



PAŃSTWOWA
AGENCJA
ATOMISTYKI

**Zalecenia techniczne
Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki
dotyczące oceny stabilności tektonicznej
podłoża i aktywności uskoków dla lokalizacji
obiektów jądrowych**

Warszawa, 2014

Państwowa Agencja Atomistyki

ul. Krucza 36

00-522 Warszawa

Praca powstała na podstawie materiałów opracowanych przez Zespół
Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego w składzie:

dr hab. Andrzej Konon, prof. UW

dr Andrzej Domonik

dr Wojciech Ozimkowski

mgr Michał Wyglądała

mgr Joanna Uroda

Zespół redakcyjny PAA:

Robert Truszkowski

Wojciech Januszczak

SPIS TREŚCI

ABSTRAKT	6
1. WSTĘP	7
2. Cel prac	13
2.1. Etap I – makroregion	14
2.1.1. Budowa geologiczna makroregionu	14
2.1.2. Charakterystyka geodynamiczna makroregionu	15
2.1.3. Analiza aktywności uskoków w makroregionie	15
2.2. Etap II – region lokalizacji	16
2.2.1. Szczegółowa budowa geologiczna regionu lokalizacji	16
2.2.2. Model strukturalny regionu lokalizacji	16
2.2.3. Charakterystyka geodynamiczna regionu lokalizacji	16
2.2.4. Prognoza stabilności tektonicznej regionu lokalizacji	16
2.2.5. Analiza aktywności uskoków w regionie lokalizacji	17
2.3. Etap III – obszar lokalizacji	18
2.3.1. Szczegółowa charakterystyka budowy geologicznej obszaru lokalizacji	18
2.3.2. Szczegółowy trójwymiarowy model strukturalny obszaru lokalizacji	19
2.3.3. Charakterystyka stabilności neotektonicznej obszaru lokalizacji	20
2.3.4. Prognoza stabilności tektonicznej obszaru lokalizacji	20
2.3.5. Analiza aktywności uskoków w obszarze lokalizacji	21
3. Sposoby pozyskania danych	22
3.1. Etap I – makroregion	23
3.2. Etap II - region lokalizacji	24
3.3. Etap III - obszar lokalizacji	26
4. Kompleksowa i zintegrowana baza danych	28
4.1. Niezbędne dane i informacje o budowie geologicznej skorupy ziemskiej w makroregionie:	28
4.2. Niezbędne dane i informacje do stworzenia charakterystyki geodynamicznej makroregionu:	28
4.3. Niezbędne dane i informacje do analizy aktywności uskoków w makroregionie:	29
4.4. Niezbędne dane i informacje o budowie geologicznej skorupy ziemskiej w regionie lokalizacji:	29
4.5. Niezbędne dane i informacje do stworzenia charakterystyki geodynamicznej regionu lokalizacji:	30
4.6. Niezbędne dane i informacje do analizy aktywności uskoków w regionie lokalizacji:	31

4.7. Niezbędne dane i informacje o budowie geologicznej skorupy ziemskiej w obszarze lokalizacji:	31
4.8. Niezbędne dane i informacje do analizy aktywności uskoków w obszarze lokalizacji:	32
5. Weryfikacja i interpretacja uzyskanych informacji	32
6. Sposób przedstawienia uzyskanych wyników i danych	35
7. Metodyka oceny prawdopodobieństwa uaktywnienia uskoku	36
SŁOWNIK WYBRANYCH POJĘĆ Z ZAKRESU SATELITARNYCH METOD POMIAROWYCH I OBRAZOWANIA	39
LITERATURA	41

ABSTRAKT

Celem tej publikacji jest wskazanie oczekiwanych przez Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki rozwiązań, które są konieczne do dokładnego rozpoznania stabilności tektonicznej podłoża, aktywności występujących w nim uskoków i związanych z tym zagrożeń w obszarze rozważanym pod kątem lokalizacji obiektu jądrowego, uwzględniając wpływ działalności człowieka.

Opisany w zaleceniach zakres prac obejmuje: opis budowy geologicznej, charakterystykę geodynamiczną i prognozę aktywności tektonicznej. Przytoczone są źródła pozyskania danych wejściowych, sposób weryfikacji danych oraz interpretacji i przedstawienia wyników. Przewidziano etapowość dokonywania oceny od skali ogólnej – makroregionu, przez region lokalizacji, do najbardziej szczegółowego – obszaru lokalizacji.

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

Kolejnym zakresem wykorzystania przeprowadzonej oceny stabilności tektonicznej jest dostarczenie danych wejściowych do oceny sejsmiczności podłoża dla lokalizacji obiektu jądrowego dokonywanej na podstawie *Zaleceń technicznych Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki dotyczących oceny sejsmiczności podłoża dla lokalizacji obiektów jądrowych*.

1. WSTĘP

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 organizacyjnym.

Niniejsze opracowanie ma na celu wskazanie podejścia dozorowego PAA do oceny stabilności tektonicznej podłoża i aktywności występujących w nim uskoków, co jest konieczne dla lokalizacji obiektów jądowych. 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 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 zwanego rozporządzeniem lokalizacyjnym.

Należy wziąć pod uwagę, że mimo iż niniejszy dokument stanowi obszernie omówienie zasadniczych wymagań dotyczących oceny stabilności tektonicznej podłoża i aktywności występujących w nim uskoków, to **nie wyczerpuje w całości zagadnień i problemów związanych z tą oceną.**

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. 35 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.

Polska uchodzi za obszar stabilny tektonicznie i asejsmiczny, głównie ze względu na swoje położenie wewnątrz euroazjatyckiej płyty litosferycznej, na styku platformy wschodnioeuropejskiej, o prekambryjskim, kratonicznym podłożu i paleozoicznej platformy zachodnioeuropejskiej. Zwłaszcza platforma wschodnioeuropejska może uchodzić za stabilny region kontynentalny. Jednakże trzeba brać pod uwagę, że silne, powodujące zniszczenia trzęsienia ziemi były, choć rzadko, notowane na świecie, nie tylko na obszarach stabilnych regionów kontynentalnych, ale nawet w ich jeszcze bardziej stabilnych centralnych partiach kratonicznych. Nie można więc całkowicie wykluczyć takiej możliwości w wypadku platformy wschodnioeuropejskiej (patrz opisany poniżej przykład trzęsienia ziemi w okolicach Kaliningradu).

W Polsce zdecydowana większość trzęsień ziemi była notowana w jej części południowej, głównie w obrębie orogenu karpackiego. Niewielka ilość została zanotowana także wzdłuż granicy platformy wschodnioeuropejskiej, gdzie zaznacza się wyraźna zmiana kierunku maksymalnego naprężenia poziomego S_{Hmax} . Zjawisko to jest tłumaczone efektem kompensacji ruchów tektonicznych związanych z aktywnością mikro płyty tektonicznej Alcapy. Trzęsienia te mogą być związane z uskokami tworzącymi jej strefę graniczną, zwaną strefą szwu transeuropejskiego. W czasach historycznych wstrząsy te zapewne nie przekraczały magnitudy 5. Nie można jednak wykluczyć silniejszych, gdyż zauważalne w Polsce wstrząsy w rejonie Kaliningradu w 2004 r. miały magnitudę 5,2 (stacja sejsmologiczna Suwałki) pomimo faktu, iż półwysep Sambia uważano za rejon asejsmiczny (wstrząsu ziemi >5 M nie należało się spodziewać częściej niż raz na 500 – 5000 lat). Wymienione trzęsienie ziemi powstało w związku z przemieszczeniem wzdłuż uskoku przesuwczego, podczas gdy w obszarze tym powinniśmy się raczej spodziewać wstrząsów wynikających z uskokowania normalnego, mającego związek z ciągle trwającym izostatycznym wypiętrzaniem Skandynawii na skutek odciążenia jej po ustąpieniu lądolodu. Przykład ten wskazuje na możliwość transmisji naprężeń w związku z aktywnością struktur tektonicznych na południe od Polski, co oznacza, że w każdym obszarze należy wziąć pod uwagę możliwość reaktywacji starszych struktur tektonicznych. Powstające naprężenia mogą rozładowywać się na powierzchniach uskoków, których właściwe zlokalizowanie i rozpoznanie ma kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa sejsmicznego lokalizowanego obiektu.

Budowa geologiczna może być zróżnicowana ze względu na następujące po sobie etapy deformacji tektonicznych, jakie zaznaczyły się do dnia dzisiejszego oraz rodzaj skał wchodzących w skład poszczególnych jednostek tektonicznych. Stąd wymagane jest zastosowanie odpowiednich metod geologicznych i geofizycznych, a wyniki badań otrzymanych tymi metodami powinny być zintegrowane w bazach danych. Otrzymane dane powinny być weryfikowane przy pomocy różnych metod badawczych, w celu uzyskania wiarygodnego obrazu budowy geologicznej danego obszaru. Dane powinny być opracowane przez specjalistów, dysponujących udokumentowaną wiedzą naukową i wieloletnim doświadczeniem z zakresu rozpoznawania zagadnień tektonicznych, w tym aktywności uskoków, najlepiej dysponujących również wiedzą z zakresu analizy obszarów o podwyższonej sejsmiczności. Szczególnie ważną kwestią jest unikanie stronniczości w interpretacjach. W początkowej fazie prac żaden z poglądów głoszonych przez ekspertów nie może zdominować dyskusji podczas stawiania hipotez i tworzenia modeli. Modele powinny się wykonywać w oparciu o gromadzone dane, a przy opracowywaniu końcowej oceny przedstawić fakty oparte na wiedzy, jak i punkty problematyczne, niepewne.

Przy budowie nowego obiektu jądrowego, jak i w przypadku już wybudowanego obiektu, należy wziąć pod uwagę także możliwość występowania uskoku, który może się w wyniku procesów tektonicznych uaktywnić, co może doprowadzić do wystąpienia trzęsienia ziemi na jego powierzchni uskoku. Należy ustosunkować się do procesu pełzania uskoku, który pomimo że nie wywołuje trzęsienia ziemi, zagraża trwałości obiektów budowlanych. Wzdłuż uskoku będących w stadium pełzania może dochodzić w dłuższym okresie czasu do przemieszczeń, nie związanych z większymi trzęsieniami ziemi.

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 zrealizowanych we wcześniejszych etapach.

Efektami końcowej oceny stabilności tektonicznej podłoża i aktywności uskoku dla wybranej lokalizacji obiektów jądrowych powinny być:

1. Określenie oraz poznanie budowy geologicznej makroregionu, regionu i obszaru lokalizacji,
2. Opracowanie modeli strukturalnych regionu i obszaru lokalizacji,
3. Opracowanie charakterystyki geodynamicznej makroregionu i regionu lokalizacji,
4. Szczegółowa ocena stabilności tektonicznej i aktywności uskoku pod kątem zagrożenia sejsmicznego dla obszaru lokalizacji, uwzględniająca działalność człowieka,
5. Stworzenie odpowiedniej bazy danych geologiczno-geofizycznych, obejmującej makroregion, region i obszar, niezbędnej do analizy geologiczno-inżynierskiej projektu obiektu jądrowego.

