



PAŃSTWOWA
AGENCJA
ATOMISTYKI

Zalecenia techniczne

Prezesa Państwowej
Agencji Atomistyki

dotyczące

oceny sejsmiczności
podłoża dla lokalizacji
obiektów jądrowych

Zalecenia techniczne

Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki

dotyczące

oceny sejsmiczności podłoża

dla lokalizacji obiektów jądrowych

Warszawa, 2013

Państwowa Agencja Atomistyki
ul. Krucza 36
00-522 Warszawa

Praca powstała na podstawie materiałów opracowanych przez:

1. Zespół Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk w składzie:

Dr hab. Wojciech Dębski, prof. PAN

Dr hab. inż. Beata Orlecka-Sikora

Dr Mariusz Majdański

Dr Łukasz Rudziński

Dr Marcin Sufin

Dr Paweł Wiejacz

Mgr inż. Maria Kozłowska

konsultacja:

Prof. dr hab. Stanisław Lasocki - Instytut Geofizyki Polskiej Akademii Nauk

Prof. Andrzej Kijko - Aon-Benfield Natural Hazard Centre, Pretoria University,
Pretoria, South Africa

2. Zespół Akademii Górniczo-Hutniczej w składzie:

Prof. dr hab. inż. Kaja Pietsch

Dr inż. Janusz Mirek

3. Dr hab. inż. Piotra Krzywca, prof. PIG-PIB

ABSTRAKT

Zgodnie z art. 110 pkt 3 ustawy z dnia 29 listopada 2000 r. - Prawo atomowe (Dz. U. z 2012 r. poz. 264 z późn. zm.), do zakresu działania Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki („PAA”) należy wykonywanie zadań związanych z zapewnieniem bezpieczeństwa jądowego i ochrony radiologicznej kraju, a w szczególności wydawanie zaleceń technicznych i organizacyjnych w sprawach bezpieczeństwa jądowego 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.

Niniejsze zalecenia Prezesa PAA mają na celu wskazanie podejścia dozorowego PAA do oceny sejsmiczności podłoża dla lokalizacji obiektów jądowych oraz najlepszej „drogi” do spełnienia wymagań wynikających 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 jądowego, przypadków wykluczających możliwość uznania terenu za spełniający wymogi lokalizacji obiektu jądowego oraz w sprawie wymagań dotyczących raportu lokalizacyjnego dla obiektu jądowego (Dz. U. z 2012 r., poz. 1025), dalej zwanym rozporządzeniem lokalizacyjnym. Chociaż niniejsze zalecenia stanowią obszernie omówienie zagadnienia oceny sejsmiczności podłoża oraz omówienie metodyki oceny prawdopodobieństwa wystąpienia wstrząsów sejsmicznych oraz metodyki oceny hazardu sejsmicznego, w żadnym wypadku nie mogą być uważane za ostateczne.

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

Zgodnie z art. 36a ust. 4 ustawy – Prawo atomowe w procesie lokalizacji obiektu jądowego 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 jądowego. 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.

Zgodnie z Art. 34 ustawy – Prawo atomowe zabronione jest wykonywanie przez jednostkę organizacyjną działalności związanej z narażeniem, polegającej na budowie, rozruchu, eksploatacji lub likwidacji obiektu jądowego w sytuacji, w której jednostka ta nie spełnia wymagań bezpieczeństwa jądowego, ochrony radiologicznej, ochrony fizycznej lub zabezpieczeń materiałów jądowych.

Zgodnie z art. 35b ust. 1 ustawy – Prawo atomowe obiekt jądowy lokalizuje się na terenie, który umożliwia zapewnienie bezpieczeństwa jądowego, ochrony radiologicznej i ochrony fizycznej podczas rozruchu, eksploatacji i likwidacji tego obiektu, a także przeprowadzenie sprawnego postępowania awaryjnego w przypadku wystąpienia zdarzenia radiacyjnego. Przed wyborem lokalizacji obiektu jądowego inwestor przeprowadza badania i pomiary terenu, a na ich podstawie ocenę terenu przeznaczonego pod lokalizację obiektu jądowego. Ocena ta dotyczy:

- 1) warunków sejsmicznych, tektonicznych, geologiczno-inżynierskich, hydrogeologicznych, hydrologicznych i meteorologicznych;
- 2) zdarzeń zewnętrznych będących skutkiem działalności człowieka;
- 3) zdarzeń zewnętrznych będących skutkiem działania sił przyrody;
- 4) gęstości zaludnienia i sposobu zagospodarowania terenu;
- 5) możliwości realizacji planów postępowania awaryjnego w sytuacji wystąpienia zdarzenia radiacyjnego.

Na podstawie oceny terenu przeznaczonego pod lokalizację obiektu jądrowego inwestor opracowuje raport lokalizacyjny i przedstawia go Prezesowi PAA. Raport lokalizacyjny podlega ocenie Prezesa PAA w toku postępowania o wydanie zezwolenia na budowę obiektu jądrowego.

Spis treści

ABSTRAKT	4
I. WSTĘP	8
II. ZALECENIA DOTYCZĄCE OCENY SEJSMICZNOŚCI NATURALNEJ	13
II.1. OCENA SEJSMICZNOŚCI NATURALNEJ - ETAP 1	15
<i>II.1.1. Budowa podłoża</i>	15
II.1.1.1. Niezbędne dane i informacje	15
II.1.1.2. Sposób pozyskania	15
II.1.1.3. Ocena wiarygodności i spodziewana metodyka interpretacji	17
<i>II.1.2. Analiza aktywności uskoków</i>	17
II.1.2.1. Niezbędne dane i informacje	17
II.1.2.2. Sposób pozyskania	17
II.1.2.3. Ocena wiarygodności i zalecana metodyka interpretacji	18
<i>II.1.3. Informacja o sejsmiczności</i>	18
II.1.3.1. Niezbędne dane i informacje	18
II.1.3.2. Sposób pozyskania	18
II.1.3.3. Ocena wiarygodności i zalecana metodyka interpretacji	19
II.2. OCENA SEJSMICZNOŚCI NATURALNEJ - ETAP 2	19
<i>II.2.1. Budowa podłoża</i>	19
II.2.1.1. Niezbędne dane i informacje	19
II.2.1.2. Sposób pozyskania	20
II.2.1.3. Ocena wiarygodności i zalecana metodyka interpretacji	20
<i>II.2.2. Analiza aktywności uskoków</i>	20
II.2.2.1. Niezbędne dane i informacje	21
II.2.2.2. Sposób pozyskania	21
II.2.2.3. Ocena wiarygodności i zalecana metodyka interpretacji	21
<i>II.2.3. Informacja o sejsmiczności</i>	22
II.2.3.1. Niezbędne dane i informacje	22
II.2.3.2. Sposób pozyskania	22
II.2.3.3. Ocena wiarygodności i zalecana metodyka interpretacji	22
II.3. OCENA SEJSMICZNOŚCI NATURALNEJ - ETAP 3	23
<i>II.3.1. Budowa podłoża</i>	23
II.3.1.1. Niezbędne dane i informacje	23
II.3.1.2. Sposób pozyskania	24
II.3.1.3. Ocena wiarygodności i zalecana metodyka interpretacji	24
<i>II.3.2. Analiza aktywności uskoków</i>	25
II.3.2.1. Niezbędne dane i informacje	25
II.3.2.2. Sposób pozyskania	25
II.3.2.3. Ocena wiarygodności i zalecana metodyka interpretacji	25
<i>II.3.3. Informacja o sejsmiczności</i>	26
II.3.3.1. Niezbędne dane i informacje	26
II.3.3.2. Sposób pozyskania	26
II.3.3.3. Ocena wiarygodności i zalecana metodyka interpretacji	27
III. ZALECENIA DOTYCZĄCE OCENY SEJSMICZNOŚCI INDUKOWANEJ	28
III.1. WSTĘP	28
III.2. BUDOWA PODŁOŻA	29
III.3. AKTYWNOŚĆ USKOKOWA	29
III.4. INFORMACJE O WSTRZĄSACH	29
<i>III.4.1. Niezbędne dane i informacje</i>	29
<i>III.4.2. Sposób pozyskania</i>	29
<i>III.4.3. Ocena wiarygodności i zalecana metodyka interpretacji</i>	30

