

eko atom

NR 6/3 WRZESIEŃ-PAŹDZIERNIK 2012

MAGAZYN POPULARNONAUKOWY



09-10/2012

CASIW



MIĘDZYNARODOWA SZKOŁA ENERGETYKI JĄDROWEJ

REAKTORY PRĘDKIE IV GENERACJI

ŚLADAMI KRÓLA MIDASA

Stowarzyszenie Ekologów Na Rzecz Energii Nuklearnej

oraz

Stowarzyszenie Elektryków Polskich





zapraszają na
SEMINARIUM

ENERGETYKA JĄDROWA DLA POLSKI

**Bielsko-Biała
12-09-2012 godz. 13:00**

sala konferencyjna „Lazurytowa”
HOTEL DĘBOWIEC
na terenie Targów ENERGETAB

 www.seren.org.pl

 22 336 14 19 60 14 54 45 2

 seren@seren.org.pl



Ministerstwo
GOSPODARKI

informacja na stronie 11



eko  dom



SKŁAD REDAKCJI

Redaktor Naczelny

dr inż. Krzysztof Rzymkowski,

dr inż. Marek Rabiński,

dr inż. Andrzej Mikulski,

dr inż. Piotr Czerny (PGE),

Sekretarz Redakcji

mgr Jerzy Szczurkowski (SEP COSIW)

Redaktor Techniczny

Jarosław Cyrynger (SEP COSIW)

RADA PROGRAMOWA:

Przewodniczący

prof. dr hab. Maciej Sadowski,

Członkowie

prof. dr hab. Janusz Lewandowski (PW),

prof. dr hab. Łukasz Turski (UW)

prof. dr hab. Zdzisław Celiński,

prof. dr Andrzej Strupczewski,

prof. dr hab. Natalia Golnik (PW)

prof. dr hab. inż. Roman Domański

DOŁĄCZ I ZOBACZ RELACJE FOTOGRAFICZNE



Redakcja zastrzega sobie prawo dokonywania skrótów, korekty, edycji nadesłanych materiałów, oraz nie zwraca materiałów niezamówionych. Redakcja zastrzega sobie prawo do publikacji materiałów w dogodnym dla redakcji czasie i kolejności oraz niepublikowania materiału bez podania przyczyny. Redakcja nie odpowiada za treść zamieszczonych reklam ogłoszeń i innych płatnych.

EKOATOM JEST PRAWNIE ZASTRZEŻONYM
ZNAKIEM TOWAROWYM

Centralny Ośrodek Szkolenia i Wydawnictw
Ul. Świętokrzyska 14 00-050 Warszawa
tel. 22 336 14 19 fax. 22 336 14 25

www.cosiw.pl

e-mail: handlowy@cosiw.pl



Szanowni Państwo,

Prezentujemy szósty numer kwartalnika EKOATOM, jednocześnie dziękując za rosnące zainteresowanie - dotychczas www.ekoatom.com.pl zanotowała około 210 000 odwiedzin. Nadal będziemy dokładać starań, by atrakcyjność naszego pisma stale wzrastała.

Pragnąc bardziej przybliżyć problemy związane z energetyką jądrową w środowisku energetyków w ramach programu informacyjnego na temat budowy pierwszej polskiej elektrowni jądrowej,

Stowarzyszenia SEP, SEREN i redakcja EKOATOM zorganizowały w ramach mini konferencji towarzyszących Międzynarodowym Targom Energetycznym ENERGETAB w Bielsku Białej seminarium pt. „Energetyka jądrowa dla Polski” (będącym kontynuacją podobnych konferencji, w czasie targów energetycznych w Kielcach). Targi ENERGETAB obchodziły tym roku 25 lecie. W [Wiadomościach](#) przedstawiamy krótki opis targów, wywiad z Panią Minister H. Trojanowską, oraz program seminarium. Obecne przygotowania do budowy pierwszej elektrowni jądrowej w Polsce, po decyzji o zaprzestaniu budowy elektrowni w Żarnowcu, przypominają początki wprowadzania techniki jądrowej w latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku. Obawy społeczne, wywoływane wówczas doświadczeniami wojennymi, brak specjalistów, brak doświadczenia i wiedzy o nowej technice itp. były powszechne. Podobnie jak wówczas konieczne jest rzetelne przedstawienie informacji o energetyce jądrowej i technikach z nią powiązanych.

Zastrzeżenia co do możliwości wykorzystania energetyki jądrowej do celów wojskowych są stale aktualne. Zagadnienia związane z nierozprzestrzenianiem broni jądrowej, rozbrojeniem nuklearnym przedstawiono w artykułach A. Sudy, K. Rzymkowskiego i T. Wójcika.

W artykule M. Fujaka, K. Isajenki, i B. Piotrowskiej powracamy do kwestii bezpieczeństwa jądrowego, tak często poruszanego po katastrofie w Fukushima. Temat kontynuuje opis precyzyjnego przyrządu – wielokanałowego analizatora amplitudy wykorzystywanego do pomiarów promieniowania jonizującego, skażeń promieniotwórczych w dozymetrii i ochronie zdrowia, do badania radioaktywnych skażeń produktów żywnościowych, środowiska, materiałów budowlanych (K. Traczyk, Z. Guzik, M. Płomiński, S. Borsuk). Analizator został zaprojektowany, wykonany i jest produkowany w NCBJ w Świerku.

Prezentujemy również zaawansowane technologie reaktorów – reaktory prędkie IV generacji (P. Darnowski) oraz nowoczesne rozwiązania firmy GE Hitachi.

Jak mogą być wykorzystywane techniki jądrowe przedstawiono w interesującym artykule W. Głuszewskiego.

Trwałym elementem działań w zakresie popularyzacji energetyki jądrowej w Polsce stała się Szkoła Energetyki Jądrowej, zapoczątkowana przez Instytut Energii Atomowej POLATOM i kontynuowana przez Narodowe Centrum Badań Jądrowych. (A. Strupczewski, Ł. Koszuk, E. Szlichcińska, G. Kosicka). Informujemy też o Memorandum w sprawie Energetyki Jądrowej w Polsce, wystosowanym przez p. Andrzeja G. Chmielewskiego, Prezesa SEREN, p. Jerzego Barglika, Prezesa SEP, Ewę Mańkiewicz-Cudny, Prezesa FSNT NOT, p. Zbigniewa Zimka, Prezesa PTN, które zostało skierowane do Kancelarii Premiera w dniu 25.07.2012.

Czasopismo EKOATOM powstało z myślą uzupełniania wiedzy w dziedzinie techniki jądrowej dla możliwie szerokiego odbiorcy. Jak zwykle, wszystkich chętnych, a przede wszystkim specjalistów, serdecznie zapraszamy do współpracy i publikowania na naszych łamach.

Na pierwszym zebraniu założycielskim postanowiono, by czasopismo było powszechnie dostępne w internecie bez żadnych dodatkowych opłat ze strony czytelników.

alszy losy naszego czasopisma uzależnione są od wsparcia sponsorów – Zespół Redakcyjny prosi o kontakt zainteresowanych kontynuacją istnienia naszego kwartalnika

Redaktor Naczelny
Dr inż. Krzysztof Rzymkowski

Wiadomości

- 06. MINISTER TROJANOWSKA NA KONFERENCJI GENERALNEJ MAEA**
- 06. FIŃSKIE DOŚWIADCZENIA JĄDROWE W MG**
- 07. CZTERY SPÓŁKI PODPISAŁY LIST INTENCYJNY DOTYCZĄCY BUDOWY I EKSPLOATACJI PIERWSZEJ POLSKIEJ ELEKTROWNI JĄDROWEJ**
- 08. MEMORANDUM W SPRAWIE ENERGETYKI JĄDROWEJ W POLSCE**
- 12. POWIEDZMY „TAK” DLA ATOMU - WYWIAD Z MINISTER TROJANOWSKĄ**

Elektrownie Jądrowe

Piotr Darnowski

16. REAKTORY PRĘDKIE IV GENERACJI CHŁODZONE CIEKŁYMI METALAMI

Powszechnie stosowane na świecie reaktory jądrowe pracujące na neutronach o energiach termicznych nie są w stanie zapewnić pełnego wykorzystania potencjału, jaki drzemie w uranie.

86. ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE REAKTORÓW JĄDROWYCH GE HITACHI

Jaki jest najlepszy typ reaktora jądrowego, biorąc pod uwagę potrzeby i oczekiwania związane z nowymi obiektami? Wyboru typu reaktora należy dokonać uwzględniając następujące trzy czynniki: bezpieczeństwo, sprawność i ekonomikę.

Paliwo jądrowe

Krzysztof Rzymkowski

30. MIĘDZYNARODOWA KONTROLA MATERIAŁÓW JĄDROWYCH

Odpowiedzialność za bezpieczeństwo korzystania z materiałów jądrowych spoczywa na państwie, na którego terenie się one znajdują. Jednakże, ze względu na konieczność zapewnienia pełnego bezpieczeństwa, ochrona i kontrola tych materiałów powinna opierać się na rozległej współpracy z wyspecjalizowanymi organizacjami międzynarodowymi.

Promieniowanie jonizujące

Krystyna Traczyk, Zbigniew Guzik, Michał Płomiński, Stanisław Borsuk

42. POLSKA APARATURA DO POMIARÓW SKAŻEŃ PROMIENIOTWÓRCZYCH ANALIZATOR SPEKTROMETRYCZNY TUKAN 8K.

Pracownicy (elektronicy, fizycy i programiści) Instytutu Problemów Jądrowych w Świerku (obecnie Narodowe Centrum Badań Jądrowych) zajmują się od ponad 30 lat problematyką spektroskopii jądrowej.

Marian FUJAK, Krzysztof A. ISAJENKO, Barbara PIOTROWSKA

50. SIĘĆ STACJI RADIOLOGICZNEGO MONITORINGU POWIETRZA W POLSCE (STACJE TYPU ASS-500)

Można zadać sobie pytanie, czy w kraju, który nie posiada energetyki jądrowej, taki system jest rzeczywiście potrzebny. Otóż Polska nie posiada ... elektrowni jądrowych, ale u naszych najbliższych sąsiadów jest ich dość dużo.

Andrzej Suda

58. KONFERENCJA ROZBROJENIOWA

JAKO NAJWAŻNIEJSZE FORUM ROZBROJENIA NUKLEARNEGO

Narody Zjednoczone praktycznie od swojego powstania dążyły do eliminacji broni nuklearnej. Pierwsza rezolucja przyjęta przez Zgromadzenie Ogólne ONZ w 1946 r. powołała Komisję, której zadaniem byłoby m.in. przedłożenie propozycji “eliminacji z narodowych arsenałów broni atomowej i wszelkich innych broni mogących służyć masowej zagładzie”.

Tadeusz Wójcik

62. MIĘDZYNARODOWA AGENCJA ENERGII ATOMOWEJ

„Agencja dąży do tego aby przyspieszyć i zwiększyć wykorzystanie energii atomowej w celu zapewnienia pokoju, zdrowia i dobrobytu na całym świecie. Agencja będzie czuwać nad tym, w miarę swych możliwości, aby pomoc udzielana przez nią samą, na jej życzenie, pod jej nadzorem lub zarządkiem nie była wykorzystywana w sposób mogący służyć jakimkolwiek celom militarnym.”

Wojciech Głuszewski

76. ŚLADAMI KRÓLA MIDASA

Konserwacja dzieł sztuki początkowo polegała na studiach porównawczych, kompozycyjnych, ikonograficznych i stylistycznych. Wszystkie one, podobnie jak proste metody fizyko-chemiczne nie dawały dostatecznie pełnej informacji o badanym obiekcie. Dopiero zastosowanie technik jądrowych pozwoliło na szczegółowe rozpoznanie i identyfikację materiału, z którego wykonano dzieło.

Andrzej Strupczewski, Łukasz Koszuk, Ewa Szlichcińska, Gabriela Kosicka

82. MIĘDZYNARODOWA SZKOŁA ENERGETYKI JĄDROWEJ

W dniach 7-10 maja 2012 r. odbyła się już piąta edycja Szkoły, która, ze względu na uczestnictwo w niej takich firm jak Areva, General Electric czy Westinghouse, zyskała charakter międzynarodowy.



Minister Trojanowska na Konferencji Generalnej MAEA

Uruchomienie w Polsce projektu jądrowego otwiera nowy rozdział w dziedzinie rozwoju ekonomicznego i społecznego Polski. Przygotowania do tego przedsięwzięcia prowadzimy zgodnie z wymogami prawa europejskiego i rekomendacjami Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej – powiedziała Pełnomocnik Rządu ds. Polskiej Energetyki Jądrowej Hanna Trojanowska. 18 września 2012 r. wiceminister gospodarki przewodniczyła delegacji polskiej na 56. Sesję Konferencji Generalnej MAEA. Jak poinformowała, Polska przygotowała już otoczenie legislacyjne i instytucjonalne, niezbędne do rozwoju energetyki jądrowej. – Jesteśmy w finalnej fazie przygotowań do przyjęcia misji INIR (Integrated Nuclear Infrastructure Review), która odbędzie się w I kw. 2013 r. – powiedziała.

W przyszłym roku zostanie przeprowadzona w naszym kraju także misja Integrated Regulatory Review Service. Jest to usługa przeglądową oferowana przez MAEA państwom członkowskim w celu zapewnienia obiektywnej oceny ram regulacyjnych bezpieczeństwa jądrowego. Wiceminister Trojanowska zapewniła, iż polscy eksperci, bazując na rekomendacjach MAEA i WENRA, opracowali szczegółowe wymogi bezpieczeństwa dla obiektów jądrowych, dotyczące zarówno ich lokalizacji, budowy, eksploatacji, jak również likwidacji i składowania odpadów promieniotwórczych. Do pełnienia obowiązków instytucji dozoru jądrowego przygotowuje się Państwowa Agencja Atomistyki, która przechodzi głębokie zmiany organizacyjne. Eksperci MAEA w kwietniu 2010 r. wstępnie ocenili zrealizowane dotychczas działania, z zadowoleniem przyjęli informacje o postępie prac nad Programem polskiej energetyki jądrowej oraz zmianami prawnymi.



Fińskie doświadczenia jądrowe w MG

Rozwój energetyki jądrowej w Finlandii oraz metody postępowania z wypalonym paliwem były głównym tematem polsko-fińskiego seminarium, które 12 września 2012 r. odbyło się w Ministerstwie Gospodarki. Organizatorami spotkania były Departament Energii Jądrowej MG oraz Departament Energii Ministerstwa Pracy i Gospodarki Finlandii.

Doświadczenia fińskie w rozwijaniu sektora jądrowego przedstawił Herkko Plit, zastępca dyrektora generalnego Departamentu Energii Ministerstwa Pracy i Gospodarki Finlandii. Podobnie jak w przypadku Polski, głównym celem fińskiej polityki energetycznej jest zapewnienie konkurencyjnych dostaw energii przy jednoczesnym spełnieniu międzynarodowych zobowiązań dotyczących ochrony środowiska. Rocznie w Finlandii zużywa się 87,5 TWh energii. W 2010 r. aż 25 proc. produkowanej w tym kraju energii elektrycznej pochodziło ze źródeł jądrowych. Finlandia należy do zliberalizowanego wspólnego Północnego rynku energii elektrycznej, w którym decyzje producentów dotyczące inwestycji w budowę elektrowni są oparte przede wszystkim na kryteriach ekonomicznych.

Program energetyki jądrowej Finlandii jest rozpisany na ponad 100 lat, aż do zabezpieczenia zużytego paliwa z reaktorów, także tych jeszcze nie uruchomionych. Zużyte w nich paliwo będzie stopniowo od 2020 r. trafiać do budowanego obecnie ostatecznego składowiska radioaktywnych odpadów Onkalo, położonego obok elektrowni Olkiluoto. Zgodnie z postanowieniami fińskiego prawa atomowego z 1994 r. wszelkie odpady nuklearne produkowane w Finlandii muszą być przechowywane w kraju.

Cztery spółki podpisały list intencyjny dotyczący budowy i eksploatacji pierwszej polskiej elektrowni jądrowej

PGE Polska Grupa Energetyczna SA, KGHM Polska Miedź SA, Tauron Polska Energia SA oraz Enea SA podpisały dzisiaj list intencyjny dotyczący nabycia udziałów w spółce celowej, powołanej do budowy i eksploatacji pierwszej polskiej elektrowni jądrowej.

Zgodnie z listem, spółki podejmą się wypracowania projektu umowy nabycia udziałów w PGE EJ 1 sp. z o.o., spółce celowej, która odpowiada za bezpośrednie przygotowanie procesu inwestycyjnego budowy i eksploatacji pierwszej polskiej elektrowni jądrowej. Umowa ma regulować prawa i obowiązki każdej ze stron przy realizacji projektu, przy założeniu, że PGE Polska Grupa Energetyczna SA będzie pełnić, bezpośrednio lub poprzez podmiot zależny, rolę wiodącą w procesie przygotowania i realizacji projektu. W liście podkreślono, że PGE przy wykorzystaniu spółek celowych rozpoczęła prace związane z przygotowaniem budowy pierwszej polskiej elektrowni jądrowej, w tym prace związane z rozpoznaniem i zapewnieniem standardów, w jakich prowadzone są inwestycje jądrowe na świecie.

*- PGE rozważa umożliwienie partnerom biznesowym uczestnictwa w projekcie poprzez udział kapitałowy w spółce celowej powołanej przez PGE do realizacji projektu jądrowego. Może to pozytywnie wpłynąć na zwiększenie efektywności biznesowej projektu, m.in. poprzez dywersyfikację ryzyka, jak i sprawniejsze zarządzanie kluczowymi elementami procesu inwestycyjnego – mówi **Krzysztof Kilian**, prezes Zarządu PGE Polska Grupa Energetyczna SA. - To przełomowy moment dla polskiej energetyki jądrowej ze względu na fakt, że największe polskie przedsiębiorstwa zdecydowały o zamiarze wspólnej współpracy na rzecz kluczowego projektu dla Polski.*

*- TAURON Polska Energia, zgodnie ze swoją strategią korporacyjną zakładającą dywersyfikację paliw w wytwarzaniu energii, planuje posiadać w swoim portfelu wytwórczym około 2025 roku kilkaset megawatów z energii atomowej – mówi **Dariusz Lubera**, prezes Zarządu TAURON Polska Energia SA. – Nasza spółka od kilku lat chciała współuczestniczyć w pierwszym polskim projekcie atomowym. Cieszymy się, że w grupie znaleźli się mocni biznesowo i doświadczeni partnerzy. Budowę kompetencji w zakresie energetyki jądrowej rozpoczęliśmy kilka lat temu między innymi organizując dla naszych kadr specjalistyczne studia.*

*- Musimy znaleźć inne źródła, które pozwolą nam na funkcjonowanie za 20 – 30 lat. W interesie nas wszystkich jest kwestia, czym zastąpić węgiel – dodaje **Maciej Owczarek**, prezes Zarządu Enea SA. - Cieszymy się, że jesteśmy partnerem tego projektu, tym bardziej, że to dla nas wszystkich zupełnie nowe, nieodkryte pole działania. Mamy wiele do zrobienia w tym temacie.*

*- To ważny i przyszłościowy projekt, zarówno dla kraju, polskich firm, jak i KGHM. Definiujemy w nim swoją rolę poprzez pryzmat naszych kompetencji górniczych – mówi **Herbert Wirth**, prezes Zarządu KGHM Polska Miedź SA. - Szeroko rozumiana energetyka to sektor wzrostowy. Zgodnie ze strategią rozwoju KGHM stanowi istotny element dywersyfikacji naszych przychodów.*

MEMORANDUM W SPRAWIE ENERGETYKI JĄDROWEJ W POLSCE

Zapewnienie dostaw energii elektrycznej zarówno na bieżące potrzeby, jak i w perspektywie następnych dziesięcioleci jest jednym z najważniejszych zadań Państwa w zakresie bezpieczeństwa energetycznego kraju.

