,
- utrudniony dostęp do terenu,
- wysokie potencjalne zagrożenie zanieczyszczeniem wód podziemnych ze względu na szybką i dużą migrację zanieczyszczeń,
- trudności w zaopatrzeniu w wodę.

W warunkach polskich można wyróżnić trzy główne konfiguracje występowania utworów krasowych:

- na powierzchni – w skali kraju jest to model budowy najrzadziej spotykany. Jednocześnie, ocena takiego terenu jest ułatwiona poprzez możliwość bezpośredniego dostępu do tych formacji i ich obserwacji. Jednak ponieważ skały występujące na powierzchni są bezpośrednio wyeksponowane na działanie czynników krasotwórczych, a procesy te są tu szczególnie intensywne, stąd posadawianie obiektów jądrowych nie jest zalecane,

- na głębokościach występowania warstw węglanowych i gipsowych, na których stwierdzony jest obieg wód podziemnych – a zatem również wymiana tych wód. Proces ten prowadzi bowiem do rozwoju krasu. Choć zidentyfikowane formy krasowe nierzadko mogłyby być kompensowane inżyniersko poprzez wypełnienie, to jednak nie zatrzymuje to samego czynnika powodującego, tj. obiegu i wymiany wód, przez co aktywacja krasu może nastąpić ponownie. W związku z tym, takie tereny również należy wykluczyć,
- na głębokościach izolowanych poziomów wodonośnych, tj. takich, na których wody zostały uwięzione w formacjach skalnych w dawnych okresach geologicznych bez kontaktu i wymiany z wodami młodszymi, w tym – współczesnymi. Takie wody często mają charakter solanek, a brak krążenia i wymiany wód podziemnych nie powoduje rozwoju krasu.

Istotnym czynnikiem warunkującym charakter krasu w danym terenie jest baza erozyjna. Jest to najniższy poziom, do którego mogą być aktywne procesy erozyjne i krasowe. Jest ona ściśle związana z występującymi w terenie skałami i ich podatnością na wietrzenie oraz nakładającymi się na to warunkami hydrogeologicznymi. Bazę erozyjną definiuje m.in. głębokość, do której zachodzi aktywna wymiana wód. Stąd, istotne jest określenie, jak krasowięjący masyw skalny (lub warstwa) położony jest względem lokalnej bazy erozyjnej (Kowalski, 1988). Uszczegółowiając powyższe konfiguracje występowania utworów krasowych w Polsce, w oparciu o bazę erozyjną można wyróżnić:

- kras przypowierzchniowy – gdy cały krasowięjący masyw (lub krasowięjąca warstwa) znajduje się powyżej bazy erozyjnej (kras całkowicie aktywny),
- kras płytki – gdy większość krasowięjącego masywu lub warstwy znajduje się powyżej bazy erozyjnej (kras znacząco aktywny),
- kras głęboki – gdy większość krasowięjącego masywu lub warstwy znajduje się poniżej bazy erozyjnej (kras znacząco nieaktywny),
- kras zagłębiony – gdy cały masyw lub warstwy podatne na krasowienie znajdują się poniżej bazy erozyjnej.

Istotnym elementem wpływającym na charakter krasu jest także jego jednorodność, wynikająca z rodzaju i zróżnicowania utworów podłoża.

W warunkach polskich, ze względu na umiarkowany klimat, rozwój krasu nie jest tak intensywny, by sam ten proces mógł być bezpośrednim zagrożeniem dla obiektu jądrowego, o ile nie są to utwory powierzchniowe i bliskie powierzchni. Natomiast zagrożeniem są formy krasowe rozwijające się pod powierzchnią nadległych, nie krasowięjących skał (tzw. kras utajony). Bezpośrednim zagrożeniem wynikającym z takiej sytuacji jest możliwość wystąpienia zapadlisk w warunkach znacznego obciążenia.

Powyższe elementy oceniane są zwykle w ramach rozpoznania budowy geologicznej podłoża, za pomocą powszechnie stosowanych metod rozpoznania podłoża – metod

geofizycznych potwierdzonych wierceniami w miejscach, gdzie rozpoznaniem geofizycznym stwierdzono możliwość występowania pustek. Ponadto, dla oceny krasu istotne są także informacje pozyskiwane z badań hydrogeologicznych i częściowo – także meteorologicznych i hydrologicznych.

Zagrożeniem niebezpośrednim, które może być istotne przy ocenie lokalizacji na potrzeby bezpieczeństwa obiektów jądrowych, jest możliwość wystąpienia wstrząsu lub aktywności tektonicznej, powodowanych powstaniem zapadliska. Istotne jest poznanie zasięgu oddziaływania tych zjawisk, tj. czy może ono istotnie oddziaływać na obiekt. Konieczne jest dobre rozpoznanie budowy geologicznej podłoża pod kątem występowania stref preferencyjnych dla wzmocnień efektów sejsmicznych. Tektonicznie masywy krasowe mogą być:

- słabo zaburzone, w sytuacji, gdy charakter ich budowy jest płytowy lub monoklinalny,
- silnie zaburzone, tj. gdy charakter budowy jest fałdowy, płaszczowinowy i zrębowy.

Informacja o ryzyku wystąpienia zapadliska powodowanego krasem jest podstawą do dalszej oceny możliwości wystąpienia aktywności tektonicznej. W takiej sytuacji zjawisko to może być wykorzystane jako zdarzenie inicjujące, choć z reguły w warunkach polskich, na dalszych odległościach (ok. 30-20 km), ma to pomijalne oddziaływanie na obiekt, o ile nie występuje efekt wzmocnienia, lub o ile zapadająca się struktura nie jest dużych rozmiarów.

2.2.3. Określenie stabilności geologiczno-inżynierskiej podłoża gruntowego

Niekorzystne zjawiska dynamiczne występujące w znacznej odległości od lokalizacji obiektu jądrowego, nie wpływają bezpośrednio na warunki w miejscu posadowienia obiektu, mogą natomiast wpływać na elementy infrastruktury poza obiektem – szczególnie liniowe. Jako inny aspekt oceny - istnieje możliwość, że zjawisko występujące w oddaleniu od posadowienia obiektu, przy sprzyjającej budowie geologicznej, może wpłynąć na miejsce posadowienia poprzez indukowanie efektów wtórnych. W takiej sytuacji, informacje pochodzące z rozpoznania warunków geologicznych podłoża powinny być uwzględniane interdyscyplinarnie w badaniach tektoniki i sejsmiki, a następnie – o ile intensywność zjawiska wskaże na taką konieczność – uwzględnione jako zdarzenie zewnętrzne inicjujące całą sekwencję zewnętrznych czynników mogących wpłynąć na eksploatację obiektu jądrowego.

2.2.4. Podsumowanie I etapu prac

Na podstawie wykonanych prac (analiza materiałów archiwalnych, wizja terenowa itd.) powinno zostać opracowane podsumowanie etapu I, które będzie integralną częścią projektu robót geologicznych. Projekt ten, poza podsumowaniem, będzie zawierał zakres prac i robót geologicznych, które należy wykonać w etapie II.

W ramach prac projektowych należy:

- określić cel prac i robót geologicznych,

- określić zakres badań wraz z metodyką,
- opracować projekt robót geologicznych.

Efektom badań lokalizacyjnych – w etapie I – będzie:

- opracowanie projektu robót geologicznych, który obejmować będzie zakres badań dla obszaru lokalizacji – etapu II,
- ustalenie modelu geologicznego,
- rozpatrzenie kryteriów wykluczających dany teren ze zlokalizowania na nim obiektu jądrowego zgodnie z art. 5 rozporządzenia lokalizacyjnego tj. sprawdzenie czy w rozpatrywanym terenie istnieje ryzyko wystąpienia zjawisk geologicznych zagrażających stabilności podłoża, takich jak silne procesy sufozyjne lub krasowe, obrywy, osuwiska lub inne zjawiska geodynamiczne mogące mieć wpływ na bezpieczeństwo obiektu jądrowego, które nie może być skompensowane konstrukcyjnie,
- wykonanie wstępnej oceny warunków geologiczno-inżynierskich,
- wykonanie rejonizacji geologiczno-inżynierskiej.

2.3. Etap II – *obszar lokalizacji*

Etap II badań lokalizacyjnych obejmuje rozpoznanie terenu o promieniu 5 km wokół obiektu jądrowego. Program badań został opracowany we wcześniejszym etapie i przedstawiony w pierwszym projekcie robót geologicznych. Zakres prac dokumentacyjnych, wykonanych na podstawie zaprojektowanych prac i robót geologicznych powinien obejmować:

- uzupełnienie zebranych i przeanalizowanych materiałów historycznych,
- ewentualną, powtórzną wizję terenową i wywiad środowiskowy,
- kartowanie geologiczno-inżynierskie, w tym m.in.:
 - identyfikację i dokumentowanie naturalnych i antropogenicznych odsłoneń,
 - identyfikację występowania i dokumentowanie zjawisk geologicznych i przejawów wód gruntowych (np. podtopienia itp.),
 - identyfikację i dokumentowanie form geomorfologicznych z uwzględnieniem form antropogenicznych,
 - identyfikację i dokumentowanie procesów geodynamicznych (np.: leje i zapadliska, szczeliny i progi terenowe, kras, osuwiska, osiadanie zapadowe w lessach, sufozja, erozja, abrazja itp.),

- identyfikację i dokumentowanie zjawisk i procesów antropogenicznych (np. niecki osiadań itp.),
- wyznaczenie granic geologicznych,
- pomiary biegu i upadu warstw oraz kierunków spękań,
- roboty geologiczne, w tym wiercenia, badania znormalizowane (sondowania), badania geologiczno-inżynierskie,
- badania geofizyczne,
- badania laboratoryjne próbek gruntów i wody.

Zakres i metodyka prac dokumentacyjnych powinny być dobrane w zależności od stopnia skomplikowania warunków gruntowych i modelu geologicznego oraz wymaganej dokładności rozpoznania i oceny warunków geologiczno-inżynierskich.

Zakres badań laboratoryjnych i dobór ich metodyki należy dostosować do wyników wykonanych wierceń, w tym analiz makroskopowych pobranych próbek gruntu i skał. Próbki te należy pobierać z każdej różniącej się litologicznie warstwy wydzielonej na podstawie opisu makroskopowego wykonanego w trakcie robót geologicznych (wierceń, sondowań).

Efektom badań lokalizacyjnych w tym etapie będzie:

- uszczegółowienie modelu geologicznego,
- ocena warunków geologiczno-inżynierskich,
- rejonizacja geologiczno-inżynierska,
- dokumentacja geologiczno-inżynierska.

Prace i roboty geologiczne dla etapu II zaleca się projektować z dokładnością jak dla mapy w skali 1:10 000, w zależności od stopnia skomplikowania warunków gruntowych zgodnie z tabelą 2. Określenie stopnia złożoności warunków gruntowych umożliwia określenie liczby niezbędnych do wykonania punktów dokumentacyjnych na 1 km².

Lokalizację punktów dokumentacyjnych wykonywanych w ramach dokumentowania geologiczno-inżynierskiego zaleca się planować w sposób, który pozwoli na przedstawienie charakterystycznych cech budowy geologicznej obszaru. Punkty dokumentacyjne należy lokalizować w nawiązaniu do zebranych wcześniej danych historycznych oraz w linii poprzecznej do jednostek strukturalnych stwierdzonych na mapach historycznych lub podczas wizji terenowej. Głębokość zaprojektowanych punktów dokumentacyjnych powinna być uzależniona od stopnia skomplikowania warunków gruntowych oraz występujących procesów geodynamicznych, które mogą mieć wpływ na bezpieczeństwo obiektu jądrowego.

Tabela 2. Zakres dokumentowania geologiczno-inżynierskiego w zależności od stopnia skomplikowania warunków gruntowych.

Skala mapy	Stopień skomplikowania warunków gruntowych					
	proste		złożone		skomplikowane	
	liczba punktów dokumentacyjnych na 1km ²	długość marszrut w km	liczba punktów dokumentacyjnych na 1km ²	długość marszrut w km	liczba punktów dokumentacyjnych na 1km ²	długość marszrut w km
	Szczegółowe dokumentowanie warunków geologiczno-inżynierskich*					
1: 50 000	4-5	4-5	5-8	5-8	8-12	9-11
1: 25 000	9-12	10-11	12-19	11-15	19-25	15-20
1: 10 000	12-16	12-14	16-25	14-20	25-100	20-25
	Uzupełniające dokumentowanie warunków geologiczno-inżynierskich (na podstawie szczegółowego dokumentowania)**					
1: 50 000	3	2	3-5	3	5-10	5
1: 25 000	5	4	5-10	5	10-15	7
1: 10 000	8-10	6	10-15	8	15-20	10

* Wykonywane jest, gdy brak jest dobrej mapy geologicznej, na podstawie której można wykonać model budowy geologicznej
 **Wykonywane jest w oparciu o dostępną mapę geologiczną w skali nie mniejszej niż skala opracowywanej mapy geologiczno-inżynierskiej

Celem wykonywania punktów dokumentacyjnych jest wydzielenie serii i warstw litologiczno-genetycznych gruntów, określenie miąższości wydzielonych warstw, ustalenie przebiegu granic wydzielonych warstw, określenie położenia zwierciadła wód podziemnych, pobranie próbek gruntów i wody do badań laboratoryjnych, określenie właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów.

Prace dokumentacyjne i kartograficzne zaleca się przeprowadzić na podkładach topograficznych w odpowiednim układzie współrzędnych i w skali dostosowanej do planowanego efektu opracowania.

Podczas prac dokumentacyjnych i kartograficznych należy wykonać obserwacje geologiczne, geodynamiczne i hydrogeologiczne. W trakcie tych prac należy uwzględnić następujące zjawiska i czynniki:

- osuwiska – opisuje się je szczegółowo pod względem uwarunkowań morfologicznych i geologicznych powstania i rozwoju. Poza parametrami i morfologią osuwiska, należy rozpatrzyć przyczyny ich powstania, rodzaje gruntów i skał, w których rozwinęło się osuwisko, jego aktywność oraz jakie stanowi zagrożenie,
- zjawiska krasowe – należy opisać i zaznaczyć na załącznikach graficznych wszystkie występujące formy krasowe (leje, doliny itp.). W miarę możliwości należy wydzielić formy aktywne i nieaktywne,
- zjawiska sufozyjne – należy opisać profil geologiczny, w którym występują, określić intensywność oraz podać dokładną lokalizację występowania,
- zjawiska osiadania zapadowego w lessach oraz inne formy zapadania powierzchni terenu – należy podać lokalizację występowania i określić genezę zjawiska,
- objawy erozji i akumulacji – parowy lessowe aktywne i nieaktywne, podcięcia zboczy dolin w wyniku erozji rzecznej, abrazja brzegów jeziornych i morskich, powstawanie usypisk, obrywów zboczy dolin, powstawanie stożków napływowych,

- powierzchniowe wypływy wody – źródła, wysięki, podmokłości stałe i okresowe, tereny bagienne, torfowiska, pomiary występowania wód podziemnych w studniach eksploatacyjnych,
- zbocza dolinne i obszary o spadkach większych niż 10° – należy zwrócić uwagę na ich stateczność,
- przejawy glacytektoniki – występowanie deformacji,
- objawy przemarzania gruntów.

Opisy zarejestrowanych w trakcie prac dokumentacyjnych i kartograficznych zjawisk powinny obejmować rodzaj zjawiska, topografię, charakter genetyczny zjawiska, opis warunków geologicznych i topograficznych, w jakich ono występuje, intensywność rozwoju zjawiska i jego rozprzestrzenienie.

Prace dokumentacyjne i kartograficzne prowadzone w obszarze lokalizacji obiektu jądrowego powinny obejmować następujące czynności:

- lokalizację, opis, dokumentację fotograficzną odsłoneń naturalnych i sztucznych, wykopów, obserwacji powierzchniowych,
- wyznaczenie granic geologicznych (w nawiązaniu do szczegółowej fotointerpretacji danych teledetekcyjnych lub ortofotomapy),
- opis terenu wzdłuż wyznaczonych tras marszrut pomiędzy punktami dokumentacyjnymi,
- pomiary biegu i upadu warstw oraz kierunki spękań,
- lokalizację, opis, dokumentację fotograficzną form geomorfologicznych (należy uwzględnić zaburzenia powierzchni terenu naturalne i antropogeniczne),
- lokalizację, opis, dokumentację fotograficzną zjawisk i form geodynamicznych (kras, osuwiska, osiadanie zapadowe w lessach, sufozja, erozja, abrazja, upłynnienie gruntu itp.),
- lokalizację studni i obserwacje wody podziemnej w studniach i źródłach,
- lokalizację lokalnych podtopień i granic zasięgu stanów powodziowych, w tym wody 100- i 500-letniej, lokalizację przejawów wód gruntowych (źródła, wysięki, zawodnienie zboczy, obszary bagienne itp.),
- lokalizację obszarów szkód budowlanych i górniczych,
- lokalizację występowania nasypów, wykopów, starych grobli i umocnień wojskowych np. fortów,

- rozmieszczenie i wykonanie punktów dokumentacyjnych oraz prowadzenie w nich niezbędnych badań:
 - opis makroskopowy skał i gruntów,
 - pobieranie próbek gruntów, skał i wody podziemnej,
 - wykonanie badań na próbkach skał i gruntów, które umożliwią określenie ich właściwości fizyczno-mechanicznych (badanie penetrometrem stożkowym, badanie ścinarką obrotową, punktowe badanie wytrzymałości na ściskanie, RQD itp.),
 - badania znormalizowane (sondowania dostosowane do warunków gruntowych),
 - obserwacje hydrogeologiczne,
- obserwacje istniejących obiektów budowlanych i górniczych (odkształcenia obiektów i podłoża gruntowego – pęknięcia, rysy, wypieranie gruntu, osuwiska, podtopienia, odwodnienia),
- inwentaryzację zasobów złóż kopalin.

Na potrzeby dokumentowania geologiczno-inżynierskiego zaleca się wykonanie obserwacji antropogenicznych zaburzeń powierzchni terenu, tj. szkody górnicze, uszkodzenie budynków, dróg, wyrobiska górnicze, kamieniołomy, żwirownie, glinianki, hałdy, stawy kopalniane, groble, rowy odwadniające, stare umocnienia wojskowe np.: forty, okopy, bunkry. Należy je zlokalizować i nanieść na mapę.

Podczas dokumentowania należy uwzględnić zróżnicowanie geomorfologiczne terenu. Ważne jest ustalenie granic jednostek morfologicznych (doliny rzeczne, tarasy rzeczne, wyniesienia, garby, progi itp.). Należy opisać powierzchnię występującej formy zwracając uwagę na charakter powierzchni (płaska, pagórkowata, pofalowana), stateczność zboczy i intensywność urzeźbienia. Obserwacje te będą istotne dla opracowania mapy geomorfologicznej i mapy spadków.

2.3.1. Dokumentowanie procesów sufozji i upłynnienia

Podczas prac dokumentacyjnych i kartograficznych w obszarze lokalizacji obiektu jądrowego należy dokładnie scharakteryzować miejsca występowania sufozji i upłynnienia gruntów.

Należy zwrócić szczególną uwagę na:

- morfologię terenu, w szczególności na kształt wszelkich zagłębień bezodpływowych i ich położenie względem siebie,

- warunki hydrogeologiczne, szczególnie na miejsca wypływu wód podziemnych, kierunki przepływu i położenie zwierciadła wód podziemnych oraz możliwe spadki hydrauliczne,
- makroskopowe rozpoznanie cech gruntu mogących świadczyć o występowaniu zjawiska sufozji i/lub upłynnienia gruntu.

Istotną sprawą jest określenie lokalizacji i genezy zagłębień bezodpływowych (antropogeniczne, naturalne, deflacyjne, eworsyjne, osuwiskowe). Przyczyną powstawania zagłębień bezodpływowych, w wyniku oddziaływania przepływającej w gruntach wody podziemnej, może być sufozja, upłynnienie gruntu, osiadanie zapadowe, kras podziemny, osiadanie i zapadanie nad wyrobiskami podziemnymi. Im większe zapadlisko, a jego krawędzie wyraźniejsze tym:

- spadek hydrauliczny większy,
- miąższość warstwy jest większa,
- warstwa zalega bliżej powierzchni terenu.

Zwierciadło wód podziemnych na ogół jest współkształtne z morfologią terenu. Gwałtownym zmianom ukształtowania terenu towarzyszą często zwiększone spadki położenia zwierciadła wody. Takie warunki gruntowo-wodne sprzyjają powstawaniu sufozji i upłynnienia gruntów oraz krasu. Zagłębienia takie występują najczęściej grupowo i zorientowane są równolegle do krawędzi wysoczyzn odwzorowując przebieg stref maksymalnych spadków hydraulicznych lub prostopadle do krawędzi wysoczyzn i wówczas odwzorowują kierunki spływu wód podziemnych.

2.3.2. Dokumentowanie procesów krasowienia

Podczas prac dokumentacyjnych i kartograficznych obszarów występowania krasu należy stwierdzić, czy w obszarze badań występują grunty rozpuszczalne w wodzie, czy istnieje lub istniał przepływ wód podziemnych przez ośrodek gruntowy i czy woda przepływająca przez warstwę jest roztworem nienasyconym składnikami tworzącymi te grunty i czy w związku z tym może jeszcze rozpuszczać te grunty. Podczas wstępnego rozpoznania terenu należy ocenić, czy powierzchnia krasowiejącego masywu tworzy powierzchnię terenu i czy występuje pod warstwą gruntów niekrasowiejących. Na powierzchni terenu łatwo jest zidentyfikować formy tj. leje krasowe, ujścia kominów krasowych i niecki osiadań. W przypadku krasu zakrytego opis i identyfikacja występowania zjawiska jest możliwa w trakcie wierceń, wykopów i sondowań. Kras zakryty na powierzchni terenu ujawnia się w postaci zapadowych form krasowych (lejów krasowych, niecek osiadań) lub jako wystające spod nadkładu skały – ostańce.

Podczas oceny stopnia krasowienia masywu skalnego należy uwzględnić: liczbę form krasowych, powierzchnię obszaru zajętego zjawiskiem, głębokość i wymiary form krasowych oraz czas ich powstania. W celu określenia czasu powstania należy przeanalizować i porównać historyczne materiały kartograficzne obszaru z warunkami zaobserwowanymi

podczas dokumentowania, określić wiek i sekwencję roślinności zarastającej dno lejów i niecek osiadań, określić wiek osadów wypełniających zagłębienie, przeprowadzić wywiad z lokalną ludnością.

Podczas dokumentowania procesów krasowienia zaleca się opisać:

- stopień rozwinięcia krasu,
- intensywność zjawisk krasowych,
- rodzaj i rozmiar występujących form krasowych.

Rozpoznanie form krasowych pod powierzchnią terenu nie jest łatwe. W tym celu należy zastosować metody geofizyczne np.: elektrooporowe, które umożliwiają rozpoznanie morfologii stropu skał macierzystych, miąższość pokrywy zwietrzelinowej, płytkie występowanie pustek i lejów krasowych.

Po dokonaniu wstępnego rozpoznania metodami geofizycznymi wykonuje się roboty geologiczne w celu dokładnego rozpoznania procesów wietrzenia. Punkty dokumentacyjne powinny być wykonane do stropu skały macierzystej. Liczbę i lokalizację punktów dokumentacyjnych zaleca się ustalić indywidualnie, w zależności od możliwości oddziaływania procesów krasowienia na obiekt jądrowy. Zaleca się, aby odległość między punktami dokumentacyjnymi nie była większa niż 200-300 m.

Bardzo istotne na terenach krasowych jest rozpoznanie warunków hydrogeologicznych, które pozwalają na ocenę możliwości rozwoju zjawisk krasowych, odwodnienia terenu, a także filtracji gruntów.

2.3.3. Dokumentowanie procesów zboczowych

Na potrzeby prac dokumentacyjnych i kartograficznych dla obszaru lokalizacji obiektu jądrowego należy opisać i scharakteryzować miejsca o zmiennym ukształtowaniu terenu, na których widoczne są procesy zboczowe (osuwiska, przemieszczenia gruntów, wysięki).

Najważniejszymi obserwacjami, jakie należy wykonać w strefach zlokalizowanych zjawisk jest charakter przemieszczania się mas, ich wielkość, charakter powierzchni, po której dochodzi do przemieszczenia, właściwości gruntów i warunki wodne.

Badania terenu położonego na zboczu i w jego okolicy powinny obejmować: analizę warunków stateczności gruntów na całym zboczu, ustalenie aktywności zjawiska, wyznaczenie przypuszczalnej strefy poślizgu, wyznaczenie elementów osuwiska (krawędź niszy, koryto, jęzor osuwiska, a także szczeliny i pofałdowania) oraz elementów hydrograficznych (sączenia, wysięki, źródła, studnie, obszary stagnacji wody, potoki, wody powierzchniowe, maksymalny zasięg wód powodziowych w dolinach).

Podczas prowadzonych obserwacji zaleca się:

- przeprowadzić obserwacje występującej roślinności (roślinność hydrofilna, wskazująca na strefy sączeń i wypływów wód, „pijany las” czyli przemieszczone drzewa, wskazujące na ruchy osuwiskowe i pełzanie, przemieszczone młode drzewa, krzewy oraz rośliny zielne wskazujące na

aktywność osuwiskową, nieodkształcone drzewa powyżej 25 lat, świadczące o nieaktywnych zboczach),

- ocenić stan (szczeliny, spękania itp.) istniejących obiektów budowlanych takich jak: budynki, nawierzchnie drogowe, mosty, przyczółki mostowe, przepusty, studnie, słupy linii telekomunikacyjnych oraz energetycznych),
- ocenić stan (szczelność, drożność itp.) istniejących wzmocnień, systemów drenażowych, filtrów oraz innych urządzeń wodnych występujących w strefie i okolicy osuwiska jeśli takie występują,
- porównać własne obserwacje z zebranymi dotychczas materiałami historycznymi,
- jeśli wcześniej nie została opracowana Karta Rejestracyjna Osuwiska to należy ją opracować zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 20 czerwca 2007 r. w sprawie informacji dotyczących ruchów masowych ziemi (Dz. U. 2007, Nr 121, poz. 840),
- założyć monitoring osuwiska.

2.3.4. Określenie stateczności istniejących skarp i zboczy

Poniżej podano zalecenia dla określenia stateczności skarp i zboczy wraz z ich zmianami na skutek:

- zmian statycznego obciążenia od obiektu jądrowego,
- eksploatacyjnych obciążeń dynamicznych,
- wstrząsów sejsmicznych naturalnych i wzbudzonych działalnością człowieka,
- zjawisk meteorologicznych i hydrologicznych.

Na stateczność skarp i zboczy będą miały wpływ:

- dynamicznie zmieniające się właściwości fizyczno-mechaniczne gruntów występujące w profilu skarpy,
- warunki wodne.

Określenie stateczności skarp i zboczy wymaga oceny warunków:

- morfologicznych,
- geologicznych,
- hydrogeologicznych,
- klimatycznych.

Ocena warunków morfologicznych powinna obejmować:

- sprawdzenie wiarygodności map topograficznych,
- aktualizację map topograficznych i planów sytuacyjno-wysokościowych.

Ocena warunków geologicznych powinna obejmować:

- analizę map geologicznych i geomorfologicznych,
- ustalenie modelu geologicznego,
- właściwe udokumentowanie osuwiska.

Ocena warunków hydrogeologicznych powinna obejmować:

- ustalenie i charakterystykę wszystkich przejawów wód powierzchniowych i gruntowych występujących bezpośrednio na zboczu i u jego podnóża,
- identyfikację i charakterystykę cieków powierzchniowych i zbiorników wód stojących w sąsiedztwie zbocza.

Ocena warunków klimatycznych powinna obejmować:

- ustalenie rodzaju, ilości i rozkładu opadów atmosferycznych,
- ustalenie rozkładu temperatury, wiatrów i innych czynników klimatycznych,
- rozpoznanie szaty roślinnej.

Do oceny prognozy stateczności skarp i zboczy konieczne jest posiadanie aktualnej mapy topograficznej lub planu sytuacyjno-wysokościowego w odpowiednio dobranej skali do osuwiska. Należy także wykonać profile geodezyjne w celu ustalenia dokładnej morfologii osuwiska.

Najważniejszym elementem analizy stateczności jest opracowanie modelu obliczeniowego. W tym celu konieczne jest rozpoznanie budowy geologicznej skarpy i zbocza. Rozpoznanie budowy geologicznej wykonuje się za pomocą odpowiednio dobranych badań geologiczno-inżynierskich szczegółowo opisanych przez Frankowskiego i innych (2012).