IV. ZALECENIA DOTYCZĄCE OCENY SEJSMICZNOŚCI WYZWALANEJ

31

V. ZALECANA LITERATURA

32

I. WSTĘP

Bezpieczna eksploatacja obiektów jądrowych zależy od wielu czynników, wśród których bardzo istotną, wręcz kluczową rolę odgrywa ich odpowiednia lokalizacja. Poniżej przedstawione są główne wytyczne i zalecenia, co do procesu wyboru lokalizacji obiektu jądrowego w kontekście możliwego zagrożenia (hazardu) sejsmicznego oraz innych zjawisk naturalnych lub indukowanych działalnością ludzką, a wywołujących drgania gruntu w miejscu lokalizacji obiektu jądrowego.

Analizując niniejsze wytyczne pamiętać należy, iż budowa geologiczna obszaru rozważanego pod kątem lokalizacji obiektu jądrowego może być różnego typu - na przykład lokalizacja takiego obiektu może być rozważana w obszarze, w którym ponad podłożem krystalicznym występuje miększa pokrywa osadowa bądź też w obszarze, w którym skał osadowych jest niewiele lub ich zupełnie brak. W związku z tym wymienione poniżej badania geologiczne i geofizyczne powinny być tak dobierane, by w efekcie ich realizacji uzyskany został optymalny zestaw danych, pozwalający na jak najbardziej precyzyjne scharakteryzowanie budowy geologicznej obszaru badań. Dobór konkretnych metod badawczych, konkretnych parametrów pomiarowych, konkretnej metodyki przetwarzania danych i wreszcie konkretnej metodyki interpretacji i integracji danych powinny być przeprowadzone przez inwestora w ścisłej współpracy ze specjalistami na co dzień wykorzystującymi poszczególne metody badawcze i dysponującymi w związku z tym odpowiednim doświadczeniem i, o ile to jest wymagane, odpowiednimi uprawnieniami definiowanymi Prawem Geologicznym i Górniczym i innymi stosownymi wymogami.

Przed przystąpieniem do prac badawczych powinien być opracowany dokument nakreślający plan konkretnych badań i analiz planowanych 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 zrealizowanych we wcześniejszych etapach.

W warunkach polskich wyróżnić możemy trzy rodzaje sejsmiczności:

sejsmiczność naturalną

sejsmiczność indukowaną

sejsmiczność wyzwalaną (będącą połączeniem sejsmiczności indukowanej i naturalnej)

Wszystkie one mogą nieść różnego rodzaju zagrożenie dla obiektów jądrowych.

Sejsmiczność naturalna, choć niewielka, musi być brana pod uwagę przy wyborze lokalizacji obiektu jądrowego.

Sejsmiczność indukowana, ze względu na potencjalnie duże zagrożenie w obszarach bliskich epicentrum przy jednoczesnym stosunkowo niewielkim zasięgu oddziaływania jest czynnikiem wykluczającym lokalizację obiektu jądrowego na tych obszarach.

Sejsmiczność wyzwalana generowana jest działalnością ludzką, lecz jej zasięg i możliwy wpływ jest zbliżony do sejsmiczności naturalnej.

W niniejszym opracowaniu wykorzystywane są następujące definicje dotyczące przestrzennego zakresu koniecznych badań i analiz (rozporządzenie lokalizacyjne):

makroregion: rozumie się przez to teren o promieniu 150 km wokół granic planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego. W przypadku występowania istotnej anizotropii rozchodzenia się fal sejsmicznych lub rozciągłości struktur geologicznych mogących mieć wpływ na bezpieczeństwo obiektu jądrowego, makroregion może być wytyczony w sposób nieregularny w wybranych kierunkach. Rekomenduje się, by przystąpienie do badań w Etapie I było poprzedzone ogólną analizą budowy geologicznej obszaru badań, w efekcie której określona i uzasadniona zostałaby ogólna geometria makroregionu.

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

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 i po jego usytuowaniu – teren powiększony w stopniu pozwalającym na uzyskanie wyczerpujących danych i ocen odnośnie stateczności podłoża.

Ponadto, ilekroć mowa jest o **magnitudzie wstrząsu sejsmicznego** z otoczenia lokalizacji, należy przez to rozumieć magnitudę spektralną M_w .

Efektem końcowej oceny sejsmiczności dla wybranej lokalizacji obiektu jądrowego powinno być:

1. opracowanie modelu sejsmotektonicznego regionu lokalizacji
2. szczegółowa ocena hazardu sejsmicznego dla obszaru lokalizacji
3. stworzenie odpowiedniej bazy danych geologiczno-geofizycznych niezbędnej do analizy geologiczno-inżynierskiej projektu obiektu jądrowego.

Niniejsze zalecenia opracowano uwzględniając *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* oraz zalecenia opracowane przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (*International Atomic Energy Agency*). Pozycje te, wraz z inną rekomendowaną literaturą przedmiotu, podane są na końcu niniejszego dokumentu.

Zgodnie z przywołanym powyżej *rozporządzeniem lokalizacyjnym* szczegółowy zakres przeprowadzania oceny terenu przeznaczonego pod lokalizację obiektu jądrowego z kluczowego dla oceny sejsmiczności zakresu sejsmiki i tektoniki obejmuje:

- a. dane dotyczące przeszłej oraz obecnej naturalnej sejsmiczności regionu lokalizacji obiektu jądrowego,
- b. wstrząsy sejsmiczne z określeniem:

- maksymalnego naturalnego i indukowanego wstrząsu sejsmicznego w przeszłości,
 - maksymalnego naturalnego i indukowanego wstrząsu sejsmicznego, z uwzględnieniem parametrów wstrząsu, wraz z podaniem prawdopodobieństwa jego wystąpienia,
 - maksymalnego naturalnego wstrząsu sejsmicznego, którego prawdopodobieństwo wystąpienia wynosi raz na 10 000 lat,
- c. aktywność uskoków wraz z ich wzajemnym oddziaływaniem oraz prognozę możliwych zmian tej aktywności, z uwzględnieniem regionalnego modelu strukturalnego i możliwych wzajemnych oddziaływań ze strukturami sąsiadującymi, w tym prognozę uwzględniającą wpływ prowadzonej w regionie lokalizacji działalności mogącej powodować uaktywnienie tych struktur,
- d. przeszłą, obecną i planowaną działalność stanowiącą lub mogącą stanowić zagrożenie dla obiektu jądrowego przez indukowanie wstrząsów sejsmicznych, powodowanie uaktywnienia struktur uskokowych, powodowanie niestabilności strukturalnej lub przemieszczanie, zapadanie lub upłynnianie gruntów, z uwzględnieniem:
- zaobserwowanych indukowanych wstrząsów sejsmicznych i ich charakterystyki,
 - geomechanicznej charakterystyki podatności głębokiego podłoża na rozładowywanie zmian naprężeń spowodowanych procesami tektonicznymi oraz zmian indukowanych,
 - charakterystyki zmian tempa ruchów tektonicznych na skutek zaistniałych i możliwych indukowanych zmian naprężeń,
 - rozmiarów pozostałych zaobserwowanych zjawisk innych niż wstrząsy, zaistniałych przez prowadzoną działalność,
 - innych czynników występujących w regionie lokalizacji mogących negatywnie wpływać na bezpieczeństwo jądrowe obiektu jądrowego,
- e. stabilność strukturalną i geologiczno-inżynierską podłoża;

