



Zygmunt HELIASZ*, Stanisław OSTAFICZUK**

Tereny wolne od wyłączeń i wskazanie możliwości planowania inwestycji konfliktowych w Polsce. Standard badań kartograficznych dla potrzeb opracowania koncepcji i decyzji lokalizacyjnych obiektów wrażliwych – elektrownia jądrowa

STRESZCZENIE: Kryteria bezpiecznej lokalizacji elektrowni jądrowej (EJ) są zależne od charakterystyki reaktora i systemów peryferyjnych oraz od unikalnych geologicznych warunków terenowych. Podstawą wyboru optymalnej lokalizacji jest uwzględnienie warunków koniecznych do uzyskania na podstawie studiów terenowych i badania dostępnych materiałów prawnie obowiązującej decyzji lokalizacyjnej. Do określenia stopnia bezpieczeństwa i identyfikacji czynników zagrażających budowie i funkcjonowaniu reaktora jest niezbędna opinia geologiczno-inżynierska wraz ze scenariuszem awarii i likwidowania jej skutków w konkretnej sytuacji geologiczno-terenowej, z uwzględnieniem zastrzeżeń i oporów opinii społeczno-politycznej. W ocenie zagrożeń należy odrębnie uwzględniać możliwość wystąpienia niekorzystnych zbiegów okoliczności naturalnych oraz podatności obiektu na zagrożenia antropogeniczne wynikające z zaniedbań oraz intencjonalne. Podstawą wstępnego wyboru lokalizacji jest mapa obszarów niekonfliktowych z uwzględnieniem przyjętego marginesu szkodliwych oddziaływań wzajemnych obiektu EJ i istniejącej sytuacji terenowej. Przed rozpoczęciem analizy terenów możliwej lokalizacji, z powodu dużych wymiarów kraju, należy wyeliminować miejsca oczywiście nie nadające się do rozważań z powodów naturalnych i antropogenicznych. Wielkie aglomeracje przemysłowe, obszary objęte górnictwem podziemnym, tereny zwartej zabudowy oraz rezerваты przyrody, tereny bagnisk i zagrożeń powodziowych, jak również tereny podatne na osuwiska i rozległą erozję należy wyeliminować z dalszych rozważań lokaliza-

* Dr, ** Prof. dr hab. – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków.

cyjnych. Jednak można dopuścić możliwości lokalizacji EJ w miejscach niekorzystnych, jeśli inne przesłanki są sprzyjające. Nowoczesne technologie są wystarczające do omijania przeszkód jeśli ekonomiczne względy przeważają.

SŁOWA KLUCZOWE: elektrownia jądrowa, kryteria bezpiecznej lokalizacji, kartografia geologiczna

Wprowadzenie

Kryteria lokalizacji elektrowni jądrowej są zależne od charakterystyki reaktora jądrowego, jak: systemy sterowania i chłodzenia, maksymalna spodziewana wydajność mocy, rodzaj paliwa, rodzaj ekranów i spodziewana emisja promieniowania jądrowego, sposób współpracy z generatorami energii cieplnej i prądu elektrycznego, wielkość obszaru przewidzianego do zabudowy elektrowni oraz infrastruktury. Wymagania lokalizacyjne są też istotnie zależne od: standardów inżynierskich i unikalnych rozwiązań realizacyjnych odnośnie przewidywalnych scenariuszy awarii reaktora, skutków awarii oraz zarządzeń przewidzianych do zastosowania w przypadku awarii reaktora, struktury urządzeń peryferyjnych, systemu odprowadzania energii elektrycznej oraz podatności poszczególnych elementów struktury elektrowni jądrowej na zagrożenia zewnętrzne naturalne i antropogeniczne, przypadkowe i intencjonalne.

Literatura na temat bezpiecznego dla obiektu oraz dla mieszkańców pobliskich miejscowości lokowania elektrowni jądrowych jest bogata, z wieloma odniesieniami do postanowień, zasad i regulacji prawnych o charakterze międzynarodowym, ustalanych i wydawanych przez wiodące w świecie: Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (MAEA) i US Nuclear Regulatory Commission. W ślad za nimi wydawane są zalecenia i opracowywane standardy prawne w ramach Unii Europejskiej i poszczególnych państw. Brak jest jednak ujednoczonych ścisłych zasad dotyczących kryteriów badawczych, dokumentacji terenowych i liczbowego określenia wstępnych wymaganych wartości poszczególnych parametrów lokalizacyjnych. Przedstawiony poniżej zarys uregulowań prawnych, dotyczących procedur wyboru lokalizacji elektrowni jądrowych został szczegółowo omówiony w pracy Heliasz, Jarosiński (2016).

Istniejące uregulowania – zarówno międzynarodowe jak też krajowe – pozwalają na pewną swobodę interpretacyjną. Jest to ogólnie zrozumiałe z powodu różnorodności poszczególnych systemów inżynierskich elektrowni jądrowych, ich wielkości i regionalnych osobliwości środowiska przyrodniczego, w którym są lokowane. Jednak istnieje dalece posunięta zgoda co do ogólnych zasad prowadzenia badań. Podstawą dla poszczególnych państw dla konstruowania reguł prawnych na każdym etapie prac związanych z rozwojem energetyki jądrowej są materiały publikowane przez EURATOM i MAEA (Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej). Ponadto, kraje wdrażające standardy międzynarodowe do swoich systemów prawnych wzorują się często lub korzystają z doświadczeń wiodących dozorów jądrowych i ich systemów prawnych, dotyczących nadzoru nad bezpieczeństwem jądrowym na świecie, głównie amerykańskich

i francuskich. Wysoka pozycja Amerykańskiej Komisji Dozoru Jądrowego wynika z wieloletniego doświadczenia w analizowaniu i opiniowaniu dokumentacji bezpieczeństwa i wydawania zezwoleń w tym zakresie, dla dużej ilości obiektów jądrowych.

Najważniejszą organizacją międzynarodową funkcjonującą w obrębie szeroko pojętej tematyki jądrowej jest Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (*International Atomic Energy Agency* – IAEA) z siedzibą w Wiedniu. MAEA zbiera dane dotyczące problematyki jądrowej, w tym z elektrowni jądrowych na całym świecie. Na tej podstawie opracowuje tematyczne raporty. Prowadzi również w swoich laboratoriach samodzielną działalność badawczą. Jest wydawcą szeregu opracowań, zarówno jednostkowych jak też kilku cykli wydawniczych.

Ze strony polskiej partnerem instytucjonalnym dla MAEA jest Państwowa Agencja Atomistyki (PAA). Działa ona w strukturze Ministerstwa Środowiska posiadając znaczną autonomię. Prezes PAA stanowi organ nadzorujący działalność w zakresie odpowiedzialności za przestrzeganie wymagań bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej. Do jego zadań należy między innymi wydawanie zezwoleń na budowę, rozruch, eksploatację, monitoring oraz likwidację obiektu jądrowego.

