

Jerzy Niewodniczański
Katedra Fizyki Jądrowej
Wydział Energetyki i Paliw
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

ENERGETYKA JĄDROWA

Słowa kluczowe: elektrownie jądrowe, dozór jądrowy, bezpieczeństwo jądrowe i radiacyjne, paliwo jądrowe, odpady promieniotwórcze

STRESZCZENIE

Przedstawiono stan obecny energetyki jądrowej w Europie i na świecie – liczby bloków, udział energetyki jądrowej w bilansie energetycznym, bloki w budowie i planowane, typy reaktorów eksploatowanych i budowanych. Przytoczone dane sugerują dalszy rozwój energetyki jądrowej na świecie. Pokróćce omówiono zalety energetyki jądrowej – bezpieczeństwo energetyczne, wielką koncentrację energii w paliwie, stabilność cen, łatwy rynek surowcowy. Wśród cech niekorzystnych zwrócono uwagę na wysoki koszt inwestycji oraz na zagadnienie zagospodarowania wypalonego paliwa jądrowego i odpadów promieniotwórczych. Przedstawiono ewolucję stosunku władz polskich do energetyki jądrowej i ostatnie dokumenty w tym zakresie, w tym uwzględnienie energetyki jądrowej w ostatnich rządowych dokumentach strategicznych na temat rozwoju kraju do 2030 roku. Na końcu ustosunkowano się do niektórych zapisów w tych dokumentach i do przygotowania polskiego dozoru jądrowego.

1. WSTĘP

Trudno sobie wyobrazić jakąkolwiek analizę bezpieczeństwa energetyczno-klimatycznego bez rozważań na temat roli energetyki jądrowej w bilansie elektro-energetycznym kraju. Program Unii Europejskiej SNE-TP (Sustainable Nuclear Energy Technology), będący częścią szerszego programu energetycznego SETP (Strategic Energy Technology Plan), podkreślając, że energetyka jądrowa jest obecnie największym bezemisyjnym źródłem energii w Europie (dostarcza krajom UE ponad 30% energii elektrycznej), jako trzy główne jej obecne i przyszłe zadania wymienia: zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego, ograniczenie emisji gazów cieplarnianych i konkurencyjność dostaw energii [Materiały Komisji Europejskiej 2008 -www.snetp.eu]. Również w polskich dyskusjach nad rozwojem społeczno-gospodarczym kraju, w obliczu spodziewanego deficytu energii elektrycznej i wobec konieczności drastycznego obniżenia emisji gazów cieplarnianych, od pewnego czasu wśród istotnych elementów polskiej elektro-energetyki systemowej wymienia się elektrownie jądrowe. W dokumencie Ministra Gospodarki z sierpnia 2009 roku czytamy: „Wobec obecnych trendów europejskiej polityki energetycznej, jednym z najbardziej pożądanym źródeł stała się energetyka jądrowa, która oprócz braku emisji CO₂ zapewnia również niezależność od typowych kierunków pozyskiwania surowców energetycznych” [Ministerstwo Gospodarki, „Polityka energetyczna Polski do 2030”, 2009]. Energia jądrowa jest obecna również w dokumencie „Raport Polska 2030”, „wskazującym na dylematy, jakie wspólnie mu-

simy rozstrzygnąć w najbliższym czasie, szczególnie w obszarze polityki gospodarczej, społecznej, infrastrukturalnej, bezpieczeństwa energetycznego oraz sprawnego zarządzania państwem” [Zespół Doradców Strategicznych Prezesa Rady Ministrów, red. nauk. Michał Boni, „Raport Polska 2030. Wyzwania rozwojowe”, 2009]. W niniejszym opracowaniu przedstawiono szerokie tło do dyskusji na temat energetyki jądrowej w Polsce oraz parametry decydujące o atrakcyjności rozpatrywanych technologii i realności postulowanych rozwiązań.

2. OBECNY STAN I TENDENCJE ROZWOJOWE ENERGETYKI JĄDROWEJ

Klasyczną elektro-energetykę jądrową, a więc elektrownie ciepłne, bazujące na ciepłe wytwarzanym w reaktorze jądrowym w wyniku reakcji rozszczepienia jąder, można traktować jako technologię sprawdzoną i dojrzałą. Od 1954 roku, kiedy to uruchomiono pierwszą elektrownię jądrową w Obnińsku, czy od roku 1956, kiedy po raz pierwszy w historii podłączono do sieci (brytyjskiej) przemysłową elektrownię jądrową (Calder Hall, o mocy 50 MWe), zgromadzono doświadczenie eksploatacyjne wynoszące około 13000 reaktoro-lat. W tym czasie wydarzyły się dwie najpoważniejsze awarie, jakie mogą zajść w reaktorze jądrowym, a mianowicie doprowadzające do stopienia rdzenia jądrowego: w 1979 roku w elektrowni Three Mile Island w Stanach Zjednoczonych i w 1986 roku w Czarnobylu, w Związku Radzieckim. Żadna z tych katastrof nie podważyła jednak podstawowych parametrów technicznych i technologicznych stosowanych w eksploatowanych już i w budowanych elektrowniach jądrowych, jak też technicznej oceny zagrożenia stwarzanego przez właściwie zaprojektowane, zbudowane i eksploatowane reaktory energetyczne. Katastrofa w Czarnobylu przede wszystkim potwierdziła negatywną opinię o przydatności reaktora wodno-grafitowego w elektroenergetyce jądrowej.

