

Dr inż. Jerzy Kubowski

Uwarunkowania lokalizacji elektrowni jądrowych

Renesans energetyki jądrowej, który dziś obserwujemy, stał się możliwy dzięki temu, że po ponad dwudziestoletnim zastoju, wywołanym czarnobylskim szokiem, powstały reaktory trzeciej generacji. W odróżnieniu od poprzednio budowanych odznaczają się nieporównywalnie większym stopniem bezpieczeństwa (w szczególności biernym), a także wyższą sprawnością. Jednakże pomimo tych zalet, decyzja o budowie nowoczesnej elektrowni jądrowej (EJ) z reaktorami III generacji jest obwarowana wieloma ograniczeniami. Już sam tylko wybór miejsca wymaga spełnienia warunków bezpieczeństwa, niespotykanych w praktyce wznoszenia elektrowni konwencjonalnych.

Podobnie jak w wielu krajach świata, również w Polsce świadomość ekologiczna społeczeństwa wzrosła. Wyrazem tego – wbrew jeszcze istniejącym obawom i opozycji ekologów – w sondażach opinii publicznej daje się zaobserwować wzrost poparcia dla energetyki jądrowej. Tak się dzieje wówczas, gdy dyskusja dotyczy ogólnej kwestii: budowania EJ na terenie państwa. Jednakże o wznoszeniu EJ w konkretnie wybranym miejscu decydować będzie społeczność miejscowa. Paradoks może polegać na tym, iż ta sama ludność, która się generalnie wypowiadała za budowę EJ w kraju, stanowczo się sprzeciwi budowie siłowni na własnym terenie. Podobnie jak i przy przestrzennym zagospodarowywaniu terenów pod budowę dróg, zapór czy zakładów przemysłowych, miejscowa ludność będzie miała głos rozstrzygający. W państwach demokratycznych proces lokalizacji jest jawny i uwzględnia mechanizm, pozwalający lokalnej społeczności użyć prawa weta na dowolnym etapie.

W odróżnieniu od różnego rodzaju inwestycji o charakterze konwencjonalnym, uzyskanie zgody na umiejscowienie EJ potrzebuje o wiele większych starań i trudu w objaśnieniu mieszkańcom, czy i jakie powstanie zagrożenie dla nich samych oraz środowiska, w którym mieszkają. W niniejszym artykule zarysowano problemy bezpieczeństwa, które się z tym wiążą i niezbędne w tym zakresie wymagania stawiane przy wyborze miejsca pod budowę EJ.

Wymagania podstawowe

Nadrzędnym celem lokalizacji EJ – podobnie jak i węglowej – w danym rejonie jest pokrycie zapotrzebowania na energię elektryczną w ciągu kilkudziesięciu lat, w ilości wynikającej z analizy techniczno-

ekonomicznej systemu elektroenergetycznego. Drugim czynnikiem warunkującym wybór miejsca jest dostępność zasobów wodnych, niezbędnych do chłodzenia skraplaczy turbin. W Europie – szczególnie zaś w Szwecji i Finlandii – dostępność wody chłodzącej o niskiej temperaturze stanowi ważne kryterium lokalizacji EJ. Z tego powodu wielkie znaczenie przywiązuje się do wyboru systemu chłodzenia: pierwszeństwo oddaje się otwartemu systemowi chłodzenia. Wielka Brytania np. stosuje wyłącznie system otwarty z wykorzystaniem wody morskiej. W USA, na 104 pracujące EJ, taki system zastosowano w 60 siłowniach, w 35 – chłodnie ociekowe, w 9 – system hybrydowy: naturalna konwekcja i wentylatory, pracujące w zależności od zewnętrznych warunków atmosferycznych. Podobnie jest w Kanadzie, gdzie m.in. wykorzystuje się wodę chłodzącą z Wielkich Jezior.

Zużycie wody w systemie otwartym wynosi nieco ponad 0,5 l/kWh, podczas gdy w obiegu zamkniętym – blisko 2,4 l/kWh. Wiele EJ buduje się właśnie z takim obiegiem chłodzenia także dlatego, że ich lokalizacja – w odróżnieniu od elektrowni węglowych – jest praktycznie niezależna od dróg i źródeł dostaw paliwa. Jednakże chłodzenie wodą morską wymaga materiałów odpornych na korozję, aczkolwiek uzyskuje się przy tym większą efektywność. Sprawność termiczna EJ trzeciej generacji – w zależności od temperatury wody chłodzącej - waha się w granicach 34-36%, a w budowanych obecnie nowoczesnych elektrowniach węglowych o nadkrytycznych parametrach czynnika roboczego dochodzi nawet do 46%. Dodajmy przy tym, że konstrukcja EJ o takich parametrach jest przewidywana dopiero na lata 2030–2040 (EJ IV generacji – SCWR: Supercritical Water-cooled Reactor). Stąd większe zużycie wody do chłodzenia skraplaczy w EJ niż w elektrowniach opalanych węglem.

