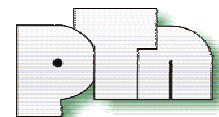




**Nuclear Power Plants for Poland NPPP 2006**  
**Warsaw 1-2 June 2006**  
**Elektrownie Jądrowe dla Polski**



**Główne spostrzeżenia i wnioski z międzynarodowej konferencji**  
**„Elektrownie jądrowe dla Polski - NPPP 2006”**  
**odbytej w Warszawie w dniach 1-2 czerwca 2006 roku**

Tadeusz Wójcik, Andrzej T. Mikulski

Państwowa Agencja Atomistyki, Warszawa



## **Główne spostrzeżenia i wnioski z międzynarodowej konferencji „Elektrownie jądrowe dla Polski - NPPP 2006”**

Bezpośrednim impulsem do przystąpienia do organizacji konferencji był przyjęty przez Rząd RP w dniu 4 stycznia 2005 roku dokument pt. „Polityka energetyczna Polski do 2025 roku”, stwierdzający, że istnieje konieczność wprowadzenia energetyki jądrowej do bilansu energetycznego Polski, biorąc pod uwagę potrzebę dywersyfikacji nośników energii pierwotnej oraz konieczność ograniczenia emisji zanieczyszczeń do atmosfery, a przede wszystkim dwutlenku węgla.

Program konferencji (Załącznik Nr 1) obejmował wystąpienia inauguracyjne zaproszonych osobistości, wygłoszenie dwudziestu dwu referatów i ich dyskusję, a także dyskusję panelową na zakończenie konferencji pod hasłem „Co dalej”, mającą na celu nakreślenie głównych elementów programu przygotowawczego do budowy pierwszej elektrowni jądrowej w Polsce.

### **1. Sesja inauguracyjna**

Otwarcia konferencji dokonał prezes Stowarzyszenia Elektryków Polskich prof. Stanisław Bolkowski. Poinformował o objęciu konferencji patronatem honorowym przez premiera RP, przekazał pozdrowienia od Premiera dla uczestników konferencji i stwierdził, że SEP już od wielu lat popiera energetykę jądrową, a obecna konferencja powinna zapoczątkować prace przygotowawcze do podjęcia budowy elektrowni jądrowych w Polsce.

Sekretarz Stanu w Ministerstwie Gospodarki, Piotr Naimski, w swoim wystąpieniu stwierdził, że Rząd RP popiera wprowadzenie energetyki jądrowej w Polsce, czego dowodem jest objęcie tej konferencji patronatem premiera i ministra gospodarki. Prawie dwukrotne zwiększenie zapotrzebowania na energię elektryczną przewidywane w przeciągu dwudziestu lat i ostre wymagania UE w zakresie ochrony środowiska spowodują deficyt energii, którego bez energetyki jądrowej nie da się pokryć.

Prezes Polskich Sieci Elektroenergetycznych S.A., Stanisław Dobrzański stwierdził, że PSE od dawna interesuje się energetyką jądrową i również tą konferencją. PSE już rozpoczęły działania na rzecz energetyki jądrowej. Zapewnia ona tanią energię, a to istotnie wpływa na konkurencyjność gospodarki. Zresztą i społeczeństwo polskie coraz bardziej akceptuje energetykę jądrową, tak jak to ma miejsce na świecie.

Prezes BOT Paweł Skowroński stwierdził, że BOT, jako największy producent w Polsce energii elektrycznej opartej na węglu jest bardzo zainteresowany energetyką jądrową, jako alternatywnym źródłem energii. BOT chce aktywnie uczestniczyć w działaniach zmierzających do wprowadzenia opcji jądrowej. BOT popiera rozwój OZE, ale źródła te nie zastąpią energetyki jądrowej.

Członek Parlamentu Europejskiego, pani Edit Herczog stwierdziła, że obecne zapotrzebowanie na energię elektryczną w Europie powoduje, że nie istnieją takie źródła energii, które można by zlekceważyć, w tym „czysty” węgiel, odnawialne źródła energii czy energetyka jądrowa. Unia Europejska dąży do integracji europejskiego rynku energii, jednak poszczególne kraje nie są krępowane w wyborze odpowiednich dla nich opcji. Energetyka jądrowa

nie jest obecnie na świecie najbardziej popularną opcją i toczą się społeczne dyskusje na jej temat, których głównym motywem jest bezpieczeństwo jądrowe. Dominującym w tym zagadnieniu jest aspekt ludzki na wszystkich etapach, poczynając od formułowania koncepcji, projektowania urządzeń, ich budowy, eksploatacji, gospodarki paliwem wypalonym i odpadami promieniotwórczymi oraz likwidacji obiektu. Pogłębianie i stosowanie wiedzy leżącej u podstaw tych działań to dobra droga do uniknięcia w przyszłości awarii typu czarnobylskiego i zademonstrowania społeczeństwom skuteczności w tym zakresie.

Energetyka jądrowa dysponuje ogromnym potencjałem dla zrównoważonego rozwoju, konkurencyjności oraz niezawodności i bezpieczeństwa pracy. Zapewnienie odpowiednich zasobów ludzkich jest warunkiem wykorzystania tego potencjału.

Energetyka jądrowa i związany z nią przemysł jest najściślej regulowanym sektorem gospodarki. Przerób i gospodarka żadnymi innymi rodzajami odpadów przemysłowych nie są dokonywane z taką uwagą i dbałością jak w odniesieniu do odpadów promieniotwórczych. Energetyka jądrowa jest jedynym sektorem, który posiada w ramach UE swą specjalistyczną organizację. Polityczne i prawne decyzje dotyczące energetyki jądrowej są przedmiotem wyjątkowo żywego zainteresowania społeczeństw, zarówno na poziomie krajowym jak i międzynarodowym.

Najwłaściwszym sposobem usuwania społecznych obaw związanych z energetyką jądrową jest szerzenie o niej wiedzy. Może ona pozwolić obywatelom Europy dokonywać wyborów wspólnej europejskiej strategii energetycznej w ramach kryteriów bezpieczeństwa energetycznego i eksploatacyjnego, sprawności, konkurencyjności ekonomicznej i wymogów zrównoważonego rozwoju. Energetyka jądrowa jest jedną z opcji spełniających te kryteria.

## **2. Uzasadnienie konieczności podjęcia rozwoju energetyki jądrowej w Polsce [1]\*)**

Uzasadnienie konieczności budowy elektrowni jądrowych w Polsce przedstawiono w referacie generalnym, w którym wykorzystano wyniki prac analityczno-prognostycznych wykonanych przez Agencję Rynku Energii SA we współpracy z Międzynarodową Agencją Energii Atomowej w Wiedniu.

Uzasadnienie konieczności rozwoju energetyki jądrowej w Polsce wynika z trzech aspektów:

- energetycznego – potrzeby pokrycia rosnącego zapotrzebowania na energię elektryczną przy zróżnicowanej strukturze źródeł energii zapewniającej bezpieczeństwo energetyczne;
- ekonomicznego – konieczności uzyskania takiej struktury źródeł energii elektrycznej, która zapewni najniższe zdyskontowane koszty wytwarzania w całym systemie, w warunkach występujących ograniczeń oraz zaostrzających się wymagań ekologicznych;
- ekologicznego – przestrzegania prawnych wymogów ekologicznych oraz zapewnienia minimalnego poziomu zanieczyszczeń środowiska.

Możliwy zakres i tempo rozwoju energetyki jądrowej Polsce uzależnione są jednak od czasu niezbędnego do przygotowania infrastruktury prawnej i organizacyjnej do budowy pierwszej elektrowni jądrowej, w tym na przekonanie społeczeństwa do tej technologii. Uznano, że okres ten łącznie z budową wyniesie ok. 15 lat. Istotnym czynnikiem ograniczającym tempo budowy elektrowni jądrowych będą również możliwości finansowania kapitałochłonnych inwestycji w tym zakresie.

Wykonane analizy wskazują na konieczność rozwoju energetyki jądrowej w Polsce, nawet przy założeniach referencyjnych, niekorzystnych dla tej technologii, a więc dla:

- umiarkowanego (bazowego) scenariusza rozwoju gospodarczego kraju i związanego z tym umiarkowanego wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną. W okresie do roku

---

\*) w nawiasach kwadratowych podawane są numery referatów.

2030 przyjęto średnioroczne tempo wzrostu PKB na poziomie 4,15÷5,14%, wskaźnik elastyczności wzrostu zużycia energii elektrycznej w stosunku do przyrostu PKB, średnio w całym okresie 0,525. Dla tego scenariusza, wzrost zapotrzebowania na finalną energię elektryczną w stosunku roku 2003 ma wynieść 94% do roku 2030, co przyniesie wzrost zużycia energii elektrycznej na mieszkańca z 3,7 MWh w 2004 roku do 7,3 MWh w 2030 roku. Będzie to obecny poziom zużycia energii elektrycznej w krajach UE przed jej rozszerzeniem (15 członków).

- umiarkowanego wzrostu cen paliw w okresie 2003÷2030, ocenionego w oparciu o prognozy z lat 2003-2005 renomowanych organizacji międzynarodowych (ceny w USD z roku 2004):
 

- ropy naftowej	27,0 – 35,0 USD/baryłkę,
- gazu ziemnego	94,8 – 198,0 USD/1000 m <sup>3</sup> ,
- węgla kamiennego	38,0 – 44,0 USD/t,
- paliwa jądrowego	1500 – 1720 USD/kg paliwa reaktorowego, oraz
- węgla brunatnego	60 USD/toe, niewystępującego w obrocie na międzynarodowym rynku paliw.
- jednostkowych nakładów inwestycyjnych dla elektrowni jądrowych, uwzględniających odpisy na koszty likwidacji EJ oraz oprocentowania kapitału w czasie budowy.
- niższego okresu eksploatacji elektrowni jądrowych niż to wynika z uzyskanych już doświadczeń eksploatacyjnych (40 lat zamiast 60);
- maksymalnego zakresu wykorzystania krajowego potencjału energetyki odnawialnej;
- umiarkowanej wysokości opłat za pozwolenia na emisję CO<sub>2</sub> w europejskim systemie handlu tymi pozwoleniami, na poziomie 10 USD/t CO<sub>2</sub>, przy zmniejszających się stopniowo w latach 2014- 2020 limitach emisji CO<sub>2</sub>.

W strukturze zużycia energii pierwotnej w Polsce występuje dominacja paliw stałych, co ze względu na emisję CO<sub>2</sub> stwarza znacznie trudniejsze warunki ekologiczne dla krajowego sektora energetycznego w porównaniu do Unii Europejskiej

Dla tych warunków do 2030 roku minimum zdyskontowanych kosztów wytwarzania energii elektrycznej w źródłach systemowych uzyskuje się przy co najmniej 10 500 MW netto w jednostkach jądrowych. Dodatkowym uzasadnieniem podjęcia takiego programu rozwoju energetyki jądrowej jest potrzeba zmiany struktury energii pierwotnej dla źródeł energii elektrycznej w Polsce, która obecnie jest zdominowana przez węgiel kamienny i brunatny, w odróżnieniu od struktury tej energii w UE. Poza skutkami ekologicznymi, stwarza to problemy bezpieczeństwa dostaw z powodu praktycznego braku ich dywersyfikacji, mimo, że są to paliwa krajowe. Problem ten może się zaostrzyć po 2021 roku, kiedy w myśl dokonanej prognozy, nie przewiduje się nowych elektrowni zasilanych gazem, które nie będą wtedy konkurencyjne kosztowo w porównaniu ze źródłami jądrowymi i węglowymi.

Realizacja tak szerokiego programu rozwoju energetyki jądrowej wymagałaby jednak średniorocznych nakładów inwestycyjnych na budowę źródeł systemowych na poziomie ok. 12 mld zł<sup>04</sup>) już od 2016 roku, co nie wydaje się realne przy umiarkowanym tempie wzrostu gospodarczego.

Niższe sumaryczne nakłady inwestycyjne uzyska się dla struktury jądrowo-węglowej, w której obok źródeł jądrowych będą budowane nowoczesne źródła na węgiel kamienny z perspektywą wykorzystania również węgla z importu. Ewentualne nowe źródła na węgiel brunatny wymagałyby uruchomienia legnickiego złoża węgla brunatnego, również z bardzo wysokimi nakładami inwestycyjnymi, co również nie wydaje się realne. Należy zatem liczyć się z możliwością uruchomienia w tym okresie nawet tylko trzech bloków jądrowych o mocy 1500 MW, a więc w sumie 4500 MW netto, co jest jednak mocą minimalną z punktu widzenia perspektywy zaangażowania inwestorów oraz jednostkowych kosztów infrastruktury jądrowej.

<sup>4</sup>) zł<sup>04</sup> oznacza poziom cen z 2004 roku.

Analiza wrażliwości wyników optymalizacji na zmianę przyjętych założeń wykazała, że tylko dla pesymistycznego scenariusza rozwoju, dla którego średnie tempo wzrostu PKB wyniosłoby około 3%, racjonalna byłaby budowa w tym okresie tylko jednej elektrowni jądrowej o mocy 1500 MW netto. Dla optymistycznego scenariusza rozwoju ze średniorocznym tempem wzrostu PKB około 6% i tych samych innych referencyjnych warunków do 2030 roku powinno być oddanych do eksploatacji ok. 13 500 MW w elektrowniach jądrowych. Dla tego scenariusza można przewidywać mniejsze ograniczenia tempa budowy elektrowni jądrowych z powodu możliwości finansowania inwestycji, a więc możliwe byłoby uruchomienie co najmniej 4 ÷ 5 bloków jądrowych po 1500 MW netto, a więc 6 ÷ 7,5 GW.

W obliczeniach optymalizacyjnych kosztów wytwarzania energii elektrycznej nie uwzględniono części tzw. kosztów zewnętrznych, które nie są ponoszone przez przedsiębiorstwa energetyczne, a które odzwierciedlają skutki oddziaływania rozmaitych technologii wytwarzania na człowieka i środowisko, w tym skutki potencjalnych awarii. Koszty te ocenione ostatnio dla Polski w oparciu o metodę stosowaną w programie ExternE, wynoszą:

- dla elektrowni opalanych węglem brunatnym - 3,230 cEUR/kWh
- dla elektrowni opalanych węglem kamiennym - 2,560 cEUR/kWh
- dla elektrowni jądrowych - 0,046 cEUR/kWh

Największy udział w kosztach zewnętrznych elektrowni opalanych węglem mają szkody dla zdrowia mierzone wzrostem umieralności wskutek narażenia chronicznego na emitowane zanieczyszczenia. Porównanie tych kosztów jest dodatkowym argumentem za koniecznością rozwoju energetyki jądrowej w Polsce.

### **3. Stan i tendencje rozwojowe energetyki jądrowej na świecie i w Europie [2, 3, 7, 8]**

W styczniu 2006 roku w 30 krajach świata pracowały 443 bloki jądrowe o całkowitej mocy zainstalowanej blisko 370 GW, dając łącznie produkcję 2600 TWh. W szesnastu krajach (Francja, Litwa, Belgia, Słowacja, Szwecja, Ukraina, Bułgaria, Szwajcaria, Słowenia, Armenia, Korea Płd., Węgry, Niemcy, Republika Czeska, Japonia, Finlandia) elektrownie jądrowe dostarczyły przynajmniej 25% zużywanej energii elektrycznej.

Głównymi motywami podejmowania decyzji o rozwoju energetyki jądrowej były czynniki szybkiego wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną, ograniczenia dostępności lub wysokie koszty alternatywnych źródeł energii, problemy bezpieczeństwa energetycznego, przywiązywanie dużej wagi do ochrony środowiska i ograniczania emisji gazów cieplarnianych oraz priorytetowe traktowanie rozwoju wysokich technologii w energetyce.

W okresie lat 1970-1985 następował szybki rozwój energetyki jądrowej na świecie, której udział w ogólnej produkcji energii elektrycznej osiągnął 16% i utrzymuje się do dzisiaj na tym poziomie. Postępująca stopniowo liberalizacja rynku i związane z nią dążenie do szybkiego zwrotu zainwestowanego kapitału, niskie ceny paliw organicznych, malejące tempo wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną, postęp w technologii budowy turbin gazowych i trwający wpływ awarii czarnobylskiej na opinię społeczną wpłynęły na zwolnienie na świecie tempa budowy elektrowni jądrowych po 1985 roku do poziomu poniżej 10 bloków rocznie. Wypowiadane były opinie, że na zliberalizowanym rynku energetyka jądrowa nie wytrzyma walki konkurencyjnej z opcjami o niskich nakładach inwestycyjnych, szczególnie z gazem.

Prognozy te nie sprawdziły się, głównie dzięki wykorzystaniu przez relatywnie młody przemysł jądrowy rezerw, jakie tkwiły w możliwości postępu technicznego, co uczyniło już eksploatowane EJ wysoce rentownymi, głównie dzięki:

- znacznemu podniesieniu współczynnika wykorzystania mocy elektrowni, którego średni poziom światowy wzrósł z 77% w 1990 roku do 87% w 2004 roku, a w jednej czwartej elektrowni współczynnik ten przekroczył poziom 90%,
- ujawnieniu, w doświadczeniu eksploatacyjnym, rezerw mocy bloków jądrowych pozwalających, dzięki wymianie niektórych urządzeń (wytwornice pary, elementy turbin) na

podniesienie poziomu mocy zainstalowanej bloków w granicach od kilku do dwudziestu procent, a decyzje takie podjęto w USA, Hiszpanii, Finlandii i Szwecji oraz zapowiedziano we Francji,

- ujawnieniu w doświadczeniu eksploatacyjnym możliwości przedłużenia okresu eksploatacji bloków jądrowych z zakładanych na etapie projektowania i wydawania licencji eksploatacyjnej 30–40 lat do 60 lat i tak w USA decyzje o takim przedłużeniu licencji eksploatacyjnych wydano dla 39 bloków jądrowych i oczekiwane są dalsze wnioski oraz podobny proces rozpoczął się w Japonii, Wielkiej Brytanii, Rosji i Holandii.

Osiągnięcia te spowodowały, że o ile w okresie lat 1990-2004 łączna moc zainstalowana nowych bloków jądrowych wzrosła o 12% to produkcja energii elektrycznej wszystkich elektrowni jądrowych wzrosła o 38%. Na ten wzrost produkcji energii elektrycznej złożyły się w 36% nowe budowy, w 7% podniesienie mocy zainstalowanej pracujących bloków oraz w 57% wzrost dyspozycyjności eksploatowanych bloków. Podwyższenie współczynników obciążenia mocy i tak znaczne przedłużenie okresów eksploatacji elektrowni, których koszt zużycia paliwa oraz koszt utrzymania i ruchu stanowią jedynie 30-40% ogólnych kosztów produkcji energii, stały się przyczyną wysokiego poziomu rentowności parku eksploatowanych elektrowni jądrowych, których znaczna część jest już zamortyzowana.

Ta bardzo korzystna sytuacja ekonomiczna eksploatowanych EJ przekłada się jedynie powoli na decyzje budowy nowych, których tempo jest obecnie powolne. W warunkach zliberalizowanego rynku towarzystwa energetyczne nie są bowiem w pełni zobowiązane do zaspokojenia potrzeb na energię, rządy w dużym stopniu wycofują się z finansowego wspierania programów jądrowych, programy te są obciążone ryzykiem politycznym i ryzykiem zmian regulacji prawnych a relatywnie wysokie nakłady inwestycyjne odstraszały prywatnych inwestorów, którzy w tych zmienionych warunkach preferują niski poziom ryzyka i krótkie okresy zwrotu kapitału. Jednakże:

- postępujące obniżanie kosztów produkcji energii elektrycznej w elektrowniach jądrowych, główne kryterium przy podejmowaniu decyzji inwestycyjnych,
- postępujący wzrost cen gazu i długofalowe przewidywania utrzymywania się wysokich cen paliw organicznych, wywoływane głównie wzrostem zapotrzebowania,
- zaostrzanie ograniczeń emisji przez elektrownie wykorzystujące paliwa organiczne, w tym emisji CO<sub>2</sub>, oraz
- dążenie do zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego przez różnicowanie dostaw źródeł energii

działają pozytywnie na korzyść energetyki jądrowej. Świadomość tych czynników powoduje wzrost społecznej i politycznej akceptacji energetyki jądrowej, która coraz szerzej postrzegana jest jako cenny składnik bilansów energetycznych, obok odnawialnych źródeł energii i czystego spalania paliw organicznych.