W Polsce zużywamy znacznie mniej energii elektrycznej na jednego mieszkańca, niż wynosi średnia w krajach Unii Europejskiej. Powodem jest rozbudowane ciepłownictwo w większości aglomeracji miejskich oraz niedostateczny jeszcze poziom technologiczny w wielu dziedzinach przemysłu. W tej sytuacji, nawet po wdrożeniu koniecznych mechanizmów oszczędzania energii, należy się liczyć ze wzrostem zapotrzebowania na energię elektryczną. Prognozuje się, że średnio zużycie energii elektrycznej będzie wzrastać w tempie ok. 1-2 % rocznie. Pokrycie wzrastającego zapotrzebowania oraz uzupełnienie ubytków mocy zainstalowanej spowodowanych wyłączeniem starych bloków lub polityką klimatyczną będzie wymagać budowy nowoczesnych elektrowni i elektrociepłowni. Prognozy wskazują, że w okresie do 2030 r. w Polsce powinno się wybudować nowe bloki o łącznej mocy ok. 33 000 MW. Wszystkie nowe źródła powinny spełniać dwa podstawowe kryteria:

- ekologiczne, w zakresie ograniczenia emisji zanieczyszczeń do atmosfery wpływających na zdrowie społeczeństwa oraz zmniejszenie emisji dwutlenku węgla, w ramach polityki ekologicznej UE,
- ekonomiczne, w celu zapewnienia racjonalnych kosztów wytwarzania energii co wynika z oczywistych wymogów polityki gospodarczej i społecznej.

Obydwa powyższe kryteria spełnia właśnie energetyka jądrowa, gdyż charakteryzuje się praktycznie zerową emisją CO² i niskimi kosztami wytwarzania energii.

Potwierdza to większość analiz renomowanych światowych ośrodków badawczych.

Po wydarzeniach w japońskiej elektrowni jądrowej w Fukushima, podobnie jak to było po katastrofie na Ukrainie w Czarnobylu, pojawiły się obawy na temat bezpieczeństwa i kosztów wytwarzania w tej technologii, mimo tego, że w tym pierwszym przypadku nie było ofiar śmiertelnych wynikających bezpośrednio z tej awarii i spowodowanych promieniowaniem jonizującym.

Psychoza wokół tych wydarzeń doprowadziła jednak w Niemczech do podjęcia decyzji o wycofaniu z eksploatacji ośmiu reaktorów uruchomionych przed 1980 r. i zatrzymaniu pracy pozostałych reaktorów do 2022 r. W Szwajcarii wszystkie reaktory mają być wycofane z eksploatacji po upływie projektowanego okresu pracy, natomiast we Włoszech zrezygnowano z powrotu do stosowania technologii jądrowej w energetyce. Media zachodnie nie ukrywają, że decyzje te podjęte były przy dyskretnym, ale skutecznym wsparciu wielkich koncernów zasilających konwencjonalne elektrownie w paliwo oraz mających opanowaną od lat produkcję maszyn i urządzeń dla tych elektrowni.

W Japonii natomiast trwają prace nad ustaleniem niezbędnego zakresu modyfikacji eksploatowanych bloków jądrowych. Wykonano analizę konkurencyjności japońskich EJ w odniesieniu do innych technologii wytwarzania, która wykazała niższe koszty wytwarzania energii w technologii jądrowej, nawet po uwzględnieniu niezbędnych modernizacji po Fukushima. Według ostatnich doniesień uruchomiono z początkiem lipca br. pierwszy reaktor od czasu katastrofy w Fukushima.

W USA w związku z rozpoczęciem eksploatacji rodzimych złóż taniego gazu łupkowego należy się liczyć z pewnym spowolnieniem dalszego rozwoju energetyki jądrowej, aczkolwiek wciąż udzielane są koncesje na budowę nowych jądrowych jednostek wytwórczych i w bieżącym roku ma nastąpić faktyczne rozpoczęcie budowy 4 bloków.

W raporcie Światowej Rady Energetycznej „Perspektywa energetyczna świata: Energetyka jądrowa rok po Fukushima” (World Energy Perspective: Nuclear Energy One Year After Fukushima) stwierdzono, że należy oczekiwać istotnych zmian w zakresie rozwoju energetyki jądrowej w krajach pozaeuropejskich. Przewiduje się natomiast rozwój międzynarodowych standardów bezpieczeństwa oraz konieczność rozszerzenia wiedzy o istocie energetyki jądrowej, aby uniknąć możliwości wykorzystywania naturalnych obaw społecznych do manipulowania opinią publiczną.

W Polsce wydarzenia w EJ Fukushima nie zmieniły zamierzeń rządu w zakresie budowy elektrowni jądrowej.

wych. Realizowany jest program polskiej energetyki jądrowej, uchwalono w ubiegłym roku dwie ustawy, a w tym roku rozpoczęto realizację szerokiego programu informacyjnego o tej technologii. Niestety po Fukushima uaktywniły się tradycyjne i nowe ośrodki przeciwników energetyki jądrowej. Do działań, których nie obserwowano wcześniej należy zaliczyć ekspansję niemieckiego ruchu antynuklearnego na teren Polski, wyrażającą się m.in. w postaci tysięcy maili przesłanych do Ministerstwa Gospodarki i innych organów rządowych, protestujących przeciwko budowie EJ w naszym kraju. Owa intensyfikacja działań rodzimych i niemieckich przeciwników energetyki jądrowej doprowadziła do obniżenia poparcia dla tej technologii w sondażach społecznych i była jedną z przyczyn negatywnego wyniku referendum przeprowadzonego na obszarach jednej z potencjalnych lokalizacji EJ na wybrzeżu.

Jednocześnie rozbudzane są w świadomości społecznej przez wielu naukowców nadmierne nadzieje, że do zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego Polski wystarczy zracjonalizowanie użytkowania energii, rozwój odnawialnych źródeł energii i perspektywa wykorzystania rodzimych zasobów gazu łupkowego. Zakłada się zbyt optymistycznie, że nadal będzie można wykorzystywać węgiel mimo restrykcyjnych wymagań polityki klimatycznej Unii Europejskiej, gdyż uda się opanować i wdrożyć technologie wychwytu i składowania dwutlenku węgla. Te idee są chętnie przyjmowane przez polityków, gdyż trafiają w przekonania wielu osób, że te technologie są już opanowane i w powszechnym mniemaniu bezpieczne. Ich rozwój jest pożądany, lecz stosownie do racjonalnych ekonomicznie zasobów i z uwzględnieniem kosztów wytwarzania energii.

Obecna polityka rządu nie odpowiada randze i znaczeniu energetyki jądrowej dla przyszłości zaopatrzenia Polski w energię elektryczną. Nie widać zaangażowania i wsparcia ze strony organów politycznych poza ustanowieniem Pełnomocnika Rządu ds. Polskiej Energetyki Jądrowej, który konsekwentnie - przy wsparciu Ministerstwa Gospodarki - dąży do realizacji celów wskazanych w programie polskiej energetyki jądrowej. Na obecnym etapie zrezygnowano z utworzenia instytucji (agencji) wspomagającej działanie Pełnomocnika i koordynującej oraz wspomagającej działania sektora przemysłowego i sektora badawczo-rozwojowego (B+R) dedykowanego dla wspierania przygotowywanej inwestycji. To pasywne poparcie polityczne rozwoju energetyki jądrowej świadczy o tym, że widocznie duża część polityków nie jest zorientowana lub w pełni przekonana do zasadności budowy EJ w Polsce. Oznacza to konieczność ukierunkowania akcji informacyjnej także na polityków, poczynając od szczebla centralnego, a kończąc na szczeblach gminnych, zwłaszcza w rejonach, które wstępnie wytypowano jako dogodne do lokalizacji EJ. Nie należy zaniedbywać oczywiście generalnej informacji dla społeczeństwa, aby zmniejszyć nieuzasadnione obawy i strach przed energetyką jądrową. Aktywność przekazywania informacji poprzez służącą temu celowi stronę internetową www.poznaiatom.pl musi być zasadniczo wzmocniona.

Najważniejszym tematem działań wyjaśniających powinno być uświadomienie ogółowi społeczeństwa groźnych skutków dla kraju, jeśli już wkrótce nie będzie budowana energetyka jądrowa.

Być może dotychczasowe analizy krajowe i zagraniczne, wskazujące na celowość i zasadność budowy EJ w świetle wydarzeń w Europie po Fukushima nie są wystarczające i trzeba je skutecznie wzmocnić i uaktualnić. Analizy te powinny zawierać rzeczowe ustosunkowanie się do całej masy bałamutnych informacji przytaczanych przez przeciwników energetyki jądrowej, w tym również zagranicznych. Wyniki tych analiz powinny jednak być przedstawione w sposób przystępny, zrozumiały dla przeciętnego obywatela. Do wykonania tych analiz powinni być zaangażowani najlepsi eksperci krajowi i zagraniczni, dysponujący odpowiednimi narzędziami analitycznymi. Nie wystarczą eksperci tylko w zakresie PR, aczkolwiek ich rola jest istotna.

Powodzenie całego programu energetyki jądrowej zależy od skuteczności przygotowania i realizacji pierwszej elektrowni jądrowej (I EJ) w Polsce.

W tym zakresie nie powinno się całości problemów z tym związanych pozostawiać tylko inwestorowi, czyli PGE Polskiej Grupie Energetycznej S.A. We wszystkich krajach budowa EJ nie jest tylko zadaniem jednego przedsiębiorstwa energetycznego. Wiele decyzji podejmowanych jest na szczeblu właściciela. W Polsce tym właścicielem jest Państwo i to Państwo powinno zapewnić odpowiednie działania korporacyjne. Również w krajach, z dominującą własnością prywatną, decyzje strategiczne dotyczące energetyki jądrowej podejmowane są na najwyższych szczeblach państwowych. Do podejmowania takich decyzji potrzebne jest zaplecze eksperckie, na działalność którego niezbędne są odpowiednie środki finansowe. W Polsce istnieje tendencja do ograniczania finansowania prac przygotowawczych, co jest niezwykle niebezpieczne dla powodzenia całości programu.

Podstawowym problemem budowy, zwłaszcza I-szej EJ jest sfinansowanie jej budowy.

Wysokie nakłady inwestycyjne, swoiste dla tej technologii, wymagają szczególnej troski i umiejętności. Nie wystarczą bowiem same mechanizmy konkurencyjnego rynku energii elektrycznej, aby zapewnić środki finansowe na budowę EJ, a zwłaszcza I-szej EJ, i niezbędnego zaplecza organizacyjnego i technicznego oraz infrastruktury towarzyszącej. Trzeba sięgnąć po doświadczenia innych krajów, które w warunkach działającego rynku energii skutecznie finansują budowę obiektów jądrowych (np. Finlandia). Ważna jest koncentracja kapitału i nie powinno się powierzać budowy EJ wydzielonym drobnym spółkom, nawet w strukturze korporacyjnej.

Względy logistyczne i finansowe powinny spowodować powstanie z udziałem wyspecjalizowanego, zagranicznego „inżyniera kontraktu” powstanie szczegółowego harmonogramu, projektowania, budowy, uruchomienia i oddania do eksploatacji pierwszej i następnych EJ. istotne tutaj będzie uwzględnienie także inwestycji, które będą realizowane jeszcze przed 2020 r. w celu zapewnienia bezpieczeństwa dostaw energii, po wejściu w życie restrykcyjnych wymogów ekologicznych UE, co może wpłynąć na spokojniejszą realizację programu jądrowego w dalszych latach.

Wiadomo, jak ważne jest zapewnienie wysokiej jakości wszelkich prac przy powstawaniu obiektów jądrowych.

Ostatnie doświadczenia z budowy polskich autostrad powinny uczyć władze regulacyjne naszego państwa i inwestora na problemy jakości.

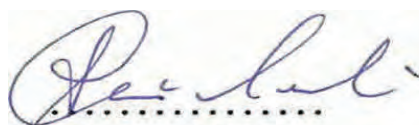
Należy opracować szczegółowy program zapewnienia jakości w całym cyklu budowy i eksploatacji elektrowni jądrowej w Polsce. W tym zakresie powinno się wykorzystać doświadczenie uzyskane na budowach EJ Olkiluoto w Finlandii, gdzie jakość pracy i fachowość polskich firm zostały bardzo wysoko ocenione przez kontrahentów zagranicznych.

Przygotowanie kadr dla energetyki jądrowej jest sztandarowym zadaniem programu rozwoju energetyki jądrowej w Polsce. Należy jednak mieć na uwadze, że specyficzna wiedza w dziedzinie energetyki jądrowej jest potrzebna przede wszystkim na etapie prac eksperckich przy wyborze technologii, budowie i późniejszej eksploatacji bloków jądrowych, o co powinien przede wszystkim zadbać inwestor. W przygotowaniu i wdrażaniu programu w zakresie udziału polskiego przemysłu i sektora B+R powinno się wykorzystać doświadczenia zebrane przy budowie elektrowni jądrowej w Żarnowcu. Podobnie jak w wielu krajach, które zbudowały elektrownie jądrowe, dostaw zapewniały przedsiębiorstwa krajowe.

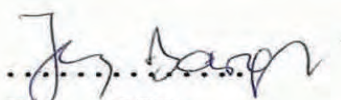
Wykształcenie kadry i wdrożenie procedur dozorowo-eksploatacyjnych zapewniały krajowe uczelnie i instytuty badawcze oraz dobrze zorganizowany dozór jądrowy, w oparciu o szeroką współpracę międzynarodową. Wszyscy pracownicy zaangażowani w realizację projektów budowy EJ powinni jednak mieć ogólną wiedzę o istotnych cechach energetyki jądrowej.

Budowa EJ w Polsce to wejście na nowy poziom rozwoju technologicznego i organizacyjnego, nie tylko w odniesieniu do dziedzin przemysłu bezpośrednio zaangażowanych przy budowie elektrowni jądrowej. Przyszli dostawcy technologii jądrowej do Polski już teraz prowadzi rozmowy z przedsiębiorstwami gotowymi do współpracy przy budowie elektrowni jądrowej oferując odpowiednią wiedzę techniczną i organizacyjną oraz wymuszają uzyskanie wysokiego poziomu technicznego i jakościowego wytworzonych produktów zgodnie z wymaganiami przemysłu jądrowego. Zdobyte doświadczenia przyczynią się do rozwoju i na pewno znajdą zastosowanie w wielu dziedzinach przemysłu.

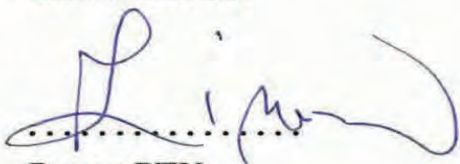
Z tego względu tym zagadnieniom powinna być nadana odpowiednia ranga państwowa, polityczna i społeczna, aby można było sprostać wszystkim wyzwaniom, które przyniesie ta potrzebna i od dziesięcioleci z powodzeniem stosowana technologia w wielu krajach europejskich i na świecie.



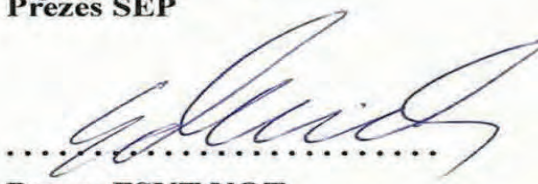
Prezes SEREN



Prezes SEP



Prezes PTN



Prezes FSNT NOT



Agnieszka Boettcher, Andrzej Strupczewski
Czy odnawialne źródła energii i energetyka jądrowa mają się wykluczać czy wspierać?

Mirosław Duda

Energetyka jądrowa w strukturze polskiej energetyki

Maciej Jurkowski

Rola dozoru jądrowego w bezpieczeństwie elektrowni jądrowej

Krzysztof Rzymkowski

Katastrofa w elektrowni Fukushima

Zbigniew Bachman

Udział polskich przedsiębiorstw w budowie elektrowni jądrowych

Jacek Kaniewski

Odpady promieniotwórcze z elektrowni jądrowych

Michał Gatkowski

Przygotowanie kadr dla polskiej energetyki jądrowej

Materiały z konferencji można zamówić w cenie przesyłki
redakcja@ekoatom.com.pl



Powiedzmy „tak” dla atomu

ROZMOWA Z MINISTER **HANNĄ TROJANOWSKĄ**, PEŁNOMOCNIKIEM RZĄDU DS. POLSKIEJ ENERGETYKI JĄDROWEJ

ROZMAWIĄŁ: Andrzej Opala

Czy energetyka jądrowa jest Polsce i Polakom rzeczywiście niezbędna?

Za wprowadzeniem w Polsce energetyki jądrowej przemawiają co najmniej trzy względy: bezpieczeństwo energetyczne, ochrona środowiska i ekonomia.

Bezpieczeństwo energetyczne kraju wymaga zapewnienia dostaw odpowiedniej ilości energii elektrycznej. Według naszych szacunków rozwój gospodarczy polski pociągnie za sobą w perspektywie 20 lat wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną do ok. 170 TWh rocznie. Oznacza to, że musimy zwiększyć jej produkcję aż o 38 proc.

Aby osiągnąć ten cel i równocześnie wywiązać się z unijnych zobowiązań dotyczących redukcji emisji CO₂, potrzebujemy wydajnych i czystych źródeł energii. Takie właśnie są dziś siłownie jądrowe. Nasz program przewiduje budowę 6 tys. MW zainstalowanej mocy, tj. 4-6 bloków jądrowych. Do 2030 r. powstawać w nich będzie 50 TWh energii elektrycznej rocznie. Oznacza to możliwość uniknięcia emisji 47 mln ton CO₂, każdego roku.

Ale budowa elektrowni atomowej uchodzi za bardzo kapitałochłonną inwestycję...

Mimo wysokich nakładów inwestycyjnych elektrownie jądrowe produkują prąd, który nie jest drogi. Biorąc pod uwagę koszty zakupu paliwa oraz emisji CO₂, wygrywają konkurencję cenową ze wszystkimi technologiami wytwarzania wykorzystującymi paliwa kopalne.

Znajduje to potwierdzenie w krajach, w których energetyka jądrowa jest wykorzystywana od dziesięcioleci. Zgodnie z opublikowanymi ostatnio szacunkami francuskiego Trybunału Obrachunkowego, koszt energii z atomu w tym kraju to obecnie 54 euro za MWh. II to z uwzględnieniem wydatków na wszystkie elementy: budowę reaktorów, eksploatację, zakup paliwa, rozbiórkę, zarządzanie odpadami. Według danych innej francuskiej agencji rządowej,

1 MWh z węgla kosztuje tam 67 euro, z gazu – 69, z farm wiatrowych na morzu 102, a z ogniw fotowoltaicznych – ponad 150 euro.

Czy powinniśmy zatem „przerzucić się na atom”?

Naszym zadaniem, jako administracji rządowej, jest zbudowanie optymalnego miksu energetycznego, który pozwoli zapewnić odbiorcom dostawę energii elektrycznej, zachowując jednocześnie jej racjonalne koszty. Pracujące przez ok. 60 lat elektrownie jądrowe mogą być stabilizatorem cen energii w kraju.