Związek tektoniki z rozprzestrzenieniem trzęsienia ziemi jest jednoznaczny, stąd rozpoznanie warunków geologicznych i geodynamicznych należy wykorzystać przy ocenie sejsmiczności danego obszaru według [Zaleceń technicznych Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki dotyczących oceny sejsmiczności podłoża dla lokalizacji obiektów jądrowych](#) (2013).

Zgodnie z rozporządzeniem lokalizacyjnym, zaleceniami SSG-9 „Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations” i NS-R-3 „Site Evaluation for Nuclear Installations” opracowanymi przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (International Atomic Energy Agency) wykorzystywane są następujące definicje dotyczące przestrzennego zakresu koniecznych badań tektonicznych:

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 terenu badań, w efekcie której określona i uzasadniona zostałaby ogólna geometria makroregionu. (Etap I)

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

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. (Etap III)

uskok aktywny: rozumie się przez to uskok, co do którego na podstawie przeprowadzonych studiów literaturowych, badań terenowych i analiz:

- a) stwierdzono aktywność w ciągu ostatnich 10 000 lat, która mogłaby spowodować zagrożenie bezpieczeństwa obiektu jądrowego lub
- b) stwierdzono, że może być źródłem wstrząsu sejsmicznego mogącego spowodować zagrożenie bezpieczeństwa obiektu jądrowego o prawdopodobieństwie wystąpienia większym niż raz na 10 000 lat.

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, pęczniące lub o innych wysoce niekorzystnych parametrach dla lokalizacji 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 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 sile, 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 obiektu jądrowego, które nie mogą być skompensowane konstrukcyjnie;

6. W obszarze lokalizacji istnieje ryzyko wystąpienia powodzi lub podtopień zagrażających bezpieczeństwu obiektu jądrowego, które nie mogą być skompensowane konstrukcyjnie;
7. W regionie, dla którego rozpatrywano czynnik, o którym mowa w § 2 pkt 1 lit. D rozporządzenia lokalizacyjnego, 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 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 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 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 niniejszym dokumencie omówiony będzie zakres oceny dla kryteriów z rozporządzenia lokalizacyjnego wymienionych w punktach **2, 3, 4, 5 i 7**.

2. CEL PRAC

Celem realizowanych prac i analiz powinno być pozyskanie informacji o stabilności tektonicznej podłoża planowanego miejsca lokalizacji obiektu jądrowego oraz aktywności uskoków występujących w tym podłożu. Zgodnie z zaleceniami opracowanymi przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej, proces oceny stabilności tektonicznej podłoża planowanego miejsca lokalizacji obiektu jądrowego prowadzony jest przez rozpoznanie budowy geologicznej, głównie pod względem związku struktur tektonicznych z geodynamiką danego obszaru. Powinien składać się z czterech etapów, w których sekwencyjnie zawężany jest promień koniecznych badań i analiz przy równoczesnym wzroście ich szczegółowości. W warunkach polskich ze względu na stosunkowo słabą naturalną aktywność sejsmiczną, procedura oceny stabilności tektonicznej podłoża i aktywności występujących w nim uskoków może objąć trzy etapy:

1. Ogólnej charakterystyki geologicznej **makroregionu**. (Etap I)
2. Rozpoznania geofizycznego i geologicznego **regionu lokalizacji**. (Etap II)
3. Szczegółowego badania **obszaru lokalizacji**, w miejscu posadowienia obiektu jądrowego. (Etap III)

Wyniki analiz z etapów, ujmujących problematykę bardziej ogólnie, muszą być wykorzystane w kolejnych etapach oceny stabilności tektonicznej podłoża. Każdy z tych etapów, wymaga innego zestawu informacji potrzebnych do pełnej oceny miejsca przyszłego usytuowania obiektu jądrowego.

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

ETAP I

Obejmuje rozpoznanie ogólnej budowy geologicznej **makroregionu** z wydzieleniem jednostek tektonicznych, ze szczególnym uwzględnieniem sieci uskoków regionalnych oraz charakterystyki 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 (patrz [Zalecenia techniczne Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki dotyczące oceny sejsmiczności podłoża dla lokalizacji obiektów jądrowych](#)).

ETAP II

Koncentruje się na dokładniejszym rozpoznaniu budowy geologicznej **regionu lokalizacji** ze szczególnym uwzględnieniem sieci uskoków, opracowaniu modelu strukturalnego regionu do głębokości nie mniejszej niż 10 km, ocenie deformacji geodynamicznych i prognozie stabilności tektonicznej regionu.

ETAP III

Polega na szczegółowym rozpoznaniu budowy geologicznej w **obszarze lokalizacji** ze szczególnym uwzględnieniem sieci uskoków lokalnych do głębokości nie mniejszej niż 5 km. Obejmuje opracowanie szczegółowego trójwymiarowego modelu strukturalnego, charakterystyki stabilności neotektonicznej wraz z prognozą stabilności tektonicznej uwzględniającą wpływ działalności człowieka.

W każdym z ww. etapów należy także pozyskać informacje o aktywności stwierdzonych stref uskokowych.

2.1. ETAP I – MAKROREGION

2.1.1. Budowa geologiczna makroregionu

Celem realizowanych prac i analiz powinno być pozyskanie ogólnych informacji o regionalnej budowie skorupy ziemskiej w makroregionie, w promieniu 150 km wokół granic planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego, ze szczególnym uwzględnieniem ewentualnej obecności regionalnych stref uskokowych. Opis budowy geologicznej makroregionu powinien zawierać podział, odzwierciedlający obserwacje terenowe oraz wgłębne, na jednostki tektoniczne powstałe w wyniku deformacji określonego fragmentu skorupy ziemskiej, posiadające charakterystyczne i rozpoznawalne granice, umożliwiające przedstawienie ich na mapie geologicznej w postaci granic strukturalnych z jednostkami sąsiednimi.

W tym celu należy zebrać i opracować wszelkie możliwe dane geologiczne i geofizyczne 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.

Powyższe dane powinny być przedstawione na mapach i przekrojach geologicznych dostępnych w Polsce w skali 1:200 000 (Mapa Geologiczna Polski) lub większej oraz zawierać wszystkie dostępne informacje na podstawie wykonanych badań geologicznych, geofizycznych, w tym wyniki wierceń i obserwacje terenowe. Ich analiza powinna dostarczyć informacji na temat związku struktur tektonicznych z rozprzestrzenieniem trzęsień ziemi.

2.1.2. Charakterystyka geodynamiczna makroregionu

Celem analiz powinno być pozyskanie informacji o skali współczesnych ruchów geodynamicznych w makroregionie. Analizy te powinny pozwolić sprawdzić, czy obserwowane deformacje geodynamiczne mogą prowadzić do akumulacji energii sprężystej wokół występujących w skorupie ziemskiej dużych, regionalnych uskoków.

2.1.3. Analiza aktywności uskoków w makroregionie

Analizie poddać należy ostatnie 100 000 lat oraz dokonać oceny dalszej możliwej aktywności stref uskokowych. W tej fazie analizy rozpoznanie aktywności sejsmicznej i jej związku z uskokami 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.

W tym celu należy zebrać i opracować dane dokumentujące:

1. Lokalizację, liczbę, geometrię, kinematykę i wiek dużych, regionalnych uskoków,
2. Czas i wielkość przemieszczeń aktywnych uskoków w okresie ostatnich 100 000 lat, wraz z ich wzajemnym oddziaływaniem w obrębie różnych pięter strukturalnych,
3. Szacunkową wartość współczynnika ścinania w strefie uskokowej,
4. Względne deformacje geodynamiczne (powierzchniowe) ze szczególnym uwzględnieniem stref uskokowych,
5. Możliwe zmiany aktywności uskoków,
6. Wpływ przeszłej, obecnej i planowanej działalności człowieka, mogącej powodować uaktywnienie struktur uskokowych.

W etapie tym ważne jest wytypowanie struktur tektonicznych aktywnych sejsmicznie. Badania takich struktur powinny być oparte o dane geologiczne, geofizyczne, geomorfologiczne, w tym również nieopublikowane. Należy przeprowadzić korelację trzęsień ziemi prehistorycznych, historycznych i współczesnych z uskokami. Należy brać pod uwagę, że brak korelacji wystąpień trzęsień ziemi ze strukturami tektonicznymi nie oznacza, że te struktury nie mogą być aktywne tektonicznie. W badaniach należy uwzględnić wszystkie dostępne informacje o sejsmiczności makroregionu, w tym np. informacje o mechanizmach trzęsień ziemi, wyznaczone na tej podstawie typy uskoków i kierunki maksymalnych naprężeń. Podczas analizy danych należy uwzględnić również wpływ trzęsień ziemi na uskoki, które nie mają swoich śladów na powierzchni terenu (tzw. ślepe uskoki), a które występują w głębszych partiach skorupy ziemskiej, możliwość uwodnienia osadów podczas wstrząsów czy pionowe ruchy terenu, gdy uaktywniają się uskoki zrzutowe. W przypadku wytypowania uskoków aktywnych tektonicznie należy przeprowadzić szczegółowe prace badawcze w celu oszacowania wielkości przemieszczeń w czasie pojedynczego zdarzenia i datowania poszczególnych zdarzeń. W etapie tym należy zidentyfikować całą sieć uskokową z uwzględnieniem możliwości występowania aktywnych uskoków złożonych z wielu odcinków. W celu oszacowania wielkości potencjalnego trzęsienia ziemi należy również podjąć próbę obliczenia uśrednionego spadku naprężeń i uwzględnić szerokość

strefy uskokowej. Wyniki badań muszą być spójne z danymi geologicznymi i geomorfologicznymi.

2.2. ETAP II – REGION LOKALIZACJI

2.2.1. Szczegółowa budowa geologiczna regionu lokalizacji

Celem realizowanych prac i analiz powinno być pozyskanie szczegółowych informacji o budowie skorupy ziemskiej w regionie w odległości do 30 km od granic planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego, ze szczególnym uwzględnieniem stref uskokowych. Szczegółowa charakterystyka budowy geologicznej regionu lokalizacji powinna zawierać informacje o strukturach tektonicznych i litostratygrafii w ścisłym powiązaniu z danymi o wieku ruchu uskoków. Tektoniczna historia regionu powinna obejmować etapy deformacji po dzień dzisiejszy, ze szczególnym uwzględnieniem pliocenu-czwartorzędu. Datowanie etapów deformacji tektonicznych powinno być wykonane na podstawie wszystkich dostępnych metod badawczych, w tym obserwacji terenowych i wgłębnych.

Przedstawione powinny być wszystkie dostępne informacje na podstawie wykonanych badań geologicznych, geofizycznych, w tym wyniki wierceń i obserwacje terenowe. Analiza danych powinna dostarczyć informacji na temat związku struktur tektonicznych z rozprzestrzenieniem ewentualnych trzęsień ziemi. Wyniki powinny być przedstawione na mapach i przekrojach geologicznych w skali 1:50 000.