Wyrazem rosnącej politycznej akceptacji energetyki jądrowej i finansowego kompensowania przemysłowi przejmowania od państwa części jego odpowiedzialności za niezawodność dostaw energii elektrycznej są wprowadzone w USA (Energy Policy Act 2005) zachęty finansowe dla towarzystw energetycznych podejmujących budowę elektrowni jądrowych i ograniczające ryzyko tego inwestowania poprzez:

- obniżenie podatku od wyprodukowanej energii o 1,8 USc/kWh przez 8 lat eksploatacji pierwszych elektrowni jądrowych o łącznej mocy 6 000 MW (podobną zachętę wprowadzono dla nowych elektrowni wiatrowych, jednak bez ograniczeń czasowych),
- gwarancje federalne wysokości 2 mld USD na pokrycie skutków ewentualnego przedłużania się procesów licencjonowania pierwszych sześciu zaawansowanych projektów EJ,
- uproszczenie systemu opodatkowania funduszy gromadzonych na pokrycie kosztów likwidacji EJ i częściowe obniżenie tego podatku,
- gwarancje federalne zaciągniętych kredytów na budowę zaawansowanych typów reaktorów, do wysokości 80% kosztów projektu,
- wspieranie finansowe prac badawczo-rozwojowych zaawansowanych typów reaktorów.

Formą wprowadzanej ostatnio finansowej kompensaty dla towarzystw energetycznych eksploatujących elektrownie o niskim poziomie emisji CO<sub>2</sub> jest w Europie jej opodatkowanie na poziomie 15-25 EUR/t CO<sub>2</sub>. Podatek ten wysokości 20 EUR/t CO<sub>2</sub> podnosi kosztową konkurencyjność EJ w stosunku do elektrowni węglowych o 10-20%.

W 2005 roku sześć nowych bloków jądrowych rozpoczęło eksploatację, w tym dwa w Japonii i po jednym w Rosji, Ukrainie, Republice Korei i w Indiach. Podjęto budowę bloków jądrowych w Pakistanie, Finlandii i w Chinach oraz wyłączono z eksploatacji po jednym bloku w Szwecji i w Niemczech. W budowie znajdowało się 24 bloki jądrowe o łącznej mocy około 19 GW, w tym 16 bloków w krajach rozwijających się.

Niejako syntetycznym wyrazem tendencji ostatniego okresu są światowe prognozy długofalowego rozwoju energetyki jądrowej. Jeszcze w roku 2000 MAEA i NEA/OECD przewidywały do 2020 roku spadek o 15% światowego poziomu mocy zainstalowanej w elektrowniach jądrowych z 350 GW w 2000 roku do 300 GW w 2020 roku.

Natomiast prognozy tych organizacji z 2005 roku wskazują, w scenariuszach niskiego i wysokiego rozwoju, na światowy wzrost mocy zainstalowanej w EJ z 350 GW w 2000 roku do 416-516 GW w 2020 roku oraz 419-640 GW w 2030 roku.

Poczynając od lat 90-tych ubiegłego wieku ma miejsce rosnący udział krajów Azji w rozwoju energetyki jądrowej. Ma to głównie miejsce:

- w Chinach, gdzie w okresie do 2030 roku planuje się około pięciokrotny wzrost mocy elektrowni jądrowych z 6,6 GW do 36-40 GW, co będzie to oznaczać wzrost ich udziału w łącznej produkcji energii elektrycznej z 2 do 4%,
- w Indiach, gdzie zużycie energii elektrycznej na głowę mieszkańca wynosi obecnie 450 kWh, planuje się stukrotny wzrost mocy zainstalowanej EJ do połowy bieżącego stulecia, z obecnego poziomu 2,5 GW do 275 GW, co ma zapewnić wzrost ich udziału w łącznej produkcji energii elektrycznej z 3 do 25%.

Poza tym znaczny wzrost mocy zainstalowanej w EJ planuje się w okresie 20 lat w Japonii (o 14,7 GW), w Republice Korei (o 9,2 GW) i w Rosji (o 30,0 GW).

Przewiduje się, że prognozowany rozwój będzie realizowany przy wykorzystaniu Generacji III reaktorów jądrowych, rozwiniętej w latach 1980÷1990 w Europie, Ameryce i Japonii oraz Generacji III+, ewolucyjnie rozwiniętej z Generacji III, o poprawionej ekonomice i szerszym zastosowaniu pasywnych systemów bezpieczeństwa.

Na początku tego wieku przemysł jądrowy grupy dziesięciu krajów producentów elektrowni jądrowych podjął długofalowy program rozwoju reaktorów Generacji IV. W oparciu o wyniki analiz kilkudziesięciu nowych koncepcji reaktorów wybrano sześć typów reaktorów, które stanowią przedmiot długofalowych programów badawczo-rozwojowych w ramach wielostronnej współpracy. Głównym celem tego ambitnego programu jest zapewnienie elektrowniom jądrowym wysokiej konkurencyjności ekonomicznej, podniesienie poziomu bezpieczeństwa przez zmniejszenie prawdopodobieństwa uszkodzenia rdzenia reaktora i ograniczenie skutków takiego uszkodzenia, aby nie było potrzeby ewakuacji ludności z otoczenia elektrowni, redukcja ilości wytwarzanych odpadów promieniotwórczych i obniżenie poziomu ich promieniotwórczości oraz ograniczenie ryzyka dywersji materiałów rozszczepialnych na cele produkcji broni jądrowej. Parametry techniczne wybranych projektów pozwolą też na szersze wykorzystanie reaktorów w gospodarce, poza produkcją energii elektrycznej. Oczekuje się, że reaktory tej generacji wejdą na rynek po 2030 roku. Przemysł jądrowy podjął ten program w oparciu o świadomość rosnącej roli paliw jądrowych w bilansach energetycznych świata.

W Europie umacnia się świadomość polityków, że energetyka jądrowa wnosi do bilansów energetycznych wartości bezpieczeństwa energetycznego, wzmocnienia gospodarki dzięki niskim i stabilnym kosztom produkcji energii elektrycznej oraz poprawę w zakresie ochrony środowiska.



Już obecnie połowa zużywanej energii w krajach UE pochodzi z importu i zależność ta ma wzrosnąć w ciągu dwudziestolecia do 70%. Większość ropy i gazu pochodzi z Zatoki Perskiej oraz z Rosji. Zakłócenia stabilności politycznej w rejonach źródeł tych paliw mogą przynieść czasowe ograniczenia dostaw oraz wzrost cen. Tymczasem światowy poziom cen uranu był stabilny przez wiele lat a jego import pochodzi głównie z Australii i Kanady, krajów o długiej politycznej stabilności. W dokonanych ostatnio przez OECD porównawczych ocenach kosztów produkcji energii elektrycznej w różnych typach elektrowni nie przewiduje się wzrostu cen paliw jądrowych w okresie następnym 40 lat. Oceny te dokonane ostatnio w Finlandii i we Francji dla rozważanych opcji w związku z podejmowanymi decyzjami budowy EJ wskazują na ich konkurencyjność. W Finlandii (oceny z 2004 roku), przy 5% stopie oprocentowania kapitału i założonej pracy elektrowni przez 8000 godzin w roku, łączne koszty produkcji energii elektrycznej, bez dodatkowych obciążeń z tytułu emisji zanieczyszczeń i CO<sub>2</sub> oceniono na:

- 23,7 EUR/MWh w elektrowni jądrowej,
- 28,1 EUR/MWh w elektrowni węglowej,
- 32,3 EUR/MWh w elektrowni gazowej,
- 34,7 EUR/MWh w elektrowni opalanej torfem,
- 50,1 EUR/MWh w elektrowni wiatrowej (przy założonej pracy 2200 godzin w roku).

Oceny francuskie dokonane w 2003 roku, przy założeniu 8% stopy dyskonta, przewidują:

- 35,8 EUR/MWh dla pierwszego bloku typu EPR (European Power Reactor),
- 28,8 EUR/MWh dla serii 10 bloków typu EPR,
- 34,2 EUR/MWh dla elektrowni węglowej z kotłem pyłowym,
- 37,3 EUR/MWh dla elektrowni gazowej, przy założonej cenie gazu 3,42 USD/GJ,
- 38,8 EUR/MWh dla elektrowni gazowej, przy założonej cenie gazu 3,79 USD/GJ.

W ocenach fińskich i założeniu cen uprawnień do emisji CO<sub>2</sub> w wysokości 20 EUR/t CO<sub>2</sub> dodatkowe koszty dla elektrowni węglowej wynoszą 16,2 EUR/t CO<sub>2</sub>, a dla elektrowni gazowej 7,0 EUR/t CO<sub>2</sub>. Przy cenie 15 EUR/t CO<sub>2</sub> przyjmowanej w ocenach francuskich dodatkowy koszt wynosi 12,2 EUR/MWh dla elektrowni węglowej i 5,8 EUR/MWh dla elektrowni gazowej. Dominujący udział składowej kapitałowej w kosztach produkcji energii elektrycznej w elektrowniach jądrowych, wynoszący około 70%, zależny od jednorazowo poniesionych nakładów inwestycyjnych oraz niski udział kosztów surowca uranowego, wynoszący 3-5%, czyni koszty produkcji energii w elektrowniach jądrowych przewidywalnymi i stabilnymi. Elektrownie jądrowe nie generujące CO<sub>2</sub> ani gazów wywołujących kwaśne deszcze są przyjazne dla środowiska. Obecnie w 25 krajach UE zmniejszają one emisję CO<sub>2</sub> o około 700 mln ton rocznie, co równoważne jest emisji przez wszystkie samochody w krajach Unii.

Obecnie 32% energii elektrycznej jest produkowane przez elektrownie jądrowe w 25 krajach UE. Ich łączna moc stanowi 35% stanu energetyki jądrowej na świecie. W Finlandii podjęto budowę nowego bloku jądrowego z reaktorem typu European Power Reactor (EPR), a we Francji podjęto decyzję o budowie bloku tego typu, rozwiniętego we współpracy firm Framatom i Siemens. Dyskusje i częściowo decyzje na temat podejmowania inwestycji w energetyce jądrowej mają miejsce w Anglii, na Litwie (wspólnie z Łotwą i Estonią), w Słowacji (dokończenie budowy EJ Mochovce), w Czechach (rozbudowa EJ Temelin), w Rumunii (budowa kolejnych bloków EJ Cernavoda) i w Bułgarii (wznowienie wstrzymanej budowy EJ Belene). W grudniu 2006 roku, w okresie prezydentury Finlandii w Unii Europejskiej, przewiduje się dyskusję w Parlamencie Europejskim tzw. Zielonej Księgi dotyczącej polityki energetycznej Unii, zapewniającej bezpieczeństwo energetyczne, konkurencyjność ekonomiczną i zrównoważony rozwój w tej dziedzinie oraz roli energetyki jądrowej w tych dążeniach.

Finlandia i Francja, pierwsze w UE podjęły ostatnio decyzje wznowienia budowy elektrowni jądrowych. W Finlandii decyzję tą podjęto po około 20 latach pozytywnych doświadczeń w eksploatacji czterech bloków jądrowych, dwu typu WWER dostarczonych przez były Związek Radziecki oraz dwu typu BWR dostarczonych przez Szwecję. Dostarczyły one w 2005 roku 26% energii elektrycznej produkowanej w Finlandii. Wzrost zapotrzebowania na energię

elektryczną prognozowany na poziomie 1,5-2,0% rocznie, mimo wysokiego poziomu zużycia (16 300 kWh/mieszkańca), konieczność wycofania z eksploatacji starych elektrowni oraz wzrastający udział importu energii elektrycznej (14% w roku 2020) uzasadniały potrzebę budowy nowych mocy. Towarzystwo energetyczne Teollisuuden Voima Oy (TVO), eksploatujące pomyślnie od ponad dwudziestu lat dwa bloki jądrowe typu BWR w EJ Olkiluoto, podjęło inicjatywę budowy nowych mocy i wybrało dla tego celu elektrownie jądrowe. W latach 1998-2000 dokonano dla tej koncepcji oceny wykonalności projektu, łącznie z oceną ekonomiczną i wpływu na środowisko a także oceną czy rozważane typy reaktorów mogą spełnić fińskie wymagania bezpieczeństwa jądrowego. Pozytywne wyniki tych ocen stanowiły podstawę do wystąpienia do rządu i parlamentu z wnioskiem o tzw. *decision in principle*, odpowiadającą na pytanie czy budowa proponowanego obiektu jest zgodna z ogólnym dobrem społecznym. W 2002 roku rząd i parlament udzieliły pozytywnej odpowiedzi na to pytanie. Przed dyskusją parlamentarną, nad tym zagadnieniem pracowało osiem komisji parlamentu. Ogłoszony konkurs ofert na budowę nowego, piątego bloku został rozstrzygnięty w 2003 roku wyborem oferty firm Areva-Siemens dostarczenia reaktora wodno-ciśnieniowego typu EPR o mocy 1600 MW. Rząd udzielił licencji na budowę tego reaktora w 2005 roku i w tym też roku rozpoczęto budowę bloku, który ma wejść do eksploatacji w 2010 roku. Budowa jest finansowana przez udziałowców firmy TVO oraz częściowo z kredytów uzyskanych na rynku kapitałowym. Po jej zakończeniu udział energetyki jądrowej w łącznej produkcji energii elektrycznej w Finlandii wyniesie około 55%.

W 1980 roku rozpoczęto prace nad koncepcją ostatecznego składowiska paliwa wypalonego a w 2001 roku, w oparciu o wyniki badań, parlament zatwierdził lokalizację składowiska w rejonie Olkiluoto. W 2004 roku podjęto tam budowę podziemnego laboratorium. Oczekuje się, że w oparciu o wyniki podjętych prac badawczych udzielona będzie licencja na budowę składowiska w 2012 roku i jego oddanie do użytku w 2020 roku, to jest w czterdzieści lat od uruchomienia pierwszych bloków jądrowych. W tym okresie wypalone paliwo, podobnie jak w innych krajach, składowane jest w przejściowych składowiskach przy elektrowniach.

Historia rozwoju energetyki jądrowej we Francji jest znacznie dłuższa. W latach 1967-1973 zbudowano kilka reaktorów, w tym z ciężką wodą, grafitowo-gazowe, wodno-ciśnieniowe oraz reaktor na neutronach prędkich. Kryzys na rynku ropy naftowej w 1973 roku, kiedy jej ceny wzrosły czterokrotnie a zależność Francji od importu ropy wynosiła 75%, spowodował decyzję podjętą w 1974 roku o masowym rozwoju energetyki jądrowej w oparciu o reaktory wodno-ciśnieniowe i przy wykorzystaniu rozwiązań projektowych firmy Westinghouse. Do 1984 roku zbudowano 54 bloki o mocy jednostkowej 900 i 1300 MW oraz, po tym okresie, 4 bloki o mocy po 1450 MW oparte o własne rozwiązania.

Realizacja tak dużego programu inwestycyjnego w sposób naturalny doprowadziła, już u jego początku, do szerokiej standaryzacji rozwiązań. Opracowano standardowe projekty bloków w zakresie wszystkich rozwiązań, które nie były zależne od specyficznych warunków lokalizacji. Po wyborze lokalizacji projekty były uzupełniane rozwiązaniami odpowiadającymi tym warunkom. Szukanie kompromisu między dążeniem do ekonomicznie korzystnej, szerokiej standaryzacji a uwzględnianiem wymagań postępu technicznego i rozwoju, uzasadniających wprowadzanie zmian do projektów, doprowadziło do opracowania kolejno trzech standardowych projektów dla serii bloków o mocy 900, 1300 i 1450 MW. Ocenia się, że standaryzacja przyniosła obniżenie nakładów inwestycyjnych o 30-40% i znaczne skrócenie okresu realizacji inwestycji. Poważne oszczędności są osiąganę na etapie eksploatacji elektrowni, m.in. przez możliwość przesuwania personelu, ograniczanie ilości symulatorów oraz zapasów części zamiennych. W 2005 roku energetyka jądrowa zaspakajała 78% zapotrzebowania Francji na energię elektryczną.

W 2004 roku firma EdF wybrała projekt reaktora wodno-ciśnieniowego typu EPR o mocy jednostkowej 1600 MW, zaliczanego do Generacji III+, jako możliwą podstawę dla następnej generacji reaktorów we Francji. Wybrano lokalizację dla budowy obiektu demonstracyjnego, jądrowego bloku z tym reaktorem w EJ Flamanville w Normandii, w której pracują już od roku

1986/87 dwa bloki typu PWR o mocy jednostkowej 1300 MW. Wybór został zatwierdzony przez Zgromadzenie Narodowe w czerwcu 2004 roku. Planuje się włączenie obiektu do sieci w 2012 roku. Doświadczenia w jego budowie i kilkuletnim okresie eksploatacji mają pozwolić na podjęcie decyzji około 2015 roku o ewentualnej seryjnej budowie tego reaktora w ramach programu stopniowego zastępowania, poczynając od 2020 roku, wycofywanych bloków jądrowych obecnie eksploatowanych.

W 2004 roku prezydent Jacques Chirac ogłosił przystąpienie Francji do międzynarodowego programu rozwoju reaktorów Generacji IV. Francja weźmie udział w rozwoju kilku reaktorów, z sześciu typów objętych tym programem, z myślą że staną się one podstawą w okresie po 2040 roku rozwoju następnej generacji elektrowni jądrowych. Jak widać, Francja realizuje kompleksowy program utrzymania dominującej roli energetyki jądrowej w swoim bilansie elektroenergetycznym w dłuższej perspektywie.

Przedstawiony stan obecnego rozwoju energetyki jądrowej na świecie i określonych czynników wywołujących jego przyspieszone tempo stanowią uzasadnienie dla coraz szerszej podzielanego poglądu o mającym miejsce renesansie energetyki jądrowej.

#### 4. Konkurencyjność ekonomiczna energetyki jądrowej [6, 9]

Organizacja Współpracy Ekonomicznej i Rozwoju (OECD) opracowująca analizy ekonomiczne stanowiące wsparcie dla rządów krajów członkowskich w formułowaniu polityki gospodarczej wykonała ostatnio studium „Projected Costs of Generating Electricity; 2005 Update”, którego rezultaty opublikowano w 2005 roku. Porównano w nim konkurencyjność nowoczesnych technologii wytwarzania energii elektrycznej, uwzględniając technologie i typy bloków energetycznych, które są planowane bądź znajdują się w budowie i mają rozpocząć prace w latach 2010-2015. Dane o kosztach i charakterystykach technicznych uzyskano z 21 krajów w odniesieniu do 130 obiektów. Analizowane składniki kosztów zawierały wszystkie istotne elementy cenotwórcze, w tym koszty środowiskowe ponoszone przez producentów energii elektrycznej.