Na podstawie zaprojektowanych i wykonanych badań geologiczno-inżynierskich ocenia się:

- bieg, upad, przebieg warstw,

- rodzaje gruntów lub skał,
- istnienie powierzchni nieciągłości,
- stan rozwoju procesu wietrzenia,
- rodzaj osadów deluwialnych i koluwium,
- istnienie wód podziemnych powodujących zmiany wilgotności gruntów i skał,
- możliwość powstania w zboczu ciśnienia hydrostatycznego i hydrodynamicznego.

W trakcie badań geologiczno-inżynierskich pobiera się również próbki gruntów, skał i wody podziemnej do badań laboratoryjnych w celu ustalenia wartości parametrów geotechnicznych do modelu obliczeniowego.

W modelu obliczeniowym należy zwrócić uwagę na:

- dane geometryczne zbocza,
- wymiar strefy zagrożonej,
- działanie wody,
- przebieg procesu osuwiskowego,
- powierzchnie osłabienia,
- szatę roślinną.

Wynikiem interpretacji terenowych i laboratoryjnych jest model obliczeniowy.

Strefę możliwego zaangażowania osuwiskowego oraz ocenę stateczności zbocza ustala się na podstawie jednej z metod równowagi sił (lub na podstawie kilku metod), opierając się na wyliczonym wskaźniku stanu równowagi.

Metody obliczeń powinny zapewnić możliwość uwzględniania:

- warstwowania gruntu,
- występowania nachyleń i nieciągłości,
- ruchu i rozkładu ciśnień wody w porach gruntu,
- stateczności krótko- i długotrwałej,
- odkształceń związanych z pełzaniem,
- postaci zniszczenia (rodzaj powierzchni zniszczenia).

Obliczenia stateczności skarp i zboczy zaleca się wykonywać według Eurokodu 7, który wymaga sprawdzenia, czy nie wystąpi stan graniczny zniszczenia lub nadmiernego odkształcenia dla podanych kombinacji zestawów obciążeń i współczynników częściowych.

Odrębnym zagadnieniem, które należy uwzględnić w pracach projektowych jest zabezpieczenie skarp przed powierzchniowymi spływami i spęływaniem gruntów spoistych oraz erozyjnymi wymyciami gruntów niespoistych.

Wysadzinowość gruntów budujących skarpy ma także wpływ na ich uszkodzenia, gdyż powoduje rozluźnienie struktury gruntu, uplastycznienia i spływy powierzchniowe, szczególnie w okresach wiosennych.

Występowanie różnych negatywnych czynników na skarpach jest zależne od pory roku, a znaczne uszkodzenia skarp występują po okresie zimowo-wiosennym.

Zaleca się, aby parametrów gruntów do obliczeń stateczności skarp nie przyjmować tylko na podstawie korelacji z norm. Wartości parametrów w miejscach wykopów do obliczeń stateczności powinny być podane na podstawie analizy danych z profili wykonanych wierceń, wyników badań laboratoryjnych i sondowań oraz doświadczenia porównywalnego (wg PN-EN 1997-1:2008).

Zaleca się aby do obliczeń stateczności skarp i zboczy stosować wartości parametrów wytrzymałościowych podane w Instrukcji ITB nr 424/2011.

Zaleca się, aby nachylenie skarp i zboczy było uzależnione od rodzaju gruntu, ryzyka zmiany warunków wodnych oraz rodzaju oddziaływań antropogenicznych.

Przy ocenie stateczności zboczy skalnych bardzo istotnym czynnikiem jest orientacja powierzchni nieciągłości (osłabienia) w stosunku do kierunków obciążeń działających na masyw. Stateczność zboczy i skarp w masywach skalnych należy sprawdzać na zniszczenie spowodowane przez zsuw albo obrót obejmujący osobne bloki skalne lub cały masyw skalny. Szczególną uwagę trzeba zwrócić na ciśnienie wody i lodu uwięzionych w szczelinach i spękaniach. Analiza stateczności powinna być oparta na dobrej znajomości układów warstw i nieciągłości przecinających masyw skalny oraz wytrzymałości na ścinanie skały i występujących powierzchni nieciągłości. Należy także uwzględnić fakt, że zniszczenie zboczy i skarp w masywach twardych skał, z dobrze określonym systemem spękań, to przeważnie:

- poślizg bloków lub klinów skalnych,
- obrót bloków i płyt,
- obrót i poślizg łącznie.

Niszczanie zboczy i skarp w bardzo spękanych masywach skalnych oraz miękkich skałach może rozwijać się wzdłuż kołowych lub prawie kołowych powierzchni poślizgu,

przechodzących przez część nienaruszonej skały. Poślizgowi izolowanych bloków i klinów można zazwyczaj zapobiec, zmniejszając pochylenia zbocza poprzez wykonanie tarasów albo za pomocą kotew, gwoździ skalnych i wewnętrznego drenażu. Na skarpach i zboczach poślizgowi można zapobiec, wybierając orientację czoła zbocza, tak by ruchy pojedynczych bloków były kinematycznie niemożliwe. Zapobieganie zniszczeniu przez obwał zazwyczaj wymaga zakotwienia bloków.

Podczas rozpatrywania długotrwałej stateczności zbocza skalnego zaleca się uwzględnianie szkodliwego wpływu roślinności, czynników środowiskowych lub zanieczyszczających środowisko na wytrzymałość na ścinanie na powierzchniach nieciągłości i na wytrzymałość nienaruszonej skały (wietrzenie).

W silnie spękanych masywach skalnych na stromych zboczach i zboczach podatnych na obwały, odłupywanie się, kruszenie i zapadanie się należy zawsze analizować możliwość obrywów skalnych. W przypadkach gdy nie są możliwe niezawodne zabezpieczenia zapobiegające obrywom skalnym, dopuszcza się występowanie obrywów zabezpieczonych siatkami, barierami lub innymi konstrukcjami do wyłapywania opadających skał. Projekt takich zabezpieczeń należy oprzeć na szczegółowych badaniach możliwości trajektorii opadającego materiału.

Poniżej podano mechanizmy przemieszczania mas skalnych i zasady obliczeń stateczności w różnych przypadkach budowy geologicznej:

- jeśli warstwy zapadają się w kierunku zgodnym z nachyleniem zbocza, stateczność zbocza zależy wyłącznie od orientacji kontaktów warstwowych i parametrów wytrzymałościowych tych kontaktów, trzeba niezależnie rozpatrywać stateczność zbocza dla obu układów powierzchni osłabienia zbocza (kontaktów warstw i kontaktów szczelin),
- jeśli warstwy zapadają się w kierunku przeciwnym do nachylenia zbocza, stateczność zbocza zależy wyłącznie od orientacji szczelin poprzecznych i wytrzymałości na ścinanie wzdłuż tych płaszczyzn,
- mechanizmy zsuwania i obrotu, odbywających się łącznie, należy rozpatrywać jak w przypadkach opisywanych dla gruntów spoistych.

Przy niezbyt wysokich zboczach (niedużych wartościach naprężeń normalnych) można założyć, że kąt tarcia wewnętrznego masywu skalnego jest równy kątowi tarcia na płaszczyznach spękań lub w płaszczyznach kontaktów warstw.

Kąt tarcia wewnętrznego masywu skalnego zależy od:

- szorstkości szczelin,
- rozstawu szczelin,
- ciągłości szczelin,
- wytrzymałości materiału, z którego zbudowany jest masyw,
- rozwarcia i wypełnienia szczelin.

Trwały kąt tarcia określa się najczęściej w badaniach bezpośredniego ścinania w terenie lub w laboratorium.

2.3.5. Procesy wietrzeniowe

Podczas prac dokumentacyjnych i kartograficznych należy stwierdzić czy na powierzchni terenu występują produkty wietrzenia. Jeżeli stwierdzimy ich występowanie należy je właściwie opisać w sposób ilościowy i jakościowy.

Podczas dokumentowania procesów wietrzeniowych występujących w obszarze lokalizacji obiektu jądrowego należy zwrócić uwagę na zasięg przestrzenny i głębokość występowania produktów wietrzenia.

Strefa wietrzenia jest strefą o dużej aktywności dynamicznej, zmiennej w czasie i przestrzeni. Znajomość dynamiki strefy wietrzenia pozwala na wydzielenie poszczególnych części profilu wietrzeniowego o różnych właściwościach geologiczno-inżynierskich oraz prognozowanie zmian tych właściwości w czasie. W efekcie wietrzenia następuje przekształcenie pierwotnej skały w inną (zmiana składu mineralnego i właściwości).

Podczas obserwacji w terenie należy szczególną uwagę zwrócić na powierzchnię i głębokości występowania procesu. Należy ustalić profil wietrzeniowy skał oraz podać ocenę ilościową wyrażoną przy pomocy wskaźników zwietrzenia. Aby ustalić profil wietrzeniowy należy uwzględnić następujące obserwacje:

- zmniejszenie zawartości węgla wapnia,
- wzrost zawartości frakcji ilowej i granicy płynności,
- zmniejszenie wytrzymałości na ścinanie,
- zmniejszenie gęstości objętościowej szkieletu gruntowego.

2.3.6. Próbk

Podczas prac dokumentacyjnych i kartograficznych należy pobierać próbki gruntów do badań laboratoryjnych (fizycznych i mechanicznych właściwości gruntów, litologiczno-petrograficznych, stratygraficznych, sedymentologicznych). Zaleca się również pobierać próbki wody podziemnej do badań fizyko-chemicznych (istotne jest zwłaszcza badanie agresywności wody w stosunku do betonu). Próbki gruntów i wody do badań laboratoryjnych powinny być pobierane, pakowane i transportowane zgodnie z obowiązującymi normami.

Próbki gruntu do badań laboratoryjnych należy pobierać z każdej warstwy różniącej się litologią, rodzajem, stanem i wilgotnością. Na terenach osuwiskowych ważne jest pobieranie próbek w sposób ciągły lub co 0,2-0,4 m w celu ustalenia powierzchni poślizgu. Próbki należy przechowywać w temperaturze nie niższej niż 0°C. Okres przechowywania próbek przed wykonaniem badań laboratoryjnych powinien być jak najkrótszy i dostosowany do klasy i jakości próbki oraz rodzaju badania.

2.3.7. Obserwacje hydrogeologiczne

Ważnym elementem dokumentowania i kartowania geologiczno-inżynierskiego są obserwacje i pomiary poziomu wód podziemnych. Prace obejmują przede wszystkim określenie głębokości występowania oraz jakości pierwszego poziomu wody podziemnej, czyli wody gruntowej.

Głębokość występowania poziomu wody gruntowej określamy na podstawie:

- bezpośrednich pomiarów wody w studniach i źródłach,
- pomiarów i obserwacji podczas wykonywania punktów dokumentacyjnych,
- informacji o położeniu zwierciadła wody podziemnej w profilach archiwalnych,
- analizy dostępnych map hydrogeologicznych, zdjęć lotniczych i satelitarnych, map topograficznych itp.

2.3.8. Podsumowanie II etapu prac

Efektom wykonanych robót i prac geologicznych oraz kartograficznych w obszarze lokalizacji obiektu jądrowego będzie podsumowanie wykonane w formie dokumentacji geologiczno-inżynierskiej, która zawierać będzie m.in.: zaktualizowany model geologiczny, różnotematyczne mapy i przekroje geologiczno-inżynierskie, zestawienia tabelaryczne, wykresy oraz blokdiagramy.

Aktualizacja modelu geologicznego polegać powinna na przeprowadzeniu analizy obserwacji hydrogeologicznych (liczba poziomów wodonośnych, ciągłość poziomu wodonośnego, zmienność miąższości i rozciągłości w ośrodku gruntowym, parametry warstwy wodonośnej, skład chemiczny wody), występujących zjawisk i procesów geodynamicznych (intensywność, powierzchnia, rozprzestrzenienie), występujących warunków geomorfologicznych (charakter powierzchni terenu, występowanie wcięć erozyjnych, nachylenie zboczy) oraz występujących wydzieleni serii i warstw litologiczno-genetycznych.

Rezultatem prac dokumentacyjnych i kartograficznych powinno być wyznaczenie obszarów występowania gruntów o słabej nośności, wydzielenie zjawisk geologicznych będących wynikiem współczesnych procesów geologicznych (obszarów osuwiskowych, krasowych, lessowych, stref aktywnych procesów zboczowych, określenie objawów akumulacji i erozji, określenie grubości zwietrzliny oraz obszarów o stwierdzonych zaburzeniach glaciektonicznych), stwierdzenie występowania złóż kopalin i zebranie danych o ich eksploatacji.

Efektom prac dokumentacyjnych i kartograficznych II etapu powinny być warstwy informacyjne opracowane w środowisku GIS, które zasilą bazę danych wektorowych. Zaleca się przygotowanie i opracowanie następujących warstw informacyjnych:

- warstwa informacyjna danych wyjściowych – powinna zawierać punkty dokumentacyjne – otwory wiertnicze, szybiki, wkopy, odsłonięcia naturalne, sondy penetracyjne, punkty badań in situ (sondowania), studnie kopane,

studnie wiercone, piezometry, źródła, granice obszarów objętych badaniami, czynne i nieczynne kopalnie podziemne, otworowe i odkrywkowe, wyrobiska eksploatacyjne,

- warstwa informacyjna występowania wydzielonych serii litologiczno-genetycznych – powinna zawierać dane o występowaniu gruntów na różnych głębokościach (uzgodnionych z warunkami zastanymi w terenie oraz dopasowanych do pożądanego efektu końcowego prowadzonych analiz),
- warstwa informacyjna danych geomorfologicznych,
- warstwa informacyjna przydatności podłoża budowlanego,
- warstwa informacyjne zagrożeń geologicznych i antropogenicznych,
- warstwa informacyjna danych hydrogeologicznych,
- warstwa informacyjna danych surowcowych,
- warstwa informacyjna nośności podłoża,
- przekroje geologiczno-inżynierskie.

2.4. Etap III – Granice planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego

Ocenę terenu opracowuje się w oparciu o zgromadzone informacje w poprzednich etapach oraz prace i roboty geologiczne zaprojektowane w drugim projekcie robót geologicznych i wykonane w obecnym (III) etapie. Efektem końcowym tego etapu będzie opracowanie dokumentacji geologiczno-inżynierskiej.

Ocena terenu w granicach obiektu jądrowego, w odróżnieniu od badań regionalnych, powinna być skoncentrowana na podłożu budowlanym, czyli strefie bezpośredniego wpływu obiektu budowlanego (jądrowego) na ośrodek gruntowo-skalny (strefa współpracy konstrukcji z podłożem). Jest to najważniejszy etap, gdyż na jego podstawie opracowywane są założenia dla fundamentowania (dobór metody posadowienia) i projektów konstrukcyjnych. Na tym etapie takie elementy jak wymiary, przewidywane obciążenia oraz rozkład obiektów muszą być znane.

Przeprowadzone prace powinny pozwolić:

- ocenić występowanie zagrożeń geologicznych (uskoków, potencjalnych powierzchni poślizgu, pustek, kawern, podmokłości, procesów geodynamicznych, deformacji glacictektonicznych, gruntów problematycznych, możliwości wystąpienia erozji, sufozji, upłynnienia itp.) mogących negatywnie wpływać na bezpieczeństwo obiektu jądrowego i powodować możliwość przekroczenia stanów granicznych,
- ocenić warunki geologiczno-inżynierskie w podłożu, ze szczególnym uwzględnieniem oceny parametrów fizyczno-mechanicznych gruntów i skał,
- wskazać sposób posadowienia (bezpośrednie, pośrednie),

- oszacować nośność i odkształcalność podłoża, z uwzględnieniem projektowanych obciążeń,
- oszacować osiadania, w celu określenia możliwych odkształceń podłoża,
- określić warunki hydrogeologiczne, w odniesieniu do położenia zwierciadła wód podziemnych oraz możliwych wahań zwierciadła,
- ocenić wcześniejsze użytkowanie terenu, w szczególności w odniesieniu do możliwości zmiany naturalnych warunków w podłożu,
- określić wymagania odnośnie przygotowania terenu pod budowę oraz kolejności wykonywania prac ziemnych i fundamentowych.

Na etapie III, rozmieszczenie i zakres badań dla charakterystyki terenu w granicach planowanego miejsca usytuowania należy dostosować do:

- przewidywanych warunków w podłożu (grunty/skały, poziomy wód podziemnych),
- rozmieszczenia projektowanych obiektów,
- projektowanych obciążeń,
- danych zgromadzonych we wcześniejszych etapach.

Rozmieszczenie punktów badawczych, głębokość i zakres badań dodatkowych ma dostarczyć danych niezbędnych do zaprojektowania obiektu zgodnie z praktyką inżynierską. Zgodnie z zaleceniami PN-EN 1997-1:2008 i PN-EN 1997-2:2009 przy wyborze lokalizacji punktów badawczych należy uwzględnić następujące elementy:

- punkty dokumentacyjne powinny być rozmieszczone w taki sposób, żeby można było określić układ warstw na całym obszarze przeznaczonym pod lokalizację obiektu/obiektów budowlanych,
- punkty dokumentacyjne powinny być umieszczone w charakterystycznych punktach związanych bezpośrednio z kształtem i rozmieszczeniem obiektów, ich konstrukcją, a przede wszystkim oczekiwanym rozkładem obciążeń,
- dla budowli położonych na lub w pobliżu skarp, punkty dokumentacyjne powinny być rozmieszczone na zewnątrz badanego obszaru i usytuowane tak, aby mogła być oszacowana stateczność okolicznych skarp,
- punkty dokumentacyjne powinny być rozmieszczone tak, aby nie stwarzały zagrożenia dla budowli, prac konstrukcyjnych lub otoczenia (np. jako rezultat zmian, które mogą wywołać w podłożu lub w warunkach gruntowych),
- obszar uwzględniony w badaniach powinien obejmować również tereny sąsiednie w odległości przewidywanego oddziaływania,

- w punktach badawczych należy uwzględnić możliwość instalacji urządzeń do monitorowania (np.: inklinometrów, piezometrów itp.).

W przypadku wykonywania różnego typu badań na tym samym terenie, należy zachować odpowiednie odległości pomiędzy nimi, tak, aby uniknąć ich wzajemnego wpływu na uzyskiwane wyniki.

Głębokość rozpoznania podłoża powinna objąć wszystkie warstwy gruntu/skały na które może oddziaływać projektowany obiekt. W przypadku występowania dużej miąższości gruntów nieskalistych minimalna głębokość badania powinna wynosić przynajmniej tyle co średnica/długość fundamentu lub powinna być do głębokości, na której zmiana wartości naprężeń pionowych w trakcie budowy lub po jej zakończeniu wynosi mniej niż 10% w stosunku do efektywnych naprężeń pierwotnych. W przypadku skał głębokość rozpoznania może być mniejsza, jednak z zachowaniem zasady, iż rozpoznanie jest prowadzone poniżej strefy wszelkich osłabień, spękań lub nieciągłości (do tzw. litej skały).

Dla potrzeb charakterystyki geologiczno-inżynierskiej terenu należy wykorzystać następujące metody badawcze:

- wiercenia, pozwalające na określenie sekwencji warstw w podłożu, pobór próbek do badań laboratoryjnych (w tym prób o nienaruszonej strukturze – NNS) oraz przygotowania otworu na potrzeby badań otworowych,
- przeprowadzenie badań otworowych (np.: SPT, presjometryczne, badania sejsmiki otworowej typu cross-hole, down-hole itp.) w celu określenia parametrów wytrzymałościowych, odkształceniowych oraz prędkości rozchodzenia się sejsmicznych fal poprzecznych i podłużnych w celu klasyfikacji podłoża pod względem podatności sejsmicznej zgodnie z wymaganiami MAEA,
- kartowanie geologiczno-inżynierskie, pozwalające na identyfikację zagrożeń geologicznych w odniesieniu do możliwości wystąpienia procesów geodynamicznych (osuwisk, powodzi, podtopień, przejawów krasu, osiadania zapadowego, sufozji i erozji) i antropogenicznych oraz innych mogących negatywnie oddziaływać na obiekt,
- sondowania i badania geotechniczne dostosowane do warunków w podłożu, w tym między innymi sondowania statyczne, dynamiczne, dylatometryczne, presjometryczne, próbne obciążenia itp. pozwalające na ocenę sztywności i stabilności podłoża, oceny zagęszczenia, nośności, możliwości upłynnienia itp.,
- badania geofizyczne, w tym między innymi badania sejsmiczne refleksyjne/refrakcyjne, tomografii elektrooporowej, grawimetryczne, georadarowe, magnetyczne, dostosowane do warunków w podłożu, pozwalające na ocenę sejsmiczną terenu, wyznaczenie stref nieciągłości, lokalizowania pustek, stref uskokowych i parametrów sztywności podłoża,

- badania laboratoryjne, w tym między innymi badania klasyfikacyjne, badania cech fizycznych, wytrzymałościowych i odkształceniowych, a także parametrów dynamicznych, pozwalające na charakterystykę wydzielonych warstw gruntów (serii litologiczno-genetycznych) oraz ocenę właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów tworzących te warstwy.

Zebrane dane, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i geologiczno-inżynierskiej oraz zgodnie z rozporządzeniem lokalizacyjnym, powinny umożliwić:

w zakresie charakterystyki podłoża:

- opis budowy geologicznej w odniesieniu do układu warstw, ich genezy i stratygrafii oraz tektoniki,
- identyfikację procesów mogących wpłynąć na obiekt jądrowy i jego eksploatację, ze szczególnym uwzględnieniem tektoniki, glacitektoniki, obecności form krasowych, intensywności procesów wietrzenia, erozji i akumulacji, deformacji filtracyjnych, pęcznienia, pęcznienia, osiadania zapadowego i procesów antropogenicznych,
- opis właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów i skał, ze szczególnym uwzględnieniem nośności i odkształcalności podłoża, a także ryzyka wystąpienia upłynnienia gruntu,
- ocenę warunków geologiczno-inżynierskich wraz z prognozą wpływu projektowanej inwestycji na środowisko,
- ocenę stateczności istniejących skarp i zboczy i jej możliwe zmiany, w szczególności na skutek statycznego obciążenia od obiektu jądrowego i działania obciążeń dynamicznych eksploatacyjnych oraz będących skutkiem wstrząsów sejsmicznych, a także zjawisk meteorologicznych i hydrologicznych,
- określenie warunków hydrogeologicznych, w tym ustalenie głębokości położenia pierwszego poziomu wód podziemnych, amplitudy wahań i maksymalnego położenia poziomu zwierciadła wód podziemnych, na podstawie badań, wywiadu terenowego i analizy materiałów archiwalnych,
- charakterystykę wydzielonych zespołów gruntów w tym serii litologiczno-genetycznych, i ocenę właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów tworzących te zespoły,
- ocenę wpływu agresywności wód podziemnych na materiały konstrukcyjne, które zostaną użyte do wykonania projektowanego obiektu budowlanego,
- ocenę stanu technicznego obiektów budowlanych zlokalizowanych w sąsiedztwie projektowanego obiektu budowlanego,

- opis zjawisk i procesów geodynamicznych oraz antropogenicznych występujących w miejscu lokalizacji projektowanego obiektu budowlanego i jego sąsiedztwie oraz ocenę wielkości ich wpływu na projektowany obiekt budowlany.

w zakresie współpracy konstrukcji z podłożem:

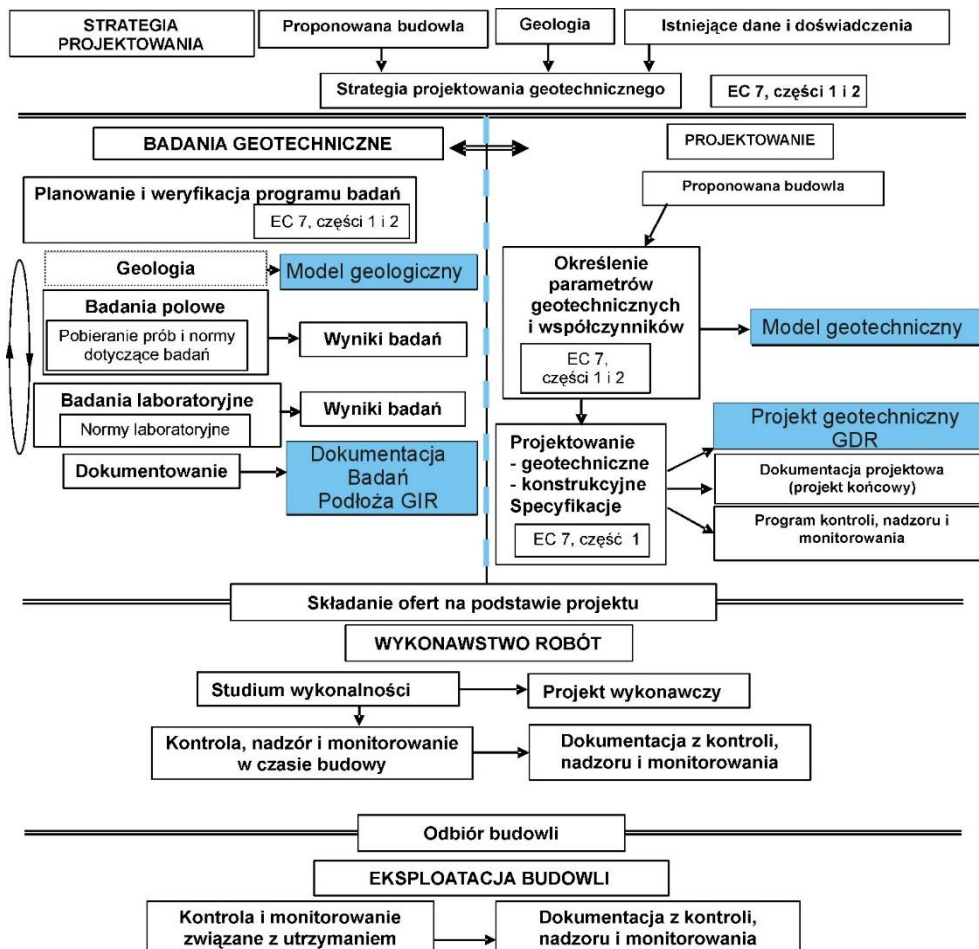
- prognozę zmian warunków geologiczno-inżynierskich mogących wystąpić podczas budowy, użytkowania i rozbiórki projektowanego obiektu budowlanego,
- wskazania dotyczące sposobów posadowienia projektowanego obiektu budowlanego,
- wybór metody wzmocnienia podłoża gruntowego,
- oszacowanie osiadań w trakcie budowy i eksploatacji obiektu,
- zakres i sposób prowadzenia monitoringu projektowanego obiektu.

2.4.1. Ocena sposobu posadowienia obiektu z uwzględnieniem warunków geologiczno-inżynierskich

Zebrane wyniki badań przeprowadzonych na tym etapie powinny umożliwić:

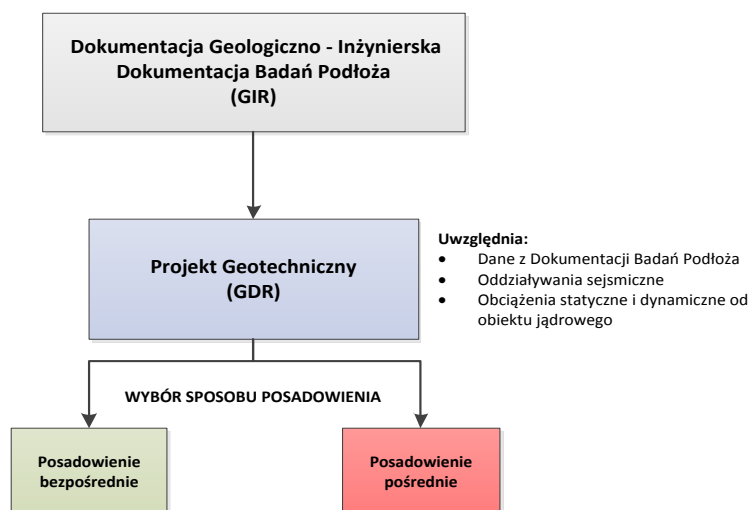
- dobór metody wzmocnienia,
- opracowanie projektu wzmocnienia (projektu geotechnicznego),
- określenie zakresu badań kontrolnych pod kątem zgodności z założeniami projektowymi.

Wybór sposobu posadowienia obiektu powinien być określony w projekcie geotechnicznym, przez projektanta konstrukcji i projektanta geotechnicznego. Schemat relacji dokumentacji badań podłoża do projektu geotechnicznego wg PN-EN 1997-2:2009 przedstawia schemat poniżej – rysunek 1. Ponadto rysunek ten przedstawia etapy badań podłoża podczas projektowania geotechnicznego, wykonawstwa i eksploatacji obiektów budowlanych wg PN-EN 1997-2.