2.2.2. Model strukturalny regionu lokalizacji

Celem prac powinno być wykonanie modelu strukturalnego regionu, sięgającego do głębokości co najmniej 10 km, uwzględniającego:

- dokładny podział na piętra strukturalne zdefiniowane na podstawie kolejnych etapów deformacji tektonicznych,
- zasięg poszczególnych pięter z podaniem rodzaju wszystkich kontaktów,
- miąższość pięter strukturalnych,
- występowanie powierzchni nieciągłości.

2.2.3. Charakterystyka geodynamiczna regionu lokalizacji

Celem realizowanych analiz powinno być pozyskanie informacji o skali współczesnych ruchów geodynamicznych w regionie z uwzględnieniem oddziaływań struktur sąsiadujących. Analizy te powinny pozwolić na sprawdzenie, czy obserwowane deformacje geodynamiczne mogą prowadzić do akumulacji energii sprężystej w strefach uskoków występujących w skorupie ziemskiej jako duże, regionalne oraz mniejsze występujące lokalnie.

2.2.4. Prognoza stabilności tektonicznej regionu lokalizacji

Prognoza zmian aktywności tektonicznej w regionie powinna uwzględniać możliwe zmiany we wzroście lub spadku intensywności procesów geologicznych, szczególnie związanych z aktywnością tektoniczną, jak i z działalnością człowieka, które zostały już zaobserwowane

w skali całego regionu. Należy zaznaczyć, że w skali regionu i w perspektywie czasowej okresu funkcjonowania obiektu jądrowego mało prawdopodobne jest stwierdzenie zmian długookresowych, regionalnych trendów aktywności tektonicznej. W związku z tym należy poddać analizie wszystkie dane mogące dostarczyć informacji na temat wzrostu/spadku jej intensywności i założyć ekstrapolację ewentualnie wykrytego trendu. Prognoza powinna brać pod uwagę także dotychczasowe obserwacje zasięgu oddziaływania wstrząsów naturalnych oraz indukowanych działalnością człowieka, która może doprowadzić do zwiększenia wielkości przyspieszenia drgań (przemieszczeń gruntu), co jest istotne ze względu na odporność projektowanych obiektów jądrowych na skutki obciążeń dynamicznych.

W związku z działalnością człowieka ważny jest zasięg oddziaływań związanych m. in.:

- z działalnością górniczą,
- z obecnością sztucznych zbiorników wodnych,
- z wierconymi głębokimi otworami wiertniczymi np. w związku z wprowadzaniem metod wydobywczych polegających na udrożnieniu skał w procesie szczelinowania hydraulicznego.
- z podziemnym, bezzbiornikowym składowaniem odpadów, magazynowaniem CO₂,
- z wieloprzestrzennymi odwodnieniami,
- z eksploatacją zbiorników retencyjnych,
- z zaplanowanymi na wiele lat zabiegami rekultywacyjnymi związanymi z przemieszczeniem mas ziemnych i napełnianiem głębokich wyrobisk poeksploatacyjnych wodą.

Należy pamiętać, że tego typu działalność (mogąca spowodować zagrożenie bezpieczeństwa jądrowego obiektu jądrowego), zgodnie z rozporządzeniem lokalizacyjnym nie powinna być prowadzona w rejonie lokalizacji w okresie ostatnich 60 lat, co oznacza, że największym zagrożeniem może być sama budowa elektrowni jądrowej i spowodowane nią zmiany.

2.2.5. Analiza aktywności uskoków w regionie lokalizacji

Analizie należy poddać ostatnie 10 000 lat oraz dokonać oceny dalszej możliwej aktywności stref uskokowych. Prace i analizy powinny umożliwić pozyskanie szczegółowych informacji o przebiegu stref uskokowych w regionie lokalizacji obiektu jądrowego i ich aktywności dla stref lub pojedynczych uskoków o cechach wskazujących na ich aktywne ruchy.

W tym celu należy zebrać i opracować dane dokumentujące:

1. Lokalizację, rozkład przestrzenny, liczbę, geometrię, kinematykę i wiek uskoków.
2. Czas, tempo i wielkość przemieszczeń aktywnych uskoków w okresie ostatnich 10 000 lat, wraz z ich wzajemnym oddziaływaniem w sieci uskoków. W przypadku stwierdzenia występowania aktywności uskokowej należy określić:
 - a. szczegółowe parametry ją opisujące, takie jak częstość, okres aktywności i wielkość przemieszczenia dla każdego okresu aktywności, szacunkową wartość współczynnika ścinania w strefie uskokowej dla uskoków aktywnych.

- b. możliwe zmiany aktywności uskoków uwzględniające regionalny model strukturalny.
- c. względne deformacje geodynamiczne (powierzchniowe) ze szczególnym uwzględnieniem stref uskokowych.
- d. wpływ przeszłej, obecnej i planowanej działalności człowieka, mogącej powodować uaktywnienie struktur uskokowych.

W etapie tym powinna być sporządzona prognoza możliwych zmian aktywności uskoków uwzględniająca regionalny model strukturalny. Prognoza ta powinna uwzględniać wpływ przeszłej, obecnej i planowanej działalności, mogącej powodować uaktywnienie uskoków. W etapie tym należy również przeprowadzić identyfikację innych czynników mogących spowodować potencjalne uaktywnienie uskoków w regionie lokalizacji. Szczególną uwagę należy zwrócić na wszelkie możliwe zmiany dotyczące wód gruntowych i innych cieczy oraz gazów, zwłaszcza występujących głęboko – zarówno na pobór (powodujący osiadania), jak i na zatłaczanie (ułatwiający pękanie skał). W rejonie nie powinny być prowadzone żadne prace związane z tego typu działalnością w ciągu ostatnich 60 lat.

2.3. ETAP III – OBSZAR LOKALIZACJI

2.3.1. Szczegółowa charakterystyka budowy geologicznej obszaru lokalizacji

Celem realizowanych prac i analiz powinno być pozyskanie szczegółowych informacji o budowie skorupy ziemskiej w odległości do 5 km od granic planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego, ze szczególnym uwzględnieniem ewentualnej obecności stref uskokowych i spękań. Szczegółowa charakterystyka budowy geologicznej obszaru lokalizacji powinna zawierać informacje o strukturach tektonicznych i litostratygrafii, w ścisłym powiązaniu z danymi o wieku ruchu uskoków. Tektoniczna historia obszaru lokalizacji powinna obejmować etapy deformacji po dzień dzisiejszy, ze szczególnym uwzględnieniem pliocenu-czwartorzędu. Datowanie etapów deformacji tektonicznych powinno być wykonane na podstawie wszystkich dostępnych metod badawczych, w tym obserwacji terenowych i wgłębnych.

Dane dotyczące szczegółowej budowy geologicznej powinny zawierać wszystkie informacje dostępne na podstawie wykonanych badań geologicznych, geofizycznych, w tym wyniki wierceń i obserwacji terenowych. Wszystkie pozyskane dane na podstawie badań przeprowadzonych *in situ* i w laboratoriach powinny być wykorzystane do stworzenia jednej spójnej bazy danych, zawierającej wyniki badań geologicznych, geofizycznych, sejsmologicznych, geodezyjnych i geotechnicznych. Na podstawie badań powinno się uzyskać wiedzę o szczegółowej budowie geologicznej: tektonicznej, litostratygrafii obszaru lokalizacji, strukturach tektonicznych w tym ich głębokości, rozmiarach, orientacji, geometrii, nieciągłościach, a także parametrach dynamicznych skał. Badania powinny uwzględnić obecne i historyczne wyniki pomiarów w przypadku zachowań dynamicznych skał i gruntów. Szczegółowe badania geologiczne i geomorfologiczne powinny zdefiniować rodzaj kontrakcyjnych i ekstensyjnych struktur tektonicznych, w tym np. fałdy, uskoki, a w przypadku właściwości dynamicznych skał np. współczynnik Poissona, moduł Younga, gęstość, gęstość

objętościową (pozorną), wytrzymałość na ścinanie, współczynnik ścinania, oraz skład granulometryczny osadów i skał.

Szczególną uwagę powinno się zwrócić na neotektoniczną historię aktywności uskoków, głównie pod kątem możliwości wystąpienia powierzchniowych ruchów w strefach uskoków. Badania w strefach uskoków, w których stwierdzono przemieszczenia w okresie od pliocenu do dziś, powinny doprowadzić do identyfikacji uskoków aktywnych, wzdłuż których w czasach prehistorycznych, historycznych i współcześnie notowane były trzęsienia ziemi, oraz uskoków, które są w stadium pełzania, czyli w strefach, w których przemieszczenia zachodzą bez trzęsień ziemi. Na płaszczyznach uskoków powinny być zidentyfikowane wszystkie składowe ruchy, a także określony wiek zachodzących przemieszczeń. Wszystkie te badania powinny umożliwić zdefiniowanie warunków potencjalnej niestabilności związanej z budową geologiczną.

Wyniki powinny:

- być przedstawione na mapach i przekrojach geologicznych w skali 1:5 000,
- zawierać wnioski z opracowań geofizycznych, dane z otworów wiertniczych i rdzeni wiertniczych (analiza strukturalna spękań), dokumentację szurfów wykonanych w strefach uskoków,
- pokazywać miejsca potencjalnych geologicznych zagrożeń o przyczynach naturalnych i wynikających z działalności człowieka, w tym rejony podlegające subsydencji, oraz rejony występowania osuwisk i zjawisk krasowych. Szczególną uwagę należy zwrócić na obszary, gdzie może wystąpić sejsmiczność indukowana w związku z np. działalnością górniczą, obecnością sztucznych zbiorników wodnych, wierconych głębokich otworów poszukiwawczych i czynnie wykorzystywanych otworów na polach geotermicznych i wydobywczych.

2.3.2. Szczegółowy trójwymiarowy model strukturalny obszaru lokalizacji

Stworzony przy pomocy specjalistycznych programów komputerowych szczegółowy trójwymiarowy model strukturalny obszaru powinien być wykonany ściśle w oparciu o dane zawarte w bazie danych, obejmującej wszystkie informacje geologiczne, geofizyczne i geotechniczne o miejscu planowanej lokalizacji obiektu jądrowego. Model powinien uwzględniać informacje ze spójnych regionalnych i lokalnych baz danych o wszystkich możliwych zagrożeniach. Podczas konstruowania modelu lub modeli należy wziąć pod uwagę, że nawet najbardziej zaawansowane metody komputerowe nie są w stanie stworzyć dobrego modelu w przypadku, gdy w bazach danych informacje są niewystarczające i/lub obciążone błędami. Wyniki otrzymane na skutek skonstruowania modelu muszą być konfrontowane z danymi zawartymi w dostępnej literaturze. Model strukturalny obszaru powinien sięgać do głębokości co najmniej 5 km i przedstawiać szczegółowo geometrię przestrzenną kompleksów litologicznych (zarówno skał osadowych, jak i podłoża krystalicznego), a także wszelkie stwierdzone (lub przypuszczalne) uskoki i strefy spękań, bez względu na ich stopień aktywności i rodzaj. Model ten powinien być w pełni zgodny z modelem budowy geologicznej sporządzanym zgodnie z *Zaleceniami technicznymi*

2.3.3. Charakterystyka stabilności neotektonicznej obszaru lokalizacji

Stabilność neotektoniczna obszaru w dłuższej, historycznej perspektywie czasowej powinna być potwierdzona wynikami badań geomorfologicznych (morfometrycznych) obejmujących badania terenowe i analizy kameralne, a aktualna stabilność – precyzyjnymi pomiarami geodezyjnymi (w tym monitoringiem GPS), oraz satelitarną interferometrią radarową – zarówno klasyczną (InSAR), jak i dużo dokładniejszą metodą permanentnych rozpraszaczy (PSInSAR), najlepiej po założeniu ich zagęszczonych sieci. W przypadku zauważonych zmian powinno się użyć wszystkich niezbędnych metod w celu pozyskania danych i informacji do analizy aktywności uskoków w obszarze lokalizacji (pkt. 4.8.).