Analizując wyniki uzyskane w trakcie omówionych w kolejnych rozdziałach badań i analiz należy mieć na względzie, iż zgodnie z § 5. *rozporządzenia lokalizacyjnego* teren nie może być uznany za spełniający wymogi lokalizacji na nim obiektu jądrowego, w przypadku gdy występuje którykolwiek z następujących czynników:

1. w granicach planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego występują grunty o słabych parametrach mechanicznych, w tym grunty słabonośne, pęczniejące lub o innych wysoce niekorzystnych parametrach dla posadawiania obiektu jądrowego, których usunięcie, zastąpienie lub wzmocnienie jest niemożliwe;
2. **w podłożu lokalizacji obiektu jądrowego w odległości mniejszej niż 20 km od granic planowanego miejsca posadowienia obiektu jądrowego występuje uskoki aktywny lub uskoki, co do którego istnieje prawdopodobieństwo uaktywnienia większe niż raz na 10 000 lat, a**

- wystąpienie tego uaktywnienia mogłoby spowodować zagrożenie bezpieczeństwa jądrowego obiektu jądrowego;
3. w regionie lokalizacji w ciągu ostatnich 10 000 lat wystąpiło trzęsienie ziemi o skali 8 EMS-98 lub istnieje prawdopodobieństwo wystąpienia trzęsienia ziemi o takiej skali większe niż raz na 10 000 lat;
 4. jest możliwe trzęsienie ziemi o prawdopodobieństwie wystąpienia większym niż raz na 10 000 lat i skali poniżej 8 EMS-98, które uniemożliwi bezpieczną eksploatację obiektu jądrowego;
 5. w regionie lokalizacji 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 jądrowe obiektu jądrowego, które nie mogą być skompensowane konstrukcyjnie;
 6. w obszarze lokalizacji istnieje ryzyko wystąpienia powodzi lub podtopień zagrażających bezpieczeństwu jądrowemu obiektu jądrowego, które nie mogą być skompensowane konstrukcyjnie;
 7. w regionie, dla którego rozpatrywano czynnik, o którym mowa w § 2 pkt 1 lit. d, w ciągu ostatnich 60 lat była lub jest prowadzona:
 - a. działalność polegająca na wydobyciu kopalin lub
 - b. działalność polegająca na podziemnym bezzbiornikowym magazynowaniu substancji lub podziemnym składowaniu odpadów, lub
 - c. inna działalność

– mogąca spowodować zagrożenie bezpieczeństwa jądrowego obiektu jądrowego przez indukowanie wstrząsów sejsmicznych, powodowanie uaktywniania struktur uskokowych lub przemieszczanie, zapadanie lub upłynnianie gruntów, lub w regionie tym wystąpiły takie skutki tych działalności, które przy wystąpieniu w trakcie eksploatacji obiektu jądrowego zagrażałyby bezpieczeństwu jądrowemu obiektu jądrowego;
 8. nie będzie możliwe przeprowadzenie niezbędnych działań interwencyjnych w przypadku wystąpienia zdarzenia radiacyjnego w obiekcie jądrowym;
 9. w odległości mogącej wpływać negatywnie na bezpieczeństwo jądrowe obiektu jądrowego znajdują się:
 - a. obiekt wojskowy lub wojskowy teren zamknięty wraz ze strefą ochronną terenu zamkniętego,
 - b. zakład mogący oddziaływać na obiekt jądrowy chemicznie, biologicznie lub mechanicznie,
 - c. urządzenie wodne w rozumieniu ustawy z dnia 18 lipca 2001 r. – Prawo wodne

– jeżeli ten negatywny wpływ nie może być skompensowany konstrukcyjnie;
 10. w odległości mniejszej niż 10 km od granic planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego znajduje się lotnisko cywilne, chyba że prawdopodobieństwo

uderzenia dużego samolotu cywilnego w obiekt jądrowy jest mniejsze niż raz na 10 000 000 lat.

W kontekście oceny sejsmiczności znaczenie mają punkty **2, 3, 4 i 7**. Omówienie wybranych aspektów merytorycznych oceny sejsmiczności zawarte są w załączniku do niniejszych zaleceń zatytułowanym „Metodyka oceny prawdopodobieństwa wystąpienia wstrząsów sejsmicznych oraz metodyka oceny hazardu sejsmicznego”.

II. ZALECENIA DOTYCZĄCE OCENY SEJSMICZNOŚCI NATURALNEJ

Zgodnie z zaleceniami opracowanymi przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej, proces oceny sejsmiczności naturalnej miejsca lokalizacji obiektu jądrowego powinien składać się z czterech etapów, w których sekwencyjnie zawężany jest promień koniecznych badań i analiz przy równoczesnym wzroście ich szczegółowości. W warunkach polskich naturalna aktywność sejsmiczna jest stosunkowo słaba, i w związku z tym procedura oceny sejsmiczności może objąć trzy etapy:

1. ogólnej charakterystyki geologicznej **makroregionu**
2. rozpoznania geofizycznego i geologicznego **regionu lokalizacji**
3. szczegółowego zbadania **obszaru lokalizacji**, w tym miejsca posadowienia obiektu jądrowego.

Wyniki analiz z ogólniejszych etapów powinny być bezwzględnie wykorzystane w kolejnych etapach oceny sejsmiczności. Każdy z tych etapów, oznaczonych dalej jako etap I, II i III wymaga innego zestawu informacji potrzebnych do pełnej oceny miejsca przyszłego usytuowania obiektu jądrowego. Niektóre z elementów potrzebnych do oceny lokalizacji są wspólne dla zakresu sejsmiczności naturalnej i indukowanej i powinny być opracowane łącznie.

Zasadnicze cele prac pomiarowych i analitycznych zalecanych dla każdego z etapów są następujące:

ETAP I

Obejmuje rozpoznanie naturalnej sejsmiczności i ogólnej budowy geologicznej **makroregionu** obiektu jądrowego oraz współczesnych ruchów geodynamicznych obserwowanych w tym rejonie. W szczególności, celem tego etapu jest sprawdzenie czy w skorupie ziemskiej występują duże, regionalne uskoki oraz czy obserwowane deformacje geodynamiczne mogą prowadzić do akumulacji energii sprężystej w badanym rejonie. W tej fazie analizy rozpoznanie aktywności sejsmicznej powinno obejmować okres nie krótszy niż 1000 lat i odnosić się do sejsmiczności regionu Europy Środkowej, a jeśli planowana lokalizacja położona jest w pasie 50 km od brzegu morza - także obszaru Morza Bałtyckiego.

ETAP II

Koncentruje się na dokładniejszym rozpoznaniu budowy geologicznej i aktywności sejsmicznej **regionu lokalizacji** oraz ogólnej oceny zagrożenia (hazardu) sejsmicznego w regionie lokalizacji, jak również ocenie deformacji geodynamicznych. Na tym etapie badań przeprowadzona jest weryfikacja występowania sejsmiczności indukowanej w regionie lokalizacji.

ETAP III

Polega na opracowaniu szczegółowego modelu geologicznego do głębokości nie mniejszej niż 5 km, dokładnej oceny hazardu sejsmicznego w **obszarze lokalizacji** oraz przygotowaniu szczegółowych informacji seismologicznych potrzebnych do geologiczno-inżynierskiej oceny lokalizacji, a w tym wyznaczenie charakterystyk drgań gruntu w zakresie szumu sejsmicznego, mikrosejsmy i wstrząsów sejsmicznych.