1. Kryteria bezpiecznej lokalizacji

Na etapie wyboru miejsca lokalizacji elektrowni jądrowej spośród publikowanych przez MAEA opracowań najważniejsza jest *SafetyStandards Series* (SS) – Seria standardów (zasad) bezpieczeństwa, które odzwierciedlają aprobowany powszechnie konsensus ochrony ludzi i środowiska przyrodniczego przed efektem promieniowania jonizującego. Obejmują one poczynania prowadzące do spełnienia określonych wymogów bezpieczeństwa instalacji jądrowych, zawartych w *SafetyRequirements* (Wymogi bezpieczeństwa) opublikowanych w 2003 roku przez MAEA (NS-R-3). W ramach serii *SafetyStandards Series* wydawane są poradniki (*SpecificSafetyGuides*) obejmujące cały zakres problemów związanych z energetyką jądrową. Począwszy od etapu wyboru lokalizacji dla obiektu jądrowego, poprzez projektowanie instalacji, jej eksploatację oraz zasad postępowania z wypalonym paliwem, transportu materiałów rozszczepialnych w obrębie poszczególnych państw i w obszarach transgranicznych, ochrony ludzi, środowiska, żywności oraz konieczności przewidywania potencjalnych zagrożeń promieniowaniem jonizującym.

Zestaw zaleceń na etapie wskazania najkorzystniejszej lokalizacji elektrowni jądrowej i obiektów towarzyszących zawarty jest w *SpecificSafety Guide No SSG-35* (2015). Zawiera cały wachlarz czynników mogących mieć wpływ na bezpieczeństwo ludzi i środowiska zestawionych w kilka grup rodzajowych. W pierwszej grupie zawarte są czynniki związane z geologią i geofizyką. Są to bowiem te czynniki, które mogą powodować eliminację konkretnej lokalizacji, korzystnej z powodów ekonomicznych, socjalnych czy infrastrukturalnych, już na wstępnym etapie selekcji. Ludzie potrafią sprostać różnym wyzwaniom technicznym, ale nie są

w stanie ujarzmić przyrody. Na etapie przeglądowym (regionalnym) wyboru miejsca lokalizacji obiektu jądrowego, szczególnie istotne są potencjalne zagrożenia związane z budową strukturalną obszaru i możliwością wystąpienia trzęsień ziemi.

W wytycznych zawartych w Safety Guide No. SSG-9 (2010) zwraca się uwagę, że rodzaj i jakość badań powinna wynikać z charakteru sejsmotektonicznego rozpatrywanego obszaru. W toku oceny wybranej już lokalizacji rozpatrywane są z kolei zagadnienia geotechniczne (NS-G-3.6, 2004), Dobak i inni (2011). W celu osiągnięcia jednorodności w prezentowanych informacjach dane powinny być gromadzone w systemie GIS, co umożliwi porównanie powstałych na podstawie tych danych interpretacji i modeli.

Na problemach związanych z lokalizowaniem ciężą także asocjacje energii jądrowej wykorzystywanej do celów energetycznych z doniesieniami o wykorzystaniu tej energii do celów militarnych. Zarówno historyczne dane o eksplozjach bomb atomowych kończących Drugą Wojnę Światową i późniejsze doniesienia o kolejnych próbach nowych eksplozji nuklearnych, jak i doniesienia o wzrastających możliwościach technologicznych i wielkościach potencjałów w magazynach broni mocarstw nuklearnych wzbudzają w społeczeństwach zrozumiały niepokój. Psychologicznie silne oddziaływanie mają doniesienia o promieniowaniu jądrowym i jego skutkach biologicznych. Jak się obserwuje w popularnych produkcjach fabularnych tekstowych i filmowych, a więc tych najłatwiej docierających do społeczeństwa, promieniowanie jądrowe jest przedstawiane jak rodzaj skażenia epidemicznego, przenoszącego się na kolejne osoby i narastającego w miarę rozprzestrzeniania się w środowisku.

Stąd współczesne wymagania lokalizacyjne są zawyżane, a opory przeciwko uruchamianiu nowych elektrowni jądrowych są powszechne we wszystkich społecznych środowiskach na świecie, wbrew rachunkom ekonomicznym i danym statystycznym. Gdyby jednak porównać liczbę tragicznych wypadków (np. w górnictwie) w toku działań prowadzących do wyprodukowania terawatogodziny energii elektrycznej, to okazałoby się, że energia elektryczna z elektrowni jądrowej jest uzyskana w sposób bardzo bezpieczny.

Spośród wymagań bezpiecznej lokalizacji, znanych z innych regionów geologicznych, najbardziej istotne są analizy sejsmiczności terenów i odnawiania przemieszczeń uskokowych, oraz ich pochodne, jak tsunami, a w dalszej kolejności wszystkie naturalne katastrofy związane z czynnikami klimatycznymi i wreszcie ruchy grawitacyjne – erozja oraz akumulacja. Problemy bezpiecznej lokalizacji obiektów jądrowych są w Polsce skodyfikowane dwustopniowo. Zasady obejmujące kompleksowe uregulowania dotyczące zarówno zakresu badań poprzedzających podjęcie decyzji lokalizacyjnych, ale także szerokie spektrum innych zagadnień: ekonomicznych, prawnych w relacji z samorządami różnych szczebli, bieżącej eksploatacji, podziału kompetencji organów państwa itd., są ujęte w ustawie Prawo atomowe (Dz. U. 2012, z. 264, tekst jednolity) i ustawie O przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie obiektów energetyki jądrowej oraz inwestycji towarzyszących (Dz. U. 2011, nr 135, poz. 789).

Aktami wykonawczymi są rozporządzenia Rady Ministrów, z których dwa w omawianym temacie są najistotniejsze:

1. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 sierpnia 2012 roku (Dz. U. 2012, nr 0, poz. 1025) w sprawie szczegółowego zakresu przeprowadzenia 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.

2. Rozporządzenie Rady Ministrów z 31 sierpnia 2012 roku (Dz. U. 2012, nr 0, poz. 1043) w sprawie zakresu i sposobu przeprowadzania analiz bezpieczeństwa przed wystąpieniem z wnioskiem o wydanie zezwolenia na budowę obiektu jądrowego oraz zakresu wstępnego raportu bezpieczeństwa dla obiektu jądrowego.

Obydwa rozporządzenia nawiązują zarówno do Ustawy Prawo atomowe jak i Dyrektywy Rady 2009/7/EURATOM z 25 czerwca 2009 roku. W Rozporządzeniu z 10 sierpnia 2012 roku mowa jest o trzech, różnej rangi obszarach prowadzonych badań:

- ◆ **w granicach** planowanego miejsca posadowienia obiektu jądrowego, definiowanego jako obszar wytyczony okręgiem o promieniu równym odległości od środka planowanego miejsca posadowienia obiektu jądrowego do najdalej wysuniętego punktu nieruchomości. Nie jest zatem określona dokładnie jego powierzchnia;
- ◆ **w obszarze** lokalizacji – teren rozciągający się w odległości do 5 km od granic planowanego miejsca posadowienia obiektu jądrowego, a w uzasadnionych przypadkach związanych z budową podłoża o istotnym znaczeniu, teren powiększony w stopniu pozwalającym na uzyskanie wyczerpujących danych i ocen odnośnie stateczności podłoża;
- ◆ **w rejonie** lokalizacji – teren rozciągający się w odległości do 30 km od granic planowanego miejsca posadowienia obiektu jądrowego.