Obecnie (listopad 2009) eksploatowanych jest w świecie 436 jądrowych reaktorów energetycznych o łącznej mocy ponad 370 GWe, co stanowi ponad 15% ogólnej mocy wszystkich elektrowni świata (w 16 krajach udział ten przekracza 25%). Elektrownie te można podzielić z grubsza na trzy grupy: połowa z nich (dokładnie – 197) pracuje w Europie, jedna czwarta – w Ameryce Północnej i pozostała jedna czwarta – na Dalekim Wschodzie i w Azji Południowej. W krajach Unii Europejskiej 145 reaktorów dostarczyło w 2008 roku ponad 30% energii elektrycznej, przy czym pod względem udziału energetyki jądrowej w ogólnym bilansie elektroenergetyki przodowały: Francja (76,2%, 59 reaktorów), Litwa (73%, 1 reaktor), Słowacja (56,4%, 5 reaktorów) i Belgia (53,8%, 7 reaktorów). Równie istotny udział w bilansie energetycznym ma energetyka jądrowa w niektórych pozostałych poza wymienionymi krajach naszego regionu (Rosja 17% - 31 reaktorów, Ukraina 47,4% - 15 reaktorów, Szwecja 42,0% - 10 reaktorów, Czechy 32,5% - 6 reaktorów i Węgry 37,2% - 4 reaktory). W Ameryce Północnej pracują 124 reaktory (w Stanach Zjednoczonych 104), na Dalekim Wschodzie i w Azji Południowej 109, w tym w Republice Korei 20 i w Japonii 53 reaktory.

Kryzys energetyczny świata na początku lat 70. ubiegłego wieku był czynnikiem stymulującym rozwój energetyki jądrowej, natomiast katastrofa czarnobylska spowodowała spowolnienie tego rozwoju. Awaria w Czarnobylu była impulsem do stworzenia nowych mechanizmów prawa międzynarodowego, do unowocześnienia prawa i struktur dozorowych krajowych, wreszcie – do rewizji rozwiązań technologicznych stosowanych w już eksploatowanych, jak i w budowanych czy projektowanych elektrowniach jądrowych. W rezultacie po 1986 roku nastąpił prawie 10-letni okres zahamowania nowych inwestycji. W ostatnich latach obserwuje się w świecie „renesans” energetyki jądrowej, przy czym jest to przede wszystkim powszechne obecnie przedłużanie czasu eksploatacji (do 50 i 60 lat) czynnych już elektrowni. Dążenie do większej dywersyfikacji nośników energii i konieczność obniżenia emisji gazów cieplarnianych spowodowały, że państwa, które wprowadziły moratorium na te technologie, wycofały się z takiego stanowiska (Szwecja, Szwajcaria), podobne dyskusje prowadzone są w Niemczech, Holandii i w Hiszpanii, a we Włoszech, gdzie w 1990 roku w wyniku ogólnonarodowego referendum zamknięto cztery elektrownie jądrowe, ostatnio zdecydowano o powrocie do energetyki jądrowej. W Europie podjęto budowę nowych bloków w Olkiluoto w Finlandii, we Flamanville we Francji, na Słowacji (Mochowce 3 i 4), na Ukrainie (Chmielnicki 3 i 4) i nowej elektrowni jądrowej w Beleme w Bułgarii, budowa kolejnych nowych bloków jądrowych jest planowana na Węgrzech (Paks 5 i 6), w Rumunii (Cernawoda 3 i 4), na Słowacji (w Bohunicach), w Czechach (Temelin 3 i 4) i na Litwie (Visaginas, jako wspólna inwestycja państw bałtyckich). Ambitny plan rozbudowy energetyki jądrowej w Federacji Rosyjskiej (aktualnie budowanych jest tu 9 nowych bloków) obejmuje między innymi budowę dwóch bloków jądrowych w Okręgu Królewieckim. O budowie pierwszej elektrowni jądrowej postanowiono ostatnio na Białorusi, podobne plany ma Turcja i Grecja, a poza Europą między innymi - Indonezja, Wietnam, Malezja, Iran, Syria, Izrael, kraje Zatoki Perskiej, Egipt, Maroko, Tunezja i Nigeria; niektóre z planowanych obiektów mają służyć również produkcji wody pitnej drogą odsalania wody morskiej. W różnych stadiach budowy znajdują się obecnie w świecie 53 reaktory o mocy 47,2 GWe, przede wszystkim w Chinach (obecnie 18 reaktorów w budowie) i innych krajach Dalekiego Wschodu, gdzie budowanych jest łącznie 37 bloków (od początku 2007 roku rozpoczęto tam budowę 19 nowych reaktorów). W najbliższych latach należy oczekiwać budowy kilkudziesięciu nowych reaktorów energetycznych przede wszystkim w Chinach, ale również i w Stanach Zjednoczonych, gdzie w federalnym dozorcze jądrowym (NRC – National Regulatory Commission) oczekuje na weryfikację i licencję 26 wniosków dotyczących budowy nowych bloków jądrowych [IAEA, „PRIS - Power Reactor Information System”, 2009; IAEA, „Nuclear Technology Review 2009”; OECD Nuclear Energy Agency, „Nuclear Energy Outlook 2008”].