Z grupy źródeł pracujących w podstawie obciążenia systemu elektroenergetycznego w studium uwzględniono 27 bloków węglowych (węgiel kamienny, brunatny) różnych typów (pyłowe, fluidalne, ze zgazowaniem) o mocach od 100 MW do 1000 MW, 23 bloki gazowe, głównie pracujące w cyklu kombinowanym, o mocach od 100 MW do 1600 MW oraz 13 bloków jądrowych z reaktorami lekko- i ciężko-wodnymi o mocach od 450 MW do 1600 MW. Koszty obliczono na poziomie średnim dla przyjętego 40-letniego okresu eksploatacji, w warunkach dwu poziomów oprocentowania kapitału 5% i 10%. Koszty, obliczone w warunkach krajów uczestniczących w studium, zostały przeliczone na USD według kursu bankowego z 1 stycznia 2003 roku.

Główne czynniki wpływające na wysokość kosztów produkcji energii elektrycznej podane są w poniższej tabeli.

Elektrownie:		węglowe	gazowe	jądrowe
Okres budowy	lata	4	3	5
Nakłady inwestycyjne (bez oprocentowania kapitału)	USD/kW	1000-1500	400-800	1000-2000
Ceny paliwa	USD/GJ	0,15 w Płd. Afryce >2,00 w większości krajów	3,5-4,5	0,323
Koszty ruchu i utrzymania	USD/MWh	4,2-6,7	0,7-4,0	6,1-9,3
Koszt produkcji energii elektrycznej	USD/MWh			
- przy 5% stopie dyskonta		25-50	37-60	21-31
- przy 10% stopie dyskonta		35-60	40-63	30-50

W dokonanych ocenach uwzględniono przewidywane zmiany poziomu cen paliw w założonym 40 letnim okresie eksploatacji elektrowni, to jest do roku 2050. W przypadku węgla połowa uczestników studium przewidziała wzrost cen w tym okresie średnio o 50%, a połowa niezmienną ich poziom. Również w przypadku gazu połowa uczestników nie przewidziała wzrostu cen w okresie 30 lat założonego okresu eksploatacji, chociaż niektórzy przyjęli średnią cenę gazu na poziomie 5,5 USD/GJ. Pozostali założyli wzrost cen gazu, a niektórzy nawet znaczny. Warto zaznaczyć, że w połowie 2006 roku światowy poziom cen gazu wyniósł 8,0 USD/GJ.

Większość operatorów elektrowni jądrowych oceniła koszty paliwa przy założeniu jednorazowego jego wykorzystania, to jest bez przerobu wypalonego paliwa. Jedynie Francja, Japonia i Holandia przewidziały recykлизację paliwa. Obliczone koszty paliwa obejmują również narzut na pokrycie przyszłych kosztów gospodarki paliwem wypalonym i odpadami promieniotwórczymi oraz ich ostatecznego składowania. Oceniane są one na poziomie ok. 10% łącznych kosztów produkcji energii elektrycznej. W USA narzut na jednostkę wyprodukowanej energii, celem tworzenia funduszu na pokrycie tych kosztów, wynosi 0,1 US\$/kWh. Chociaż w przeszłości koszty jądrowego cyklu paliwowego ulegały stopniowemu obniżaniu, wszyscy respondenci założyli, że w okresie 50 lat pozostaną one na niezmiennym poziomie.

Koszty przyszłej likwidacji elektrowni jądrowych zostały włączone w niektórych ocenach do nakładów inwestycyjnych bądź do kosztów ruchu i utrzymania elektrowni. Wysokość tych kosztów oceniana jest na 9-15% początkowych nakładów inwestycyjnych. Przy oprocentowaniu funduszu tworzonego przez cały okres eksploatacji elektrowni (40-60 lat) z narzutu na koszty produkcji koszt jest znacznie niższy. W USA narzut na ten cel wynosi 0,1-0,2 US\$/kWh.

W porównaniu z poprzednim studium OECD opublikowanym w 1988 roku istotną różnicą jest obecnie zwiększona konkurencyjność elektrowni jądrowych w krajach je eksploatujących, głównie dzięki dokonanej postępowi technicznemu, wpływającemu na podniesienie niezawodności pracy i dyspozycyjności mocy oraz w rezultacie wzrostu cen paliw organicznych, szczególnie gazu, co wpłynęło na znaczny wzrost kosztów produkcji energii elektrycznej w elektrowniach gazowych

Badane grupy źródeł pracujących w podstawie obciążenia charakteryzują się istotnie zróżnicowaną strukturą kosztów produkcji energii elektrycznej, co wykazuje poniższe zestawienie wielkości w procentach:

Elektrownie	węglowe	gazowe	jądrowe <sup>(x)</sup>
Składowa kapitałowa	35 – 50	15 – 20	52 – 67
Składowa paliwowa	45 – 35	80 – 73	17 – 12
Koszty utrzymania i ruchu	20 – 15	10 – 7	31 – 21

<sup>(x)</sup> Liczby w lewej kolumnie reprezentują koszty przy 5% stopie dyskonta, a w prawej kolumnie koszty przy 10% stopie dyskonta.

Powyższe liczby wskazują na wysoką wrażliwość ekonomiki energetyki jądrowej na poziom oprocentowania kapitału oraz wysokość współczynnika wykorzystania mocy. Wysoki udział składowej kapitałowej, zależnej od nakładów inwestycyjnych raz poniesionych oraz niski poziom składowej paliwowej zapewniają stabilność wysokości kosztów produkcji energii elektrycznej. Podwojenie ceny surowca uranowego powoduje jedynie nieznaczny wzrost kosztów produkcji energii elektrycznej.

Natomiast bardzo niski udział składowej kapitałowej w elektrowniach gazowych oraz wysoki udział składowej paliwowej czynią koszty produkcji energii mało zależnymi od współczynnika wykorzystania mocy i wysoce zależnymi od zmian poziomu cen gazu. Podwojenie cen gazu, co może się zdarzyć w każdym czasie, może podnieść koszt produkcji energii elektrycznej o 70–90%.

Porównanie dokonanych ocen kosztów produkcji energii elektrycznej w rozważanych trzech rodzajach elektrowni, w warunkach 5% i 10% topy oprocentowania kapitału, wykazuje, że:

Elektrownie	przy 5% stopie oprocentowania	przy 10% stopie oprocentowania
węglowe:	są tańsze niż gazowe o 10% lub więcej w 8 krajach	są tańsze niż gazowe o 10% lub więcej w 8 krajach
	są tańsze niż jądrowe w 1 kraju	są tańsze niż jądrowe w 1 kraju
jądrowe:	są tańsze niż węglowe w 7 krajach	są tańsze niż węglowe w 7 krajach
	są tańsze niż gazowe w 9 krajach	są tańsze niż gazowe w 8 krajach
gazowe:	są zawsze droższe niż węglowe	są tańsze niż węglowe w jednym kraju

Tak więc, w zdecydowanej większości krajów elektrownie jądrowe wykazują niższe koszty produkcji energii w ramach źródeł pracujących w podstawie obciążenia. W sytuacji utraty konkurencyjności przez elektrownie zasilane gazem energetyka jądrowa wnosząca nowe źródło energii zyskuje dodatkowy, ważny walor w kontekście bezpieczeństwa energetycznego. W przypadku upowszechnienia w ramach UE systemu opłat za zezwolenie na emisję CO<sub>2</sub> koszty produkcji energii, szczególnie przez elektrownie węglowe, wzrosną pogarszając ich konkurencyjność w stopniu zależnym od wysokości tych opłat. Tak więc osiągnięcie przez energetykę jądrową konkurencyjnych kosztów produkcji energii elektrycznej przestało być jej problemem.

Porównawcza analiza różnych źródeł energii, poza kosztami ponoszonymi przez jej producentów, powinna także uwzględniać społeczne koszty produkcji obejmujące dodatkowo zewnętrzne koszty producenta. Są one głównie wyrazem szkód wywołanych emisją zanieczyszczeń przez elektrownie dla zdrowia ludzi oraz dla środowiska, zarówno naturalnego jak i stworzonego przez człowieka. Rosnące wymagania ochrony środowiska przynoszą postęp techniczny powodujący ograniczenie poziomu emisji SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> oraz pyłów. Projekty elektrowni będące przedmiotem omawianego studium OECD charakteryzują się na tyle niskim poziomem tych emisji, że odpowiednie koszty zewnętrzne uznano za bardzo niskie.

Odrębnym zagadnieniem jest emisja CO<sub>2</sub>. Rozważane w ramach studium projekty nie zawierały urządzeń do sekwestracji emisji CO<sub>2</sub>. Ewentualne wprowadzenie przez UE systemu zezwoleń na emisję i handlu nimi, w dążeniu do spełnienia przez kraje zobowiązań zawartych w protokole z Kioto, przyniesie określenie opłat za emisję CO<sub>2</sub> ponoszonych przez producentów energii, zwiększając koszty jej produkcji i pogarszając konkurencyjność, szczególnie elektrowni zasilanych węglem. W studium dokonano oceny stopnia pogarszania się tej konkurencyjności elektrowni węglowych przy alternatywnym założeniu dwu poziomów opłat:

- 2 USD/MWh przy wysokości opłat 10 USD/t CO<sub>2</sub>
- 10 USD/MWh przy wysokości opłat 50 USD/t CO<sub>2</sub>

Dla elektrowni jądrowych, nieemitujących CO<sub>2</sub> koszt ten ma wartość zerową.

Szeroko stosowane analizy zrównoważonego rozwoju gospodarki oparte na definicji Komisji ONZ ds. Zrównoważonego Rozwoju (tzw. Komisji pani Bruntland), jako „... rozwój, który prowadzi do zaspokojenia potrzeb obecnej generacji bez uszczerbku dla zdolności zaspokojenia potrzeb przyszłych generacji.” odniesione do gospodarki energetycznej oznaczają głównie dążenie do wysokiej sprawności wykorzystywania materiałów i energii w całym cyklu budowy i eksploatacji elektrowni a nie tylko sprawności cieplnej samej elektrowni. Poniżej podano wyniki badań przedstawione na konferencji [9]:

	Skumulowane zapotrzebowanie na energię (w kWh energii pierwotnej na kWh wyprodukowanej energii elektrycznej)	Skumulowane zapotrzebowanie (w kg/GWh wyprodukowanej energii elektrycznej)		
		żelaza	miedzi	boksytu
Węgiel kamienny	0,27	1 700	8	30
Węgiel brunatny	0,16	2 134	8	19

Gaz ziemny	0,17	1 239	1	2
Elektrownie jądrowe (typ PWR, bez przerobu paliwa)	0,07	457	6	27
Drewno – kojarzona produkcja energii elektrycznej i ciepła	0,08	934	6	18
Systemy fotowoltaiczne - moduły polikrystaliczne 5 kW	0,06	4 969	281	2189
Elektrownie wiatrowe 1500 kW średnia prędkość wiatru:				
– 5,5 m/sek	0,06	3 066	52	35
– 4,5 m/ sek	0,08	4 471	75	51
Elektrownia wodna – 3,1 MW	0,04	2 057	5	7

Powyższe liczby obrazują zapotrzebowanie w procesie budowy i likwidacji elektrowni oraz w procesach produkcji dostarczania paliwa.

W zakresie skumulowanego zużycia energii najniższy poziom wykazują elektrownie wodne i wiatrowe, nieposiadające zaplecza paliwowego oraz elektrownie jądrowe o nieporównanie wyższej koncentracji energii w paliwie niż to ma miejsce w elektrowniach węglowych czy gazowych. Niska intensywność energetyczna wiatru powoduje kilkakrotnie wyższe jednostkowe zużycie wykazanych materiałów w porównaniu z pozostałymi rodzajami elektrowni.

## 5. Postęp w dziedzinie bezpieczeństwa energetyki jądrowej [4, 5]

Postęp w dziedzinie bezpieczeństwa energetyki jądrowej realizowany jest od pierwszej konstrukcji reaktora energetycznego. Jest to proces ciągły, ale można w nim wyróżnić pewne skokowe zmiany jakości. Konstrukcje reaktorów jądrowych podzielone zostały na poszczególne generacje scharakteryzowane w poniższej tabelce.

Generacja	Lata	Charakterystyka	Przykłady konstrukcji
I	1950-1965	wczesne reaktory prototypowe	Shippingport, Dresden, Fermi I, Magnox
II	1965-1995	reaktory dostępne handlowo	LWR: PWR i BWR WWER/RBMK CANDU, AGR
III	1995-2010	Zaawansowane reaktory lekko-wodne (ALWR)	ABWR, System +80, APWR, AP600, EPR
III+	2010-2030	Ewolucyjne reaktory Generacji III	
IV	2030 i dalej	wysoko ekonomiczne, o zwiększonym bezpieczeństwie, zminimalizowanej ilości odpadów, zabezpieczone przed proliferacją materiałów rozszczepialnych	

Postęp w dziedzinie bezpieczeństwa wynika z wielu czynników jak:

- (1) doskonalenie metod projektowania
- (2) nauka na katastrofach
- (3) uzyskiwane doświadczeń eksploatacyjnych
- (4) wymiana informacji między użytkownikami
- (5) sformułowanie zaleceń międzynarodowych.

Bezpieczeństwo i niezawodność elektrowni jądrowych można wykazać rozważając niektóre wskaźniki opisujące ich funkcjonowanie. Na przykład współczynnik dyspozycyjności bloku, określony jako procent maksymalnej ilości energii jaką elektrownia może dostarczać do sieci elektroenergetycznej, ograniczany jedynie przez czynniki pozostające pod kontrolą kierownictwa obiektu. Wysoka wartość tego współczynnika wskazuje na stosowanie w elektrowni efektywnych programów i praktyk służących do minimalizowania nieplanowanych strat energii i do optymalizacji planowych wyłączeń. Inaczej mówiąc, dla osiągnięcia wysokiej

wartości współczynnika dyspozycyjności bloku elektrownia musi być eksploatowana w sposób bezpieczny i niezawodny. Obecnie średnie światowe wartości tego współczynnika są bliskie 90%, do 2002 roku widać było jego systematyczny wzrost od wartości 77,2% w 1990 roku do 87,3% w 2002 roku i w następnych dwóch latach uległ on nieznacznemu obniżeniu do wartości 87,1% w 2004 roku.

Na przykład na podstawie doświadczeń państw należących do Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD) rozważa się następujące aktualne zagadnienia dotyczące bezpieczeństwa reaktorów lekko-wodnych (LWR), tzn. wodnych reaktorów ciśnieniowych typu PWR i WWER oraz reaktorów wrzących typu BWR:

- scenariusze podstawowych awarii projektowych,
- zagadnienie poważnych awarii (integralność zbiornika reaktora, powstawanie wodoru, integralność obudowy bezpieczeństwa, postępowanie w razie awarii),
- całkowita utrata zasilania elektrycznego obiektu,
- wysoki stopień wypalenia paliwa,
- modernizacje zwiększające moc obiektu,
- zatykanie krętek odpływowych awaryjnego układu chłodzenia rdzenia,
- zmniejszenie się stężenia kwasu borowego.

Awaria w Czarnobylu w 1986 roku, a także późniejsze ataki terrorystyczne w USA we wrześniu 2001 roku, doprowadziły do przyspieszenia współpracy międzynarodowej w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i zabezpieczenia obiektów jądrowych. Zagadnienia te nadal mają duży wpływ na rozwój wykorzystywania w energetyce technologii jądrowej i wymagają podejścia wielostronnego, takiego jak Globalny System Bezpieczeństwa Jądrowego, który opiera się na uwzględnianiu interesów szerokiego zakresu podmiotów krajowych i międzynarodowych dla osiągnięcia wspólnych celów, przy jednoczesnym zachowaniu suwerenności, władzy i ostatecznej odpowiedzialności poszczególnych państw.

Zasadniczym elementem Globalnego Systemu Bezpieczeństwa Jądrowego jest zbiór zharmonizowanych i posiadających akceptację międzynarodową norm bezpieczeństwa MAEA, stanowiący punkt odniesienia dla wysokiego poziomu bezpieczeństwa wymaganego dla działalności jądrowej na całym świecie. Normy są opracowywane przy udziale Komisji ds. Norm Bezpieczeństwa, złożonej z wyższych przedstawicieli urzędów dozoru jądrowego z państw członkowskich MAEA oraz z czterech komitetów tematycznych. W sposób uzgodniony przez strony, normy odzwierciedlają krajowe zasady i zalecenia dozorów poszczególnych państw i zawierają najlepsze praktyki. Uzupełnieniem norm bezpieczeństwa MAEA są normy i kodeksy przemysłowe.

MAEA wspiera Globalny System Bezpieczeństwa Jądrowego, który opiera się na czterech zasadniczych elementach:

- powszechne przystępowanie do wiążących i niewiążących międzynarodowych dokumentów prawnych, takich jak konwencje bezpieczeństwa i kodeksy postępowania,
- wyczerpujący zestaw norm bezpieczeństwa jądrowego,
- międzynarodowe przeglądy bezpieczeństwa i usługi bazujące na normach bezpieczeństwa,
- silna krajowa infrastruktura bezpieczeństwa i globalna społeczność ekspertów.

Działalność MAEA koncentruje się na drugim i trzecim elemencie. Stosowanie norm bezpieczeństwa MAEA na świecie jest coraz powszechniejsze. Niektóre państwa członkowskie stosują te normy bezpośrednio do licencjonowania, zaś inne wykorzystują je jako punkt odniesienia przy stanowieniu i przeglądach przepisów krajowych, a także dla efektywnego nadzoru przez urzędy dozoru.

MAEA w ramach swego mandatu opracowała logiczny system celów i zasad dla bezpieczeństwa reaktorów jądrowych. Te cele i zasady są ze sobą wzajemnie powiązane i muszą być traktowane jako całość.

Z biegiem lat technologia energetyki jądrowej, a także technologia bezpieczeństwa reaktorów ulegała zmianom – od wczesnych prototypowych reaktorów energetycznych, które dziś

nazywamy Generacją I, aż po dzisiejszą Generację III. Reaktory tej generacji charakteryzują się następującymi cechami:

- standaryzowany projekt dla każdego typu w celu przyspieszenia licencjonowania, zmniejszenia kosztów kapitałowych i skrócenia czasu budowy,
  - większa dyspozycyjność i dłuższy okres eksploatacji – typowo 60 lat,
  - zmniejszone prawdopodobieństwo awarii połączone ze stopniem rdzenia,
  - zmniejszone oddziaływanie na środowisko,
  - zwiększony stopień wypalenia paliwa w celu zmniejszenia ilości zużywanego paliwa i wytwarzanych odpadów w stosunku do wytwarzanej energii,
  - wypalające się absorbery („trucizny”) wydłużające czas użytkowania paliwa
- i zostały omówione w następnym rozdziale na podstawie referatów przedstawionych na konferencji.

Po awarii w Czarnobylu, określanej przez niektórych jako katastrofa, operatorzy elektrowni jądrowych z całego świata zbrali się w Moskwie w 1989 r., aby utworzyć Światowe Stowarzyszenie Operatorów Elektrowni Jądrowych – WANO, czyli organizację mającą swoim działaniem zapobiec wydarzeniu się kolejnej awarii jądrowej. Dzięki działalności tej organizacji powiodło się poprawienie bezpieczeństwa i niezawodności eksploatacji elektrowni jądrowych na świecie. Jest to wyraźna misja WANO, którą można określić słowami: „Osiągnięcie możliwie najwyższego stopnia bezpieczeństwa i niezawodności eksploatacji elektrowni jądrowych poprzez wymianę informacji i wspieranie komunikowania się, dokonywania porównań oraz współzawodnictwa pomiędzy członkami.”