Rysunek 1. Etapy badań podłoża według PN-EN 1997-2

Wyniki badań terenowych i laboratoryjnych zawarte są w dokumentacji badań podłoża tzw. GIR – geotechnical investigation report, a wykonywane na potrzeby projektu geotechnicznego tzw. GDR – geotechnical design report. Projekt geotechniczny opiera się o badania terenowe i laboratoryjne wykonane w ramach dokumentacji badań podłoża. Wybór sposobu posadowienia obiektu odbywa się na etapie sporządzania projektu geotechnicznego (Rysunek 2).



Rysunek 2. Schemat wyboru sposobu posadowienia obiektu budowlanego, w tym jądrowego

Obiekty energetyki jądrowej są z definicji klasyfikowane do trzeciej kategorii geotechnicznej – nietypowe obiekty budowlane (Rysunek 3), według rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalenia geotechnicznych warunków posadowienia obiektów budowlanych (Dz. U. 2012, poz. 463). W związku z tym wystąpi konieczność opracowania czterech opracowań: opinii geotechnicznej, dokumentacji badań podłoża, projektu geotechnicznego oraz dokumentacji geologiczno-inżynierskiej.

Rodzaje konstrukcji budowlanych	Stopień złożoności podłoża		
	Warunki proste	Warunki złożone	Warunki skomplikowane
<p>niewielkie obiekty budowlane, o statycznie wyznaczalnym schemacie obliczeniowym</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1- lub 2- kondygnacyjne bud mieszkalne i gospodarcze, - ściany oporowe i rozparcia wykopów o różnicy poziomów mniejszej niż 2,0 m - wykopy do głębokości 1,2 m, nasypy budowlane do wysokości 3,0 m 	kat. I	kat. II	kat. III
<p>obiekty budowlane, wymagające ilościowej i jakościowej oceny danych geotechnicznych</p> <ul style="list-style-type: none"> - fundamenty bezpośrednie i głębokie - ściany oporowe lub inne konstrukcje oporowe o różnicy poziomów > 2,0 m - wykopy o gł. >1,2 m, nasypy budowlane o wysokości > 3,0 m, inne budowle ziemne - przyczółki i filary mostowe, nadbrzeża - kotwy gruntowe i inne systemy kotwiące 	kat. II	kat. II	kat. III
<p>nietypowe obiekty budowlane</p> <ul style="list-style-type: none"> - obiekty energetyki, rafinerie, zakłady chemiczne, zapory wodne, - budowle hydrotechniczne o wysokości piętrzenia powyżej 5,0 m - budowle stoczniowe, obiekty wysokie, o głębokości posadowienia bezpośredniego przekraczającej 5,0 m, o >1 kondygnacji podziemnej - budynki wysokościowe w istniejącej zabudowie miejskiej - obiekty infrastruktury krytycznej i zaliczane do inwestycji oddziałujących na środowisko - obiekty zabytkowe i monumentalne - tunele w twardych i niespękanych skałach - wyspy morskie, platformy wiertnicze i inne skomplikowane budowle morskie 	kat. III	kat. III	kat. III



- konieczność sporządzenia dokumentacji geologiczno-inżynierskiej

Forma przygotowania geotechnicznych warunków posadowienia



kat. I - opinia geotechniczna



kat. II - opinia geotechniczna + dokumentacja badań podłoża (GIR) + projekt geotechniczny (GDR)



kat. III - opinia geotechniczna + GIR + GDR, niezbędne obliczenia analityczne i numeryczne

Rysunek 3. Wyznaczanie kategorii geotechnicznej oraz wymagane prawnie opracowania dotyczące badań podłoża

Komplet informacji zawarty w:

- dokumentacji geologiczno-inżynierskiej zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i geologiczno-inżynierskiej,

- dokumentacji badań podłoża zgodnie z rozporządzeniem Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych,

musi pozwalać projektantowi na wybór sposobu posadowienia obiektu jądrowego i zaprojektowanie fundamentów.

W projekcie geotechnicznym musi zostać określony sposób posadowienia: bezpośredni lub pośredni. Wybór sposobu posadowienia wykonuje się na podstawie analizy warunków geologicznych. Możliwe są dwa warianty posadowienia:

- posadowienie bezpośrednie, w tym:
 - na gruncie naturalnym,
 - na gruncie wzmocnionym,
- posadowienie pośrednie – pale fundamentowe lub inne techniki głębokiego posadowienia.

W celu określenia sposobu fundamentowania konieczne jest wykonanie tzw. wstępnych prac fundamentowych, zgodnie z zaleceniami MAEA (No. NS-G-3.6). Wstępne prace fundamentowe są definiowane w wyżej wspomnianych zaleceniach MAEA jako czynności badawczo-projektowe wykonywane przed rozpoczęciem prac fundamentowych.

Uzasadnienie wyboru sposobu posadowienia musi wynikać z badań oraz dokumentacji geologiczno-inżynierskiej i dokumentacji badań podłoża.

W tym celu należy wykonać badania i analizy potwierdzające wybór sposobu i rodzaju posadowienia, które obejmować będą:

- badania na prototypach fundamentów (np.: próbne obciążenia pali na poletkach testowych, badania wzmocnienia podłoża i technologii wykonywania zasypek i wymiany gruntów na poletkach badawczych),
- wykopy i odkrywki badawcze,
- określenie sposobu odwodnienia podłoża oraz sposobu odprowadzania wód z systemu odwodnienia,
- urabianie mas skalnych i gruntowych,
- kartowanie odkrywek i wykopów,
- analizę możliwości poprawienia parametrów fundamentów, gruntu wzmocnionego oraz warstw zasypek i drenażu,
- technologię zagęszczania zasypek fundamentów oraz warstw wymiany gruntów,
- formowanie przesłon ilowych (jako warstw izolacyjnych i nośnych).

Przed rozpoczęciem prowadzenia prac fundamentowych muszą zostać dla ww. prac ziemnych opracowane szczegółowe wymagania odbioru robót budowlanych oraz zasady ich wykonywania i przygotowania dokumentacji powykonawczej.

W przypadku wyboru posadowienia bezpośredniego, gdy występuje konieczność polepszenia parametrów mechanicznych podłoża budowlanego (np.: poprzez kompaktację dynamiczną gruntów in situ, wymianę gruntów słabych lub wykorzystanie dodatkowych materiałów do wzmocnienia podłoża, takich jak np.: geosyntetyki, dodatki popiołów lub stabilizacja cementem) należy wybrać taki sposób wzmocnienia, aby podłoże charakteryzowało się pożądanym zachowaniem pod wpływem obciążeń statycznych i dynamicznych.

Wzmocnienie podłoża budowlanego należy wykonywać w sytuacji, kiedy:

- podłoże nie jest w stanie przenieść projektowanych obciążeń bez generowania nadmiernych odkształceń, zagrażających konstrukcji obiektu,
- w podłożu znajdują się pustki pochodzenia naturalnego (np. kras) lub antropogenicznego (np. wyrobiska podziemne),
- podłoże charakteryzuje duża zmienność parametrów odkształceniowych w obrysie obiektu, mogąca prowadzić do nierównomiernych osiadań obiektu.

W sytuacji, kiedy wzmocnienie podłoża przy posadowieniu bezpośrednim okaże się konieczne, należy wykonać następujące zadania:

- określenie profilu gruntów in situ przed wzmocnieniem,
- określenie wymaganego układu warstw dla podłoża wzmocnionego,
- wybór technologii wzmocnienia (np.: wymiana gruntów słabych pod fundamentem, zagęszczanie, stabilizacja, iniekcja itp.),
- wykonanie badań na poletkach doświadczalnych, mających na celu potwierdzenie efektywności przyjętej metody wzmocnienia podłoża,
- opracowanie wytycznych i zaleceń do realizacji i odbioru przyjętego sposobu wzmocnienia.

Po zakończeniu prac związanych z wykonaniem wzmocnienia podłoża budowlanego należy opracować program badań kontrolnych, potwierdzających skuteczność zastosowanej metody.

Należy uwzględnić wykonane wzmocnienie w przeprowadzonych wcześniej analizach bezpieczeństwa obiektu.

Posadowienie bezpośrednie jest wybierane wtedy, kiedy rozkład obciążeń od obiektu jest równomierny, a górne warstwy profilu geologicznego charakteryzują się wystarczającą nośnością. W przypadku występowania niekorzystnych warunków gruntowych, obecności gruntów słabonośnych w poziomie posadowienia obiektu należy zaprojektować posadowienie pośrednie (np.: pale fundamentowe, kolumny żwirowe itp.).

Przy wyborze sposobu posadowienia obiektu należy kierować się następującymi kryteriami:

- oddziaływania od obiektu powinny być przeniesione przez fundamenty na podłoże budowlane bez wystąpienia nadmiernych odkształceń,
- odkształcenia podłoża spowodowane przez oddziaływania sejsmiczne powinny mieścić się w granicy dopuszczalnych odkształceń dla konstrukcji obiektu,
- ryzyko związane z niepewnością oceny podatności sejsmicznej podłoża budowlanego powinno być uwzględnione w projektowaniu posadowienia obiektu,
- ryzyko związane z występowaniem wód podziemnych, agresywnych w stosunku do konstrukcji posadowienia, należy uwzględnić w projektowaniu sposobu posadowienia obiektu,
- dla każdego obiektu budowlanego w obrębie projektowanej infrastruktury obiektu jądrowego powinien być stosowany jeden typ posadowienia.

Wybór sposobu posadowienia powinien być zależny od rodzaju obiektu (np.: przesłona ilowa powinna być zastosowana dla posadowienia budynku reaktora, ponieważ zapewnia ona równomierne osiadania obiektu wywołane obciążeniami statycznymi i dynamicznymi oraz stanowi jednocześnie barierę ochronną, między obiektem a środowiskiem geologicznym).

W projekcie geotechnicznym dla wybranego sposobu posadowienia obiektu należy przeprowadzić analizę oddziaływań między konstrukcją obiektu a podłożem budowlanym. Ocena warunków geotechnicznych powinna być dostosowana do obowiązujących norm (PN-EN 1997:1 i 2), gdzie wyróżnia się 5 głównych stanów granicznych: EQU, GEO, STR, UPL i HYD.

Na etapie wyboru sposobu posadowienia należy w pierwszej kolejności uwzględnić przypadek GEO obejmujący zniszczenie albo nadmierne odkształcenie podłoża, gdy wytrzymałość gruntu lub skały jest decydująca dla zapewnienia nośności. Istotne mogą okazać się dotychczas mało akcentowane sprawdzenia przypadków:

- UPL – utraty stateczności konstrukcji albo podłoża (utrata równowagi pionowej) spowodowanej ciśnieniem wody (wyporem lub innymi oddziaływaniami pionowymi),
- HYD – wypiętrzenia hydraulicznego, erozji wewnętrznej lub przebicia hydraulicznego w podłożu spowodowanego spadkiem hydraulicznym.

Szczególnie te przypadki rozpatrywane powinny być w wariantach możliwych awaryjnych stanów związanych z zaburzeniami funkcjonowania towarzyszących obiektów hydrotechnicznych.

2.4.2. Analiza osiadań obiektu z uwzględnieniem warunków geologiczno-inżynierskich

Analiza osiadań obiektu na etapie projektowania jest istotnym elementem, gdyż duże oraz nierównomierne osiadania mogą doprowadzić do nadmiernych odkształceń konstrukcji obiektu.

Określenie osiadań pod wpływem obciążeń statycznych powinno zostać przeprowadzone dla projektowanego obiektu jądrowego. Możliwość wystąpienia nierównomiernych osiadań pomiędzy elementami infrastruktury obiektu jądrowego powinna być przeanalizowana pod kątem wpływu osiadań na infrastrukturę liniową, taką jak rury, kanały i tunele. Osiadania są istotne, ponieważ mogą powodować odkształcenia fundamentów.

To z kolei może prowadzić do powstawania nadmiernych naprężeń w konstrukcji obiektu wpływających negatywnie na pracę urządzeń takich jak pompy lub turbiny (zwłaszcza kiedy są one umiejscowione bezpośrednio na elementach konstrukcji obiektu).

Należy określić krótkoterminowe i długoterminowe osiadania (mogące wystąpić w ciągu okresu użytkowania obiektu).

Osiadania obiektu powinny być obliczane z zastosowaniem klasycznej teorii konsolidacji lub w oparciu o zaawansowane nieliniowe algorytmy obliczeniowe. Obliczenia osiadań obiektu należy prowadzić z zastosowaniem oprogramowania MES (metody elementów skończonych).

Dla gruntów nasyconych należy w analizie osiadań wyodrębnić trzy elementy składowe:

- osiadanie w warunkach bez odpływu, w wyniku ścinania, w warunkach pełnego nasycenia gruntów,
- osiadanie spowodowane konsolidacją,
- osiadanie od pełzania.

Badania parametrów odkształceniowych zaleca się wykonywać metodami podanymi w tabeli 4 i tabeli 6.

Aby oszacować długoterminowe osiadania należy wykonać następujące czynności:

- należy założyć przebieg obciążeń gruntu w procesie budowy obiektu, tj. kolejność wykonywania wykopów, sposób odwodnienia placu budowy,

technologię wykonywania zasypek fundamentowych i ewentualnej wymiany gruntu,

- należy przyjąć wartości parametrów takich jak: naprężenie prekonsolidacji, współczynnik konsolidacji i współczynnik konsolidacji wtórnej, początkowy moduł Younga, współczynnik Poissona oraz pozostałych parametrów koniecznych do określenia zależności konstytutywnych poszczególnych modeli fizycznych zachowania się gruntów i skał, wartości parametrów muszą być określone dla całego profilu podłoża budowlanego pod obiektem jądrowym,
- dla każdej warstwy w profilu należy dobrać odpowiedni model fizyczny, zgodnie z wykonanymi badaniami laboratoryjnymi i terenowymi,

W ocenie osiadań należy wykonać również analizę osiadań spowodowanych obciążeniem dynamicznym. Taką analizę należy przeprowadzić dla infrastruktury obiektu jądrowego, łączników między obiektami oraz fundamentów maszyn.

W obliczeniach osiadań spowodowanych oddziaływaniami dynamicznymi należy uwzględnić składową poziomą i pionową obciążenia oraz ich możliwe kombinacje.

Przy projektowaniu fundamentów pod konstrukcje narażone na obciążenia dynamiczne (np. spowodowane wibracjami) oraz pod maszyny generujące wibracje, należy zapewnić takie rozwiązania projektowe, które zapobiegą powstawaniu nadmiernych osiadań. Należy również wyeliminować możliwość wystąpienia rezonansu spowodowanego obciążeniami wibracyjnymi.

2.5. Zakres i rodzaj prac terenowych

Dane pozyskuje się w ramach prac terenowych. Zaleca się przeprowadzić następujące prace i badania terenowe:

- prace geodezyjne,
- prace teledetekcyjne,
- prace i roboty geologiczne,
- badania znormalizowane (np. sondowania) i specjalistyczne,
- badania geofizyczne,
- badania środowiskowe.

2.5.1. Prace geodezyjne

Prace geodezyjne polegają na pozyskaniu aktualnych podkładów topograficznych, np. z państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego. W przypadku gdy dokumentowany obszar znajduje się na terenie czynnych zakładów górniczych należy również pozyskać mapy wyrobisk górniczych zawartych w dokumentacji mierniczo-górnicyj.

Wszystkie archiwalne dane powinny być opisane współrzędnymi „x” i „y” oraz rzędną „z”. Zgodnie z rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 14 listopada 2012 r. w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych (Dz. U. 2012, poz. 1247) w pracach geodezyjnych i kartograficznych stosuje się państwowy system odniesień przestrzennych.

Układ współrzędnych płaskich należy dostosować do skali mapy zgodnie z § 15 ww. rozporządzenia.

Informacja o układzie współrzędnych jest bardzo istotna z uwagi na to, że do dnia 31.12.2009 mogły być używane inne układy współrzędnych (UWPP „1965”, PUWG „1942”, układy lokalne). Zatem współrzędne archiwalnych punktów badawczych wykorzystane do celów dokumentowania geologiczno-inżynierskiego powinny być przystosowane poprzez przekształcenie do układów obowiązujących. Pozwoli to na zestawienie, porównanie i weryfikację wszystkich dostępnych danych w opracowaniu geologiczno-inżynierskim.

2.5.2. Prace teledetekcyjne

Prace teledetekcyjne pozwalają na uzyskanie ogólnych danych topograficznych i geodezyjnych z dużego terenu. Prace te pozwalają przede wszystkim na wyselekcjonowanie obszarów do bardziej szczegółowego rozpoznania, co może ograniczyć koszty badań terenowych. Metody teledetekcyjne dostarczają głównie informacji o cechach jakościowych badanego obiektu czy zjawiska.

Wyróżniamy trzy podstawowe metody pozyskania danych teledetekcyjnych: satelitarne, lotnicze i naziemne. Można zastosować również podział w zależności od techniki rejestracji czyli stosowanych sensorów (fale elektromagnetyczne: pasmo widzialne, bliska podczerwień, pasmo termalne, mikrofae).

Przykładowe formy wykorzystania teledetekcji to: zdjęcia lotnicze, ortofotomapy, modele 3D na podstawie danych ze skaningu laserowego.

Istotną zaletą teledetekcji jest powtarzalność rejestracji. Jest to niezmiernie istotne przy badaniach środowiska naturalnego, gdzie zmiany są obserwowane na przestrzeni czasu. Za pomocą danych teledetekcyjnych można odtworzyć współczesną historię badanego terenu (np.: archiwalne osuwiska, zapadliska itp.).

2.5.3. Prace i roboty geologiczne

Dane z kartowania geologiczno-inżynierskiego, prowadzonego w ramach prac terenowych dostarczają danych o:

- naturalnych odsłonięciach, wysiękach itp.,
- formach geomorfologicznych z uwzględnieniem form antropogenicznych,
- procesach geodynamicznych (np.: lejach i zapadliskach, szczelinach i progach terenowych, zjawiskach krasowych, osuwiskach, osiadaniu zapadowym w lessach, sufozji, erozji, abrazji itp.),
- zjawiskach geologicznych (np. podtopieniach itp.),

- zjawiskach i procesach antropogenicznych (np. nieckach osiadań itp.),
- granicach geologicznych,
- biegu i upadzie warstw oraz kierunku spękań.

Dane możliwe do pozyskania w ramach robót geologicznych to przede wszystkim dane z wierceń geologicznych takie jak:

- profil litologiczny,
- makroskopowo określone właściwości fizyczno-mechaniczne,
- granice jednostek litogenetycznych,
- poziom wód podziemnych,
- próbki geologiczne,
- makroskopowa ocena izolacyjności poziomów wód podziemnych.

Badania geologiczno-inżynierskie powinny być dostosowane do przewidywanego stopnia skomplikowania warunków gruntowych. Do oceny warunków geologiczno-inżynierskich najczęściej stosuje się wiercenia rozpoznawcze, oraz różnego rodzaju badania znormalizowane (sondowania). Dobór techniki wiercenia powinien być dostosowany do rodzaju gruntu oraz uwzględniać wymaganą klasę jakości próbki. Klasy jakości próbek i kategorie pobierania próbek przedstawia tabela 3.

Tabela 3. Klasy jakości próbek i kategorie pobierania próbek (wg PN-EN 1997-2).

Właściwości gruntu		Klasa jakości próbek				
		1	2	3	4	5
Niezmienione	uziarnienie	+	+	+	+	
	wilgotność	+	+	+		
	gęstość, stopień zagęszczenia, przepuszczalność	+	+			
	ściśliwość, wytrzymałość na ścinanie	+				
Możliwe do określenia	następstwo warstw	+	+	+	+	+
	przybliżone granice warstw	+	+	+	+	
	dokładne granice warstw	+	+			
	granice Atterberga, gęstość właściwa szkieletu gruntowego, zawartość części organicznych	+	+	+	+	
	wilgotność	+	+	+		
	gęstość, stopień zagęszczenia, przepuszczalność	+	+			
	ściśliwość, wytrzymałość na ścinanie	+				
Kategorie pobierania próbek gruntu wg PN-EN ISO 22475-1		A				
		B				
						C

2.5.4. Badania znormalizowane i specjalistyczne

Dane jakie można pozyskać z różnego rodzaju badań znormalizowanych (sondowań) to:

- stan gruntu naturalnego lub antropogenicznego,
- ocena jednorodności podłoża gruntowego,
- granice pomiędzy grupami gruntów o podobnych właściwościach fizyczno-mechanicznych,
- wartości pomierzone i wyprowadzone parametry geotechniczne.

Zestawienie znormalizowanych metod badań podłoża, uzyskiwanych pomiarów oraz wyprowadzonych na ich podstawie parametrów gruntów przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Zestawienie znormalizowanych metod badań podłoża, uzyskiwanych pomiarów oraz wyprowadzonych na ich podstawie parametrów gruntów (wg PN-EN 1997-2:2009).

Metoda	Wykonywane pomiary	Wartości wyprowadzone	Zastosowanie	Ograniczenia
Sondowanie dynamiczne DP	liczba uderzeń N_{10} dla następujących badań: DPL, DPM, DPH, liczba uderzeń N_{10} lub N_{20} dla badania DPSH	I_D, φ', M	Zasięg głębokościowy gruntów słabych, nasypowych, Lokalizacja pustek, Lokalizacja stref osłabień	Ograniczona głębokość: DPL – 8 m DPM – 20 m DPH – 25 m Znaczący wzrost tarcia wraz z głębokością w gruntach spoistych
Badanie dynamiczne sondą cylindryczną SPT	liczba uderzeń N , współczynnik energii E_r , opis gruntu	$I_L, I_D, q_c, \varphi', E$	Pobór próbek, Lokalizacja stref osłabień	Występowanie kamieni, gruzu, dużych otoczek Wymaga podwiertu
Badanie statyczne sondą stożkową CPT	opór zagłębienia stożka q_c , miejscowy, jednostkowy opór tarcia na poboczniczy f_s , współczynnik tarcia R_f	$I_L, I_D, c_u, \varphi', c', M, E, OCR, K_0, I_c$	Profil wytrzymałościowy i odkształceniowy podłoża, Uwarstwienie Zasięg głębokościowy gruntów słabych, nasypowych, Lokalizacja stref osłabień Zasięg kolumwium w przypadku osuwisk	Bardzo zagęszczone piaski, żwiry i pospółki
Badanie statyczne sondą stożkową z możliwością pomiaru ciśnienia porowego CPTU	skorygowany opór stożka q_t , miejscowy, jednostkowy opór tarcia na poboczniczy f_s , pomierzone ciśnienie porowe u	$I_L, I_D, c_u, \varphi', c', M, E, \gamma, OCR, K_0, I_c, c_{v(h)}, k_{h(v)}, G_0, CRR$	j.w. + oszacowanie przepuszczalności gruntów	Bardzo zagęszczone piaski, żwiry i pospółki, półzwarte i zwarte gliny, obecność kamieni
Badanie dylatometrem płaskim DMT	skorygowane ciśnienie p_0 , skorygowane ciśnienie p_1 przy wychyleniu membrany 1,1 mm, moduł dylatometryczny E_{DMT} , wskaźnik materiałowy I_{DMT} oraz wskaźnik naprężeń poziomych K_{DMT}	$c_u, \varphi', M, K_0, OCR, k_h$	Ocena parametrów odkształceniowych	Możliwość uszkodzenia membrany w przypadku występowania kamieni, gruzów itp.
Badanie presjometryczne Menarda MPM	moduł presjometryczny E_M , ciśnienie pełzania p_f , ciśnienie graniczne p_{LM} , krzywa ekspansji (rozszerzalności)	I_D, I_L, c_u, M, q_c	Ocena parametrów odkształceniowych	Wymaga podwiertu

Badanie dylatometrem cylindrycznym FDT	moduł dylatometryczny E_{FDT} , krzywa odkształcenia	I_D, I_L, c_u, M, q_c	Ocena parametrów odkształceniowych	Brak sprawdzonych korelacji w warunkach polskich
Wszystkie inne badania presjometryczne (PBP, SBP, FDP)	krzywa odkształcenia	I_D, I_L, c_u, M, q_c	Ocena parametrów odkształceniowych	Wymaga podwiertu brak sprawdzonych korelacji w warunkach polskich
Badanie połową sondą krzyżakową FVT	wytrzymałość na ścinanie bez odpływu (bez poprawki) c_{IV} , wytrzymałość na ścinanie bez odpływu gruntu przerobionego c_{IV} , krzywa momentu obrotowego	I_L, c_u, c_r, S_t	Ocena parametrów wytrzymałościowych	Dla gruntów o $\tau_1 < 150$ kPa
Badanie sondą wkręcaną WST	ciągły zapis oporu sondowania sondą wkręcaną, opór sondowania sondą wkręcaną to: – wielkość zagłębienia przy obciążeniu normowym, albo – liczba póbrotów potrzebnych na każde 0,2 m wępu, przy normowym obciążeniu 1 kN	ϕ', E, c_u, I_D	Zasięg głębokościowy gruntów słabych, nasypowych,	Grunty zwarte lub zagęszczone
Próbne obciążenie płytą PLT	graniczne naprężenie kontaktowe p_u	c_u, E_{PLT}, k_s	Zasadny dla odbiorów geotechnicznych podłoża	Miękkoplastyczne grunty drobnoziarniste

2.5.5. Badania geofizyczne

Badania geofizyczne są bezinwazyjne, mają duży zasięg zarówno pod względem głębokości jak i powierzchni badań jaką można objąć duży obszar w krótkim czasie.

Zaleca się stosowanie metod geofizycznych na każdym etapie rozpoznania podłoża, ponieważ pozwalają one zdefiniować i okonturować problem, oraz uzupełnić informacje.

Powszechnie stosowane metody badań geofizycznych to:

- magnetyczne,
- grawimetryczne,
- radiometryczne,
- konduktometryczne,
- sejsmiczne,
- georadarowe,
- elektryczne oporowe.

Badania geofizyczne mogą dostarczyć informacji zarówno o głębokiej jak również bardzo płytkiej budowie geologicznej. W szczególności badania te dostarczają informacji na temat:

- stref anomalnych np.: uskoków, rozluźnień, kawernach, pustkach w górotworze,
- zmian wybranych właściwości fizyczno-mechanicznych górotworu,
- budowy geologicznej.

Rodzaje badań, metodykę i zastosowanie badań geofizycznych przedstawia tabela 5.

Tabela 5. Rodzaje badań, metodyka i zastosowanie badań geofizycznych.

Rodzaje badania	Metoda	Zastosowanie do badań dla lokalizacji obiektów jądrowych	Uwagi
Pionowe sondowania elektrooporowe lub tomografia elektrooporowa	Pomiar oporności gruntu	Bardzo szerokie spektrum zastosowania. Badania określają: - warunki gruntowo-wodne - budowę geologiczną, granice litologiczne, - lokalizację pustek, kawern krasu, uskoków, - struktury glaciektoniczne, - skuteczności podsadzania pustek, rozluźnień górotworu, - miąższość utworów przepuszczalnych, słabo przepuszczalnych, okien hydrogeologicznych - obszary zasięgu skażenia/ zanieczyszczenia gruntu i wód podziemnych, - granicę między wodami słodkimi i słonymi, - kierunek, spływu przepływu wód podziemnych, - uszczegółowienie budowy geologicznej pomiędzy otworami	Badania dają najlepsze rezultaty w rozpoznaniu dla głębokości do 200 m ppt.
Georadar	Pomiar prędkości fal elektromagnetycznych	Badania określają: - lokalizację infrastruktury podziemnej, - lokalizację pustek podziemnych (kras, tunele, szyby, chodniki, kanały i inne rodzaje struktur podziemnych - wykrywanie zapadlisk i osiadań.	Badania płytkiego ośrodka do 10-15 m ppt
Głęboka sejsmika refleksyjna	Pomiar prędkości fali podłużnej	Badania określają: - granice nieciągłości tektonicznych i litostratygraficznych , - budowy geologicznej, - oceny parametrów sprężystych ośrodka	Badania predysponowane do rozpoznania głębokiej budowy geologicznej.
Sejsmika inżynierska - badania refrakcyjne, - badania refleksyjne - tomografia refrakcyjna - MASW - prześwietlania sejsmiczne - profilowania prędkości w otworach (LWZ, UPHOLE, DOWNHOLE)	Pomiary prędkości fali podłużnej i poprzecznej	Badania określają: - granice oddzielające strefy różnego stanu wietrzenia górotworu - zwietrzliny, spękania i uskoki i mikro uskoki w górotworze, - rozpoznanie stref osuwiskowych a zwłaszcza płaszczyzny poślizgu - parametry geomechaniczne ośrodka np. dynamicznych: modułów sprężystości i współczynnika Poissona, - wstępną ocenę klas geomechanicznych górotworu - wyznaczanie granic: podłoża skalnego, między warstwami zróżnicowanymi litologicznie, pomiędzy strefami o różnym stopniu wietrzenia, - ocena stanu ośrodka gruntowo - skalnego pod kątem stref osłabienia, zapadania, rozluźnień (także pod istniejącymi obiektami np. pod posadzkami betonowymi) oraz stanu intensywności spękań - ocena stabilizacji, konsolidacji, weryfikacja skuteczności wzmocnienia podłoża i podsadzania pustek - analiza naprężeń w górotworze	Badania stosuje się do rozpoznania płytkiego ośrodka do głębokości 50 m ppt
Grawimetria	Pomiar siły ciężkości	W zależności od zagęszczenia pomiarów i obszaru objętego badaniami metoda ta obrazuje budowę geologiczną zarówno bardzo głęboką jak również płytką. Metoda ta szczególnie predysponowana jest do określania stref uskokowych, a także pustek i kawern (mikrograwimetria),	Bardzo szerokie spektrum głębokościowe rozpoznania od kilkudziesięciu metrów do kilku km
Magnetyka	Pomiar natężenia pola magnetycznego	Rozpoznanie głębokiej budowy geologicznej	Badania nie można wykonywać w strefach zurbanizowanych ze względu na duże zakłócenia
Radiometria	Pomiar natężenia promieniowania	Rozpoznanie stref uskokowych	

ETAP I – region lokalizacji

Badania geofizyczne w tym etapie powinny skupić się głównie na pozyskaniu informacji na temat pokrycia terenu badaniami archiwalnymi, dostępności danych, jakości danych oraz kosztów pozyskania danych.