Energetyka jądrowa nie jest oczywiście panaceum na wszelkie nasze problemy energetyczne. Polska

potrzebuje nie tylko atomu, ale też odnawialnych źródeł energii, gazu, czystego węgla. Zgodnie z założeniami polityki energetycznej do 2030 r. w elektrowniach jądrowych będzie powstawać ok. 17 proc. produkowanej w kraju energii.

Często podkreśla pani minister, że znajdują się środki na budowę pierwszej polskiej elektrowni jądrowej? Skąd ten optymizm?

Przedstawione argumenty wyraźnie pokazują, że Polski po prostu nie stać na to, by nie wybudować elektrowni jądrowej. Realizacja tej inwestycji musi być przedsięwzięciem biznesowym. To inwestor na jednej szali wagi kładzie niemałe koszty związane z realizacją inwestycji, w tym przede wszystkim na zapewnienie bezpieczeństwa jądrowego, a na drugiej przewidywane zyski. Jeśli w rozsądnej perspektywie inwestycja ma szansę się zwrócić, inwestor przystępuje do działania.

HANNA TROJANOWSKA

Pochodzi z Bydgoszczy. Ukończyła studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Praskiej (CVUT), specjalność: energetyka jądrowa.

Studiowała też na Uniwersytecie Technologicznym w Kolonii i ukończyła Studium Menedżerskie w SGH w Warszawie.

W latach 1982-1991 pracowała w Biurze studiów i projektów energetycznych Energoprojekt”.

W latach 1990-1991 była stypendystką Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej w UK Nuclear Electric, Nuclear Safety Division (Departament Bezpieczeństwa Jądrowego) w Bristolu i Knutsford w wielkiej Brytanii.

Od 1991 do 1997 r. pracowała w Fundacji ochrony Powietrza Atmosferycznego w Warszawie.

Od 1997 r. pracowała w Polskich Sieciach Elektroenergetycznych, a od 2007 r. w PGE, gdzie zajmowała ostatnio stanowisko Dyrektora Departamentu Energetyki Atomowej.

15 maja 2009 r. Prezes Rady Ministrów powołał ją na stanowisko Pełnomocnika Rządu ds. Polskiej Energetyki Jądrowej, w randze podsekretarza stanu w Ministerstwie Gospodarki.

Mówi pani, że budowa elektrowni atomowej to wielkie przedsięwzięcie, które może stać się kołem zamachowym dla całej polskiej gospodarki. czy zechciałaby pani rozwinąć tę myśl?

Budowa elektrowni jądrowych w Polsce poprawi konkurencyjność rodzimej gospodarki już przez samo zapewnienie stabilnych kosztów wytwarza



nia energii elektrycznej oraz ograniczenie kosztów środowiskowych związanych z jej produkcją. można jednak oczekiwać, że sektor jądrowy wpłynie stymulująco na rozwój firm z szeroko pojętej branży energetycznej oraz podniesie poziom produkcji i świadczonych przez nie usług.

polskie przedsiębiorstwa mogą też samodzielnie realizować znaczną część planowanych przedsięwzięć związanych z budową elektrowni jądrowej. według różnych szacunków ich udział może sięgnąć nawet 70 proc. dla pierwszych dwóch siłowni. 20 lat temu polskie firmy były w stanie dostarczać wszystkie elementy elektrowni jądrowej, poza zbiornikiem ciśnieniowym reaktora i paliwem jądrowym. koniecznie musimy zweryfikować, w jakim zakresie produkcję tę można odtworzyć, na czym skorzystałyby z pewnością nie tylko krajowe przedsiębiorstwa, ale i cała gospodarka.

Na ile pobudzająco na gospodarkę może wpływać taka inwestycja?

Olbrzymie korzyści z uruchomienia nowego sektora będzie czerpał rynek pracy. wzrost zatrudnienia spowoduje już sama budowa elektrowni, która potrwa od sześciu do ośmiu lat i będzie wymagała zatrudnienia bezpośrednio ok. sześciu tys. osób. to pociąga za sobą także istotny wzrost zatrudnienia w budowie potrzebnej infrastruktury i w inwestycjach towarzyszących.

inwestycja tej skali stwarza też olbrzymie możliwości rozwoju dla regionu, w którym zostanie zlokalizowana. pobudza lokalny rynek usług, sprzyja powstawaniu i rozwojowi firm współpracujących z elektrownią, przybywa miejsc pracy, zwiększa się zamożność ludzi.

elektrownia jądrowa to również kilkukrotny wzrost dochodów gminy, na terenie której powstanie i będzie eksploatowana. według szacunków PGE, bezpośredni roczny dochód gminy-gospodarza elektrowni jądrowej szacuje się na ok. 40 mln zł. środki te mogą zostać przeznaczone na budowę dróg, kanalizacji, remonty szkół i innych obiektów użyteczności publicznej.

W marcu ruszyła kampania promująca wśród

Polaków energetykę jądrową. Czy, zdaniem pani minister, poziom wiedzy Polaków na ten temat jest zbyt niski?

Blisko 60 proc. Polaków ocenia swoją wiedzę na temat energetyki jądrowej za ledwie jako dostateczną, pokazują badania, przeprowadzone w lutym tego roku przez instytut badawczy millwardBrown smg/krc. jednocześnie aż 94 proc. respondentów deklaruje, iż chce wiedzieć więcej na ten temat i oczekuje od rządu informacji. za ledwie 6 proc. badanych uważa, że temat budowy elektrowni jądrowych w Polsce jest nieważny. oznacza to, że polacy chcą poszerzać swoją wiedzę, a administracja rządowa jest wręcz zobligowana, by ją obywatelom dostarczyć.

Czy mogłaby pani rozwinąć temat kampanii, przybliżyć jej czas, cele i przebieg?

Kampania „Poznaj atom. Porozmawiajmy o Polsce z energią” ma charakter stricte informacyjno-edukacyjny.

Przez dwa i pół roku będziemy prowadzić szeroko zakrojone działania, których celem jest przekazanie Polakom rzetelnej wiedzy na temat energetyki jądrowej.

Nie zamierzamy promować czy reklamować atomu. chcemy, aby Polacy na podstawie dostarczonych im informacji racjonalnie ocenili wszystkie „za” i „przeciw” energetyki jądrowej. Z badań wynika, że wraz ze wzrostem wiedzy na temat energetyki jądrowej rośnie również poparcie dla tego typu źródeł wytwarzania. Przekaz informacyjny kampanii opieramy o wiedzę i doświadczenie ekspertów i naukowców z dziedziny energetyki jądrowej.

Bardzo ważnym elementem kampanii są działania informacyjne skierowane do społeczności lokalnych. Będą to m.in. spotkania w regionach wskazanych jako potencjalne lokalizacje elektrowni jądrowej, w trakcie których będziemy poznawać oczekiwania i obawy mieszkańców. Chcemy prowadzić dialog ze społeczeństwem, odpowiadać na wszelkie nurtujące Polaków pytania i rozwiewać mity narosłe wokół energetyki jądrowej.

Jak chcą państwo walczyć ze stereotypami związanymi z „atomem”? Po Czarnobylu zaniechaliśmy budowy elektrowni w Żarnowcu właśnie ze względu na brak społecznej aprobaty dla tego przedsięwzięcia...

Zależy nam, by obiektywizować wiedzę na ten temat. energetyka jądrowa często jest przedstawiana jednostronnie. wiedza Polaków o atomie pochodzi najczęściej z mediów, te zaś ten rodzaj energetyki pokazują głównie w kontekście zagrożeń i katastrof, zwłaszcza po wydarzeniach w Fukushima. Brakuje natomiast obiektywnego pokazania energetyki jądrowej jako niezbędnej

dla rozwoju gospodarczego kraju i efektywnej metody produkcji energii elektrycznej. pamiętajmy, że ponad 30 krajów na świecie korzysta z tego źródła energii, w tym wszystkie kraje rozwinięte, które zbudowały swoją potęgę gospodarczą, korzystając z tańszej energii atomowej. w samej UE pracują 133 reaktory jądrowe o łącznej zainstalowanej mocy ok. 122 GW_e.

Prawdą jest również, że ciągle pokutują skutki fatalnej polityki informacyjnej prowadzonej przez komunistyczne władze po awarii w Czarnobylu. w powszechnej świadomości zakorzeniło się wówczas wiele mitów i stereotypów. zadaniem naszej kampanii jest zmiana tego stanu rzeczy. Eksperci z dziedziny radiologii będą opisywać na stronie internetowej kampanii m.in. rzeczywiste skutki tej awarii.

Jacy eksperci wezmą udział w kampanii?

Wraz z inauguracją kampanii została powołana do życia Koalicja ekspertów na rzecz energetyki jądrowej. Swoim autorytetem naukowym wspierają nas m.in. takie gremia, jak Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Instytut Fizyki Jądrowej PAN, Politechnika Warszawska oraz Uniwersytet Gdański.

Poinformowano, że kampania będzie kosztować 18,2 mln zł. Na co zostaną przeznaczone te pieniądze?

Blisko połowa budżetu zostanie przeznaczona na działania zachęcające społeczeństwo do poszerzenia swojej wiedzy na temat funkcjonowania energetyki jądrowej. W ten sposób chcemy dotrzeć do Polaków z informacją o kampanii i wskazać im, gdzie mogą szukać rzetelnych i aktualnych informacji o energii atomowej. Pozostałe środki zostaną wydane m.in. na realizację działań edukacyjnych w szkołach oraz działania komunikacyjne w regionach.

Dziękuję za rozmowę.



Wywiad ukazał się w numerze 7(45)/2012 magazynu Polska Energia Autorem jest Andrzej Opala. Zdjęcie: materiały prasowe



Stowarzyszenie Elektryków Polskich Oddział Gdańsk organizuje Jubileusz 80-lecia SEP na Wybrzeżu połączony z XXXVII Gdańskimi Dniami Elektryki. Uroczystości odbędą się 11-12 października 2012 r. w Domu Technika w Gdańsku przy ul. Rajskiej 6.

ENERGETICS

13-15 LISTOPADA 2012



29 listopada 2012, Ministerstwo Gospodarki, Warszawa



Międzynarodowe Forum ENERGETYKI JĄDROWEJ

Międzynarodowe Forum Energetyki Jądrowej – 29 listopada 2012, Ministerstwo Gospodarki, Warszawa

Jak szacują eksperci, zapotrzebowanie na energię elektryczną w Polsce wzrośnie do 2030 r. o więcej niż 40%. Równoległe międzynarodowe zobowiązania sprawiają, iż musimy w szybkim tempie zastępować energię, pozyskiwaną ze źródeł, powodujących szkodliwe dla atmosfery emisje, źródłami tej wady pozbawionymi. Wiele wskazuje na to, iż takiemu wyzwaniu energetyka niekonwencjonalna, wykorzystująca energię wiatrową czy słoneczną, a nawet biogaz, nie mogą podołać. Stąd decyzja o podjęciu przygotowań do budowy siłowni jądrowej.

Jakie problemy natury politycznej rodzi budowa elektrowni atomowej? Jaki jest stosunek Polaków do energetyki jądrowej? Czy jesteśmy w stanie mieć elektrownię najlepszą z możliwych i prawdziwie bezpieczną? Kto ją zbuduje, kiedy i czy jest to rozwiązanie słuszne z ekonomicznego punktu widzenia? Jak polska elektrownia atomowa wkomponuje się w rynek energii Europy Środkowej?

Międzynarodowe Forum Energetyki Jądrowej, konferencja organizowana w listopadzie 2012 roku w Warszawie, przez magazyn *The Warsaw Voice* oraz PowerMeetings.pl, znaną w branży, wyspecjalizowaną firmę konferencyjno-szkoleniową, tworzy możliwość omówienia najważniejszych aspektów tego wielkiego przedsięwzięcia w gronie najbardziej zainteresowanych liderów instytucji krajowych i zagranicznych.

W trakcie spotkania zostaną omówione m.in. następujące kwestie:

Sesja I

Bilans energetyczny Polski i regionu Europy Środkowej w perspektywie 50 lat. Czy zaspokojenie ówczesnego zapotrzebowania będzie możliwe bez energetyki jądrowej? Jak realna jest alternatywa dla tego źródła energii?

Sesja II

Współczesne technologie stosowane w najnowocześniejszych siłowniach atomowych. Czy są bezpieczne? Czy Polskę stać na budowę siłowni jądrowej?

Sesja III

Stosunek Polaków i mieszkańców innych krajów do energetyki jądrowej. Jaka jest perspektywa wyników spodziewanej debaty publicznej i politycznej, poświęconej bezpieczeństwu, ochronie środowiska i opłacalności? Czy inne państwa regionu będą posiłkowały się tym źródłem energii, czy też ostatecznie się z niego wycofają? Jaki stosunek do energetyki jądrowej zostanie zapisany w uregulowaniach prawa polskiego, obowiązującego w krajach sąsiednich oraz prawa międzynarodowego?

Sesja IV

Budowa i eksploatacja siłowni atomowej. Kto będzie budował naszą elektrownię? Jak długo będzie to trwało? Jakie koszty trzeba ponieść i skąd będą pochodziły fundusze? Jakie są ekonomiczne perspektywy tej siłowni w kontekście rynku krajowego i regionalnego?

Sesja V

Dyskusja, stanowiąca podsumowanie zagadnień, poruszonych podczas konferencji. Jej rezultatem będzie sformułowanie wniosków, które zostaną opublikowane w formie elektronicznej oraz na łamach *The Warsaw Voice*. Ich zapis, wraz z zapisem dyskusji, zostanie opublikowany w Internecie.

REAKTORY PRĘDKIE IV GENERACJI CHŁODZONE CIEKŁYMI METALAMI

Piotr Darnowski

Wstęp

Powszechnie stosowane na świecie reaktory jądrowe pracujące na neutronach o energiach termicznych nie są w stanie zapewnić pełnego wykorzystania potencjału, jaki drzemie w uranie. Stosowany w większości krajów otwarty cykl paliwowy, traktuje wypalone paliwo jądrowe, jako ostateczny odpad wykorzystując poniżej 2% zawarte- go w uranie potencjału energetycznego. Od początków techniki jądrowej zdawano sobie sprawę z tego, że możliwości są wielokrotnie większe, ale konieczne jest stosowanie bardziej skomplikowa- nych i droższych reaktorów prędkich¹. Od 1946 roku, gdy stan krytyczny został osiągnięty w pierwszym reaktorze prędkim Clementine chłodzonym rtęcią wiązano z tą technologią były ogromne nadzieje. Pięć lat po tym wydarzeniu uruchomiony został pierwszy reaktor jądrowy będą- cy w stanie produkować elektryczność EBR-I2 (1951). Wytwarzał początkowo moc, która starcza- ła zaledwie na zasilenie czterech żarówek o mocy 200 W EBR I był reaktorem prędkim, który jed- nocześnie pokazał, że możliwe jest powielanie paliwa jądrowego¹.

Kryzysy naftowe w latach siedemdziesiątych, ogromny postęp technologii i zaniżone szacunki za- sobów naturalnych pozwalały przypuszczać, że zapotrzebowanie na energię nuklearną będzie ogromne. Uważano nawet, że reaktory prędkie będą stanowiły główne źródło energii elektrycznej. Po Wydarzenia w TMI, a następnie Czarnobylu sprawiły, że w kolejnych latach światowy entu- zjizm związany z energetyką jądrową i reaktorami prędkimi zdecydowanie opadł Ponadto na prze- łomie wieków okazało się, że do zaspokojenia zapotrzebowania na energię elektryczną powielanie paliwa jądrowego nie jest konieczne, a prognozowany popyt na energię w tym okresie był mocno zawyżony.

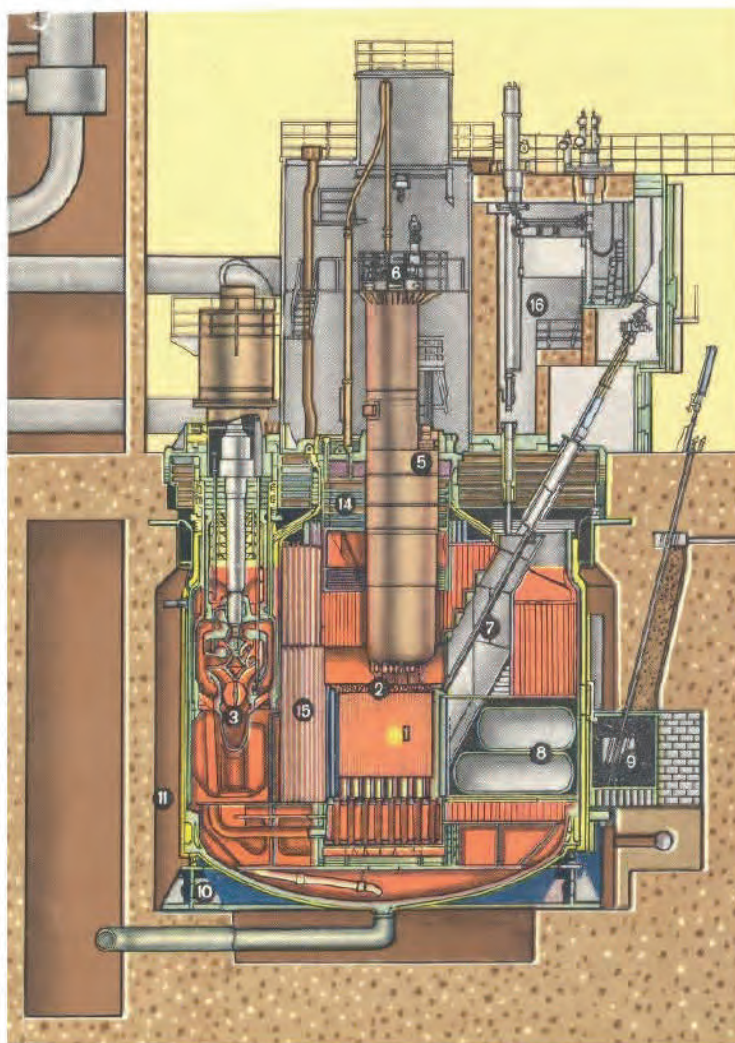
Jednakże intensywne prace nad rozwojem reaktorów prędkich były prowadzone w różnych krajach i trwały nawet do końca pierwszej połowy lat dziewięćdziesiątych dwudziestego wieku. Niestety atmosfera polityczna i społeczna w państwach demokratycznych nie pozwalała swobodnie rozwijać tej technologii. Reaktory prędkie powielające z uwagi na wytwarzanie plutonu stały się tema- tem wręcz politycznie niepoprawnym (szczególnie w Stanach Zjednoczonych). Z inżynierskiego punktu widzenia kompletnie niesłusznie. Zaraz obok syntezy termojądrowej technika ta jest jedyną znaną, która ma szansę w przyszłości zapewnić bezpieczeństwo energetyczne całego świata na set- ki, jeśli nie tysiące lat. Przy dzisiejszym zużyciu uranu i przy jego sensownych cenach szacuje się, że przy wykorzystaniu otwartego cyklu paliwowego jego zasoby wyczerpią się w około 150-300 lat². Powielanie paliwa, czyli konwersja izotopów nierozszczepialnych w rozszczepialne pozwala zwiększyć zasoby paliwowe około 60-70 razy (3; 2). Proste rachunki dają oszacowania jak wielki jest potencjał tej technologii w porównaniu z innymi źródłami energii. Droga do komercyjnej wy- korzystania syntezy termojądrowej jest jeszcze daleka najpewniej pierwsza komercyjna elektrow- nia termojądrowa powstanie dopiero za kilkadziesiąt lat, jeśli nie po 2100 roku. W takiej sytuacji, jeżeli nasza cywilizacja chce zapewnić sobie bezpieczeństwo energetyczne gwarantem zostają re- aktory prędkie. Dziedzina ta jest dojrzała na tyle, by mogła być wykorzystywana w niedalekiej przyszłości komercyjnie. Przykładem dojrzałości technologii jest reaktor prędkie BN-600 (Rosja)

¹ Reaktor prędkie to taki reaktor, w którym większość reakcji rozszczepienia jest powodowanych przez neutrony prędkie o energiach kinetycznych rzędu powyżej 10 keV (aczkolwiek nie ma wyraźnej granicy, kiedy zaczyna się pasmo neutronów prędkich. Zwykle dla ciężkich pierwiastków rozsz- cepialnych jest to zakres za pasmem występowania rezonansów).