Dane do oceny lokalizacji obiektu jądrowego pod kątem zagrożenia sejsmicznego wywołanego naturalną sejsmicznością podzielić należy na trzy ogólne kategorie:

1. **dane studyjne:** dane zgromadzone w istniejących bazach danych, archiwach, dokumentacjach zagospodarowania przestrzennego, itp.
2. **dane pomiarowe:** dane zebrane w wyniku specjalistycznych prac pomiarowych zrealizowanych specjalnie na potrzeby oceny sejsmiczności rejonu, w którym rozważane jest posadowienie obiektu jądrowego
3. **dane z ciągłego monitoringu sejsmicznego** realizowanego na potrzeby oceny sejsmiczności rejonu, w którym rozważane jest posadowienie obiektu jądrowego

Znaczenie i sposób wykorzystania każdej z wymienionej kategorii danych zależy od etapu prac prowadzonych pod kątem oceny lokalizacji obiektu jądrowego. W trakcie etapu I główne znaczenie odgrywają materiały studyjne (dane kategorii pierwszej) oraz w pewnych przypadkach dane kategorii drugiej. Etap II wykorzystuje głównie dane kategorii drugiej i trzeciej, oraz wyniki etapu I, w trakcie prac prowadzonych w ramach etapu III wykorzystywane są głównie dane kategorii drugiej i trzeciej wraz z wynikami etapu I i etapu II. Szczególnie ważne jest, by prace realizowane na etapach drugim i trzecim 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 bądź II zawierało również projekt prac przewidzianych do realizacji odpowiednio w ramach etapu II bądź III.

Przygotowując plan prac badawczych dotyczących poszczególnych etapów oceny sejsmiczności 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 powinno być ich zidentyfikowanie i uwzględnienie w planowanych badaniach, tak by uzyskane wyniki oparte były na jak najpełniejszym zestawie dostępnych danych i informacji. Również sposób pozyskania danych powinien być przeanalizowany dla każdego typu informacji, 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 sejsmiczności miejsca planowanego posadowienia obiektu jądrowego.

II.1. OCENA SEJSMICZNOŚCI NATURALNEJ - ETAP 1

II.1.1. Budowa podłoża

Celem realizowanych prac i analiz powinno być pozyskanie ogólnych informacji o regionalnej budowie geologicznej skorupy ziemskiej w **makroregionie**, w szczególności o ewentualnej obecności regionalnych stref uskokowych. W tym celu należy zebrać i opracować dane dokumentujące:

1. strukturę skorupy ziemskiej z uwzględnieniem głębokiego podłoża
2. obecność, lokalizację i przebieg dużych, regionalnych stref uskokowych
3. regionalny rozkład prędkości fal sejsmicznych (P i S) w poszczególnych warstwach i głównych strukturach geologicznych

II.1.1.1. Niezbędne dane i informacje

1. archiwalne dane i opracowania wynikowe regionalnych badań geofizycznych wykonanych m.in. takimi metodami jak:
 - sejsmika refrakcyjna
 - sejsmika refleksyjna
 - grawimetria
 - magnetyka
 - magnetotelluryka
 - metody geoelektryczne
2. archiwalne dane i opracowania wynikowe z kluczowych otworów badawczych
3. archiwalne dane i opracowania dotyczące analiz zdjęć lotniczych i satelitarnych
4. archiwalne dane i opracowania dotyczące powierzchniowych badań geologicznych, w szczególności realizowanych w skali regionalnej
5. wszystkie dostępne (archiwalne i publikowane) wyniki regionalnych analiz geologicznych, w szczególności dotyczących zagadnień tektonicznych

II.1.1.2. Sposób pozyskania

1. kwerenda w Narodowym Archiwum Geologicznym, Centralnej Bazie Danych Geologicznych, różnego rodzaju archiwach lokalnych (wojewódzkich itd.) – po uzyskaniu stosownych zgód wymaganych przez ustawę - Prawo geologiczne i górnicze i inne przepisy prawa
2. kwerenda w archiwach firm komercyjnych krajowych i zagranicznych, które mogły wykonywać w przeszłości badania geofizyczne i geologiczne na obszarze będących tematem zainteresowania w kontekście lokalizacji obiektu jądrowego – po uzyskaniu stosownych zgód wymaganych przez ustawę - Prawo geologiczne i górnicze i inne regulacje prawne

3. analiza publikacji naukowych i innych opracowań dostępnych w domenie publicznej

II.1.1.3. 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 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 geofizycznych i geologicznych.

W trakcie prowadzonych analiz należy dokonać kompilacji i reinterpretacji danych archiwalnych, w uzasadnionych przypadkach wykonując ich ponowne przetwarzanie (*reprocessing*).

II.1.2. Analiza aktywności uskoków

Celem realizowanych prac i analiz powinno być pozyskanie informacji o aktywności stref uskokowych stwierdzonych w **makroregionie**. Analizie poddać należy ostatnie 100 000 lat oraz dokonać oceny dalszej możliwej aktywności stref uskokowych. W tym celu należy zebrać i opracować dane dokumentujące:

1. liczbę dużych uskoków
2. geometrię i kinematykę uskoków
3. czas i wielkość dyslokacji aktywnych uskoków w okresie ostatnich 100 000 lat
4. szacunkową wartość współczynnika ścinania w strefie uskokowej
5. względne deformacje geodynamiczne (powierzchniowe) ze szczególnym uwzględnieniem stref uskokowych

II.1.2.1. Niezbędne dane i informacje

1. wyniki regionalnych opracowań wszelkiego rodzaju projektów z zakresu powierzchniowej kartografii geologicznej i neotektoniki
2. wyniki analiz z zakresu geologii inżynierskiej i mechaniki górotworu dotyczących rejonu zainteresowania, ze szczególnym uwzględnieniem prac dotyczących ilościowej parametryzacji i charakterystyki stref uskokowych
3. informacje geodezyjne (GPS) o ruchach i przemieszczeniach geodynamicznych strefy planowanej lokalizacji obiektu jądrowego

II.1.2.2. Sposób pozyskania

1. kwerenda w Narodowym Archiwum Geologicznym, Centralnej Bazie Danych Geologicznych, różnego rodzaju archiwach lokalnych (wojewódzkich itd.) – po uzyskaniu stosownych zgód wymaganych przez ustawę - Prawo geologiczne i górnicze i inne przepisy prawa
2. analiza publikacji naukowych i innych opracowań dostępnych w domenie publicznej

II.1.2.3. Ocena wiarygodności i zalecana metodyka interpretacji

Ocenie powinno się poddać poprawność metodyczną zrealizowanych w przeszłości badań geologicznych i geomechanicznych. Interpretacja powinna polegać na opracowaniu regionalnego modelu tektonicznego, rekomenduje się by wyniki zostały skompilowane w postaci projektu GIS. Opierając się na ewentualnie stwierdzonej aktywności stref uskokowych w przeszłości należy dokonać jakościowej predykcji ich ewentualnej aktywności w przyszłości.

II.1.3. Informacja o sejsmiczności

Celem realizowanych prac i analiz powinno być pozyskanie informacji na temat:

1. sejsmiczności historycznej **makroregionu** z okresu co najmniej 1000 lat
2. parametrycznych informacji sejsmologicznych dotyczących **makroregionu** z okresu instrumentalnego, tj. ostatnich ok. 100 lat.