Przyjęty w rozporządzeniu trzystopniowy poziom analizy powierzchniowej jest odmienny zarówno od zalecanej w materiałach MAEA jak i *US Nuclear Regulatory Commission*, gdzie zaleca się czterostopniowy poziom analizy choć nieco inaczej ujęty.

TABELA 1. Zalecane przez MAEA, US Nuclear Regulatory Commission i przepisy w Polsce odległości od granic planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego dla poszczególnych poziomów rozpoznania

TABLE 1. Width of exploration zone around the Nuclear Plant at various levels of planning according to the MAEA, U.S. Nuclear Regulatory Commission, and the Polish Regulations

Poziom rozpoznania obszaru wokół EJ (skrót przyjęty w Polsce)	USA	MAEA	Polska
Regionu	320 km	300 km	–
Rejonu (regionu)	40 km	25 km	minimum 30 km
Sąsiedztwa (obszaru)	8 km	5 km	minimum 5 km
Terenu (w granicach)	1 km	1 km ²	granice planowanego miejsca usytuowania obiektu jądrowego

Z nieuniknioną możliwością awarii elektrowni jądrowej wiąże się ściśle problem rozprzestrzeniania się skutków takiej awarii oraz możliwości efektywnego usuwania jej skutków. Zarówno rozprzestrzenianie się skutków awarii, emisja szkodliwego promieniowania i pyłów

oraz wycieki substancji radioaktywnych jak i ich możliwe oddziaływania na ludność byłyby w różnym stopniu zależne od technicznych zabezpieczeń obiektu, od ogólnych i chwilowych sytuacji meteorologicznych oraz od sytuacji terenowej. Bezpieczeństwo elektrowni jądrowej może być także naruszone z przyczyn antropogenicznych, nie intencjonalnych, spowodowanych awarią infrastruktury przemysłowych i wodnych oraz zewnętrznego zaopatrzenia energetycznego elektrowni jądrowej w przypadku jej awarii, w celu podtrzymania procedur bezpieczeństwa. Zagrożenia intencjonalne militarne i terrorystyczne są trudne do przewidzenia, choć możliwe do ograniczenia za pomocą stałych instalacji zabezpieczających obiekt. Bardziej niebezpieczne mogą być ataki terrorystyczne i sabotaże skierowane na infrastruktury peryferyjne elektrowni jądrowej, jak zaburzenie dostępności wód technologicznych przeznaczonych do schładzania reaktora i ataki na linie energetyczne odprowadzające prąd poza obręb elektrowni. Ogólny sposób oceny tych zagrożeń i ich ranking zawarty jest w publikacji MAEA (SSG-35, 2015).

Jak wynika z dotychczasowych doświadczeń po trzech znanych awariach elektrowni jądrowych na świecie, są one powodowane zaniedbaniami ludzkimi, a ich skutki są zależne od organizacji i działania wewnętrznych systemów bezpieczeństwa:

1) Three Mile Island: Backrunner on the Three Mile Island Accident; 28.03.1979; US Nuclear Regulatory Commission: <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/3mile-isle.html>; aktualizacja z 25.04.2014; zaniedbanie obsługi i awaria chłodzenia reaktora spowodowała przegrzanie wsadów energetycznych, w efekcie automatyczne odcięcie poboru mocy i awaria generatorów pary napędzającej elektrownię. Skutki awarii nie rozprzestrzeniły się poza obręb elektrowni jądrowej, wycieki płynów z substancjami promieniotwórczymi nie spowodowały skażeń terenu na zewnątrz, a intensywność promieniowania nie przekroczyła 1 milirem ponad wartość naturalnego tła.

2) Czernobyl: Backrunner on Chernobyl Nuclear Power Plant Accident; 26.04.1986; US Nuclear Regulatory Commission: <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/Chernobyl-bg>; aktualizacja z 25.04.2014; podczas testowania procedury wyłączania reaktora zaniedbano procedury chłodzeniowe, powstały pożar zniszczył strukturę reaktora i w wyniku wzrostu ciśnienia gazów w przegrzanym reaktorze nastąpiła eksplozja i emisja pyłów radioaktywnych; podjęta *ad hoc* akcja ratownicza polegała na posypywaniu płonącego reaktora piaskiem z boronem z helikopterów, co spowodowało wzrost ilości pyłów emitowanych do atmosfery. W efekcie chmury pyłów radioaktywnych przemieszczały się z wiatrami stratosferycznymi na duże odległości. Zanotowano 28 zgonów w obrębie elektrowni jądrowej, 106 osób zachorowało na popromienne komplikacje zdrowotne, a 200 000 spośród 600 000 robotników usuwających skutki awarii zostało napromieniowane dozą od 1 do 100 rem.

3) Fukushima: Fukushima Accident; 11.02.2011; World Nuclear Association; <http://www.world-nuclear.org/info/Safety-and-Security/Safety-of-Plants/Fukushima-Accident/>; bezpośrednią przyczyną awarii było zniszczenie przez piętnastometrową falę tsunami systemów chłodniczych jednego z reaktorów elektrowni zlokalizowanej przy brzegu morza. Na zewnątrz wydostała się w ciągu kilku dni porcja promieniowana określona na 940 PBq. Nie zanotowano choroby popromiennej ani zgonów spowodowanych bezpośrednio przez katastrofę, natomiast zanotowano ponad 1000 zgonów podczas ewakuacji ponad 100 000 mieszkańców. Te wartości

były wskazywane, jako skutki zbyt pochopnych decyzji, bo zagrożenie radiacją wokół zniszczonej przez tsunami elektrowni jądrowej było niewielkie.

W przedstawianej pracy są zawarte wybrane przykłady kartograficznej analizy ogólnej zewnętrznych zagrożeń bezpiecznej lokalizacji elektrowni nuklearnych w Polsce. Analiza jest oparta na selektywnym określeniu możliwości zagrożeń bezpieczeństwa elektrowni atomowej, które prowadziłyby do zagrożenia bezpieczeństwa ludzi, infrastruktury przemysłowych oraz rolnych w strefie oddziaływania zespołu generatora nuklearnego i elektrowni.

2. Materiały kartograficzno-geologiczne

Materiały kartograficzne mają służyć selekcji i ocenie właściwości lokalizacyjnych rejonu, sąsiedztwa i miejsca bezpiecznej lokalizacji EJ oraz, po ostatecznym wyborze miejsca, do przygotowania scenariusza możliwej awarii i postępowania w celu zminimalizowania jej skutków. Za pomocą metod kartografii są wizualizowane sytuacyjnie czynniki, które można uznać za istotne dla bezpiecznej lokalizacji elektrowni jądrowej i dla bezpieczeństwa jej otoczenia. Jest oczywiste, że potrzeby wizualizacji są różne dla wstępnego etapu programowania rozmieszczenia elektrowni jądrowych w kraju, inne dla alternatywnego proponowania lokalizacji poszczególnych obiektów i zupełnie różne dla potrzeb opracowania scenariusza awarii, ze względu na konieczne zwiększenie szczegółowości danych i ich analiz.