Ponad osiemdziesiąt procent (356 na 436) wszystkich obecnie eksploatowanych reaktorów energetycznych to reaktory lekko-wodne, w których zwykła (lekka) woda jest zarówno moderatorem (materiałem spowalniającym neutrony w reaktorze i przez to umożliwiającym podtrzymanie reakcji łańcuchowej), jak i chłodziwem. Są to przede wszystkim (264) tzw. reaktory wysokociśnieniowe

PWR, do których należy zaliczyć również reaktory radzieckie WWER, oraz (92) z wodą wrzącą – BWR. W pozostałych 20% - 44 bloki to reaktory ciśnieniowe z ciężką wodą PHWR, w 34 blokach moderatorem jest grafit, przy czym 18 z nich (GCR) chłodzonych jest gazem, a w 16 - w Rosji i na Litwie (LWGR) - chłodziwem jest woda; są to reaktory RBMK, ostatni reaktor tego typu na Ukrainie w elektrowni czarnobylskiej został ostatecznie wyłączony w 2000 roku. Również

obecnie jądrowych reaktory (tabela 1. clear Technol-2009”]).

Typ	Liczba reaktorów	Moc [MWe]
BWR	3	3925
FBR	1	1220
LWGR	1	925
PHWR	4	1298
PWR	43	38515
Razem	53	47223

wśród budowanych reaktorów przeważają lekkowodne [IAEA, „Nuclear Technology Review

Tabela 1. Typy budowanych reaktorów energetycznych (FBR – reaktory na neutronach prędkich chłodzone ciekłym sodem, pozostałe skróty objaśniono w tekście).

Pierwsze elektrownie jądrowe wykorzystywały reaktory projektowane pierwotnie właściwie dla celów militarnych (produkcja plutonu). Dopiero tzw. reaktory generacji II, budowane od końca lat 60., były projektowane z przeznaczeniem dla elektrowni; zdecydowana większość obecnie eksploatowanych reaktorów należy do tej grupy, aczkolwiek w trakcie ich eksploatacji, zwłaszcza po awarii w Czarnobylu lub wydłużając okres ich eksploatacji, wprowadzono wiele zasadniczych zmian. Od początku obecnego wieku producenci reaktorów energetycznych oferują reaktory generacji III, różniące się od poprzednich uproszczoną, a jednocześnie bardziej niezawodną automatyką i elektroniką, drastycznie pomniejszonym prawdopodobieństwem ewentualnych awarii oraz lepszymi parametrami ekonomicznymi; to właśnie takie reaktory są obecnie budowane. Ostatnio opracowano tzw. reaktory generacji III+ (np. AP-1000, ACR-1000, EPR, ESBWR, APR-1400, Power), o jeszcze bardziej korzystnych parametrach, zwłaszcza w zakresie bezpieczeństwa (systemy pasywnej reakcji na stan awaryjny); takie np. reaktory są budowane w Olkiluoto i Flamanville. Jednocześnie w szerokich zespołach międzynarodowych (programy INPRO i GIF IV) podjęto prace nad projektem reaktorów generacji IV. Będą to reaktory odznaczające się nie tylko wyśrubowanymi parametrami bezpieczeństwa i bardziej odporne na proliferację (użycie materiałów jądrowych w celu budowy ładunków jądrowych), ale również w większości studiowanych modeli – znacznie zwiększoną efektywnością termodynamiczną i wysoką temperaturą ciepła odpadowego, umożliwiającą jego wykorzystanie w procesach technologicznych

(np. w produkcji wodoru), jak również reaktory na neutronach prędkich umożliwiające powielanie rozszczepialnego paliwa jądrowego. Reaktory takie powinny uzyskać odpowiednie licencje dozorów jądrowych i być oferowane na rynku już z początkiem piątej dekady obecnego wieku. Równolegle prowadzone są badania nad innymi opcjami reaktorów opartych na reakcji rozszczepienia jąder, a mianowicie z wykorzystaniem jako „pierwiastka paliworodnego” toru oraz reaktorów podkrytycznych współpracujących z akceleratorami cząstek (ADS – Accelerator Driven Systems). Istnieje pewne prawdopodobieństwo komercyjnego udostępnienia tych obiektów w drugiej połowie XXI wieku. Zastosowanie drugiego z wymienionych rozwiązań może być atrakcyjne z punktu widzenia zagospodarowania wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych.