Badania francuskie w 2008 r. pokazały, że chłodzenie skraplaczy turbin EJ z reaktorem typu EPR (European Pressurized Reactor - reaktor typu PWR trzeciej generacji o mocy cieplnej 4500 MW) w obiegu otwartym wodą pobieraną z rzeki, zamiast – z morza, prowadzi, wskutek gorszych warunków chłodzenia, do obniżenia produkcji o 0,9% i wzrostu kosztu kWh o 3%. Wydajność chłodzenia wodą z rzeki lub jeziora jest ograniczona temperaturą wody powrotnej (wynoszącej zazwyczaj 30°C), a ściślej – różnicą temperatur na wlocie i wylocie. W okresie wysokich letnich temperatur ta różnica maleje, co zmusza nieraz do zmniejszenia generowanej mocy. Natomiast chłodzenie w obiegu zamkniętym z chłodniami ociekowymi

- w porównaniu z systemem otwartego chłodzonego wodą z morza - przyczynia się do straty ogólnej sprawności EJ o 3 – 5%.

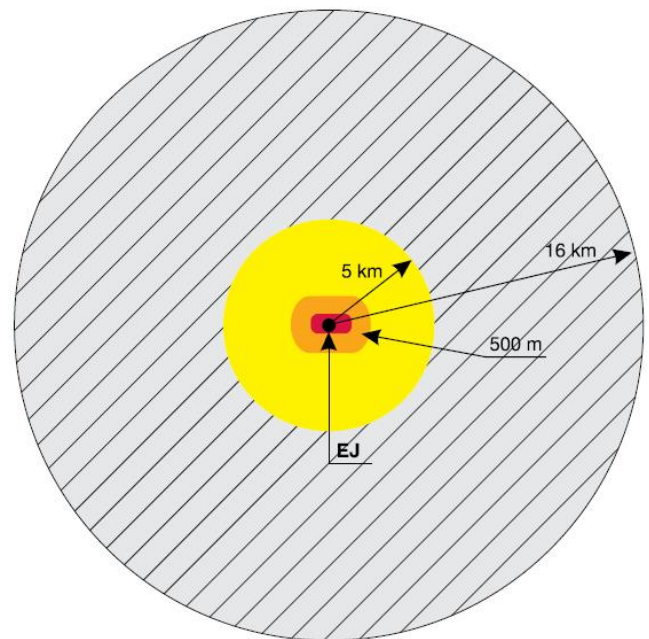
Obok tych technologicznych uwarunkowań lokalizacja EJ wymaga ponadto przeprowadzenia analizy przydatności terenu z punktu widzenia zagrożenia radiologicznego ludności i środowiska naturalnego. Chodzi o promieniowanie jonizujące emitowane przez substancje promieniotwórcze uwolnione w czasie normalnej eksploatacji oraz w czasie awarii. Nakazem jest dążenie do ograniczenia dawek promieniowania pochłoniętych przez indywidualne osoby oraz ogół ludności, zgodnie z zasadą ALARA (ang. As Low As Reasonably Achievable – tzn., tak małe (dawki), jakie tylko są możliwe do osiągnięcia).

Badania wyboru miejsca pod budowę EJ uwzględniają wszystkie fazy jej istnienia: od prac przygotowawczych do budowy, poprzez okresy eksploatacji i likwidacji. Projektowany czas eksploatacji nowoczesnych elektrowni wynosi 60 lat. Jeśli do tego dodać czas zużyty na budowę oraz likwidację obiektu, a także – na ewentualną rekultywację terenu, to opracowana ocena odnosi się do okresu bliskiego stuleciu.

Analiza przydatności terenu pod budowę EJ – z punktu widzenia bezpieczeństwa jądrowego – obejmuje następujące problemy:

1. Skutki zewnętrznych zdarzeń, występujących w wybranym rejonie budowy. Należą do nich zarówno zdarzenia wywołane siłami przyrody, jak również w wyniku działalności człowieka.
2. Charakterystyki terenu i środowiska naturalnego, mogące mieć wpływ na rozprzestrzenianie się uwolnionych z EJ promieniotwórczych substancji.
3. Gęstość zaludnienia i przestrzenna dyslokacja ludności oraz inne charakterystyki zewnętrznych obszarów poza terenem EJ, które mogłyby mieć wpływ na przedsięwzięte działania awaryjne i powstanie zagrożenia dla ludzi.