Do opracowania koncepcji rozmieszczenia elektrowni jądrowych na terenie całego kraju wystarczy kompilacja i analiza dotychczasowych publikowanych materiałów na temat czynników istotnych dla bezpieczeństwa elektrowni. Dla poszczególnych lokalizacji jest konieczne zebranie i opracowanie materiałów nowych, poparte danymi i wnioskami ze szczegółowych wizji terenowych.

W odniesieniu do etapu opracowania koncepcji rozmieszczenia elektrowni jądrowych w kraju należy dążyć do wstępnego wyeliminowania obszarów zdecydowanie niekorzystnych, zarówno geologiczno-inżynierskich i sytuacyjno-topograficznych, historycznych, jak i społecznych. To ostatnie odnosi się do możliwości szczególnie uciążliwych oporów ludności i miejscowej administracji. W drodze eliminacji uzyska się wtedy pierwszy przybliżony obraz rozmieszczenia obszarów potencjalnie korzystnych, w odniesieniu do których można będzie pozyskiwać i analizować materiały bardziej szczegółowe do ich dalszego, przybliżającego kategoryzowania. Istotne jest uwzględnianie odległości do centrów zagęszczenia populacji oraz znalezienie możliwości ustanowienia strefy wyłączonej, w której będą obowiązywały zasady oraz zarządzenia władz i administracji przyszłej elektrowni jądrowej. Pojedyncze małe osiedla mogą pozostać w strefie oddziaływania elektrowni jądrowej, pod warunkiem podporządkowania ich stałym i doraźnym zarządzeniom bezpieczeństwa. Określenie dopuszczalnej odległości obiektu od granic administracyjnych najbliższej miejscowości o liczbie mieszkańców większej niż 10 000 jest trudne do ustalenia. Bowiemy, jak wynika z uzyskanych doświadczeń po rzeczywistych katastrofach, skutki

awarii były ograniczone do wnętrza obrębu zajmowanego przez zespół elektrowni jądrowej, bądź wykraczały poza ten obręb na setki kilometrów w kierunkach stosownych do wiejących wówczas wiatrów na różnych pułapach atmosfery.

Fizyczną charakterystykę obszarów nadających się do lokalizacji należy opracować na podstawie kryteriów topograficznych, sejsmologicznych, meteorologicznych, geologicznych oraz hydrologicznych. Istotnym kryterium jest podatność terenów na wystąpienia zjawisk geologicznych o szybkim przebiegu i dużej energii pionowych ruchów tektonicznych skorupy ziemskiej o dużym gradiencie, katastrofalnej erozji mogącej spowodować awarię obwałowań zbiornika górnego elektrowni szczytowo-pompowej oraz uaktywnienia, bądź powstania uskoków i trzęsień ziemi, które miałyby wpływ na stabilność pracy lokowanego obiektu. Mniej istotne są podatności na płytkie osuwiska naturalne i indukowane działalnością ludzką. Głębokie osuwiska oraz zjawiska geodynamiczne z pogranicza neotektoniki należy uznać jako eliminujące całkowicie możliwości lokalizacji obiektów wrażliwych.

Na etapie koncepcji lokalizacji obiektu jądrowego mapy tematyczne należy zestawiać z uwzględnieniem zjawisk terenowych istotnych dla potrzeb realizacji budowy i funkcjonowania obiektów oraz zapobiegania rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń powierzchniowych spowodowanych awarią obiektu. W poszczególnych arkuszach tematycznych należy zawrzeć dane geologiczne i inżyniersko-geologiczne, hydrologiczne i hydrogeologiczne, zdefiniowane strefy różnych przedziałów stabilności i nośności podłoża, szczelności podziemnych poziomów wodonośnych, podatności terenów na infiltrację wód opadowych i poawaryjnych roztworów zanieczyszczających oraz rozmieszczenia lokalnych depresji terenowych podatnych na poawaryjne koncentracje emisji pyłów i gazów cięższych od powietrza. Konieczne są informacje na temat spodziewanych parametrów drgań gruntu pod wpływem trzęsień ziemi, naturalnych (mało prawdopodobnych, podobnie jak powstawanie trwałych deformacji terenu po trzęsieniach ziemi w terenach asejsmicznych) oraz powodowanych przez działalność ludzką, możliwości powstawania wstrząsów indukowanych, w głębokich wykopach w okresie budowy obiektu EJ oraz w pobliskich kopalniach podziemnych. W kartograficznym studium struktury rzeźby terenu istotne jest też określanie możliwych tras i kierunków powierzchniowych spływów wód opadowych i poawaryjnych w celu ustalenia systemów ich kanalizacji i neutralizacji. Istotne jest również wskazanie istniejących obiektów przemysłowych naziemnych i podziemnych, których działalność i możliwe awarie będą miały wpływ na bezpieczeństwo lokowanego obiektu EJ. Niesprzyjające warunki fizyczne lokalizacji można częściowo niwelować na etapie projektowania nuklearnej elektrowni i jej urządzeń peryferyjnych. Niezbędna w określaniu możliwych zagrożeń obiektu jest wieloczynnikowa analiza zwrotnych sprzężeń wzajemnych oddziaływań czynnego obiektu, możliwych zjawisk neotektonicznych, egzodynamicznych w konkretnej sytuacji terenowej. Pojęcie sytuacja terenowa obejmuje topografię terenu (rzeźbę i hydrografię), użytkowanie terenu i rozmieszczenie obiektów trwałych naturalnych i antropogenicznych w tym rozmieszczenie osiedli, węzłów komunikacyjnych, rurociągów i linii energetycznych oraz górniczych i innych obiektów przemysłowych.

W Polsce zagrożenie trzęsieniami ziemi jest bardzo niskie. Wpływ trzęsień ziemi na bezpieczeństwo obiektów nuklearnych może być raczej pośredni, przez naruszenie infrastruktury, za-

opatrzenia i zaburzenie stosunków wodnych związanych z obiektem. Takim zaburzeniom może podlegać system gromadzenia i krążenia wód technologicznych obiektu, jak lokalne zbiorniki wodne z przegrodami, kanały i obwałowania. Podobnie wpływ możliwych deformacji neotektonicznych na stabilność ciężkiego obiektu budowlanego może być raczej marginalny niż zasadniczy, ale w skojarzeniu z innymi możliwymi zaburzeniami bezpieczeństwa może się okazać istotny w powodowaniu zagrożenia. Istotne są informacje uzupełniające o charakterze współczesnym i historycznym, dotyczące zespołu katastrof naturalnych oraz skutków trzęsień ziemi, osuwisk, lawin i powodzi rzecznych i wezbrań sztormowych oraz zmian poziomu morza i linii brzegowej.