Brak jest jednoznacznej odpowiedzi odnośnie skali dalszego rozwoju energetyki jądrowej świata. W latach 2008–2009 aż 55 państw członkowskich Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej nieposiadających obecnie elektrowni jądrowych wystąpiło do Sekretariatu Agencji z prośbą o pomoc w uruchomieniu programu energetyki jądrowej na swoim terytorium [IAEA „Nuclear Technology Review 2009”]. Agencja Energii Jądrowej OECD (NEA/OECD) przedstawiła dwa scenariusze rozwoju światowej energetyki jądrowej: wg scenariusza skromniejszego (low scenario) moc elektrowni jądrowych świata wzrośnie z poziomu 372 GWe w 2008 roku do poziomu 580 GWe w oku 2050, natomiast scenariusz śmielszy (high scenario) przewiduje osiągnięcie w tym roku w elektrowniach jądrowych mocy 1400 GWe, co jednocześnie ma oznaczać wzrost udziału energii wyprodukowanej w elektrowniach jądrowych z 16 do 22%. Z tych danych wynika, że – biorąc jednocześnie pod uwagę konieczność zastąpienia instalacji demontowanych, w latach 2030–2050 trzeba będzie budować, zależnie od scenariusza wzrostu, od 23 do 54 nowych elektrowni jądrowych rocznie, przy czym Agencja uważa, że potencjał produkcyjny świata sprosta temu zadaniu bez specjalnych trudności. Również nie powinno zabraknąć paliwa jądrowego; udokumentowane zasoby w pełni pokrywają prognozowane w 2050 roku zapotrzebowanie na paliwo jądrowe bez konieczności jego repocessingu czy powielania. Należy przy tym zaznaczyć, że ciężar prognozowanego wzrostu energetyki jądrowej świata przyjmą na siebie przede wszystkim kraje najwyżej rozwinięte – członkowie OECD, natomiast niezależnie od gwałtownego wzrostu energetyki jądrowej w Chinach i Indiach, udział energetyki jądrowej tych państw w energetyce jądrowej świata pozostanie w 2050 roku nadal relatywnie niski [OECD Nuclear Energy Agency, „Nuclear Energy Outlook 2008”].

3. ZALETY I UJEMNE STRONY ENERGETYKI JĄDROWEJ

Jak wspomniano we wstępie, energetyką jądrową zapewnienia przede wszystkim bezpieczeństwo dostaw energii pozbawionej emisji gazów cieplarnianych. To bezpieczeństwo wynika nie tylko z olbrzymiej koncentracji energii w paliwie

jądrowym (rozszczerzenie jednego jądra izotopu U-235 wyzwala energię 50 milionów razy większą niż utlenienie jednego atomu węgla, co oznacza, że elektrownia jądrowa o mocy 1 GWe „spala” rocznie ok. 30 ton paliwa jądrowego, podczas gdy utrzymanie w ruchu elektrowni węglowej o tej samej mocy wymaga dostarczenia trzech pociągów węgla kamiennego dziennie!), ale również z neutralnego politycznie, wielokierunkowego rynku paliwa jądrowego oraz ze stabilności i przewidywalności jego ceny. Dodatkowym elementem wpływającym na bezpieczeństwo dostawy energii z elektrowni jądrowych jest wysoki poziom wykorzystania zainstalowanej mocy; średnia dla świata wartość tego współczynnika wynosi 83%, a w sześciu państwach osiągnęła 95% [IAEA „Nuclear Technology Review 2009”].

Analizy światowych rynków energii pokazują, że ceny energii elektrycznej z elektrowni jądrowych zależą od wielu czynników: zaawansowania i skali przemysłu jądrowego w danym kraju, lokalizacji elektrowni, przyjętej technologii, kosztów robocizny i materiałów, „surowości” wymogów stawianych przez dozór jądrowy danego kraju itd. Analizy te jednak pokazują, że zakładając 60-letni okres eksploatacji elektrowni jądrowej koszt energii elektrycznej w niej generowanej jest zawsze niższy od innych opcji, nawet przyjmując pracę tylko jednego bloku jądrowego w kraju. Struktura cenowa energii elektrycznej z elektrowni jądrowych jest jednocześnie zaletą, jak i mankamentem energetyki jądrowej. Na koszt produkcji energii składają się trzy czynniki, koszt inwestycji, koszt utrzymania i eksploatacji elektrowni (operations and maintenance, O&M) i koszt cyklu paliwowego. W elektrowniach jądrowych proporcje tych elementów mają się do siebie średnio jak 60:25:15, przy czym koszt samego uranu nie przekracza 5% kosztu generowanej energii elektrycznej. Oczywiście bezwzględny koszt inwestycji będzie zależał od rozmiaru przemysłu jądrowego w danym kraju, dla pierwszej czy wręcz jedynej elektrowni jądrowej będzie znacznie wyższy niż w przypadku budowy kolejnej elektrowni (wg IAEA „Nuclear Technology Review 2009”, koszt budowy nowego reaktora energetycznego w danym kraju winien wynieść 2700 – 6000 \$/kWe w Ameryce Północnej, 1400 – 4500 \$/kWe w Europie i 1400 – 3600 \$/kWe w Azji; niejednoznaczność wyceny mówi właśnie o złożoności tego czynnika). Podobnie zresztą pozostałe (poza budową) elementy kosztów mogą być pomniejszone w warunkach zaawansowanego przemysłu jądrowego. Podane proporcje powodują stabilność cen generowanej energii, ale jednocześnie stanowią o znacznym obciążeniu inwestora w wieloletnim okresie przygotowywania i prowadzenia budowy, przy czym poniesione nakłady obciążone są, jak to pokazano niżej - znacznym ryzykiem.