Faza 1

Należy przeanalizować teren badań ze względu na dostępność dla regionu badań geofizycznych:

- dla metody głębokiej sejsmiki refleksyjnej (2D, 3D),
- dla metody grawimetrycznej,
- dla metody magnetycznej,
- dla metody geoelektrycznej,
- z archiwalnych otworów badawczych.

Wynikiem prac powinno być stworzenie spisu dokumentacji i publikacji występujących na danym terenie dla każdej z metod. Analiza powinna dotyczyć także publikacji (największych branżowych pism i biuletynów z kraju i z zagranicy), które dotyczyły badań geofizycznych z danego regionu.

Faza 2

Należy zweryfikować dostępność danych ze spisu sporządzonego w etapie wcześniejszym poprzez fizyczne sprawdzenie dostępności każdej pozycji spisu w odpowiednim archiwum.

Każdą pozycję należy poddać weryfikacji prawnej co do możliwości wykorzystania danych w opracowaniu.

Każdą dokumentację należy poddać weryfikacji ze względu na zwartość danych. Należy sprawdzić w jakiej postaci są dane (cyfrowej, analogowej), oraz czy będą nadawały się do późniejszej reinterpretacji. Ponadto należy sprawdzić czy są dostępne dane terenowe (źródłowe) w formacie nadającym się do późniejszego przetwarzania cyfrowego.

Faza 3

Należy oszacować liczbę danych (poddanych już weryfikacji w fazie 2) znajdujących się na rozpatrywanym terenie:

- dla badań głębokiej sejsmiki refleksyjnej – liczbę profili, długość każdego z profili,

- dla badań grawimetrycznych – liczbę punktów pomiarowych,
- dla badań magnetycznych – liczbę punktów pomiarowych,
- dla badań geoelektrycznych – liczbę sondowań, długość profili (w przypadku profilowań),
- dla badań geofizyki otworowej – liczbę otworów, metodę badania, głębokość badań.

Faza 4

Badania geofizyczne w tej fazie powinny skupić się na analizie dostępnych danych geofizycznych wybranych w fazach 1-3.

Należy wybrać dane geofizyczne, przydatne do analizy regionu lokalizacji.

Dane należy dobrać w taki sposób, aby za ich pomocą jak najlepiej określić i rozpoznać warunki geologiczne badanego terenu. Analiza parametrów geofizycznych powinna dotyczyć głównie głębokiego podłoża, ze szczególnym uwzględnieniem stref tektonicznych.

Metodami predysponowanymi do tego celu są:

- sejsmika refleksyjna,
- grawimetria,
- magnetyka,
- geofizyka otworowa.

Wybrane dane muszą zostać przetworzone na postać cyfrową, zlokalizowane na mapie w obowiązującym układzie współrzędnych i poddane procedurom pozwalającym na ich reinterpretację w dowiązaniu do dostępnych danych geologicznych.

Wykonanie interpretacji kompleksowej w postaci powiązania reinterpretowanych danych sejsmicznych z pracami grawimetrycznymi i magnetycznymi będzie bardzo istotne ze względu na potwierdzenie kierunków wyznaczonych stref uskokowych oraz ewentualnego określenia wielkości poszczególnych bloków ograniczonych liniami nieciągłości litologiczno-tektonicznymi.

Opracowanie tych danych przyczyni się do określenia lub potwierdzenia już istniejących stref uskokowych w podłożu.

Pełna kompleksowa analiza geofizyczna musi być również wykonana w dowiązaniu do profilowań geofizycznych wykonanych w otworach wiertniczych. Pozwoli to na korelację danych np. prędkości sejsmiki refleksyjnej ze znanymi rozkładami prędkości z otworów.

Reinterpretacja danych otworowych dostarczy też informacji na temat gęstości, porowatości, czy oporności ośrodka.

ETAP II – obszar lokalizacji

Prace geofizyczne w tym etapie powinny skupić się na wykonaniu nowych terenowych badań geofizycznych dla obszaru lokalizacji. Dobór metod powinien być dokonany w oparciu o charakterystykę geologiczną obszaru badań. W szczególności dobór metod powinien pozwolić jak najlepiej scharakteryzować zarówno głębokie podłoże, jak również strefy średnie, a także najpłytsze podłoże.

W etapie tym zaleca się wykonanie szczegółowego zdjęcia sejsmicznego 3D, z pokryciem całego obszaru lokalizacji. Dodatkowo zaleca się wykonanie szczegółowego zdjęcia grawimetrycznego z ilością ok. 25 pkt na 1 km².

Prace te powinny mieć za zadanie szczegółowo scharakteryzować badany ośrodek zarówno na dużych jak i średnich głębokościach.

Dodatkowo w celu rozpoznania płytkiej budowy geologicznej zaleca się wykonanie prac geoelektrycznych i wysokorozdzielczych badań sejsmicznych. Prace te będą miały za zadanie uszczegółowienie płytkiej budowy ośrodka geologicznego. Prace te powinny być realizowane za pomocą metod:

- tomografii elektrooporowej,
- pionowych sondowań elektrooporowych,
- tomografii refrakcyjnej,
- wysokorozdzielczej sejsmiki refleksyjnej,

a także badań geofizyki otworowej w celu powiązania (kalibracji) danych wykonanych metodami powierzchniowymi z danymi otworowymi.

Badania te powinny być zaprojektowane w taki sposób, aby jak najlepiej scharakteryzować ośrodek na poszczególnych głębokościach.

ETAP III – granica planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego

Badania dla tego etapu powinny charakteryzować się maksymalną rozdzielczością i szczegółowością rozpoznania. W związku z tym w miejscu lokalizacji obiektu jądrowego zaleca się wykonanie kompleksu wysokorozdzielczych metod geofizyki inżynierskiej takich jak:

- tomografia elektrooporowa (2D/3D),
- sondowania, profilowania MASW,
- sejsmika refrakcyjna,

- tomografia refrakcyjna – zdjęcie o dużym zagęszczeniu,
- sejsmiczne prześwietlenia między otworowe,
- pomiary otworowe (profilowania prędkości fal podłużnych i poprzecznych, badania porowatości, gęstości, oporności),
- pomiary georadarowe,
- pomiary atmogeochemiczne (np.: poprzez pomiary radonu w powietrzu glebowym – wskaźniku stref uskokowych, spękań i szczelin).

2.5.6. Badania środowiskowe

Badania środowiskowe w dokumentowaniu geologiczno-inżynierskim związane są z oceną wpływu zanieczyszczeń na właściwości gruntów i wody.

Podział zanieczyszczeń w środowisku gruntowym został określony w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz. U. 2002, Nr 165, poz. 1359). Wydzielono następujące zanieczyszczenia:

- metale,
- nieorganiczne,
- węglowodorowe,
- węglowodory chlorowane,
- środki ochrony roślin,
- pozostałe zanieczyszczenia.

W ww. rozporządzeniu w formie tabelarycznej zestawiono listę substancji zanieczyszczających z wartościami dopuszczalnych stężeń w glebie i ziemi. Ocenę skażenia terenu dokonuje się w odniesieniu do jego przeznaczenia.

Badania na terenach zanieczyszczonych powinny dotyczyć określenia natury zanieczyszczeń (stabilne, labilne), rozprzestrzenienia oraz migracji w środowisku gruntowo-wodnym.

Badania należy prowadzić etapowo. Pierwszy etap obejmuje analizę materiałów archiwalnych, w tym danych historycznych o awariach na badanym terenie oraz zdjęć lotniczych.

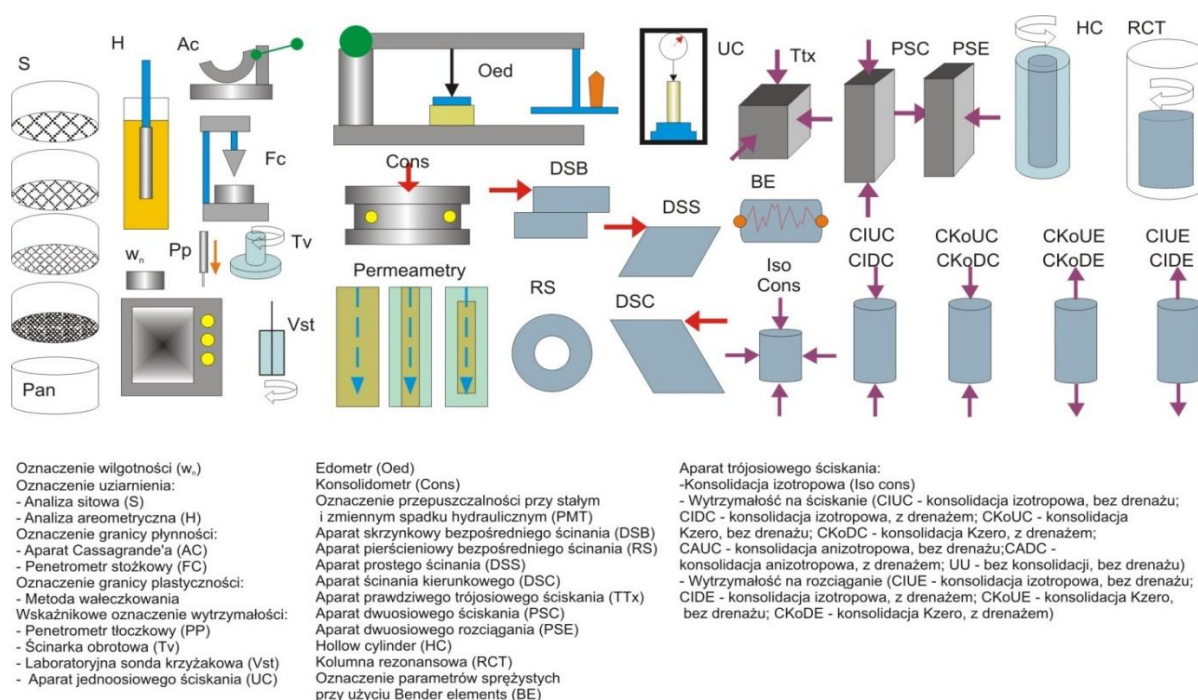
W drugim etapie konieczne jest opracowanie programu badań, a następnie ich wykonanie. Na etapie realizacji badań ważny jest dobór odpowiednich metod i technik rozpoznania środowiska gruntowo-wodnego, w tym parametrów warstwy wodonośnej i dynamiki wód.

Zakres badań powinien umożliwić okonturowanie zanieczyszczeń oraz wskazanie optymalnej metody rekultywacji, remediacji lub sanacji terenu.

2.6. Badania laboratoryjne

Celem badań laboratoryjnych jest uzupełnienie i weryfikacja wyników badań terenowych wykonanych na próbkach gruntu oraz skał pobranych z punktów dokumentacyjnych, a także scharakteryzowanie ich właściwości fizyczno-mechanicznych. Badania laboratoryjne powinny identyfikować i klasyfikować próbki gruntów oraz skał. Rozbieżności w wynikach badań terenowych i laboratoryjnych powinny być przeanalizowane. W razie konieczności badania należy powtórzyć.

Norma PN-EN 1997-2:2009 zawiera informacje na temat stosowanych metod laboratoryjnych wraz z załącznikami informacyjnymi odnośnie możliwych metodologii i interpretacji. Integralną częścią Eurokodu 7 są Specyfikacje Techniczne, opisujące szczegółowo procedury badawcze dla danej metody. Ponadto dla celów porównawczych przy badaniach klasyfikacyjnych zaleca się korzystanie również z normy PN-B-04481:1988. Badania gruntów powinny być prowadzone na reprezentatywnych próbkach gruntów, odpowiednio dużych, aby uwzględniać największe wymiary ziaren oraz naturalne właściwości gruntu. Ponadto próbki powinny być odpowiednio pobierane, transportowane i przechowywane. Zastawienie metod badań laboratoryjnych do oznaczania parametrów gruntów wg Mayne'a i in. (2009) przedstawia rysunek 4.



Rysunek 4. Zastawienie metod badań laboratoryjnych do oznaczania parametrów gruntów (Mayne i in., 2009)

Zakres badań laboratoryjnych i dobór metodyki powinien być dostosowany do:

- właściwości fizyczno-mechanicznych skał i gruntów,
- właściwości fizykochemicznych skał i gruntów,

- zmian właściwości skał i gruntów na skutek procesów i zjawisk geologicznych i antropogenicznych,
- zestawu parametrów koniecznych do opracowania dokumentacji.

Rodzaje badań laboratoryjnych zalecane przy wykonywaniu badań lokalizacyjnych dla obiektu jądrowego przedstawia tabela 6.

Tabela 6. Rodzaje badań laboratoryjnych do badania gruntów i skał.

Wyznaczana charakterystyka	Metodyka badań	Parametry	Zastosowanie
Wilgotność gruntów i skał	Pomiary masy	Wilgotność gruntu	Klasyfikacja gruntów
Parametry gęstości gruntów i skał	Pomiary masy i objętości Pomiary piknometryczne	Gęstość gruntu	Klasyfikacja gruntów
Rozkład uziarnienia	Analiza sitowa Analizy sedymentacyjne Metody optyczne	Parametry uziarnienia	Klasyfikacja gruntów
Parametry konsystencji i gruntów	Badania granic Atterberg'a,	Parametry konsystencji	Klasyfikacja gruntów, ocena plastyczności i odkształcalności
Zawartość części organicznych	Metody chemiczne Metody termiczne	Zawartość części organicznych	Klasyfikacja gruntów
Zawartość węglanów	Metoda Scheibler'a Metoda wolumetryczna	Zawartość węglanu wapnia	Klasyfikacja gruntów
Pomiary chemiczne gruntów i skał	Metody chemiczne	Parametry chemiczne gruntów i skał	Klasyfikacja gruntów
Właściwości fizyczne i chemiczne wody podziemnej	Metody chemiczne Aparatura specjalna	Parametry fizyczno - chemiczne wody	Do oceny wpływu na przepuszczalność
Odształcenia gruntów	Badanie edometryczne Badanie konsolidometryczne Aparat trójosiowego ściskania	Moduły ścisłości, Wskaźniki ścisłości, Współczynniki konsolidacji	Oznaczanie osiadania i jego prędkości
Nośność gruntów	Aparat CBR, metody pośrednie na podstawie innych badań	Jednostkowy opór podłoża, Wskaźniki nośności	Nośność gruntów
Charakterystyki zagęszczalności	Aparat Proctora	Gęstość objętościowa gruntu, gęstość objętościowa szkieletu gruntowego, wilgotność, stopień nasycenia, wskaźnik zagęszczenia	Do oceny osiadań, procesu konsolidacji, nośności
Wytrzymałość na ścinanie i zdolności do deformacji	Aparat bezpośredniego ścinania, aparat trójosiowego ściskania	Moduł Younga, współczynnik Poissona, spójność i kąt tarcia wewnętrzny w warunkach z odpływem i bez odpływu	Osiadania, nośność podłoża
Filtracja gruntu	Metody permeametryczne Aparatura specjalna	Współczynnik filtracji, Współczynnik przepuszczalności	Ocena przepuszczalności
Właściwości mechaniczne skał	Test ścinania, Test w dwu lub trójosiowego ściskania	Moduł Younga, współczynnik Poissona	Stateczność
Dynamiczne właściwości gruntów	Trójosiowy aparat do zadawania obciążeń cyklicznych, Kolumna rezonansowa	Dynamiczny Moduł Younga, współczynnik Poissona, współczynnik tłumienia, ciśnienie porowe	Do oceny współpracy podłoża z obiektem, ocena możliwości upłynnienia gruntów

2.7. Sposób przedstawienia uzyskanych wyników i danych

Dokumentacja geologiczno-inżynierska powinna być efektem przeprowadzonej wizji terenowej, robót geologicznych, badań terenowych i laboratoryjnych oraz prac kameralnych. Powinna uwzględniać wyniki przeprowadzonych ocen i analiz geologiczno-inżynierskich.

Dokumentacja, oprócz wymagań zawartych w przepisach prawnych, powinna składać się z:

- części tekstowej zawierającej:
 - przedstawienie wszystkich zebranych danych, łącznie z charakterystyką geologiczną i związanymi danymi,
 - geologiczno-inżynierską ocenę danych, określających założenia przyjęte do interpretacji wyników badań.
- części graficznej np.: tabele, wykresy, przekroje, mapy, profile, karty, blokdiagramy.

Udokumentowanie powinno obejmować, w miarę potrzeb, następujące informacje:

- cel i zakres badań geologiczno-inżynierskich łącznie z opisem terenu i jego topografii, planowanej konstrukcji oraz stadium projektu, do którego się odnosi,
- nazwiska/nazwy wszystkich konsultantów i podwykonawców,
- daty wykonania badań terenowych i laboratoryjnych,
- wstępne rozpoznanie w miejscu projektowanej lokalizacji oraz terenu z nim sąsiadującego, ze szczególnym uwzględnieniem:
 - występowania wody podziemnej,
 - zachowania się sąsiednich konstrukcji,
 - oddziaływania kamieniołomów i odkrywek,
 - obszarów niestatecznych,
 - terenów narażonych na działalność górnictwem w miejscu lokalizacji oraz sąsiedztwie,
 - trudności przy wykonywaniu wykopów,
 - historii miejsca lokalizacji,
 - warunków geologicznych w miejscu lokalizacji, łącznie z uskokami,
 - wyników pomiarów z mapami wskazującymi budowlę i rozmieszczenie wszystkich punktów badawczych,
 - informacji ze zdjęć lotniczych,
 - lokalnych doświadczeń terenowych,
 - informacji na temat sejsmiczności terenu,
- charakterystykę modelu geologicznego i geotechnicznego.

Przedstawienie informacji geologicznej powinno obejmować opis metod, procedur oraz wyników, łącznie z odnośnymi sprawozdaniami na temat:

- prac kameralnych,
- badań terenowych takich, jak pobieranie prób, badania znormalizowane (sondowania) i pomiary wody podziemnej,
- badań laboratoryjnych.

Wyniki badań terenowych i laboratoryjnych powinny być przedstawiane i opracowywane zgodnie z wymaganiami określonymi w normach EN i/lub ISO lub innych, odnoszących się do tych badań.

Ocenę informacji geologicznych należy udokumentować i ująć w niej, zależnie od potrzeb:

- wyniki badań terenowych i laboratoryjnych ocenione zgodnie ze wskazówkami podanymi w rozdziale 2.3 i 2.6.,
- przegląd wyników badań terenowych i laboratoryjnych,
- opis geometrii warstw,
- szczegółowy opis wszystkich warstw, łącznie z ich właściwościami fizycznymi oraz charakterystyką odkształceniową i wytrzymałościową, odnoszący się do wyników badań,
- uwagi w sprawie nieregularności takich jak: zapadliska (pustki) i strefy nieciągłości materiału.

Należy udokumentować, że:

- wyniki były interpretowane z uwzględnieniem położenia zwierciadła wody podziemnej, rodzaju gruntu, metody wiercenia, metody pobierania prób, transportu, postępowania z próbkami i ich przygotowania,
- dalszy podział warstw przyjęty na podstawie prac kameralnych oraz wizji lokalnych, został ponownie rozpatrzony w świetle uzyskanych wyników.

Dodatkowo dokumentacja powinna uwzględniać szczegółowy zakres przeprowadzania oceny terenu przeznaczonego pod lokalizację oraz informacje wymagane na potrzeby opracowania raportu środowiskowego (zgodnie z rozporządzeniem lokalizacyjnym) tj.:

- warunki geologiczno-inżynierskie podłoża oraz ich zmiany, ze szczególnym uwzględnieniem właściwości fizyczno-mechanicznych podłoża zwłaszcza nośności, osiadania i zapadowości, jak też ryzyko wystąpienia upłynnienia i pęcznienia oraz innych procesów niekorzystnych dla posadawiania obiektu jądrowego,
- proces osiadania obiektu jądrowego, z uwzględnieniem lokalnych warunków geologiczno-inżynierskich,
- intensywność procesów erozyjnych i akumulacyjnych z oceną możliwego wpływu na obiekt jądrowy, w tym na systemy chłodzenia obiektu jądrowego, w odniesieniu do:
 - erozji powierzchniowej,
 - akumulacji, w tym wodnej, a dla regionów nadmorskich także eolicznej, z uwzględnieniem ekstremalnych zjawisk meteorologicznych i hydrologicznych,
- na terenach występowania skał węglanowych oraz gipsowych – charakterystykę ilościową i rodzajową istniejących form krasowych wraz z oceną możliwości rozwoju krasowienia w zmienionych warunkach obciążeń oraz dynamiki wód podziemnych,
- występowanie i możliwość wystąpienia deformacji filtracyjnych typu sufozji, przebiccia hydraulicznego i wyparcia hydraulicznego, z uwzględnieniem zmiany dynamiki krążenia wód podziemnych,
- stateczność istniejących skarp i zboczy i jej możliwe zmiany, w szczególności na skutek statycznego obciążenia od obiektu jądrowego i działania obciążeń dynamicznych eksploatacyjnych oraz będących skutkiem wstrząsów sejsmicznych, a także zjawisk meteorologicznych i hydrologicznych,
- w przypadku występowania gruntów o słabych parametrach mechanicznych, gruntów mogących podlegać upłynnieniu, gruntów pęczniejących, niewystarczającej stateczności istniejących skarp, zboczy lub nasypów lub w przypadku innych procesów geologicznych niepożądanych przy budowie lub eksploatacji obiektu jądrowego – propozycje projektowe zapewnienia stateczności podłoża dla obiektu jądrowego, opracowane na podstawie charakterystycznych parametrów technicznych obiektu jądrowego,
- model osiadania obiektu sporządzony na podstawie dostępnych danych ze wskazaniem danych wykorzystanych do jego sporządzenia oraz metody jego weryfikacji,
- proponowane rozwiązania inżynierskie w celu zwiększenia stabilności podłoża, w przypadku, gdy cechuje się ono występowaniem gruntów o słabych parametrach fizyczno-mechanicznych i może zagrażać stabilności obiektu, wraz z oceną skuteczności ich zastosowania, zawierającą prognozowane zmiany parametrów fizyczno-mechanicznych podłoża gruntowego po zastosowaniu tych rozwiązań.

W części graficznej dokumentacja powinna zawierać, zależnie od potrzeb:

- tabelę z zestawieniem współrzędnych wykonanych otworów wiertniczych, sondowań, badań geofizycznych,
- tabelę z zestawieniem wyników badań laboratoryjnych i terenowych,
- tabelę z zestawieniem wyprowadzonych i charakterystycznych wartości parametrów geotechnicznych w zależności od etapu badań,
- wykresy uzyskane z badań laboratoryjnych (fizycznych, wytrzymałościowych i odkształceniowych) oraz znormalizowanych badań terenowych (sondowań statycznych i dynamicznych),
- przekroje geologiczno-inżynierskie z naniesionymi wykresami sondowań, pokazujące wydzielone warstwy i ich granice, łącznie z położeniem zwierciadła wody podziemnej w powiązaniu z wymaganiami etapu badań,
- różnotematyczne mapy na aktualnych podkładach topograficznych:
 - plan sytuacyjny sporządzony w skali od 1:500 do 1:2000,
 - mapę przeglądową z lokalizacją dokumentowanego terenu,
 - mapę dokumentacyjną sporządzoną na podkładzie topograficznym, z naniesionymi: lokalizacją projektowanej inwestycji, lokalizacją dokumentowanego terenu, liniami przekrojów geologiczno-inżynierskich i punktami badawczymi,
 - mapę geologiczno-inżynierską,
 - mapę terenów zdegradowanych z zaznaczeniem zasięgu ograniczeń w ich użytkowaniu oraz sposobu ich rekultywacji,
 - mapę głębokości występowania gruntów słabonośnych z naniesioną ich miąższością,
 - mapę miąższości gruntów antropogenicznych,
 - mapę warunków budowlanych z naniesioną nośnością gruntów i głębokością występowania poziomu zwierciadła wód podziemnych,
 - mapę z naniesioną głębokością podłoża nośnego,
 - mapę głębokości do pierwszego poziomu zwierciadła wód podziemnych,
 - mapę poziomów wodonośnych z naniesioną głębokością ich występowania oraz ich miąższością,
 - mapę stropu utworów nieprzepuszczalnych z naniesioną ich miąższością,
 - mapy przepuszczalności gruntów na różnych głębokościach,
 - mapę z naniesionymi osadami występującymi na głębokości 1 metra od powierzchni terenu lub poniżej 1m od dna morskiego,

- mapę przydatności poszczególnych części terenu dla lokalizacji różnych obiektów budowlanych,
 - mapę terenów potencjalnie zagrożonych migracją zanieczyszczeń,
 - mapę obszarów zagrożonych podtopieniami,
 - inne mapy tematyczne w zależności od specyfiki dokumentowanego terenu,
- zestawienie i opis zdjęć dokumentujących wizję terenową,
 - profile otworów wiertniczych, odkrywek, plany wyrobisk i odwzorowania ich ścian,
 - karty znormalizowanych badań terenowych (sondowań),
 - karty badań laboratoryjnych,
 - modele obliczeniowe.

Dodatkowo dokumentacja powinna spełniać wymagania ustawy Prawo geologiczne i górnicze i rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i geologiczno-inżynierskiej.

2.8. Sposoby interpretacji danych

Interpretacją danych geologiczno-inżynierskich jest określenie prawdopodobnej budowy geologicznej na podstawie oznaczenia parametrów gruntów i skał z bezpośrednich pomiarów terenowych i laboratoryjnych czego wynikiem jest stworzenie modelu geologicznego. Ostateczne wartości wyprowadzonych parametrów fizyczno-mechanicznych zależą od:

- zastosowanej metody badawczej,
- wykorzystanych wzorów empirycznych i nomogramów,
- współczynników korelacyjnych,
- lokalnych wskaźników zależnych od cech gruntów - np.: rodzaju, uziarnienia, genezy, historii obciążeń,
- praktycznych doświadczeń dokumentatorów na podstawie obserwacji i analiz „wstecz”.

Wybór metody badawczej

Do otrzymania wybranych parametrów gruntów często przydatna jest więcej niż jedna metoda badawcza laboratoryjna lub polowa. Pomierzone wartości są zależne od

zastosowanej metodyki badawczej, która powinna mieć podstawy w krajowych lub międzynarodowych normach oraz branżowych publikacjach naukowych.

Wzory empiryczne, nomogramy oraz współczynniki redukcyjne i korelacyjne

Wyprowadzenie parametrów fizyczno-mechanicznych na podstawie pomiarów terenowych i laboratoryjnych wiąże się z zastosowaniem fizycznych zależności poprzez zastosowanie empirycznych wzorów i nomogramów. Fizyczne zależności pozwalają przełożyć pomierzone wartości długości, mas i sił na wybrane parametry geotechniczne. Część parametrów, zwłaszcza z badań polowych, wymaga wyprowadzenia na podstawie doświadczalnych wzorów lub nomogramów. Wybór nomogramu lub wzoru należy do dokumentatora.

W wybranych przypadkach wyprowadzanie parametrów fizyczno-mechanicznych według wzorów empirycznych wymaga stosowania współczynników redukujących pomierzone wartości lub współczynników korelacyjnych zależnych od metody pomiaru, rodzaju gruntu, rodzaju skały lub wartości innych parametrów.

Zastosowanie konkretnego nomogramu, wzoru empirycznego i współczynników powinno być doświadczalnie uzasadnione i mieć podstawy w krajowych lub międzynarodowych normach oraz w branżowych publikacjach naukowych.