2.3.4. Prognoza stabilności tektonicznej obszaru lokalizacji

Prognoza zmian aktywności tektonicznej w obszarze lokalizacji powinna uwzględnić możliwe i już zaistniałe zmiany intensywności procesów geologicznych, związanych z aktywnością tektoniczną jak i z działalnością człowieka, które zostały już zaobserwowane w skali całego obszaru badań. Należy zaznaczyć, że w perspektywie czasowej funkcjonowania obiektu jądrowego mało prawdopodobne jest stwierdzenie zmian długookresowych regionalnych trendów aktywności tektonicznej na stosunkowo niewielkim obszarze lokalizacji. W związku z tym należy poddać analizie wszystkie dane mogące dostarczyć informacji na temat wzrostu/spadku jej intensywności i założyć ekstrapolację ewentualnie wykrytego trendu. W prognozie powinno się brać pod uwagę także dotychczasowe obserwacje zasięgu oddziaływania wstrząsów naturalnych oraz indukowanych działalnością człowieka, które mogą doprowadzić do zwiększenia wielkości przyspieszenia drgań (przemieszczeń gruntu), co jest istotne ze względu na odporność projektowanych obiektów na skutki obciążeń dynamicznych. W prognozowaniu podatności głębokiego podłoża na rozładowywanie naprężeń spowodowanych procesami tektonicznymi, oraz zmian naprężeń indukowanych antropopresją, kluczową rolę odgrywa wytrzymałość skał razem z kompleksową charakterystyką odkształceniową – naprężeniową skał podłoża. Prognoza stabilności tektonicznej obszaru lokalizacji powinna uwzględniać badania *in situ* oraz laboratoryjne badania geomechaniczne, na podstawie których możliwe będzie opracowanie modelu zniszczenia opartego na konwencjonalnych teoriach zniszczenia oraz współczesnych teoriach sprężystego krucho-plastycznego zachowania się skał pod obciążeniem.

Należy zwrócić uwagę, że mierzone wielkości przemieszczeń neotektonicznych w obszarze lokalizacji, czyli na stosunkowo małym obszarze, mogą okazać się tak niewielkie, że często odmienne metody pomiaru mogą wskazywać na różne ich zwroty. Stąd trudno je prognozować z dużą pewnością. Jednak w skali czasowej rzędu dziesiątek lub setek lat należy się liczyć z kontynuacją długotrwałych naturalnych tendencji (np. wypiętrzanie Skandynawii). Należy uwzględnić rolę ruchów pionowych w związku z poborem wód gruntowych lub innych płynów porowych lub ich zatłaczaniem. Ruchy pionowe mogą być spowodowane również obciążaniem terenu wielkimi konstrukcjami, nasypami lub sztucznymi zbiornikami wodnymi (np. Czorsztyn) i odciążaniem poprzez tworzenie np. wyrobisk kopalni

odkrywkowych. Tego typu obiekty nie mogą się znajdować w pobliżu obiektów jądrowych (zgodnie z rozporządzeniem lokalizacyjnym), lecz pozostaje obciążenie samą konstrukcją elektrowni, oraz wypompowywanie wód gruntowych np. podczas odwadniania wykopów w trakcie jej budowy.

2.3.5. Analiza aktywności uskoków w obszarze lokalizacji

Celem realizowanych prac i analiz powinno być zebranie informacji o obecności w obszarze lokalizacji obiektu jądrowego płytkich (do 5 km) uskoków i ich przeszłej oraz obecnej aktywności. Szczegółowe badania należy rozpocząć od rozpoznania wszystkich struktur tektonicznych w oparciu o badania geologiczne, geofizyczne. Następnie należy określić typy uskoków i fałdów, które mogą powstawać w związku z uskokowaniem.

W tym celu należy zebrać i opracować dane dokumentujące:

1. Lokalizację, rodzaj i liczbę uskoków występujących na głębokości od ok. 5 km do powierzchni.
2. Długości uskoków, głębokości ich występowania, geometrię, kinematykę i wiek.
3. Jeśli zaobserwowano uskoki aktywne: dane o częstotliwości i okresach aktywności, tempie, kierunku, stwierdzonych przemieszczeniach, oszacowanych wartościach współczynnika ścinania w strefach uskokowych.
4. Neotektoniczną historię aktywności uskoków, których prawdopodobieństwo wystąpienia jest większe niż raz na 10 000 lat.

W etapie tym należy sporządzić prognozę możliwych zmian aktywności uskoków uwzględniającą model strukturalny obszaru oraz wpływ przeszłej, obecnej i planowanej działalności człowieka, mogącej powodować uaktywnienie uskoków oraz uwzględnić możliwe wzajemne oddziaływania uskoków. W etapie tym należy również przeprowadzić identyfikację innych czynników mogących spowodować potencjalne uaktywnienie uskoków w obszarze lokalizacji, a szczególnie wód gruntowych i innych cieczy porowych oraz gazów.

3. SPOSOBY POZYSKANIA DANYCH

Dane do oceny stabilności tektonicznej podłoża lokalizacji obiektu jądrowego należy podzielić na trzy ogólne kategorie:

1. **Dane archiwalne:** zgromadzone w istniejących bazach danych, archiwach oraz w materiałach opublikowanych, itp.
2. **Dane pomiarowe:** zebrane w wyniku specjalistycznych prac pomiarowych zrealizowanych specjalnie na potrzeby oceny stabilności tektonicznej rejonu, w którym rozważana jest lokalizacja obiektu jądrowego.
3. **Dane z ciągłego monitoringu sejsmicznego i monitoringu GPS** do stworzenia charakterystyki geodynamicznej.

Ważnym celem we wszystkich trzech etapach oceny jest zidentyfikowanie możliwości powstania zagrożeń spowodowanych zdarzeniami naturalnymi i wynikających z działalności człowieka. Badania powinny opierać się na informacjach prehistorycznych, historycznych i opartych o dane współczesne, notowane przez specjalistyczne przyrządy pomiarowe. Dane takie muszą być analizowane pod kątem wiarygodności, dokładności i kompletności.

Zgodnie z „Zaleceniami technicznymi Prezesa PAA dotyczącymi oceny sejsmiczności podłoża dla lokalizacji obiektów jądrowych” „...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 archiwalne (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 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 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, 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 stabilności tektonicznej miejsca planowanego posadowienia obiektu jądrowego...”.

Pozyskane dane powinny:

- obejmować wiedzę o wszystkich znanych trzęsieniach ziemi, które wystąpiły w makroregionie i w jego bezpośrednim sąsiedztwie,
- być podstawą opisu możliwych efektów drgań powstałych w wyniku trzęsienia ziemi i ich związek z uskokami występującymi na powierzchni terenu, z możliwością subsydencji i zapadnięciami gruntu,
- umożliwić analizę aktywności uskoków, które mogą być w stadium pełzania, gdzie nie są notowane trzęsienia ziemi.
- uwzględnić w odniesieniu do obszarów nadmorskich możliwość wystąpienia powodzi wywołanych podwodnym trzęsieniem bądź osuwiskiem ziemi.

3.1. ETAP I – MAKROREGION

Źródłem danych dla tego etapu jest:

1. Kwerenda w Narodowym Archiwum Geologicznym (NAG), Centralnej Bazie Danych Geologicznych w Państwowym Instytucie Geologicznym - Państwowym Instytucie Badawczym, różnego rodzaju archiwach lokalnych (wojewódzkich itd.) – po uzyskaniu stosownych zgód wymaganych przez ustawę - Prawo geologiczne i górnicze i przez 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. Kwerenda w bazach danych zawierających dane na temat aktywności tektonicznej (Międzynarodowe Centrum Sejsmologiczne, Europejsko-Śródziemnomorskie Centrum Sejsmologiczne).
4. Kwerenda w bazach danych zawierających dane dotyczące kierunków i reżimów naprężeń na podstawie analizy ognisk trzęsień ziemi (European-Mediterranean Regional Centroid Moment Tensors Catalog).

5. Analiza publikacji naukowych i innych opracowań, w tym Mapy Geologicznej Polski w skali 1:200 000 w wydaniach A i B (mapa odkryta) dostępnych w domenie publicznej lub komercyjnej.
6. Analiza numerycznego modelu powierzchni terenu wykonanego na podstawie zdjęć lotniczych lub lotniczego skaningu laserowego.
7. Niezależnie od studium publikacji i przeglądu już wykonanych map lineamentów:
 - interpretacja aktualnych wielospektralnych obrazów satelitarnych o średniej rozdzielczości, wykonanych w świetle widzialnym i bliskiej podczerwieni (np. TERRA ASTER - VNIR, Landsat 8 - OLI) oraz w podczerwieni termalnej (TERRA ASTER - TIR, Landsat 8 - TIRS),
 - interpretacja radarowych obrazów satelitarnych SAR (np. Envisat-ASAR, ERS-2-SAR, Radarsat-2, TerraSAR-X),
 - wykorzystanie klasycznej satelitarnej interferometrii radarowej InSAR wykonanej na podstawie obrazów z ww. satelitów.

Obrazy satelitarne Landsat i TERRA - mogą być pozyskane z USGS i NASA, a część obrazów Landsat jest dostępna w domenie publicznej. Obrazy radarowe mogą być pozyskane poprzez zakup od agencji będących właścicielami satelitów (ESA, CSA, Infoterra GmbH).