Energetyka jądrowa wykorzystuje, a przede wszystkim generuje substancje promieniotwórcze. Wszystkie zastosowania źródeł promieniowania jonizującego, zwłaszcza materiałów jądrowych, wiążą się z ryzykiem zajścia zdarzenia, którego skutkiem może być nadmierne narażenie na promieniowanie pracowników lub ogółu ludności; oczywiście najgroźniejszym takim zdarzeniem jest eksplozja jądrowa. Sytuacje awaryjne mogą być rezultatem wadliwego działania urządzeń lub odstępiania od przyjętych (zatwierdzonych) procedur postępowania. Może to być również działanie zamierzone (sabotaż, akt terro-

rystyczny). Nawet wtedy, gdy takie zdarzenie nie powoduje żadnych poważnych skutków dla ludzi czy środowiska, może ono całkowicie zniszczyć odbiór społeczny danej technologii, a więc i jej powodzenie, niezależnie od kraju, gdzie się wydarzyło, od rodzaju obiektu czy instalacji i od okoliczności tego zdarzenia. Oznacza to, że wszystkie zastosowania promieniowania muszą mieć odpowiednio zaplanowany i surowo przestrzegany reżim postępowania oraz zapobiegania niepożądanym zdarzeniom lub usunięcia ich skutków, czyli postępowania właściwie chroniącego pracowników, ogół ludności i środowisko przed niepożądaną radiacją. Mechanizmy zapewniające takie bezpieczeństwo, w tym bezpieczeństwo wszelkich czynności z wykorzystaniem rozszczepialnych materiałów jądrowych, łącznie z właściwą ochroną fizyczną materiałów jądrowych i źródeł promieniowania, są uzgadniane i ustalane międzynarodowo, z uwagi na wspomniane wyżej globalne znaczenie zagrożenia. Stosowne regulacje narodowe w tym zakresie są wynikiem globalnie ustalanych zasad, a ich przestrzeganie jest kontrolowane również z zaangażowaniem organizacji międzynarodowych. Stan taki uzyskano w oparciu o system, w którym zasadnicze znaczenie mają mniej lub bardziej uniwersalne konwencje i traktaty międzynarodowe, ogólnie akceptowane standardy ochrony radiologicznej oraz ogólnie akceptowany międzynarodowy kompetentny sposób weryfikacji przestrzegania tych standardów i zasad. Jest zrozumiałe, że nowe zagrożenia i nowe technologie powodują konieczność ciągłej adaptacji tego systemu.

Mechanizmy przeciwdziałające wydarzeniom awaryjnym (w reaktorze najpoważniejszym może być utrata medium chłodzącego - „loss-of-coolant accident”, LOCA, i stopienie rdzenia) i zapewniające odpowiedni poziom bezpieczeństwa jądrowego w szerokim rozumieniu to – poza konstrukcją praktycznie wykluczającą taki scenariusz - właściwie zaprojektowane urządzenia i aparatura pomiarowo-kontrolna, właściwie opracowane i przećwiczone procedury eksploatacyjne oraz właściwie dobrana, odpowiedzialna i doświadczona załoga. Parametry te mogą być osiągnięte tylko wtedy, gdy istnieją odpowiednio osadzone w systemie prawnym państwa regulacje, w pełni adaptujące przepisy i zobowiązania międzynarodowe, jak również kompetentny system kontroli i weryfikacji, silny finansowo i niezależny od kontrolowanych instytucji, innych elementów administracji państwa oraz układów politycznych i organizacji pozarządowych.

Kraj eksploatujący obiekty jądrowe, czy wykorzystujący jakiegokolwiek technologie jądrowe, winien nie tylko przyjąć międzynarodowe standardy bezpieczeństwa jądrowego, w tym przede wszystkim wynikające z zapisów układu o nierozprzestrzenianiu broni jądrowej NPT, ale również wypracować system zwany kulturą bezpieczeństwa jądrowego. Jest to amalgamat wartości, standardów i norm etycznych narzucający określony sposób postępowania. System ten wykracza poza wymogi prawa czy zatwierdzone procedury. Winien być zakodowany we wszelkich rozważaniach i działaniach uczestników systemu. Sprawdzeniem przestrzegania kultury bezpieczeństwa jest zachowanie pracowników nie tylko w trakcie wykonywania rutynowych czynności, ale przede wszystkim w sytuacjach wykraczających poza scenariusze przewidziane procedurami i przetestowane.

W dyskusjach nad energetyką jądrową zwykle wśród jej podstawowych mankamentów wymienia się konieczność zagospodarowania wypalonego paliwa jądrowego i wysokoaktywnych, długożyciowych odpadów promieniotwórczych. Rzeczywiście, w wypalonym paliwie jądrowym powstają radionuklidy o znacznej aktywności promieniotwórczej i o długim okresie połowicznego rozpadu, które winny być odpowiednio zabezpieczone i odseparowane od ludzi i środowiska na okres rzędu 100 000 lat. Coraz powszechniej stosowany przerób wypalonego paliwa pozwala nie tylko na odzyskanie niewypalonego uranu i powstałych w paliwie innych izotopów rozszczepialnych (przede wszystkim plutonu), ale również drastycznie zmniejsza objętość odpadów wymagających długiego składowania; objętość wysokoaktywnych odpadów długożyciowych powstałych po przerobieniu paliwa wypalonego w ciągu roku w reaktorze o mocy 1 GWe po ich witrifikacji to ok. 3 m³. Bezpieczne składowanie takich odpadów (w głębokim składowisku „geologicznym”) nie stanowi trudności technicznych.