Wskaźniki zależne od lokalnych warunków podłoża

Pomiary parametrów fizyczno-mechanicznych gruntów i skał mogą wymagać korekty w oparciu o udokumentowane doświadczenie dla lokalnych warunków podłoża. Wskaźniki korekcyjne charakterystyczne dla wybranych gruntów lub skał powinny być doświadczalnie uzasadnione i mieć podstawy w krajowych lub międzynarodowych normach oraz w branżowych publikacjach naukowych.

Udokumentowane doświadczenie

Obowiązujące standardy dokumentacyjne dopuszczają stosowanie tzw. doświadczenia porównywalnego przy wyprowadzaniu parametrów geotechnicznych. Doświadczeniem porównywalnym są udokumentowane lub w inny sposób jednoznacznie ustalone dane związane z podłożem gruntowym rozpatrywanym w projekcie, dotyczące tych samych rodzajów gruntów i skał o podobnym spodziewanym zachowaniu oraz dotyczące podobnych konstrukcji ze szczególnie istotnym uwzględnieniem danych miejscowych. Znikome doświadczenia w Polsce dotyczące budowania obiektów jądrowych ograniczają zatem wykorzystanie doświadczenia porównywalnego w przedmiotowej inwestycji ze względu na czynnik konstrukcyjny w przytoczonej definicji.

Aparatura i doświadczenie

Badania terenowe i laboratoryjne powinny zostać przeprowadzone przy wykorzystaniu profesjonalnej aparatury. Pomiarów oraz ich interpretacja powinny być wykonane przede wszystkim przez operatorów i zespół z udokumentowanym doświadczeniem. Posiadanie przez laboratorium wdrożonego systemu jakości jest zalecane, ale nie wymagane.

W interpretacji parametrów fizyczno-mechanicznych w pierwszej kolejności należy korzystać z obowiązujących norm krajowych wydawanych i publikowanych przez krajową jednostkę normalizacyjną oraz zharmonizowanych norm europejskich. Jeżeli wymagane parametry fizyczno-mechaniczne lub metody do ich otrzymania nie mają umocowania w krajowych normatywach, należy korzystać norm innych krajów, np.: BS, ASTM lub DIN. Brak publikacji standaryzujących metodykę lub interpretację pomiarów upoważnia do skorzystania z instrukcji producentów urządzeń pomiarowych lub udokumentowanych doświadczeń naukowych.

Kolejność postępowania przy interpretacji danych geologiczno-inżynierskich:

- aktualne, obowiązujące polskie normy według krajowej jednostki normalizacyjnej,
- zharmonizowane normy europejskie według krajowej jednostki normalizacyjnej,
- normy międzynarodowe lub normy innych krajów,
- instrukcje producentów aparatury,
- udokumentowane doświadczenia naukowe.

Model geologiczny

W oparciu o wyprowadzone parametry fizyczno-mechaniczne kolejnym etapem interpretacji powinno być stworzenie modelu geologicznego i przedstawienie go w formie efektu rzeczowego – profili, przekrojów geologicznych i map w formatach 2D, w uzasadnionych przypadkach 3D, a czasami nawet 4D. Interpretacja danych powinna polegać na ustaleniu zależności pomiędzy punktami dokumentacyjnymi. Zależności te są interpretowane na podstawie danych archiwalnych oraz informacji uzyskanych w wyniku badań i pomiarów wykonanych na potrzeby opracowania (badania polowe, badania laboratoryjne, pomiary geofizyczne). Metody geofizyczne, szczególnie przydatne na etapie interpretowania zależności danych pomiędzy otworami wiertniczymi, powinny być odpowiednio dostosowane do warunków geologicznych. Zamiennie lub równolegle powinny być wykorzystane metody elektrooporowe, sejsmiczne, grawimetryczne lub inne, dla których istnieje doświadczalnie udokumentowane uzasadnienie.

Modele analiz geoprzestrzennych

Przy tworzeniu modelu geologicznego wskazane jest wykorzystanie narzędzi statystycznych analiz geoprzestrzennych, co jest niezbędne przy interpretacji danych geologiczno-inżynierskich. Metody analiz geoprzestrzennych powinny być wykorzystywane

już na etapie określania zależności między punktami dokumentacyjnymi. Wybór metody jest zależny od wielu czynników, m.in.: rozprzestrzenia danych, ciągłości przestrzennej danych czy przedziałów wartości zbioru danych. Wykorzystanie odpowiednio dobranych statystycznych narzędzi geoprzestrzennych powinno mieć swoje uzasadnienie.

Najczęściej stosowaną przestrzenną analizą danych jest metoda interpolacji, (podparta analizą semiwariogramów) wykorzystywana dla warstw ciągłych takich jak na przykład zwierciadło wód gruntowych lub strop określonej warstwy gruntu. Do interpolacji danych stosowane są różne metody w zależności na przykład od rozprzestrzenia danych i rozrzutu wartości, najczęściej są to metody kriging'u i odwrotnych odległości (IDW).

Inną, często stosowaną analizą przestrzenną jest alokacja euklidesowa wykorzystywana głównie w interpretowaniu warstw nieciągłych, często o zróżnicowanych parametrach, na przykład przy określaniu budowy geologicznej w cięciu na określonej głębokości ppt. lub wysokości npm., czy też położenia pierwszego nawierconego zwierciadła wód podziemnych w różnych poziomach wodonośnych.

Wybór metody analizy geoprzestrzenne zawsze należy uzasadnić i zweryfikować.

2.9. Zalecenia dla etapu budowy i eksploatacji

Badania dla etapu budowy i etapu eksploatacji wykraczają poza ramy raportu lokalizacyjnego. Zgodnie z zasadami dobrej praktyki wykonawca prac budowlanych powinien przedstawić Prezesowi PAA wszelkie informacje uzyskane na etapie budowy i eksploatacji obiektu jądrowego. Na etapie budowy należy kontynuować badania rozpoczęte w poprzednich etapach w celu ostatecznej oceny (weryfikacji) danych otrzymanych w wyniku prowadzenia badań lokalizacyjnych, z uwzględnieniem nowych informacji o podłożu uzyskanych z wykopów lub ich odbiorów geotechnicznych. Na tym etapie gromadzone są również dane z rzeczywistych pomiarów osiadań. Zakres nadzoru nad robotami budowlanymi i jakością wykonawstwa oraz monitorowania obiektu podczas budowy i eksploatacji należy szczegółowo określić w projekcie geotechnicznym. Zgodnie z PN-EN 1997-1 i 2 głównymi elementami wymagającymi nadzoru na etapie budowy są:

- weryfikacja warunków gruntowych w nawiązaniu do danych uzyskanych we wcześniejszych etapach rozpoznania,
- weryfikacja warunków wodnych w odniesieniu do przepływu wód podziemnych, parametrów odwadniania oraz możliwości wystąpienia przebiecia hydraulicznego i deformacji filtracyjnych,
- ocena stateczności ścian wykopów i jego dna, analiza wpływu robót na obiekty sąsiednie,
- rozwiązania projektowe w odniesieniu do rzeczywistych warunków gruntowych.

Na podstawie wyników i wniosków z prac lokalizacyjnych, a także projektu technicznego obiektu jądrowego, należy zaprojektować monitoring osiadania obiektu, jak również sieć monitoringu wód podziemnych. Monitoring ten powinien być prowadzony podczas budowy, jak również podczas eksploatacji obiektu jądrowego.

Zakres prac monitoringowych powinien obejmować:

- projektowanie, w tym opracowanie:
 - projektu sieci monitoringu (PSM),
 - programu monitoringu,
- realizację (wykonawstwo), w tym:
 - zainstalowanie urządzeń do monitoringu powierzchniowego i wglębnego,
 - kontrolę wykonanych prac,
 - kontrolę zainstalowanych urządzeń,
- pomiary, w tym:
 - pomiary terenowe,
 - automatyczny system gromadzenia danych,
- analizy i prognozy, w tym:
 - analizy i oceny danych pomiarowych,
 - prognozy oparte o uzyskane wyniki.

3. Ocena warunków hydrogeologicznych

3.1. Cel

Celem badań hydrogeologicznych jest rozpoznanie warunków hydrogeologicznych w zakresie niezbędnym dla wyboru miejsca lokalizacji obiektu jądrowego, oceny jego potencjalnego oddziaływania i oceny zagrożeń, jakie stwarza dla wód podziemnych oraz potencjalnego oddziaływania wód podziemnych na ten obiekt i infrastrukturę z nim związaną. Celem prowadzonych prac jest:

- określenie modelu warunków hydrogeologicznych, warunków przepływu, zasilania i drenażu wód podziemnych w regionie i obszarze lokalizacji obiektu jądrowego,
- określenie charakterystyki systemu hydrogeologicznego z uwzględnieniem:
 - oceny dostępnych w regionie lokalizacji zasobów wód podziemnych we wszystkich strukturach wodonośnych, ze szczególnym uwzględnieniem istniejących i planowanych stref ochronnych ujęć wód podziemnych i obszarów ochronnych głównych zbiorników wód podziemnych, a także występowania wód mineralnych, termalnych, leczniczych, solanek oraz utworzonych bądź planowanych dla nich obszarów górniczych,
 - kierunków i prędkości przepływu wód podziemnych,
- charakterystyka właściwości infiltracyjnych podłoża, w szczególności dróg i głębokości przepływu wód infiltrujących i opadowych uwzględniając zmiany sezonowe,
- analiza właściwości fizykochemicznych wód podziemnych, w szczególności oceny agresywności wód podziemnych w stosunku do betonu i stali,
- ustalenie aktualnego stanu hydrodynamicznego i chemicznego wód podziemnych przed rozpoczęciem inwestycji, jako poziom odniesienia dla stanu ukształtowanego w okresie budowy i eksploatacji obiektu jądrowego,
- określenie dynamiki wód podziemnych i zmian w wyniku lokalizacji obiektu jądrowego,
- określenie możliwego oddziaływania wód podziemnych na obiekt jądrowy, ze szczególnym uwzględnieniem własności fizykochemicznych i wahań zwierciadła wód podziemnych oraz ich zmian w wyniku wpływu czynników antropogenicznych i geogenicznych,
- sporządzenie oceny zagrożenia dla stanu wód podziemnych (możliwego zakresu ich zmian ilościowych i jakościowych – fizykochemicznych) oraz ryzyka nieosiągnięcia celów środowiskowych, zdefiniowanych przez konieczność zaopatrzenia ludności w wodę do spożycia oraz zaspokojenie potrzeb wodnych ekosystemów lądowych zależnych od wód podziemnych,

a także utrzymanie wymaganego przepływu w rzekach – z uwzględnieniem oddziaływania o charakterze okresowym i stałym oraz awaryjnym,

- wnioskowanie o warunkach geologicznych, możliwych do pośredniego rozpoznania w oparciu o anomalne własności fizykochemiczne wód podziemnych (m.in. strefy ascenzji wód zasolonych jako przejaw tektoniki nieciągłej lub jako skutek niewłaściwej likwidacji głębokich otworów poszukiwawczych),
- wskazania dla monitoringu wód podziemnych w obszarze lokalizacji oraz bezpośrednim sąsiedztwie miejsca usytuowania obiektu jądrowego.

Wyniki wszystkich przeprowadzonych prac zostaną przedstawione w dokumentacji hydrogeologicznej określającej warunki hydrogeologiczne w związku z zamierzonym wykonywaniem przedsięwzięć mogących negatywnie oddziaływać na wody podziemne, w tym powodować ich zanieczyszczenie. Stopień dokładności rozpoznania warunków hydrogeologicznych jest dostosowany do etapu, w którym prowadzone są badania lokalizacyjne dla obiektu jądrowego.

Proponowany algorytm postępowania dla rozpoznania warunków hydrogeologicznych przewiduje następujące etapy prac:

Etap I – obejmuje przeprowadzenie regionalnego rozpoznania warunków hydrogeologicznych – na podstawie dostępnych materiałów archiwalnych i weryfikacji tych materiałów w czasie rozpoznania i przeglądu terenowego. Na tym etapie nie przewiduje się robót geologicznych, w związku z czym nie musi być opracowany i zatwierdzany projekt robót geologicznych. Przed rozpoczęciem prac należy opracować harmonogram, który będzie przedstawiał koncepcję i zakres działań w I etapie. Po przeprowadzeniu rozpoznania regionalnego należy określić zakres niezbędnych prac i robót geologicznych (w formie projektu robót geologicznych) dla etapu II – rozpoznanie hydrogeologiczne obszaru lokalizacji oraz miejsca planowanego usytuowania obiektu jądrowego. Dodatkowo projekt robót geologicznych będzie stanowił podsumowanie etapu I z oceną regionalnych warunków hydrogeologicznych. Projekt ten należy przygotować zgodnie z wymaganiami określonymi w ustawie Prawo geologiczne i górnicze oraz rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów robót geologicznych, w tym robót, których wykonywanie wymaga uzyskania koncesji.

Etap II – obejmuje rozpoznanie warunków hydrogeologicznych obszaru lokalizacji obiektu jądrowego, przeprowadzone na podstawie rozpoznania regionalnego (etap I) oraz bezpośredniego rozpoznania w terenie (włącznie z wykonaniem prac i robót geologicznych). Ze względu na specyfikę oceny warunków hydrogeologicznych, granica planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego powinna być rozpoznana w sposób szczegółowy na etapie II, łącznie z obszarem lokalizacji. Zakres badań określony został w projekcie robót geologicznych i obejmuje obszar szczegółowego kartowania hydrogeologicznego.

Podsumowaniem tego etapu prac będzie wyczerpująca ocena warunków hydrogeologicznych. Oceny dokonuje się na podstawie wyników uzyskanych podczas rozpoznania hydrogeologicznego, a także informacji uzyskanych podczas równoległe prowadzonych badań np.: z zakresu hydrologii i meteorologii czy rozpoznania warunków geologiczno-inżynierskich. Efektem prac na tym etapie powinna być dokumentacja hydrogeologiczna ostatecznie potwierdzająca możliwość lokalizacji obiektu jądrowego na danym terenie. Przedmiotowa dokumentacja powinna zawierać m.in.: charakterystykę systemu hydrogeologicznego, analizę potencjalnych zagrożeń dla wód podziemnych w wyniku uwolnienia radionuklidów z obiektu oraz ocenę potencjalnego oddziaływania obiektu jądrowego oraz infrastruktury towarzyszącej (dla ostatecznie określonej lokalizacji i planowanej konstrukcji poszczególnych obiektów inwestycji).

3.2. Etap I – region lokalizacji

Podstawowym celem prac w pierwszym etapie jest rozpoznanie regionalne warunków hydrogeologicznych w zakresie budowy geologicznej i występujących poziomów wodonośnych, zasobów wód podziemnych udokumentowanych i szacowanych, struktury poboru i wykorzystania wód podziemnych. Charakterystyka na tym etapie opiera się przede wszystkim na dostępnych materiałach archiwalnych, weryfikowanych w trakcie wizji lokalnej bez prowadzenia robót geologicznych. W związku z tym przed przystąpieniem do prac nie jest konieczne opracowywanie projektu robót geologicznych, zaleca się wykonanie harmonogramu (planu działań), zgodnie z którym będą wykonywane prace. Dane i wyniki analiz uzyskanych na tym etapie powinny pozwolić na ocenę możliwości realizacji przedmiotowej inwestycji oraz stanowić element wyboru jej lokalizacji.

Niezbędne do rozpoznania elementy charakterystyki systemu wodonośnego w całym regionie lokalizacji obiektu jądrowego to:

- schemat konceptualny strefy aktywnej wymiany wód podziemnych (układów zlewniowego krążenia wód podziemnych) charakter pionowych – międzypoziomowych kontaktów hydraulicznych ze szczególnym uwzględnieniem pierwszego poziomu wodonośnego i głównego poziomu użytkowego,
- parametry hydrogeologiczne warstw wodonośnych i rozdzielających warstw słabo przepuszczalnych,
- wykształcenie litologiczne i własności filtracyjne utworów strefy przypowierzchniowej,
- charakter kontaktu pierwszego poziomu wodonośnego z wodami powierzchniowymi (infiltrujący, drenażowy lub obojętny).

Źródła informacji:

- Baza danych GIS Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000 (Państwowa Służba Hydrogeologiczna w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym):
 - warstwy informacyjne głównego użytkowego poziomu wodonośnego (GUPW), dostępne dla obszaru całego kraju,
 - warstwy informacyjne pierwszego poziomu wodonośnego (PPW): „występowanie i hydrodynamika” (stan na rok 2013 – dostępne dla ok. 2/3 powierzchni kraju) oraz „wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość” (stan na rok 2013 – dostępne na ok 1/3 powierzchni kraju),
- Mapa odnawialności wód podziemnych w skali 1:800 000;
- Szczegółowa mapa geologiczna Polski (Narodowe Archiwum Geologiczne w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym);
- Hydrogeologiczne dokumentacje regionalne (dokumentacje GZWP, zasobów dyspozycyjnych, odwodnienia kopalń itp.) oraz ujęć wód podziemnych zgromadzone w archiwach geologicznych (Narodowe archiwum geologiczne, archiwa wojewódzkie);
- Informacje o otworach hydrogeologicznych zgromadzone w banku danych hydrogeologicznych - bank Hydro (Państwowa Służba Hydrogeologiczna w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym);
- Mapy hydrograficzne Polski w skali 1 : 50 000;
- Dane o opadach atmosferycznych ze stacji opadowych (IMiGW): zróżnicowanie sumy opadów atmosferycznych sezonowe oraz roczne w wieloletiu w regionie lokalizacji obiektu jądrowego.

Podstawowymi elementami analizy warunków hydrogeologicznych dla regionu lokalizacji obiektów jądrowych są:

- określenie charakterystyki systemu hydrogeologicznego,
- identyfikacja warunków hydrogeologicznych,
- zebranie danych niezbędnych do rozpoznania charakterystyki systemu wodonośnego,
- opracowanie modelu hydrogeologicznego regionu lokalizacji obiektu jądrowego i jego otoczenia,
- charakterystyka dynamiki wód podziemnych i jej zmiany,

- identyfikacja danych niezbędnych do rozpoznania regionalnych kierunków i prędkości przepływu wód podziemnych,
- charakterystyka właściwości fizykochemicznych wód podziemnych,
- badania terenowe i kartowanie hydrogeologiczne,
- kartowanie sozologiczne.

3.2.1. Określenie charakterystyki systemu hydrogeologicznego

Pierwszym zadaniem jest wyznaczenie granic dla analizy warunków hydrogeologicznych regionu lokalizacji obiektu jądrowego i charakterystyka krążenia wód w tym obszarze. Ze względu na specyfikę oceny warunków hydrogeologicznych zasięg obszarowy regionu lokalizacji wskazany w rozporządzeniu lokalizacyjnym 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 uwzględniać 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 tj. granice zlewni, wododziały, strefy głębokiego drenażu. Najkorzystniejszym jest ocena warunków regionalnych w obszarze bilansowym – w zlewni, gdyż pozwala to na szczegółowe odtworzenie układu hydrodynamicznego w całym obszarze badań, a następnie uszczegóławianie go w miarę zwiększania rozpoznania, zbliżając się do miejsca lokalizacji obiektu jądrowego. Ma to szczególne znaczenie przy tworzeniu matematycznego modelu przepływu wód podziemnych i migracji masy w wodach podziemnych. W przypadku lokalizacji obiektu jądrowego w sąsiedztwie granicy obszarów bilansowych, może być konieczne rozpoznanie wszystkich sąsiadujących obszarów bilansowych wód podziemnych. Ocena zasięgu rozpoznania regionalnego wymaga każdorazowo szczegółowej analizy krążenia wód podziemnych w promieniu co najmniej 30 km z założeniem, że obszar ten może wymagać rozszerzenia. Rozpoznanie powinno obejmować wszystkie zidentyfikowane poziomy wodonośne, ze szczególnym uwzględnieniem pierwszego poziomu wodonośnego i ekosystemów związanych z tym poziomem oraz użytkowych poziomów wodonośnych wykorzystywanych do zaopatrzenia ludności w wodę.

W chwili obecnej (stan na rok 2014) ok. 48 % powierzchni kraju posiada udokumentowane zasoby wód podziemnych w obszarach bilansowych. Pozostała część udokumentowana będzie sukcesywnie do 2019 roku. Dokumentacje ustalające zasoby wód podziemnych dla obszarów bilansowych mogą stanowić wyjściowy materiał do oceny warunków hydrogeologicznych w regionie planowanej lokalizacji obiektu jądrowego.

3.2.2. Identyfikacja warunków hydrogeologicznych w regionie lokalizacji obiektu jądrowego

Przed przystąpieniem do wszelkich analiz i obliczeń, w tym oszacowania zasobów wód podziemnych i warunków krążenia, należy dokonać identyfikacji regionalnych warunków hydrogeologicznych. Identyfikacja, którą należy sporządzić na etapie planowania prac i zweryfikować na etapie wykonywania dokumentacji hydrogeologicznej, winna zawierać

model hydrogeologiczny zbiornika (model pojęciowy), w tym opis struktur i układu krążenia, opis granic hydrostrukturalnych oraz charakterystykę użytkowania wód podziemnych.

Charakterystyka warunków hydrogeologicznych w regionie lokalizacji obiektu jądrowego i obszarów zasilania wód podziemnych powinna obejmować, między innymi:

- układ hydrostrukturalny i hydrodynamiczny zidentyfikowanego obszaru bilansowego i jego otoczenia zarówno w poziomie jak i w pionie, w tym poziomy zawieszony. Rozpoznanie powinno obejmować wszystkie zidentyfikowane w regionie poziomy wodonośne (wraz z opracowaniem map hydroizohips), ewentualne kontakty pomiędzy nimi oraz rozdzielające je warstwy nieprzepuszczalne,
- sposób i wielkość zasilania warstw wodonośnych (infiltracja efektywna opadów atmosferycznych, dopływ boczny), wyznaczenie obszarów zasilania, obejmujących tereny, na których kształtują się zasoby odnawialne regionu,
- parametry hydrogeologiczne warstw wodonośnych - miąższość, współczynnik filtracji, przewodność, porowatość, szczelinowatość, porowatość efektywna, szczelinowatość efektywna, odsączalność, pojemność sprężysta,
- występowanie i parametry hydrogeologiczne warstw słabo przepuszczalnych i warstw półprzepuszczalnych (współczynnik filtracji $k < 1 \cdot 10^{-5}$ m/s),
- związek wód powierzchniowych i podziemnych,
- zmiany naturalnych warunków hydrogeologicznych spowodowane zagospodarowaniem terenu i poborem wód podziemnych.

Ważnym etapem prac jest rozpoznanie strefy aeracji stanowiącej jeden z elementów oceny czasu dopływu do poziomów wodonośnych infiltrujących wód opadowych, szczególnie dla obszarów położonych w zlewniowym systemie wodonośnym o zwierciadle swobodnym. Należy opisać miąższość strefy i charakter utworów geologicznych wraz z waloryzacją ich przepuszczalności oraz wpływu, jaki wywiera na nią zagospodarowanie terenu. Pozwoli to na zaprojektowanie prac i badań uzupełniających istotne braki w jej rozpoznaniu, a uzyskane po ich wykonaniu wyniki wzbogacą opis strefy aeracji zamieszczony w dokumentacji hydrogeologicznej.

3.2.3. Zebranie danych niezbędnych do rozpoznania charakterystyki systemu wodonośnego w regionie lokalizacji obiektu jądrowego

Zebranie danych niezbędnych do rozpoznania charakterystyki systemu wodonośnego w regionie lokalizacji obiektu jądrowego obejmuje:

- zasięg jednostek ustalania i bilansowania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych (obszary bilansowe, rejony wodno-gospodarcze) obejmujących region lokalizacji obiektu jądrowego i ilość ustalonych w nich zasobów dyspozycyjnych,

- rozmieszczenie rejonów o skoncentrowanej – intensywnej eksploatacji ujęć oraz rejonów o rozproszonej – ekstensywnej eksploatacji ujęć w jednostkach ustalania i bilansowania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych,
- ilość zasobów dyspozycyjnych oszacowana dla regionu lokalizacji obiektu jądrowego,
- bilans wodno-gospodarczy wód podziemnych w jednostkach ustalania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych z oceną stanu rezerw zasobów dyspozycyjnych w warunkach poboru wód podziemnych aktualnego i dopuszczalnego pozwoleniami wodno-prawnymi oraz wskazaniem jednostek wykazujących rezerwy i deficyty zasobów,
- lokalizacja ujęć wód podziemnych wraz z charakterystyką wielkości i celu poboru: aktualnego (na podstawie zgłoszenia do naliczenia opłaty za korzystanie z wód) i dopuszczalnego (zgodnie z ważnym pozwoleniem wodno-prawnym),
- zasięg stref ochronnych ujęć wód podziemnych z okresem ich ważności, zakresem obowiązujących zakazów, nakazów i ograniczeń w zagospodarowaniu terenu i korzystaniu z wód,
- zasięg obszarów występowania głównych zbiorników wód podziemnych i ich obszarów ochronnych (projektowanych w dokumentacji hydrogeologicznej, ustalonych przez dyrektora Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej),
- rozmieszczenie struktur hydrogeologicznych o szczególnie korzystnych warunkach do lokalizacji dużych ujęć wód podziemnych.

Źródła informacji:

- baza danych „Zasoby wód podziemnych dostępne do zagospodarowania” (Państwowa Służba Hydrogeologiczna w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym),
- baza danych „Główne zbiorniki wód podziemnych” (Państwowa Służba Hydrogeologiczna w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym),
- baza danych o otworach hydrogeologicznych – bank HYDRO (Państwowa Służba Hydrogeologiczna w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym),
- dokumentacje hydrogeologiczne ustalające dyspozycyjne zasoby wód podziemnych w obszarze bilansowym (Narodowe Archiwum Geologiczne w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym),
- dokumentacje określające warunki hydrogeologiczne w związku ustalaniem obszarów ochronnych głównych zbiorników wód podziemnych (Narodowe

Archiwum Geologiczne w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym),

- inne hydrogeologiczne dokumentacje regionalne (dokumentacje odwodnienia kopalń podziemnych i odkrywkowych, dużych ujęć wód podziemnych i inne) zgromadzone w archiwach geologicznych (Narodowe Archiwum Geologiczne, archiwa wojewódzkie),
- baza danych o poborze wód podziemnych „Pobór” (Państwowa Służba Hydrogeologiczna w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym),
- kataster wodny (Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, właściwy terytorialnie regionalny zarząd gospodarki wodnej).

3.2.4. Opracowanie modelu hydrogeologicznego regionu lokalizacji obiektu jądrowego i jego otoczenia

Podsumowaniem zidentyfikowanych warunków hydrogeologicznych regionu lokalizacji obiektu jądrowego, jego granic oraz warunków zasilania jest model hydrogeologiczny. Zgodnie z przyjętą definicją model hydrogeologiczny stanowi opisowe i graficzne przedstawienie struktury i procesów zachodzących w systemie hydrogeologicznym. Formą zaprezentowania tych zagadnień jest zestaw map, przekrojów, także szkiców oraz opis tekstowy. W efekcie model powinien prezentować system wodonośny oraz rodzaje zagrożeń stanu jakościowego i ilościowego wód podziemnych. Będzie on podstawą dla zaprojektowania zakresu prac i badań niezbędnych do uszczegółowienia rozpoznania warunków hydrogeologicznych na następnych etapach prac oraz ustalenia zasad wykonania modelu matematycznego.

Na etapie dalszych prac i sporządzania szczegółowych dokumentacji warunków hydrogeologicznych model hydrogeologiczny zbiornika winien zostać uaktualniony w dostosowaniu do nowych informacji uzyskanych z wykonanych prac geologicznych i badań hydrogeologicznych oraz uzupełniony o wyniki prac modelowych.

3.2.5. Charakterystyka dynamiki wód podziemnych i jej zmiany

Dla oceny dynamiki wód podziemnych niezbędne do rozpoznania własności i parametry poziomów wodonośnych w regionie lokalizacji obiektu jądrowego to:

- sezonowe, roczne i wieloletnie wahania głębokości do zwierciadła wód podziemnych pierwszego poziomu wodonośnego (ze wskazaniem stanu średniego, maksymalnego i minimalnego),
- sezonowe, roczne i wieloletnie wahania głębokości do zwierciadła wód podziemnych użytkowych poziomów wodonośnych, zwłaszcza głównego użytkowego poziomu wodonośnego (ze wskazaniem stanu średniego, maksymalnego i minimalnego),
- zasięg i wielkość sztormowego piętrzenia wód podziemnych w strefie przybrzeżnej Bałtyku,

- zasięg, wielkość i przyczyna antropogenicznego obniżenia lub podniesienia zwierciadła wody wód podziemnych w regionie lokalizacji obiektu jądrowego.