WANO stwierdza, że odpowiedni poziom bezpieczeństwa jądrowego może być osiągnięty tylko poprzez dążenie do doskonałości, a nie tylko poprzez spełnianie odpowiednich norm i inspekcje. Jesteśmy przekonani, że bezpieczeństwo jądrowe musi być integralną częścią samego biznesu, a nie tylko dodatkiem do niego. Nie jest możliwe trwałe prowadzenie biznesu związanego z energią jądrową bez bezpieczeństwa jądrowego. Jest to właśnie ten mocny fundament, na którym branża jądrowa musi się opierać.

Każda elektrownia jądrowa na świecie musi pozostawać w łączności z międzynarodową społecznością jądrową, aby mieć jasne spojrzenie na to czym jest doskonałość w dziedzinie bezpieczeństwa jądrowego. Pojedyncza elektrownia jądrowa nie jest w stanie do niej doprowadzić będąc w izolacji. Jedna elektrownia, a nawet jedno towarzystwo energetyczne, niezależnie od swojej wielkości, nie jest w stanie zrealizować samodzielnie tego dążenia do doskonałości. Powstaje zawsze kultura korporacyjna, rozwijają się strefy martwe. Obrazowo: będąc wewnątrz butelki nie można przeczytać nalepki.

WANO jest zorganizowane wokół czterech centrów regionalnych: Atlanta, Moskwa, Paryż, Tokio oraz centrum koordynującego w Londynie. W tych pięciu ośrodkach pracują doświadczeni profesjonaliści, zarówno menadżerowie, jak i inżynierowie z organizacji członkowskich WANO oraz personel administracyjny.

Jak wspomniano wyżej, celem WANO jest podniesienie na możliwie najwyższy poziom bezpieczeństwa i niezawodności eksploatacji elektrowni jądrowych, co realizowane jest w czterech wzajemnie się uzupełniających programach:

- 1) przeglądy bezpieczeństwa (dokonywane przez niezależnych ekspertów, bardzo często pracowników z innych EJ),
- 2) wykorzystywanie doświadczenia eksploatacyjnego,
- 3) rozwój zawodowy i techniczny,
- 4) wsparcie techniczne i wymiana informacji (wskaźniki eksploatacji, zalecane praktyki i procedury, misje wsparcia technicznego)

Można stwierdzić, że nasz świat z pewnością potrzebuje energetyki jądrowej. Do 2030 roku nastąpi wzrost o 60% popytu na energię pierwotną i będzie to katastrofalne dla ziemskiego klimatu, jeżeli to zapotrzebowanie będzie pokryte wyłącznie przez paliwa kopalne, których stosowanie prowadzi do emisji gazów cieplarnianych. Odnawialne źródła energii, takie jak



wiatr i słońce, nie wystarczą do pokrycia tego ogromnego wzrostu zapotrzebowania, a ewentualny rozwój technologii syntezy termojądrowej jest zbyt odległy w czasie.

## 6. Projekty zaawansowanych reaktorów jądrowych [10, 11, 12, 13, 14, 15]

Zgodnie z decyzją Komitetu programowego Konferencji NPPP-2006 zostało zaproszonych pięć firm do przedstawienia swoich najnowszych konstrukcji. Wybór opierał się na rozeznaniu przypuszczalnego zapotrzebowania na pierwszą elektrownię jądrową w Polsce. Wybrane typy reaktorów i ich główne parametry przedstawione są poniższej tabelce.

Typ	Kraj	Moc [MWe]	Liczba pętli obiegu pierwotnego	Ciśnienie pary MPa	Wypalanie paliwa [GWd/t]	Sprawność [%]	Dyspozycyjność [%]	Czas budowy [lata]
EPR	Francja	1650	4	78 bar	60	37	92	---
AP1000	USA	1117	2	---	---	---	---	5
ESBWR	USA	1550	0	---	(x)	---	---	---
WWER-1500	Rosja	1500	4	78	70	---	---	---
CANDU ACR-1000	Kanada	900 1200	4	---	---	36	93	4,5

znak "---" brak danych w referatach na konferencję NPPP-2006.

Dalej zostaną przedstawione informacje o każdym typie reaktora na podstawie referatów na konferencję i stwierdzeń tam zawartych.

### Projekt reaktora EPR [10, 15]

Projekt zapoczątkowała wspólna decyzja podjęta przez firmy Framatome i Siemens w 1991 roku o zaprojektowaniu reaktora, który spełniałby wymagania operatorów elektrowni jądrowych i urzędów dozoru jądrowego dla nowej generacji elektrowni jądrowych. Główne cele projektowe były dwojakie:

- (1) opracowanie reaktora w oparciu o doświadczenia eksploatacyjne około 100 bloków wybudowanych przez te firmy zgodnie z podejściem ewolucyjnym przy wykorzystaniu biernych układów bezpieczeństwa,
- (2) zapewnienie konkurencyjności wytwarzania energii elektrycznej w stosunku do innych alternatywnych źródeł energii, tj. przy znaczącym obniżeniu kosztów wytwarzania w stosunku do większości istniejących elektrowni jądrowych oraz dużych elektrowni gazowo-parowych.

Zgodnie z zasadami ustanowionymi przez francuskie i niemieckie urzędy dozoru jądrowego reaktor EPR spełnia następujące kryteria:

- wykorzystuje skumulowane doświadczenia w projektowaniu i eksploatacji bloków PWR pracujących we Francji (technologia N4) i Niemczech (technologia Konvoi) oraz bloków eksportowanych do takich krajów jak: Belgia, Brazylia, Chiny, Korea Południowa, Hiszpania i Szwajcaria,
- zapewnia podwyższony poziom bezpieczeństwa poprzez zmniejszenie prawdopodobieństwa stopienia rdzenia dzięki poprawie dyspozycyjności systemów bezpieczeństwa i uwzględnienie rozwiązań mających na celu zmniejszenie skutków radiologicznych na wypadek poważnej awarii,
- uwzględnienie poważnych problemów eksploatacyjnych we wczesnym etapie projektowania, a w tym uwzględnienie możliwości wystąpienia błędu człowieka w eksploatacji bloku, zmniejszenie do minimum kolektywnej dawki dla personelu przy prowadzeniu prac konserwacyjnych i remontowych itp.

Zastosowanie ocen probabilistycznych od samego początku projektu przyczyniło się do zdefiniowania następujących zasad:

- proste zasady projektowania,
- fizyczne rozseparowanie systemów,
- zróżnicowanie funkcjonalne,

- zasada redundancji.

Osobnym zagadnieniem są podjęte środki projektowe w celu łagodzenia skutków poważnych awarii, do których można zaliczyć:

- sytuację wysoko-ciśnieniowego stopienia rdzenia,
- gwałtowne zjawiska związane z wytwarzaniem się wodoru,
- wyciek stopionego rdzenia i jego schładzanie,
- uderzeniem samolotu.

Zapewnienie konkurencyjności projektu reaktora EPR wiąże się z następującymi zagadnieniami:

- uzyskanie wysokiej sprawności przy maksymalnym i elastycznym wykorzystaniu paliwa jądrowego, tj. wysokim wypaleniem przekraczającym 60 GWd/t oraz sprawności cyklu termodynamicznego wynikającego z temperatury i ciśnienia pary (78 bar – najwyższe w swojej kategorii),
- skrócenie przerw na wymianę paliwa i czynności konserwacyjne do 16 dni przez prowadzenie niektórych operacji serwisowych w czasie pracy reaktora,
- ustalenie okresu eksploatacji na 60 lat dla zbiornika reaktora i struktur budowlanych, które są niewymienne, a pozostałe wyposażenie cechuje się łatwością wymiany,
- elastyczność eksploatacji wiąże się cyklem referencyjnym o długości 18 miesięcy z możliwością przedłużenia do 24 miesięcy oraz dużym poziomem manewrowości na poziomie 20 do 100% mocy nominalnej z dobrym przystosowaniem do okresowych jak i niezapowiedzianych zmian zapotrzebowania sieci energetycznej.

Postęp prac nad reaktorem EPR prowadzony jest aktualnie w trzech kierunkach:

- (a) realizacja kontraktu na blok nr w EJ Olkiluoto w Finlandii podpisanego 18 grudnia 2003 roku, którego budowa rozpoczęła się w kwietniu 2005 roku z przewidywanym uruchomieniem w 2010 roku (po korekcie w 2006 roku),
- (b) wybór lokalizacji pod reaktor budowany we Francji jako rozbudowa EJ Flamanville z przewidywanym uruchomieniem w 2012 roku,
- (c) wystąpienie o uzyskanie certyfikacji przez NRC w USA (informacja wstępna przekazana w 2005 roku),
- (d) złożenie oferty na budowę reaktora EPR w Chinach.

Projekt reaktora EPR jest szczytowym etapem technologii reaktorów typu PWR, a ten ewolucyjny projekt dobrze chroni przed ryzykiem związanym z licencjonowaniem, budową, trudnościami technicznymi i ryzykiem finansowym. Zaawansowane rozwiązania projektu zapewniają konkurencyjność odnośnie do kosztu zainstalowanej mocy oraz wytworzenia kilowatogodziny.

Część konwencjonalna bloku EPR realizowana jest przez firmę Siemens, która była dostawcą 51 kompletnych elektrowni jądrowych i w tej roli występuje na budowie bloku nr 3 w elektrowni Olkiluoto w Finlandii. Turbina tej elektrowni składa się jednego kadłuba wysokoprężnego i trzech kadłubów niskoprężnych. Stanowi ona szczytowe osiągnięcie w tej dziedzinie tworząc największy pojedynczy blok na świecie o najwyższej mocy znamionowej 1720 MWe, długości łopatkii ostatniego stopnia wynoszącej 1829 mm i przewidywanej sprawności 39,8%. Nowym rozwiązaniem technicznym jest zastosowanie pionowego separatora wilgoci.

#### Projekt reaktora energetycznego AP 1000 [11]

Przez prawie dwie dekady firma Westinghouse dążyła do zrealizowania projektu ulepszanego wodnego reaktora ciśnieniowego typu PWR. W rezultacie tych działań powstał projekt AP1000 będący prostszym i bardziej ekonomicznym reaktorem typu PWR. Projekt zaczęto rozwijać w późnych latach 80-tym ubiegłego wieku jednocześnie z powstawaniem dokumentu „Wymagania stawiane przez towarzystwa energetyczne zaawansowanym reaktorom lekko-wodnym” (Advanced Light Water Reactor Utility Requirements Document – URD). Dokument ten dotyczy zarówno ewolucyjnych jak i pasywnych reaktorów lekko-wodnych, a oczekiwania wobec tych drugich są znacznie wyższe, np. zdolność osiągnięcia i utrzymania stanu bezpiecznego wyłączenia reaktora przez 72 godziny bez konieczności interwencji operatora w razie wystąpienia awarii projektowej wobec wymaganych 30 minut dla reaktora ewolucyjnego.

Projekt AP 1000 opiera się na konwencjonalnej konfiguracji z dwoma pętlami obiegu pierwotnego i dwoma wytwornicami pary, które udoskonalono pod względem wielu szczegółowych rozwiązań. Projekt AP 1000 zawiera układy pasywnego awaryjnego chłodzenia rdzenia reaktora oraz chłodzenia obudowy bezpieczeństwa.

W porównaniu ze standardowym blokiem, jądrowym o podobnej mocy, reaktor AP1000 ma o 35% mniej pomp, o 80% mniej przewodów rurowych związanych z bezpieczeństwem oraz o 50% mniej zaworów bezpieczeństwa klasy ASME, a także nie są stosowane pompy w układach bezpieczeństwa. Te czynniki powodują, że jest on o wiele bardziej zwartym blokiem w porównaniu z wcześniejszymi projektami. Większość instalacji bezpieczeństwa mieści się wewnątrz obudowy bezpieczeństwa i z tego powodu ma około 55% mniej rur przechodzących przez obudowę bezpieczeństwa w porównaniu z reaktorami obecnej generacji. Objętość budynków kategorii sejsmicznej I-szej jest około 45% mniejsza w porównaniu z wcześniejszymi projektami. Ponieważ AP 1000 posiada stosunkowo duży stabilizator ciśnienia, łatwiej dostosowuje się do stanów przejściowych i wobec tego, jest bardziej wybaczący dla błędów operatora.

AP 1000 jest zaprojektowany w zgodności z zasadą ALARA utrzymywania „tak niską jak to jest rozsądnie osiągalne” dawki promieniowania dla personelu. Rozwiązania takie jak zintegrowany układ głowicy zbiornika reaktora, mający na celu szybką wymianę paliwa, skraca czas niezbędnej pracy zmniejszając ekspozycję pracowników. Poświęcenie odpowiedniej uwagi osłonom, ustanowienie odpowiednich odległości od źródeł promieniowania, stosowanie stopów niskiej zawartości kobaltu oraz korzystanie ze zdalnie sterowanych narzędzi i układów sterowania to podejścia, których celem jest zminimalizowanie ekspozycji pracowników na terenie całego bloku.

Blok AP 1000 wyposażony jest w pasywne układy bezpieczeństwa składające się z ułożonych hierarchicznie w piętra zbiorników roztworu boru, które zasilają zbiornik reaktora przy różnych ustalonych stanach awaryjnych w obiegu pierwotnym. Zastosowano w nim trzy zbiorniki awaryjne, każdy z innym mechanizmem wyzwalającym:

- 1) dwa zbiorniki wyrównujące poziom wody w zbiorniku reaktora mają zastosowanie, gdy wystąpi wyciek wody z obiegu pierwotnego i uruchamiają się jako pierwsze,
- 2) dwa hydroakumulatory z ciśnieniową poduszką helową mają zastosowanie przy dużych awariach utraty chłodziwa (LOCA),
- 3) zbiornik rezerwowy do grawitacyjnego zasilania zbiornika reaktora po spadku ciśnienia w obiegu pierwotnym.

W celu zapobiegania poważnej awarii jaką jest stopienie rdzenia wewnątrz zbiornika reaktora, który nie ma otworu w dolnej części, woda ze zbiornika rezerwowego wykorzystywana jest do zalania studni reaktora i chłodzenia zewnętrznej powierzchni zbiornika, a powstająca para wydostaje się do obudowy bezpieczeństwa i skrapla się na jej powierzchni wracając z powrotem do studni reaktora.

W procesie projektowania wykorzystano dalsze postępy wiedzy w zakresie probabilistycznej oceny ryzyka. Z przeprowadzonych analiz wynika, że ryzyko uszkodzenia rdzenia oraz dużych uwolnień promieniotwórczych jest dla AP 1000 niezwykle niskie i tak dla uszkodzenia rdzenia wynosi  $5 \times 10^{-7}$  (dla porównania w obecnie pracujących blokach wynosi ono  $5 \times 10^{-5}$ , a wymagania URD określają je na poziomie  $1 \times 10^{-5}$ ), a dla dużych uwolnień  $6 \times 10^{-8}$ .

Wśród udoskonaleń właściwych dla AP1000 należy wymienić zintegrowane z wytwornicami pary główne pompy cyrkulacyjne, gdzie zastosowano cztery szczelnie zamknięte pompy po dwie w każdej pętli. Zalety tych pomp w stosunku do dotychczas stosowanych są następujące:

- wyeliminowanie uszczelnienia wału oraz układu wtrysku wody do uszczelnienia,
- wyeliminowanie potencjalnego źródła wycieku chłodziwa z obiegu pierwotnego,
- pompy wymagają bardzo niewielkiej lub nie wymagają żadnej konserwacji.

Układy pomiarowo-kontrolne reaktora AP1000 są znacznie rozbudowane i wyspecjalizowane do poszczególnych zadań, jakimi są: prezentacja i przetwarzanie danych, monitorowanie bezpieczeństwa, regulacja bloku, kontrola turbiny głównej i diagnostyka, pomiary wewnętrzne, pomiary dozymetryczne, monitoring sejsmiczny i inne.

AP 1000 wykorzystuje zalety technologii modularnej w projektowaniu i budowie, a korzyści polegają na skróceniu czasu budowy oraz umożliwiają wytwarzanie bardziej złożonych konstrukcji w lepiej nadzorowanych warunkach fabrycznych.

Standardowy harmonogram budowy AP1000 podzielony jest na trzy fazy:

- (1) faza przed budową (18 miesięcy)
- (2) budowa (36 miesięcy)
- (3) uruchamianie (6 miesięcy)

co daje łącznie 5 lat od momentu złożenia zamówienia.

Koszty eksploatacyjne zebrane przez NRC są porównywalne dla elektrowni węglowych i jądrowych i kształtują się na poziomie ok. 20 USD/MWh.

Status licencyjny reaktora AP1000 przedstawia się następująco. NRC przyjęła projekt i zatwierdziła go w grudniu 2005 roku, a uzyskana licencja jest ważna przez okres 15 lat. Zatwierdzenie to ma charakter ogólny i jest niezależne od jakiegokolwiek lokalizacji. W podobny sposób, poszczególne lokalizacje mogą uzyskać ogólna zgodę na budowę bloku jądrowego. W sytuacji, gdy projekt został przyjęty i przeszedł przez procedurę zatwierdzenia oraz gdy jest lokalizacja, która uzyskała zezwolenie, należałoby je połączyć aby przejść do etapu budowy i eksploatacji określonego bloku jądrowego. Tym połączeniem jest łączny wniosek o licencję na budowę i eksploatację i z chwilą jego uzyskania można rozpocząć budowę. Pozostaje jeszcze ostatni etap procesu licencjonowania, którym jest procedura zweryfikowania czy blok został wybudowany i będzie pracował zgodnie z wcześniej udzieloną licencją.

Na zakończenie można stwierdzić, że blok AP 1000 jest o bardziej bezpieczniejszym blokiem jądrowym oraz zaawansowanym projektem, który przeszedł przez procedurę zatwierdzania przez dozór jądrowy (NRC) w USA.

#### Projekt reaktora ESBWR [12]

Projekt wodnego reaktora wrzącego firmy General Electric (GE) oznaczonego skrótem ESBWR (Economic Simplified Boiling Water Reactor – Ekonomiczny Uproszczony Wodny Reaktor Wrzący) został oficjalnie zarejestrowany przez NRC w grudniu 2005 roku w celu przeprowadzenia procesu certyfikacji. Łączy on w sobie ulepszenia w dziedzinie bezpieczeństwa z uproszczeniem projektu i standaryzacją elementów składowych, dzięki czemu może stać się podstawą do budowy bezpieczniejszych i bardziej niezawodnych elektrowni jądrowych o niższych nakładach inwestycyjnych niż elektrownie pracujące obecnie.

Program realizacji projektu ESBWR rozpoczął się na początku lat 1990-tych, kiedy firma GE pracowała na projektem uproszczonego wodnego reaktora wrzącego (SBWR). Pierwotny projekt został wstrzymany, ponieważ moc bloku SBWR okazała się zbyt mała, aby uzyskać odpowiednie korzyści ekonomiczne dla nowo budowanych bloków. Program ten okazał się jednak sukcesem, ponieważ przyczynił się do rozwinięcia pasywnych technologii bezpieczeństwa, które zastosowano w projekcie ESBWR. Na podstawie opanowanych rozwiązań technicznych i wyników testów pierwotnego projektu SBWR oraz wykorzystaniu doświadczenia budowlanego i eksploatacyjnego z zaawansowanego wodnego reaktora wrzącego (*Advanced Boiling Water Reactor – ABWR*), zespół projektowy ESBWR przygotował standaryzowany projekt uproszczonego reaktora, cechujący się pierwszorzędymi wskaźnikami ekonomicznymi.

Zrealizowano znaczne uproszczenie układów elektrowni w projekcie bloku ESBWR. Dzięki temu, zmniejszono niezbędny personel operacyjny i utrzymania ruchu, zredukowano ilość powstających nisko-aktywnych odpadów, zmniejszono dawki promieniowania, zwiększono niezawodność operacyjną oraz poprawiono bezpieczeństwo i ochronę fizyczną obiektu.