3.2. ETAP II - REGION LOKALIZACJI

Źródłem danych dla tego etapu jest:

1. Kwerenda w Narodowym Archiwum Geologicznym (NAG), Centralnej Bazie Danych Geologicznych w Państwowym Instytucie Geologicznym - Państwowym Instytucie Badawczym, różnego rodzaju archiwach lokalnych (wojewódzkich itd.) – po uzyskaniu stosownych zgód wymaganych przez ustawę - Prawo geologiczne i górnicze i przez inne przepisy prawa.
2. Kwerenda w archiwach firm komercyjnych krajowych i zagranicznych, które mogły wykonywać w przeszłości badania geofizyczne, geologiczne oraz monitoring aktywności sejsmicznej na obszarze będącym tematem zainteresowania w kontekście lokalizacji obiektu jądrowego – po uzyskaniu stosownych zgód wymaganych przez ustawę - Prawo geologiczne i górnicze i inne regulacje prawne.
3. Kwerenda w bazach danych zawierających dane na temat aktywności tektonicznej (Międzynarodowe Centrum Sejsmologiczne, Europejsko-Śródziemnomorskie Centrum Sejsmologiczne).
4. Kwerenda w bazach danych zawierających dane dotyczące kierunków i reżimów naprężeń na podstawie analizy ognisk trzęsień ziemi (European-Mediterranean Regional Centroid Moment Tensors Catalog).

5. Analiza publikacji naukowych, w tym map geologicznych zrealizowanych w ramach Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000 i innych opracowań dostępnych w domenie publicznej lub komercyjnej.
6. Wykonanie pomiarów sejsmicznych w wariancie 2D lub 3D (w zależności od lokalnej budowy geologicznej).
7. Wykonanie póluszczegółowych pomiarów grawimetrycznych, magnetycznych, geoelektrycznych
8. Przy braku szczegółowych opracowań kartograficznych, w zależności od stopnia komplikacji lokalnej budowy geologicznej (odslaniające się w regionie lokalizacji utwory paleozoiczne, mezozoiczne, paleogeńskie lub neogeńskie) przeprowadzenie prac kartograficznych.
9. Wykonanie obserwacji terenowych skarp uskokowych oraz w miarę potrzeby robót ziemnych w postaci szurfów w poprzek lub wzdłuż stref uskoków.
10. Pozyskanie i analiza numerycznego modelu powierzchni terenu wykonanego na podstawie zdjęć lotniczych lub skaningu lotniczego. Interpretacja numerycznych modeli powierzchni terenu o gęstości punktów rzędu 4 p/m² (np. wykonanych w ramach Systemu ISOK).
11. Analiza archiwalnych otworów wiertniczych w regionie lokalizacji i jego najbliższym otoczeniu. W uzasadnionych przypadkach (np. w razie braku archiwalnych otworów): 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.
12. Analiza zdjęć satelitarnych obejmująca:
 - interpretację wielospektralnych obrazów satelitarnych w świetle widzialnym i bliskiej podczerwieni oraz w podczerwieni termalnej (np. TERRA ASTER, Landsat 8)
 - interpretację radarowych obrazów satelitarnych SAR (np. Envisat-ASAR, ERS-2-SAR, Radarsat-2, TerraSAR-X),
 - satelitarną interferometrię radarową InSAR,
 - satelitarną interferometrię radarową metodą stabilnych rozpraszaczy PSInSAR (po uprzednim założeniu sieci pomiarowej rozpraszaczy),
 - precyzyjne pomiary GPS.
13. Geologiczna i geomorfologiczna interpretacja stereoskopowych zdjęć lotniczych.
14. Monitoring aktywności sejsmicznej w terenie będącym tematem zainteresowania w kontekście lokalizacji obiektu jądrowego.
15. Wykonanie pomiarów geodezyjnych (w tym precyzyjnych pomiarów GPS).

3.3. ETAP III - OBSZAR LOKALIZACJI

Źródłem danych dla tego etapu jest:

1. Wykonanie sejsmicznych pomiarów refrakcyjnych (kartowanie stropu płytkiego podłoża i pokrywy kenozoicznej).
2. Wykonanie sejsmicznych pomiarów refleksyjnych w wariancie 3D/3C.
3. W razie potrzeby: wykonanie płytkich wysokorozdzielczych sejsmicznych pomiarów refleksyjnych 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. Analiza map geologicznych, a przy braku szczegółowych opracowań kartograficznych, w zależności od stopnia komplikacji lokalnej budowy geologicznej przeprowadzenie dodatkowych prac kartograficznych.
8. Wykonanie obserwacji terenowych skarp uskokowych oraz w miarę potrzeby robót ziemnych w postaci szurfów w poprzek lub wzdłuż stref uskoków.
9. Analiza młodych skarp uskokowych przecinających utwory czwartorzędowe i młodych form geomorfologicznych w celu określenia ich genezy (związane z aktywnymi sejsmicznie strukturami i nie związane z takimi strukturami będące rezultatem np. działań człowieka, wpływów grawitacyjnych, osiadania gruntu i erozji). Datowanie form geomorfologicznych metodami radiogenicznymi i innymi powszechnie stosowanymi.
10. Po wytypowaniu miejsc występowania potencjalnych uskoków - wytypowanie miejsc do przeprowadzenia badań geofizycznych, obserwacje terenowe w odsłonięciach, kamieniołomach oraz w sporządzonych szurfach i wkopach w celu określenia typu uskoku oraz jego aktywności.
11. Informacje geodezyjne (w tym GPS) o ruchach i przemieszczeniach geodynamicznych strefy planowanej lokalizacji obiektu jądrowego, z uwzględnieniem struktur sąsiadujących. Informacje powinny uwzględniać dane o współczesnym rozkładzie i reżimie pola naprężeń w regionie lokalizacji, z uwzględnieniem struktur sąsiadujących na podstawie analizy struktur zniszczeniowych ścian otworów wiertniczych (*breakouts*), testów szczelinowania hydraulicznego w otworach wiertniczych i mechanizmów ognisk trzęsień ziemi regionu i obszarów sąsiadujących, w którym rozważana jest lokalizacja obiektu jądrowego.

12. 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.
13. Pobranie i badania laboratoryjne rdzeni wiertniczych, umożliwiającących szczegółowe badania petrofizyczne i geomechaniczne wytrzymałościowo-odkształceniowe podłoża skalnego.

Zalecany zestaw szczegółowych badań:

- wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie ($\sigma_2=\sigma_3=0$)
- wytrzymałość na trójosiowe ściskanie (konwencjonalne $\sigma_2=\sigma_3=\sigma_c$),
- wytrzymałość na rozciąganie metodą poprzecznego ściskania (metoda brazylijska),
- odporność na pękanie (metoda Chevron Bend),
- podstawowy kąt tarcia (test Stimpsona),
- punktowa wytrzymałość na ściskanie,
- testy prędkości fal sejsmicznych (fale P i S).

Jako badanie uzupełniające zaleca się monitorowanie emisji akustycznej (AE) w trakcie testów jednoosiowego ściskania. Wszystkie badania powinny być prowadzone w oparciu o normy europejskie PN-EN, a w przypadku braku normalizacji sugerowanego badania według zaleceń *International Society for Rock Mechanics* (ISRM).

W przypadku gruntów nieskalistych badania właściwości geologiczno – inżynierskich gruntów należy przeprowadzać zgodnie z PN-EN ISO 14688, ze szczególnym uwzględnieniem badań:

- analizy granulometrycznej,
 - stanu gruntu (konsystencja, wskaźnik plastyczności, aktywność gruntów),
 - składu mineralnego (analiza rentgenostrukturalna w razie potrzeby uzupełniona innymi metodami mineralogicznym),
 - badań pęcznienia i ekspansywności gruntów.
14. Analiza zdjęć satelitarnych obejmująca:
 - interpretację radarowych obrazów satelitarnych SAR o rozdzielczości rzędu metrów.
 - satelitarną interferometrię radarową metodą stabilnych rozpraszaczy PSInSAR (po uprzednim założeniu sieci pomiarowej rozpraszaczy, gęstszej niż w regionie).
 15. Precyzyjne pomiary GPS (w zagęszczonej sieci).
 16. Interpretacja numerycznych modeli powierzchni terenu o gęstości punktów 4 p/m² lub wyższej (ISOK, lub nalot LIDAR wykonany specjalnie na potrzeby inwestycji).
 17. Geologiczna i geomorfologiczna interpretacja stereoskopowych zdjęć lotniczych w skali rzędu 1:5 000.

4. KOMPLEKSOWA I ZINTEGROWANA BAZA DANYCH

Wszystkie dane wprowadzane do bazy powinny mieć precyzyjną, a w wypadku starszych opracowań – zweryfikowaną – lokalizację geograficzną (geokodowanie) w obowiązującym dla danej skali układzie współrzędnych (1992 lub 2000). Baza danych powinna być konstruowana w oparciu o oprogramowanie GIS.

4.1. NIEZBĘDNE DANE I INFORMACJE O BUDOWIE GEOLOGICZNEJ SKORUPY ZIEMSKIEJ W MAKROREGIONIE:

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.

4.2. NIEZBĘDNE DANE I INFORMACJE DO STWORZENIA CHARAKTERYSTYKI GEODYNAMICZNEJ MAKROREGIONU:

1. Informacje geodezyjne (w tym GPS) o ruchach i przemieszczeniach geodynamicznych w strefie planowanej lokalizacji obiektu jądrowego, z uwzględnieniem struktur sąsiadujących.
2. Informacje o współczesnym rozkładzie i reżimie pola naprężeń w makroregionie, z uwzględnieniem struktur sąsiadujących na podstawie analizy struktur zniszczeniowych ścian otworów wiertniczych (*breakouts*), testów szczelinowania hydraulicznego w otworach wiertniczych i mechanizmów ognisk trzęsień ziemi regionu i obszarów sąsiadujących, w którym rozważana jest lokalizacja obiektu jądrowego.
3. Wyniki radarowych badań interferometrycznych (InSAR)

4.3. NIEZBĘDNE DANE I INFORMACJE DO ANALIZY AKTYWNOŚCI USKOKÓW W MAKROREGIONIE:

1. Wyniki regionalnych opracowań (publikowanych i archiwalnych) wszelkiego rodzaju projektów z zakresu powierzchniowej kartografii geologicznej i neotektoniki.
2. Wyniki analiz z zakresu geologii inżynierskiej i mechaniki górotworu dotyczących wybranego rejonu zainteresowania, ze szczególnym uwzględnieniem prac nad ilościową parametryzacją i charakterystyką stref uskokowych.
3. Informacje geodezyjne (w tym GPS) o ruchach i przemieszczeniach geodynamicznych w strefie planowanej lokalizacji obiektu jądrowego, z uwzględnieniem struktur sąsiadujących. Informacje powinny uwzględniać dane o współczesnym rozkładzie i reżimie pola naprężeń w makroregionie, z uwzględnieniem struktur sąsiadujących na podstawie analizy struktur zniszczeniowych ścian otworów wiertniczych (*breakouts*), testów szczelinowania hydraulicznego w otworach wiertniczych i mechanizmów ognisk trzęsień ziemi regionu i obszarów sąsiadujących, w którym rozważana jest lokalizacja obiektu jądrowego.
4. Informacje o sieci uskoków na podstawie analizy:
 - stereoskopowych zdjęć lotniczych, obrazów radarowych SAR, satelitarnych lub lotniczych.