II.1.3.1. Niezbędne dane i informacje

1. dane historyczne o odczuwanych wstrząsach uwzględniające ogólną sejsmiczność regionu Europy Środkowej i, jeśli planowana lokalizacja położona jest w pasie 50 km od brzegu morza, obszaru Morza Bałtyckiego, w tym dotyczące:
 - miejsca i czasu odczuwalnych wstrząsów, jeśli możliwe lokalizacji wstrząsów
 - wielkości (magnitud) wstrząsów
2. informacje o poziomie drgań gruntu w obszarze lokalizacji wywołanych dużymi ($M \geq 6$) wstrząsami z obszaru Europy oraz bardzo dużymi ($M > 7$) wstrząsami z całego świata.
3. dane parametryczne (instrumentalnie mierzone) o sejsmiczności makroregionu, z uwzględnieniem:
 - lokalizacji wstrząsów i czasów ich wystąpienia
 - typów wstrząsu (naturalny, indukowany pracami górniczymi, pracami geotermalnymi, itp.)
 - ilości rejestrowanych wstrząsów
 - magnitud wstrząsów
 - mechanizmów wstrząsów, jeśli dostępne

II.1.3.2. Sposób pozyskania

1. kwerenda w międzynarodowych (Międzynarodowe Centrum Sejsmologiczne) i europejskich (Europejsko-Śródziemnomorskie Centrum Sejsmologiczne) bazach danych zawierających dane na temat sejsmiczności
2. kwerenda w Narodowym Archiwum Geologicznym, Centralnej Bazie Danych Geologicznych, różnego rodzaju archiwach lokalnych (wojewódzkich itd.) – po uzyskaniu stosownych zgód wymaganych przez ustawę - Prawo geologiczne i górnicze i inne przepisy prawa

3. analiza publikacji naukowych i innych opracowań dostępnych w domenie publicznej

II.1.3.3. Ocena wiarygodności i zalecana metodyka interpretacji

Interpretacja powinna przede wszystkim być skupiona na kompilacji wszelkich zebranych informacji o historycznej i współczesnej sejsmiczności, oraz na ich prezentacji pokazującej zmienność sejsmiczności w czasie i przestrzeni. Dodatkowym elementem powinna być ocena wiarygodności pozyskanych danych na temat sejsmiczności. Rekomenduje się by wyniki zostały skompilowane w postaci projektu GIS.

II.2. OCENA SEJSMICZNOŚCI NATURALNEJ - ETAP 2

II.2.1. Budowa podłoża

Celem realizowanych prac i analiz powinno być opracowanie modelu budowy geologicznej skorupy ziemskiej w **regionie lokalizacji** obiektu jądrowego do głębokości nie mniejszej niż 10 km. W szczególności, model ten powinien definiować geometrię badanych sekwencji skalnych (pokrywa osadowa i jej podłoże krystaliczne) a w ich obrębie: rozkłady prędkości poprzecznych (S) i podłużnych (P) fal sejsmicznych oraz rozkłady gęstości.

II.2.1.1. Niezbędne dane i informacje

1. archiwalne dane i opracowania wynikowe badań geofizycznych wykonanych m.in. takimi metodami jak:
 - sejsmika refrakcyjna
 - sejsmika refleksyjna
 - grawimetria
 - magnetyka
 - metody geoelektryczne
2. dane z pomiarów geofizycznych wykonanych w regionie lokalizacji obiektu jądrowego przy wykorzystaniu następujących metod:
 - sejsmika refrakcyjna
 - sejsmika refleksyjna
 - grawimetria
 - magnetyka
 - metody geoelektryczne
3. archiwalne dane i opracowania wynikowe z kluczowych otworów badawczych, ze szczególnym uwzględnieniem wyników pomiarów prędkości średnich oraz profilowań akustycznych (jeśli dostępne: osobno dla fal P i S), a także gęstościowych
4. dane otworowe z jednego bądź więcej wierceń parametrycznych wykonanego na potrzeby prowadzonych badań
5. wyniki archiwalnych pomiarów petrofizycznych wykonanych na rdzeniach wiertniczych
6. wyniki pomiarów petrofizycznych wykonanych na rdzeniach wiertniczych z jednego bądź więcej wierceń parametrycznych wykonanego na potrzeby prowadzonych badań

7. wszystkie dostępne (archiwalne i publikowane) wyniki analiz geologicznych, w szczególności dotyczących zagadnień tektonicznych

II.2.1.2. Sposób pozyskania

1. kwerenda w Narodowym Archiwum Geologicznym, Centralnej Bazie Danych Geologicznych, różnego rodzaju archiwach lokalnych (wojewódzkich itd.) – po uzyskaniu stosownych zgód wymaganych przez ustawę - Prawo geologiczne i górnicze i inne przepisy prawa
2. kwerenda w archiwach firm komercyjnych krajowych i zagranicznych, które mogły wykonywać w przeszłości badania geofizyczne i geologiczne na obszarze będącym przedmiotem zainteresowania w kontekście lokalizacji obiektu jądrowego – po uzyskaniu stosownych zgód wymaganych przez ustawę - Prawo geologiczne i górnicze i inne przepisy prawa
3. analiza publikacji naukowych i innych opracowań dostępnych w domenie publicznej
4. wykonanie pomiarów sejsmicznych w wariancie 2D
5. wykonanie półszczegółowych pomiarów grawimetrycznych i magnetycznych
6. wykonanie półszczegółowych pomiarów geoelektrycznych
7. w uzasadnionych przypadkach (np. w razie braku archiwalnych otworów w regionie lokalizacji i jego najbliższym otoczeniu): wykonanie wiercenia (lub wierceń) parametrycznego i pozyskanie pełnego spektrum cyfrowych danych otworowych charakteryzujących parametry petrofizyczne (w szczególności rozkłady prędkości fal P i S oraz gęstości, również litologię itd.) badanych sukcesji skalnych

II.2.1.3. Ocena wiarygodności i zalecana metodyka interpretacji

Należy ocenić jakość danych archiwalnych i opracować optymalną procedurę ich ponownego przetwarzania (*reprocessingu*) i reinterpretacji. Istotnym elementem tych prac powinno być uzyskanie jak najlepszej spójności danych archiwalnych z danymi nowo pomierzonymi.

Interpretacja danych nowo pomierzonych oraz ponownie przetworzonych (po *reprocessingu*) powinna być przeprowadzona zgodnie z obowiązującymi standardami, przy wykorzystaniu najnowocześniejszego, sprawdzonego oprogramowania i metod interpretacyjnych. Szczególny nacisk należy położyć na pełną integrację różnych zestawów danych geofizycznych i geologicznych, tak by uzyskany model budowy geologicznej był jak najbardziej wiarygodny i obiektywny.

II.2.2. Analiza aktywności uskoków

Celem realizowanych prac i analiz powinno być pozyskanie szczegółowych informacji o przebiegu stref uskokowych w **regionie lokalizacji** obiektu jądrowego i ich aktywności oraz – dla stref lub pojedynczych uskoków o cechach wskazujących na ich aktywne ruchy w czasie ostatnich 10 000 lat - ocena ich dalszej możliwej aktywności [patrz załącznik do zaleceń]. W tym celu należy zebrać i opracować dane dokumentujące:

1. strefy uskokowe, ich rozkład przestrzenny, szczegółową geometrię i kinematykę
2. aktywność (lub jej brak) uskoków w czasie ostatnich 10 000 lat
3. w przypadku stwierdzenia występowania aktywności uskokowej: parametry ją opisujące, takie jak okres aktywności i wielkość przesunięcia dla każdego okresu aktywności, szacunkową wartość współczynnika ścinania w strefie uskokowej dla uskoków aktywnych
4. względne deformacje geodynamiczne w regionie lokalizacji

II.2.2.1. Niezbędne dane i informacje

1. wyniki interpretacji i reinterpretacji danych sejsmicznych i grawimetrycznych, w przypadku płytkiego występowania podłoża czynnego magnetycznie – również danych magnetycznych, oraz danych geoelektrycznych
2. wyniki opracowań wszelkiego rodzaju projektów z zakresu powierzchniowej kartografii geologicznej, neotektoniki i geomorfologii oraz, w uzasadnionych przypadkach, archeologii
3. informacje geodezyjne (GPS) o ruchach i przemieszczeniach geodynamicznych strefy planowanej lokalizacji obiektu jądrowego