² Experimental Breeder Reactor I – Eksperymentalny Reaktor Powielający I

wytwarzający ok. 600 MWe od 1980 roku po dzień dzisiejszy ze współczynnikiem wykorzystania mocy ponad 70% (4). Oczywiście istotnym problemem jest ekonomia takich reaktorów,. Pomimo spowolnienia reaktorów prędkich prace w tej dziedzinie są nadal prowadzone przez wielu badaczy i wiele ośrodków. Szczególnie ważne prace są prowadzone w Rosji, Chinach i Indiach, które nigdy nie przerwały swoich programów, a wręcz przeciwnie rozwijają je dość intensywnie. Ostatnimi czasy wraz z renesansem technologii jądrowych i z utworzeniem Forum Reaktorów IV Generacji zainteresowanie reaktorami prędkimi nasila się również w państwach zachodu. Pomimo wydarzeń w Japonii w 2011 roku wiele wskazuje na to, że to zainteresowanie nie zaniknie. Powoli w wielu kręgach i to nie tylko naukowych dostrzegane są potencjalne korzyści tej technologii dla całej ludzkości.

W dalszej części tej opracowania omówiono podstawowe zagadnienia związane z projektowaniem reaktorów chłodzonych ciekłymi metalami, które najpewniej w przyszłości będą trzonem całej technologii reaktorów prędkich. Następnie przedstawiono rozważania odpowiedzi na pytanie, jaka technologia będzie wykorzystana w pierwszym reaktorze IV generacji. Opracowanie to jest pogłębione i nakreśla niektóre z najważniejszych zagadnień dotyczących reaktorów LMFBR3 z perspektywy początkującego inżyniera jądrowego.



Rysunek 1 Schemat reaktora prędkiego BN-600. 1, 2- rdzeń i kasety paliwowe, 3-główna pompa, 4-pośredni wymiennik ciepła IHX, 5-centralna kolumna, 6-mechanizm napędu prętów sterujących, 7-maszyny załadownicze, 8-kanal neutronowy, 9-komory pomiarów neutronowych, 10-podpora reaktora, 11-studnia reaktora, 14 – obrotowa pokrywa, 15-osłona neutronowa, 16-komora wymiany paliwa. Źródło :(5)

Przeznaczenie reaktora

Program rozwoju reaktorów jądrowych czwartej generacji koordynowany jest przez Międzynarodowe Forum Reaktorów IV Generacji (The Generation IV International Forum), którego działanie zostało zapoczątkowane w 2001 roku. Członkami tej organizacji są niemal wszystkie kraje, których programy badawcze mają jakiegokolwiek znaczenie dla rozwoju technologii reaktorów jądrowych (6). W ramach programu rozważanych jest sześć różnych koncepcji w tym zarówno reaktor chłodzony ciekłym sodem (SFR) jak i reaktor chłodzony ciekłym ołowiem (LFR). Praktycznie rzecz biorąc oba te układy mają największą szansę na zrealizowanie w pierwszej kolejności. Rozpatrywanych jest wiele wersji reaktorów LFR i SFR aczkolwiek większość z nich nie ma zdolności powielania paliwa jądrowego, przyczyny takiego stanu rzeczy zostaną ukazane w kolejnych akapitach. Przybliżmy najpierw czytelnikowi bardziej, na czym proces powielanie paliwa zasadniczo polega.

Pierwszym parametrem, który definiuje, z jakim reaktorem mamy do czynienia jest tzn. współczynnik konwersji CR (Conversion Ratio). W bardzo dużym uproszczeniu współczynnik konwersji jest to masa pierwiastków rozszczepialnych wytworzonych w rdzeniu do masy materiałów rozszczepialnych zdeintegrowanych w rdzeniu w jednym cyklu pracy⁴:

$$CR = \frac{\text{Masa Uzyskana}}{\text{Masa Stracona}}$$

W sytuacji, w której współczynnik ten jest większy od jedności ($CR > 1$) mamy do czynienia z reaktorem powielającym, gdy jest mniejszy od jedności ($CR < 1$) jest to konwerter⁵. Reaktor konwerter może być z kolei skonstruowany, jako burner przeznaczony do wypalania długożyciowych aktywności w tym plutonu i/lub pomniejszych aktywności.

W przypadku reaktorów powielających proces mnożenia transuranowców⁶ (Pu, Am, Cm itp.), zachodzi, gdy w rdzeniu jest wystarczająco dużo neutronów, tak, aby podtrzymać reakcję łańcuchową i tak, aby zaszło, co najmniej tyle samo pochłoneń w materiale rodzimym, co procesów rozszczepienia w paliwie. Zwykle wyraża się to zależnością, która mówi, że średnia liczba neutronów rozszczepieniowych (powstających w wyniku rozszczepienia) na jeden neutron pochłonięty w paliwie (tzn. współczynnik η) jest większy od $2+L$ (Rysunek 1).

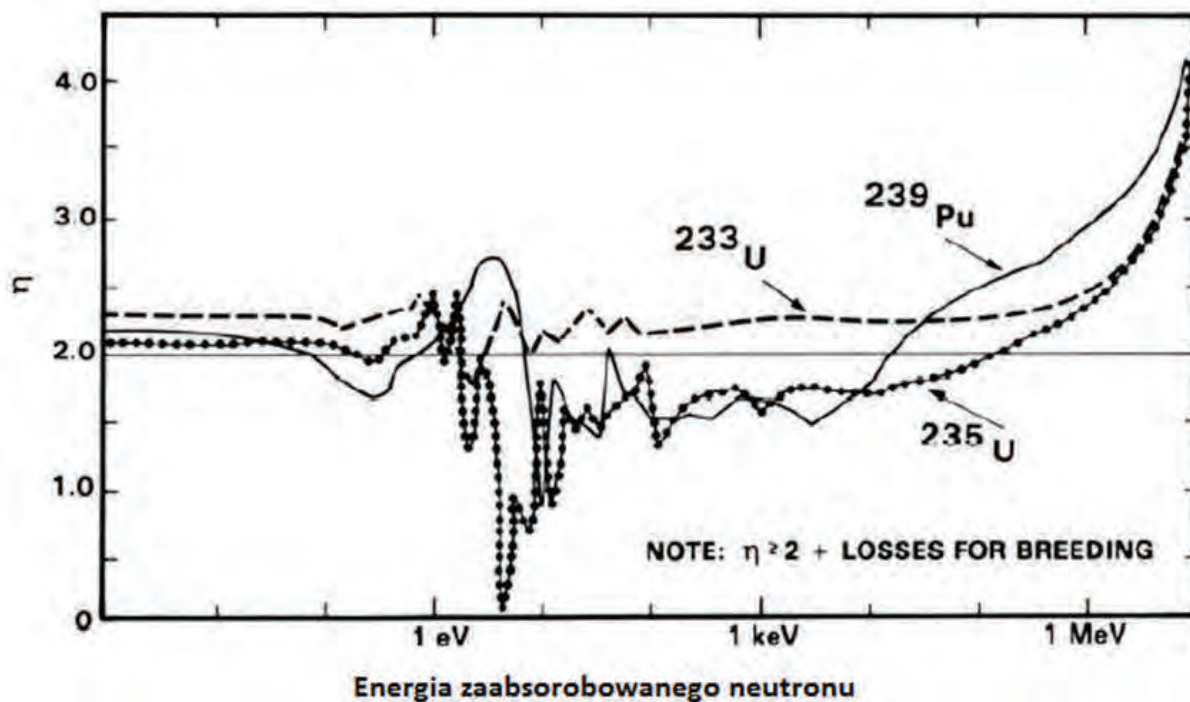
$$\eta \geq 2 + L$$

Gdzie L to ułamek neutronów uciekających z rdzenia, który zwykle jest niewielki. Konsekwentnie jeden neutron jest przeznaczony na podtrzymanie reakcji łańcuchowej oraz jeden na konwersję paliwa. Odmienne w wypadku reaktora konwertera konieczne jest tylko podtrzymanie reakcji łańcuchowej i kompensacja strat na ucieczkę neutronów. Jak pokazuje fizyka reaktorowa jedną z najkorzystniejszych kombinacji materiałów rozszczepialnych i rodnych do zastosowań technicznych jest uran i pluton w cyklu tzn. uranowo plutonowym na neutronach prędkich. Rozszczepialny Pu^{239} jest bardzo efektywnie rozszczepiany w strumieniu neutronów prędkich i wytwarza bardzo dużo dodatkowych neutronów, które mogą posłużyć na powielanie i dalsze rozszczepianie (Pu^{239} na Rysunku 1 powstaje najwięcej neutronów). Rodny U^{238} pochłaniając neutrony konwertuje się do Pu^{239} w konsekwencji wytwarzając nowy materiał rozszczepialny.

⁴ Więcej na ten temat można znaleźć w pracach: (3), (14), (11)

⁵ Dla reaktorów termicznych np.: PWR $CR=0.6-0.7$

⁶ Pierwiastków o liczbie atomowej większej od $Z=92$.



Rysunek 1a. Zależność ilości neutronów wytwarzanych na jedno pochłonięcie od energii neutronu pochłanianego dla trzech najważniejszych izotopów rozszczepialnych U^{233} , U^{235} , Pu^{239} (3).

Dla takiego cyklu panują warunki najbardziej korzystne dla powielania i dlatego też cały nacisk na rozwój reaktorów prędkich opierał się w przeszłości na plutonie, a nie na alternatywnym cyklu torowo-uranowym, który okazuje się być mniej efektywny, pomimo, że U^{233} wytwarza sporo neutronów praktycznie w całym spektrum energii. Duża efektywność cyklu U-Pu zapewnia w przypadku odpowiedniej konstrukcji reaktora szybkie powielanie i w konsekwencji większy potencjał ekonomiczny. Przykładowe czasy podwajania wsadu reaktora mogą być nawet poniżej 15 lat. Czas podwajania natomiast rozumiemy tak, że dany reaktor jest w stanie wytworzyć po takim czasie odpowiednio dużo materiału rozszczepialnego, aby uruchomić drugi reaktor tego samego typu⁷. W cyklu uranowo-torowym, w którym powielanie jest możliwe nawet w strumieniu neutronów termicznych czasy podwajania są dużo wyższe (szczególnie dla paliw tlenkowych) i mogą sięgać nawet 50-60 lat, co też było jedną z przyczyn zarzucenia w przeszłości intensywnych prac nad reaktorami torowymi. Dokonano wyboru bardziej efektywnej opcji.

Współcześnie powielanie zeszło na drugi plan, a wręcz stało się niepożądane. Panuje trend wdrożenia reaktorów służących do transmutacji aktynowców z wypalonego paliwa. Rzecz rozchodzi się głównie o redukcję netto ilości transuranowców (TRU) w całym cyklu paliwowym. Alternatywnie proponuje się reaktory wytwarzające dokładnie takie same ilości materiału rozszczepialnego, jakie zostały w nim zużyte, które można nazywać idealnymi konwerterami. Rdzenie służące do idealnej konwersji projektuje się tak, aby współczynnik konwersji był jak najbliższy jedności. Czyni się tak, aby sprostać wymogom zrównoważonego rozwoju⁸ i ani nie zmniejszać i ani nie zwiększać ilości materiału rozszczepialnego. W celu nie gromadzenia nadmiernej ilości materiałów mogących posłużyć do budowy broni jądrowej oraz tak, aby nie niszczyć nadmiernie potencjalnych zasobów materiałów rozszczepialnych.

⁷ Istnieją również inne bardziej złożone interpretacje i definicje czasu podwajania (14).

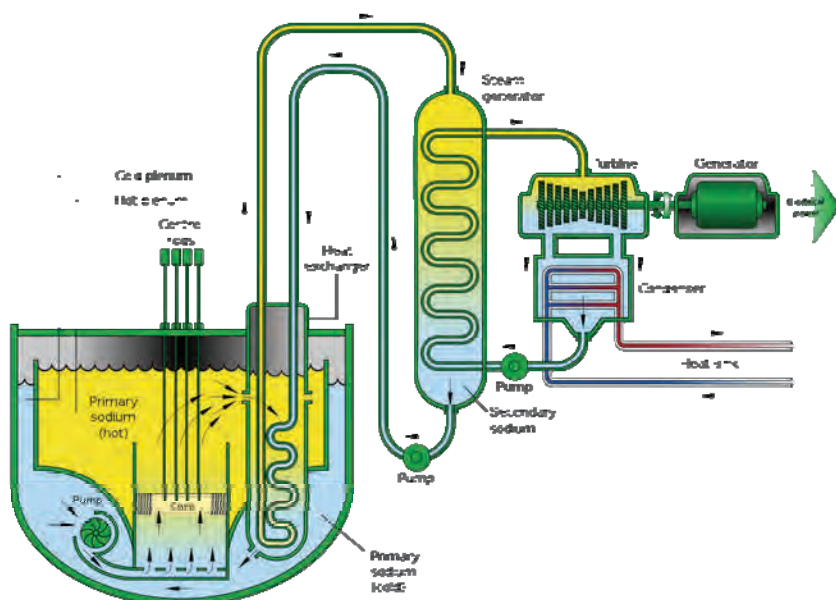
⁸ Sustainability – zrównoważony rozwój

Reaktory transmutacji z kolei mają współczynnik konwersji mniejszy od jedności⁹, a w wielu przypadkach dąży się do jego jak największej minimalizacji. Materiały i skład rdzenia dobiera się w taki sposób, aby jak najwięcej neutronów posłużyło do rozszczepienia jąder ciężkich, a jak najmniej neutronów było pochłoniętych w materiałach rodnych.

Transmutacja ma szczególny sens, gdy chcemy zredukować radiotoksyczność odpadów jądrowych w czasie i zminimalizować potencjalne zagrożenie z nimi związane. Istotnym argumentem szczególnie w dyskusji politycznej wydaje się jest zagadnienie proliferacji materiałów do konstrukcji broni jądrowej, a głównie plutonu. Transmutując transuranowce możemy zmniejszyć ilość aktynowców mniejszościowych, ale również i plutonu. W konsekwencji teoretycznie zmniejszamy ryzyko proliferacji, choć może to być dyskusyjne.

Technicznie rzecz biorąc różnica między reaktorem prędkim transmuterem¹⁰ wypalającym odpady, a powielającym jest subtelna. Dostosowując odpowiednio projekt reaktora poprzez usunięcie płaszcza powielającego i zastąpienie go stalowym oraz zastąpienie U^{238} w rdzeniu innymi materiałami można zmienić reaktor powielający w wypalający pluton i/lub transuranowce. Jeżeli reaktory prędkie będą dalej budowane to nawet kierując się na reaktory wypalające przejście na reaktory powielające będzie „relatywnie” łatwe.

Abstrahując od tego podejścia reaktory prędkie nie zostały stworzone w celu wypalania transuranowców, a zdecydowanie ich wytwarzania. Prędzej czy później od powielania w kontekście techniki czy energetyki jądrowej nie uciekniemy. Jeżeli nie teraz, nie za trzydzieści lat to za dwieście lat sprawa powielania paliwa powinna się pojawić. W sytuacji, w której populacja ludzkości i rozwój techniczny wraz z potencjalnym podbojem kosmosu będą się rozwijać to trudno dostrzec alternatywy dla tego rodzaju pozyskiwania energii.



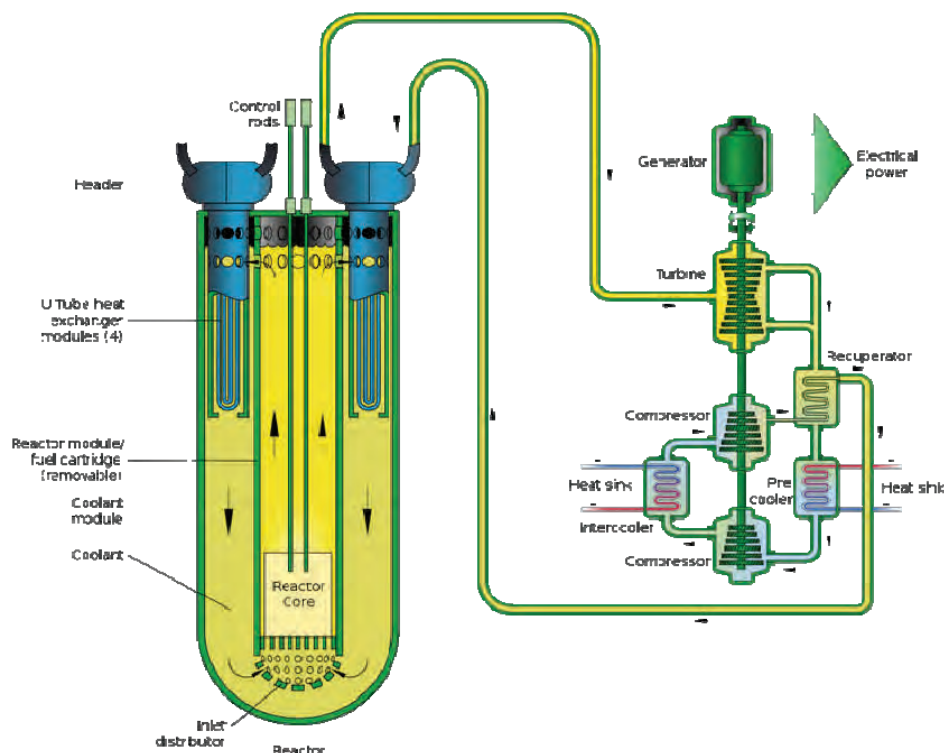
Rysunek 2 Schemat reaktora IV generacji basenowego chłodzonego ciekłym sodem.

<http://www.gen-4.org/Technology/systems/sfr.htm>

Nie umniejsza to potencjalnych korzyści „teraz” ze stosowania reaktorów wypalających odpady jądrowe. Redukcja ilości transuranowców w wypalonym paliwie oprócz zmniejszenia radiotoksyczności, zmniejsza ilość miejsca oraz zdolność odbioru ciepła, jakie są wymagane w planowanych składowiskach odpadów wysokoaktywnych. W perspektywie czasu może się to przyczynić do zmniejszenia kosztów składowania wypalonego paliwa i podniesienia bezpieczeństwa. Dodatkowo

⁹ Pamiętajmy, że reaktor konwerter wcale nie musi być transmuterem transuranowców, pomimo, że ma $CR < 1$. Przykładowo w rdzeniu reaktora PWR po jednym cyklu paliwowym wytwarzane jest sporo plutonu i sporo aktynowców mniejszościowych, które nie były wcześniej obecne w paliwie, ale sumaryczna ilość materiału rozszczepialnego netto zmniejsza się.

możliwe jest bardzo efektywne wypalanie plutonu militarnego. Transmutacja może być uznana za bardzo silny argument za dalszym rozwojem energetyki jądrowej i może mieć dużą siłę w dyskusji społecznej i politycznej.