4.4. NIEZBĘDNE DANE I INFORMACJE O BUDOWIE GEOLOGICZNEJ SKORUPY ZIEMSKIEJ W REGIONIE LOKALIZACJI:

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 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 wykonanych na potrzeby prowadzonych badań.
5. Wyniki archiwalnych pomiarów petrofizycznych wykonanych na rdzeniach wiertniczych.
6. Wyniki archiwalnych badań geomechanicznych wytrzymałościowo-odkształceniowych skał w tym laboratoryjny pomiar prędkości fal sejsmicznych ultradźwiękowych (fal P i S) oraz ich korelacja geofizycznymi profilowaniami akustycznymi.
7. Wyniki pomiarów petrofizycznych wykonanych na rdzeniach wiertniczych z jednego bądź więcej wierceń parametrycznych wykonanych na potrzeby prowadzonych badań.
8. Właściwości wytrzymałościowo – odkształceniowe, w tym laboratoryjny pomiar fal sejsmicznych ultradźwiękowych (fal P i S) oraz ich korelacja z geofizycznymi profilowaniami akustycznymi z wierceń parametrycznych wykonanych na potrzeby prowadzonych badań.
9. Wszystkie dostępne (archiwalne i publikowane) wyniki analiz geologicznych, w szczególności dotyczących zagadnień tektonicznych. W przypadku braku takich opracowań konieczne jest wykonanie takich analiz.
10. Archiwalne dane i opracowania dotyczące geologicznych analiz zdjęć lotniczych i satelitarnych. W przypadku braku takich opracowań konieczne jest wykonanie takich analiz.

4.5. NIEZBĘDNE DANE I INFORMACJE DO STWORZENIA CHARAKTERYSTYKI GEODYNAMICZNEJ REGIONU LOKALIZACJI:

1. Informacje geodezyjne (GPS) i interferometryczne (InSAR i PSInSAR) o ruchach i przemieszczeniach geodynamicznych w regionie obiektu jądrowego, z uwzględnieniem struktur sąsiadujących.
2. Informacje o współczesnym rozkładzie i reżimie pola naprężeń w regionie, z uwzględnieniem struktur sąsiadujących na podstawie analizy struktur zniszczeniowych ścian otworów wiertniczych (*breakouts*), testów szczelinowania hydraulicznego w otworach wiertniczych i mechanizmów ognisk trzęsień ziemi rejonu i obszarów sąsiadujących, w którym rozważane jest posadowienie obiektu jądrowego.

4.6. NIEZBĘDNE DANE I INFORMACJE DO ANALIZY AKTYWNOŚCI USKOKÓW W REGIONIE LOKALIZACJI:

1. Wyniki interpretacji i reinterpretacji danych sejsmicznych i grawimetrycznych, w przypadku płytkiego występowania podłoża czynnego magnetycznie – również danych magnetycznych i geoelektrycznych.
2. Wyniki opracowań wszelkiego rodzaju projektów z zakresu powierzchniowej kartografii geologicznej, neotektoniki i geomorfologii oraz, w uzasadnionych przypadkach, archeologii.
3. Wyniki analiz z zakresu geologii inżynierskiej i mechaniki górotworu dotyczących rejonu zainteresowania, ze szczególnym uwzględnieniem prac dotyczących ilościowej parametryzacji i charakterystyki stref uskokowych.

4.7. NIEZBĘDNE DANE I INFORMACJE O BUDOWIE GEOLOGICZNEJ SKORUPY ZIEMSKIEJ W OBSZARZE LOKALIZACJI:

1. Dane z pomiarów geofizycznych wykonanych w obszarze lokalizacji obiektu jądrowego przy wykorzystaniu metod omówionych w rozdziale 3.3.
2. Archiwalne dane i opracowania wynikowe z kluczowych otworów badawczych oraz dane otworowe z jednego bądź więcej wierceń parametrycznych wykonanych w obszarze lokalizacji obiektu jądrowego.
3. Wyniki pomiarów petrofizycznych wykonanych na rdzeniach wiertniczych z jednego bądź więcej wierceń parametrycznych wykonanego na potrzeby prowadzonych badań.
4. Wszystkie dostępne (archiwalne i publikowane) wyniki badań geologicznych, w szczególności dotyczących zagadnień tektonicznych. W przypadku braku takich opracowań konieczne jest wykonanie takich badań.
5. Archiwalne dane i opracowania dotyczące analiz zdjęć lotniczych i satelitarnych. W przypadku braku takich opracowań konieczne jest wykonanie takich analiz.
6. Wyniki radarowych badań interferometrycznych PSInSAR, radarowych obrazów satelitarnych SAR oraz precyzyjnych pomiarów GPS.

4.8. NIEZBĘDNE DANE I INFORMACJE DO ANALIZY AKTYWNOŚCI USKOKÓW W OBSZARZE LOKALIZACJI:

1. Wyniki szczegółowych analiz geologicznych, neotektonicznych i geomorfologicznych, w tym: analizy map geologicznych i zdjęć satelitarnych, lotniczych, gdzie występują utwory czwartorzędowe, w tym radarowych (SAR) oraz numerycznych modeli powierzchni terenu wykonanych metodą skaningu laserowego (LIDAR).
2. Dane z pomiarów geofizycznych wykonanych w obszarze lokalizacji obiektu jądrowego przy wykorzystaniu następujących metod:
 - płytki sejsmiki refrakcyjnej,
 - sejsmiki refleksyjnej,
 - grawimetria,
 - geoelektryka,
 - georadar,
3. Obserwacje terenowe młodych skarp uskokowych przecinających utwory czwartorzędowe i młodych form geomorfologicznych w celu określenia ich genezy (związane z aktywnymi sejsmicznie strukturami i nie związane z takimi strukturami, będące efektem działań człowieka, czy efektem naturalnych procesów np. wpływów grawitacyjnych, osiadania gruntu, procesów erozyjnych, (np. brzegi jezior, terasy) i ewentualne ich datowanie. Po wytypowaniu miejsc występowania potencjalnych aktywnych uskoków kolejnymi niezbędnymi krokami w uszczegółowieniu danych będą: wytypowanie miejsc do przeprowadzenia badań geofizycznych, obserwacje terenowe w odsłonięciach, w kamieniołomach oraz w sporządzonych szurfach i wkopach w celu określenia typu uskoku oraz jego aktywności.

5. WERYFIKACJA I INTERPRETACJA UZYSKANYCH INFORMACJI

Właściwa interpretacja danych jest ściśle związana z ich poprawną weryfikacją. Weryfikacja informacji obejmuje zarówno dane historyczne (ich poprawność merytoryczną i jakościową), jak również dane współczesne. W celu otrzymania wyników o największym stopniu wiarygodności należy w miarę możliwości stosować różne metody badawcze, co powinno umożliwić ocenę poprawności rozwiązań. Istotne jest, aby stosowane różne metody dostarczały wzajemnie zgodnych wyników, umożliwiających poprawną interpretację.

W **makroregionie** 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. W makroregionie przeanalizować należy stosowaną dawniej 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. Interpretacja powinna polegać na opracowaniu regionalnego przestrzennego 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.

W **regionie lokalizacji** należy ocenić jakość danych archiwalnych i opracować optymalną procedurę ich ponownego przetwarzania i reinterpretacji. Istotnym elementem tych prac powinno być uzyskanie jak najlepszej spójności danych archiwalnych z nowo pomierzonymi danymi. Interpretacja nowo pomierzonych oraz ponownie przetworzonych danych w regionie lokalizacji, 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. W regionie lokalizacji interpretacja powinna polegać na opracowaniu modelu tektonicznego dla regionu 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.

W **obszarze lokalizacji** ocenie powinno się poddać poprawność metodyczną zrealizowanych badań geofizycznych i poprawność wykonania opracowań kartograficznych. Przed przystąpieniem do prac pomiarowych należy szczegółowo określić proponowaną metodykę pomiarową, uwzględniając specyficzną budowę geologiczną rejonu badań rozpoznaną na etapie II prowadzonych prac. Interpretacja w obszarze lokalizacji powinna polegać na opracowaniu dla niego przestrzennego modelu geologiczno-tektonicznego (geologiczno-strukturalnego), petrofizycznego i geomechanicznego, opartego na wszystkich pozyskanych danych z uwzględnieniem informacji o ewentualnej współczesnej bądź neotektonicznej aktywności uskokowej, a także z wykorzystaniem najnowszych narzędzi do zintegrowanej interpretacji danych pomiarowych.

W celu uzyskania najbardziej wiarygodnych interpretacji, we wszystkich trzech etapach oceny wszystkie informacje uzyskane na podstawie analizy danych geologicznych i geofizycznych powinny być porównywane z wynikami uzyskanymi kolejnymi, uzupełniającymi się metodami, stąd m.in.:

- dane sejsmiczne powinny być skalibrowane z danymi otworowymi przy wykorzystaniu np. pomiarów pionowego profilowania sejsmicznego VSP lub danych z profilowania akustycznego,
- poprawność interpretacji w oparciu o profile sejsmiczne powinna być zweryfikowana poprzez zbilansowanie przekrojów geologicznych. Metoda ta polega na odtworzeniu

wyjściowej geometrii warstw skalnych, przy uwzględnieniu efektów wszystkich procesów wywołujących zaburzenie ich pierwotnego układu, tj. kompaktacji, ruchów eustatycznych, izostazji, tektoniki solnej, deformacji związanych z uskokami, wpływu fałdowania, subsydencji termicznej przy zastosowaniu odpowiednich algorytmów,

- interpretacja opracowań kartograficznych, szczególnie sieć uskoków powinna być porównywana z wynikami uzyskiwanymi na podstawie innych metod, w tym przede wszystkim geofizycznych i teledetekcyjnych. W wyniku interpretacji obrazów satelitarnych w świetle widzialnym, bliskiej podczerwieni w podczerwieni termalnej, obrazów radarowych i numerycznych modeli powierzchni terenu, powinny być wyznaczone przebiegi lineamentów, zwykle uważanych za powierzchniowy przejaw zjawisk wgłębnych. Należy jednak brać pod uwagę, że tylko część lineamentów odpowiada uskokom potwierdzonym metodami naziemnymi. Zawsze jednak należy traktować je jako potencjalne strefy niestabilności tektonicznej i tym bardziej starannie zbadać metodami geofizycznymi przed ewentualnym wykluczeniem ich związku z tektoniką.
- prowadząc bardziej szczegółowe analizy należy pamiętać m.in. o analizie wektorów przemieszczeń metodą GPS w oparciu o wszystkie składowe;
- podczas interpretacji stereoskopowych zdjęć lotniczych należy stosować kryteria morfologiczne, wiążąc zaobserwowane formy geomorfologiczne z ewentualnymi uskokami w podłożu (głównie prostoliniowe odcinki skarp i dolin, oraz ciągi takich form);
- interpretując numeryczny model powierzchni terenu należy również zwracać uwagę na prostoliniowe elementy w rzeźbie terenu, dobrze czytelne po dobraniu odpowiednich parametrów oświetlenia i przewyższenia modelu;
- satelitarna interferometria radarowa InSAR dostarcza informacji głównie na temat wielkości i zróżnicowania przemieszczeń na całej powierzchni badanego terenu w okresie pomiędzy nalotami. Analizując skalę dyslokacji można określić obszary o różnych tendencjach przemieszczeń, a więc obszary rozdzielone uskokami. Dokładny jednak ich przebieg należy wyznaczyć innymi metodami m.in. geofizycznymi. Metoda dostarcza danych z dokładnością rzędu centymetrów w okresie pomiędzy nalotami;
- konieczne jest również przeprowadzenie obserwacji terenowych i wykonanie prac ziemnych np. szurfów przecinających strefy uskoków;
- satelitarna interferometria z wykorzystaniem permanentnych rozpraszaczy PSInSAR pozwala na wykonanie pomiarów przemieszczeń o rząd wielkości dokładniej niż InSAR, lecz jest metodą punktową. Może więc okazać się bardzo pomocną przy założeniu regularnej sieci sztucznych permanentnych rozpraszaczy (reflektorów radarowych), umieszczonych w punktach wykorzystywanych jednocześnie do precyzyjnych pomiarów GPS (umożliwiających dokładny pomiar przemieszczeń poziomych).