Źródła informacji:

- baza danych GIS Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000 (Państwowa Służba Hydrogeologiczna w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym),
- baza danych Monitoringu wód podziemnych - wahania zwierciadła wód podziemnych w posterunkach obserwacyjnych krajowej sieci monitoringu stanu ilościowego wód podziemnych (Państwowa Służba Hydrogeologiczna w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym),
- dane obserwacyjne Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w zakresie wielkości i rozkładu opadów atmosferycznych, obserwacji stanu i przepływów wód powierzchniowych, obejmujące pełny czas obserwacji,
- literatura naukowa.

3.2.6. Identyfikacja danych niezbędnych do rozpoznania regionalnych kierunków i prędkości przepływu wód podziemnych w regionie lokalizacji obiektu jądrowego

Identyfikacja danych niezbędnych do rozpoznania regionalnych kierunków i prędkości przepływu wód podziemnych w regionie lokalizacji obiektu jądrowego obejmuje:

- zasięg występowania pierwszego poziomu wodonośnego i użytkowych poziomów wodonośnych (w rozumieniu definicji stosowanych w Mapie hydrogeologicznej Polski w skali 1: 50 000),
- charakterystyka głównego użytkowego poziomu wodonośnego (GUPW):
 - zasięg występowania, stratygrafia i litologia, charakter i położenie zwierciadła wód podziemnych, kierunki przepływu wód podziemnych, wodoprzewodność,
 - spadki hydrauliczne zwierciadła wód podziemnych i porowatość efektywna GUPW,
 - prędkość i kierunki migracji (przepływu) wód podziemnych w GUPW,
- charakterystyka pierwszego poziomu wodonośny (PPW),
- zasięg występowania, stratygrafia i litologia utworów PPW, charakter i położenie zwierciadła, kierunki przepływu,
- spadki hydrauliczne zwierciadła wód podziemnych i porowatość efektywna PPW,
- prędkość i kierunki migracji (przepływu) wód podziemnych w PPW.

Źródła informacji:

- baza danych GIS Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1: 50 000 (Państwowa Służba Hydrogeologiczna w PIG-PIB:
 - warstwy informacyjne głównego użytkowego poziomu wodonośnego (GUPW),
 - warstwy informacyjne pierwszego poziomu wodonośnego (PPW): „występowanie i hydrodynamika” oraz „wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość wód”,
- baza danych otworów hydrogeologicznych „Bank HYDRO” (Państwowa Służba Hydrogeologiczna w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym),
- mapa wrażliwości wód podziemnych Polski na zanieczyszczenie (w skali 1: 500 000) R. Duda, S. Witczak, A. Żurek. AGH 2011,
- baza danych „Główne zbiorniki wód podziemnych” (Państwowa Służba Hydrogeologiczna w PIG-PIB),
- dokumentacje określające warunki hydrogeologiczne w związku z ustanawianiem obszarów ochronnych GZWP oraz dokumentowaniem zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych (Narodowe Archiwum Geologiczne w PIG-PIB),

3.2.7. Charakterystyka właściwości fizykochemicznych wód podziemnych, w szczególności ocena agresywności wód podziemnych w stosunku do betonu i stali

Na etapie rozpoznania regionalnego charakterystyka właściwości fizykochemicznych powinna obejmować:

- określenie własności fizykochemicznych wód pierwszego poziomu wodonośnego,
- wyznaczenie tła hydrogeochemicznego użytkowych poziomów wodonośnych w strefie aktywnej wymiany wód podziemnych,
- ogólną ocenę agresywności wód podziemnych pierwszego poziomu wodonośnego w stosunku do betonu i stali,
- identyfikację miejsc potencjalnej ascenzji wód zasolonych z głębokich poziomów wodonośnych oraz ingresji wód morskich do wód podziemnych strefy przybrzeżnej Bałtyku,
- inwentaryzację ognisk zanieczyszczeń wód podziemnych i intruzje wód zanieczyszczonych antropogenicznie do wód podziemnych,
- identyfikację anomalii hydrochemicznych wód podziemnych w strefie aktywnej wymiany wód podziemnych (m.in. strefy ascenzji wgłębnych wód zasolonych jako przejaw czynnych tektonicznych kontaktów hydraulicznych lub w skutek niewłaściwej likwidacji głębokich otworów badawczych i poszukiwawczych).

Źródła informacji:

- baza danych GIS Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000 (Państwowa Służba Hydrogeologiczna w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym):
 - warstwy informacyjne „jakość wód i zanieczyszczenie głównego użytkowego poziomu wodonośnego” (GUPW),
 - warstwy informacyjne „wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość pierwszego poziomu wodonośnego” (PPW),
- baza danych „Monitoring wód podziemnych” (Państwowa Służba Hydrogeologiczna w PIG-PIB),
- dokumentacje hydrogeologiczne ustalające dyspozycyjne zasoby wód podziemnych w obszarze bilansowym (Narodowe Archiwum Geologiczne w PIG-PIB),
- dokumentacje określające warunki hydrogeologiczne w związku ustaleniem obszarów ochronnych głównych zbiorników wód podziemnych (Narodowe Archiwum Geologiczne w PIG-PIB),
- dokumentacje hydrogeologiczne dużych ujęć wód podziemnych oraz wyniki badan zmian składu chemicznego wody w czasie ich eksploatacji,
- literatura naukowa.

Wszystkie dane uzyskane w oparciu o materiały archiwalne wymagają weryfikacji w terenie, w trakcie prac kartograficznych.

3.2.8. Badania terenowe i kartowanie hydrogeologiczne

Kartowanie hydrogeologiczne w I etapie prac ma charakter ogólny i powinno obejmować zebranie informacji w obrębie wyznaczonego regionu badań hydrogeologicznych, ze szczególnym uwzględnieniem strefy 30 km od planowanej lokalizacji obiektu jądrowego. Celem prac kartograficznych jest weryfikacja pozyskanych danych archiwalnych i uzupełnienie rozpoznania terenu, w szczególności:

- rozpoznanie głębokości występowania zwierciadła wody I-go poziomu wodonośnego oraz poziomów głębszych, w celu wyznaczenia kierunków i prędkości przepływu wód podziemnych (pomiaru terenowe w wytypowanych studniach),
- identyfikację obszarów zasilania, drenażu oraz kierunki przepływu wód podziemnych,
- inwentaryzację czynnych ujęć wód podziemnych zbiorowego zaopatrzenia ludności w wodę do picia,
- inwentaryzację innych czynnych ujęć wód podziemnych, których pobór w sposób znaczący może oddziaływać na stosunki wodne w rejonie planowanej inwestycji,

- rozpoznanie aktualnego i planowanego stanu wykorzystania i ochrony zasobów wodnych na dokumentowanym obszarze,
- lokalizację przejawów wód podziemnych na powierzchni terenu w postaci źródeł, wysięków, sączeń itp.,
- analizę zależności między wodami powierzchniowymi i podziemnymi, rozpoznanie charakteru kontaktu wód podziemnych i powierzchniowych,
- zebranie wyników archiwalnych analiz fizyko-chemicznych wód podziemnych dla czynnych ujęć, otworów monitoringowych (sieci regionalnych i lokalnych), zakładów górniczych prowadzących odwodnienia. (użytkownicy ujęć i instytucje prowadzące monitoring),
- zebranie informacji w Regionalnych Zarządach Gospodarki Wodnej (RZGW) na temat:
 - wydanych rozporządzeń ustanawiających strefy ochronne ujęć wód,
 - wydanych rozporządzeń ustanawiających obszary ochronne głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP),
 - ochrony zbiorników wodnych wydzielonych zgodnie z wymaganiami Ramowej dyrektywy wodnej, jednolitych części wód podziemnych oraz ekosystemów zależnych od wód podziemnych.

Wyniki przeprowadzonego kartowania i analizy materiałów archiwalnych są podstawą do wykonania mapy hydrogeologicznej w skali nie mniejszej niż 1:50 000. W przypadku bardziej skomplikowanych warunków hydrogeologicznych zaleca się sporządzenie map hydrogeologiczno-tematycznych, w tym mapy:

- hydroizohips poziomów wodonośnych stanowiących podstawę dla opracowania schematu krążenia wód i kalibracji modelu matematycznego, wykonane na podstawie datowanych pomiarów poziomu zwierciadła wody,
- mapę jakości wód podziemnych według kryterium przydatności dla zaopatrzenia komunalnego,
- mapę naturalnej odporności (wrażliwości na zanieczyszczenia) pierwszego poziomu wodonośnego (w zależności od lokalizacji można wykorzystać mapy seryjne pierwszego poziomu wodonośnego wrażliwość i jakość w skali 1:50 000 – w chwili obecnej opracowane są arkusze tej mapy dla ok. 1/3 obszaru Polski).

Do wykonania map hydrogeologicznych niezbędne jest przygotowanie i opracowanie następujących warstw informacyjnych:

- ujęcia wód podziemnych i inne otwory hydrogeologiczne
- ujęcia wód powierzchniowych

- punkty sieci monitoringu wód podziemnych.
- granice jednolitych części wód podziemnych i powierzchniowych, głównych zbiorników wód podziemnych, zasobowych obszarów bilansowych itp.
- granice obszarów ochronnych GZWP i stref ochrony pośredniej ujęć wód podziemnych i powierzchniowych (projektowane i ustanowione).

3.2.9. Kartowanie sozologiczne

Kartowanie sozologiczne ma na celu rozpoznanie obiektów stanowiących zagrożenie dla jakości wód podziemnych i mogących mieć znaczenie przy ocenie jakości wód i oddziaływania na wody podziemne planowanego obiektu jądrowego. Celem kartowania sozologicznego na tym etapie jest:

- ogólna ocena stanu ekologicznego obszaru badań oraz realizacji przez gminy obowiązujących przepisów o ochronie środowiska,
- inwentaryzacja punktowych, liniowych i obszarowych ognisk zanieczyszczeń o stwierdzonym lub możliwym wpływie na środowisko gruntowo-wodne, wraz z przybliżoną, opisową oceną ich potencjalnego oddziaływania na podstawie informacji w organach zajmujących się ochroną środowiska.

Kartowanie sozologiczne pozwoli zidentyfikować istniejące i potencjalne ogniska zanieczyszczeń wód podziemnych, które mogą być odpowiedzialne za pogorszenie ich stanu jakościowego obecnie lub w przyszłości. Identyfikacja taka jest niezbędna do rozwiązywania ewentualnych konfliktów związanych z zanieczyszczeniem wód podziemnych, jakie mogą się pojawić w przyszłości, a które mogą być związane z oddziaływaniem projektowanej inwestycji w fazie jej budowy i eksploatacji.

Do wykonania mapy sozologicznej niezbędne jest przygotowanie i opracowanie następujących warstw informacyjnych:

- najbardziej istotne elementy planowanego zagospodarowania przestrzennego: infrastruktura drogowa i kolejowa, rurociągi paliw płynnych, aglomeracje, duże zakłady przemysłowe tereny i obszary górnicze, składowiska odpadów itp.,
- granice obszarów prawnie chronionych (Parki Narodowe i Krajobrazowe, rezerваты, obszary chronionego krajobrazu oraz obszary NATURA 2000),
- projektowane nowe obszary ochrony przyrody, kierunki osadnictwa – na podstawie wojewódzkich planów zagospodarowania przestrzennego,
- stwierdzone ogniska zanieczyszczeń wód podziemnych (obiekty punktowe, liniowe lub obszarowe),

- potencjalne ogniska zanieczyszczeń wód podziemnych (obiekty punktowe, liniowe lub obszarowe).

3.2.10. Charakterystyka systemu hydrogeologicznego

Na podstawie zebranych i przeanalizowanych danych archiwalnych (zweryfikowanych w trakcie prac terenowych) oraz nowych danych zebranych w trakcie tych prac należy przystąpić do scharakteryzowania systemu hydrogeologicznego dla całego regionu. Wyznaczenie granic regionu lokalizacji należy wykonać w taki sposób, aby możliwe było sporządzenie szacunkowego bilansu przepływu wód podziemnych poprzedzającego budowę modelu numerycznego przepływu wód podziemnych na tym obszarze. Jednocześnie obszar ten powinien być nie mniejszy niż promień 30 km od granic usytuowania obiektu jądrowego. Charakteryzując system hydrogeologiczny należy opisać podstawowe elementy takie jak:

- warunki występowania wód w strukturach geologicznych:
 - rozprzestrzenienie utworów wodonośnych i słabo przepuszczalnych oraz ich granice w postaci wydzielonych warstw,
 - litologia ośrodka skalnego,
 - porowatość, szczelinowatość i drogi przepływu wód,
 - miąższość warstw wodonośnych i rozdzielających;
- wartość parametrów hydrogeologicznych warstw wodonośnych i słabo przepuszczalnych:
 - współczynnika filtracji i przewodności hydraulicznej,
 - współczynnika odsączalności i pojemności sprężystej,
 - porowatości i porowatości efektywnej;
- strumień wód podziemnych poprzez:
 - wysokości hydrauliczne w polu filtracji,
 - rzędne zwierciadła wód,
 - kierunki przepływu wód,
 - rzędne zwierciadła wód powierzchniowych powiązanych hydraulicznie z wodami podziemnymi;
- warunki naturalnego zasilania i drenażu wód podziemnych poprzez wody powierzchniowe:
 - rozkład infiltracji wód opadowych,

- określenie miejsc zasilania i drenażu wód podziemnych poprzez wody powierzchniowe;
- istniejące zagospodarowanie wód podziemnych:
 - czynne ujęcia wody wraz z wielkością poboru,
 - sztuczne zbiorniki wodne i budowle piętrzące.

3.2.11. Model hydrogeologiczny (konceptualny) regionu lokalizacji

Podsumowaniem scharakteryzowanych warunków hydrogeologicznych regionu lokalizacji, jego granic oraz warunków zasilania jest model hydrogeologiczny. Model hydrogeologiczny stanowi opisowe i graficzne przedstawienie struktury i procesów zachodzących w systemie hydrogeologicznym. Formą przedstawienia tych zagadnień jest zestaw map, przekrojów, także szkiców oraz opis tekstowy. W efekcie model powinien prezentować pozycję regionu lokalizacji w systemie wodonośnym oraz podatność na zagrożenie jego stanu jakościowego i ilościowego. Będzie on podstawą dla zaprojektowania zakresu prac i badań niezbędnych do uszczegółowienia rozpoznania obszaru lokalizacji (etap II) oraz ustalenia zasad wykonania modelu matematycznego przepływu wód podziemnych.

Model hydrogeologiczny winien zostać uaktualniony w obszarze lokalizacji (etap II) w dostosowaniu do nowych informacji uzyskanych z wykonanych prac geologicznych i badań hydrogeologicznych.

Numeryczny model przepływu wód podziemnych w regionie lokalizacji obiektu jądrowego

Na podstawie modelu konceptualnego należy opracować model matematyczny przepływu wód w regionie lokalizacji obiektu jądrowego. Prace modelowe wiążą się nieodłącznie z każdym etapem rozpoznania warunków hydrogeologicznych dla lokalizacji obiektu jądrowego. Ponieważ w celu właściwego modelowania matematycznego nie jest zalecane tworzenie oddzielnych modeli na poszczególnych etapach rozpoznania, optymalne jest stworzenie jednego modelu, który w kolejnym etapie prac będzie uszczegóławiany w obszarze lokalizacji i miejscu usytuowania obiektu jądrowego (etap II).

W I etapie prac po sporządzeniu, w oparciu o materiały archiwalne, charakterystyki hydrogeologicznej regionu lokalizacji należy zbudować wstępny numeryczny model przepływu wód podziemnych na tym obszarze. Model ten powinien charakteryzować się zmienną rozdzielczością siatki obliczeniowej. Największa rozdzielczość tej siatki musi mieć miejsce w obszarze planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego, pośrednia rozdzielczość pomiędzy granicą planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego a granicą obszaru lokalizacji, natomiast najmniejsza rozdzielczość pomiędzy granicą obszaru lokalizacji a granicą regionu lokalizacji.

Model matematyczny przygotowywany w etapie I

Analiza wyników symulacji wykonanych na wstępnym modelu numerycznym będzie podstawą do sformułowania wniosków odnośnie zakresu uszczegółowienia charakterystyki hydrogeologicznej w obszarze lokalizacji.

Na etapie rozpoznania regionalnego w ramach przygotowania do wykonania prac modelowych przewiduje się:

- opracowanie schematu konceptualnego systemu wodonośnego w regionie lokalizacji obiektu jądrowego - sporządzenie schematu warunków hydrogeologicznych występowania poziomów wodonośnych i półprzepuszczalnych i ich kontaktu z wodami powierzchniowymi, krążenia wód podziemnych oraz wyznaczenie rozkładu zmienności parametrów hydrogeologicznych poszczególnych warstw modelu,
- wyznaczenie granic modelu i przyjęcie warunków brzegowych,
- opracowanie modelu matematycznego ustalonego przepływu wód podziemnych dla schematu warunków hydrogeologicznych w regionie lokalizacji obiektu jądrowego w skali dostosowanej do rozpoznania regionalnego.

Granice regionu lokalizacji

Granice regionu lokalizacji należy wyznaczyć w taki sposób, aby możliwe było sporządzenie szacunkowego bilansu przepływu wód podziemnych poprzedzającego budowę modelu numerycznego przepływu wód podziemnych na tym obszarze.

Warunki brzegowe modelu

Warunki brzegowe modelu powinny być tak dobrane, aby w pełni umożliwiły odwzorowanie hydrodynamiki systemu hydrogeologicznego w strefach jego zasilania, a także w strefie drenażu, czyli tam gdzie wody podziemne opuszczając środowisko geologiczne stają się wodami powierzchniowymi. Należy unikać stosowania warunku brzegowego I rodzaju określającego rzędną zwierciadła wody podziemnej w danym bloku siatki modelu. Infiltrację wód opadowych i pobór wód przez ujęcia należy odwzorować warunkiem brzegowym II rodzaju. Wody powierzchniowe (cieki i jeziora) należy odwzorować warunkiem brzegowym III rodzaju.

Charakterystyka hydrogeologiczna

Charakterystyka warunków hydrogeologicznych regionu lokalizacji i obszarów jego zasilania na potrzeby modelu matematycznego powinna obejmować, między innymi:

- układ hydrostrukturalny i hydrodynamiczny regionu lokalizacji zarówno w poziomie jak i w pionie (w tym poziomy wodonośne zawieszona),

- sposób i wielkość zasilania warstw wodonośnych (infiltracja efektywna opadów atmosferycznych, dopływ boczny),
- parametry hydrogeologiczne warstw wodonośnych (miąższość, współczynnik filtracji, przewodność, porowatość itp.) i ich zmienność przestrzenna,
- występowanie i parametry hydrogeologiczne warstw słabo przepuszczalnych i warstw półprzepuszczalnych (współczynnik filtracji $k < 1 \cdot 10^{-5}$ m/s),
- związek wód powierzchniowych i podziemnych,
- zmiany naturalnych warunków hydrogeologicznych spowodowane zagospodarowaniem terenu i poborem wód podziemnych.

Strefy zasilania systemu hydrogeologicznego

Zasadniczym elementem charakterystyki hydrogeologicznej regionu lokalizacji jest wyznaczenie stref zasilania systemu hydrogeologicznego. Strefy zasilania są obszarami w których kształtują się zasoby wód podziemnych regionu lokalizacji. Istnieją dwa rodzaje stref zasilania:

- strefa wewnętrzna obejmująca powierzchnię regionu lokalizacji, gdzie system hydrogeologiczny zasilany jest przez infiltrację opadów atmosferycznych (przesączanie przez strefę aeracji, przesiąkanie przez nadkład),
- strefa zewnętrzna obejmująca tereny, z których wody podziemne spływają do regionu lokalizacji zasilając go dopływem lateralnym. Ich wyznaczenie wymaga szczegółowej analizy pola hydrodynamicznego w otoczeniu regionu lokalizacji. W części przypadków, szczególnie w zlewniowych systemach hydrogeologicznych, strefa zewnętrzna ulega poszerzeniu wskutek oddziaływania na otoczenie poboru wody z regionu lokalizacji (poboru aktualnego i perspektywicznego), powodującego zwiększenie powierzchni naturalnej zlewni podziemnej regionu lokalizacji. Natomiast we wgłębnych systemach wodonośnych, o wodach naporowych, granice obszarów zasilania są najczęściej odsunięte bardzo daleko od granic regionu lokalizacji ze względu na dominujący lateralny charakter dopływu wody.

Strefy zasilania należy wyznaczyć w oparciu o istniejące materiały archiwalne i przedstawić na modelu hydrogeologicznym (pojęciowym) regionu lokalizacji. Znajomość stref zasilania na tym etapie jest niezbędna dla ustalenia koncepcji wykonania modelu matematycznego i ustalenia jego warunków brzegowych.

Rozdzielczość siatki obliczeniowej

Model powinien charakteryzować się zmienną rozdzielczością siatki obliczeniowej. Największa rozdzielczość tej siatki musi mieć miejsce w obszarze planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego, pośrednia rozdzielczość pomiędzy granicą planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego a granicą obszaru lokalizacji, natomiast najmniejsza rozdzielczość pomiędzy granicą obszaru lokalizacji a granicą regionu lokalizacji.

Kalibracja modelu

W ramach kalibracji określa się dla wybranej struktury modelu wartości parametrów i warunków brzegowych. Proces kalibracji polega na rozwiązywaniu tzw. zadania odwrotnego, tj. porównywaniu funkcjonowania modelu o założonych parametrach i warunkach brzegowych z funkcjonowaniem rzeczywistego systemu hydrogeologicznego.

Procedura kalibracji posiada zawsze charakter iteracyjny z tego powodu, że nigdy nie dysponuje się pełnym rozpoznaniem warunków hydrostrukturalnych (parametry hydrogeologiczne, warunki brzegowe, zasilanie). Proces identyfikacji realizuje się najczęściej metodą kolejnych przybliżeń. Oceny poprawności przeprowadzenia kalibracji dokonuje się po spełnieniu kryterium zgodności modelu matematycznego z modelem hydrogeologicznym, co może być dokonane na 2 sposoby:

- porównanie obliczonych na modelu stanów wód w jego granicach z rzeczywistymi (zmiierzonymi) wysokościami stanów (mapa hydroizohips). Zwykle porównania stanów dokonywane są w wybranych punktach pomiaru zwierciadła wody, przy zachowaniu kształtu powierzchni piezometrycznej modelowanych warstw wodonośnych, gradientów i kierunków przepływu wód.
- porównanie generowanych przez model wydatków z wydajnością rzeczywistą – np. wielkość drenażu rzecznego.

Do identyfikacji modelu należy wykorzystywać średnie wydajności ujęć z okresu poprzedzającego pomiary stanów wód podziemnych. Zależnie od specyfiki systemu wodonośnego, jego inercji, warunków zasilania, mogą to być np.: średnie pobory z ostatniego roku poprzedzającego pomiary zwierciadła wody, albo z kilku lat poprzedzających. W każdym przypadku należy jednak wydajności ujęć uśredniać celem odwzorowania na modelu takich stanów wód podziemnych, które są wynikiem średnich, a nie chwilowych, bądź sezonowych wielkości poboru.

Weryfikacja modelu

Na tym etapie modelowania dokonuje się porównania reakcji modelu na zadane wymuszenia z reakcjami systemu rzeczywistego, a następnie analizuje się zgodności między danymi generowanymi przez oba te układy. Zwykle wykorzystuje się w tym celu znane stany wód w warunkach naturalnych (bez eksploatacji) i w warunkach eksploatacyjnych (odtworzenie przebiegu eksploatacji czynnych ujęć, przebieg próbnego pompowania itp.). Powinno być przy tym zasadą, że do weryfikacji wykorzystuje się inny zestaw danych niż do kalibracji modelu.

Zweryfikowany model powinien spełniać wymagania, co do zgodności poszczególnych składników bilansowych z wartościami określonymi inną niż modelowanie metodą (np.: poprzez sporządzenie hydrologicznego bilansu wodnego, porównanie przepływów w ciekach itp.). W procedurze weryfikacyjnej określa się zazwyczaj na koniec

stopień zgodności modelu z systemem rzeczywistym w odniesieniu do stanów i wydatków wody.

3.2.12. Przedstawienie uzyskanych wyników I etapu prac

W wyniku przeprowadzonych badań i analiz zostanie opracowane podsumowanie I etapu prac. Podsumowanie będzie określało warunki hydrogeologiczne w związku planowaną lokalizacją obiektu jądrowego oraz będzie stanowiło integralną część projektu robót geologicznych (dla etapu II). Proponowana skala opracowania to 1:50 000 lub 1:25 000, w zależności od przyjętego zasięgu regionu lokalizacji obiektu jądrowego. Zakres podsumowania w swojej treści będzie 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 w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej).

Projekt robót geologicznych wraz z podsumowaniem etapu I powinien zawierać:

w części opisowej:

- nazwę i lokalizację projektowanego obiektu jądrowego,
- charakterystykę rozwiązań technicznych i technologicznych projektowanego obiektu i infrastruktury towarzyszącej (jeżeli są już znane),
- opis sposobu użytkowania terenu w regionie i w sąsiedztwie projektowanego obiektu jądrowego, wskazanie istniejących obszarów objętych ochroną i projektowanych takich obszarów, opis warunków zaopatrzenia w wodę, lokalizacji większych ujęć wód podziemnych i ich stref ochronnych,
- opis morfologii terenu oraz sieci hydrograficznej,
- opis budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych, w szczególności głębokości do pierwszego poziomu wodonośnego, liczby poziomów wodonośnych, miąższości i przepuszczalności nadkładu, więzi hydraulicznej z wodami powierzchniowymi, kierunku i prędkości przepływu wód podziemnych oraz wielkości sezonowych wahań położenia zwierciadła wód podziemnych,
- charakterystykę parametrów hydrogeologicznych na podstawie badań przeprowadzonych w zidentyfikowanych w regionie otworach studziennych i badawczych,
- charakterystykę właściwości fizycznych i składu chemicznego wód podziemnych,
- analizę wykonalności planowanego obiektu, możliwość jego lokalizacji w planowanym miejscu usytuowania oraz potencjalne zagrożenia dla wód

podziemnych i wskazania dla ochrony wód podziemnych, które powinny być uwzględnione w szczegółowym projekcie obiektu jądrowego,

- opis i wyniki wykonanych prac modelowych,

w części graficznej:

- mapę przeglądową z lokalizacją terenu przeprowadzonych prac geologicznych,
- mapę dokumentacyjną sporządzoną na podkładzie topograficznym z zaznaczonymi lokalizacją terenu projektowanego przedsięwzięcia, ujęć wód podziemnych i otworów wiertniczych, punktów badawczych, siecią monitoringu wód, liniami przekrojów hydrogeologicznych i przebiegiem sieci hydrograficznej, granicami zbiorników wód podziemnych i ich obszarów ochronnych - jeżeli takie obszary zostały ustanowione, granicami obszarów i terenów górniczych oraz granicami obszarów objętych ochroną i terenów ochrony pośredniej ujęć wód podziemnych,
- mapę hydrogeologiczną poziomu wodonośnego istotnego ze względu na zagrożenie jakości wód podziemnych, zawierającą w szczególności hydroizohipsy wykreślone na podstawie datowanych pomiarów poziomu zwierciadła wód podziemnych,
- przekroje hydrogeologiczne,
- zestawienia zbiorcze istniejących otworów hydrogeologicznych i badawczych w analizowanym regionie,
- wyniki zebranych badań fizyczno-chemicznych i bakteriologicznych wody,
- wyniki pozostałych badań wykonanych w celu określania warunków hydrogeologicznych, w tym kartograficzna prezentacja wyników kartowania hydrogeologicznego i sozologicznego,
- mapy obrazujące założenia wejściowe i wyniki obliczeń modelowych.

Prace projektowe dla wykonania rozpoznania hydrogeologicznego w obszarze lokalizacji obiektu jądrowego (II etap prac)

Na podstawie regionalnego rozpoznania warunków hydrogeologicznych należy ocenić stan rozpoznania i wskazać niedostatki w tym zakresie. Na tej podstawie powinien zostać opracowany projekt robót geologicznych, którego celem jest uzupełnienie istniejącego rozpoznania w obszarze lokalizacji (orientacyjnie w promieniu 5 km od planowanej lokalizacji).