II.2.2.2. Sposób pozyskania

1. kwerenda w Narodowym Archiwum Geologicznym, Centralnej Bazie Danych Geologicznych, różnego rodzaju archiwach lokalnych (wojewódzkich itd.) – po uzyskaniu stosownych zgód wymaganych przez ustawę - Prawo geologiczne i górnicze i inne przepisy prawa
2. kwerenda w archiwach firm komercyjnych krajowych i zagranicznych, które mogły wykonywać w przeszłości badania geofizyczne i geologiczne na obszarze będących tematem zainteresowania w kontekście lokalizacji obiektu jądrowego – po uzyskaniu stosownych zgód wymaganych przez ustawę - Prawo geologiczne i górnicze i inne przepisy prawa
3. analiza publikacji naukowych i innych opracowań dostępnych w domenie publicznej
4. wykonanie pomiarów sejsmicznych w wariancie 2D
5. wykonanie półszczegółowych pomiarów grawimetrycznych i magnetycznych
6. wykonanie półszczegółowych pomiarów geoelektrycznych
7. wykonanie pomiarów geodezyjnych (GPS)

II.2.2.3. Ocena wiarygodności i zalecana metodyka interpretacji

Ocenić powinno się poprawność metodyczną zrealizowanych w przeszłości badań geofizycznych i geologicznych oraz zadbać o wykonanie nowych pomiarów zgodnych z obowiązującymi standardami.

Przed przystąpieniem do prac pomiarowych należy szczegółowo określić proponowaną metodykę pomiarową, uwzględniając specyficzną budowę geologiczną rejonu badań rozpoznaną na etapie I prowadzonych prac.

Interpretacja powinna polegać na opracowaniu modelu tektonicznego dla rejonu badań, opartego na wszystkich pozyskanych danych. Opierając się na ewentualnie stwierdzonej aktywności stref uskokowych w przeszłości należy dokonać jakościowej predykcji ich ewentualnej aktywności w przyszłości.

II.2.3. Informacja o sejsmiczności

Celem realizowanych prac i analiz powinno być pozyskanie informacji o bieżącej sejsmiczności w **regionie lokalizacji** obiektu jądrowego [patrz załącznik do zaleceń].

II.2.3.1. Niezbędne dane i informacje

1. dane o bieżącej aktywności sejsmicznej w regionie lokalizacji oparte o wyniki analizy zapisów sejsmicznych z lokalnej sieci monitoringu sejsmicznego z uwzględnieniem:
 - lokalizacji wstrząsów i czasów ich wystąpienia
 - typów wstrząsu (naturalny, indukowany pracami górnictwami, pracami geotermalnymi, itp.)
 - ilości rejestrowanych wstrząsów
 - magnitud wstrząsów
 - rejestrowanych faz sejsmicznych
 - poziomów drgań gruntu w miejscach posadowienia stacji
2. fragmenty trójskładowych sejsmogramów cyfrowych z okresu pracy sieci monitorowania zawierających rejestracje wstrząsów sejsmicznych z makroregionu i regionu lokalizacji.

II.2.3.2. Sposób pozyskania

Pomiar danych powinien być zrealizowany poprzez wykorzystanie lokalnej sieci monitoringu sejsmicznego, specjalnie założonej na potrzeby realizowanej oceny sejsmiczności.

II.2.3.3. Ocena wiarygodności i zalecana metodyka interpretacji

Dla oceny wyników monitoringu konieczne jest podanie przez inwestora dokładnego opisu sieci monitoringu. Monitoring sejsmiczny jako metoda zalecana do właściwej oceny poziomu drgań gruntu prowadzony powinien być w sposób ciągły. Zebranie odpowiedniej ilości danych wymaga okresu czasu dostosowanego do warunków sejsmicznych makroregionu - im niższa lub słabsza jest aktywność sejsmiczna, tym dłuższy powinien być czas rejestracji celem zapewnienia reprezentatywnych danych. W warunkach polskich jako minimum wymagane są pełne 2 lata ciągłej rejestracji, z rekomendowanym wydłużeniem, o ile to możliwe, do lat pięciu. Przed rozpoczęciem monitorowania wybranej lokalizacji konieczne

jest przeprowadzenie badań studyjnych dla określenia optymalnej sieci monitoringu i jej parametrów metrologicznych.

Użyta sieć sejsmiczna powinna zapewniać kompletność wykrywania wstrząsów o magnitudzie większej niż 2.0 w regionie lokalizacji oraz o magnitudzie 1.5 w obszarze lokalizacji. Powinna ona zapewniać pasmo rejestracji przynajmniej od 1Hz do 40Hz dla stacji pracujących poza obszarem lokalizacji. Zaleca się aby spośród stacji rozmieszczonych w obszarze lokalizacji przynajmniej jedna (preferowane ustawienie: miejsce posadowienia obiektu jądrowego) zapewniała rejestrację w paśmie przynajmniej od 20s, zaś pozostałe w paśmie od 1s. Organizacja sieci powinna zapewnić możliwość lokalizacji wstrząsów o podanych powyżej progowych magnitudach w regionie lokalizacji z dokładnością epicentralną lepszą niż 1 km. W przypadku okresu prowadzenia monitoringu krótszego niż 5 lat zaleca się zwiększenie minimalnej wartości projektowej przyspieszeń PGA o 0.15 g.

Monitoring sejsmiczny powinien być również poszerzony o pomiary akcelerometryczne dla miejsca posadowienia obiektu jądrowego w celu bezpośredniego pomiaru PGA [patrz załącznik do zaleceń].

Zaleca się uzupełnienie rejestracji monitoringu sejsmicznego przez dołączenie do niego monitoringu geodezyjnego (GPS) jako komplementarnej techniki pomiarowej.

Monitoring deformacji techniką GPS pozwala stwierdzić, czy w badanym obszarze zachodzi deformacja podłoża/powierzchni i związana z tym akumulacja energii sprężystej, która może doprowadzić do uaktywnienia się lokalnych uskoków i wstrząsów.

II.3. OCENA SEJSMICZNOŚCI NATURALNEJ - ETAP 3

II.3.1. Budowa podłoża

Celem realizowanych prac i analiz powinno być opracowanie szczegółowego trójwymiarowego modelu struktury podłoża w **obszarze lokalizacji** obiektu jądrowego, do głębokości nie mniejszej niż 5 km. W tym celu należy zebrać i opracować dane dokumentujące:

1. szczegółową przestrzenną geometrię badanych sekwencji skalnych (pokrywa osadowa i jej podłoże krystaliczne)
2. szczegółowe przestrzenne rozkłady prędkości fal poprzecznych (S) i podłużnych (P)
3. współczynniki tłumienia fal poprzecznych (S) i podłużnych (P)
4. szczegółowy przestrzenny rozkłady gęstości
5. wartości współczynnika ścinania w strefach uskokowych

II.3.1.1. Niezbędne dane i informacje

1. dane z pomiarów geofizycznych wykonanych w obszarze lokalizacji obiektu jądrowego przy wykorzystaniu następujących metod:
 - płytka sejsmika refrakcyjna

- sejsmika refleksyjna
 - grawimetria
 - w uzasadnionych przypadkach (stosunkowo płytkie zaleganie czynnego magnetycznie podłoża): magnetyka
 - geoelektryka
2. dane otworowe z jednego bądź więcej wierceń parametrycznych wykonanego w obszarze lokalizacji obiektu jądrowego
 3. wyniki pomiarów petrofizycznych wykonanych na rdzeniach wiertniczych z jednego bądź więcej wierceń parametrycznych wykonanego na potrzeby prowadzonych badań