6. SPOSÓB PRZEDSTAWIENIA UZYSKANYCH WYNIKÓW I DANYCH

Uzyskane wyniki powinny być przedstawiane w sposób zależny od etapu rozpoznania budowy (**makroregion – region lokalizacji – obszar lokalizacji**) jako mapy i przekroje w odpowiednich skalach (1:200 000, 1:50 000 i 1:5 000), a dla regionu i obszaru również jako przestrzenny model budowy geologicznej. W bazie danych – która powinna być zintegrowana i spójna dla wszystkich 3 etapów rozpoznania – powinny się również znaleźć dane o charakterze tabelarycznym (np. parametry wytrzymałościowe skał z próbek pobranych w otworach wiertniczych). Wszystkie dane – bez względu na ich charakter – powinny być geokodowane.

Opracowanie powstałe po zakończeniu każdego z etapów oceny stabilności tektonicznej powinno być sporządzone w formie raportu zawierającego część metodyczną, wyniki analiz studialnych i badań (z uwzględnieniem wyżej wymienionych form przedstawienia), dyskusję wyników badań, podsumowanie i wnioski, w tym jednoznaczną konkluzję o spełnieniu lub nie spełnieniu warunków określonych w rozporządzeniu lokalizacyjnym, a będących przedmiotem oceny. Opracowanie musi być zaopatrzone w streszczenie obejmujące najważniejsze ustalenia oceny przedstawione w sposób jednoznaczny i czytelny (jasny), językiem nietechnicznym (rodzaj *executive summary*).

Sposób przedstawienia danych powinien być odpowiedni dla dalszej oceny sejsmiczności według [Zaleceń technicznych Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki dotyczących oceny sejsmiczności podłoża dla lokalizacji obiektów jądrowych](#).

Szczególnego uwypuklenia w tekście podsumowującym wymaga diagnoza postawiona w kolejnych etapach oceny stabilności tektonicznej po stwierdzeniu, iż zgodnie z § 5. rozporządzenia lokalizacyjnego oceniany teren nie może być uznany za spełniający wymogi lokalizacji na nim obiektu jądrowego, w przypadku gdy występuje w podłożu lokalizacji obiektu jądrowego w odległości mniejszej niż 20 km od granic planowanego miejsca posadowienia obiektu jądrowego 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 obiektu jądrowego; lub gdy 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 sile, większe niż raz na 10 000 lat; lub 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; lub 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 obiektu jądrowego, które nie mogą być skompensowane konstrukcyjnie .

7. METODYKA OCENY PRAWDOPODOBIENSTWA UAKTYWNIENIA USKOKU

Zgodnie z wytycznymi IAEA SSG 9 oceniając prawdopodobieństwo uaktywnienia uskoku powinno się mieć na uwadze, że przemieszczenie w strefie uskoku może być bezpośrednio lub pośrednio rezultatem trzęsienia ziemi. Oznacza to, że trzęsienie ziemi może wystąpić na powierzchni uskoku drugorzędowego, w stosunku do uskoku głównego i spowodować przemieszczenie w jego strefie. Należy liczyć się z tym, że przemieszczenia mogą dotyczyć nie tylko uskoków przesuwczych, ale również uskoków zrzutowych np. związanych z fałdowaniem. Powinno się również uwzględnić możliwość przemieszczeń uskokowych bez trzęsień ziemi w wyniku pełzania w strefie uskokowej. Na bazie danych geologicznych, geofizycznych, geodezyjnych i sejsmicznych powinny być zidentyfikowane przemieszczenia w przeszłości, a zwłaszcza te, które mają utrwalony i powtarzalny charakter. W obszarze takim jak Polska, o niewielkiej aktywności tektonicznej, badaniami powinien być objęty okres od pliocenu do dziś. W przypadku stwierdzenia aktywnego uskoku należy oszacować wielkość magnitudy przewidywanego, przyszłego trzęsienia ziemi. Badania w makroregionie, regionie i obszarze lokalizacji powinny umożliwić stwierdzenie braku przejawów uskokowania w pobliżu obiektu jądrowego, a w przypadku zidentyfikowania uskoku należy oszacować wielkość i czas przemieszczeń w jego strefie. Stwierdzenie takiego uskoku powinno zwiększyć szczegółowość badań geologicznych, geofizycznych, geodezyjnych i geomorfologicznych. W etapie tym należy przeprowadzić badania terenowe i wykonać prace ziemne w postaci szurfów w poprzek stref uskoków, w przypadku uskoków zrzutowych i podłużnych w przypadku uskoków przesuwczych. Wszystkie te informacje oraz pozyskane z wierceń, datowania osadów, które zostały zdeformowane w pobliżu strefy uskoku, skał uskokowych ze strefy uskoku, lokalnych badań sejsmiczności i innych technik wspomagających te badania powinny pomóc w oszacowaniu wielkości i wieku ostatnich przemieszczeń, do których doszło w związku z aktywnością uskoku. Należy również wziąć pod uwagę wpływ działalności człowieka. W ten sposób można przeprowadzić ocenę prawdopodobieństwa uaktywnienia uskoku w oparciu o **podejście deterministyczne**, poprzez stwierdzenie konkretnego stanu deformacji w danym regionie, bez elementu losowości. Natomiast w przypadku, gdy rozpoznanie możliwości stwierdzenia uaktywnienia uskoku cechuje element niepewności, powinno być zastosowane **podejście probabilistyczne**, w którym informacje pozwalają opisać takie możliwości z pewnym prawdopodobieństwem.

W **podejściu deterministycznym** ocena ryzyka uaktywnienia uskoku w obszarze lokalizacji powinna zakładać „czarny scenariusz” bez uwzględnienia prawdopodobieństwa czasu wystąpienia tego zdarzenia. Ryzyko uaktywnienia uskoku (RU) obliczane jest przy użyciu parametrów sejsmicznych zgodnie odpowiednimi algorytmami opisującymi dany proces fizyczny.

$$RU=g(x)$$

Najprostsza deterministyczna ocena powinna opierać się co najmniej na czterech składowych:

- równaniu empirycznym tłumienia wstrząsów,
- maksymalnej magnitudzie (M_{max}) dla najbliższego aktywnego uskoku,
- odległości uskoku od obiektu (r),
- typie skał lub gruntów w obszarze lokalizacji (c).

$$RU=g(M_{max}, r, c)$$

Na podstawie tych składowych powinna być wyznaczona wartość szczytowa przyspieszenia Peak Ground Acceleration – (PGA) -zależność pomiędzy intensywnością lokalnych wstrząsów, magnitudą wstrząsu oraz odległością od źródła wstrząsu. Jeśli to możliwe należy zastosować bardziej złożone metody wymagające podziału płaszczyzny uskoku na obszary, z których każdy reprezentuje część składową przemieszczenia oraz porcję energii sprężystej (np. metody elementów skończonych lub brzegowych).

W przypadku określania zagrożenia dla obszaru lokalizacji, na którym występują aktywne (neogeńskie/czwartorzędowe) uskoki zaleca się następującą sekwencję szacowania zagrożenia:

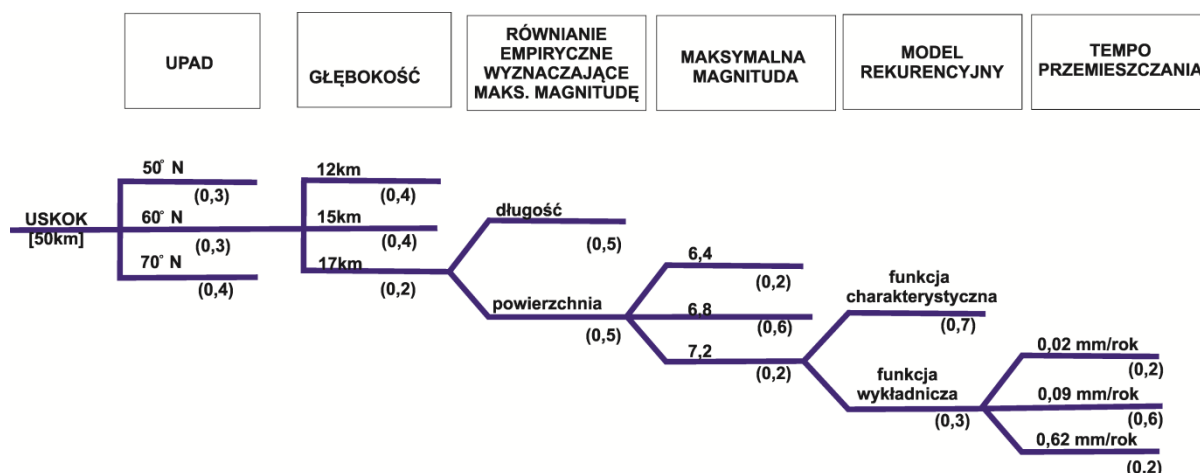
- identyfikacja oraz wykonanie map wszystkich aktywnych uskoków w pobliżu obiektu;
- oszacowanie maksymalnej magnitudy (M_{max}) dla każdego z tych uskoków;
- wybór optymalnej metody obliczeniowej (opartej na funkcji tłumienia);
- określenie odległości każdego uskoku (sposób może zależeć od wybranej metody obliczeniowej);
- wprowadzenie danych do równania tłumienia (M_{max} oraz odległości);
- rozwiązanie równania - obliczenie ryzyka wystąpienia wstrząsu spowodowanego, przez przemieszczenie w obrębie strefy któregoś z uskoków.

Określenie wysokiego poziomu bezpieczeństwa **powinno** być wykazane w sposób deterministyczny, ale same analizy bezpieczeństwa powinny wykazywać podejście zarówno deterministyczne, jak i probabilistyczne. Praktyka pokazuje, że te podejścia są wzajemnie komplementarne i oba powinny być wykorzystane w procesie podejmowania decyzji dotyczących bezpieczeństwa obiektu jądrowego.