Każde z ww. udoskonaleń stanowi o wyraźnej i unikalnej przewadze projektu ESBWR. Po pierwsze, mniejsza ilość elementów czynnych (w szczególności, czynnych układów bezpieczeństwa) zmniejsza wymagania odnośnie konserwacji i bezpośredniej obserwacji w czasie

pracy, a tym samym przyczynia się do zmniejszenia ekspozycji i dawek promieniowania. Po drugie mniejsze wymagania wobec operatorów bloku elektrowni i zastosowanych układów bezpieczeństwa zmniejszają zapotrzebowanie na personel operacyjny przy jednocześnie jednoznacznej poprawie zachowania się bloku w sytuacjach awaryjnych i przejściowych. I w końcu, zmniejszenie kubatury budynków i ilości wymaganych elementów konstrukcyjnych przyczynia się do skrócenia czasu potrzebnego do wybudowania bloku ESBWR, co prowadzi do poprawy warunków zwrotu kapitału dla właścicieli obiektu.

Kolejną podstawową właściwością reaktora ESBWR jest standaryzowany projekt budowlany, co daje uproszczenie procesu projektowania i budowy, zmniejszenie zapotrzebowania na elementy składowe oraz skrócenie czasu produkcji i zmniejszenie kosztów, a w końcu przyczynia się do ułatwienia procesu licencjonowania. Blok ESBWR cechuje się maksymalną elastycznością operacyjną, a wiele rozwiązań projektowych prowadzi do poszerzenia dopuszczalnych warunków pracy w porównaniu z obecnie pracującymi elektrowniami. W projekcie zmniejszono liczbę układów i elementów konstrukcyjnych, a jednocześnie zastosowano procesy i technologie dla już opracowanego i sprawdzonego operacyjnie reaktora ABWR. Oprócz zmniejszenia ryzyka związanego z daną technologią, podejście to prowadzi do utrzymania niskich kosztów budowy i rozwoju prototypu, przy jednoczesnym optymalnym wykorzystaniu najnowszej technologii.

Wykorzystanie projektu ABWR oraz jego szczególna przydatność dla ESBWR była kluczową korzyścią dla zespołu projektującego. Fakt, że projekt ABWR zawiera wiele elementów postępu technologicznego i że został on sprawdzony pod względem harmonogramu budowy, poniesionych kosztów i w trakcie eksploatacji, umożliwił zespołowi projektującemu wykorzystanie tej wiedzy i zastosowanie koncepcji projektowych, które cieszą się zaufaniem wynikającym z doświadczenia operacyjnego. Projektanci mają nadzieję, że zaufanie to będzie pomocne w procesie licencjonowania przez dozór jądrowy NRC oraz w wypracowaniu korzystnej opinii u zamawiającego ten blok.

Porównując główne rozwiązania reaktora ESBWR z rozwiązaniami stosowanymi w poprzednich projektach reaktora typu BWR można zauważyć wiele znaczących udoskonaleń. Udało się zrealizować naturalną cyrkulację, dzięki zwiększeniu wysokości zbiornika reaktora oraz zmniejszeniu wysokości elementów paliwowych (w porównaniu z obecnie pracującymi blokami jądrowymi). Pasywne rozwiązania w dziedzinie bezpieczeństwa eliminują konieczność stosowania pomp z napędem elektrycznym, spełniających wymagania odpowiedniej klasy bezpieczeństwa. Uproszczenie projektu prowadzi również do zmniejszenia kubatury budynków w porównaniu z reaktorem ABWR, pomimo wzrostu zainstalowanej mocy elektrycznej prawie o 15%.

Atrakcyjność ESBWR jest zrealizowana kilkoma sposobami poprzez:

- poprawienie ogólnych wskaźników eksploatacyjnych bloku,
- modułarny projekt pasywnych układów bezpieczeństwa,
- zastosowanie naturalnej cyrkulacji,
- powiększenie mocy wyjściowej i zmniejszenie łącznej ilości stosowanych materiałów.

Blok ESBWR opiera się na sprawdzonym projekcie i technologii bloku ABWR, a projekt układów bezpieczeństwa reaktora ESBWR został przystosowany do większej mocy. Składają się na nie układy wysoko- i nisko-ciśnieniowe, a w tym grawitacyjny układ chłodzenia (GDSCS). Te pierwsze służą do usuwania ciepła powyłączeniowego w warunkach pełnej izolacji. Woda uzupełniająca ze zbiorników GDSCS, należących do pasywnych układów bezpieczeństwa, spływa grawitacyjnie do zbiornika reaktora, a pojemność tych zbiorników wystarcza do zapewnienia minimalnego poziomu wody powyżej 1 metra nad rdzeniem, przez okres co najmniej 72 godzin, bez konieczności interwencji operatora co w praktyce gwarantuje, że rdzeń nie zostanie odkryty na wypadek awarii LOCA.

Poza tym w reaktorze ESBWR można skutecznie przeciwdziałać skutkom projektowych awarii utraty chłodziwa (LOCA), ponieważ jest możliwa szybka redukcja ciśnienia w zbiorniku

reaktora poprzez nisko-ciśnieniowy wtrysk wody przy wykorzystaniu licznych układów bezpieczeństwa i układów nieawaryjnych. Osobnym zagadnieniem jest usuwanie ciepła z obudowy bezpieczeństwa za pomocą sześciu pasywnych pętli niskociśnieniowych. Uproszczenie budowy bloku ESBWR polega również na zmniejszeniu kubatury budynków, dzięki zastosowaniu układów działających pasywnie.

W projekcie bloku zastosowano rozwiązania, które umożliwiają elastyczne dostosowanie się do danej lokalizacji. Projekt sejsmiczny ESBWR jest przystosowany do różnych właściwości gruntu związanych z daną lokalizacją, od podłoża miękkiego do twardego podłoża skalnego, z uwzględnieniem specyficznych warunków sejsmicznych i wymagań związanych z daną lokalizacją. Projekt uwzględnia wszystkie przewidywane wydarzenia zewnętrzne, w tym poważne awarie rozpatrywane przez różne instytucje dozoru jądrowego.

Firma GE (*General Electric*) uczestniczy, razem z firmami *NuStart* i *Dominion Resources*, które wybrały technologię ESBWR, w programie prowadzonym przez Departamentu Energii (DOE) – *Energia Jądrowa 2010 (Nuclear Power 2010)* mającym na celu wsparcie budowy nowych elektrowni jądrowych w Stanach Zjednoczonych. Ma on ułatwić sprostanie zapotrzebowania na energię elektryczną przez ten kraj. Pewna liczba towarzystw energetycznych zamierza przygotować zgłoszenia o pozwolenia na budowę i eksploatację bloków ESBWR do przedłożenia w latach 2007 i 2008. Po uzyskaniu korzystnej decyzji, towarzystwo energetyczne ma prawo do rozpoczęcia budowy, a następnie uruchomienia elektrowni i jej komercyjnej eksploatacji. Przyjmując bieżące harmonogramy, oznacza to że eksploataowanie bloków ESBWR w Stanach zjednoczonych nastąpi począwszy od 2014 i 2015 roku.

W projekcie ESBWR wykorzystano bogate doświadczenie operacyjne i historię eksploatacji bloków BWR oraz ABWR z całego świata oraz uwzględniono prace projektowe i testowe z realizowanego w latach 1990-tych programu SBWR. Blok ESBWR zaprojektowano tak, aby spełnić oczekiwania właścicieli elektrowni jądrowych dzisiaj i w przyszłości wraz z zapewnieniem 60-cio letniego projektowego okresu eksploatacji. Dzięki uproszczeniu projektu i jego standaryzacji, blok ESBWR oferuje zwiększone bezpieczeństwo, niezawodność i ułatwienia w eksploatacji. Ponadto, w porównaniu z obecnie pracującymi elektrowniami jądrowymi, blok ESBWR wymaga jedynie pewnej części dotychczas niezbędnego personelu w eksploatacji i utrzymaniu w ruchu oraz oferuje krótszy czas budowy mniejszym nakładem kosztów, jednocześnie redukując koszty operacyjne.

#### Elektrownia jądrowa z reaktorem WWER-1500 [13]

Światowe doświadczenia w rozwoju energetyki jądrowej wskazuje, że po 2010 roku będą potrzebne bloki o mocy 1300-1600 MWe. Wyczerpujące analizy, w tym warunków ekonomicznych, sytuacji inwestycyjnej i przemysłowej w Rosji wykazały, że w najbliższej przyszłości reaktory WWER-1500 z możliwością podniesienia ich mocy do 1600 MW mogą być dobrym rozwiązaniem. W związku z powyższym postanowiono dokończyć projekt bloku WWER-1500 do 2007 roku i wybudować jednostkę pilotażową do około 2013 roku., który będzie punktem odniesienia dla całej serii elektrowni jądrowych oraz zainicjuje ich wdrażanie w Rosji. Oczekuje się, że parametry ekonomiczne, wskaźniki bezpieczeństwa eksploatacji oraz niezawodność operacyjna przewidywanego bloku będą lepsze niż w tradycyjnych dla rosyjskiej energetyki, blokach WWER-1000 oraz będą przynajmniej nie gorsze w porównaniu z podobnymi projektami zagranicznymi.

Po raz pierwszy w praktyce projektowej w Rosji, dokumentacja projektowa pilotażowego bloku WWER-1500/1600 zawiera oddzielną „część podstawową” (projekt podstawowy), który stanowi główną część dokumentacji projektu i raportu bezpieczeństwa i jest niezależna od warunków lokalnych. Projekt taki ma w zamiarze być stosowany we wszystkich lokalizacjach tych bloków bez jakichkolwiek zmian.

Stworzenie projektu podstawowego umożliwia:

- zunifikowanie rozwiązań projektowych dla serii jądrowych bloków energetycznych;

- zmniejszenie czasu koniecznego do stworzenia dokumentacji projektowej związanej z daną lokalizacją oraz do skompletowania procedur przyjęcia, weryfikacji, licencjonowania dla bloku pilotażowego i wszystkich następnych;
- przedstawienie „gotowego do użytku” produktu handlowego w przetargach na projektowanie i budowę bloków energetycznych w Rosji i zagranicą.

Projekt oparto na rozwiązaniach technicznych zastosowanych w blokach WWER-1000 trzeciej generacji mających ulepszone rozwiązania bezpieczeństwa oraz poprawione wskaźniki operacyjne i ekonomiczne (NPP-92). Obecnie urząd dozoru wydał licencję na budowę bloku 6 w EJ w Nowoworoneżu według tego projektu.

Projekt bloku WWER-1500/1600 posiada następujące główne cechy:

- zgodność ze współczesnymi regulacjami bezpieczeństwa, zasadami postępowania i standardami, z uwzględnieniem zaleceń MAEA oraz europejskich organizacji eksploatujących EJ (EUR);
- wysoka konkurencyjność na rosyjskim i zagranicznym rynku;
- parametry bezpieczeństwa i niezawodności operacyjnej przewyższające blok WWER-1000 i nie mniejsze od europejskich projektów N4 oraz EPR.

Oprócz tego projekt korzysta ze zgromadzonego doświadczenia operacyjnego bloków WWER-1000 (projekt V-320), włączając zalecenia z różnych misji MAEA.

Projekt EJ z reaktorem WWER-1500/1600 opiera się na kombinacji układów pasywnych i aktywnych realizujących krytyczne funkcje bezpieczeństwa.

Dla aktywnych układów o strukturze 4x100%, normalne funkcje operacyjne i funkcje bezpieczeństwa są wykonane z tych samych elementów. Ta właściwość, wraz, dla przykładu, z zastosowaniem kombinacji pomp wtryskowych i odśrodkowych, znacznie zwiększyła niezawodność realizacji funkcji bezpieczeństwa oraz zmniejszyła liczbę części składowych, zaworów, rur, wyprowadzeń mediów przez ściany urządzeń, systemów alarmowych, wyposażenia, kabli, itd.

Pasywne układy mogą realizować funkcje bezpieczeństwa bez udziału układów aktywnych i interwencji operatora przez co najmniej 24 godziny. Funkcjonują one w warunkach braku zasilania w energię elektryczną, w tym w warunkach utraty awaryjnego zasilania prądem zmiennym.

Podobnie, układy aktywne mogą zapewnić bezpieczeństwo w przypadku najbardziej prawdopodobnych zdarzeń przez czas nieograniczony.

Spodziewane wyniki ekonomiczne elektrowni jądrowych z reaktorami WWER-1500/1600 (koszt budowy w przeliczeniu na 1 kW nominalnej mocy, koszt wytwarzania energii elektrycznej, okres zwrotu kapitału, dyskontowana marża zysku, itd.) uzasadniają stwierdzenie, że parametry takiego reaktora pozostaną wśród najlepszych elektrowni jądrowych oraz zapewnią przewagę ekonomiczną w porównaniu z alternatywnymi źródłami energii elektrycznej.

#### Rozwój technologii reaktorów CANDU i ACR-1000 [14]

Korporacja Atomic Energy of Canada Limited (AECL) przystąpiła do projektowania ciśnieniowego reaktora ciężko-wodnego (Pressurized Heavy Water Reactor – PHWR) określonego akronimem CANDU (Canada Deuterium Uranium Reactor – CANDU) z końcem lat 50-tych ubiegłego wieku. Pierwszym prototypowym reaktorem był Nuclear Power Demonstration Reactor (NPD) o mocy 25 MWe, który podłączony został do sieci energetycznej w 1962 roku. Wielkość reaktorów CANDU wzrastała na przestrzeni ostatnich trzech dekad do mocy 900 MWe, największym reaktorem CANDU jest projektowany obecnie blok ACR-1000 o mocy ok. 1200 MWe.

Reaktor CANDU w odróżnieniu od reaktorów typu PWR i BWR wyposażony jest w poziome rury ciśnieniowe, w których znajdują się elementy paliwowe – pęczki prętów paliwowych o długości ok. 50 cm. Rury te umieszczone są w zbiorniku zwanym kalandrią. Zbiornik ten spełnia rolę moderatora i zawiera układy kontroli reaktywności, pręty sterujące i kompensacyjne.

cyjne oraz detektory neutronów – wszystko umieszczone po stronie nisko-ciśnieniowej i w niskiej temperaturze. Krytyczność reaktorów CANDU może być osiągnięta na uranie naturalnym ze względu na bardzo niskie pochłanianie neutronów przez ciężką wodę. System odbioru ciepła w reaktorach CANDU składa się z setek rur ciśnieniowych, co pozwoliło na zaprojektowanie maszyny przeładowniczej do wymiany elementów paliwowych w czasie pracy reaktora.

Dotychczas zbudowano na świecie 42 reaktory typu CANDU w 7 krajach. Dalszych 6 jest w stadium budowy i 3 są projektowane. Z tego 21 reaktorów pracuje w Kanadzie. Korporacja AECL zbudowała dwa bloki CANDU typu Douglas Point w Indiach z końcem lat 60-tych ubiegłego wieku. Od tego czasu Indie rozwijają projekty własne bloków o mocy 500 MWe i kraj ten posiadając 13 bloków jest drugim krajem co do ilości reaktorów typu CANDU.

Dla projektów przygotowywanych na koniec obecnej dekady, zaawansowany reaktor CANDU (ACR) jest ewolucyjnym rozwinięciem linii obecnych reaktorów CANDU pracujących i będących w stadium budowy na całym świecie. Reaktor ACR zachowuje podstawowe i sprawdzone cechy reaktora CANDU wprowadzając pewne innowacje i aktualny stan technologii rozwijanej przez korporację AECL oraz światowy przemysł jądrowy w celu polepszenia parametrów ekonomicznych, dyspozycyjności i bezpieczeństwa elektrowni jądrowej. AECL rozwinęła technologię ACR i zastosowała ją do dwóch klas reaktorów: ACR-700 (klasa mocy 750 MWe) i ACR-1000 (klasa mocy 1150 MWe). Największą innowacją w tym bloku jest zastosowanie lekkiej wody jako czynnika odbioru ciepła, którym dotychczas była również ciężka woda. Przy projektowaniu bloków ACR opartych na technologii CANDU i spełniającej wymagania rynkowe przyjęto następujące zasadnicze cele projektowe:

- redukcja kosztu inwestycyjnego,
- skrócenie harmonogramu projektowania,
- zwiększenie i/lub utrzymanie wszystkich marginesów bezpieczeństwa,
- zwiększenie dyspozycyjności i łatwości utrzymania w ruchu,
- uwzględnienie w projekcie istniejących i w pełni przetestowanych technologii, oraz
- uwzględnienie możliwości wykorzystania przyszłościowych opcji paliwa.

Niżej zdefiniowane są potrzeby technologiczne dla bloku ACR, które w naturalny sposób rozszerzają potencjał reaktorów CANDU:

- większe marginesy termiczne, bezpieczeństwa i eksploatacyjne umożliwiające elastyczne opcje projektowe i wybór mocy wyjściowej,
- zredukowane oddziaływanie na otoczenie w kategoriach zajmowanego obszaru, ilości odpadów i możliwości lokalizacyjnych umożliwiające elastyczność w wyborze lokalizacji i budowy,
- zwiększona wydajność i zredukowany koszt inwestycyjny oraz podniesiona sprawność, by konkurować z zaawansowanymi elektrowniami cieplnymi, osiągając sprawność termiczną większą niż 36%, idąc ku wartościom odpowiadającym reaktorowi typu SCWR (reaktor na nadkrytycznych parametrach wody),
- cykle paliwowe, które wykorzystują uran pierwotny i z przerobu, tor i paliwo mieszane, co pozwala na utrzymanie dalszego rozwoju,
- niższe wymagania liczebności personelu dla utrzymania ruchu, eksploatacji, przeładunku paliwa i sterowania,
- redukcja kosztów eksploatacji pomaga zachowaniu konkurencyjności i stabilności cen energii,
- zwiększenie limitów wypalenia paliwa i bardziej elastyczne schematy wymiany paliwa, oraz
- projekt wykorzystujący wytworzone już elementy.

Korzystając ze zgromadzonych doświadczeń kierunek rozwoju reaktorów CANDU można zarysować w pięciu punktach:

- Podniesienie ekonomiki poprzez obniżenie kosztów inwestycyjnych, eksploatacyjnych i konserwacji, polepszenie wskaźników eksploatacyjnych i niezawodnościowych.



- Podniesienie bezpieczeństwa, zarówno w projekcie jak i w systemach inżynierskich i elementach pasywnych projektu.
- Podniesienie wykorzystania zasobów poprzez ich oszczędność, ochronę środowiska i redukcję ilości odpadów.
- Adaptacja technologii na poziomie urządzeń, które zostały rozwinięte jako owoc intensywnych prac i pozyskiwania doświadczeń.
- Jednocześnie, projekt opiera się na mocnych podstawach i charakterystykach systemu CANDU, a także korzysta z wyczerpujących doświadczeń zdobytych w reaktorach lekko-wodnych (LWR).

Łącznie te osiągnięcia w sposób przejrzysty i oczywisty prowadzą do istotnej redukcji w kosztach inwestycyjnych. Lecz potencjał rozwoju koncepcji rur ciśnieniowych nie zatrzymał się na tym, jeśli oceniamy rozwój potrzebny do dalszej penetracji światowego rynku w horyzoncie czasowym do 2025 roku i dalej.

Na horyzoncie czasowym jak i przed 2020 rokiem widzimy znaczący udział reaktorów ACR. Wskazuje to na potrzebę budowania elektrowni, które są masowo produkowane z większą wydajnością i efektywnością, o jeszcze niższych kosztach i w jeszcze większym stopniu oparte na lokalnych i narodowych dostawcach. Projekt oparty na koncepcji rur ciśnieniowych pozwala na spełnienie tego zadania, gdyż nie potrzeba dużych zbiorników ciśnieniowych.