W ramach wniosków na podstawie badań w I etapie należy:

- wskazać rejony wymagające rozpoznania warunków hydrogeologicznych poprzez wykonanie wierceń i badań hydrogeologicznych w wykonanych piezometrach i hydrowężłach
- wskazać rejony gdzie konieczne będzie stworzenie stałej sieci monitoringu wód podziemnych
- wskazać obszary wymagające lepszego rozpoznania badaniami geofizycznymi

Wyniki prac I etapu badań stanowią podstawę do sporządzenia projektu robót geologicznych dla etapu II. Projekt robót geologicznych dla uszczegółowienia rozpoznania warunków hydrogeologicznych powinien uwzględniać:

- analizę stopnia kompletności, dokładności i wiarygodności zgromadzonego rozpoznania archiwalnego,
- analizę wyników prac związanych z konstrukcją modelu matematycznego i przeprowadzonych symulacji modelowych w skali regionalnej.
- sporządzenie programu / projektu uzupełniających prac i badań hydrogeologicznych dla wykonania prognoz zmian dynamiki wód podziemnych w wyniku posadowienia obiektu jądrowego oraz awarii obiektu i migracji skażeń promieniotwórczych w wodach podziemnych.

Program prac do wykonania w obszarze lokalizacji obiektu jądrowego powinien obejmować rozpoznanie warunków hydrogeologicznych w zakresie i z dokładnością wymaganą dla opracowania matematycznego modelu nieustalonego przepływu wód podziemnych, a w szczególności ustalenie:

- rozprzestrzenienia poziomów wodonośnych i półprzepuszczalnych w obszarze lokalizacji obiektu jądrowego z dokładnością dostosowaną do skali 1 : 10 000, a w rejonie miejsca usytuowania obiektu w skali 1 : 1000 lub 1 : 2 000,
- określenia lokalnych kierunków przepływu wód podziemnych,
- porowatości efektywnej i współczynnika filtracji utworów wodonośnych i półprzepuszczalnych,
- kontaktu hydraulicznego wód podziemnych z powierzchniowymi,
- współczynnika dyspersji hydrodynamicznej (podłużnej i poprzecznej) warstw wodonośnych,
- parametrów gruntów warstw wodonośnych i słabo przepuszczalnych istotnych dla modelowania transportu masy i migracji zanieczyszczeń w wodach podziemnych – wielkości pojemności sorpcyjnej i wymiany jonowej, stałe

podziału grunt/woda dla wybranych radionuklidów i innych wskaźników zanieczyszczenia, współczynnika opóźnienia migracji wybranych wskaźników.

Planowane prace powinny obejmować także wykonanie elektrooporowych przekrojów geofizycznych opartych na reperowych litologicznych profilach wierceń.

Wiercenia i związane z nimi badania powinny umożliwić ustalenie profilu hydrogeologicznego w punktach reprezentatywnych dla charakterystyki warunków systemu wodonośnego. Badania te powinny obejmować w szczególności:

- pobór prób gruntu z utworów wodonośnych i półprzepuszczalnych do laboratoryjnych badań wodoprzepuszczalności, porowatości całkowitej i efektywnej, adsorpcji,
- pobór prób wody do pełnej analizy fizykochemicznej,
- pompowania hydrowęzłowe w otworach pompowych z obserwacjami piezometrycznymi do rozpoznania przewodności wodnej warstw wodonośnych i pionowych kontaktów hydraulicznych,
- badania dyspersji hydrodynamicznej.

Planowane prace powinny obejmować także:

- przeprowadzenie pełnej inwentaryzacji ujęć (w tym studni indywidualnych) i użytkowników wód podziemnych oraz wielkości poboru wód podziemnych (aktualnego i dopuszczalnego pozwoleniami wodnoprawnymi) w obszarze lokalizacji obiektu jądrowego,
- wytypowanie otworów hydrogeologicznych do pomiarów zwierciadła wody, założenie systemów do ciągłego pomiaru stanu wód podziemnych z okresową (raz na kwartał) kontrolą pomiarem ręcznym,
- wykonanie pomiarów przepływu na rzekach w przekrojach reprezentatywnych dla ilościowej oceny kontaktu hydraulicznego wód podziemnych z powierzchniowymi.

W ramach planowanych prac konieczne jest wykonanie robót geologicznych (w rozumieniu ustawy Prawo geologiczne i górnicze), w związku z tym niezbędne jest opracowanie i zatwierdzenie projektu robót geologicznych, zgodnie z wymaganiami rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów robót geologicznych, w tym robót, których wykonywanie wymaga uzyskania koncesji. Zakres i zawartość projektu robót geologicznych określony jest w ww. rozporządzeniu. Projekt zatwierdza właściwy terytorialnie organ administracji geologicznej.

3.3. **Etap II – obszar lokalizacji**

Ze względu na specyfikę dokumentowania warunków hydrogeologicznych, prace w II i III etapie (obszar lokalizacji i granica planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego) zazębiają się ze sobą i mają nieco inne cele, niż w przypadku oceny warunków geologiczno-inżynierskich. W związku z tym etap II to etap końcowy, ma on w sposób szczegółowy opisywać zarówno obszar jak i granice planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego. Etap II powinien zakończyć się szczegółową dokumentacją warunków hydrogeologicznych w obszarze lokalizacji ze szczególnym uwzględnieniem miejsca usytuowania obiektu jądrowego, z wykorzystaniem wszystkich dostępnych informacji zarówno w obszarze lokalizacji (w promieniu ok 5 km) jak i z bezpośredniego miejsca usytuowania obiektu jądrowego. Szczegółowość rozpoznania na tym etapie powinna być dostosowana do skali 1: 10 000 (obszar lokalizacji) oraz 1: 1 000 w bezpośrednim sąsiedztwie obiektu. Doprecyzowanie rozpoznania w bezpośrednim sąsiedztwie obiektu powinno uwzględniać zarówno wyniki prac i robót geologicznych planowanych do wykonania w tym etapie jak również wyniki innych prac lokalizacyjnych, zwłaszcza badań geologiczno – inżynierskich. Efektem prac powinno być szczegółowe rozpoznanie warunków hydrogeologicznych, kierunków i prędkości przepływu wód podziemnych, kontaktów pomiędzy poziomami wodonośnymi, kontaktów wód podziemnych i powierzchniowych oraz składu chemicznego wód i parametrów gruntu istotnych dla analizy migracji potencjalnych zanieczyszczeń. Na tym etapie powinna powstać również ocena potencjalnego oddziaływania na środowisko planowanego obiektu, prognozowanie potencjalnej migracji zanieczyszczeń uwolnionych z obiektu jądrowego, a także wskazania dla inwestora w zakresie środków ograniczenia niekorzystnego oddziaływania, możliwych do zastosowania w projekcie technicznym obiektu i infrastruktury towarzyszącej. Szczegółowa analiza warunków hydrogeologicznych powinna być brana pod uwagę przy wyborze ostatecznej lokalizacji obiektu jądrowego i infrastruktury towarzyszącej.

Prace realizowane w etapie II powinny obejmować także wykonanie prognozy zmian dynamiki wód podziemnych w wyniku posadowienia obiektu jądrowego, obejmującą:

- prognozę warunków stabilizacji systemu hydrogeologicznego,
- maksymalną głębokość i zasięg oddziaływania obiektu jądrowego na system hydrogeologiczny.

Prognoza powinna uwzględniać:

- drogi i głębokości migracji wód powierzchniowych i opadowych,
- wpływ zmian dynamiki wód podziemnych na eksploatowane i potencjalnie użytkowe zbiorniki wód podziemnych oraz poziomy wodonośne.

Badania w obszarze lokalizacji obiektu jądrowego powinny być poprzedzone projektem robót geologicznych opisującym pełen zakres prac i robót geologicznych dla określenia szczegółowych warunków hydrogeologicznych w promieniu co najmniej 5 km od

granic usytuowania obiektu jądrowego i wykonaniem zaplanowanych robót zgodnie z zatwierdzonym projektem. Wyniki wykonanych robót powinny zostać opracowane w formie odpowiedniej dokumentacji hydrogeologicznej i przedstawione organowi administracji geologicznej, który zatwierdził projekt (zgodnie z ustawą Prawo geologiczne i górnicze).

3.3.1. Badania terenowe i kartografia hydrogeologiczna

Na potrzeby sporządzenia szczegółowej charakterystyki systemu wodonośnego w obszarze lokalizacji obiektu jądrowego należy przeprowadzić kartowanie hydrogeologiczne i sozologiczne w promieniu co najmniej 5 km od granic usytuowania obiektu jądrowego. Prace dla etapu II zaleca się projektować z dokładnością co najmniej jak dla mapy w skali 1:10 000.

Szczegółowe kartowanie hydrogeologiczne powinno objąć:

- maksymalnie szczegółowe rozpoznanie zalegania zwierciadła wody pierwszego poziomu wodonośnego oraz poziomów głębszych, w celu wyznaczenia lokalnych kierunków i prędkości przepływu wód podziemnych,
- inwentaryzację czynnych ujęć wód podziemnych prywatnego i zbiorowego zaopatrzenia ludności w wodę do picia (w tym studni kopanych),
- inwentaryzację innych czynnych ujęć wód podziemnych, których pobór w sposób znaczący może oddziaływać na stosunki wodne w rejonie planowanej inwestycji,
- lokalizację przejawów wód podziemnych na powierzchni terenu w postaci źródeł, wysięków, sączeń itp.,
- pomiary głębokości zalegania zwierciadła wody w indywidualnych studniach kopanych i wierconych oraz przeprowadzenie wywiadu z użytkownikiem na temat sposobu użytkowania studni, wielkości i celu poboru wody, sezonowych wahań zwierciadła wody, profilu geologicznego otworu studziennego, wszystkie te informacje należy zestawić w tabelach z podaniem numeru otworu zgodnego z mapą dokumentacyjną, danych adresowych i współrzędnych otworów,
- pomiary ustalonego zwierciadła wody i aktualnej wielkości poboru wody na wszystkich głębinowych ujęciach wodociągowych, zakładowych i innych zlokalizowanych na obszarze badań,
- dokładne sprawdzenie i weryfikację lokalizacji wszystkich pomierzonych otworów hydrogeologicznych i odczytanie rzędnych terenu z map topograficznych w skali co najmniej 1:10 000 (jeżeli brak danych geodezyjnych),
- pomiary hydrometryczne w ciekach powierzchniowych dla określenia wielkości odpływu wód z obszaru badań,
- przegląd terenowy stanu wód powierzchniowych (cieków naturalnych, kanałów, podmokłości, stawów i jezior) w zakresie istotnym do rozpoznania

ich związków z wodami podziemnymi, jeżeli możliwa jest infiltracja wód powierzchniowych do wód podziemnych, uzasadnionym być może wykonanie pomiarów przepływu dla udokumentowania tej sytuacji,

- rozpoznanie aktualnego i planowanego stanu wykorzystania i ochrony zasobów wodnych na dokumentowanym obszarze,
- zebranie informacji w Regionalnych Zarządach Gospodarki Wodnej (RZGW) na temat:
 - wydanych rozporządzeń ustanawiających strefy ochronne ujęć wód,
 - wydanych rozporządzeń ustanawiających obszary ochronne Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP),
 - ochrony zbiorników wodnych oraz ekosystemów zależnych od wód podziemnych.

Na podstawie ustalonego zakresu szczegółowej charakterystyki hydrogeologicznej w obszarze lokalizacji, należy przede wszystkim:

- wykonać otwory hydrogeologiczne i przeprowadzić w nich hydrowęzłowe badania hydrogeologiczne, zgodnie z wnioskami zawartymi w pierwszym etapie badań,
- w trakcie opróbowania warstw wodonośnych i słabo przepuszczalnych warstw izolujących, w procesie wiercenia należy pobrać z tych warstw próby gruntów i skał do badań laboratoryjnych obejmujących zarówno oznaczenia parametrów hydrogeologicznych (współczynnik filtracji, porowatość (szczelinowatość), porowatość efektywną (szczelinowatość efektywną), a także wartości współczynnika sorpcji i podziału K_d dla radionuklidów mogących uwolnić się awaryjnie z obiektu jądrowego,
- wykonać, o ile zajdzie taka potrzeba, szczegółowe badania geofizyczne metodą tomografii elektrooporowej dla ustalenia rozprzestrzenienia warstw wodonośnych i izolujących warstw słabo przepuszczalnych.

Jeżeli będzie to konieczne należy przeprowadzić ponowną analizę materiałów archiwalnych. Zestawienie, weryfikacja i krytyczna analiza całości danych i opracowań archiwalnych jest warunkiem niezbędnym do właściwego opracowania dokumentacji hydrogeologicznej. Sposób pozyskania materiałów archiwalnych oraz ocenę wiarygodności i metodykę interpretacji należy przeprowadzić analogicznie jak w fazie pierwszej.

W ramach prac badawczych prowadzonych w miejscu usytuowania obiektu jądrowego niezbędne jest także przeprowadzenie in situ eksperymentów znacznikowych dla oszacowania rzeczywistej prędkości przepływu wód podziemnych oraz stałych dyspersji dla modelu migracji radionuklidów w warstwach wodonośnych. Brak możliwości wyznaczenia in situ wartości stałych dyspersji spowoduje radykalne obniżenie wiarygodności prognoz transportu radionuklidów w wodach podziemnych.

Celem tych prac jest:

- charakterystyka właściwości filtracyjnych podłoża, w szczególności dróg i głębokości migracji wód powierzchniowych i opadowych oraz lokalnych warunków przepływu wód podziemnych,
- określenie lokalnych kierunków i prędkości przepływu wód podziemnych oraz migracji zanieczyszczeń w wodach podziemnych,
- analiza właściwości fizykochemicznych wód podziemnych, w tym ocena agresywności wód podziemnych w stosunku do betonu i stali,
- ocena parametrów gruntu (pojemność sorpcyjna, stała podziału, porowatość efektywna, współczynnik opóźnienia migracji) decydujących o prędkości i zasięgu migracji zanieczyszczeń w wodach podziemnych, zwłaszcza izotopów promieniotwórczych,
- opracowanie modelu rozprzestrzeniania się izotopów promieniotwórczych uwolnionych w wyniku awarii do wód podziemnych,
- analiza rozprzestrzeniania się izotopów promieniotwórczych w wodach podziemnych dla przyjętych scenariuszy awarii obiektu jądrowego,
- założenia do projektu sieci monitoringu wód podziemnych (miejsca proponowanej lokalizacji i głębokość piezometrów, wskazania częstotliwości opróbowania).

3.3.2. Kartowanie hydrogeochemiczne

Celem kartowania hydrochemicznego jest rozpoznanie jakości wód podziemnych i stopnia zmiany jakości spowodowanego czynnikami antropogenicznymi. Miejsca poboru prób należy wytypować tak by uzyskać względnie równomierny rozkład punktów pomiarowych. Lokalnie sieć opróbowania należy zagęścić, jeżeli istnieje ryzyko wystąpienia podwyższonych parametrów stężeń poszczególnych składników o genezie geogenicznej lub antropogenicznej. Oznaczenia powinny być wykonywane jednocześnie z pomiarami zwiernia wody w badanych otworach. Przed pobraniem próbki należy przepompować otwór, zalecane jest wypompowanie co najmniej trzech objętości wody w otworze. Próbkę powinny być przechowywane w pojemnikach neutralnych chemicznie, z dokładnym opisem: miejsca poboru, głębokości warstwy wodonośnej z której została pobrana, datą, opisem środka utrwalającego (jeśli był zastosowany). Pobrane próbki powinny być przekazane w jak najkrótszym czasie do akredytowanego laboratorium. Minimalny zakres analiz powinien obejmować następujące oznaczenia: temperatura, pH, przewodność elektrolityczna właściwa, tlen rozpuszczony, mętność, ilość zawiesiny, twardość, zasadowość i kwasowość, mineralizacja ogólna, kationy (Na, Mg, K, Ca), aniony (Cl, CO_3^{3-} , HCO_3^{3-} , SO_4^{4-}), całkowity węgiel organiczny (TOC), agresywność (korozyjność) wody w stosunku do stali i betonu.

Dodatkowo zakres badań fizykochemicznych należy rozszerzyć o oznaczenia promieniotwórczych izotopów pierwiastków w celu wyznaczenia „tła” odzwierciedlającego tzw. „stan zerowy” przed wykonaniem inwestycji. Identyfikacja taka jest niezbędna do

rozwiązywania ewentualnych konfliktów związanych z zanieczyszczeniem wód podziemnych, jakie mogą być zidentyfikowane w przyszłości, a które niesłusznie mogą być wiązane z oddziaływaniem projektowanej inwestycji w fazie jej budowy i eksploatacji (np. spowodowanych przez czynniki neogeniczne). Należy szczególnie zwrócić uwagę na metodykę poboru oraz pomiarów próbek wody przeznaczonych do oznaczenia promieniotwórczych izotopów pierwiastków. Zagadnienie to wymaga dodatkowej, dogłębnej analizy.

Opróbowaniem fizykochemicznym powinny być objęte również otwory wywiercone w celu rozpoznania warunków hydrogeologicznych oraz wykonana na etapie budowy i eksploatacji sieć monitoringu wód podziemnych dla planowanego obiektu jądrowego. Pobór próbek wody z tych otworów powinien odbywać się w odstępach nie większych niż 6 miesięcy (zalecane jest co 3 miesiące).

Oznaczeniami należy objąć wszystkie monitorowane struktury wodonośne. Szczególną uwagę należy poświęcić najpłytszemu poziomowi wodonośnemu oraz wszystkim horyzontom wodonośnym pozostającym w bezpośrednim kontakcie ze strukturami obiektu jądrowego.

Równomierne opróbowanie wszystkich zidentyfikowanych poziomów wodonośnych pozwoli na określenie tła hydrogeochemicznego odzwierciedlającego stan przed wybudowaniem obiektu jądrowego.

3.3.3. Kartowanie sozologiczne

Kartowanie sozologiczne pozwoli zidentyfikować istniejące i potencjalne ogniska zanieczyszczeń wód podziemnych w obszarze lokalizacji obiektu jądrowego, które mogą być odpowiedzialne za pogorszenie ich stanu jakościowego obecnie lub w przyszłości. Identyfikacja taka jest niezbędna do rozwiązywania ewentualnych konfliktów związanych z zanieczyszczeniem wód podziemnych, jakie mogą się pojawić w przyszłości, a które niesłusznie mogą być wiązane z oddziaływaniem projektowanej inwestycji w fazie jej budowy i eksploatacji.

Szczegółowe kartowanie sozologiczne obejmuje:

- zbieranie informacji w urzędach gmin na temat:
 - aktualnego i planowanego użytkowania terenu (obszary użytkowane rolniczo, strefy przemysłowe),
 - gospodarki ściekowej (obszary objęte zbiorowym oczyszczaniem, plany w zakresie rozbudowy kanalizacji zbiorczej, dane o oczyszczalniach i miejscach zrzutu ścieków),
 - zakładów uciążliwych dla środowiska gruntowo-wodnego, na terenie gminy,
- zbieranie informacji w urzędach powiatowych i/lub wojewódzkich:
 - raportów o oddziaływaniu na środowisko obiektów zlokalizowanych w obszarze kartowania,

- rolniczego wykorzystania ścieków lub gnojowicy na podstawie pozwoleń wodnoprawnych,
- pozwoleń wodnoprawnych na zrzut ścieków do gruntów,
- zbieranie informacji na miejscu u użytkowników obiektów uznanych za potencjalnie zagrażające środowisku gruntowo-wodnemu. Ponieważ nie zawsze uda się uzyskać od użytkowników wiarygodne informacje, w takim wypadku należy oprzeć się na danych uzyskanych w urzędach gmin prowadzących ewidencję przedsiębiorców, w referatach ochrony środowiska urzędów powiatowych oraz danych z Regionalnych Dyrekcji Ochrony Środowiska,
- weryfikację w terenie informacji opisanych powyżej.

Informacje zebrane na temat istniejących i potencjalnych ognisk zanieczyszczeń wód podziemnych należy zestawić w tabeli zawierającej co najmniej:

- numer obiektu (zgodny z mapą dokumentacyjną),
- adres i nazwę obiektu,
- podstawowe dane o użytkowniku,
- krótką charakterystykę obiektu i jego możliwych oddziaływań na środowisko gruntowo-wodne (rodzaj uciążliwości, sposób postępowania ze ściekami i odpadami, sposób funkcjonowania obiektu, rodzaje zabezpieczeń i inne),
- charakterystykę fizjograficzną terenu w sąsiedztwie obiektu (morfologię, sposób użytkowania terenu),
- ocenę stopnia zagrożenia wód podziemnych ze strony obiektu, uwzględniającą podatność wód na zanieczyszczenie oraz wielkość i rodzaj emitowanych zanieczyszczeń.

Do wykonania mapy sozologicznej niezbędne jest przygotowanie i opracowanie następujących warstw informacyjnych:

- najbardziej istotne elementy planowanego zagospodarowania przestrzennego: infrastruktura drogowa i kolejowa, rurociągi paliw płynnych,
- granice obszarów prawnie chronionych (rezerваты, Parki Narodowe i Krajobrazowe, obszary chronionego krajobrazu oraz obszary NATURA 2000),
- projektowane nowe obszary ochrony przyrody, kierunki osadnictwa – na podstawie wojewódzkich planów zagospodarowania przestrzennego,
- stwierdzone ogniska zanieczyszczeń wód podziemnych (obiekty punktowe, liniowe lub obszarowe),

- potencjalne ogniska zanieczyszczeń wód podziemnych (obiekty punktowe, liniowe lub obszarowe).

3.3.4. Wykonanie otworów badawczych i próbne pompowania

Na podstawie wyników i wniosków prac wykonanych w pierwszej fazie (a zwłaszcza modelu matematycznego), należy w wytypowanych miejscach wykonać piezometry i hydrowęzły w celu uzyskania wiarygodnych danych o zidentyfikowanych poziomach wodonośnych.

Lokalizacja, liczba i głębokość otworów powinna odpowiadać potrzebom pełnego rozpoznania systemu wodonośnego w obrębie obszaru lokalizacji obiektu jądrowego (promień 5 km) oraz w miejscu jego lokalizacji. W warunkach polskich można się zwykle spodziewać kilku poziomów wodonośnych, wobec tego należy przeprowadzić weryfikację, które poziomy wodonośne wymagają monitorowania.

Podczas wiercenia należy dokonywać pomiaru ustabilizowanego zwierciadła wody w każdym napotkanym horyzoncie wodonośnym. Otwory należy wykonać z ciągłym poborem rdzenia wiertniczego. Z każdego wydzielenia litologicznego należy pobierać próbki w celu dokładnego określenia składu granulometrycznej, porowatości efektywnej, odsączalności oraz innych parametrów niezbędnych w konstruowaniu modelu przepływu wód podziemnych i modelu transportu masy i migracji potencjalnych zanieczyszczeń, zwłaszcza radionuklidów mogących uwalniać się z obiektu jądrowego.

W wykonanych otworach obserwacyjnych należy przeprowadzić badania/testy hydrogeologiczne pozwalające na określenie parametrów hydraulicznych poszczególnych poziomów wodonośnych. Rodzaj testu powinien być dostosowany do warunków stwierdzonych w terenie oraz na podstawie danych archiwalnych. Jednym z podstawowych sposobów oceny parametrów hydrogeologicznych są próbne pompowania. Pozwalają na wyznaczenie parametrów hydraulicznych analizowanej warstwy wodonośnej i określenie reakcji systemu wodonośnego w zasięgu oddziaływania pompowania. W trakcie próbnego pompowania, oprócz pomiarów zwierciadła wody w pompowanym otworze, obserwacjami powinny być objęte wszystkie poziomy wodonośne w przypadku których istnieje podejrzenie kontaktu hydraulicznego z badanym poziomem wodonośnym i reakcji na zastosowane wymuszenie.

Po wykonaniu i przepompowaniu każdego otworu zaleca się wykonanie dodatkowych testów i badań przewodności hydraulicznej, stosując np. metodę sztucznej (wymuszonej) zmiany potencjału hydraulicznego w otworze (tzw. „slug test”). Tego typu analiza pozwala na dokładne określenia stanu technicznego otworów obserwacyjnych oraz parametrów hydrogeologicznych strefy przyotworowej (współczynnik filtracji i przewodność warstwy wodonośnej).

Przeprowadzone kartowanie i wyniki wykonanych otworów obserwacyjnych są podstawą do wykonania mapy i przekrojów hydrogeologicznych w skali nie mniejszej niż 1:10 000. Dodatkowo zaleca się sporządzenie map hydrogeologiczno-tematycznych, w tym:

- mapy hydroizohips poziomów wodonośnych stanowiących podstawę dla opracowania schematu krążenia wód i kalibracji modelu matematycznego, wykonane na podstawie datowanych pomiarów poziomu zwierciadła wody,
- mapę jakości wód podziemnych według kryterium przydatności dla zaopatrzenia komunalnego,
- mapę naturalnej odporności (wrażliwości na zanieczyszczenia) poziomu wodonośnego tworzącego główny użytkowy poziom wodonośny wraz z podaniem kierunków przepływu wód podziemnych,
- przekroje hydrogeologiczne.

3.3.5. Ocena naturalnej podatności wód podziemnych pierwszego poziomu wodonośnego na zanieczyszczenie.

Należy również wykonać ocenę naturalnej podatności wód podziemnych. Do oceny naturalnej podatności należy przeanalizować następujące elementy:

- rodzaj utworów powierzchniowych,
- miąższość i litologię strefy aeracji,
- miąższość i rodzaj osadów izolujących w nadkładzie analizowanego poziomu wodonośnego,
- głębokość występowania i wahań I-go zwierciadła wód podziemnych,
- głębokość do stropu poziomów wodonośnych, których podatność na zanieczyszczenie będzie przedmiotem wykonanej oceny,
- różnice naporów hydraulicznych pomiędzy analizowanymi poziomami wodonośnymi.

Mapę naturalnej odporności pierwszego poziomu wodonośnego i/lub głównego poziomu użytkowego zaleca się wykonać na podstawie analizy czasu migracji zanieczyszczeń 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 przepuszczalny 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 poniżej.

Sposób przedstawiony w opracowaniu Kleczkowskiego (red.), 1984 r.

$$t_a = m_a/V_a$$

$$V_a = \frac{1}{n_e} \sqrt[3]{\omega^2 \cdot k}$$

gdzie:

t_a – czas przesączenia [T] [s, min, h, d, a],

m_a – miąższość strefy aeracji [L] [m],

V_a – prędkość przesiąkania [LT^{-1}] [m/s, m/h, m/d],

n_e – porowatość efektywna [-],

k – współczynnik filtracji strefy aeracji [LT^{-1}] [m/s, m/h, m/d],

ω - średnia roczna infiltracja [LT^{-1}] [m/s, m/h, m/d, m/a].

Drugi sposób wskazany przez Witczaka i Żurek (1994):

$$t_a = \sum_1^n \frac{m_i \cdot \omega_o}{I}$$

gdzie

t_a – czas przesączenia [T] [s, min, h, d, a],

m_i – miąższość kolejnych warstw aeracji [L] [m],

ω_o – przeciętna wilgotność objętościowa warstw strefy aeracji [-],

I – infiltracja efektywna poniżej gleby [L/T] [m/d, m/a].

Czas przesiąkania (t_p) przez nadkład słabo przepuszczalnej warstwy lub między warstwami wodonośnymi rozdzielonymi warstwą słabo przepuszczalną:

$$t_p = \frac{m_i^2 \cdot n_e}{k_i \cdot \Delta H}$$

gdzie:

m_i - miąższość warstwy słabo przepuszczalnej [L] [m],

k_i – współczynnik filtracji warstwy słabo przepuszczalnej [L/T] [m/s, m/h, m/d],

n_e – porowatość efektywna [-].

$\Delta H = H_n - H_g$ – różnica ciśnień między warstwą wodonośną o napiętym zwierciadle wody (H_n) i warstwą o swobodnym zwierciadle wody nad warstwą słabo przepuszczalną (H_g) lub - gdy odpowiednio przy różnicy ciśnień między warstwami: $\Delta H = H_1 - H_2$ [L] [m].

Czas przesiąkania między warstwami w obszarze zbiornika i jego otoczenia winien być określany w badaniach modelowych.

3.3.6. Modelowanie matematyczne

Celem prac modelowych na tym etapie jest:

- sporządzenie matematycznego modelu nieustalonego przepływu wód i transportu masy w wodach podziemnych w obszarze lokalizacji obiektu jądrowego (z wykorzystaniem matematycznego modelu ustalonego przepływu wód podziemnych w regionie lokalizacji obiektu jądrowego),
- ustalenie zasięgu i zakresu potencjalnego zagrożenia skażeniem promieniotwórczym wód podziemnych po upływie 1 roku, 3 lat, 5 lat, 15 lat, 25 lat i 50 lat od wystąpienia potencjalnej awarii obiektu jądrowego.