II.3.1.2. Sposób pozyskania

1. wykonanie sejsmicznych pomiarów refrakcyjnych (kartowanie stropu płytkiego podłoża i pokrywy kenozoicznej)
2. wykonanie sejsmicznych pomiarów refleksyjnych w wariacie 3D/3C
3. w razie potrzeby: wykonanie płytkich wysokorozdzielczych sejsmicznych pomiarów refleksyjnych w wariacie 2D/3C
4. wykonanie szczegółowych pomiarów grawimetrycznych łącznie z pomiarami pionowego gradientu pola siły ciężkości dla rozpoznania strefy przypowierzchniowej
5. w przypadku płytkiego występowania czynnego magnetycznie podłoża: wykonanie szczegółowych pomiarów magnetycznych
6. wykonanie szczegółowych pomiarów geoelektrycznych, w tym geotomografii i wysokoczęstotliwościowych pomiarów magnetotellurycznych
7. wykonanie wierceń parametrycznych i pozyskanie pełnego spektrum cyfrowych danych otworowych charakteryzujących parametry petrofizyczne badanych sukcesji skalnych, w tym:
 - pionowych profilowań sejsmicznych (VSP), również w wersji offsetowej
 - tomografii międzyotworowej
8. pobranie i badania laboratoryjne rdzeni wiertniczych

II.3.1.3. Ocena wiarygodności i zalecana metodyka interpretacji

Ocenić powinno się poddać poprawność metodyczną zrealizowanych badań geofizycznych.

Przed przystąpieniem do prac pomiarowych należy szczegółowo określić proponowaną metodykę pomiarową, uwzględniając specyficzną budowę geologiczną rejonu badań rozpoznaną na etapie II prowadzonych prac.

Interpretacja powinna polegać na opracowaniu dla rejonu badań modelu geologiczno-tektonicznego, petrofizycznego i geomechanicznego, opartego na wszystkich pozyskanych danych, z wykorzystaniem najnowszych narzędzi do zintegrowanej interpretacji danych pomiarowych.

II.3.2. Analiza aktywności uskoków

Celem realizowanych prac i analiz powinno być zebranie informacji o obecności w **obszarze lokalizacji** obiektu jądrowego płytkich (do 5 km) uskoków i ich przeszłej aktywności. W tym celu należy zebrać i opracować dane dokumentujące:

1. liczbę uskoków występujących na głębokości od ok. 5 km do powierzchni
2. długości uskoków, głębokości ich występowania i azymutalny rozkład przebiegu płaszczyzn uskoków, wielkość przemieszczeń
3. jeśli zaobserwowano uskoki aktywne: dane o okresach aktywności i stwierdzone przesunięcia jak również oszacowane wartości współczynnika ścinania w strefie uskokowej

II.3.2.1. Niezbędne dane i informacje

1. wyniki szczegółowych analiz geologicznych, neotektonicznych i geomorfologicznych
2. dane z pomiarów geofizycznych wykonanych w obszarze lokalizacji obiektu jądrowego przy wykorzystaniu następujących metod:
 - płytka sejsmika refrakcyjna
 - sejsmika refleksyjna
 - grawimetria
 - geoelektryka
 - georadar

II.3.2.2. Sposób pozyskania

1. wykonanie sejsmicznych pomiarów refrakcyjnych (kartowanie stropu płytkiego podłoża i pokrywy kenozoicznej)
2. wykonanie wysokorozdzielczych pomiarów sejsmicznych w wariancie 3D/3C
3. w razie potrzeby: wykonanie płytkich wysokorozdzielczych pomiarów sejsmicznych w wariancie 2D/3C
4. wykonanie szczegółowych pomiarów grawimetrycznych łącznie z pomiarami pionowego gradientu pola siły ciężkości dla rozpoznania strefy przypowierzchniowej
5. w przypadku płytkiego występowania czynnego magnetycznie podłoża: wykonanie szczegółowych pomiarów magnetycznych
6. wykonanie szczegółowych pomiarów geoelektrycznych, w tym geotomografii i wysokoczęstotliwościowych pomiarów magnetotellurycznych
7. wykonanie pomiarów georadarowych w wariancie 2D lub 3D (w zależności od lokalnej budowy geologicznej)

II.3.2.3. Ocena wiarygodności i zalecana metodyka interpretacji

Ocenie powinno się poddać poprawność metodyczną zrealizowanych badań geofizycznych.

Przed przystąpieniem do prac pomiarowych należy szczegółowo określić proponowaną metodykę pomiarową, uwzględniając specyficzną budowę geologiczną rejonu badań rozpoznaną na etapie II prowadzonych prac.

Interpretacja powinna polegać na opracowaniu szczegółowego modelu tektoniczno-strukturalnego dla rejonu badań, opartego na wszystkich pozyskanych danych, z uwzględnieniem informacji o ewentualnej współczesnej bądź neotektonicznej aktywności uskokuwej.

II.3.3. Informacja o sejsmiczności

Celem realizowanych prac i analiz powinno być pozyskanie informacji na temat sejsmiczności w **obszarze lokalizacji** obiektu jądrowego.

II.3.3.1. Niezbędne dane i informacje

1. dane z monitoringu sejsmicznego odnośnie poziomu rejestrowanego szumu sejsmicznego, mikrosejsm oraz poziomu drgań związanych z rejestrowanymi wstrząsami sejsmicznymi wraz z charakterystykami częstotliwościowymi rejestrowanych sygnałów.
2. ciągłe zapisy sejsmiczne (cyfrowe) z okresu pracy sieci monitorowania sejsmicznego dla stacji sejsmicznych rozmieszczonych dla celów oceny lokalizacji.
3. w przypadku stwierdzenia istnienia uskoku w regionie lokalizacji odległego o ponad 20 km od obszaru lokalizacji należy dostarczyć informacje o możliwym poziomie drgań gruntu w obszarze lokalizacji wywołanych ewentualnym uaktywnieniem się uskoku [patrz załącznik do zaleceń], przyjmując magnitudy możliwych wstrząsów z zakresu 4 – 5.5 lub większej jeśli rozmiary uskoku wskazywałyby na taką możliwość, zlokalizowanego w różnych fragmentach uskoku i uwzględniając różne możliwe mechanizmy rozrywu.
4. jeśli w obszarze lokalizacji wystąpiły wstrząsy sejsmiczne:
 - lokalizacja wstrząsów i czas ich wystąpienia
 - typ wstrząsów (naturalny, indukowany pracami górniczymi, indukowany pracami geotermalnymi, itp.) i charakterystyka ich źródła
 - ilości rejestrowanych wstrząsów
 - magnitudy wstrząsów
5. jeśli z analizy informacji historycznych prowadzonych w pierwszym etapie wynika, że w makroregionie odczuwane były wstrząsy o intensywności powyżej 5 w skali EMS-98: wyniki symulacji numerycznych poziomu drgań gruntu w obszarze lokalizacji wywołanych ewentualnymi wstrząsami o magnitudach z zakresu 5 – 8 zlokalizowanych w obszarach, z których pochodzą informacje historyczne.

II.3.3.2. Sposób pozyskania

Dane do tego typu badań pochodzić będą w zasadniczej mierze z monitoringu sejsmicznego (por. pkt. II.2.3.2), dodatkowo rekomendowane jest wykorzystanie technik modelowań komputerowych w zakresie symulacji numerycznych poziomu drgań gruntu.

II.3.3.3. Ocena wiarygodności i zalecana metodyka interpretacji

Konieczne jest podanie dokładnej charakterystyki sieci monitoringu wraz ze szczegółowym opisem metodyki przetwarzania i interpretacji pozyskiwanych danych (por. pkt. II.2.3.3). W przypadku modelowań komputerowych poziomu drgań gruntu konieczne jest podanie szczegółowego opisu wykorzystanych programów komputerowych, danych wejściowych, zakresu błędu i innych parametrów, umożliwiających ocenę wiarygodności uzyskanych wyników.