Rysunek 3 Schemat reaktora IV generacji chłodzonego ciekłym ołowiem (<http://www.gen-4.org>)

Z reaktorami krytycznymi do transmutacji wiąże się niestety wiele problemów, które nie występowały w reaktorach powielających. Dla reaktorów transmutatorów dąży się do tego by pod koniec kampanii paliwowej w wypalonym paliwie znajdowało się mniej aktywnościowych ¹¹ i/lub izotopów plutonu niż na początku cyklu. Budowa efektywnego transmutera okazuje się to nie być wcale tak bardzo prostym zagadnieniem jak tylko wymiana płaszczy powielających na stalowe, konieczny jest odpowiedni dobór paliwa wraz z odpowiednimi geometriami rdzenia tak, aby proces ten był efektywny. Reaktory prędkie powielające mają zwykle dużo rodowego, U²³⁸, który bardzo sprzyja powielaniu transuranowców. Zmniejszenie ilości rodowego uranu w przypadku burnerów i dodanie aktywnościowych prowadzi do zmniejszenia bezpieczeństwa poprzez redukcję ujemnych współczynników reaktywności od efektu Dopplera i od przestrzeni pustych oraz od zmniejszenia udziału neutronów opóźnionych. Efekty te mają kolosalne znaczenie dla bezpieczeństwa rdzenia. Najważniejszym aktywnościowym, który planuje się zredukować (po plutonie) i zarazem jest on bardzo istotny dla redukcji radiotoksyczności paliwa w czasie jest Ameryk (głównie Am241 i Am243). Wspomniane warunki bezpieczeństwa umożliwiają umieszczenie w istniejących paliwach tylko poniżej 2-3% izotopów Ameryku, co jest wielkością relatywnie niewielką. Dla zaawansowanych paliw i wyszukanych konstrukcji rdzenia potencjał określa się na 5% Ameryku. Przykładowo zmodyfikowany rdzeń reaktora BN-600 służący do transmutacji transuranowców byłby w stanie zniszczyć w ciągu roku pracy ameryk wyprodukowany w ciągu tego roku przez jeden typowy reaktor PWR (7).

11 MA-(ang. Minor Actinides) można się spotkać z różnym tłumaczeniem, aktywnościowe mniejszościowe, pomniejsze aktywnościowe.

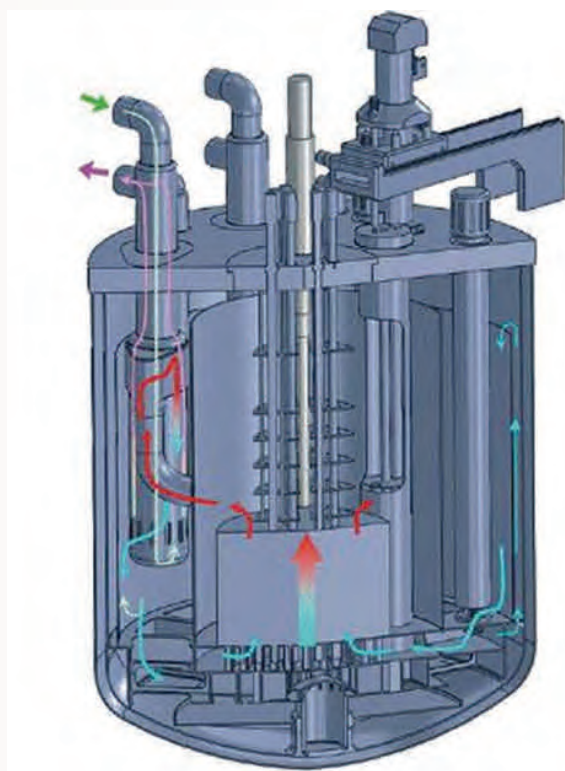
Nadal jest to niewiele, aby wyeliminować transuranowce produkowane w cyklu reaktorów LWR trzeba by zbudować flotę reaktorów prędkich o podobnej liczebności. Dużo bardziej obiecujące dla dedykowanego wypalania odpadów jądrowych są reaktory podkrytyczne sterowane akceleratorami ADS¹² dla których ograniczenia związane z efektami reaktywnościami są dużo mniejsze (6), (7).

Wniosek z tego jest taki, że wypalanie aktynowców w krytycznych reaktorach IV generacji będzie raczej ich funkcją dodatkową, a głównym przeznaczeniem pozostanie nadal wytwarzanie energii elektrycznej i w przyszłości powielanie. Instalacje dedykowane - służące głównie do redukcji radiotoksyczności odpadów jądrowych powinny opierać się na technice reaktorów ADS lub bardziej wyszukanych technikach.

Projektowanie rdzenia reaktora - Podstawy

• Chłodziwo

Fundamentalną decyzją, jaką trzeba podjąć projektując reaktor prędkie jest dobór chłodziwa. W reaktorze takim konieczne jest zastosowanie chłodziwa, które bardzo słabo modyfikuje (spowalnia) neutrony i co bardzo istotne potrafi skutecznie odbierać duże ilości ciepła i to dużo lepiej niż robi to woda w reaktorach termicznych¹³. Wybór zawęża się do ciekłych metali oraz gazów pod wysokim ciśnieniem. Kilka chłodziw gazowych było poważnie rozważanych i najbardziej korzystne jest zastosowanie Helu.. Ciekłe metale mają ogromną zaletę z punktu widzenia bezpieczeństwa, mogą pracować pod ciśnieniem atmosferycznym,



Rysunek 4 Francuski reaktor prędkie ASTRID <http://www.bgdna.com/energy-green-tech/go-ahead-for-new-nuclear-phd.html>

Jak już było wspomniane najbardziej rozwinięta jest technologia reaktorów chłodzonych ciekłym sodem (SFR – Sodium Fast Reactor). Pomimo swoich znaczących wad takich jak wybuchowość w kontakcie z wodą, relatywnie niską temperaturę wrzenia i postać stałą w temperaturze pokojowej, pozostaje on nadal najbardziej dogodnym wyborem. Ciekły sód ma świetne parametry cieplne – duże ciepło właściwe i bardzo dużą przewodność cieplną. Ponadto ma małą gęstość, dzięki czemu potrzebna jest mała moc pompowania, a jego przekroje czynne na wychwyty neutronów są niewielkie. Historyczną opcją zastosowaną w reaktorach EBR I oraz DFR¹⁴ (był stop sodu z potasem (NaK), którego główną zaletą jest to, że jest ciekły w temperaturze pokojowej. W toku rozwoju reaktorów FBR biorąc pod uwagę to że wszystkie parametry Na są wyższe niż NaK pozostano przy sodzie (8), (3).

12 ADS – Accelerator Driven System, Reaktor podkrytyczny sterowany akceleratorem, dzięki któremu rdzeń staje się krytyczny.

13 Gęstość mocy w reaktorach typu PWR dochodzi do 100 MW/m³, a w reaktorach chłodzonych sodem może sięgać nawet 700 MW/m³ – daleko poza możliwościami odbioru ciepła przez wodę (14).

14 Dunreay Fast Reactor

Dużo nadziei budzi opcja chłodzenia reaktorów ciekłym ołowiem (Pb). Ma on kilka znaczących zalet z punktu widzenia bezpieczeństwa. Ołów nie reaguje z wodą jak sól, co też eliminuje konieczność wprowadzania pośredniego obiegu chłodziwa pomiędzy obiegiem reaktora, a obiegiem parowym. Materiał ten ma bardzo wysoką temperaturę wrzenia wyższą nawet niż temperatura topnienia koszulek paliwowych, przez co de facto awaria z wrzeniem chłodziwa przestaje mieć znaczenie. Równie znaczące jest to, że ciekły ołów znacznie zmienia gęstość wraz z temperaturą. Dzięki tej własności możliwe staje się usuwanie ciepła powyłaczeniowego za pomocą procesów konwekcji naturalnej. Jest też kilka znaczących wad - Ołów zastyga w 601K (przy 1bar), przez co nawet wyłączony reaktor musi być ciągle bardzo intensywnie grzany. Potencjalne zakrzepnięcie chłodziwa w obiegu pierwotnym prowadzi do poważnego uszkodzenia reaktora, jeżeli nie do całkowitego uniemożliwienia korzystania z niego. Dużym problemem po dzień dzisiejszy nie do końca rozwiązany jest duża korozyjność ołowiu (powyżej 720 °K). Stosowane są wyszukane techniki kontroli zawartości tlenu w chłodziwie oraz specjalne stale wysokoodpornych na korozję. Dodatkowo prędkość ołowiu w obiegu pierwotnym jest ograniczona do 2 m/s z uwagi na występowanie zjawiska erozji, co ma wpływ na możliwości chłodzenia rdzenia. Sumując te wady i dodając fakt, że z ołowiem nie ma praktycznie żadnych doświadczeń przesuwają to potencjalne jego zastosowanie o kolejne lata. Analogiem NaK dla ołowiu jest eutektyka (mieszanka) ołowiu z bizmutem (Pb-Bi), która była stosowana nawet przez pewien czas w radzieckich okrętach podwodnych. Eutektyka ta ma dużo niższą temperaturę topnienia zbliżoną nawet do temperatury topnienia sodu. Okazuje się niestety, że światowe zasoby bizmutu są niewielkie, a w bizmucie Bi^{209} w strumieniu neutronów powstaje radioaktywny izotop polonu, Po^{210} co stawia tę eutektykę w trochę gorszym świetle niż ołów. Nie zmienia to faktu, że belgijski eksperymentalny reaktor MYRRRA¹⁶ będzie chłodzony eutektyką Bi-Pb i jest spora szansa, że powstanie po 2020 roku (9), (10), (6).

- **Gęstość mocy i moc reaktora**

Kolejnym istotnym punktem jest podjęcie decyzji, czy reaktor będzie reaktorem modułowym, o małej mocy, czy tradycyjnym wielkoskalowym reaktorem energetycznym i jaka będzie gęstość mocy w rdzeniu. Wielkości te pośrednio określają przeznaczenie reaktora. W latach siedemdziesiątych, gdy technologia prędko budziła tak wielkie nadzieje projektowano i zakładano, że będą budowane wielkie reaktory energetyczne o mocach powyżej tysiąca megawatów. Francuzom udało się zbudować jeden taki reaktor sodowy o mocy 1200 MWe - Super Phenix (3). Obecnie rozważane i projektowane są systemy w bardzo różnej skali. Od baterii jądrowych o mocy 10 MWe po gigantyczne reaktory energetyczne o mocach nawet 2000 MWe. Przykładowo koncern Toshiba zapowiedział budowę małego reaktora o mocy 10MWe w odciętej od świata miejscowości Galena na Alasce (11). Komercyjny układ GE PRISM służący do wypalania odpadów jądrowych będzie miał moduły o mocy 311 MWe warte jest podkreślenia, że poważnie rozważa się budowę takiej instalacji w Wielkiej Brytanii (12). Francuski reaktor demonstracyjny czwartej generacji ASTRID ma mieć około 600 MWe i już trwają nad nim prace projektowe. Budowany aktualnie rosyjski sodowy BN-800 ma mieć 880 MWe, a krytyczność zapowiadana jest w 2014 roku. Przykładowo dla rosyjskiego reaktora chłodzonego ołowiem BREST rozważane są warianty 300 i 1200 MWe (13), (5).

15 Reaktor sodowy też musi być grzany, ale sól topnieje w 371 K (pod 1 bar)

16 MYRRHA (Multi-purpose Hybrid Research Reactor for High-tech Applications) będzie reaktorem, który będzie mógł pracować zarówno jak reaktor krytyczny i podkrytyczny sterowany akceleratorem (ADS).

Moc reaktora otrzymywana jest na bazie projektu jego elementów paliwowych w tym geometrii, składu materiałowego i gęstości mocy. Znając te wielkości można określić ile jest potrzebnych elementów paliwowych, aby reaktor był krytyczny i ilość elementów paliwowych pomnożona przez moc generowaną w jednym elemencie daje moc całkowitą. Gęstość mocy praktycznie ocenia się stosując liniowy strumień ciepła (linear heat reate), który określa, jaką moc wytwarza dany pręt paliwowy na jednostce jego długości. Za wysoki wydatek uznaje się rząd 40 kW/m, który to zapewnia wysoki strumień neutronów i wysoki stopień wypalenia paliwa. Reaktor o tak wysokim liniowym strumieniu ciepła byłby projektowany, jako reaktor badawczy lub do testowania materiałów bądź reaktorem do wypalania/transmutacji odpadów i miałby raczej niewielką moc. Pośrednia wartość rzędu 30 kW/m jest dobra dla reaktorów komercyjnych w dojrzałej technologii, bo zapewnia ekonomiczną pracę z odpowiednim marginesem na bezpieczeństwo i taki reaktor może mieć dużą moc. Niski liniowy strumień 20 kW/m zapewnia bardzo duży margines bezpieczeństwa i jest typowy raczej dla reaktorów prototypowych, których moce zwykle są niewielkie (10).

- **Materiał paliwowy**

Paliwo w reaktorach prędkich podlega bardziej ekstremalnym warunkom niż paliwo w klasycznych reaktorach termicznych. Osiągane wypalenia mogą dochodzić nawet do 150 MWd/t, strumienie neutronów są dużo większe i sięgają nawet $7e15$ n/cm²s. Moce w paliwie są nawet cztery razy większe, a z uwagi na małą średnicę pastylek paliwowych gradienty temperatur są również ogromne. Istotnymi efektami rosnącymi wraz z wypaleniem jest gromadzenie się produktów rozszczepienia i uwolnienia gazów rozszczepieniowych w strukturze paliwa, które sukcesywnie ją zmieniają. Wreszcie pojawiają się mechaniczne i chemiczne oddziaływanie pastylki paliwowej z koszulką, które mogą prowadzić do różnych nieporządných zjawisk.

Materiałem rozszczepialnym w reaktorach prędkich może być zarówno wzbogacony U235 jak i mieszanina uranu wraz z rozszczepialnymi izotopami plutonu. Na początku rozwoju reaktorów prędkich stosowano paliwa metaliczne, ale ówczesna technologia tych paliw nie sprawdziła się i możliwe było osiaganie bardzo małych wypaleń. Alternatywnie wybrano paliwa w postaci tlenków zarówno tlenków uranu jak i tlenków mieszanych. Tlenki bardzo dobrze znane i szeroko stosowane w reaktorach lekko wodnych stały się podstawowym paliwem. Doświadczalnie osiągnięto bardzo wysokie wypalenia sięgające nawet 250 MWd/kg. Relatywnie łatwa zdolność do osiaganie ogromnych wypaleń jest mocnym argumentem za tlenkami. Dlatego też paliwo to traktuje się, jako punkt odniesienia i bardzo prawdopodobne, że pierwsze reaktory IV generacji będą napędzane tym paliwem. Z punktu widzenia *neutroniki*¹⁷ zasadniczy problem z tlenkami jest taki, że jedna cząsteczka paliwa zawiera dwa atomy tlenu, przez co moderacja w tym paliwie jest większa niż moderacja w paliwach bez udziału tlenu. Za moderacją idzie bardziej miękki strumień neutronów i w efekcie gorsze warunki powielania lub transmutacji. Dodatkowo przez obecność dwóch atomów tlenu gęstość paliwa tlenkowego jest mniejsza i zwiększa się ucieczka neutronów, co też wpływa na zdolności powielania. Nie mniej istotne jest to, że tlenki charakteryzują się bardzo słabym przewodnictwem cieplnym, aczkolwiek kompensowane jest to bardzo

¹⁷ W polskich słownikach autor nie znalazł słowa neutronika. Jest to spolszczenie angielskiego określenia neutronics (które prawdopodobnie też jest tylko żargonem), czyli w ogólności dziedziny nauki i techniki wykorzystującej fizykę neutronów w kontekście jej zastosowania dla reaktorów jądrowych. Chodzi głównie o transport neutronów w rdzeniu oraz wynikające z tego konsekwencje dla pracy reaktora w tym jego kinetykę, dynamikę i zmiany w paliwie w czasie. (13), (14).

dużymi temperaturami topnienia paliwa. Stosując paliwa o lepszej przewodności dla tego samego liniowego wydatku mocy temperatura w centrum paliwa jest mniejsza i może wystąpić większy margines do temperatury topnienia. Duże gradienty temperatur prowadzą do zmiany struktury paliwa w tlenkach i prowadzą do powstawania centralnego otworu, który w zasadzie jest pozytywnym zjawiskiem, bo obniża najwyższą temperaturę w paliwie. Zdecydowanym plusem paliwa tlenkowego jest fakt, iż jeżeli pojawi się oddziaływanie mechaniczne między koszulką, a paliwem to jest ono niewielkie z uwagi na plastyczność paliwa. Niestety w sytuacji mechanicznego kontaktu koszulki i paliwa może wystąpić niekorzystne zjawisko korozji koszulki (10), (13).

Obiecującym paliwem dla przyszłej generacji reaktorów są azotki (UN, PuN). Związki te mają bardzo dużą przewodność cieplną porównywalną z paliwami metalicznymi. W azotkach obecny jest tylko jeden lekki atom, co prowadzi do mniejszej moderacji i twardszego spektrum strumienia neutronów. W takim paliwie występują małe uwolnienia gazowych produktów rozszczepieniowych, a jak pokazały eksperymenty w reaktorze BOR-60 możliwe są wypalenia dochodzące do 200 MWd/t (10). Azotki są bardziej kompatybilne z sodem oraz z materiałami koszulki paliwowej niż tlenki. Problemem z azotem w paliwie jest wytwarzanie C^{14} z pod wpływem neutronów prędkich w reakcji $N^{15} + n \rightarrow C^{14} + p$, przez co konieczne jest bardzo kosztowne wzbogacanie azotu w paliwie do N^{15} . Ponadto azotki przeciwnie do tlenków są dość twarde i w sytuacji wystąpienia oddziaływania pastylki z koszulką (PCMI) może nastąpić pęknięcie koszulki.

Kolejny poważnie rozważanym materiałem są węgliki (PuC, UC). Zapewniają one twarde spektrum neutronów podobnie jak azotki i w konsekwencji dobre warunki konwersji. Węgliki mają również bardzo wysoką przewodność cieplną porównywalną z azotkami. Eksperymenty w reaktorze FBTR pokazały, że możliwe są wypalenia rzędu 160 MWd/t. Minusy węglików to głównie konieczność stosowania próżni w produkcji paliwa z uwagi na piroforyczność. W kontekście transmutacji węgiel ameryku jest w wysokich temperaturach lotny i może być tracony w procesach przerobu paliwa oprócz utraty materiału stwarza to dodatkowe ryzyko radiologiczne.

Ostatnim historycznie najstarszym paliwem są związki metaliczne. W kontekście reaktorów IV generacji rozważane są stopy metalicznych U, Pu wraz z cyrkonem (Zr). W takich paliwach metalicznych z uwagi na brak atomów silnie moderujących jest najtwardsze spektrum neutronów i najwyższy współczynnik konwersji. Stopy metaliczne mają wysokie przewodności cieplne, co niestety słabo rekompensuje niska temperatura topnienia. W reaktorze EBR-II pokazano, że możliwe są wypalenia rzędu 180 MWd/t. Bardzo istotne jest to, że paliwa metaliczne mają unikalną własność związaną z dużym osiowym współczynnikiem rozszerzalności, który zapewnia ujemne sprzężenie reaktywnościowe. Wadą paliw metalicznych jest bardzo duże pęcznienie pod wpływem promieniowania, przez co konieczne jest stosowanie szerokiej szczeliny między paliwem a koszulką wypełnioną chłodziwem, co też redukuje niektóre zalety stosowania metalu. Obecność chłodziwa tej szczeliny wymaga nie stosowania mokrych metod przerobu, a bardziej skomplikowane metody pirometalurgiczne¹⁹. Pomimo początkowych problemów z metalicznymi paliwami nowsze rozwiązania wydają się być obiecujące i nadal są poważnie rozważane.