W celu spełnienia powyższych wymagań teren wokół EJ dzieli się na kilka stref bezpieczeństwa. W tej dziedzinie nie ma obowiązującego międzynarodowego prawa i ogólnie przyjętych reguł: decyzja należy do państwowych dozorów jądrowych. Wytoczne Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA) w tym zakresie mają jedynie charakter zaleceń. Najczęściej organizuje się trzy strefy (rys. 1), chociaż w niektórych krajach bywa ich więcej. Zależy to od zasad i norm ochrony radiologicznej przyjętych przez krajowe instytucje (agencje), odpowiedzialne za bezpieczeństwo jądrowe państwa.



Rys 1. Promienie stref bezpieczeństwa (500 m – strefa zamknięta, 5 km – strefa ochronna, 16 km – strefa objęta planem awaryjnym; EJ – elektrownia jądrowa)

Strefa zamknięta

Do głównych barier – w systemie tzw. obrony w głąb – przeciwdziałających wydostawaniu się substancji promieniotwórczych z paliwa jądrowego (w najbardziej rozpowszechnionym reaktorze, jakim jest reaktor typu PWR) należą: 1 – koszulka elementu paliwowego (średnica elementu paliwowego – ok. 9 mm, grubość koszulki – ok. 0,6 mm), 2 – ścianka ciśnieniowego zbiornika reaktora (ok. 200 mm), 3 – osłona betonowa reaktora (ok. 900 mm), 4 – gazoszczelna, stalowo-betonowa obudowa bezpieczeństwa o grubości – w zależności od konstrukcji – sięgającej ok. 1,5 m (containment). Strefa zamknięta stanowi piątą składową tego systemu. Kontrolę nad nią sprawuje wyłącznie właściciel elektrowni. Stałe zamieszkanie w obrębie tej strefy jest zabronione. Ogranicza się w ten sposób rozprzestrzenianie się z elektrowni potencjalnych uwolnień promieniotwórczych substancji na pobliskie osiedla mieszkaniowe. Ponadto, strefę zamkniętą projektuje się z myślą, by w przypadku ogłoszenia stanu awaryjnego, ludność zamieszkałą w pobliżu jej granic można było szybko ewakuować. Przy opracowywaniu planu awaryjnego analizuje się skutki radiologiczne tzw. awarii projektowej: jest to postulowany przez dozór jądrowy wypadek założony w projekcie EJ, będący podstawą jej konstrukcji i budowy: np. rozerwanie głównego rurociągu w obwodzie chłodzenia reaktora. Elektrownia musi być zdolna do opanowania takiej awarii bez strat w jej strukturze i komponentach, niezbędnych do zapewnienia bezpieczeństwa zdrowotnego ludności.

Promień strefy zamkniętej (liczony od kominu wentylacyjnego) – przy projektowaniu budowy nowoczesnej EJ trzeciego pokolenia – wynosi od 500 m do ok. 2 km: w Indii na przykład, normy przewidują strefę o promieniu nie mniejszym niż 1,5 km, a w Rosji – 2 km. Podstawą do jego określenia stanowią zasady ochrony radiologicznej przyjęte w danym państwie. Według kanadyjskich norm, wartością kryterialną jest dopuszczalna dawka skuteczna $1 \text{ mSv}^{1)}$ (dawka efektywna: suma wszystkich dawek pochłoniętych w narządach i tkankach), otrzymana przez osobę z ludności na granicy strefy w okresie jednego roku podczas normalnej eksploatacji EJ. Podobnie kryterium obowiązuje także w USA, Indii i Rosji.

Kryterium to jest także spełnione w warunkach projektowej awarii reaktora. Analiza francuskiej firmy AREVA, odnosząca się do reaktora EPR, pokazuje, że w przypadku ciężkiej awarii z rozerwaniem rur w wytwornicy pary, osoba z ludności w odległości 500 m od EJ, w ciągu 7 dni otrzyma dawkę $0,2 \text{ mSv}$. Po tym okresie przyrost dawki będzie niewielki. Natomiast w przypadku awarii projektowej, tzn. wielkiego rozerwania rurociągu w układzie chłodzenia reaktora, który firma AREVA klasyfikuje jako wydarzenie mogące wystąpić z częstością w granicach 10^{-4} – 10^{-6} zdarzeń/rok, w odległości 500 m, po upływie 7 dni otrzymano dawkę $0,29 \text{ mSv}$. Na podstawie tych rezultatów stwierdzono, że wymagania w zakresie dopuszczalnej dawki granicznej w odległości większej lub równej 500 m od elektrowni są spełnione.