III. ZALECENIA DOTYCZĄCE OCENY SEJSMICZNOŚCI INDUKOWANEJ

III.1. Wstęp

Zgodnie z kryteriami 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 (§ 5 pkt 7), występowanie sejsmiczności indukowanej działalnością ludzką w regionie lokalizacji wyklucza daną lokalizację, jeśli skutki tej działalności mogą stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa jądrowego obiektu jądrowego. Wynika to z charakterystyki sejsmiczności indukowanej, która ze względu na wielkość (sporadycznie magnitudy sięgają 4.5) i niewielką głębokość występowania może prowadzić w obszarze zbliżonym do epicentralnego (kilka kilometrów od epicentrum) do drgań gruntu o wartościach maksymalnych przyspieszeń sięgających 0.3-0.4 m/s². Z tego też względu do analizy sejsmiczności indukowanej można zastosować postępowanie, którego celem jest weryfikacja, czy działalność sejsmogeniczna w regionie lokalizacji miała miejsce w ciągu ostatnich 60 lat, jest aktualnie prowadzona lub czy planowane są takie działania w przyszłości oraz czy powodowała, powoduje lub może powodować skutki, które mogą stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa jądrowego obiektu jądrowego. Taki tryb postępowania jest uzasadniony charakterystyczną cechą sejsmiczności indukowanej, czyli jej ścisłym związkiem z działalnością ludzką, a zatem i ograniczonym zasięgiem występowania. Rozpoznanie powinno być prowadzone w oparciu o takie elementy, jak analiza dokumentacji działalności gospodarczej w regionie lokalizacji (z uwzględnieniem oddziaływań sejsmicznych, jeśli występowały) i plany inwestycyjne oraz monitoring sejsmiczny.

Wynikiem przeprowadzonej oceny lokalizacyjnej w zakresie sejsmiczności indukowanej powinny być następujące informacje zawarte w raporcie lokalizacyjnym:

1. ocena, czy proponowana lokalizacja spełnia wymagania rozporządzenia odnośnie byłej, obecnej lub planowanej działalności sejsmogenicznej, z uwzględnieniem potencjalnych skutków dla bezpieczeństwa jądrowego obiektu jądrowego.
2. w przypadku stwierdzenia braku sejsmiczności indukowanej istotnej dla bezpieczeństwa jądrowego, zebrany sejsmologiczny materiał pomiarowy oraz wykonana na jego podstawie ocena hazardu sejsmicznego wraz z oceną parametrów fizyczno-mechanicznych i warunków geologiczno-inżynierskich podłoża, dla wykazania braku zagrożenia bezpieczeństwa jądrowego w regionie lokalizacji.
3. w przypadku identyfikacji sejsmiczności indukowanej istotnej dla bezpieczeństwa jądrowego, opis zarejestrowanej aktywności sejsmicznej w regionie lokalizacji z podaniem:
 - liczby rejestrowanych wstrząsów
 - lokalizacji wstrząsów
 - magnitud wstrząsów

- rejestrowanego poziomu drgań gruntu i jego charakterystyki częstotliwościowej w obszarze lokalizacji
- wytyczonej na podstawie analiz lokalizacji, w której dana działalność generująca sejsmiczność indukowaną nie będzie stanowić zagrożenia dla obiektu jądrowego.

Do prawidłowej oceny sejsmiczności indukowanej miejsca planowanego posadowienia obiektu jądrowego niezbędne są dane i informacje dotyczące **regionu lokalizacji**, to jest terenu w odległości do 30 km od granic miejsca usytuowania obiektu jądrowego:

1. występowanie sejsmiczności indukowanej w ciągu ostatnich 60 lat
2. prowadzenie prac geologicznych i górniczych lub podobnych mogących indukować aktywność sejsmiczną [patrz załącznik do zaleceń]
3. obecność budowli hydrotechnicznych w regionie lokalizacji mogących generować sejsmiczność

III.2. Budowa podłoża

Analogicznie jak dla badań sejsmiczności naturalnej (por. rozdz. II.2.1)

III.3. Aktywność uskokowa

Analogicznie jak dla badań sejsmiczności naturalnej (por. rozdz. II.2.2)

III.4. Informacje o wstrząsach

Celem realizowanych prac i analiz powinno być pozyskanie informacji o bieżącej sejsmiczności w **regionie lokalizacji** obiektu jądrowego,

III.4.1. Niezbędne dane i informacje

Wyniki monitoringu sejsmicznego z uwzględnieniem:

- lokalizacji i czasu wystąpienia
- magnitudy
- poziomu drgań gruntu (PGA/PGV) i jego charakterystyka częstotliwościowa
- mechanizmu wstrząsu (jeśli da się wyznaczyć)
- wybranych fragmentów trójskładowych zapisów sejsmicznych obejmujących okres wystąpienia wstrząsu
- opisu ewentualnego źródła indukowania wstrząsów

III.4.2. Sposób pozyskania

Analiza prowadzonej w przeszłości i planowanej działalności górniczej lub innej mogącej indukować sejsmiczność w regionie lokalizacji.

Pomiar danych odbędzie się poprzez wykorzystanie lokalnej sieci monitoringu sejsmicznego, specjalnie założonej na potrzeby realizowanej oceny sejsmiczności.

III.4.3. Ocena wiarygodności i zalecana metodyka interpretacji

Dla oceny wyników monitoringu konieczne jest podanie przez inwestora dokładnego opisu sieci monitoringu (por. rozdz. II.2.3.3), w tym:

- oceny możliwości detekcyjnych sieci sejsmicznej
- oceny kompletności rejestracji
- oceny poziomu drgań gruntu na poziomie detekcyjnym sieci

W przypadku braku lub niekompletności zebranych danych zalecane jest podniesienie minimalnego projektowego przyspieszenia (PGA) o nie mniej niż 0.15 g. Ekstrapolacja danych powinna być prowadzona z wykorzystaniem metodyki dostosowanej do typu danych, zaś do ustalania granicy błędu i zapasu bezpieczeństwa dla ekstrapolacji wykorzystywane powinny być procedury z przyjętym poziomem ufności 95%.

IV. ZALECENIA DOTYCZĄCE OCENY SEJSMICZNOŚCI WYZWALANEJ

Sejsmiczność wyzwalana łączy w sobie cechy sejsmiczności indukowanej i naturalnej – generowana jest działalnością ludzką, lecz jej zasięg i możliwy wpływ jest zbliżony do sejsmiczności naturalnej. Z tego względu sejsmiczność wyzwalana powinna być traktowana jak sejsmiczność naturalna (roz. II) przy jednoczesnym zaleceniu zwiększenia kierunków lub promienia badań ponad **region lokalizacji** w przypadku istnienia przesłanek o skutkach takiej działalności w odległości większej niż 30 km [patrz również załącznik do zaleceń].

V. ZALECANA LITERATURA

International Atomic Energy Agency, Evaluation of Seismic Hazards for Nuclear Power Plants, Safety Guide No. NS-G-3.3, 2002.

International Atomic Energy Agency, Seismic Design and Qualification for Nuclear Power Plants, Safety Guide No. NS-G-1.6, 2003.

International Atomic Energy Agency, Evaluation Seismic safety for Existing Nuclear Installations, Safety Guide No. NS-G-2.13, 2009.

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 sierpnia 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu przeprowadzania oceny terenu przeznaczanego pod lokalizację obiektu jądrowego, przypadków wykluczających możliwość uznania terenu za spełniający wymogi lokalizacji obiektu jądrowego oraz w sprawie wymagań dotyczących raportu lokalizacyjnego dla obiektu jądrowego (Dz. U. z 2012 r., poz. 1025).