Na dalszą przyszłość zostały już określone nowe koncepcje. Uważa się, że koncepcja rur ciśnieniowych pozwala na dużą elastyczność w projektowaniu reaktora IV-tej generacji na wodę o parametrach nadkrytycznych jako, że profile gęstości, mocy i rozkład strumienia neutronów mogą być dalej optymalizowane. Dalsza redukcja kosztów inwestycyjnych wydaje się możliwa pomimo wzrostu kosztów materiałów pracujących w warunkach nadkrytyczności wody. Ponadto, korzystanie z istniejących turbin na parametry nadkrytyczne oznacza, że nie potrzebny jest tu rozwój, co z kolei dalej redukuje koszty. Bezpieczeństwo jest również zapewnione w tej koncepcji, gdyż woda o parametrach nadkrytycznych posiada zredukowaną energię termiczną na jednostkę objętości oraz obudowa bezpieczeństwa (containment) może być również zoptymalizowany dla zredukowanego obciążenia cieplnego.

Konsorcjum AECL posiada i oferuje zaawansowane technologie reaktorowe:

- Zmodyfikowany reaktor CANDU 6, który jest gotowy do budowy w najbliższym czasie i spełnia kryteria reaktora III generacji i oczekuje się, że pewna ich ilość będzie budowana w najbliższym czasie. Blok ACR-1000, który jest reaktorem generacji III+ i stanowi ewolucję technologii CANDU. Jego projekt wykorzystuje doświadczenia z bloków CANDU 6, pracujących zarówno w Kanadzie jak i w innych krajach.

## 7. Zagadnienia prawne energetyki jądrowej w Polsce i w Unii Europejskiej [16, 17]

Elektrownie jądrowe różnią się od innych instalacji przemysłowych z punktu widzenia oddziaływania na środowisko tym, że w czasie ich pracy powstają w stosunkowo niewielkiej ilości długo życiowe odpady promieniotwórcze wymagające odseparowania od środowiska naturalnego przez okres tysięcy lat. Charakter potencjalnego zagrożenia dla środowiska powoduje, że mimo ściśle określonej lokalizacji elektrowni jądrowej decyzja o jej budowie ma charakter międzynarodowy. Stąd niespotykane w zasadzie dla każdej innej technologii obwarowania regulacyjne wszelkich przedsięwzięć dotyczących energetyki jądrowej.

Występują trzy główne elementy regulacyjnego aspektu energetyki jądrowej:

- wszystkie etapy procesu inwestycyjnego, jak decyzje lokalizacyjne, wybór rozwiązań technicznych, szczegółowy reżim eksploatacji i likwidacji elektrowni jądrowych oraz zagospodarowania powstałych odpadów wymagają formalnej reglamentacji,
- dla realizacji programu reglamentacji, poprzez formalne licencjonowanie powyższych działalności z punktu widzenia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony przed promieniowaniem, a także pełnienia funkcji weryfikacji i kontroli zgodności podjętych rozwiązań z prze-

pisami prawa i udzielonymi zezwoleniami, powoływane są, zgodnie z międzynarodowymi regulacjami, specjalistyczne, rządowe urzędy dozoru jądrowego,

- zbudowany został światowy system prawny, oparty na konwencjach i traktatach międzynarodowych o praktycznie uniwersalnym zasięgu, dotyczący głównie zagadnień bezpieczeństwa jądrowego i ochrony przed promieniowaniem oraz zapobiegania rozprzestrzenianiu broni jądrowej i system ten jest nadal umacniany, a poprzez zobowiązania państw do uczestniczenia w tym międzynarodowym systemie następuje ujednocnianie krajowych standardów oraz ma miejsce ściśle określony system międzynarodowej weryfikacji i kontroli spełniania wymagań zawartych w międzynarodowych regulacjach.

Polski system regulacyjny dotyczący dziedziny wykorzystania energii jądrowej odpowiada wymaganiom tych trzech elementów.

Zagadnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej (bjor) reguluje w Polsce ustawa – Prawo atomowe z dnia 29 listopada 2000 r (Dz.U. z 2004 r., Nr 161, poz. 1689 z późn. zm.), która reglamentuje działalność związaną z narażeniem na działanie promieniowania jonizującego poprzez wprowadzenie obowiązku uzyskiwania zezwoleń w zakresie bjor na wykonywanie działalności polegającej na budowie, rozruchu, próbnej eksploatacji, stałej eksploatacji oraz likwidacji obiektów jądrowych, w tym elektrowni jądrowych. Zezwolenia na wykonywanie ww. działalności wydaje Prezes Państwowej Agencji Atomistyki. Wniosek o wydanie zezwolenia na budowę, rozruch i próbną eksploatację obiektu jądrowego składa inwestor i to na nim spoczywa, w okresie ustalania lokalizacji, projektowania, budowy, rozruchu i próbnej eksploatacji obiektu jądrowego, obowiązek spełnienia wymagań bjor oraz ochrony fizycznej obiektu jądrowego, a także budynków i urządzeń, których uszkodzenie lub zakłócenie pracy mogłoby spowodować skutki istotne z punktu widzenia bjor. Na etapie stałej eksploatacji i likwidacji obiektu jądrowego obowiązek ten spoczywa na operatorze - kierowniku jednostki organizacyjnej eksploatującej obiekt, który również składa wniosek o wydanie zezwolenia na stałą eksploatację i likwidację obiektu jądrowego.

W każdym przypadku podjęcie decyzji o wydaniu zezwolenia musi być poprzedzone dokonaniem przez Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki analizy, czy zostały spełnione wymagane prawem warunki wykonywania danej działalności. Przepisy ustawy Prawo atomowe mówią, że w okresie projektowania, budowy, rozruchu i eksploatacji obiektu jądrowego należy stosować rozwiązania techniczne i organizacyjne, które w świetle osiągnięć nauki i techniki są niezbędne do tego, aby na wszystkich etapach eksploatacji narażenie osób przebywających lub innych osób i skażenie środowiska było możliwie jak najmniejsze przy rozsądnym uwzględnieniu czynników ekonomicznych i społecznych i nie przekraczało dawek granicznych promieniowania jonizującego. Ustawa Prawo atomowe oraz akty wykonawcze do niej nie regulują wymagań lokalizacyjnych odnośnie obiektu jądrowego ani też wymagań technicznych czy organizacyjnych, jakie powinien spełniać obiekt jądrowy, w szczególności elektrownia jądrowa. Wymagania te są szczegółowo określone w publikacjach Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA). W toku dalszej dyskusji nad budową w Polsce elektrowni jądrowej warto zastanowić się, czy część z nich, przynajmniej dotycząca kwestii zasadniczych z punktu widzenia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, nie powinna zostać włączona do prawa krajowego.

W myśl Prawa atomowego rządowym urzędem dozoru jądrowego jest Państwowa Agencja Atomistyki (PAA). Jej Prezes jest jedynym organem właściwym w sprawach licencjonowania z punktu widzenia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej oraz sprawowania nadzoru i kontroli przestrzegania wymagań w tym zakresie.

Do obowiązków Prezesa PAA należy też wykonywanie zobowiązań Polski w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa oraz stosowania środków bezpieczeństwa określonych w traktacie Europejskiej Wspólnoty Energii Atomowej, którego Polska jest członkiem.

Obowiązujące przepisy międzynarodowe, w tym ustawodawstwo Unii Europejskiej wymaga skutecznego rozdzielenia funkcji organu dozoru jądrowego od funkcji dowolnego innego organu lub organizacji w zakresie promocji lub wykorzystywania energii jądrowej. W celu wypełnie-

nia tych zobowiązań międzynarodowych dokonano w polskim prawie wyraźnego rozdzielania funkcji promocyjnych i nadzoru, zgodnie z którym:

- w sprawach działalności związanej z wykorzystaniem energii atomowej na potrzeby społeczno-gospodarcze kraju właściwym jest Minister Gospodarki,
- w sprawach bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej właściwym jest Prezes PAA. Organami prezesa PAA w sprawach nadzoru i kontroli są Główny Inspektor Dozoru Jądrowego oraz inspektorzy dozoru jądrowego uprawnieni do kontroli obiektów jądrowych.

Polska przystąpiła do międzynarodowego systemu prawa w zakresie szeroko rozumianego bezpieczeństwa jądrowego i radiacyjnego oraz nierozprzestrzeniania broni jądrowej i jest członkiem wszystkich, wymienionych niżej, międzynarodowych konwencji stanowiących obecnie ten system:

- Układ o nierozprzestrzenianiu broni jądrowej (NPT),
- Konwencja o wczesnym powiadamianiu o awarii jądrowej,
- Konwencja o pomocy w przypadku awarii jądrowej,
- Konwencja bezpieczeństwa jądrowego,
- Wspólna konwencja bezpieczeństwa w postępowaniu z wypalonym paliwem jądrowym i bezpieczeństwa w postępowaniu z odpadami promieniotwórczymi,
- Konwencja o ochronie fizycznej materiałów i obiektów jądrowych (jeszcze nie publikowana w Dzienniku Ustaw po ostatniej nowelizacji),
- Konwencja o odpowiedzialności cywilnej za szkody jądrowe.

Ponadto, jako członek Unii Europejskiej, Polska podlega dodatkowym uregulowaniom w zakresie nadzoru nad instalacjami jądrowymi, obrotem wszelkich substancji promieniotwórczych oraz monitoringiem radiologicznym środowiska i produktów powszechnego użytku.

Polski system prawny w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony przed promieniowaniem zbudowany został w zgodności z tymi międzynarodowymi uregulowaniami. System ten będzie wymagał w sytuacji podjęcia decyzji o rozwoju w Polsce energetyki jądrowej niezbędnego uszczegółowienia.

Decyzja o budowie elektrowni jądrowej powinna zawierać koncepcję zagospodarowania wypalonego paliwa jądrowego i odpadów promieniotwórczych, w tym odpadów powstałych w czasie likwidacji obiektu jądrowego. Rozpatrywana w długim okresie czasu, efektywna i bezpieczna gospodarka odpadami promieniotwórczymi w Polsce wymaga:

- zlokalizowania, zaprojektowania, wybudowania i uruchomienia nowego składowiska odpadów promieniotwórczych nisko- i średnio-aktywnych,
- zlokalizowania, zaprojektowania, wybudowania i uruchomienia ostatecznego składowiska w głębokich pokładach geologicznych przewidzianego dla wypalonego paliwa jądrowego, długożyciowych odpadów alfa-promieniotwórczych i odpadów wysoko-aktywnych, a także stworzenia stabilnego systemu finansowego dla zapewnienia budowy, eksploatacji i w końcu zamknięcia tych składowisk.

Wykonane w ostatnich latach prace lokalizacyjne dotyczące zarówno powierzchniowego składowiska odpadów promieniotwórczych jak i składowiska w głębokich pokładach geologicznych wskazują, że w Polsce występuje szereg struktur perspektywicznych dla lokalizacji takich obiektów. Oznacza to, że rozwiązanie problemu składowania odpadów promieniotwórczych zarówno nisko-, średnio- jak i wysoko-aktywnych nie będzie narażać na trudności o charakterze technicznym. Wspomniane prace lokalizacyjne były realizowane w latach 1997-1999 w ramach Strategicznego Programu Rządowego „Gospodarka odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym w Polsce.”

W wyniku tych prac stwierdzono, że za najbardziej perspektywiczny z punktu widzenia budowy głębokiego składowiska takich odpadów jest kompleks górnokarbońskich skał ilastych na

monoklinie przedsudeckiej (okolice Jarocina i Pogorzeli) oraz wysady solne: Damasławek, Kłodawa (część południowa) oraz Łanięta.

Zapoczątkowane przez PAA prace mające na celu wypracowanie koncepcji postępowania z wysoko-aktywnymi, długo-życiowymi odpadami promieniotwórczymi oraz wypalonym paliwem jądrowym wymagają kontynuacji. Za kwestie gospodarki odpadami promieniotwórczymi odpowiada Minister Gospodarki – jako organ właściwy w sprawach działalności związanej z wykorzystaniem energii atomowej na potrzeby społeczno-gospodarcze kraju oraz Minister Skarbu Państwa – będący organem założycielskim i nadzorującym państwowe przedsiębiorstwo użyteczności publicznej Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych.

Obowiązujące ustawodawstwo atomowe Unii Europejskiej [17] pochodzi z dwu źródeł: Traktatu, który ustanowił w roku 1957 Europejską Wspólnotę Energii Atomowej (Euratom) oraz prawa ustanowionego na jego podstawie ("*acquis communautaire*") jak i porozumień międzynarodowych zawartych przez wspólnotę, mających zastosowanie jednocześnie do Wspólnoty jak i do jej państw członkowskich.

Jednym z podstawowych zadań Wspólnoty Euratom są działania promocyjne, wspierające i koordynujące.

Traktat stwarza podstawy i zachęca do prowadzenia badań oraz wymiany informacji w sektorze jądrowym, jak również do kształcenia i praktycznego szkolenia.

Jednym z przykładów działalności wspierającej jest praca Wspólnego Ośrodka Badań, który koordynuje programy badawcze finansowane przez Komisję Europejską, w tym badania nad ochroną przed promieniowaniem, bezpieczeństwem jądrowym oraz przetwarzaniem odpadów promieniotwórczych. Istotnym wydarzeniem było przystąpienie wspólnoty do Międzynarodowego Forum „Generacja IV”, którego celem jest rozwój koncepcji reaktorów jądrowych nowej generacji, o zwiększonym poziomie bezpieczeństwa, produkującej mniej odpadów i lepiej zabezpieczonych przed ryzykiem dywersji materiałów rozszczepialnych na cele broni jądrowej.

Ważnym elementem działalności wspierającej Wspólnoty jest udzielanie pożyczek, głównie długoterminowych, dla finansowania inwestycji w sektorze energetyki jądrowej, spełniających wymagania regulacji krajowych oraz posiadających pozytywną ocenę Komisji Europejskiej, sięgających do 20% całkowitych kosztów projektu. Wspólnota podejmuje również działania w ramach starań o zapewnienie długofalowego bezpieczeństwa dostaw materiałów jądrowych dla krajów Unii Europejskiej. W tym celu utworzono Agencję Dostaw Euratomu, która stoi na straży równego dostępu do źródeł tych materiałów oraz działa na rzecz dywersyfikacji tych źródeł. Ponadto, Traktat przewiduje możliwość udzielania pomocy finansowej dla programów poszukiwania rud uranu na terytoriach państw członkowskich oraz tworzenia zapasów komercyjnych i na wypadek zagrożenia dostaw.

Istnieje obowiązek wczesnego informowania Komisji o projektach inwestycyjnych określonego rodzaju i skali podejmowanych w krajach członkowskich oraz informowania przez użytkowników i producentów o zapotrzebowaniu na rudy, materiały wyjściowe i specjalne materiały rozszczepialne oraz o zasobach, szacunkowej wielkości produkcji oraz programie dostaw. W oparciu o zebrane informacje Agencja informuje użytkowników i wytwórców o trendach panujących na rynku.

Drugim aspektem wspólnotowego prawodawstwa atomowego są akty prawne zmierzające do zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i radiologicznego oraz przejrzystości dotyczącej stosowanych praktyk. Sprawy ochrony przed promieniowaniem jonizującym reguluje Dyrektywa Rady Nr 96/29Euratom, która odzwierciedla podstawowe standardy opracowane w tym zakresie przez: Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (MAEA), Światową Organizację Zdrowia (WHO) oraz Międzynarodową Komisję Ochrony Radiologicznej (ICRP). Na mocy Dyrektywy państwa członkowskie mają obowiązek wprowadzenia postanowień ograniczających dawki promieniowania otrzymywane przez pracowników. Ponadto, zobowiązane są

do: zapewnienia, by ryzyko narażenia ludności było ograniczone zgodnie z zasadą ALARA (tak niskie jak to jest racjonalnie osiągalne), ustanowienia systemu inspekcji, wprowadzenia konkretnych środków zapobiegania narażeniom oraz prowadzenia ciągłego monitoringu poziomów promieniotwórczości.

W zakresie bezpieczeństwa instalacji jądrowych Wspólnota jest stroną międzynarodowej Konwencji Bezpieczeństwa Jądrowego zawartej w 1996 roku pod auspicjami MAEA. W ramach samej Wspólnoty harmonizacja przepisów i praktyk dotyczących bezpieczeństwa jądrowego zapoczątkowana została w 1975 roku, jednakże jak dotąd brak jest wspólnych zasad w tej dziedzinie, określonych w wiążącym ustawodawstwie wtórnym ("*acquis communautaire*") Wspólnoty jako całości. Według Stowarzyszenia Zachodnioeuropejskich Urzędów Dozorów Jądrowych (WENRA) przepisy są wspólne dla wszystkich państw średnio w około 50%.

Traktat Euratom nakłada na państwa członkowskie obowiązki w zakresie bezpiecznego postępowania z odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym oraz w zakresie składowania odpadów radioaktywnych. Wspólnota jest ponadto stroną Połączonej Konwencji w tym zakresie zawartej w 2001 roku pod auspicjami MAEA.

Komisja Europejska prowadzi działania zmierzające do przyjęcia Dyrektywy w tym zakresie zmierzającej do przyspieszenia prac prowadzących do budowy składowisk dla wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych oraz do zagwarantowania wystarczających środków finansowych dla postępowania z odpadami na zasadzie „płaci zanieczyszczający”.

Przewozy odpadów promieniotwórczych są regulowane przez ustawodawstwo unijne (Dyrektywa Nr 92/3/Euratom). Przepisy dotyczące samego transportu substancji promieniotwórczych zawarte są w szeregu Dyrektywach Rady dotyczących transportu towarów niebezpiecznych.

W oparciu o dwie konwencje opracowane pod auspicjami MAEA, o wczesnym powiadamianiu o awariach jądrowych oraz o wzajemnej pomocy w przypadku awarii, wydano akty prawne, których celem jest ochrona ludności w przypadku zagrożenia radiologicznego na terenie UE. Ponadto stworzony został system pod nazwą ECURIE służący gromadzeniu i przetwarzaniu informacji dla Wspólnoty na wypadek takiego zagrożenia. Jest on połączony z odpowiednim systemem MAEA.

Również w zakresie odpowiedzialności za szkody jądrowe oraz stosowanie środków przeciwdziałania rozprzestrzenianiu broni jądrowej zasady regulujące postępowanie krajów członkowskich Wspólnoty w szerokim zakresie opierają się na regulacjach MAEA, a w tej drugiej dziedzinie istnieje ścisła współpraca obu organizacji.

## 8. Przygotowanie kadr dla energetyki jądrowej (18)

Wysoko wykształcona, dobrze wyszkolona i zaangażowana kadra jest najważniejszym czynnikiem sukcesu amerykańskich elektrowni jądrowych. Przygotowanie wysokokwalifikowanego personelu jest podstawowym elementem infrastruktury niezbędnej w kraju planującym wprowadzenie energetyki jądrowej.

Z technologią jądrową wiążą się wyjątkowe rodzaje ryzyka i określana jest przeto mianem wymagającej (*demanding*) i niewybaczającej (*unforgiving*). Pracownicy elektrowni jądrowej muszą zatem dążyć do doskonałości technicznej i organizacyjnej oraz do wysokiej kultury bezpieczeństwa jądrowego. Zapewnienie szerokiej wiedzy w dziedzinie problemów radiologicznych jest istotną częścią tej kultury, obok przyjmowania odpowiedzialności za bezpieczeństwo, przewidywania i przygotowania się na sytuacje nieoczekiwane, identyfikowania i raportowania zagadnień odnoszących się do bezpieczeństwa oraz minimalizacji ekspozycji personelu na działanie materiałów radioaktywnych. W myśl tych wymagań nie wolno zakładać, że bezpieczeństwo elektrowni jądrowych jest zapewnione.