Strefa ochronna

Jest położona za strefą zamkniętą i obejmuje obszar, na którym wprowadza się środki bezpieczeństwa. Dotyczy kontroli nad rozkładem i gęstością zaludnienia, użytkowania ziemi i zasobów wodnych, sieci komunikacyjnej, planowania ewakuacyjnego. Jej granica zewnętrzna jest położona około 5 km od EJ. Użytkowanie na tym terenie ziemi jest ograniczone, a gęsta zabudowa mieszkalna i szpitale z liczną obsługą są niedozwolone. Liczba stałych mieszkańców zazwyczaj nie przekracza 200 osób; jest regulowana przyrostem naturalnym.

Strefa objęta planem awaryjnym

Jest to obszar, dla którego opracowuje się szczegółowy plan działania w sytuacjach awaryjnych. Jego granice zewnętrzne są położone w promieniu 16 – 20 km od elektrowni. Przewidywane przedsięwzięcia z zakresu bezpieczeństwa obejmują sposoby powiadomiania mieszkańców o powstałym zagrożeniu, przygotowania personelu pogotowia ratunkowego, ocenę skali zagrożenia i możliwości jej ograniczenia, a także ochronę przed

skażeniami i dozymetryczną kontrolę. Warto zaznaczyć, iż wiele administracji stanowych w USA postanowiło zgromadzić w tych strefach odpowiednie ilości jodku potasu w postaci tabletek. Przyjmowanie tego środka w okresie zagrożenia promieniotwórczym izotopem jodu – $^{131}\text{I}^{2)}$ przyczynia się do zmniejszenia dawki promieniowania jonizującego od tego radioizotopu, pochłoniętej przez tarczę.

Analiza zewnętrznych zjawisk naturalnych

W procesie licencjonowania rozważa się wpływ na EJ wszystkich zjawisk naturalnych, występujących w rejonie przyszłej budowy, w ciągu całego okresu ich rejestracji. Poniżej przedstawimy minimalny wykaz zdarzeń, które powinny być zanalizowane i udokumentowane we wniosku o pozwolenie na umiejscowienie siłowni.

Zmiany klimatu

Rozpatruje się potencjalne zdarzenia, mogące wystąpić wskutek zmian klimatu na przestrzeni całego okresu istnienia EJ.

Dane meteorologiczne

Na podstawie wieloletnich danych analizuje się następujące potencjalnie zdarzenia:

- skutki zmian temperatury i wilgotności na bezpieczną pracę EJ (np. parametrów powietrza do chłodzenia chłodni kominowych),
- skutki kondensacji i parowania na pracę elektronicznej aparatury,
- potencjalny wpływ temperatury i wilgotności na rozprzestrzenianie się uwolnionych skażeń oraz opadów atmosferycznych,
- wpływ siły wiatru i ciśnienia atmosferycznego m.in. na działania awaryjne i rozprzestrzenianie się skażeń w środowisku naturalnym
- częstotliwość i siła wyładowań atmosferycznych,
- wieloletnie dane o podwoziach,
- dane hydrologiczne na temat wód gruntowych i zasobów wodnych, niezbędnych do funkcjonowania EJ w warunkach normalnych i awaryjnych.

2) Jod – ^{131}I jest gazowym produktem reakcji rozszczepienia uranu o okresie połowicznego rozpadu – 8,02 doby. Gromadzi się w elemencie paliwowym. W miarę upływu czasu eksploatacji ciśnienie w elemencie rośnie, co prowadzi do powiększania się mikroszczelin w koszulce, lub pęknięć elementu. Skutkiem tego, jod – ^{131}I może przedostać się do wody chłodzącej, i dalej drogami wentylacyjnymi, poprzez komin do atmosfery i gleby. Do organizmu przenika drogą oddechową, lub pokarmową. Rozpuszcza się w wodzie, co sprzyja łatwemu jej skażeniu, a także – pastwisk. Intensywność emisji staje się groźna dopiero w przypadku stopienia się paliwa.

1) W celu zobrazowania znaczenia dawki 1 milisiwerta podać można, że przeciętny mieszaniec Polski otrzymuje w ciągu roku dawkę skuteczną ok. $0,8 \text{ mSv}$

Zagrożenie biologiczne

Badaniu podlega potencjalne zagrożenie dla pracy aparatury i kabli sterowniczych ze strony gryzoni i bakterii. Kolonie tych ostatnich mogłyby np. zablokować systemy wentylacji lub wody chłodzącej.