Nie ma jednoznacznie wiarygodnej metody pomiaru współczesnych pionowych ruchów skorupy ziemskiej w obszarach asejsmicznych i poza zasięgiem poeksploatacyjnych osiadań powierzchni terenu nad wyrobiskami podziemnymi. Metody precyzyjnych pomiarów geodezyjnych naziemnych i satelitarnych odnoszą się raczej do zainstalowanych reperów lub do istniejących obiektów trwałych o stosownej geometrii. W Polsce były i nadal są stwierdzane ruchy pionowe powierzchni terenu o rozpiętości kilku milimetrów rocznie na dużych przestrzeniach (Kowalczyk 2006; Wyrzykowski 1985). To oznacza, że amplituda tych ruchów pionowych może sięgać kilku km w ciągu miliona lat, co jest porównywalne lub większe niż aktywność tektoniczna okresu alpejskiej orogenezy. Jednak takie aktywności nie są groźne dla stosunkowo niewielkich obiektów, bo nie są skoncentrowane. Ich gradienty są znikomo małe, bo rozkładają się na duże odległości, a niejednorodności przemieszczeń są wygaszane w plastycznej pokrywie osadowej podłoża. Ale przyczyna pionowych ruchów przypowierzchniowej strefy terenu jest zlokalizowana głęboko w skorupie ziemskiej, która ma określone granice czasowe i wytrzymałościowe odkształceń elastycznych i plastycznych. Po ich przekroczeniu podlega ścięciom i szybkim przemieszczeniom, co na powierzchni terenu przejawia się w okazjonalnych trzęsieniach ziemi (Orlienok i Pęcherzewski 2007), które mogą być przyczyną osuwisk, tsunami lub koncentrowania się deformacji powierzchni terenu. Istota problemu badawczego zasadza się na wskazaniu obszarów, gdzie takie koncentracje są bardziej prawdopodobne. Polska, pozostając krajem asejsmicznym (Gibowicz 1983), jest jednak podatna na okazjonalne trzęsienia ziemi, które – jak wynika z danych geofizycznych – okresowo objawiają się nie tylko w postaci relaksacji naprężeń w głębokich wyrobiskach, ale i na większych głębokościach (Pagaczewski 1972).

Istotnym czynnikiem zagrożenia obiektów EJ mogą być zaburzenia stabilności powierzchni terenu powodowane działalnością górnictwem, nadmierną eksploatacją wód podziemnych i innych płynów, masową sufozją powodowaną długotrwałymi zmianami poziomu wód podziemnych; groźne dla bezpieczeństwa lokalizacji są też możliwe do wystąpienia skutki tsunami w zbiornikach wód technologicznych powodowane wybuchami (jak na przykład podczas badań sejsmicznych), osuwiskami (jak na przykład w zbiorniku zaporowym na rzece Piawie). Gwałtowne przepływy wód w wyniku awarii zapory (jak na przykład we Frejus we Francji) czy obwałowań zbiornika górnego elektrowni szczytowo-pompowych mogą spowodować wiele skutków wpływających zarówno na fizyczne bezpieczeństwo elektrowni jądrowej i jej infrastruktur, jak i wpłynąć na zaburzenia w dostawie wody technologicznej niezbędnej do permanentnego chłodzenia reaktora w elektrowni jądrowej. Lokalizowanie obiektów wrażliwych na utworach

skalnych kenozoiku i starszych może być zagrożone ujawnianiem się kopalnych naprężeń górotworu podczas przygotowania wykopów fundamentowych oraz obciążania wykopów ciężkimi elementami budowli.

W związku z zakończeniem programu realizacji Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1 : 50 000, istnieją podstawowe materiały kartograficzne dla oceny przydatności terenu do lokalizacji obiektu jądrowego. Należy jednak brać pod uwagę fakt, że część arkuszy SMGPolski została wykonana ponad 50 lat temu i ich szczegółowość jest mniejsza niż współczesnych opracowań kartograficznych. Nie ma to zasadniczego znaczenia na etapie przeglądowego typowania lokalizacji obiektów jądrowych, natomiast odgrywa istotną rolę na etapie selekcji wytypowanych wcześniej miejsc, gdy wymagane jest szczegółowe zdjęcie geologiczne z uwzględnieniem litologii i tektoniki z dokładną inwentaryzacją struktur geologicznych ciągłych i nieciągłych oraz określenie obszarów objętych zjawiskami młodej i współczesnej geodynamiki wokół projektowanej lokalizacji obiektu wrażliwego. Z uwagi na specyfikę budowy geologiczno-strukturalnej badany obszar może mieć kształt różniący się od koła, czy kwadratu.

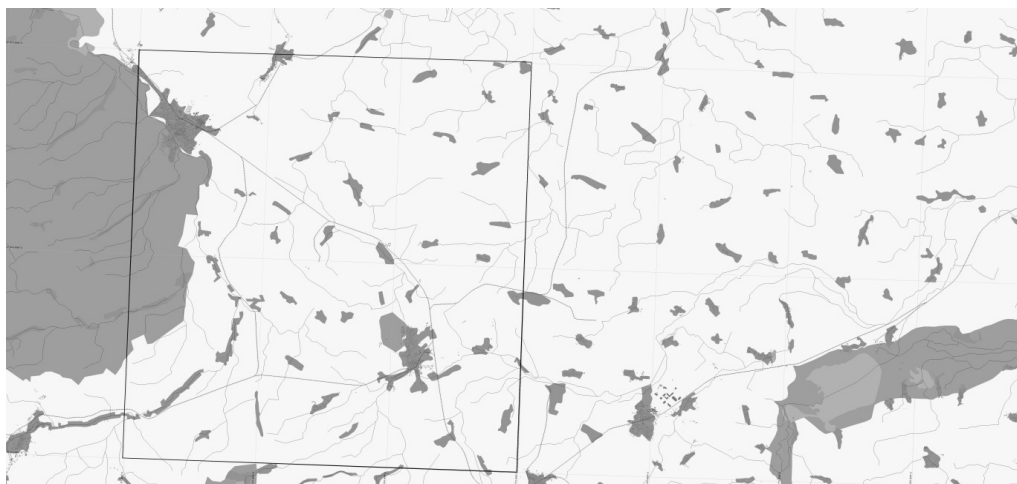
Wieloczynnikowa analiza zjawisk neotektoniki oraz egzodynamiki terenu lokalizacji obiektu i otoczenia jest konieczna w zakresie przewidzianego oddziaływania obiektu, zależnego od rzeźby terenu, hydrografii oraz rozmieszczenia węzłów komunikacyjnych, obiektów górniczych oraz różnych obiektów przemysłu ciężkiego.

3. Przykłady

Kartograficzne metody ułatwiają – lub w ogóle umożliwiają – prowadzenie wstępnej eliminacji miejsc nie nadających się do lokowania obiektów niebezpiecznych dla otoczenia i wrażliwych na zagrożenie ze strony otoczenia.