4. ENERGETYKA JĄDROWA W POLSCE

Decyzja Rządu RP z 4 września 1990 roku, potwierdzona 9 listopada 1990 roku specjalną uchwałą Sejmu, o zaniechaniu budowy pierwszej elektrowni jądrowej w Żarnowcu i o przerwaniu programu energetyki jądrowej w Polsce, zawierała stwierdzenie o konieczności rozpatrywania tej opcji energetycznej w każdym, przygotowywanym co pięć lat, dokumencie na temat strategii państwa w zakresie polityki energetycznej kraju na następne 20 lat. Jednocześnie zdecydowano o braku potrzeby budowy elektrowni jądrowej przed rokiem 2010. Strategia energetyczna Polski opracowana w 1995 roku, a więc sięgająca roku 2015, w jednym z rozpatrywanych wariantów rozwoju gospodarki polskiej i polskiej elektroenergetyki przewidywała budowę w tym czasie pierwszej polskiej elektrowni jądrowej. W dokumentach rządowych przedstawionych w roku 2000, dotyczących polityki energetycznej państwa do roku 2020, w żadnym z przedstawionych scenariuszy nie ma wzmianki o energetyce jądrowej. Pojawiła się natomiast w kolejnym rządowym dokumencie strategicznym z 4 stycznia 2005 roku, w którym stwierdzono, że występuje konieczność „rozważenia uwzględnienia już przed rokiem 2021 w bilansie polskiej elektroenergetyki siłowni jądrowych”. Mimo mało konkretnego języka tej decyzji w lipcu tego samego roku (2005) Minister Gospodarki przedstawił harmonogram prac, w którym przewidziano między innymi przeprowadzenie w 2006 roku szerokiej akcji informacyjnej w celu pozyskania akceptacji społecznej dla energetyki jądrowej (koordynację tego procesu planowano powierzyć Państwowej Agencji Atomistyki, jako jedynej jednostce nieosiągającej korzyści z programu energetyki jądrowej), a w przed końcu roku 2008 - wybór lokalizacji dla pierwszej polskiej elektrowni jądrowej (która miała być włączona do sieci w roku 2020 lub 2021). Niestety zawirowania na polskiej scenie politycznej uniemożliwiły realizację tego planu, natomiast wola Rządu uruchomienia w Polsce programu energetyki jądrowej była wielokrotnie potwierdzana w oficjalnych wystąpieniach przedstawicieli władz, niezależnie od rządzącej opcji politycznej.

W przygotowywanych od 2007 roku kolejnych wersjach projektu dokumentu „Polityka Energetyczna Kraju do roku 2030” (nie tylko w cytowanej we wstępie jego wersji z sierpnia 2009 roku) przedstawiano energetykę jądrową jako jedną z technologii umożliwiających zaspokojenie rosnących potrzeb energetycznych kraju, przy jednoczesnym ograniczeniu emisji gazów cieplarnianych. Oficjalnym dokumentem w tej sprawie była dopiero uchwała Rady Ministrów z dnia 13 stycznia 2009 r. (w której zadeklarowano, że w 2020 roku zostanie uruchomiony pierwszy blok elektrowni jądrowej, a jako inwestora wytypowano Polską Grupę Energetyczną S.A.). Realizując tę uchwałę Rada Ministrów, rozporządzeniem z dnia 12 maja 2009 r., ustanowiła urząd Pełnomocnika Rządu do spraw Polskiej Energetyki Jądrowej (na stanowisko to w dniu 15 maja powołano panią Hannę Trojanowską), a 11 sierpnia zatwierdziła „Ramowy program działań dla energetyki jądrowej”. Rozpoczęcie tego programu ma umożliwić uchwała Rady Ministrów z 13 października 2009 roku w sprawie przyznania z ogólnej rezerwy budżetowej środków finansowych Ministrowi Gospodarki „z przeznaczeniem na zapewnienie zadań związanych z rozwojem polskiej energetyki jądrowej” oraz Prezesowi Państwowej Agencji Atomistyki „z przeznaczeniem na zapewnienie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej kraju przy stosowaniu promieniowania jonizującego”.

Wspomniany wyżej „Ramowy program działań dla energetyki jądrowej” przygotowany przez pełnomocnika rządu do spraw polskiej energetyki jądrowej dzieli planowane prace na cztery etapy:

- Do 31 grudnia 2010 r. rząd powinien przyjąć Program polskiej energetyki jądrowej, obejmujący przygotowanie m.in. projektów aktów prawnych niezbędnych do budowy i funkcjonowania energetyki jądrowej, jak również analizy finansowe dotyczące wytwarzania energii elektrycznej w elektrowni jądrowej, analizy lokalizacyjne elektrowni oraz składowisk odpadów. Ponadto zostanie opracowany program szkolenia kadr dla instytucji i przedsiębiorstw związanych z energetyką jądrową oraz zapoczątkowany proces powstawania zaplecza naukowo-badawczego. Istotnym elementem tego etapu ma być przygotowanie Państwowej Agencji Atomistyki, polskiego urzędu dozoru jądrowego, do pełnienia roli nadzorującej dla potrzeb energetyki jądrowej, jak również kampania informacyjno-edukacyjna w zakresie energii jądrowej, która ma być kontynuowana również w następnych etapach. W okresie tym ma powstać konsorcjum dla budowy pierwszej elektrowni i inne podmioty, które opracują warunki wdrożenia wiodących technologii energetyki jądrowej.
- Od stycznia 2011 r. do końca grudnia 2013 r. inwestor winien podjąć (i uzgodnić) decyzję o lokalizacji elektrowni, określić źródła finansowania inwestycji, dokonać wyboru technologii i wyłonić jej dostawcę oraz zawrzeć kontrakt na budowę pierwszej elektrowni jądrowej. Ponadto mają być podejmowane działania dotyczące rozpoznania zasobów uranu w Polsce.
- Od stycznia 2014 r. do końca grudnia 2015 r. ma nastąpić wykonanie projektu technicznego elektrowni i uzyskanie wszystkich niezbędnych i zgodnych z prawem uzgodnień. Zakłada się, że zostanie rozpoczęta budowa składowiska nisko i średnioaktywnych odpadów promieniotwórczych. Kontynuowana będzie

również kampania informacyjno-edukacyjna i przygotowanie kadr dla elektrowni.