18 Piroforyczność to samozapłon materiału w kontakcie z tlenem.

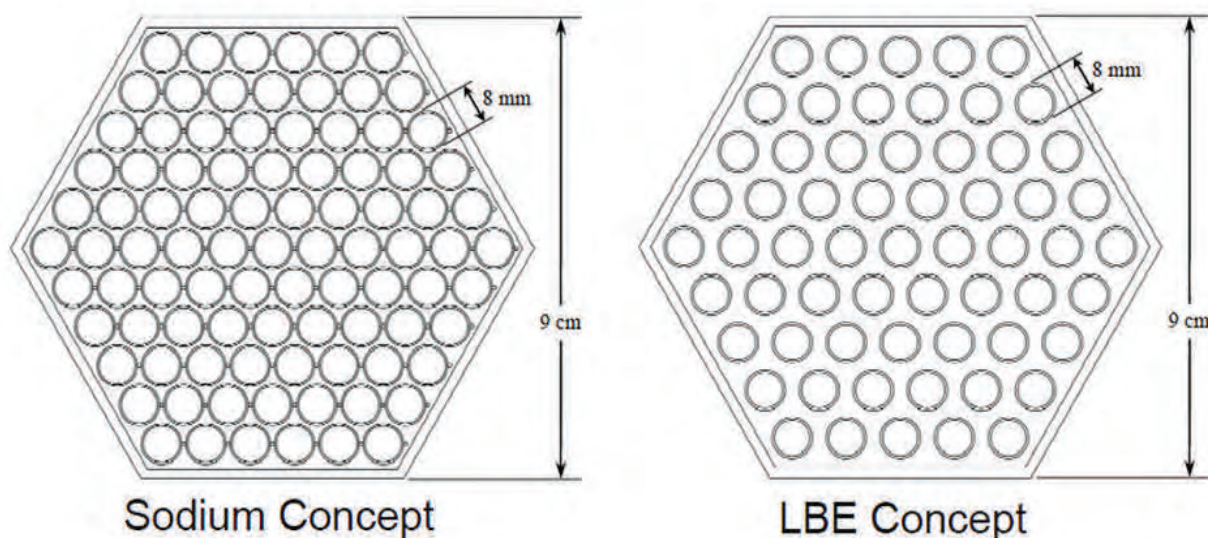
19 Pitrometalurgia to dziedzina techniki zajmująca się przerobem metali w temperaturach powyżej ich temperatury topnienia.

Odpowiedni dobór paliwa podobnie jak gęstość mocy warunkuje w pewnym stopniu przeznaczenie reaktora. W celu osiągnięcia wysokiego współczynnika powielania preferowane jest używanie gęstych paliw takich jak azotki, węglik czy paliwo metaliczne. Niestety wszystkie te paliwa nie są tak rozwinięte i tak dojrzałe technicznie jak paliwo tlenkowe. Tlenki nie są preferowane, jako paliwo dla reaktorów transmutacji, lepsze w tym celu są paliwa o dużej przewodności cieplnej, która to zapewnia bezpieczniejsze zachowanie w trakcie przebiegów nieustalonych, natomiast tlenki zapewniają wspomniany wcześniej większy margines na topnienie paliwa. Ważne jest również to, jakie techniki przerobu wypalonego paliwa jądrowego są dostępne. Narzuca to również szereg ograniczeń na skład paliwa jak chociażby wspomniane paliwa metaliczne (13), (10), (7), (6).

- **Geometria paliwa**

Geometria samego paliwa jądrowego również narzuca pewne ograniczenia na zastosowanie i parametry reaktora. W szczególności istotna jest średnica pastylki paliwowej. Małe średnice stosowane są w celu osiągnięcia wysokiego wypalenia paliwa (10). Przeciwnie, jeżeli celem reaktora jest efektywne powielanie preferowane są większe pastylki paliwowe, które zapewniają lepsze warunki mnożenia paliwa. Prowadzi to do dwóch konkurencyjnych efektów, które trzeba zoptymalizować w zależności od przeznaczenia reaktora. Rozmiary pastylek w reaktorach prędkich od dołu ograniczone są kosztami produkcji, doborem odpowiedniego stosunku P/D (stałej siatki do średnicy pastylki), ucieczką neutronów oraz odpowiednim udziałem objętościowym paliwa (13). Dla reaktorów SFR średnica pastylki to od 6 do 9 mm. W niemalże wszystkich reaktorach prędkich siatka elementów paliwowych - sposób ich rozłożenia w rdzeniu jest heksagonalny. Dla reaktorów wodnych stosowana jest mniej upakowana siatka kwadratowa w celu utrzymania określonego stosunku objętościowego paliwo/moderator, który zapewnia odpowiedni poziom moderacji (14). W reaktorach prędkich nie jest to konieczne, a wręcz niepożądane bardziej istotne jest większe upakowanie paliwa.

Po wykonaniu doboru średnicy koszulki paliwowej konieczny jest dobór stałej siatki, czyli odległości pomiędzy środkami prętów paliwowych. Manipulując geometrią tejże siatki zmieniane są parametry cieplno-przepływowe w kanale chłodzącym reaktora. Typowy P/D (Pitch-to-Diameter), czyli stała siatki dla reaktorów chłodzonych sodem to od 1.1-1.3. Reaktory chłodzone ciekłym ołowiem są projektowane dla P/D pomiędzy 1.5-1.8. Istotna różnica między reaktorami na ciekłe metale, a reaktorami wodnymi jest taka, że średnica pastylki w tym pierwszym jest ograniczona jedynie maksymalną temperaturą w środku pastylki, natomiast w reaktorach wodnych dodatkowym ograniczeniem jest strumień ciepła na powierzchni pastylki. Woda ma w tym wypadku ograniczoną zdolność odbioru ciepła poprzez możliwość pojawienia się zjawiska kryzysu wrzenia, dlatego pastylka nie może mieć zbyt małej średnicy. W przypadku chłodzenia ciekłym metalem nie ma takich ograniczeń (14).



Rysunek 5. Przekroje przykładowych kaset paliwowych dla reaktorów chłodzonego sodem i eutektyką Bi-Pb. Pomimo takich samych wymiarów kasety i pastylek paliwowych widoczna jest wyraźnie większa stała siatki dla reaktora chłodzonego eutektyką.

Produkty rozszczepienia, które zatrująją reaktor termiczny poprzez pochłanianie neutronów termicznych praktycznie nie pochłaniają neutronów prędkich.

- **Koszulka paliwowa**

Materiał, z jakiego zbudowana jest koszulka paliwowa również jest niezwykle istotny. W reaktorach prędkich chłodzonych ciekłymi metalami koszulka paliwowa jest narażona na oddziaływanie bardzo dużych strumieni neutronów potencjalnie przez długi czas. W wyniku procesów zachodzących w koszulce powstają ograniczenia na czas przebywania paliwa w reaktorze, przez co ograniczony jest poziom wypalenia paliwa. Generalnie w reaktorach prędkich to nie zapas reaktywności ogranicza czas przebywania paliwa w rdzeniu²¹, a raczej odporność materiałów konstrukcyjnych kasety i koszulek. Zastosowanie stopów cyrkonu jak w reaktorach LWR staje się niemożliwe z uwagi na dużo wyższe temperatury chłodziwa i konieczne jest stosowanie odpowiednich stali. Odporność materiału na napromieniowanie mierzy się zwykle wielkością dpa (displacement per atom) średnią ilością przemieszczeń, jakie doznaje jeden atom w materiale poprzez oddziaływanie z promieniowaniem. Zmiany w materiale związane są z powstającymi zniszczeniami, dyslokacjami, defektami itp. w jego strukturze. Źródła podają, że na rok pracy paliwa jądrowego w rdzeniu reaktora prędkiego zniszczenia wynoszą około 40 dpa (10). Materiały dość intensywnie puchną oraz stają się kruche i trzeba je wymienić ponadto widoczne są różnice w stopniu puchnięcia dla różnych temperatur. Określa się, że limit pęcznienia do momentu, w którym pojawia się kruchość to około 3% objętości. Większość zbudowanych do tej pory reaktorów sodowych (demonstracyjnych) miało koszulki wykonane ze stali austenitycznej (bardzo popularna SS316). Dla stali SS 316 limit zniszczeń w

21 Produkty rozszczepienia, które zatrująją reaktor termiczny poprzez pochłanianie neutronów termicznych praktycznie nie pochłaniają neutronów prędkich.

strukturze to ok. 80-90 dpa. Nowsze bardziej rozwinięte stale austenityczne typu 15-15Ti są odporne do około 120 dpa. Od wielu lat prowadzone są prace badawcze nad nowymi stalami i bardzo obiecujące są stale ferrytyczno-martenzytyczne (FM). Niektóre eksperymenty pokazują, że stal HT9 może wytrzymać nawet imponującą wielkość 200 dpa. Niestety stale te stają się szybko kruche w niskich temperaturach i mają małą wytrzymałość na pełzanie. Nowe typy stali z nano dyspersjami tlenu - ODS mogą okazać się dużo lepszym rozwiązaniem. Wykazują się dużym wzrostem wytrzymałości na pełzanie i nie są tak kruche przy niskich temperaturach jak stale FM. Konieczne są dalsze bardzo intensywne prace badawcze, dlatego pierwsze reaktory czwartej generacji chłodzone sodem będą raczej zbudowane przy użyciu stali austenitycznej. Natomiast reaktory chłodzone ołowiem mogą spokojnie używać stali FM z uwagi na wysoki dolny limit temperatury w tych reaktorach.

Podsumowanie

Podsumowując można pokusić się o określenie jak będzie najprawdopodobniej zbudowany rdzeń pierwszego reaktora prędkiego pasującego do specyfikacji IV generacji reaktorów. Z dużym prawdopodobieństwem będzie to reaktor chłodzony ciekłym sodem typu basenowego. Napędzany paliwem z mieszanych tlenków o koszulkach paliwowych wykonanych z stali austenitycznej. Moc takiego reaktora będzie się wahać w granicach 600-800 MWe, a liniowa gęstość mocy będzie wynosiła około 30 kW/m, będzie on idealnym konwerterem o CR=1.0. Duże szanse w tym wyścigu ma projektowany francuski reaktor ASTRID lub już budowany rosyjski reaktor BN-800.

Rozwój reaktorów prędkich wymaga jeszcze wielu lat badań. Technika powielania i budowanie reaktorów stricte powielających jest na dzień dzisiejszy w zasięgu takich krajów jak Rosja, Chiny, Indie, Francja czy nadal USA. Jednakże konieczne jest zapewnienie coraz większego bezpieczeństwa oraz wyeliminowanie ryzyka proliferacji materiałów do produkcji broni jądrowej. Istotne jest wprowadzenie na przemysłową skalę nowych zaawansowanych technik przerobu wypalonego paliwa. Dla celów transmutacji konieczne są dalsze badania nad układami podkrytycznymi i krytycznymi transmuterami. Zaprzestanie badań w dziedzinie reaktorów prędkich doprowadziłoby do utraty tej wspaniałej części techniki i utraty wielkiej szansy dla całego świata na zapewnienie sobie pewnej energetycznej przyszłości.



Bibliografia

1. **Laboratories, Idaho National.** An Energy Landmark Idaho's pioneering Experimental Breeder Reactor-I. [Online] 2012. <http://www.inl.gov/ebr/>.
2. *Na jak długo wystarcza pierwiastków rozszczepialnych.* **Chmielewski, A. G.** Warszawa : Instytut Chemii i Techniki Jądrowej.
3. **Alan E. Waltar, Albert B. Reynolds.** *Fast Breeder Reactors.* New York : Pergamon Press, 1981.
4. **Association, World Nuclear.** WNA Reactor Database. [Online] <http://world-nuclear.org/NuclearDatabase/Default.aspx?id=27232>.
5. **Agency, International Atomic Energy.** *Fast Reactor Data Base.* Wiedeń : s.n., 2009.
6. **Technology, Generation IV.** Gen IV International Forum. [Online] <http://www.gen-4.org>.
7. **Y. Zhang, J. Wallenius, A. Fokau.** Transmutation of americium in a medium size sodium cooled fast reactor design. *Annals of Nuclear Energy.* 2010, Vol. 37, 629-638.
8. **Wallenius, J.** *Transmutation of nuclear waste (SH2602).* [Materiały wykładowe KTH] Stockholm : s.n., 2012.
9. —. Transmutation of nuclear waste. <http://neutron.kth.se/courses/transmutation/TextBook.shtml>. Stockholm : KTH, 2010.
10. **Technology, Royal Institute of.** Reactor Physics Division. [Online] <http://neutron.kth.se/>.
11. **Mol, Belgian Nuclear Research Centre in.** SCK CEN . [Online] 2012. <http://myrrha.sckcen.be/>.
12. **Wallenius, J.** *Generation IV reactors (SH2604).* [<http://www.neutron.kth.se/study>] Stockholm : Materiały wykładowe KTH, 2012.
13. **Comission, Nuclear Regulatory.** US NRC. [Online] 2012. <http://www.nrc.gov/reactors/advanced/4s.html>.
14. **American, Scientific.** [Online] 2012. <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=fast-reactors-to-consume-plutonium-and-nuclear-waste>.
15. **A. E. Waltar, D. R. Todd, P. V. Tsvetkov.** *Fast Spectrum Reactors.* s.l. : Springer, 2011.
16. **Kiełkiewicz, M.** *Teoria Reaktorów Jądrowych.* Warszawa : Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 1987.
17. *Fast neutron reactors: principal features and experience.* **Rineiski, A.** Varenna : Workshop on fusion for neutrons and subcritical nuclear, 2011.
18. **Grasso, Giacomo.** *ELST criticality analysis with MCNP - A preliminary study.* University of Bologna : Nuclear Reactor Physics Department of Energy and Nuclear Engineering, 2007.
19. **(GIF), The Generation IV International Forum.** [Online] <http://www.gen-4.org/>.





MIĘDZYNARODOWA KONTROLA MATERIAŁÓW JĄDROWYCH

Krzysztof Rzymkowski

Streszczenie


W referacie przedstawiono genezę systemów kontroli materiałów jądrowych, cele systemów kontroli i metody ich realizacji. Omówiono system kontroli bezpośredniej (nadzorowany i realizowany przez MAEA Międzynarodową Agencję Energii Atomowej) z uwzględnieniem zmian traktatowych rozszerzających zakres inspekcji, rodzaje inspekcji, sposoby ich przeprowadzania, oraz metody pomiarowe. Przedstawiono zasady zabezpieczenia materiałów (ochrona fizyczna). Omówiono też metody pośredniej kontroli materiałów jądrowych, przedstawiając podstawowe działania innych organizacji międzynarodowych (Międzynarodowe Ramy Współpracy w Zakresie Energetyki Jądrowej IFNEC – International Framework for Nuclear Energy Cooperation) oraz realizację Traktatu o Całkowitym Zakazie Prób Jądrowych przez CTBTO (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organisation).

INTERNATIONAL CONTROL OF NUCLEAR MATERIALS

Abstract

Presented is the genesis of nuclear materials control systems, its aims and methods.

Direct control system (realised and supervised by the IAEA) with reference to treaty changes broadening inspection range, inspection types, methods of measurements, are discussed. Rules for materials protection (physical safeguard) are presented. Indirect nuclear material control system are presented, along with general actions of other international institutions (IFNEC – International Framework for Nuclear Energy Cooperation), as well as the fulfillment of CTBTO by Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organisation.

 bawy społeczności międzynarodowej przed niekontrolowanym rozprzestrzenianiem i wykorzystaniem materiałów jądrowych w celach militarnych lub przestępczych, przyczyniły się do powołania szeregu organizacji międzynarodowych. Podstawowym zadaniem tych organizacji, oprócz ułatwiania wymiany informacji naukowych i stymulowania badań nad pokojowym zastosowaniem energii jądrowej, jest opracowywanie standardów bezpieczeństwa oraz bezpośrednia i pośrednia kontrola materiałów jądrowych. Rosnące zagrożenie terroryzmem wymusza dodatkowo konieczność wzmożonej i dokładniejszej kontroli i ochrony tych materiałów. Uzyskane nielegalnie materiały jądrowe (lub ogólniej materiały promieniotwórcze) mogą być użyte do budowy broni jądrowej o różnej sile rażenia i przeznaczeniu - np. do celów dywersyjnych lub do skażenia środowiska.

Szczególnie istotna jest kontrola i ochrona materiałów jądrowych wykorzystywanych w energetyce jądrowej. Bardzo wiele elementów, pozwalających na lepszą kontrolę i ochronę materiałów powinno być uwzględnione w fazie projektu i budowy obiektu jądrowego, a niektóre wymagają nawet szczególnie ścisłej współpracy międzynarodowej. Jest to obecnie, przy zauważalnym renesansie energetyki jądrowej, niezwykle istotne. Zagadnienia kontroli i ochrony materiałów powinny być dokładnie analizowane w Polsce w okresie przygotowywania się do budowy pierwszej elektrowni jądrowej.

Odpowiedzialność za bezpieczeństwo korzystania z materiałów jądrowych spoczywa na państwie, na którego terenie się one znajdują. Jednakże, ze względu na konieczność zapewnienia pełnego bezpieczeństwa, ochrona i kontrola tych materiałów powinna opierać się na rozległej współpracy z wyspecjalizowanymi organizacjami międzynarodowymi. Traktaty międzynarodowe nakładają na kraje określone obowiązki, jak np. konieczność prowadzenia ewidencji materiałów jądrowych zawierającej informacje o jego rodzaju, ilości i miejscu składowania. Szczegółowe rozwiązania realizujące te zobowiązania leżą w gestii prawa państwowego.

W Polsce istnieją obiekty jądrowe (reaktor doświadczalny, składowisko odpadów nisko aktyw-

nych), część zaleceń jest wprowadzona w życie z zastrzeżeniem, że były one dostosowywane do istniejących obiektów. Powstająca energetyka jądrowa wymaga nowych rozwiązań.

1. Cele systemów kontroli

Podstawowym celem systemu kontroli materiałów jądrowych jest utworzenie kompleksowego zespołu procedur, który poprzez długoterminowe działania kontrolne uniemożliwiłby m.in. nielegalne uzyskanie wystarczającej ilości materiałów jądrowych potrzebnych do konstrukcji jądrowych urządzeń wybuchowych lub do skażenia środowiska.

Obecnie wprowadzane są dwa rodzaje systemów kontroli: pierwotnych (bezpośrednich- obecnie funkcjonujący), związanych z wykorzystaniem i składowaniem materiałów jądrowych, oraz wtórnych - (pośrednich – planowanych w przyszłości i częściowo obecnie funkcjonujących).

Zasadniczym zadaniem bezpośredniego systemu kontroli materiałów jądrowych jest okresowe sprawdzanie jego ilości, składu, postaci fizycznej, umiejscowienia, oraz ochrony fizycznej, kontroli lokalizacji i przemieszczania we wszystkich obiektach jądrowych.

System kontroli pośredniej związany z cyklem paliwowym umożliwia śledzenie historii wykorzystania paliwa jądrowego, nie obejmując innych materiałów promieniotwórczych objętych kontrolą bezpośrednią.