Zjawiska i miejsca, które mogą być zagrożeniem dla obiektu EJ, lub dla których obiekt EJ może być zagrożeniem należy poddać badaniom weryfikacyjnym lub – jeśli są jednoznacznie niebezpieczne – wyeliminować je bez dalszych badań. Poniżej przedstawiony jest wybór materiałów graficznych, które można uznać za przykładowe. Na rysunkach 1 i 2 przedstawiony jest fragment mapy małoskalowej z elementami pokrycia powierzchniowego, umożliwiające wstępną selekcję potencjalnej przydatności dla celów inwestycyjnych poszczególnych partii obszaru poprzez separowanie terenów wolnych od wyłączeń ochronnych, populacyjnych i gospodarczych. Takie opracowania można wykonywać dla dowolnej wielkości terenu, od obszaru całej Polski po wybrane regiony. W zależności od potrzeb, ale też w zgodzie z obowiązującymi przepisami, wokół istniejących obiektów mających wpływ na wybór odpowiedniej lokalizacji stosuje się odpowiedniej szerokości strefę buforową (rys. 2B). Na rysunku 2B zastosowano zmiennej grubości konturowanie obiektów w celu przedstawienia aureoli zasięgu strefy bezpieczeństwa. W załączonym przykładzie arbitralnie przyjęto odległość 500 m, gdyż ustawa o bezpiecznej odległości lokowania obiektów uznawanych za uciążliwe dla ludzkiego otoczenia jest na razie w przygotowaniu. Przykładowo,

w odniesieniu do wiatraków (Cetnarski 2016) w projekcie ustawy przewidziano, że minimalna bezpieczna odległość od zabudowań wynosi 10-krotność wysokości całkowitej wiatraka, czyli 1,5 do 2 km. I takiej szerokości pasma-aureole należałoby umieszczać na mapach oceny przydatności terenów do lokowania wiatraków, a do lokowania innych obiektów uciążliwych stosować inne szerokości aureoli, ustalone w obowiązujących aktach prawnych.

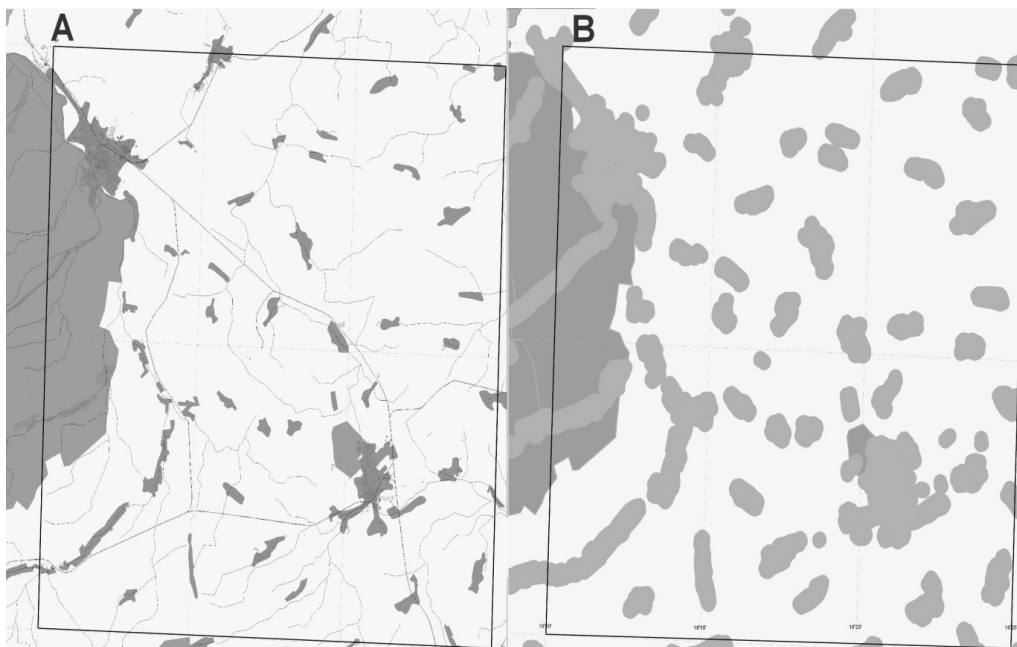


Rys. 1. Mapa małoskalowa przedstawiająca obszary zabudowane, tereny chronione, zbiorniki wodne, linie kolejowe, lotniska oraz obiekty chronione. Jasne pola są terenami rolnymi lub nieużytkami, z zabudową rozproszoną. Szerokość terenu na mapie – około 45 km. Pojedyncze budynki nie są widoczne z powodu redukcji oryginalnej skali mapy; czarny czworokąt oznacza położenie rys. 2

Fig. 1. The small-scale map of the built-up areas, protected parts of land, surface water bodies, railway tracks, airports and others protected structures. Farmland or wasteland shown as white fields with grey angular patches of settlements, the large grey areas on the left and right sides are forests; individual farm-buildings are not visible due to minimizing map the scale in reproduction. The terrain visible on the map is approximately 45 km wide. The black frame shows extent of Fig. 2

W ocenach regionalnych wytypowanego wstępnie obszaru należy bardziej szczegółowo uwzględniać i badać istotne czynniki. Dla obszaru Pomorza obejmującego rozpatrywane już wcześniej lokalizacje EJ w okolicach Jeziora Żarnowieckiego i wybrzeża Bałtyku w zależności od przyjętej manieri wykonawczej NMT (Numeryczny Model Terenu) należy analizować różne elementy pokrycia terenu i jego ukształtowania, jak też górnicze i energetyczne obiekty na tle głównych elementów geologicznych, istotnych dla wyboru lokalizacji EJ (rys. 3). Stosowanie NMT w kartograficznej identyfikacji wód otwartych i płaskich, podmokłych stref terenu, pól uprawnych, lasów i zarośli oraz stromych stoków, o dowolnie wybranych nachyleniach, podatnych na osuwiska i intensywną erozję podczas anomalnie dużych opadów jest łatwe, jednoznaczne i może być ponawiane w dowolnym momencie prowadzenia oceny terenów.

Kolejnym krokiem jest analiza sąsiedztwa wybranej lokalizacji (okolice Jeziora Żarnowieckiego) dostarczająca informacji dotyczących wyznaczenia obszarów zagrożonych ruchami masowymi oraz wykrywania prawdopodobieństwa istnienia aktywnych stref tektoniki nieciągłej w podłożu na podstawie analizy rzeźby terenu (rys. 4). Umożliwia ponadto wskazanie lokaliza-