- Z początkiem stycznia 2016 r rozpocznie się budowa elektrowni, która ma trwać do końca grudnia 2020 r.

Wspomniany we wstępie „Raport Polska 2030”, zakłada zapotrzebowanie (brutto) na energię elektryczną w 2030 roku wynoszące 279,8 TWh i postuluje, by jako minimalną moc polskich elektrowni przyjąć wartość 53 404 MWe (przy założeniu wykorzystania ich mocy w 55%); oznacza to ponad półtorakrotny wzrost mocy zainstalowanej w stosunku do poziomu dzisiejszego. Jednocześnie zwraca uwagę na możliwość powstania deficytu energetycznego w Polsce już w roku 2011, aczkolwiek analizy Urzędu Regulacji Energii, oparte na prognozowanych inwestycjach stwierdzają, że w okresie między rokiem 2016 a przełomem 2022/23 moc dyspozycyjna w Krajowym Systemie Energetycznym z uwzględnieniem rezerwy operacyjnej (na poziomie 7%) może być wyższa od zapotrzebowania. Niezależnie od przyjętych scenariuszy i prognoz, biorących pod uwagę wiele zmiennych czynników realnie wpływających na faktyczny deficyt, zwłaszcza w obliczu zobowiązań dotyczących redukcji gazów cieplarnianych, uwzględniając również porównanie kosztów produkcji energii przy pomocy różnych technologii, „Raport” mówi o konieczności uwzględnienia energii z elektrowni jądrowych, które „przy wszystkich barierach akceptacji społecznej stanowią jedno z bardziej wydajnych źródeł czystej energii”. Zwraca również uwagę na fakt, że „plan rozwoju energetyki (wraz z budową elektrowni jądrowych i wielkimi inwestycjami gazowymi) może stać się jednym z istotnych kół zamachowych rozwoju polskiej gospodarki, dzięki sprzężeniu wysiłku inwestycyjnego firm, zastosowaniu środków unijnych, dywersyfikacji źródeł, ale i używania energii w różnym horyzoncie czasowym (troska o rezerwy węgla jako kapitał przyszłości), wreszcie dzięki innowacyjności sprzyjającej łączeniu biznesu i nauki” [Zespół Doradców Strategicznych Prezesa Rady Ministrów, red. nauk. Michał Boni, „Raport Polska 2030. Wyzwania rozwojowe”, 2009].

Ostatnie (z grudnia 2008 roku) wyniki badania akceptacji społecznej dla polskiego programu energetyki jądrowej pokazują, że 47% ogółu społeczeństwa polskiego przyzwala na budowę elektrowni jądrowych w Polsce (odpowiedzi „zdecydowanie tak” i „raczej tak”), podczas gdy przeciwników tej opcji („zdecydowanie nie” i „raczej nie”) jest 38%. Charakterystyczne, że wśród respondentów ze średnim lub wyższym wykształceniem odpowiedzi te kształtują się odpowiednio jak 53% lub 66% w stosunku do 34% lub 26%. Odpowiedź na pytanie o przyzwolenie na budowę elektrowni jądrowej w sąsiedztwie miejsca zamieszkania jest pozytywna tylko w 33% (47% odpowiedzi negatywnych), choć i w tym przypadku wykształcenie respondentów zmienia obraz: „za” jest 49% osób ze średnim i 55% z wyższym wykształceniem, „przeciw” odpowiednio 41% i 39% (Latek St., „Nowe wyniki badań postaw społecznych w sprawie energetyki jądrowej”, Postępy Techniki Jądrowej 2008]

5. PODSUMOWANIE

Decyzja o uruchomieniu (reaktywacji?) programu energetyki jądrowej w Polsce jest z różnych wymienionych wyżej powodów decyzją słuszną, zwłaszcza biorąc pod uwagę rozwój energetyki jądrowej we wszystkich krajach sąsiednich (już obecnie w odległości do 310 km od granic Polski, równej mniej więcej promieniowi jej terytorium, eksploatowanych jest 25 dużych jądrowych bloków energetycznych, o mocy 17 GWe). Z ekonomicznego (nie tylko) powodu nie byłoby rozsądne ograniczenie naszej „floty” jądrowej do jednego czy nawet dwóch bloków. Przyjmując cytowane wyżej założenie, że w 2030 roku moc szczytowa polskich elektrowni będzie wynosić ok. 53 GWe, korzystnym i chyba realnym rozwiązaniem byłoby posiadanie w tym roku przynajmniej 3 – 4 bloków o łącznej mocy 3 – 5 GWe. Dalszy wzrost poziomu produkcji energii elektrycznej w Polsce winien oznaczać również rozwój naszego przemysłu jądrowego, przy czym docelowy udział energetyki jądrowej w ogólnym bilansie elektroenergetycznym powinien wynosić przynajmniej 15%. Przed podjęciem odpowiednich decyzji wymagana będzie rzetelna analiza kosztów, z uwzględnieniem wszystkich kosztów zewnętrznych, w tym przerobu paliwa jądrowego i zagospodarowania odpadów promieniotwórczych. Niezależnie od aktywności międzynarodowej na tym polu należy przygotować program budowy głębokiego składowiska wysoko-aktywnych odpadów promieniotwórczych na terytorium Polski; winny być w nim składowane również odpady już obecnie „produkowane” w naszym kraju.