2. Bezpośrednia Kontrola Materiałów Jądrowych

Międzynarodowa sytuacja polityczna po II wojnie światowej spowodowała konieczność podjęcia różnych działań umożliwiających międzynarodową kontrolę zbrojeń, ze szczególnym uwzględnieniem ograniczenia rozprzestrzeniania broni jądrowej. W czerwcu 1957 roku utworzono Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (MAEA, IAEA) z siedzibą w Wiedniu, jako jedną z licznych wyspecjalizowanych agend ONZ. Jej podstawowym celem jest prowadzenie i rozwijanie badań nad praktycznym i pokojowym zastosowaniem energii jądrowej, oraz opracowywanie standardów bezpieczeństwa.

W 1968 roku podpisano Traktatu o Nierozprzestrzenianiu Broni Jądrowej (NPT – Non Proliferation Treaty) i powołano w ramach MAEA specjalistyczną służbę - Departament Zabezpieczeń (Departament of Safeguards), której zasadniczym zadaniem jest kontrola wypełniania warunków traktatu NPT przez państwa sygnatariuszy. Kontrola ta polega na niezależnej weryfikacji deklaracji państw o materiałach jądrowych i działaniach związanych z wykorzystaniem energii jądrowej, w celu ustalenia czy deklarowana działalność oraz ilość materiałów jest prawdziwa i materiały nie są wykorzystywane do celów militarnych a w szczególności nie są używane do budowy jądrowych urządzeń wybuchowych.

Państwa-członkowie mogą zawierać z MAEA jeden z trzech rodzajów umów:

- ⇒ o zabezpieczeniach wszechstronnych,
- ⇒ o zabezpieczeniach ograniczonych,
- ⇒ o zabezpieczeniach dobrowolnych.

Umowa o zabezpieczeniach wszechstronnych

Jest to najczęściej zawierany rodzaj umowy obejmujący kontrolą pełną działalność państwa w zakresie energii jądrowej ze szczególnym uwzględnieniem wszystkich materiałów rozszczepialnych na terytorium całego państwa wraz z terytoriami znajdującymi się pod jego jurysdykcją z możliwością pełnego kontrolowania, czy materiały te nie zostały przesunięte z zastosowań pokojowych do wytwarzania broni jądrowej w dowolnej postaci MAEA INFCIRC/153).

W 1992 roku postanowiono, że umowa o zabezpieczeniach wszechstronnych powinna obejmować wszystkie materiały jądrowe (nie tylko rozszczepialne) znajdujące się w posiadaniu państwa. Postanowiono rozszerzyć uprawnienia MAEA o mechanizmy umożliwiające wykrywanie ewentualnych ukrytych (nie deklarowanych) działań, jak i nie deklarowanych materiałów jądrowych. Oprac-

cowano i podpisano rozszerzenie Traktatu NPT tzw. Protokół Dodatkowy (Additional Protocol), zapewniający MAEA pełną możliwość niezależnej weryfikacji wszystkich materiałów jądrowych (nie tylko rozszczepialnych), znajdujących się w posiadaniu państwa, oraz ujawnienia ewentualnych ukrytych (nie deklarowanych) działań. Dalszym rozszerzeniem Traktatu jest tzw. umowa o małych ilościach (Small Quantities Protocol - SQP), wprowadzona po raz pierwszy w 1971 roku, a od roku 2005 stanowiąca jego integralną część.

Obecnie układ NPT obowiązuje w 189 państwach, a w 114 spośród nich obowiązuje również Protokół Dodatkowy. W Polsce NPT obowiązuje od 1972, a Protokół Dodatkowy od 2000 roku.

Umowa o zabezpieczeniach ograniczonych

W niektórych krajach zabezpieczenia MAEA są stosowane tylko do materiałów jądrowych lub działań w zakresie energii jądrowej wymienionych w umowie (MAEA INFCIRC/66). Działania MAEA sprowadzają się do kontroli, czy wymienione w układzie elementy techniki jądrowej nie służą do wytwarzania broni jądrowej. Krajem takim są np.: Indie.

Umowa o zabezpieczeniach dobrowolnych

Układ o nierozprzestrzenianiu broni jądrowej nie dotyczy państw posiadających taką broń w czasie tworzenia systemu zabezpieczeń, tj. Stanów Zjednoczonych, Wielkiej Brytanii, Francji, ZSRR (obecnie Rosji), Chin (ChRL). Mogą one jednakże, zgłosić dobrowolnie materiały jądrowe lub obiekty jądrowe do kontroli przez MAEA na warunkach ogólnego NPT. MAEA ma prawo wyboru obiektu lub obiektów, spośród zgłoszonych, w których będzie kontrolować stosowanie postanowień układu NPT.

Umowy Dobrowolne (Voluntary Offer Agreement - VOA) przewidują, że państwo może ze względów bezpieczeństwa, wycofać zgłoszone materiały jądrowe, jak i obiekty spod kontroli MAEA. Jednakże pewne działania np.: transfer materiałów jądrowych (głównie paliwa do elektrowni) do innych państw jest objęty kontrolą.

Ponadto w niektórych rejonach świata oprócz NPT obowiązuje następujące regionalne umowy dwustronne lub wielostronne:

1. Traktat o zakazie budowy broni jądrowej w Ameryce Łacińskiej, Karaibach (Tlateloco-Treaty) uzgodniony 14 lutego 1967 r., obowiązujący od 1969, do roku 2001 podpisany przez 38 państw.
2. Traktat o strefie bezatomowej w południowym rejonie Oceanu Spokojnego (Rarotonga Treaty) obowiązujący od 1986, do roku 2001 podpisany przez 16 państw.
3. Traktat o strefie bezatomowej w Azji południowo-wschodniej (Bangkok Treaty) obowiązujący od 1997 roku, do roku 2001 podpisany przez 9 państw.
4. Traktat o strefie bezatomowej w Afryce (Pelindaba Treaty), obowiązujący od 2001 i podpisany przez 13 państw.
5. Umowa pomiędzy Republikami Argentyny i Brazylii o pokojowym wykorzystaniu energii jądrowej (Guadalajara Declaration) obowiązująca od 1991 roku.
6. Traktat ustanawiający Europejską Wspólnotę Energii Atomowej (EURATOM Treaty), obowiązujący od 1958 roku w 15 państwach.

Konwencja o ochronie fizycznej materiałów jądrowych

Prace nad międzynarodową konwencją o ochronie fizycznej materiałów jądrowych rozpoczęto w 1972 r. Została ona wprowadzona w życie w 1987 r. Konwencja narzuca m.in. kategoryzację materiałów jądrowych, określa warunki transportu, środki przeciwdziałające przemytowi i bezprawnemu handlowi materiałami jądrowymi. Od momentu jej powstania do chwili obecnej wprowadzono szereg zmian uwzględniających pojawienie się nowych technologii. Obecnie obowiązująca redakcja dokumentu INFCIRC/225 została zatwierdzona w 1998 r. Wprowadzenie przez państwo zaleceń opisanych w dokumencie jest dobrowolne i w niczym nie narusza jego suwerenności. Dokument zaleca nawet dostosowanie zaleceń do warunków lokalnych, uwzględniając specyfikę

chronionych obiektów i systemów zabezpieczeń już działających w danym państwie.

Wrześniowy zamach w Nowym Jorku w 2001 r. spowodował konieczność powtórzonego przeanalizowania stanu bezpieczeństwa ośrodków jądrowych i przeprowadzenie nowych symulacji komputerowych przewidywanych awarii wywołanych atakiem terrorystycznym. Przeanalizowano różne ewentualne scenariusze nieuprawnionego uwolnienia materiałów jądrowych uwzględniające:

- ⇒ kradzieży broni jądrowej
- ⇒ kradzieży materiałów jądrowych potrzebnych do budowy broni jądrowej
- ⇒ kradzieży materiałów radioaktywnych
- ⇒ sabotażu (np. atak na obiekt jądrowy)

Zwrócono szczególną uwagę na:

- ⇒ zabezpieczenia reaktorów energetycznych i doświadczalnych z uwzględnieniem możliwości ataku na ich wrażliwe elementy głównie zabezpieczenia fizyczne budynku reaktora, obiegów systemu chłodzenia, basenów wypalonego paliwa oraz na zabezpieczenia przed możliwością sabotażu wewnętrznego np. opanowanie sterowni reaktora.
- ⇒ możliwą kradzież wypalonego lub świeżego paliwa z obiektu lub w czasie transportu.
- ⇒ nieuprawnione zbieranie niewielkich ilości materiału jądrowego lub radioaktywnego w długim okresie czasu.
- ⇒ możliwość bezpośredniej kradzieży broni jądrowej z baz wojskowych, łodzi podwodnych, samolotów, magazynów głowic

Aktualne zalecenia dotyczące ochrony fizycznej są zawarte a zawarte w dokumencie MAEA INF-CIRC/255/Rew.4

3. Realizacja celów kontroli bezpośredniej

Realizacja celów kontroli bezpośredniej jest możliwa tylko przy pełnej współpracy międzynarodowej. Do wypełnienia podstawowych zadań kontrolnych powołano w MAEA rozbudowany departament zabezpieczeń (Safeguard) uzyskujący konieczne informacje poprzez rozbudowany system inspekcyjny sprawdzający obiekty jądrowe i śledzący wykorzystywanie w nich materiałów jądrowych od chwili powstawania obiektu do jego likwidacji. Pracę trzech działów operacyjnych departamentu zabezpieczeń zbierających dane wspomagają: dział techniczny (zapewniający pełną pomoc techniczną począwszy od zakupu, testowania, instalacji, konserwacji i demontażu urządzeń pomiarowych), dział informatyki, dział planowania i analiz, laboratoria analityczne i pomiarowe w Seibersdorf. Informacje o materiałach jądrowych są zbierane podczas następujących rodzajów inspekcji:

- Inspekcja początkowa - polegająca na wstępnym sprawdzeniu informacji o konstrukcji obiektu po zadeklarowaniu przez państwo włączenia go do systemu zabezpieczeń.
- Inspekcja rutynowa - polegająca na weryfikacji deklaracji państwa odnośnie materiałów jądrowych i rodzaju (składu chemicznego, wzbogacenia, formy fizycznej, itp.), sposobu wykorzystania, lokalizacji i związanych z nimi innych działań np. przesunięcia do innej kategorii, przeniesienia do innej lokalizacji. Częstotliwość tych inspekcji uzależniona jest od rodzaju materiału i przewidywanej możliwości szybkiego ich wykorzystania do celów militarnych.
- Inspekcja niezapowiadana - inspekcja rutynowa w wybranym przez MAEA obiekcie, ale zgłoszona dopiero po przyjeździe inspektora do danego państwa. Częstotliwość jej przeprowadzania jest uzależniona od wielu czynników sugerujących użycie materiałów jądrowych w innych celach niż deklarowane przez państwo.
- Inspekcja natychmiastowa - przeprowadzana na żądanie MAEA i zgłoszona bez wcześniejszego uprzedzenia. Ważny jest czas liczony od chwili zgłoszenia do chwili wejścia inspektora do żądanego obszaru (lub obiektu) inspekcji. Ten rodzaj inspekcji jest coraz częściej stosowany w Systemie Integralnych Zabezpieczeń.



- Inspekcja jednoczesna - przeprowadzana jednocześnie w obiektach o podobnym charakterze używających identycznych lub podobnych materiałów jądrowych w celu uniemożliwienia np. wzajemnego pożyczania.
- Inspekcja ciągła - polegająca na stałej obecności i kontrolowaniu przeprowadzanych procesów przez inspektora, najczęściej w obiektach o pracy ciągłej.
- Inspekcja specjalna - przeprowadzana w przypadku, gdy konieczne jest uzupełnienie inspekcji rutynowej w celu uzyskania dodatkowych informacji.
- Inspekcja - wizyta - polega na obecności inspektorów MAEA w obiekcie w celu innym niż weryfikacja, a wynikającym z umów – np. spowodowana dyskusją na temat konstrukcji obiektu, wprowadzenia nowych technik systemu zabezpieczeń lub ich zmian.

W niektórych obiektach, np. wzbogacania uranu do pewnych rejonów konieczne jest specjalne żądanie dostępu. Są to tzw. inspekcje niezapowiadane o ograniczonej częstotliwości (LFUA - Limited Frequency Unannounced Inspection).

W trakcie inspekcji przeprowadzane są pomiary parametrów materiału, tj. ich zgodności z deklaracją, sprawdzanie nienaruszalność założonych plomb, sprawdzanie zapisu systemów obserwacyjno-rejestrujących, zmiany konstrukcji obiektu itp.

Innym elementem kontroli bezpośredniej materiałów jądrowych jest ich ochrona fizyczna w poszczególnych obiektach powiązana z ochroną fizyczną samych obiektów. Jej celem jest:

- ⇒ powstrzymanie przed próbami nielegalnego uzyskania materiałów jądrowych realizowane przez wprowadzenie zapór fizycznych uniemożliwiających bezpośredni dostęp do materiałów jądrowych przez osoby nieuprawnione
- ⇒ wykrywanie nieuprawnionych działań, polegające na wprowadzeniu kompleksowego systemu czujników, systemów obserwacyjno-rejestrujących, straży obiektu, procedur dostępu do materiału jądrowego i kontroli jego ilości.
- ⇒ uniemożliwienie dostępu do materiałów jądrowych (opancerzone drzwi, kodowane zamki, ściany, zabezpieczenia otworów w budynkach – wentylacyjnych, okiennych, dachowych.)

Wszystkie te elementy muszą być uwzględnione przy budowie obiektu, a następnie stale ulepszone w czasie jego eksploatacji. Do tych prac powinny być zaangażowane odpowiednie służby państwowe, ze szczególnym zapewnieniem współpracy różnych służb specjalnych.

Systemy ochrony fizycznej obiektów i materiałów jądrowych opracowywane są indywidualnie dla każdego obiektu. Przy jego opracowywaniu należy uwzględnić stopień atrakcyjności postaci materiału jądrowego. Materiały, które mogą być użyte bezpośrednio do budowy broni jądrowej oraz materiały których ewentualne wykorzystanie do budowy broni jądrowej wymagają specjalnego nadzoru. Dlatego też wymagania dotyczące systemów fizycznej ochrony materiałów jądrowych wewnątrz obiektu muszą przede wszystkim uwzględniać rodzaj (kategorię) materiału jądrowego, jego lokalizację (tzn. czy jest on aktualnie używany, magazynowany, transportowany), oraz zabezpieczenie dróg transportu materiału. System zabezpieczeń fizycznych składa się z:

- ⇒ rozbudowanego systemu aparatury kontrolnej, systemów obserwacji i rejestracji, zamykania zagrożonych lub atakowanych stref obiektu, rozbudowanych wielostopniowych systemów alarmowych
- ⇒ procedur określających organizację i obowiązki służb ochraniających obiekt, plany obiektu uwzględniające przeprowadzenie natychmiastowych różnych akcji prewencyjnych, obowiązkowych ćwiczeń treningowych.

Dla ułatwienia ochrony fizycznej materiałów jądrowych wprowadzono ich kategoryzację, różnicując poziom zabezpieczeń uwzględniający potencjalną atrakcyjność materiałów dla działań



nieuprawnionych. Wprowadzono trzy kategorie, przyjmując, że najbardziej atrakcyjny jest pluton w postaci metalicznej, następnie wysoko wzbogacony uran itd. Przykładowo pluton w każdej postaci (Plutonu za wyjątkiem plutonu o koncentracji izotopu Pu238 przewyższającej 80%) może być znajdować się w pomieszczeniach t o zróżnicowanym sposobie ochrony:

Kategoria I	Kategoria II	Kategoria IIIc
2kg lub więcej	Poniżej 2kg ale nie więcej niż 500g	500g lub mniej ale nie więcej niż 15g

Materiał jądrowy trzeciej kategorii może być chroniony tak jak wszystkie inne materiały radioaktywne. Kategoryzacja ułatwia bezpośrednią kontrolę materiałów jądrowych w obiekcie określając ich położenie, sposób składowania, ilość itp.

Materiały jądrowe mogą być przesuwane do innych kategorii, jeżeli zachodzące w nich zmiany powodują określone zmiany właściwości, np. zmiany poziomu promieniowania, składu izotopowego, postaci (metalicznej, związku chemicznego, roztworu, mieszaniny). Umożliwia to elastyczne zarządzanie ich ochroną i kontrolą.

Za opracowanie, wprowadzenie i poprawne funkcjonowanie całości systemu odpowiedzialne są władze państwowe w ramach swojego prawa krajowego, zgodnie z prawem międzynarodowym. Pomiędzy państwami powinna być wzajemna wszechstronna współpraca. Efektywność systemu ochrony w jednym państwie jest uzależniona od działań innego państwa np. przy transporcie materiałów jądrowych przez wspólną granicę, lub transporcie tranzytowym.

System wymaga stałego unowocześniania i ulepszania krajowych systemów kontroli materiałów jądrowych i ochrony fizycznej, zwiększenia efektywności i sprawności kontroli materiałów jądrowych i radioaktywnych, ulepszenia i modernizowania krajowych regulacji prawnych oraz ich ścisłego powiązania z systemami międzynarodowymi. Dotyczy to w szczególności procedur powiadamiania o kradzieży czy akcie sabotażu oraz wzmocnienia systemów kontroli handlu materiałami jądrowymi w celu eliminacji ich nielegalnego obrotu i przemytu.

Podstawowy cel systemu zabezpieczeń (tj. weryfikacja czy materiały jądrowe oraz działania w zakresie energii jądrowej w obiektach jądrowych, jak i w innych obiektach posiadających materiały jądrowe są wykorzystywane tylko do celów pokojowych) od początku jego powstania jest niezmienny, to zakres i metody tej weryfikacji są stale udoskonalane.

W latach 1991-1993 wprowadzono obowiązkowe sprawdzanie informacji na temat konstrukcji obiektów jądrowych (Design Information) poczynając od etapu projektowego do zakończenia budowy i oczywiście dalszego okresowego sprawdzania wszystkich wprowadzanych zmian konstrukcji, aż do likwidacji obiektu. Inną nowością była możliwość dobrowolnego zgłoszenia obiektów do kontroli (Voluntary Measures).

W roku 1995 wprowadzono szereg modyfikacji systemu zabezpieczeń wynikających z dynamicznego postępu technologicznego. Między innymi przetestowano i zatwierdzono do stosowania system zbierania próbek środowiskowych - polegający na zbieraniu śladowych próbek (np. drobin kurzu) materiałów z dowolnych miejsc wybranych przez MAEA i poddaniu ich analizie w specjalistycznym laboratorium (Instytut w Seibersdorf pod Wiedniem). Dokładność tej metody wykrywania materiałów jądrowych i historii ich używania, np. w danym obiekcie jądrowym.