Doświadczenia amerykańskie wskazują, że eksploatacja jedno blokowej elektrowni wymaga zatrudnienia średnio około 800 wysokokwalifikowanych pracowników, z odchyleniem  $\pm 300$  osób, o następujących kwalifikacjach:

Inżynierowie budowlani	5
Inżynierowie komputerowi, elektrotechnicy oraz systemów pomiarowych i sterujących	20
Inżynierowie mechanicy	15
Inżynierowie jądrowi	25
Inżynierowie projektanci i utrzymania obiektu	30
Operatorzy systemu sterowania i wyposażenia bloku	75
Technicy chemicy	20
Technicy utrzymania ruchu	135
Technicy ochrony radiologicznej i gospodarki odpadami promieniotwórczymi	35
Personel ochrony fizycznej	70
Personel szkoleniowy	35
Pozostały personel	335
Razem	800

Różne czynniki prawne, organizacyjne i lokalizacyjne wpływają na faktyczną liczebność personelu. Istnieją liczne opracowania MAEA dotyczące oceny wymaganych ilości i rodzajów kwalifikacji personelu elektrowni jądrowych.

Wkrótce po podjęciu decyzji o zaniechaniu budowy elektrowni jądrowej w Żarnowcu zarzucono w Polsce programy edukacji związane z tą inwestycją i z zamierzeniami budowy dalszych elektrowni jądrowych.

Ponieważ stało się to około 15 lat temu wystąpi więc obecnie najpierw potrzeba wykształcenia nauczycieli akademickich w dziedzinie inżynierii reaktorowej, jako podstawa do podjęcia programów nauczania na wydziałach inżynierii: budowlanej, mechanicznej, elektrycznej, metalurgicznej, chemicznej, komputerowej i środowiskowej oraz na wydziałach fizyki. Wyższe uczelnie techniczne w Warszawie, Krakowie, Gdańsku i Gliwicach zorganizowały, dla zaspokojenia powyższych potrzeb, studia w zakresie inżynierii jądrowej w połowie lat 60-tych i później i prawdopodobnie mogłyby podjąć je powtórnie. Ich realizacja wymaga czasu ocenianego na 4-6 lat dla inżynierów jądrowych, 2-4 lat dla starszych operatorów reaktora, a jeszcze więcej dla szefów zmian personelu eksploatacyjnego elektrowni. Do tego trzeba dodać okres niezbędnych praktyk w pracujących elektrowniach jądrowych, głównie w krajach dostawców urządzeń tych elektrowni.

Uzupełniającymi formami edukacji i szkolenia szeroko dostępnymi są letnie warsztaty, które mogłyby być organizowane przy współpracy z MAEA. Istnieją też spore możliwości uczenia inżynierii reaktorowej na kursach Internetu organizowanych przez uniwersytety stanów Tennessee, Oregon, Pensylwania, Nowy York oraz Północnej Karoliny. Polskie uczelnie techniczne mogłyby nawiązać współpracę z tymi uczelniami w celu uzupełnienia własnych programów nauczania, w zakresie w którym będą występować braki własnej kadry.

MAEA organizuje w ramach swych programów współpracy technicznej różne formy szkolenia wykorzystując potencjał jej krajów członkowskich eksploatujących elektrownie jądrowe. Podejmuje też inne programy mające na celu pomoc państwom członkowskim w budowaniu infrastruktury związanej z inicjowaniem rozwoju energetyki jądrowej. Pojawiły się też pomocne publikacje MAEA oraz amerykańskiego Instytutu Eksploatacji Elektrowni Jądrowych (EPRI) o charakterze instrukcji dla szkoleń personelu elektrowni jądrowych.

Odrębnym zagadnieniem będzie organizacja kształcenia wysoko wykwalifikowanych techników.

Podejmując zadanie opracowania planu przygotowania zasobów ludzkich dla inicjowanego programu budowy elektrowni jądrowych można sięgnąć do doświadczeń amerykańskich, gdzie powołanie komitetów złożonych z przedstawicieli uczelni i zarządów towarzystw energetycznych okazało się pomocne.

Działalność społecznej informacji o energetyce jądrowej wymagać też będzie podjęcia szerokiego programu publicznej edukacji i informacji w tym zakresie, wykorzystującego różne formy działania. Dobrym przykładem takiego działania jest Publiczny Program Edukacyjny (*Public Education Program*) Amerykańskiego Towarzystwa Nukleonowego, z własną stroną internetową adresowaną do szerokiej publiczności ([www.aboutnuclear.org](http://www.aboutnuclear.org)).

Przy podejmowaniu programów edukacji dla energetyki jądrowej oraz przedsięwzięć zmierzających do kształtowania pożądanego ducha zespołów personelu elektrowni należy uwzględnić zachodzące zmiany nastawienia ludzi młodej generacji w porównaniu z generacją ich ojców w sprawach definicji sukcesu i akceptacji dróg prowadzących do jego osiągnięcia.

## **9. Ewolucja stanu opinii publicznej wobec energetyki jądrowej [19,20,21,22]**

W przyjętym przez Rząd RP w dniu 4 stycznia 2005 roku dokumencie „Polityka energetyczna Polski do 2025 roku” znajduje się stwierdzenie o konieczności wprowadzenia energetyki jądrowej i uruchomienia pierwszej elektrowni jądrowej w latach 2021-2022. Założenia te zostały potwierdzone w „Programie dla elektroenergetyki” przyjętym w marcu 2006 roku. W pierwszym dokumencie stwierdzono, że „... realizacja tego przedsięwzięcia wymaga jednak uzyskania społecznej akceptacji. Ponieważ prognozy wskazują na potrzebę pozyskiwania energii elektrycznej z elektrowni jądrowych w drugim dziesięcioleciu rozpatrywanego okresu, to – biorąc pod uwagę długość cyklu inwestycyjnego – konieczne jest niezwłoczne rozpoczęcie społecznej debaty na ten temat.”

W sytuacji tego postulatu postanowiono włączyć do programu konferencji NPPP 2006, obok referatu informującego o stanowisku polskiego społeczeństwa wobec energetyki jądrowej, referaty z USA, Francji i Szwecji zawierające informacje o aktywnych w tych krajach programach informacyjnych w tej dziedzinie oraz o znaczącej ewolucji, która zaszła w ostatnim okresie w stanie opinii społecznej o energetyce jądrowej.

W Polsce sondaże postaw społeczeństwa wobec wykorzystania energii jądrowej, w szczególności wobec energetyki jądrowej, prowadzone są co dwa lata poczynając od 1994 roku z inicjatywy Państwowej Agencji Atomistyki. Przeprowadzają je organizacje specjalistyczne (Demoskop w latach 1994-2000 i Pentor od 2003 roku), drogą wywiadów osobistych, w grupie reprezentatywnej Polaków o liczebności powyżej 1000 osób w wieku powyżej 15 roku życia.

W USA setki studiów dotyczących opinii publicznej sponsorował, poczynając od roku 1983, Instytut Energii Atomowej (Nuclear Energy Institute - NEI) i realizowano je pod kierownictwem Bisconti Research Inc. Pierwsze ogólnokrajowe badanie przeprowadzono w sierpniu 2005 na wybranej losowo grupie 1000 osób w wieku 18 lat. Równocześnie, dokonano sondażu opinii społecznej wokół każdej z 64 elektrowni jądrowych w USA. Przebadano po 18 dorosłych osób, łącznie 1152, z wyłączeniem zamieszkałych tam pracowników elektrowni.

W Szwecji utworzona została w roku 1987 Grupa Analityczna w ramach Szwedzkiego Centrum ds. Szkolenia i Bezpieczeństwa Jądrowego należącego do szwedzkich elektrowni jądrowych. Członkowie grupy, dobierani na podstawie kompetencji, działają głównie w obszarach: promieniowanie jonizujące i jego skutki, bezpieczeństwo reaktora oraz porównania ryzyka. Grupa przeprowadza dwa razy w roku badania opinii publicznej, a wyniki są publikowane w postaci raportów, biuletynów oraz na stronach internetowych ([www.analysis.se](http://www.analysis.se)).

We Francji aktywny program informowania społeczeństwa i budowy opinii publicznej prowadzony jest przez AREVA we współpracy z EdF, wykorzystując również społeczne organizacje badania opinii publicznej

Wyniki ostatnich badań przeprowadzonych w czterech omawianych krajach wskazują na znaczący wzrost poparcia dla rozwoju energetyki jądrowej.

W Polsce, w sondażu przeprowadzonym w 2004 roku, 59 % respondentów wypowiedziało się za zmniejszeniem spalania węgla w elektrowniach, 20% nie popiera takiego kierunku działań i aż 21% nie ma w tej sprawie własnego zdania. Aż 72% badanych uważa, że należy ograniczać wykorzystywanie paliw organicznych emitujących CO<sub>2</sub>. Jedyne 10% nie zgadza się z tą opinią. W pewnym stopniu spójne z tym stanowiskiem jest 42% poparcia dla energetyki jądrowej nie emitującej CO<sub>2</sub> 35% respondentów miało odmienne zdanie i 20% nie miało własnego zdania. W ciągu ubiegłych 10 lat poparcie dla wykorzystywania energetyki jądrowej w Polsce wyrażało 30-35% a 40-50% wypowiadało się przeciw opcji jądrowej. Natomiast znacznie niższe, chociaż znaczące, jest poparcie dla budowy elektrowni jądrowej w miejscowości respondentów, 31%, przy 54% przeciwnego zdania. Główne przyczyny wyrażania opozycji wobec wykorzystywania energetyki jądrowej to obawa przed awarią i skażeniem środowiska (82%), problemy z unieszkodliwianiem odpadów promieniotwórczych (35%), brak informacji o zagrożeniach i korzyściach związanych z energią jądrową (26%) i kojarzenie energetyki jądrowej ze zrzuceniem bomby atomowej w Hiroszimie (20%). Ten ostatni czynnik nie występował zupełnie w wynikach badań w innych krajach. Zwraca uwagę wysoki udział osób, najwyższy w porównaniu z pozostałymi krajami, niemających własnego zdania zarówno w ocenie skutków spalania węgla (21%) czy też zalet lub wad energetyki jądrowej (20%), co potwierdza też opinia 25% respondentów o braku informacji na ten temat.

W USA ogólnonarodowy sondaż przeprowadzony w 2005 roku wykazał, po raz pierwszy w ciągu 20 lat, 70% poparcie dla użytkowania energetyki jądrowej, przy 24% respondentów przeciwnego zdania. W okresie od roku 1982 poparcie to stopniowo wzrastało od poziomu 49% a opinie przeciwne malały od 46%. W ciągu ostatnich dwu lat poparcie dla energetyki jądrowej wzrosło od 60 do 70%. To wysokie poparcie wystąpiło we wszystkich regionach USA, w przedziale 65-72%.

Zaskakująco wysokie było poparcie dla energetyki jądrowej w społecznościach wokół elektrowni jądrowych. Dobre wrażenia na temat pobliskich elektrowni jądrowych miało 87% respondentów a tylko 3% było przeciwnego zdania. Poparcie dla wykorzystywania energetyki jądrowej wyraziło 83% respondentów a 76% sąsiadów zaakceptowałoby dodanie nowego reaktora w pobliskiej elektrowni jądrowej. Tak więc zjawisko NIMBY (nie na moim podwórku), szeroko występujące na świecie, zniknęło w USA, kraju eksploatującym ponad 100 reaktorów energetycznych.

W ogólnokrajowym sondażu badano również przyczyny poparcia dla szerokiego wykorzystywania energetyki jądrowej. Występują wśród nich zarówno czynniki krajowe jak i światowe. W pierwszej grupie, to zademonstrowana przez szereg lat wysoka niezawodność pracy elektrowni jądrowych, dająca w ostatnich latach poziom dyspozycyjności mocy około 90%, rosnąca świadomość korzyści przynoszonych przez energię jądrową w postaci czystego powietrza, niezawodności pracy oraz relatywnie niskich i stabilnych kosztów produkcji energii elektrycznej, co oznacza stabilność cen płaconych za energię.

Za główne czynniki zewnętrzne uznano gwałtownie rosnące ceny ropy i gazu, długotrwały konflikt na Bliskim Wschodzie unaoczniający zależność energetyczną od niestabilnych politycznie części świata, wpływ huraganów na stabilność dostaw ropy i gazu oraz zdolność elektrowni jądrowych do produkcji energii bez emisji CO<sub>2</sub>.



Istotną przyczyną rosnącego zaufania społecznego do energetyki jądrowej jest też pozytywna postawa towarzystw energetycznych. Po długim okresie braku zainteresowania inwestowaniem w tej dziedzinie obecnie 9 towarzystw energetycznych poinformowało Urząd Dozoru Jądrowego o planach ubiegania się o licencje na budowę nowego reaktora energetycznego.

W Szwecji, po awarii w EJ Three Mile Island dominowały nastroje antyjądrowe i w wyniku przeprowadzonego ogólnie narodowego referendum rząd zdecydował, wprawdzie doprowadzić do końca rozpoczęte budowy elektrowni jądrowych, ale jednak zamknąć wszystkie elektrownie jądrowe do roku 2010. Bezpośrednio po awarii w Czarnobylu społeczne poparcie dla energetyki jądrowej spadło do 30 % i stopniowo rosło do poziomu 60% w roku 1997 oraz do około 75% w roku 2005. W roku 1997 trzy główne partie polityczne – Socjaldemokraci, Partia Centrowa i Partia Lewicowa postanowiły stopniowo likwidować energetykę jądrową, poczynając od EJ Barsebaeck, której pierwszy blok zamknięto w 1999 roku, a drugi w 2005 roku.

W 1997 roku Grupa Analityczna przeprowadziła ogólnokrajowy sondaż opinii publicznej, który w oparciu o zadane pytania przyniósł następujące stanowiska:

- kontynuować eksploatację istniejących elektrowni jądrowych do czasu ich technicznej i ekonomicznej sprawności – 38%,
- kontynuować eksploatację istniejących elektrowni jądrowych a po ich wycofaniu zastąpić je nowymi blokami jądrowymi – 24%,
- rozwijać energetykę jądrową i budować w miarę potrzeby nowe bloki jądrowe w zwiększonej liczbie – 15%,
- zamykać elektrownie jądrowe zgodnie z decyzją rządu niezależnie od ich sprawności – 20%,
- brak zdania – 3%.

Kolejne sondaże nie przyniosły istotnych zmian w tym rozkładzie opinii, w myśl którego ogólne poparcie dla energetyki jądrowej wynosi ponad 75% a 20% respondentów jest przeciwne tej opinii.

W odpowiedzi na pytania dotyczące aspektów środowiskowych 80% respondentów uznało zahamowanie wzrostu emisji gazów cieplarnianych, jako cel najważniejszy a tylko 8% poparło rezygnację z energetyki jądrowej.

Decyzję zamknięcia EJ Barsebaeck 60% respondentów uznało za błędną, 25% za słuszną, a 4% nie miało własnego zdania.

Zwraca uwagę w omawianych sondażach niski procent osób nie zdecydowanych w swoich opiniach, co wskazuje na wysoką skuteczność programów nauczania i informowania o zagadnieniach gospodarki energetycznej.

We Francji firma AREVA zainicjowała w 2001 roku szeroki, aktywny program informacji o energetyce jądrowej adresowany zarówno do ludzi gospodarki jak i szerokiej społeczności, inicjujący dyskusje a nie tylko odpowiadający na krytykę i idący dalej niż uspokajające stwierdzenia typu „energetyka jądrowa jest tańsza i nie tak niebezpieczna”.

Dokonywana szeroka ocena w latach 1994-2005 odpowiedzi na pytanie czy słuszną bądź błędną była decyzja rozwoju energetyki jądrowej do poziomu 75% udziału w ogólnej produkcji energii elektrycznej wskazuje na utrzymywanie się opinii – decyzja słuszną – na poziomie 52%, przy czym w okresie 2002-2004 udział wyrażycieli tej opinii wzrósł z 44% do 52%. Udział wyrażycieli opinii – błędna decyzja – wzrósł w tym okresie z 28% do 38%, przy czym w latach 2002- 2004 spadł z 42% do 38%.

Analiza przyczyn wzrostu poparcia wskazuje głównie na obawy efektu cieplarnianego, ekonomiczne i środowiskowe korzyści przynoszone przez energetykę jądrową oraz ostrą wrażliwość Francuzów, mających w pamięci konflikt z Algierią, na napięcie między Żydami i Palestyńczykami. W tle tych obaw dominująca jest dbałość o bezpieczeństwo energetyczne Francji

Pozytywne doświadczenie z niezawodnością pracy elektrowni jądrowych we Francji powoduje, że opinia iż zagadnienia bezpieczeństwa jądrowego są mało lub zupełnie nie ważne wzrosła z 27% w roku 1990 do 45% w roku 2003.

Łącznie różne opinie oceny dotyczące odnawialnych źródeł energii wskazują, że:

- energia wiatru może zapewnić jedynie mały udział w produkcji energii elektrycznej:
  - tak 79%
  - nie 21%
- źródła energii charakteryzujące się nieregularnością pracy (energia słońca i wiatru) nie mogą zapewnić regularnych dostaw energii:
  - tak 71%
  - nie 29%
- niestety, energia słońca nie może zapewnić szerokich dostaw energii elektrycznej na warunkach konkurencyjnych:
  - tak 75%
  - nie 25%.

Po dyskusji parlamentarnej w 1991 roku na temat gospodarki odpadami promieniotwórczymi postanowiono odłożyć podjęcie decyzji w tej sprawie do 2006 roku. Przez 15 lat pracowały nad tym zagadnieniem Komisja Parlamentarna dla Oceny Opcji Naukowych i Technicznych oraz Francuska Narodowa Komisja Oceny (French National Evaluation Commission) i przygotowały propozycje decyzji, które po poddaniu konsultacjom społecznym zostały w 2006 roku przedstawione Parlamentowi do decyzji.

Proponowane przepisy opierają się na trzech głównych zasadach:

- celem ograniczenia objętości generowanych odpadów wypalone paliwo będzie podlegać przerobowi a wydzielony materiał paliwowy będzie zwracany do cyklu paliwowego.
- nieprzerobione paliwo będzie przechowywane w przejściowych składowiskach do czasu dostatecznego wystygnięcia. Istnieją rozwiązania pozwalające na bezpieczne składowanie przejściowe przez 1000–1500 lat.
- po wystygnięciu wysoko aktywne i długo życiowe odpady będą złożone w głębokich podziemnych składowiskach z możliwością późniejszego wydobycia.

Recyklizacja plutonu i uranu pozwoli na oszczędzenie 22% naturalnego uranu, przy wzroście kosztów produkcji energii elektrycznej o 6%. Recyklizacja pozwoli na utworzenie zapasów uranu i plutonu do wykorzystania w reaktorach Generacji IV. Po wejściu do eksploatacji reaktorów prędkich Generacji IV (lata 2030–2040) będzie możliwa transmutacja długo życiowych odpadów promieniotwórczych, stąd uzasadnienie dla możliwości wydobycia w przyszłości tych odpadów z głębokich podziemnych składowisk.

Trzy z spośród przedstawionych czterech referatów pochodzą z krajów o wieloletnich własnych doświadczeniach w zakresie energetyki jądrowej. Dokonywane w tych krajach oceny stanu bezpieczeństwa jądrowego, ryzyka awarii czy ekonomicznej konkurencyjności elektrowni jądrowych, które wpływają na ewolucję stanu opinii publicznej co do przyszłego jej rozwoju, opierają się w dużym stopniu na własnych doświadczeniach. Szerszy jest też w tych krajach, jak widać, zakres rozważań światowej sytuacji na rynku źródeł energii.