Polska jest krajem zaawansowanym w stosowaniu technologii jądrowych w badaniach naukowych, w przemyśle, medycynie i rolnictwie. Nie ma w Polsce reaktorów energetycznych, jedyny pracujący obecnie reaktor jądrowy to reaktor badawczy MARIA, o cieplnej mocy projektowej 30 MW. Polska jest stroną układu NPT, jak również wszystkich konwencji międzynarodowych dotyczących bezpiecznego stosowania materiałów jądrowych i źródeł promieniotwórczych oraz postępowania z wypalonym paliwem jądrowym i odpadami promieniotwórczymi. Prawo polskie – ustawa Prawo atomowe i akty prawne niższej rangi w niej przywołane, w pełni odpowiadają obecnym potrzebom kraju, a ich zgodność z wymogami międzynarodowymi, w tym z przepisami Unii Europejskiej, jak również działanie polskiego dozoru jądrowego (funkcję tę pełni Państwowa Agencja Atomistyki, PAA), były wielokrotnie oceniane i akceptowane przez wizytujących nas przedstawicieli Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej i Komisji Europejskiej [Ustawa z dnia 29 listopada 2000 roku Prawo atomowe]. Uruchomienie w Polsce programu energetyki jądrowej będzie wymagało wprowadzenia zmian do naszego prawodawstwa, które choć w zasadzie jest ono przygotowane do licencjonowania poszczególnych etapów budowy, eksploatacji i likwidacji elektrowni jądrowej, ma jedynie nieokreślone ściśle kryteria bezpieczeństwa reaktora i jego lokalizacji. Obecne rozwiązanie przywołuje tu aktualne zalecenia organizacji międzynarodowych, co może stwarzać ewentualne „trudności procesowe”. Niektóre zapisy pozostawiono też do czasu decyzji o wyborze technologii (np. listę stanowisk wymagających autoryzacji przez Prezesa PAA). Przyjęcie przez Radę UE w czerwcu 2009 roku nowej Dyrektywy określającej „wspólnotowe ramy bezpieczeństwa obiektów

jądrowych” [Dyrektywa Rady 2009/71/Euratom] również narzuca konieczność wprowadzenia pewnych zmian w ustawie i w rozporządzeniach Rady Ministrów.

5. SPIS LITERATURY

1. Dyrektywa Rady 2009/71/EURATOM z dnia 25 czerwca 2009 roku ustanawiająca wspólnotowe ramy bezpieczeństwa obiektów jądrowych (Dz. U. UE L 172 z 2.07.2009, s. 18 i n.)
2. IAEA „Nuclear Technology Review 2009”, International Atomic Energy Agency, Vienna 2009
3. Latek St., „Nowe wyniki badań postaw społecznych w sprawie energetyki jądrowej”, Postępy Techniki Jądrowej vol.51, z.4/2008, str.40
4. Materiały Komisji Europejskiej 2008 <www.snetp.eu>
5. Ministerstwo Gospodarki, „Polityka energetyczna Polski do 2030”, 2009, <<http://www.mg.gov.pl/Gospodarka/Energetyka/Polityka+energetyczna/>>
6. NEA/OECD „Nuclear Energy Outlook 2008”, Nuclear Energy Agency Publication Section, Paris 2008
7. PRIS - Power Reactor Information System, International Atomic Energy Agency, <<http://www.iaea.org/programmes/a2/>>
8. Ustawa z dnia 29 listopada 2000 roku Prawo atomowe (Dz. U. z 2007 Nr 42, poz. 276, z 2008 r. Nr 93, poz. 583 i nr 227 poz. 1505 oraz z 2009 r. Nr 18 poz. 97).
9. Zespół Doradców Strategicznych Prezesa Rady Ministrów, red. nauk. Michał Boni, „Raport Polska 2030. Wyzwania rozwojowe”, 2009, <<http://www.premier.gov.pl/>>

O autorze:

Prof. dr hab. inż. Jerzy W. Niewodniczański

Specjalista w zakresie geofizyki jądrowej, technicznej fizyki jądrowej oraz bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej. W latach 1956 – 2006 pracownik Instytutu – potem Wydziału Fizyki i Techniki Jądrowej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (w latach 1990 – 1993 dziekan tego Wydziału). W okresie 1985–1987 prorektor AGH. W latach 1992–2009 Prezes Państwowej Agencji Atomistyki. Od października 2009 profesor na Wydziale Energetyki i Paliw AGH. Członek szeregu zespołów ekspertów, w tym Komitetu STC Komisji Europejskiej (art. 134 traktatu Euratom) i SAGNA Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej. Ekspert MAEA w Tanzanii, Kenii, Jordanii i Rumunii.

Hobby – góry (tatarnik, przewodnik tatrzański, wyprawy w góry wysokie)