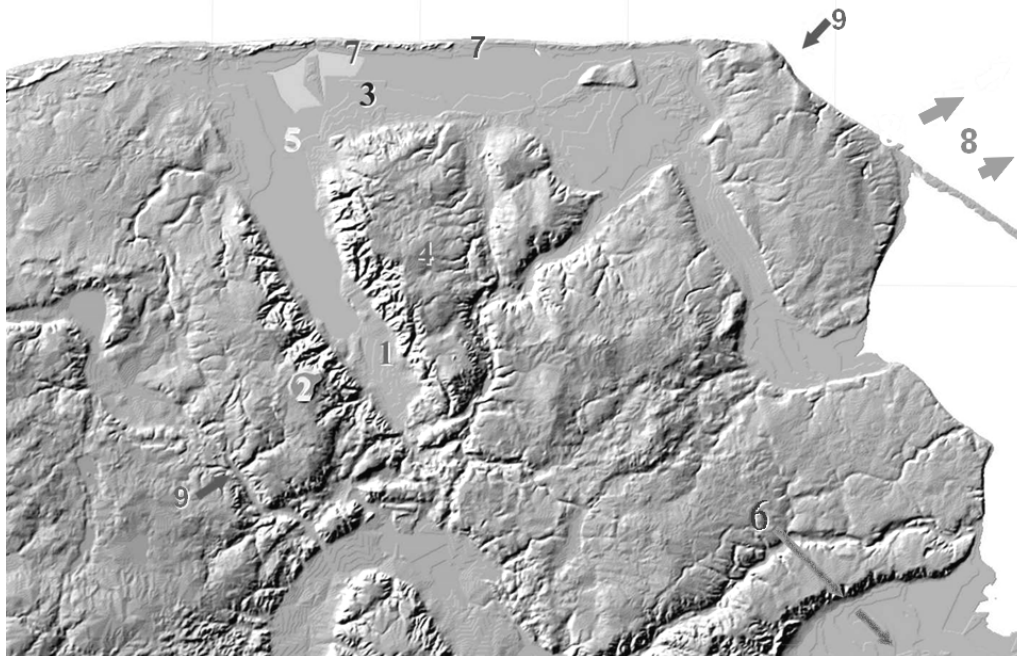
Rys. 2. Wycinek z mapy (rys.1), o wymiarach W-E 15' x N-S 10' (po około 18 km w czarnej ramce) przedstawiający tereny chronione, zbiorniki wodne, linie kolejowe oraz obiekty w zwartej zabudowie (A) przedstawione w skali odwzorowania; pojedyncze budynki nie są widoczne na mapach w małej skali; na wycinku (B) przedstawiono ten sam teren i te same obiekty zabudowy, ale obramowane pasmem o szerokości 500 m; granice jasnych obszarów, wolnych od ograniczeń są oddalone od zabudowań o 500 m

Fig. 2. Portion of a map (Fig.1), of approximate dimensions W-E 15' x N-S 10' (about 18 km of each side, in the black frame) showing protected areas: open water bodies, railway lines, urbanized areas (section A); individual buildings are not visible due to the small map scale in print reproduction; single buildings aren't visible on maps in the small scale; on the section (B) of the same area, all individual buildings and urbanized areas are enveloped with 500 m wide grey stripes. Thus, white is the restriction free zone of close building neighborhood; the nearest buildings are away, at a distance of 500 m or more from the white zone

cji obiektów zewnętrznych podatnych na awarie mogące zagrozić bezpieczeństwu EJ, którymi mogą być obwałowania zbiornika dolnego i górnego oraz odsłonięte rury derywacyjne zespołu elektrowni szczytowo-pompowej.

Podsumowanie

W złożonym procesie wyboru miejsca lokalizacji obiektów wrażliwych, w tym elektrowni jądrowej, zagadnienia geologiczne stanowią istotny czynnik, zwłaszcza na etapie wstępnej selekcji wytypowanych miejsc. Rozpatrywanie problemów socjalnych, demograficznych, infrastrukturalnych czy ekonomicznych nie ma sensu jeżeli dane geologiczne wskazują na konieczność

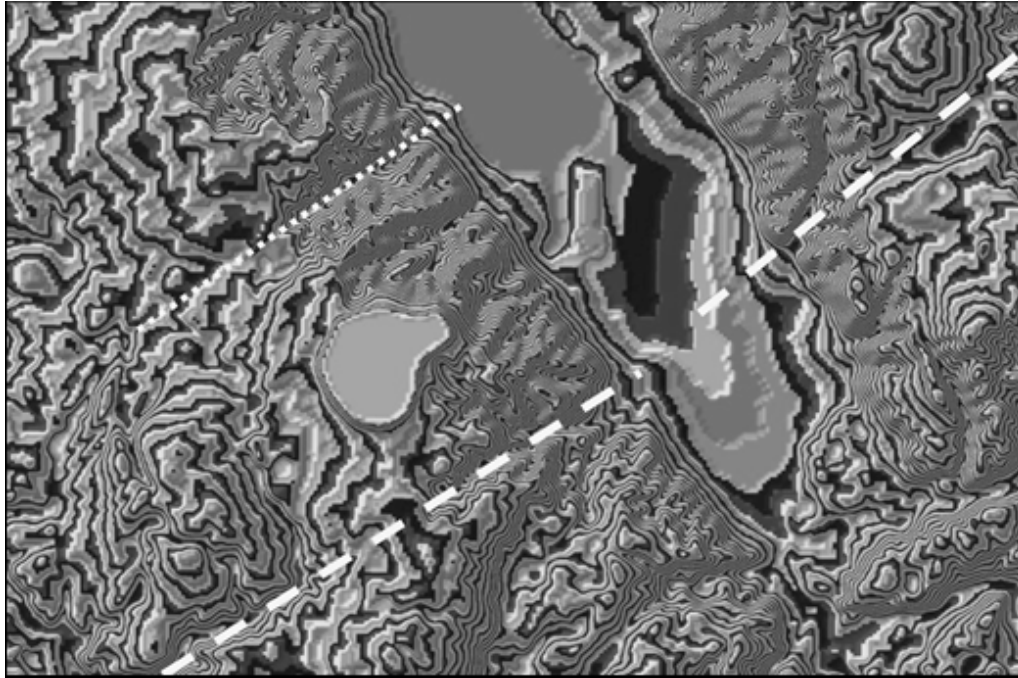


Rys. 3. NMT oparty na DTED2 okolic jeziora Żarnowieckiego;
 1 – teren projektowanej inwestycji wrażliwej na oddziaływania zewnętrzne; 2 – zbiornik górny Elektrowni szczytowo-pompowej; 3 – naftowe i gazowe pola górnicze; 4 – kopalnia gazu PGNiG; 5 – nowa zapora o wysokości piętrzenia 2 m i wahaniach lustra wody 1 m z przepustem, oddziela od równin nadmorskich dawny fiord wąską holoceniską zatokę, a obecnie przepływowo jezioro Żarnowieckie, pełniące rolę dolnego zbiornika elektrowni szczytowo-pompowej (2); 6 – podziemny zbiornik gazu; 7 – miejsce sztormowych inwazji morskich; 8 – strzałki wskazują prawdopodobną linię młodego uskoku o kierunku NNW-SSE ograniczającego od SW Zatokę Gdańską; 9 – linia topolineamentu, formy potomnej niezasklepionego uskoku wglębne go o kierunku SW-NE; szerokość terenu na obrazie 25 km

Fig. 3. DEM based on DTED2 of surroundings of the Żarnowieckie Lake;
 1 – Area of planned investment sensitive to external impacts (influences); 2 – upper reservoir of the pumped-storage hydropower plant; 3 – oil and gas minefields; 4 – PGNiG gas-mine; 5 – the new earth-barrier damming lake water up to 2 m, and separating the ancient historical fjord from the seaside plains; the reservoir was turned up into the narrow bay in early Holocene period, at present it has turned into the flow-through lake, the Żarnowieckie Lake, now performing the role of the lower reservoir of the pumped-storage hydropower plant; 6 – subsurface gas-store; 7 – place of storm-sea ingressions; 8 – arrows show the farther location of the probable line of young fault oriented NNW-SSE along the western limits of the Gdańska Bay from SW; 9 – toplineament's line of a successor's form of the not-healed deep fault oriented SW-NE; area in a picture is 25 km wide

eliminacji potencjalnej lokalizacji. Powoduje to potrzebę zestawienia pakietu danych geologicznych i ich standaryzacji celem ułatwienia i skrócenia procedury wyboru lokalizacji elektrowni jądrowej. Zaletą metod kartograficznych jest ich graficzna forma, umożliwiającą percepcję zawartej treści osobom nie posiadającym profesjonalnego przygotowania. Umożliwia ponadto łatwe transfery danych do opracowań w różnych skalach oraz kompilowania dostępnych danych z wykorzystaniem tradycyjnych podkładów topograficznych i Numerycznych Modeli Terenu.