W **podejściu probabilistycznym** należy określić prawdopodobieństwo i możliwe skutki wystąpienia wstrząsów, dla których częstości występowania nie są określone, ani bezpośrednio wyznaczalne na odpowiednim poziomie ufności (tzw. "zdarzenia rzadkie"). Dlatego należy użyć metod przystosowanych do szacowania małych prawdopodobieństw – logicznych drzew zdarzeń i drzew błędów. W każdej z tych metod szacowanie ryzyka jest zadaniem złożonym i należy je zdekomponować na mniejsze (prostsze) części. Po analizie składowe należy połączyć ponownie, uzyskując lepsze rozpoznanie całego ciągu oraz

możliwość określenia występujących w nim prawdopodobieństw zdarzeń składowych (poprzez wyznaczanie prawdopodobieństw cząstkowych). Niezbędne jest w tym celu dysponowanie prawdopodobieństwami zdarzeń elementarnych, które nie są już dalej dekomponowane. Drzewo zdarzeń jest graficznym modelem zależności przyczynowo - skutkowych. Przy budowie drzewa zdarzeń należy założyć, że określony skutek jest wynikiem ciągu zdarzeń. Drzewo zdarzeń rozpoczyna się pewnym zdarzeniem inicjującym i przedstawia wszystkie możliwe ciągi zdarzeń będące następstwami zdarzenia inicjującego. W różnych miejscach drzewa zdarzeń znajdują się punkty rozgałęzień ilustrujące fakt, że po pewnych zdarzeniach istnieje możliwość wystąpienia wielu innych zdarzeń. Prawdopodobieństwo określonego skutku otrzymuje się mnożąc przez siebie prawdopodobieństwa wszystkich zdarzeń składających się na ścieżkę w drzewie, po której dochodzimy do rozważanego skutku. Natomiast drzewo błędów (jest to również graficzny model zależności przyczynowo - skutkowych) jest budowane w przeciwnym kierunku niż drzewo zdarzeń. Rozpoczyna się określonym skutkiem i rozwija w kierunku zdarzeń poprzedzających, pokazując wszystkie możliwe kombinacje zdarzeń niepożądanych, które mogły doprowadzić do wyspecyfikowanego skutku.

Obliczenia powinny posłużyć do wyznaczenia marginesów bezpieczeństwa ewentualnych wstrząsów oraz do oszacowania rocznych przemieszczeń wzdłuż uskoku.



Rysunek przedstawia przykład prostego drzewa logicznego zawierającego tylko sześć podstawowych składowych niezbędnych do scharakteryzowania prawdopodobieństwa przemieszczenia płaszczyzny uskoku.

SŁOWNIK WYBRANYCH POJĘĆ Z ZAKRESU SATELITARNYCH METOD POMIAROWYCH I OBRAZOWANIA

Nalot LIDAR – Lotniczy Skaniny Laserowy (Light Detection and Ranging- LIDAR) to urządzenie służące do pozyskiwania danych wysokościowych („chmury punktów”) za pomocą lotniczego skaniny laserowego w celu opracowania numerycznego modelu terenu i numerycznego modelu powierzchni terenu.

Obrazy satelitarne Landsat 8 – OLI – kontynuacja (od 2013) klasycznych wielospektralnych obrazów rejestrowanych przez satelitę Landsat za pomocą skanera Operational Land Imager (OLI) dostarcza obrazy o rozdzielczości 30 m w 3 pasmach światła widzialnego, 4 podczerwieni, 1 ultrafioletu oraz obrazy panchromatyczne o rozdzielczości 15 m.

Obrazy satelitarne Landsat 8 – TIRS – obrazy rejestrowane przez skaner Thermal InfraRed Sensor (TIRS) w 2 pasmach podczerwieni termalnej (10,3 – 12,5 μm) z rozdzielczością przestrzenną 100 m.

Obrazy satelitarne o średniej rozdzielczości – obrazy o rozdzielczości przestrzennej (terenowych liniowych wymiarach piksela) powyżej 10 m, choć w miarę poprawy rozdzielczości obrazów granica ta maleje do kilku metrów. W praktyce obrazy o rozdzielczości rzędu kilkunastu – kilkudziesięciu metrów.

Obrazy satelitarne Terra ASTER – TIR – obrazy zarejestrowane przez moduł Thermal InfraRed (TIR) skanera Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) satelity Terra w 5 pasmach podczerwieni średniej (podczerwieni termalnej - 8,125 – 11,650 μm) z rozdzielczością przestrzenną 90 m, obejmujący obszar 60 x 60 km.

Obrazy satelitarne Terra ASTER – VNIR – obrazy zarejestrowane przez moduł Visible and Near-InfraRed (VNIR) skanera Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) satelity Terra w 4 pasmach – 2 światła widzialnego (zielonym i czerwonym), oraz 2 bliskiej podczerwieni, z rozdzielczością przestrzenną 15 m, obejmujący obszar 60 x 60 km.

Podczerwień termalna – promieniowanie elektromagnetyczne obejmujące zakres średniej i dalekiej podczerwieni, w teledetekcji używanej do pomiaru temperatury obrazowanych obiektów. Granice TIR są różnie określane (od 3,5 μm do 20 μm , a nawet do 1 cm), zwykle wykorzystuje się przedział 8 - 13 μm . Obrazy w IR termalnej mają rozdzielczość 2 – 3 razy gorszą niż obrazy w świetle widzialnym i bliskiej IR.

Radarowe obrazy satelitarne SAR – obrazy pozyskiwane za pomocą impulsowego radaru bocznego wybierania (SLAR) o syntetycznej aperturze Synthetic Aperture Radar (SAR) instalowanego na satelitach (m.in. ERS-2, Envisat, Cosmo-SkyMed, TerraSAR-X), a wcześniej również na wahadłowcach Shuttle Imaging Radar (SIR), niewrażliwe na oświetlenie (porę dnia) i warunki atmosferyczne (nie widać na nich chmur, a przy zastosowaniu nieco dłuższych fal – również wegetacji i części zwietrzelin), osiągające w niektórych trybach pracy rozdzielczość rzędu metrów.

Satelitarna interferometria radarowa klasyczna (InSAR) – metoda pomiaru odkształceń powierzchni terenu zachodzących w czasie pomiędzy dwoma zobrazowaniami radarowymi (SAR) tego samego obszaru, wykorzystująca różnicę faz obu sygnałów odbitych, występującą jedynie w przypadku odkształceń tej powierzchni. Wynikiem jest interferogram, na którym 1 kolorowy „prążek” odpowiada przemieszczeniu fragmentu powierzchni terenu o długość fali (co w praktyce oznacza dokładność pomiaru rzędu centymetrów). Więcej informacji o metodzie znaleźć można na stronie:

<http://www.pgi.gov.pl/pl/oddzial-karpacki-monit-ok/metody-monitorowania-osuwisk-ok-pig/powierzchniowe-monit-ok-pig/satelitarna-interferometria-radarowa-ok.html>

Satelitarna interferometria radarowa – metoda permanentnych (stabilnych) **rozpraszaczy** (PSInSAR, PSI) – metoda wykorzystująca wyjątkowo silne odbicia sygnału (rozproszenie wsteczne) od niektórych stałych, charakterystycznych dla danego obszaru obiektów, zarówno sztucznych, jak i naturalnych („rozpraszaczy”), rejestrowanych na jego wszystkich kolejnych zobrazowaniach radarowych. Pozwala na punktowe pomiary przemieszczeń poszczególnych rozpraszaczy z dokładnością rzędu milimetrów, co przy wykorzystaniu wszystkich wykonanych zobrazowań umożliwia wykreślenie dla nich krzywych przemieszczeń w funkcji czasu. Więcej informacji o metodzie znaleźć można na stronie:

<http://www.pgi.gov.pl/pl/oddzial-karpacki-monit-ok/metody-monitorowania-osuwisk-ok-pig/powierzchniowe-monit-ok-pig/satelitarna-interferometria-radarowa-ok.html>

System ISOK – Informatyczny System Osłony Kraju (ISOK) przed nadzwyczajnymi zagrożeniami – projekt realizowany przez konsorcjum pod kierownictwem Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej, który wśród rozwiązań informatycznych zawiera m.in. pozyskanie dla większości obszaru Polski danych wysokościowych za pomocą lotniczego skaningu laserowego o gęstości (dla różnych obszarów) od 4 do 12 punktów na m², oraz sporządzenie na tej podstawie numerycznego modelu terenu i numerycznego modelu powierzchni terenu.

Więcej informacji o Systemie ISOK:

<http://www.gugik.gov.pl/projekty/isok>

Wielospektralne obrazy satelitarne – obrazy, na których ten sam fragment terenu jest obrazowany w kilku wybranych pasmach (kanałach) promieniowania elektromagnetycznego, obejmujących najczęściej światło widzialne i bliską podczerwień.

LITERATURA

1. Dębski i in. 2013. Zalecenia techniczne Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki dotyczące oceny sejsmiczności podłoża dla lokalizacji obiektów jądrowych. Państwowa Agencja Atomistyki, 1-30.
2. Graniczny M., 1991. Możliwości wykorzystania fotolineamentów do oceny sejsmicznej zagrożenia terenu. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego 365, 5-46.
3. Guterch B., 2009. Sejsmiczność Polski w świetle danych historycznych. Seismicity in Poland in the light of historical records. Przegląd Geologiczny, 57: 513–520.
4. Jarosiński M., 2005. Współczesny reżim tektoniczny w Polsce na podstawie analizy testów szczelinowania hydraulicznego ścian otworów wiertniczych. Przegląd Geologiczny, 53, 863-872.
5. Jarosiński M., 2006. Recent tectonic stress field investigations in Poland: a state of the art. Geological Quarterly, 50, 303-321.
6. Jarosiński M., Porawa P. and Ziegler P. A., 2009. Cenozoic dynamic evolution of the Polish Platform. Geological Quarterly, 53, 3-26.
7. International Atomic Energy Agency, Site Evaluation for Nuclear Installations, Safety Guide No. NS-R-3, 2003, 1-28.
8. International Atomic Energy Agency, Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, Safety Guide No. SSG-9., 2010, 1-60.
9. International Society for Rock Mechanics. Suggested Methods for Determining the Fracture Toughness of Rock. Commission on Testings Methods, 1988r
10. McCalpin J. (Ed.), 2009. Paleoseismology. Academic Press, 1-613.

11. 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. z 2012 r., poz. 1025).
12. Ustawa Prawo atomowe z dn. 29 listopada 2000 r., tekst jedn. Dz. U. z 2012r.
13. Zuchiewicz W., Badura J., Jarosiński M. i Commission on Neotectonics, Committee for Quaternary Research, Polish Academy of Sciences, 2007. Neotectonics of Poland: an overview of active faulting. *Studia Quaternaria.*, 24: 5–20.
14. Żelaźniewicz A., Aleksandrowski P., Buła Z., Karnkowski P.H., Konon A., Oszczypko N., Żaba J., Żytko K., 2011. Regionalizacja Tektoniczna Polski. Wrocław, Komitet Nauk Geologicznych PAN, 1-60.