Analiza zdarzeń spowodowanych działalnością człowieka

Zakłady przemysłowe, obiekty wojskowe, kopalnie, rodzaje transportu towarowego etc., położone w rejonie EJ mogą stanowić dla niej niebezpieczeństwo. Dlatego dane o tych obiektach analizuje się pod kątem potencjalnego zagrożenia dla EJ.

Katastrofy lotnicze

Większość wypadków lotniczych powstaje podczas startu i lądowania samolotów. Stąd bliskie usytuowanie portu lotniczego może stwarzać potencjalne zagrożenie dla EJ. Rozmiary zależą od przewidywanego natężenia lotów i wielkości maszyn. Dostępność przestrzeni powietrznej nad EJ podlega ograniczeniu w zależności od wyników analizy ryzyka wypadku. Ostateczną decyzję podejmuje się na podstawie wielkości prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia. Jeśli jest ona nieakceptowalnie wysoka – lokalizacja nie uzyskuje pozwolenia.

Pożary i eksplozje

W tej dziedzinie badania obejmują następujące zagadnienia:

- wpływ kierunku i ciśnienia fal na strukturę budowlaną i personel,
- wpływ temperatury na obiekt i personel,
- możliwość powstania wtórnego źródła pożaru, lub eksplozji,
- możliwość uwolnienia chemikaliów, lub lotnych gazów,
- zagrożenia budynków od pocisków,
- skutki, które mogą pozbawić EJ rezerwowego zasilania elektrycznego z sieci zewnętrznej,
- potencjalne skutki dla wprowadzenia planu awaryjnego.

Inne ważniejsze rodzaje zagrożenia

W rejonie przyszłej lokalizacji EJ badaniu podlegają możliwe wypadki o charakterze chemicznym i radiologicznym (m.in. intensywność źródeł promieniotwórczych w glebie i atmosferze). Niebezpieczny wpływ na sterowanie pracą EJ mogą mieć także okoliczne źródła emisji fal elektromagnetycznych: urządzenia telekomunikacyjne

(w tym wojskowe i cywilne instalacje radarowe) oraz linie wysokich napięć.

Podsumowanie

Przedstawiony przegląd zagadnień – których konieczność zanalizowania stanowi warunek lokalizacji EJ – pokazuje, jakie wyzwania musi podjąć firma ubiegająca się o pozwolenie na budowę. Wynika to z faktu, iż przy wznoszeniu siłowni jądrowej – w odróżnieniu od innych obiektów przemysłowych – pojawia się nieporównywalnie szersza skala problemów bezpieczeństwa, w tym mających kluczowe znaczenie dla ochrony ludności przed potencjalnym zagrożeniem promieniowaniem jonizującym. W budowie i eksploatacji EJ zapewnieniu bezpieczeństwa jądrowego nadaje się bowiem pierwszeństwo przed wszystkimi innymi celami, dla których realizacji inwestycja została przeznaczona.

LITERATURA

- [1] Afrow M. i in.: WWER-1000: Fizyceskije osnovy ekspluatacji, jadernoje topliwo, bezopasnost. Logos, Moskwa 2006
- [2] Kubowski J.: Nowoczesne elektrownie jądrowe (fizyka, budowa, technologia, ekologia, koszty), WNT, Warszawa 2009
- [3] Site Evaluation for New Nuclear Power Plants, RD-346 (Canadian Nuclear Safety Commission, October 2007)
- [4] Site Evaluation for Nuclear Installation no. NS-R-3 (IAEA 2003)
- [5] Andrew Macintosh: Siting Nuclear Power Plants in Australia, Research Paper No. 40, January 2007
- [6] Jackson Consulting Discussion Paper: Siting New Nuclear Power Stations: Availability and Options for Government; Jackson Consulting (UK) Limited, 26th April 2006
- [7] Exclusion Zone Determination For Darlington New Nuclear Project NK054-REP-01210-00003-R001, 2009-09-10
- [8] Cooling power plants; World Nuclear Association, November 2009
- [9] Safety criteria for siting a nuclear power plant, STUK – Radiation and Nuclear Safety Authority of Finland, Helsinki 2001
- [10] Reiman L.: Regulatory preparations for the next NPP Project in Finland, Finnish Energy Conference, Tampere, 29 October 2008
- [11] Emergency Preparedness Near Nuclear Power Plants, NEI – Nuclear Energy Institute, January 2009
- [12] Deolalikar R: Safety in nuclear power plants in India. (Indian J Occup Environ Med 2008)