Praca finansowana ze środków statutowych Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk.



Rys. 4. Wykorzystanie zagęszczenia linii poziomicowych do określenia obszarów zagrożonych ruchami masowymi. NMT, cięcie 2 m, topolineamenty oznaczono białymi liniami przerywanymi; gruszkowata jasnoszara forma to zbiornik górny elektrowni szczytowo-pompowej, o rzędnej 126 m, wahaniami piętrzenia 16 m i pojemności 13 mln m³

Fig. 4. Applying condensed hypsometric contour lines for determining hazard areas of mass movements prone. DEM of CI (contour interval) 2 m, topolineaments marked with white dashed lines, the upper reservoir of a pumped-storage hydropower plant is visible as a light- grey pear-shape form left off the image's middle, datum 126 m, water table oscillations 16 m, reservoir capacity 13 mln m³

Literatura

- CETNARSKI, W. 2016. *Grozi nam wielka awantura o farmy wiatrowe*. [Online] Dostępne w: <http://www.wnp.pl/wiadomosci/267959.html>; PSEW, Dostępne w: http://www.wnp.pl/wiadomosci/w-cetnarski-p-sew-grozi-nam-wielka-awantura-o-farmy-wiatrowe,267959_1_0_1.html [Dostęp: 20.02.2016].
- DOBAK i in. 2011 – DOBAK, P., DRĄGOWSKI, A. i FRANKOWSKI, Z. 2011. *Geologiczno-inżynierskie aspekty wyboru lokalizacji elektrowni jądrowych w Polsce*. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego 446.
- Dyrektywa Rady 2009/7/EURATOM z 25 06 2009 roku ustanawiająca wspólnotowe ramy bezpieczeństwa jądrowego obiektów jądrowych (Dz. U. UE L 172/18 z 02 07 2009).
- Gibowicz S. 1983. Wstrząsy sejsmiczne w Polsce (bez Karpat i Sudetów) i ich związek z budową głębszego podłoża, *Kwartalnik Geologiczny* 27(2), s. 395–398.
- HELIASZ, Z. i JAROSIŃSKI, M. 2016. Polskie uregulowania prawne w odniesieniu do lokalizacji Elektrowni Jądrowej na tle wytycznych Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej oraz przepisów US Nuclear Regulatory Commission. *Przegląd Geologiczny* (w druku).

- International Atomic Energy Agency, Site Evaluation for Nuclear Installation, IAEA Safety Standards Series, Safety Requirements, No. NS-R-3, IAEA, Wiedeń (2003).
- International Atomic Energy Agency, Geotechnical Aspects of Site Evaluation and Foundations for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series, Safety Guide No. NS-G-3.6, IAEA, Wiedeń (2004).
- International Atomic Energy Agency, Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series, Specific Safety Guide No. SSG-9, IAEA, Wiedeń (2010).
- International Atomic Energy Agency, Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series, Specific Safety Guide No. SSG-35, IAEA, Wiedeń (2015).
- KOWALCZYK, K. 2006. The comparison of the present movements of the Poland's earth crust with the previous researches. *Przegląd Geodezyjny* 12, s. 4–7.
- ORLIENOK, W.W. i PEČHERZEWSKI, K. 2007. Kaliningradzkie trzęsienie ziemi 21 września 2004 roku (RThe Kaliningrad Earthquake Tremors 21 September 2004). *Ślupskie Prace Geograficzne* 3, s. 149–157, [Online] Dostępne w: http://www.spg.apsl.edu.pl/baza/wydawn/spg03/orlienok_pecherzewski.pdf [Dostęp: 20.02.2016].
- PAGACZEWSKI, J. 1972. *Katalog trzęsień ziemi w Polsce w latach 1000–1970*. Materiały i prace Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk.
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 sierpnia 2012 roku w sprawie szczegółowego zakresu przeprowadzenia oceny terenu przeznaczonego pod lokalizację obiektu jądrowego, przypadków wykluczających możliwość uznania terenu za spełniający wymogi lokalizacji obiektu jądrowego oraz w sprawie wymagań dotyczących raportu lokalizacyjnego dla obiektu jądrowego (Dz. U. 2012, nr 0, poz. 1025).
- Rozporządzenie Rady Ministrów z 31 sierpnia 2012 roku w sprawie zakresu i sposobu przeprowadzania analiz bezpieczeństwa przeprowadzonych przed wystąpieniem z wnioskiem o wydanie zezwolenia na budowę obiektu jądrowego oraz zakresu wstępnego raportu bezpieczeństwa dla obiektu jądrowego (Dz. U. 2012, nr 0, poz. 1043).
- Ustawa z 29 września 2000 roku Prawo atomowe (Dz. U. 2012, z. 264, tekst jednolity).
- Ustawa z 9 czerwca 2011 roku Prawo geologiczne i górnicze (Dz. U. 2011, nr 163, poz. 981).
- Ustawa z 29 czerwca 2011 O przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie obiektów energetyki jądrowej oraz inwestycji towarzyszących (Dz. U. 2011, nr 135, poz. 789).
- WYRZYKOWSKI, T. 1985. *Map of recent vertical movements of the surface of the Earth crust on the territory of Poland*. Instytut Geodezji i Kartografii, Warszawa.

Zygmunt HELIASZ, Stanisław OSTAFICZUK

Exclusion free areas – Screening areas open for hazardous constructions planning in Poland. Mapping standards in zone selection studies for the location of susceptible structures – siting a nuclear power plant

Abstract

A safe location site for Nuclear Power Plant (NPP) depends on, both, technical characteristics of a reactor with its peripheral systems, and on unique geological terrain conditions. Field and archive studies of possibly all materials, relevant for issuing legal decision are the basis for choosing an optimal NPP site. Evaluation of the safety level and detection of factors hazardous for the safe operation of a NPP must be supported by a comprehensive geological engineering report, supplemented with the modeled scenario of a plant's possible catastrophe, its minimizing and prevention of disastrous effects. Another inalienable factor for choosing site place for NPP are "pros" and "cons" concessions resulting from social consultations. In determining the risks, one must consider all the possible unfortunate coincidences on natural factors, and the vulnerability of the NPP to human errors caused by negligence or, ill will. A base map presenting areas free of interaction conflicts with topographic and infrastructural objects outside a margin safety zone remains the base for initial terrain selection.

KEYWORDS: Nuclear Power Plant, principles of secure locating, geological mapping