Model matematyczny obszaru lokalizacji stanowi weryfikację (oraz jednocześnie aktualizację) modelu hydrogeologicznego opracowanego na etapie rozpoznania regionu lokalizacji obiektu jądrowego i określa natężenie oraz strukturę strumienia wód podziemnych w granicach tego regionu z uszczegółowieniem i doprecyzowaniem w obszarze lokalizacji i bezpośrednim sąsiedztwie miejsca usytuowania obiektu. Wykorzystując zagęszczenie siatki obliczeniowej w obszarze lokalizacji i miejscu planowanego usytuowania oraz nowe dane uzyskane w trakcie rozpoznania obszaru lokalizacji należy doprecyzować model wykonując jego ponowną kalibrację. Tym samym model numeryczny przepływu będzie przygotowany do symulacji transportu radionuklidów uwolnionych awaryjnie z obiektu jądrowego do wód podziemnych.

Dodatkowym celem prac modelowych w etapie II jest prognoza zmian dynamiki wód podziemnych w wyniku posadowienia obiektu jądrowego. Prognoza ta powinna określić potencjalne zmiany układu hydrodynamicznego oraz lokalnych kierunków przepływu wód podziemnych. Powinna umożliwić także ocenę wielkości ograniczenia przepływu wód przez obiekt jądrowy i elementy towarzyszące oraz zagrożenie piętrzenia wód podziemnych i ryzyko występowania podtopień w wyniku piętrzenia wód podziemnych. Tym samym prognoza wykaże także ewentualny wpływ posadowienia obiektu jądrowego na eksploatowane w sąsiedztwie ujęcia wód podziemnych.

Jednocześnie na tym etapie model matematyczny powinien pokazać potencjalne drogi (trajektorie) migracji zanieczyszczeń (zwłaszcza radionuklidów) w przypadku awaryjnego uwolnienia ich z obiektu jądrowego.

Dla przeprowadzenia symulacji migracji uwalnianych awaryjnie radionuklidów należy w oparciu o określone scenariusze awaryjne określić miejsca i natężenie strumienia uwalnianych radionuklidów oraz czas trwania emisji.

3.3.7. Ocena warunków hydrogeologicznych

Podsumowaniem II etapu prac będzie:

- Analiza zgromadzonych danych archiwalnych, wyników wykonanych prac/robót geologicznych oraz przeprowadzonych obserwacji i pomiarów w zakresie niezbędnym do wykonania prognozy zmian dynamiki wód podziemnych i migracji skażeń promieniotwórczych w wodach podziemnych,
- Sporządzenie matematycznego modelu nieustalonego przepływu wód podziemnych w obszarze lokalizacji obiektu jądrowego (z wykorzystaniem matematycznego modelu ustalonego przepływu wód podziemnych w regionie lokalizacji obiektu jądrowego),
- Symulacja dynamiki wód podziemnych dla stanu poprzedzającego budowę obiektu jądrowego w warunkach sezonowej, rocznej i wieloletniej zmienności zasilania wód podziemnych infiltracją opadów, obejmująca ustalenie:
 - średniego i ekstremalnych stanów położenia zwierciadła pierwszego poziomu wodonośnego,
 - średniego i ekstremalnych stanów zwierciadła piezometrycznego w głębszych użytkowych poziomach wodonośnych,
 - kierunków przepływu wód podziemnych w warunkach ww. stanów zwierciadła wód podziemnych,
 - wydatku odpływu wód podziemnych do wód powierzchniowych (rzek, jezior, Bałtyku) w warunkach ww. stanów zwierciadła wód podziemnych.
- Przeprowadzenie modelowej prognozy dynamiki wód podziemnych dla okresu budowy obiektu jądrowego w fazie odwadniania wykopów w warunkach sezonowej, rocznej i wieloletniej zmienności zasilania wód podziemnych infiltracją opadów,
- Przeprowadzenie modelowej prognozy dynamiki wód podziemnych dla okresu eksploatacji obiektu jądrowego w warunkach sezonowej, rocznej i wieloletniej zmienności zasilania wód podziemnych infiltracją opadów,
- Ustalenie zasięgu i zakresu prognozowanych zmian dynamiki wód podziemnych wywołanych budową i eksploatacją obiektu jądrowego oraz czasu uformowania się stabilizacji dynamiki po zakończeniu prac budowlanych związanych z obiektem jądrowym, ze szczególnym uwzględnieniem potencjalnych dróg rozprzestrzeniania się skażeń promieniotwórczych w przypadku awarii z emisją substancji promieniotwórczych do wód podziemnych.

3.3.8. Przedstawienie wyników prac II etapu

Wynikiem prac prowadzonych w II etapie będzie uszczegółowienie rozpoznania budowy geologicznej, warunków hydrogeologicznych i krążenia wód podziemnych w rejonie

miejsca usytuowania obiektu jądrowego oraz ocena składu chemicznego wraz z oceną agresywności tych wód i tła hydrochemicznego w odniesieniu do podstawowych składników oraz potencjalnych zanieczyszczeń związanych z funkcjonowaniem obiektu jądrowego oraz infrastruktury towarzyszącej. Podsumowaniem tych prac będzie ostateczny model matematyczny krążenia wód podziemnych w rejonie obiektu, który będzie wykorzystywany do symulowania przepływu wód oraz transportu masy i migracji zanieczyszczeń uwalnianych do środowiska w wyniku zdarzeń awaryjnych.

Wyniki prac realizowanych w ramach II etapu rozpoznania warunków hydrogeologicznych powinny zostać zakończone opracowaniem dokumentacji hydrogeologicznej określającej warunki hydrogeologiczne w związku z zamierzonym wykonywaniem przedsięwzięć mogących negatywnie oddziaływać na wody podziemne, w tym powodować ich zanieczyszczenie. Dokumentacja ta ma być podsumowaniem wszystkich badań wykonanych na potrzeby oceny warunków hydrogeologicznych oraz zebraniem uzyskanych wyników. Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i geologiczno-inżynierskiej, przedmiotowa dokumentacja powinna zawierać:

- nazwę i lokalizację projektowanego przedsięwzięcia,
- charakterystykę rozwiązań technicznych i technologicznych projektowanego przedsięwzięcia,
- opis zakresu i wyników wykonanych badań w stosunku do projektu prac geologicznych lub projektu robót geologicznych,
- opis sposobu użytkowania terenu w sąsiedztwie projektowanego przedsięwzięcia, wskazanie istniejących obszarów objętych ochroną i projektowanych takich obszarów, opis warunków zaopatrzenia w wodę, lokalizacji ujęć wód podziemnych i ich stref ochronnych, opis morfologii terenu oraz sieci hydrograficznej w rejonie projektowanego przedsięwzięcia,
- opis budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych, w szczególności głębokości do pierwszego poziomu wodonośnego, liczby poziomów wodonośnych, miąższości i przepuszczalności nadkładu, więzi hydraulicznej z wodami powierzchniowymi, kierunku i prędkości przepływu wód podziemnych oraz wielkości sezonowych wahań położenia zwierciadła wód podziemnych,
- charakterystykę parametrów hydrogeologicznych na podstawie badań przeprowadzonych w wykonanych otworach badawczych,
- charakterystykę właściwości fizycznych i składu chemicznego wód podziemnych na podstawie wykonanych badań oraz prognozę ich zmian w wyniku oddziaływania projektowanego przedsięwzięcia,
- opis rodzaju, charakteru i stopnia zagrożeń dla środowiska na etapie realizacji projektowanego przedsięwzięcia, jego eksploatacji i likwidacji oraz w przypadku awarii, ze wskazaniem możliwości zanieczyszczenia gruntów i wód podziemnych oraz czasu i zasięgu migracji potencjalnych zanieczyszczeń,

- wskazania i zalecenia dotyczące konieczności ograniczenia rozmiarów projektowanego przedsięwzięcia lub wprowadzenia rozwiązań w celu ograniczenia jego wpływu na środowisko,
- wskazania co do zabezpieczenia przed oddziaływaniem projektowanego przedsięwzięcia na środowisko podczas likwidacji tego przedsięwzięcia,
- zalecenie dla podmiotu, który zamówił dokumentację, dotyczące prowadzenia monitoringu jakości wód podziemnych.

Część graficzna dokumentacji powinna zawierać:

- mapę przeglądową z lokalizacją terenu przeprowadzonych prac geologicznych,
- mapę dokumentacyjną sporządzoną na podkładzie topograficznym z zaznaczonymi lokalizacją terenu projektowanego przedsięwzięcia, ujęć wód podziemnych i otworów wiertniczych, punktów badawczych, siecią monitoringu wód, liniami przekrojów hydrogeologicznych i przebiegiem sieci hydrograficznej, granicami zbiorników wód podziemnych i ich obszarów ochronnych - jeżeli takie obszary zostały ustanowione, granicami obszarów i terenów górniczych oraz granicami obszarów objętych ochroną i terenów ochrony pośredniej ujęć wód podziemnych,
- mapę hydrogeologiczną poziomu wodonośnego istotnego ze względu na zagrożenie jakości wód podziemnych, zawierającą w szczególności hydroizohipsy wykreślone na podstawie datowanych pomiarów poziomu zwierciadła wód podziemnych,
- przekroje hydrogeologiczne,
- wykresy wyników wykonanych próbnych pompowań i innych badań prowadzonych w otworach,
- zestawienia zbiorcze wyników wierceń,
- wyniki badań fizyczno-chemicznych i bakteriologicznych wody,
- wyniki pozostałych badań wykonanych w celu określania warunków hydrogeologicznych.

Dokumentację zatwierdza właściwy terytorialnie organ administracji geologicznej.

Wyniki przeprowadzonych analiz przedstawione w dokumentacji powinny zawierać założenia prowadzonych symulacji, potencjalne zagrożenia dla środowiska i wód podziemnych oraz trajektorie i zasięg migracji radionuklidów dla poszczególnych scenariuszy.

Ponieważ 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, Dz. U. 2010, nr 213, poz. 1397 z późn. zm.) 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 będzie podstawą do opracowania oceny oddziaływania na wody podziemne planowanego obiektu jądrowego, realizowanej zgodnie z wymaganiami ustawy z dnia 3 października 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 z późn. zm.).

3.4. Zalecenia dla etapu budowy i eksploatacji

Na podstawie wyników i wniosków z prac lokalizacyjnych, ze szczególnym uwzględnieniem wyników symulacji modelu matematycznego, a także projektu technicznego obiektu jądrowego, wraz z ostateczną jego lokalizacją oraz lokalizacją obiektów i infrastruktury towarzyszącej, należy zaprojektować sieć monitoringu lokalnego. Rozbudowując sieć piezometrów i hydrowęzłów (zaleca się wykorzystać również punkty badawcze, które były wykonane dla potrzeb lokalizacji obiektu), należy przede wszystkim dążyć do tego by wszystkie poziomy wodonośne zostały objęte możliwie równomierną siecią monitoringową. Projektując sieć monitoringu wód podziemnych należy mieć na uwadze, iż monitoring powinien być prowadzony na etapie budowy jak również funkcjonowania (eksploatacji) obiektu jądrowego. Lokalizacja punktów monitoringowych musi być dostosowana do lokalizacji obiektu oraz przewidywanych scenariuszy uwolnienia zanieczyszczeń (radionuklidów), częstotliwość opróbowania dostosowana do prędkości przepływu wód podziemnych i rodzaju zakładanych zagrożeń, a zakres analiz powinien uwzględniać charakter obiektu jądrowego i potencjalnych izotopów lub związków, które mogą być uwolnione do środowiska w wyniku awarii.

Projekt monitoringu wód podziemnych powinien obejmować wskazania dotyczące poziomów wodonośnych, które powinny być monitorowane, lokalizacji i konstrukcji punktów monitoringowych oraz częstotliwości i zakresu pomiarów i analiz, które powinny być wykonywane w tych punktach.

Dla wykonania sieci monitoringu wód podziemnych, wymagającej prowadzenia robót geologicznych, niezbędne jest opracowanie projektu robót geologicznych na wykonanie piezometrów (zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów robót geologicznych, w tym robót, których wykonywanie wymaga uzyskania koncesji. Po ich wykonaniu należy opracować inną dokumentację geologiczną, w której zostaną przedstawione wyniki wykonanych prac. Zakres tej dokumentacji określony jest w rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących innej dokumentacji geologicznych (Dz. U. 2011, nr 291, poz. 1714).

Monitoring wód podziemnych

W istniejących i wykonanych piezometrach i innych otworach obserwacyjnych należy zamontować aparaturę do ciągłego pomiaru głębokości zwierciadła wody. Zbieranie danych

i weryfikacja na podstawie pomiarów bezpośrednich powinna być na tyle częsta (optymalna częstotliwość to ok. 4 tygodnie) by luki w pomiarach, spowodowane ewentualnymi usterkami sprzętu pomiarowego, nie miały istotnego wpływu na uzyskane wnioski z obserwacji.

Pobór próbek wody z istniejących i nowo wykonanych otworów obserwacyjnych powinien odbywać się w odstępach nie większych niż 6 miesięcy (zalecany jest co 3 miesiące). Oznaczenia powinny być wykonywane jednocześnie z pomiarami zwierciadła wody w otworach studziennych. Przed pobraniem próbki należy przepompować otwór – wymagana jest minimum trzykrotna wymiana wody w otworze. Próbki powinny być przechowywane w pojemnikach neutralnych chemicznie, z dokładnym opisem: miejsca poboru, głębokości warstwy wodonośnej, z której została pobrana, datą, opisem środka utrwalającego (jeśli był zastosowany). Pobrane próbki powinny być przekazane jak najszybciej do akredytowanego laboratorium. W sieci otworów monitoringowych należy prowadzić kolejne obserwacje w zakresie nie mniejszym niż w etapie II. Minimalny zakres analiz powinien obejmować następujące oznaczenia: temperatura, pH, przewodność elektrolityczna właściwa, tlen rozpuszczony, mętność, ilość zawiesiny, twardość, zasadowość i kwasowość, mineralizacja ogólna, kationy (Na, Mg, K, Ca), aniony (Cl, CO_3^{3-} , HCO_3^- , SO_4^{4-}), całkowity węgiel organiczny (TOC), agresywność (korozyjność) wody na beton oraz oznaczenia promieniotwórczych izotopów odpowiednich pierwiastków (ich ilość i rodzaj jest uzależniona od zagrożenia stwarzanego przez dany rodzaj reaktora). Jeżeli zaistnieje taka potrzeba zakres analiz powinien być rozszerzony o wskazane elementy. Przykładem może być wzrost mineralizacji nie wynikający ze zmian zawartości dotychczas analizowanych związków i pierwiastków lub nie w pełni uzasadnione wahania zwierciadła w analizowanych poziomach wodonośnych.

Modelowanie matematyczne

Opracowany we wcześniejszych etapach model powinien być weryfikowany w miarę uzyskiwania nowych wyników, w tym wyników z wykopów w trakcie budowy oraz danych pozyskiwanych z monitoringu lokalnego. Model powinien stać się własnością użytkownika/operatora obiektu, jednocześnie powinien być także udostępniony dozorowi jądrowemu.

4. Weryfikacja uzyskanych informacji

Zebrane dane wymagają weryfikacji w zgodności z kolejnymi etapami dokumentowania przy opracowywaniu modelu geologicznego/hydrogeologicznego oraz odpowiedniej dokumentacji.

Zgodnie z opisem podanym przez Kowalskiego (1988), pierwszymi podstawowymi kryteriami zapewnienia jakości przy ocenie lokalizacji są: wiedza i doświadczenie osób dokumentujących w danym regionie i zakresie, tj. ich znajomość problematyki budowy geologicznej danego regionu i w danej dziedzinie – w przypadku niniejszych wytycznych – dokumentowania geologiczno-inżynierskiego i hydrogeologicznego.

Kolejne warunki zapewnienia jakości powinny wynikać bezpośrednio z programu zleconodawcy i wykonawcy badań oraz wymogów odpowiedniej dokumentacji. Powinny one także dotyczyć wszystkich rodzajów analiz, a zatem: archiwalnych, terenowych, laboratoryjnych, a w końcu – prac studialnych nad dokumentacją geologiczno-inżynierską, która ma dostarczyć projektantowi wiedzy na temat możliwych utrudnień ze strony podłoża przy posadawianiu i eksploatacji obiektu. W przypadku obiektów jądrowych istota tego zagadnienia staje się szczególnie ważna.

Kolejne dwa nadrzędne warunki zapewnienia jakości badań lokalizacyjnych to integralność i kompleksowość danych, o czym napisano w rozdziale 2.3 - Kompleksowa i zintegrowana baza danych.

Kompleksowość danych dotyczy ich kompletności, tj. takiego doboru badań, by uzyskać informacje istotne dla udokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby projektowania, budowy i eksploatacji obiektu jądrowego.

Integralność danych dotyczy zapewnienia ich spójności w dwóch aspektach: w aspekcie interpretacyjnym, szczególnie istotnym dla danych archiwalnych i pozyskanych w ramach bieżących badań, oraz w aspekcie interdyscyplinarnym, tj. dla wykorzystania danych dotyczących analizy określonego zakresu w szerszym kontekście, np.: oceny sejsmiczności, tektoniki, czy projektowania.

Omawiając zagadnienie etapowo, minimalne wymogi zapewnienia jakości podano poniżej.

Na etapie analizy danych archiwalnych i historycznych, sprawdzenie pod kątem:

- kompletności, tj. identyfikacji konieczności uzupełnienia dodatkowymi badaniami i analizami). W przypadku braku wystarczających informacji o danym zjawisku, lub gdy badania nie są wystarczająco szczegółowe, a w warunkach danej lokalizacji istnieje podejrzenie, że może wpływać to niekorzystnie na obiekt, należy zaprojektować dodatkowe badania dla dalszego uszczegółowienia,
- dokładności, tj. sprawdzenia, jak dokładnie metoda wykorzystana w przeszłości określała informacje (np.: próg pomiarowy, wykrywalności itp.),

- kompatybilności ze współcześnie otrzymywanymi wynikami, co często oznacza reinterpretację dostępnych danych.

Dane pozyskane z badań terenowych i laboratoryjnych mogą, w zależności od warunków terenowych i jakości próbek, wymagać uzupełnienia – np. powtórzenia części z nich lub zastosowania dodatkowych (wspomagających, potwierdzających) badań – także innymi metodami. Należy zaprojektować zakres badań uzupełniających tak, by uzyskać możliwie najdokładniejsze wyniki. Podobnie, jak w przypadku analiz dokumentacji archiwalnych, mają zastosowanie warunki zapewnienia kompletności, dokładności i kompatybilności tych danych.

Zapewnienie odpowiedniej jakości na etapie opracowania dokumentacji zapewnia model wielostopniowej weryfikacji. Dobrą praktyką jest prowadzenie trójstopniowego modelu weryfikacji „sporządzający – sprawdzający – weryfikujący”, przy czym w zależności od siatki podmiotów realizujących projekt, model ten może być ustanowiony dwojako:

- sprawdzanie i weryfikacja wewnątrz każdej jednostki wykonującej poszczególne analizy, zgodnie z wymogami zleceniodawcy, gdzie zleceniodawca jest ostatecznym sprawdzającym i weryfikatorem,
- opracowanie leży po stronie podmiotów wykonujących poszczególne analizy, zaś zleceniodawca, o ile posiada kompetencje i wiedzę (w postaci własnej wiedzy eksperckiej zespołu lub organu nadzoru inwestorskiego), bierze na siebie cały ciężar sprawdzenia i weryfikacji.

Wybór modelu zapewnienia jakości zależy zatem w znacznej mierze od organizacji wszelkich prac dokumentacyjnych, w tym liczby osób lub/i podmiotów zaangażowanych w ich opracowanie.

5. Literatura i akty prawne

5.1. Akty prawne

- [1] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2011 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów robót geologicznych, w tym robót, których wykonywanie wymaga uzyskania koncesji (Dz. U. 2011, nr 288, poz. 1696).
- [2] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 maja 2014 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i geologiczno-inżynierskiej (Dz. U. 2014, poz. 596).
- [3] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 15 grudnia 2011 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących innych dokumentacji geologicznych (Dz. U. 2011, nr 282, poz. 1656).
- [4] 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 (Dz. U. 2012, poz. 1025).
- [5] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz. U. 2012, poz. 463).
- [6] Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe (Dz. U. 2012, poz. 264 z późn. zm.).
- [7] Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze (Dz. U. 2011, nr 163, poz. 981 z późn. zm.).
- [8] 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 z późn. zm.).
- [9] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (Dz. U. 2013, poz. 1409 z późn. zm.).
- [10] Ustawa z dnia 3 października 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 z późn. zm.).
- [11] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 14 listopada 2012 r. w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych (Dz. U. 2012, poz. 1247).
- [12] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz. U. 2002, nr 165, poz. 1359).

- [13] 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 póź. zm.).
- [14] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 czerwca 2007 r. w sprawie informacji dotyczących ruchów masowych ziemi (Dz. U. 2007, nr 121, poz. 840,).

5.2. Instrukcje, wytyczne

- [15] Bażyński J., Drągowski A., Frankowski Z., Kaczyński R., Rybicki St., Wysokiński L., 1999, Zasady sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich, PIG Warszawa.
- [16] Frankowski Z., Godlewski T., Irmiński W., Łukasik S., Majer E., Nałęcz T., Sokołowska M., Wołkowicz W., Chada K., Choromański D., Gałkowski P., Jaśkiewicz K., Jurys L., Kaczyński Ł. , Madej M., Majer K., Pietrzykowski P., Samel I., Wszędyrówny-Nast M., 2012, Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla potrzeb rekultywacji terenów zdegradowanych, Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- [17] Frankowski Z., Graniczny M., Juszkiwicz-Bednarczyk B., Kramarska R., Pruszek Z., Przedziecki P., Szmytkiewicz M., Werno M., Zachowicz J., 2009, Zasady dokumentowania geologiczno-inżynierskich warunków posadowienia obiektów budownictwa morskiego i zabezpieczeń brzegu morskiego. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- [18] Instrukcja sporządzania mapy warunków geologiczno-inżynierskich w skali 1:10 000 i większej dla potrzeb planowania przestrzennego w gminach. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, 1999.
- [19] Kłosiński B., Bażyński J., Frankowski Z., Kaczyński R., Wierzbicki S., 1998, Instrukcja badań podłoża gruntowego budowli drogowych i mostowych. Część 1 i 2. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych.
- [20] Safety Guide No. NS-G-3.6: Geotechnical Aspects of Site Evaluation and Foundations for Nuclear Power Plants.
- [21] Safety Requirements No. NS-R-3: Site Evaluation for Nuclear Installations.
- [22] Safety Guide No. NS-G-3.1: External Human Induced Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants.
- [23] Specific Safety Guide No. SSG-18: Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations.
- [24] Specific Safety Guide No. SSG-9: Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations for protecting people and the environment.
- [25] Wysokiński L., 2011, Ocena stateczności skarp i zboczy. Zasady wyboru zabezpieczeń. Instrukcja ITB nr 424/2011, Warszawa.

5.3. Normy

- [26] PN-EN 1997-1:2008: Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
- [27] PN-EN 1997-2:2009: Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badania podłoża gruntowego.
- [28] PN-B-04481:1988 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu.
- [29] PN-B-02481:1998 Geotechnika – Terminologia podstawowa, symbole literowe i jednostki miar.
- [30] PN-EN ISO 14688-1:2006 Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. Część 1: Oznaczenie i opis.
- [31] PN-EN ISO 14688-2:2006 Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania.
- [32] PN-EN ISO 14689-1:2006 Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie skał. Część 1: Oznaczenie i opis.
- [33] PN-EN ISO 5667-1:2008 Jakość wody. Pobieranie próbek. Część 1: Wytyczne dotyczące opracowywania programów pobierania próbek i technik pobierania.
- [34] PN-EN ISO 5667-3:2013-05E Jakość wody – Pobieranie próbek – Część 3: Utrwalanie i postępowanie z próbkami wody.
- [35] PN-ISO 5667-9:2005 Jakość wody. Pobieranie próbek. Część 9: Wytyczne dotyczące pobierania próbek wód morskich.
- [36] PN-ISO 5667-11:2004 Jakość wody Pobieranie próbek Część 11: Wytyczne dotyczące pobierania próbek wód podziemnych.
- [37] PN-ISO 5667-14:2004 Jakość wody. Pobieranie próbek. Część 14: Wytyczne dotyczące zapewnienia jakości podczas pobierania próbek wód środowiskowych i postępowania z nimi.
- [38] PN-ISO 5667-18:2004 Jakość wody. Pobieranie próbek. Część 18: Wytyczne dotyczące pobierania próbek wód podziemnych w miejscach zanieczyszczonych.
- [39] PN-B-06715:1988 studnie wiercone. Piaski i żwiry filtracyjne.
- [40] PN-G-02318:1994 Studnie wiercone. Zasady projektowania, wykonania i odbioru.

5.4. Literatura

- [41] Dąbrowski S., Kapuściński J., Nowicki K., Przybyłek J., Szczepański J., 2010, *Metodyka modelowania matematycznego w badaniach i obliczeniach hydrogeologicznych – poradnik*. Ministerstwo Środowiska, Poznań.

- [42] Dębski W., 2013, Zalecenia techniczne Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki dotyczące oceny sejsmiczności podłoża dla lokalizacji obiektów jądrowych, Warszawa.
- [43] Dobak P., Drągowski A., Frankowski Z., 2011, Geologiczno-inżynierskie aspekty wyboru lokalizacji elektrowni jądrowych w Polsce, Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego 446:19-28, PIG, Warszawa.
- [44] Dziwiniel J., 1978, Geofizyka. Metody geofizyczne. Wydawnictwo Geologiczne. Warszawa.
- [45] Glazer Z., Malinowski J., 1991, Geologia i geotechnika dla inżynierów budownictwa. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
- [46] Grabowski D., Marciniak P., Mrozek T., Nescieruk P., Rączkowski W., Wójcik A., Zimnal Z., 2008, Instrukcja opracowania mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- [47] Herbich P. i in., Wskazania metodyczne dla opracowania warstw informacyjnych bazy danych GIS Mapy hydrogeologicznej Polski „pierwszy poziom wodonośny – wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość wód” Praca niepublikowana, wykonana na zamówienie Ministerstwa Środowiska.
- [48] Herbich P. i in., 2004, Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, udostępnianie, weryfikacja, aktualizacja i rozwój. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- [49] Herbich P., Kapuściński J., Nowicki K., Prażak J., Skrzypczyk L., 2009, Metodyka wyznaczania obszarów ochronnych głównych zbiorników wód podziemnych dla potrzeb planowania i gospodarowania wodami w obszarach dorzeczy. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.
- [50] Herbich P., Kapuściński J., Nowicki K., Rodzoch A., 2013, Metodyka określania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w obszarach bilansowych z uwzględnieniem potrzeb jednolitych bilansów wodnogospodarczych. Poradnik metodyczny. Ministerstwo Środowiska Warszawa.
- [51] Kleczkowski A.S. i in., 1984, Ochrona wód podziemnych. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- [52] Konon A. i in., 2014, Zalecenia techniczne Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki dotyczące oceny stabilności tektonicznej podłoża i aktywności uskoku dla lokalizacji obiektów jądrowych, Warszawa.
- [53] Kowalski W. C., 1988, Geologia Inżynierska, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- [54] Kowalski W. C. (red.), 1975, Aktualne problemy geologii inżynierskiej, Materiały zebrane z okazji II międzynarodowego kongresu

międzynarodowej asocjacji geologii inżynierskiej IAEG w Sao Paulo 18-24 VIII 1974, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.

- [55] Krogulec E., 2004, Ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w dolinie rzecznej na podstawie przesłanek hydrodynamicznych. Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- [56] Kulma R., Zdechlik R., 2009, Modelowanie procesów filtracji. AGH, Uczelniane wydawnictwa naukowo dydaktyczne Kraków.
- [57] Liszkowski J., 1998, Współczesne problemy geologii inżynierskiej w Polsce, Materiały II Ogólnopolskiego Sympozjum w Kiekrzu k/Poznań, 28-30 maja 1998.
- [58] Majer E., Sokołowska M., Ryżyński G., 2013, Identyfikacja ryzyka geologicznego w procesie inwestycyjnym, Materiały konferencyjne, XXVIII Ogólnopolskie Warsztaty Projektanta Konstrukcji, T I, s: 305-342, Wiśła.
- [59] Malinowski J., 1960, Geologia Inżynierska, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- [60] Małecki J. (red), Nawalany M., Witczak S., Gruszczyński T., 2006, Wyznaczanie parametrów migracji zanieczyszczeń w ośrodku porowatym dla potrzeb badań hydrogeologicznych i ochrony środowiska. Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa;
- [61] Milsom J., 2003, Field Geophysics, University College London.
- [62] Mayne i in., 2009, GeoMaterial behavior and testing. Proc. 17th Int. Conf. Soil Mechanics & Geotechnical Engineering, Vol. 4 (ICSMGE, Alexandria, Egypt, Millpress/IOS Press Rotterdam.
- [63] Stenzel P., Szymanko J., 1973, Metody geofizyczne w badaniach hydrogeologicznych i geologiczno-inżynierskich.