W konsekwencji udział osób nieposiadających własnej opinii w zagadnieniach energetyki jądrowej jest względnie niski.

Udział tej grupy osób jest natomiast kilkakrotnie wyższy w Polsce.

## 10. Dyskusja panelowa pod hasłem: Co dalej?

Dyskusji panelowej przewodniczył pan Janusz Steinhoff, wicepremier w rządzie prof. Jerzego Buzka w latach 1997–2001. Najpierw zostaną omówione wystąpienia panelistów, a następnie głosy z sali.

Bernard Roche, Senior Vice President, Nuclear Affairs, Electricite de France.

Potrzebna jest szeroka zgoda społeczeństwa na rozwój energetyki jądrowej. We Francji przedstawiciele partii politycznych będących w opozycji w parlamencie mówią o sprawach energetyki jądrowej tym samym językiem co partie rządzące. Osiągnięcie tego stanu wymaga szerokiej dyskusji wszystkich aspektów gospodarki energetycznej mających wpływ na wybór opcji, między innymi problemu emisji CO<sub>2</sub>. Taka dyskusja wymaga przejrzystego przedstawienia tych aspektów, uwzględniając także zagadnienia likwidacji elektrowni jądrowych i gospodarki odpadami promieniotwórczymi.

Istotny wpływ na osiągnięcie tej szerokiej zgody ma pozytywne doświadczenie w eksploatacji elektrowni jądrowych w kraju a także za granicą. Ważny jest też system finansowy kraju pozwalający lokalnym społecznościom na korzystanie z podatków i opłat ponoszonych przez przedsiębiorstwa jądrowe.

Za konieczne warunki dla przemysłowego rozwoju energetyki jądrowej uznać należy:

- Utworzenie silnej organizacji regulacji i dozoru jądrowego, niezależnej od przemysłu jądrowego. Ma to istotne znaczenie zarówno dla zapewnienia bezpiecznej pracy instalacji jądrowych jak i dla budowy społecznego zaufania w tym zakresie. Warunkiem dla osiągnięcia tego celu jest wysoki poziom zawodowy personelu tej organizacji, w której powinni się też znaleźć ludzie krytyczni wobec energetyki jądrowej.
- Jasno i precyzyjnie sformułowane prawo atomowe zmniejszające niepewności w procesie licencjonowania. Jest to szczególnie istotne w przypadku obiektów o wysokich nakładach inwestycyjnych. Winno ono zapewnić miejsce dla konsultacji społecznych w demokratycznym procesie decyzyjnym, określając równocześnie granice czasowe dla ich przeprowadzania. Jest to istotne z punktu widzenia interesu inwestorów.
- Standaryzacja rozwiązań technicznych i organizacyjnych. Rozwiązania zaakceptowane na wczesnym etapie licencjonowania, również w krajach dostawców urządzeń, winny być uznane za takie w dalszych etapach procesu licencjonowania inwestycji.
- Wczesne zorganizowanie programu edukacji i szkolenia, poczynając od poziomu szkoły podstawowej. Należy wyszkolić kadrę profesorów wyższych uczelni w wybranych dziedzinach, którzy podejmą kształcenie przyszłych inżynierów. Korzystne jest przeszkolenie lekarzy w wybranych aspektach energetyki jądrowej. Cieszą się oni bowiem szerokim zaufaniem społeczeństwa.

Istotnym czynnikiem warunkującym realizację powyższych przedsięwzięć jest długotrwałe zaangażowanie rządu.

Jiri Beranek, President, Czech Nuclear Forum.

W odbywanej konferencji można dostrzec brak inwestora przyszłej elektrowni jądrowej jak również brak młodej generacji energetyków jądrowych. Dotychczasowy brak w Polsce rynku dla ich pracy spowodował odpływ studentów ze specjalności jądrowych.

W okresie ostatnich lat wystąpiły korzystne zmiany dla energetyki jądrowej w ramach Unii Europejskiej. Energetyka jądrowa jest obecnie uważana za pełnoprawne źródło energii i każdy kraj ma prawo decydować o jej wyborze. To jest ważny dorobek i mimo pewnych nieuniknionych wahań opinii istota tego stanowiska pozostanie trwała.

Istotne znaczenie ma zaangażowanie polityków w poparcie programu energetyki jądrowej. Czeskie Forum Nuklearne, niezależnie od przemysłu jądrowego, informuje regularnie polityków, członków Parlamentu Europejskiego oraz przewodniczących frakcji parlamentarnych w Pradze o istotnych zagadnieniach czeskiego programu nuklearnego. W tym działaniu opieramy się na zasadzie, że wszystkie dostępne źródła energii powinny być brane pod uwagę w kształtowaniu naszej polityki energetycznej, bez uprzywilejowanej pozycji któregokolwiek z nich. Na szczęście nie ma w Republice Czeskiej partii przeciwnej energetyce jądrowej. Informacje dostarczane przez nas politykom pozwalają na usuwanie pojawiających się wątpliwości i tym samym na unikanie upolityczniania dyskusji o energetyce jądrowej.

Inną ważną zmianą zaszła w ostatnich latach jest pojawienie się światowego rynku elektrowni jądrowych. Dobrze się stało, że główni dostawcy na tym rynku zostali zaproszeni do udziału w konferencji. Jej ograniczone ramy czasowe pozwoliły jedynie na pobieżne i raczej marketingowe przedstawienie nowych projektów reaktorów. Bardzo korzystne jest organizowanie technicznych dyskusji w gronie ekspertów, prowadzonych w oparciu o przygotowany zestaw pytań. Takie dyskusje zorganizowane przez nas z ekspertami firmy AREVA pozwoliły, między innymi, ocenić zakres obecnych możliwości czeskiego przemysłu w podejmowaniu budowy kolejnej elektrowni jądrowej. Warto podjąć takie dyskusje w Polsce, gdzie kilkanaście lat temu zrobiono wiele dla prowadzonej budowy elektrowni jądrowej w Żarnowcu. Można by dokonać oceny tego co jeszcze zostało i dzisiejszych możliwości polskiego przemysłu. Kontrakty pod klucz nie są bardzo zadawalające.

Wysokie tempo wzrostu PKB w Polsce powoduje, że problem pozyskania nowych źródeł energii staje się ważny. W tym kontekście właśnie należy zadawać pytanie czy kraj potrzebuje w dłuższej perspektywie energetyki jądrowej zabezpieczającej rozwój gospodarczy oraz, oczywiście reprezentującej wysoki poziom bezpieczeństwa.

Hanna Trojanowska, Dyrektor Departamentu Współpracy z Zagranicą i Nowych Technologii. PSE, S.A.

Pamięć o historii budowy Elektrowni Jądrowej Żarnowiec powinna skłaniać do refleksji nad tym czego należy unikać w podejmowaniu obecnych zamierzeń.

Dokonywana transformacja naszej gospodarki powinna przynieść zmianę tradycyjnych nastawień do energetyki jądrowej, zwłaszcza biorąc pod uwagę, że do 2030 roku zapotrzebowanie na energię elektryczną w Polsce ma się podwoić. Sprostanie temu zapotrzebowaniu i wymaganiom ochrony środowiska nie będzie możliwe bez energetyki jądrowej. Podjęcie stopniowego odchodzenia od dominującej roli węgla będzie możliwe dzięki wprowadzeniu nowego źródła energii – energetyki jądrowej – co zwiększy nasze bezpieczeństwo energetyczne, pozwoli na dotrzymanie zobowiązań traktatowych Polski co do ograniczenia emisji związków siarki, azotu i CO<sub>2</sub> oraz przyczyni się do zapewnienia racjonalnego poziomu kosztów produkcji energii elektrycznej.

W ramach PSE S.A. podjęte już zostały pewne działania wyprzedzające i inicjujące przygotowania do budowy elektrowni jądrowej. W dzisiejszej dyskusji podniesiona już została sprawa wyznaczenia organizacji, która ma inicjować te przedsięwzięcia i być za nie odpowiedzialna. Wydaje się, że do działań, które podjąć należy niezwłocznie zaliczyć należy:

- Wprowadzenie koniecznych uzupełnień i poprawek do odnośnego ustawodawstwa i przepisów oraz powoływanie centralnych i lokalnych organów niezbędnych dla właściwej organizacji całego procesu inwestycyjnego, w tym zapewnienie bezpieczeństwa jądrowego i radiologicznego.
- Stworzenie warunków do powołania inwestora pierwszej elektrowni jądrowej.
- Rozpoczęcie szkolenia kadr niezbędnych dla realizacji całego programu.
- Sformułowanie, w oparciu o niezbędne analizy, uzasadnień podjęcia rozwoju energetyki jądrowej.
- Podjęcie organizacji i rozwoju niezbędnej bazy badawczo rozwojowej.
- Opracowanie koncepcji gospodarki paliwem jądrowym i odpadami promieniotwórczymi.
- Zorganizowanie szerokiego programu informacji społecznej o energetyce jądrowej.
- Podjęcie kroków inicjujących i stymulujących udział polskiego przemysłu w programie rozwoju energetyki jądrowej.

Dyskusja z udziałem uczestników konferencji.

Dyskusję zapoczątkował pan premier Janusz Steinhoff, który podkreślił istnienie dzisiaj bardzo odmiennej sytuacji od tej, która doprowadziła 17 lat temu do likwidacji rozpoczętej budowy elektrowni jądrowej w Żarnowcu. Istniało wtedy bardzo silne lobby węglowe przeciwne energetyce jądrowej, ułomny rachunek kosztów, zapaść gospodarcza wywołująca około 700%

inflację, spadek zapotrzebowania na energię elektryczną oraz wielkie problemy natury społecznej i politycznej, w tym wpływ awarii w Czarnobylu na opinię społeczną.

W miarę upływu czasu coraz bardziej konieczna stawać się będzie substytucja węgla innymi nośnikami energii wymuszana czynnikami ekonomicznymi wywołanymi głównie rosnącymi wymaganiami ochrony środowiska. Koszty spalania węgla rosną. To czynniki ekonomiczne wymuszą postęp tej substytucji. Zeszłoroczna decyzja Rządu zapisana w dokumencie polityki energetycznej, zalecająca podjęcie rozwoju energetyki jądrowej, jest więc z wielu względów uzasadniona.

W obecnych warunkach ekonomicznych nie oznacza to finansowania tych inwestycji z budżetu państwa. Było by to sprzeczne z przyjętym modelem gospodarki i nie jest potrzebne. Państwo ma w swoim ręku funkcje regulacyjne i nadzorcze oraz może udzielać pomocy publicznej rozwojowi energetyki jądrowej, między innymi wspierając badania naukowe.

Istotnym zadaniem jest obecnie oddziaływanie informacyjne na społeczeństwo i na polityków. Tych dwu kierunków oddziaływania nie należy traktować oddzielnie. Na stanowisko polityków ma istotny wpływ opinia znacznej części elektoratu. Potrzebna jest praca organiczna, aby przeciętny obywatel przestał postrzegać energetykę jądrową głównie z perspektywy Czarnobyla, a dostrzegał ją w kontekście kosztów produkcji energii i ich wpływu na konkurencyjność gospodarki oraz w kontekście bezpieczeństwa energetycznego i ekologicznego Polski. Na świecie energetyka jądrowa jest na fali wznoszącej się i można być przekonanym, że budowa elektrowni jądrowej w Polsce będzie podjęta.

Następnie w dyskusji uczestników konferencji z członkami panelu podniesiono kilka ważnych zagadnień.

Budowa elektrowni jądrowych w Polsce będzie stanowić ratunek dla energetyki węglowej. Dzisiejsze normy emisji, szczególnie CO<sub>2</sub> wymuszą budowę dużych źródeł bezemisyjnych i można oczekiwać, że górnicy będą popierać podjęcie budowy elektrowni jądrowych. Zainteresowani tym kierunkiem przyszłego inwestowania są pracownicy elektrowni zasilanych węglem brunatnym. Istnieją tam kadry, sieci i woda do chłodzenia. Jedyną szansą na utrzymanie tam w przyszłości istniejącej infrastruktury jest budowa elektrowni jądrowych lub gazowych, z wyraźną preferencją dla elektrowni jądrowych.

Jeżeli środowisko energetyków nie wymusi rychło na Ministrze Gospodarki i Ministrze Skarbu Państwa wyznaczenia przyszłego inwestora pierwszej elektrowni jądrowej, który podjąłby niezbędne działania przygotowawcze, to będziemy toczyć bez końca jałowe dyskusje. To powinien być główny z wniosków wynikających z naszej konferencji. Taka decyzja ułatwi w tej dziedzinie rolę Rządu, który będzie musiał utworzyć organizację zajmującą się innymi zagadnieniami niż funkcje inwestycyjne. Łączne wydatki na te początkowe działania nie będą wysokie i duża organizacja energetyczna, z pośród takich, które powstaną w nieodległej przyszłości, będzie je w stanie sfinansować.

Obecnie istnieją w Polsce dwie możliwości co do przyszłości elektroenergetyki. Albo będziemy sprowadzać coraz droższy gaz, mocno obciążony ruchami światowego poziomu cen albo przynajmniej w części, pokryjemy potrzeby elektroenergetyczne przez elektrownie jądrowe. Gaz i tak będziemy wtedy importować dla zasilania mniejszych źródeł i dla ciepłownictwa.

Celowym wydaje się podjęcie przygotowań do zorganizowania w przyszłym roku konferencji, być może krajowej, poświęconej tematyce, jak energetyka jądrowa zaczyna się w Polsce organizować. Warto się będzie posłużyć w tych rozważaniach długoletnim doświadczeniem w tym zakresie mniejszych krajów, jak Finlandia czy Republika Czeska.

Stoimy obecnie w obliczu powstania nowej, dużej grupy energetycznej, prawdopodobnie drogą konsolidacji PSE S.A., po wydzieleniu Operatora Systemu Przesyłowego, z BOT – Gór-

nictwo i Energetyka. Potencjał tej nowej firmy może pozwolić myśleć o podjęciu dużego przedsięwzięcia inwestycyjnego. Jednakże sprawna realizacja tego wieloletniego przedsięwzięcia o tak dużej skali wymaga silnego zaangażowania politycznego, silnego sygnału politycznego, niezbędnego do zmobilizowania do udziału w nim jednostek naukowo-badawczych i organizacji elektroenergetyki. Bez takiego wyraźnego sygnału poparcia dla budowy pierwszej elektrowni jądrowej nie da się zachęcić młodych ludzi do podjęcia kilkuletnich studiów na kierunkach związanych z energetyką jądrową. A potrzeby w tym zakresie, po upływie 17 lat od decyzji o zaniechaniu budowy elektrowni jądrowej w Żarnowcu, są duże. W tym przedsięwzięciu możemy liczyć na pomoc organizacji międzynarodowych, szczególnie MAEA.

Z punktu widzenia zainteresowania PAA, jako organizacji dozoru jądrowego, korzystny byłby udział Polski w budowie nowej elektrowni jądrowej w Ignalinie na Litwie. Udział ten pozwoliłby nam na zdobycie doświadczenia w procesach licencjonowania i dozoru związanych z budową nowoczesnej elektrowni jądrowej.

## Załącznik Nr 1

### Spis referatów

#### Sesja I. Inauguracyjna

Otwarcie konferencji. Wystąpienia zaproszonych osobistości.

*Stanisław Bolkowski – Prezes, Stowarzyszenie Elektryków Polskich,  
Piotr Naimski – Sekretarz Stanu, Ministerstwo Gospodarki,  
Stanisław Dobrzański – Prezes Zarządu, PSE SA,  
Paweł Skowroński – Prezes Zarządu BOT GiE SA.*

1. Dlaczego istnieje w Polsce konieczność budowy elektrowni jądrowych?  
J. Marecki, Komitet Problemów Energetyki Polskiej Akademii Nauk,  
M. Duda, Agencja Rynku Energii, Polska

#### Sesja II. Rozwój energetyki jądrowej na świecie

2. Energia jądrowa: trendy globalne i spojrzenie w przyszłość.  
H. -H. Rogner, D. Weisser, MAEA, Austria
3. Renesans energetyki jądrowej w krajach Unii Europejskiej.  
S. Tulonen, FORATOM, Belgia
4. Doświadczenia w eksploatacji elektrowni jądrowych na świecie.  
L. Mampaey, WANO, Anglia
5. Postęp w dziedzinie bezpieczeństwa reaktorów jądrowych.  
S. M. Modro, M. W. Jankowski, MAEA, Austria
6. Konkurencyjność elektrowni jądrowych na świecie.  
E. Bertel, AEA/OECD, Francja
7. Piąty reaktor energetyczny w Finlandii.  
V. Ryhänen, TVO, Finlandia
8. Francuski program energetyki jądrowej - doświadczenia EDF.  
B. Roche, EDF, Francja
9. Porównanie różnych opcji energetycznych z punktu widzenia ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju.  
A. Voss, Uniwersytet Stuttgart, Niemcy

#### Sesja III. Wybrane projekty zaawansowanych elektrowni jądrowych

10. Projekt reaktora EPR.  
B. Debontride, AREVA, Francja
11. Projekt reaktora energetycznego AP1000.  
B. Doehnert, Westinghouse Electric, Belgia
12. Projekt reaktora ESBWR.  
C. Maslak, A. Carlson, J. Segarra, General Electric, USA
13. Elektrownia jądrowa z reaktorem WWER-1500.  
S. I. Antipov, M. F. Rogov, V. P. Novak, Rosenergoatom, Federacja Rosyjska
14. Przyszłość energetyki jądrowej opartej na zaawansowanych reaktorach typu CANDU.  
S. Doerffer, M. Ivanco, A. Alizadech, J. Hopwood, AECL, Kanada
15. Siemens: maszynownia dla elektrowni jądrowych.  
M. Ernst, Siemens, Niemcy

Wystąpienie pani E. Herczog, posłanki do Parlamentu Europejskiego

#### Sesja IV. Zagadnienia prawne, środowiskowe oraz kształcenia i szkolenia

16. Zasady licencjonowania elektrowni jądrowych w Polsce oraz koncepcje gospodarki odpadami promieniotwórczymi.  
P. Korzecki, J. Niewodniczański, PAA, Polska
17. Ramy prawne dla energetyki jądrowej w Unii Europejskiej.  
J. Kaniewski, PAA, Polska

18. Kształcenie i szkolenie personelu dla potrzeb energetyki jądrowej.  
R. L. Long, Nuclear Stewardship, LLC, USA

**Sesja V.** Informacja i dialog społeczny o energetyce jądrowej.

19. Społeczeństwo polskie wobec energetyki jądrowej.  
S. Latek, PAA, Polska)
20. Francuskie doświadczenia w zakresie informacji i komunikacji społecznej o energetyce jądrowej.  
A. Bucaille, AREVA, Francja
21. Ewolucja amerykańskiej opinii społecznej o energetyce jądrowej.  
A. S. Bisconti, Bisconti Research Inc.,  
R.L. Long, Past President, American Nuclear Society, USA
22. Informacja społeczna o energetyce jądrowej w Szwecji i ewolucja opinii społecznej.  
H. Ehdwall, Vattenfall, Szwecja

**Dyskusja panelowa na temat: Co dalej?**

*Janusz Steinhoff – (przewodniczący)*

*Jiří Beranek – Prezes, Czeskie Forum Nuklearne,*

*Bernard Roche – Wiceprezydent ds. Nuklearnych, Electricite de France,*

*Hanna Trojanowska – Dyrektor, Departament Spraw Międzynarodowych i Nowych Technologii, PSE SA*