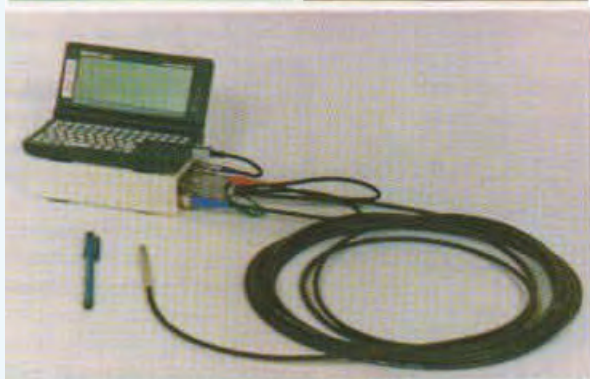
Paliwo Jądrowe



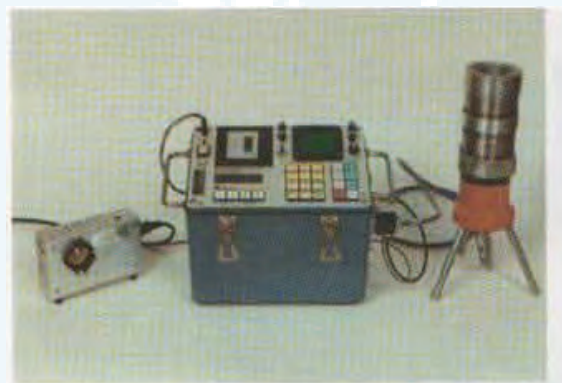
Rys.1 Zestaw do pobierania próbek środowiskowych składający się hermeticznie zamykanych torebek plastikowych. Próbkę zbierane są przez inspektora używającego do każdorazowego pobrania próbki sterylnych rękawic i sterylnych (widocznych na zdjęciu) w zamkniętych w hermeticznych torebkach plastikowych) bibułek wkładanych (po pobraniu próbki) do tej samej torebki. Torebka jest oznaczona numerem. Miejsce pobrania próbki jest zapisywane na specjalnie przygotowanym dla danej obiekty formularzu. Sterylność dotyczy nie tylko sterylności w znaczeniu medycznym ale przede wszystkim nadzwyczajnej czystości składu chemicznego tak by można było wyeliminować tło (zanieczyszczenia) nośnika próbki (tj. torebki, rękawic, bibułki) w czasie analizy spektrometrycznej.



Rys. 2 Zestaw pojemników do przechowywania i transportu. W czasie transportu pojemniki z próbkami materiałów jądrowych wyselekcjonowanych do badań laboratoryjnych umieszczane są w dodatkowych pojemnikach odpornych na wstrząsy, udary, warunki atmosferyczne, wodoszczelnych dodatkowo plombowanych pojemnikach). Pobierane próbki materiałów jądrowych w różnych fazach produkcji paliwa jądrowego są przesyłane do specjalistycznych (losowo wybranych przez MAEA) laboratoriów w celu precyzyjnej analizy deklarowanego składu materiału jądrowego w danym etapie produkcji paliwa. Laboratorium przeprowadzające analizę nie jest informowane o pochodzeniu próbki.



Rys. 3 Miniaturowy analizator wielokanałowy z detektorem półprzewodnikowym CdZTe umożliwiającą weryfikację deklarowanego składu materiału jądrowego np. w świeżym paliwie.



Rys. 4 Analizator wielokanałowy z detektorem NaI (starszy model) umożliwiającą weryfikację deklarowanego składu materiału jądrowego np. wzbogacenie uranu



Rys. 6 Analizator wielokanałowy przystosowany do pomiaru składu wypalonego paliwa w basenie wypalonego paliwa tzw. „fork detektor”. Pomiędzy dwoma detektorami widocznymi na zdjęciu przesuwane jest wypalone paliwo (kaseta). Metoda pozwala na niezwykle dokładne sprawdzenie składu wypalonego paliwa. Ponieważ wypalone paliwo zawiera elementy przydatne do budowy broni jądrowej jest ono sprawdzane w czasie każdej inspekcji. Przedstawiony przyrząd jest przeznaczony do dokładnych pomiarów.



Rys. 7 Urządzenie do obserwacji promieniowania Czerenkowa w basenie wypalonego paliwa pozwalające na ocenę czy przechowywane w basenie kasety zawierają wypalone paliwo. Ze względu na długi czas przechowywania paliwa w basenie intensywność promieniowania Czerenkowa maleje i urządzenie to jest łączone z rejestratorem komputerowym pozwalającym potwierdzić istnienie promieniowania Czerenkowa widoczne po dokonaniu serii zdjęć wybranej kasety paliwowej. Urządzenie (ICVD Improved Cerenkov Viewing Device) jest używane w czasie każdej rutynowej inspekcji.

4. Pośrednia Kontrola Materiałów Jądrowych

Wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną, mimo wprowadzania technologii energooszczędnych, powoduje konieczność zwiększania mocy pracujących już elektrowni, budowy nowych jak poszukiwania całkowicie nowych rozwiązań. Jednocześnie narasta presja na oszczędzanie naturalnych zasobów materiałów używanych w energetyce - głównie węgla i gazu i coraz częściej wspomina się o ropie. Dodatkowym powodem szukania innych rozwiązań jest chęć jak największego uniezależnienia się od dostawców tych nośników energii. Spowodowało to powstanie szeregu organizacji i inicjatyw międzynarodowych poszukujących jak najlepszych rozwiązań. Szczególnie dynamicznie rozwijają się takie inicjatywy związane z energetyką jądrową.

Charakterystyczną cechą energetyki jądrowej stanowiącej rozbudowany rodzaj przemysłu, jest cykl paliwowy polegający na zamkniętym obiegu paliwa uranowego, przetwarzanego po jego wykorzystaniu do postaci umożliwiającej powtórne wykorzystanie jego elementów do wytwarzania energii elektrycznej. Proces ten jest przeprowadzany w szeregu zakładach stanowiących niezależne i rozproszone obiekty przemysłowe. Rozproszenie obiektów jądrowych powoduje konieczność dodatkowego kontrolowania i ochrony materiałów jądrowych w czasie ich transportowania pomiędzy poszczególnymi zakładami. Cykl paliwowy obejmuje zakłady używające duże ilości materiałów jądrowych. Zakładów tych jest w krajach o rozwiniętej energetyce jądrowej bardzo dużo, a jednocześnie stale powstają nowe w krajach wprowadzających energetykę jądrową. Jednym z proponowanych rozwiązań jest ograniczenie ilości zakładów przy takim wykorzystaniu już istniejących, by obsługiwały one np. elektrownie w kilku krajach. Idea polega na tym, by po wykorzystaniu paliwa jądrowego wracało ono do producenta, który przekazywałby je do zakładów przerobu i prowadziłby jego rejestrację i kontrolę.

Pierwsza propozycja takiego rozwiązania pod nazwą Światowe Partnerstwo Energii Jądrowej GNEP (Global Nuclear Energy Partnership) była częścią prezydenckiego programu jądrowego ogłoszonego w lutym 2006 roku przez Departament Energii Stanów Zjednoczonych i mającego na celu zmniejszenie uzależnienia od zagranicznych dostaw paliw płynnych, przyspieszenia rozwoju gospodarczego i prowadzenia bezpiecznych, bardziej odpornych na nielegalne działania i nowoczesnych technologii pozwalających uzyskać więcej energii i zmniejszeniu ilości odpadów. Podstawą takiego działania była tzw. Inicjatywa Zaawansowanego Cyklu Paliwowego (Advanced

Fuel Cycle Initiative - AFCI) dysponująca znacznymi środkami finansowymi. Propozycję zgłosił Sekretarz ds. Energii Samuel Bodman.



W maju 2007 roku powołano międzynarodową organizację pod nazwą Światowe Partnerstwo Energii Jądrowej GNEP (Global Nuclear Energy Partnership), zrzeszającą zainteresowane tym kraje. Członkami założycielami były Stany Zjednoczone, Chiny, Francja, Rosja, Japonia. Są to państwa dysponujące technologią pełnego cyklu paliwowego. Uwagę zwraca początkowy brak zainteresowania Wlk. Brytanii, zapowiadającej swoje ewentualne przystąpienie do tej organizacji w przyszłości. Podstawowym zastrzeżeniem zgłaszanym przez niektóre państwa oraz MAEA dla takiej koncepcji rozwoju energetyki jądrowej była obawa przed zwiększeniem ryzyka niekontrolowanego rozprzestrzeniania się broni jądrowej. Z chwilą powołania organizacji międzynarodowej inicjatywa GNEP przestała być finansowana przez Inicjatywę Zaawansowanego Cyklu Paliwowego.

Ostatecznie uzgodniono, że celem organizacji będzie wspomaganie rozwoju energetyki jądrowej przez promowanie najnowszych technologii przerobu paliwa jądrowego, zminimalizowania ilości odpadów promieniotwórczych oraz opracowywania i wprowadzania nowych metod ich utylizacji, ustanowienie sposobów obsługi przerobu paliwa oraz wzmocnienie i udoskonalenie metod zabezpieczenia materiałów jądrowych zgodnie z Traktatem NPT i jego późniejszymi rozszerzeniami. Działania te powinny ograniczyć poziom zanieczyszczeń powietrza, zmniejszyć emisję gazów cieplarnianych i zmniejszyć ryzyko niekontrolowanego rozprzestrzeniania broni jądrowej. Taki program rozwoju energetyki jądrowej powinien w bezpieczny sposób prowadzić do zaspokojenia wzrastającego zapotrzebowania na energię elektryczną, a poprzez współpracę z MAEA zmniejszyć ryzyko nielegalnego dostępu do materiałów jądrowych, obniżyć globalne koszty energetyki jądrowej przez obniżenie kosztów cyklu paliwowego poprzez zmniejszenie ilości zakładów przerobu. Wydaje się, że projektach niedostatecznie dużo uwagi poświęcono problemom związanym z bezpieczeństwem transportu materiałów jądrowych. Dalszym celem byłby rozwój nowoczesnych, taniych, bezpiecznych i dobrze spełniających warunki nieprolifracji reaktorów, które mogły być instalowane w krajach trzeciego świata.

Inicjatywę poparło 25 krajów (w tym Polska), podpisując wstępne porozumienie. Dalszych 31 krajów zgłosiło swoje zainteresowanie, stając się „członkami kandydatami”. Prace GNEP były obserwowane przez organizacje międzynarodowe, przede wszystkim MAEA, Generation IV International Forum i Euroatom. Przystąpienie do organizacji jest dobrowolne.

W czerwcu 2010 na spotkaniu Grupy Kierowniczej (Sterującej) (Steering Group) GNEP w Akrze (Ghana) zgodnie z zaleceniami Komitetu Wykonawczego (Executive Committee) podjętymi na spotkaniu w Pekinie w październiku 2009 roku postanowiono przekształcić GNEP w nową organizację pod nazwą Międzynarodowe Ramy Współpracy w zakresie Energii Jądrowej (International Framework for Nuclear Energy Cooperation).

Przekształcenie było podyktowane koniecznością dostosowania się do nowych potrzeb wynikających z postępu technologicznego wymuszającego szybsze niż wstępnie zakładano rozprzestrzenianie się energetyki jądrowej wymagające ściślejszej współpracy międzynarodowej. Oprócz nazwy zmieniono nieco strukturę organizacyjną.

Naczelną władzą organizacji jest Komitet Wykonawczy, którego członkami są przedstawiciele państw na szczeblu ministerialnym. Komitet powołuje członków Grupy Kierowniczej (Sterującej) zarządzającą pracą organizacji. Obecnie Przewodniczącym Grupy jest przedstawiciel Stanów Zjednoczonych, a jego zastępcami są przedstawiciele Francji, Chin i Japonii. Grupie Kierowniczej podlegają dwie Grupy Robocze:

- I. rozwoju Infrastruktury, obejmującej zasoby ludzkie (specjalistów), szkolenie, gospodarkę (zarządzanie) odpadami, budowy małych reaktorów energetycznych, finanse, włączenie do współpracy organizacji zrzeszających specjalistów z powyższych dziedzin.
- II. usług paliwowych, obejmujących system „wypożyczania” paliwa przez producenta produ-

centom energii i jego zwrotu do przerobu wraz z jego kontrolą Kraje nie posiadające dotychczas żadnych struktur umożliwiających szybkie wprowadzenie energetyki jądrowej mogą korzystać z wiedzy i doświadczenia krajów członkowskich IFNEC, w szczególności dotyczących rozwoju energetyki jądrowej przy uniknięciu kosztownych inwestycji związanych z cyklem paliwowym, w tym zakładami przerobu, produkcji paliwa. Innymi słowy IFNEC ma stanowić „forum zapewniające szeroką współpracę krajów członkowskich w poszukiwaniu wzajemnych korzyści w wykorzystaniu energii jądrowej do celów pokojowych zapewniając bezpieczeństwo, ochronę i pomoc w nieprolifracji”.

Celem IFNEC jest zapewnienie rozprzestrzeniania bezpiecznego energetyki jądrowej nie tylko poprzez kontrole materiałów jądrowych, ale również zapobieganie rozprzestrzeniania technologii, które mogłyby być wykorzystywane do budowy broni jądrowej.

Innym celem IFNEC jest poprawa wydajności cyklu paliwowego. Niektóre e stosowanych obecnie technologii nie w pełni wykorzystują paliwo jądrowe. Pozostałe w wypalonym paliwie niewykorzystane materiały rozszczepialne mogłyby być po przerobie nadal wykorzystywane jako źródła energii. Obecnie technologie pozwalają na odzysk uranu i plutonu do powtórnego użycia w reaktorach lekko wodnych, natomiast nie istnieje możliwość przemysłowego odzysku aktywnoców. Obecnie wykorzystywane technologie zostały opracowane dla potrzeb wojskowych. Światowe zapasy plutonu nadającego się do zastosowań energetycznych przekraczające obecnie 240 ton plutonu są składowane i nie nadają się bezpośrednio do zastosowań militarnych. Uważa się jednak, że mogą być do nich użyte i wymagają stałych kontroli. Nowe technologie przerobu paliwa wprowadzające domieszkę innych pierwiastków (uranu, neptunu, ameryku, kiuru) spowodowałyby całkowitą nieprzydatność tego plutonu do budowy jądrowych środków wybuchowych. Zmiana technologii zmniejszyłaby ilość składowanego plutonu, jak również zmniejszyłaby ilość i objętość odpadów wysokoaktywnych.

Oczywiście nowe technologie wymuszałyby unowocześnienie, wzmocnienie i zaostrzenie kontroli materiałów a także modyfikację systemów ochrony.

Poprawa wydajności cyklu paliwowego propagowana przez IFNEC ma również na celu wprowadzenie ścisłej kontroli materiałów jądrowych w scalonym systemie weryfikacji obejmującym cały cykl paliwowy. Odnosi się to szczególnie do dwóch najważniejszych procesów tego cyklu, tj. do wzbogacania i przerobu, skupionych w kilku ośrodkach. Ograniczenie ilości kontrolowanych zakładów ułatwia weryfikację materiałów jądrowych, obniżając dodatkowo ogólne koszty energetyki jądrowej. Kontrola materiałów byłaby przeprowadzana przez MAEA.

Przywiązując ogromną wagę do przerobu paliwa, IFNEC proponuje szersze wprowadzenie zmodyfikowanych wersji stosowanej obecnie technologii PUREX. Ponieważ końcowe produkty tych nowych technologii zawierają różne produkty rozpadu („domieszki” aktywnoców, lantanoców), nadają się one do produkcji paliwa przeznaczonego do reaktorów powielających pozwalających na lepsze jego wykorzystanie przy produkcji energii elektrycznej. Jest to kolejny element programu IFNEC popierający badania i rozwój nowej technologii reaktorowej Szybkich Reaktorów Powielających (Fast Breeder Reactors). Najbardziej zaawansowane prace nad tą techniką reaktorową są prowadzone we Francji, Japonii, Rosji i Stanach Zjednoczonych.

Kolejnym bardzo ważnym elementem cyklu paliwowego jest utylizacja i przechowywanie odpadów promieniotwórczych. IFNEC popiera wszelkie badania nad opracowaniem i wprowadzaniem nowych technologii utylizacji i przechowywania, ale najważniejszym problemem wynikającym z podstawowych założeń organizacji IFNEC jest ustalenie zasad postępowania z odpadami powstającymi w procesie przerobu paliwa.

Nowym opracowaniem w tej dziedzinie jest np. projekt Guinevere zainicjowany w 2010 roku



przez Belgijskie Centrum Badań Jądrowych i Francuskie Centrum Badań Naukowych i inne laboratoria europejskie w którym przy wykorzystaniu reaktora sterownego wiązką szybkich neutronów z akceleratora (ADR accelerator driver reaktor) będzie zachodziła transmutacja długożyciowe wysoko aktywnych pierwiastków w wypalonym paliwie na pierwiastki mniej aktywne co będzie miało istotny wpływ na proces przerobu paliwa i składowanie odpadów.

Podstawowym problemem jest ustalenie, kto jest odpowiedzialny za przechowywanie, a ściślej do kogo należą powstałe odpady, czy jest to:

1. użytkownik, tzn. państwo używające paliwo wyprodukowane w innym kraju i wysyłające je do przerobu w jeszcze innym kraju - wówczas powstałe odpady musiałyby być przetransportowane do użytkownika.
2. dostawca paliwa, tzn. kraj dostarczający paliwo do użytkownika - wówczas niezależnie od tego, kto przerabia paliwo, odpady wracają do dostawcy.
3. kraj, w którym utworzono centralne składowisko z uwagi na najkorzystniejsze warunki np. geologiczne - do którego będą przesyłane odpady pochodzące z kilku zakładów przerobu z innych krajów.

Należy podkreślić, że imo atrakcyjności omówionych powyżej propozycji, szczególnie dla krajów nie posiadających rozwiniętego przemysłu jądrowego, propozycja IFNEC budzi wiele sprzeciwów. Jednym z najczęściej podnoszonych kwestii jest spodziewane umocnienia podziału świata na kraje rozwinięte technologicznie i dodatkowo uprzywilejowane w rozwijaniu nowych technologii, oraz kraje korzystające z tych osiągnięć w ograniczonym zakresie, którym postawiona jest bariera w rozwoju. Wydaje się to stać w sprzeczności z ideą Traktu NPT, zakładającego równość dostępu do technologii jądrowych i ich wykorzystywania w celach pokojowych. Ponadto podnosi się kwestie pogłębianie się ekonomicznej zależności krajów mniej rozwiniętych od państw bogatszych.

Innym problemem jest zapewnienie bezpieczeństwa bardzo licznych i zróżnicowanych transportów (na ogół międzynarodowych) np. świeżego paliwa z zakładów produkcji do oddalonych elektrowni usytuowanych w innych krajach i zwrotny transport wypalonego paliwa do zakładów przerobu w innym państwie.

Wątpliwości budzi też, mimo dobrze rozwiniętego systemu zabezpieczeń (safeguardu), możliwość uniknięcia takiej kontroli, czemu sprzyja rozproszenie zakładów. Ilość przewożonego paliwa będzie rosła w miarę rozwoju energetyki jądrowej. W związku z tym rośnie ryzyko aktów terroryzmu związanych z transportem. Całość wymaga całkowicie nowych regulacji prawnych uwzględniających różne aspekty np. kwestie własności paliwa, odszkodowania, unowocześnienia przepisów ochrony radiologicznej, ochrony fizycznej, oszacowania opłacalności całości przedsięwzięcia itp. Większość problemów pojawiła się w chwili umiędzynarodowienia inicjatywy GNEP, której początkowym celem było unowocześnienie programu jądrowego Stanów Zjednoczonych zwracającego uwagę na poprawę jego ekonomiczności i zwiększenia bezpieczeństwa, w tym głównie kontroli materiałów jądrowych.

Elementem kontroli, czy materiały jądrowe są wykorzystywane do celów pokojowych, jest Traktat o całkowitym zakazie prób jądrowych (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty, CTBTO). W powiązaniu z NPT pozwala on stwierdzić, czy materiały jądrowe zostały pozyskane w sposób nieuprawniony i są wykorzystywane do celów niezgodnych z NPT.

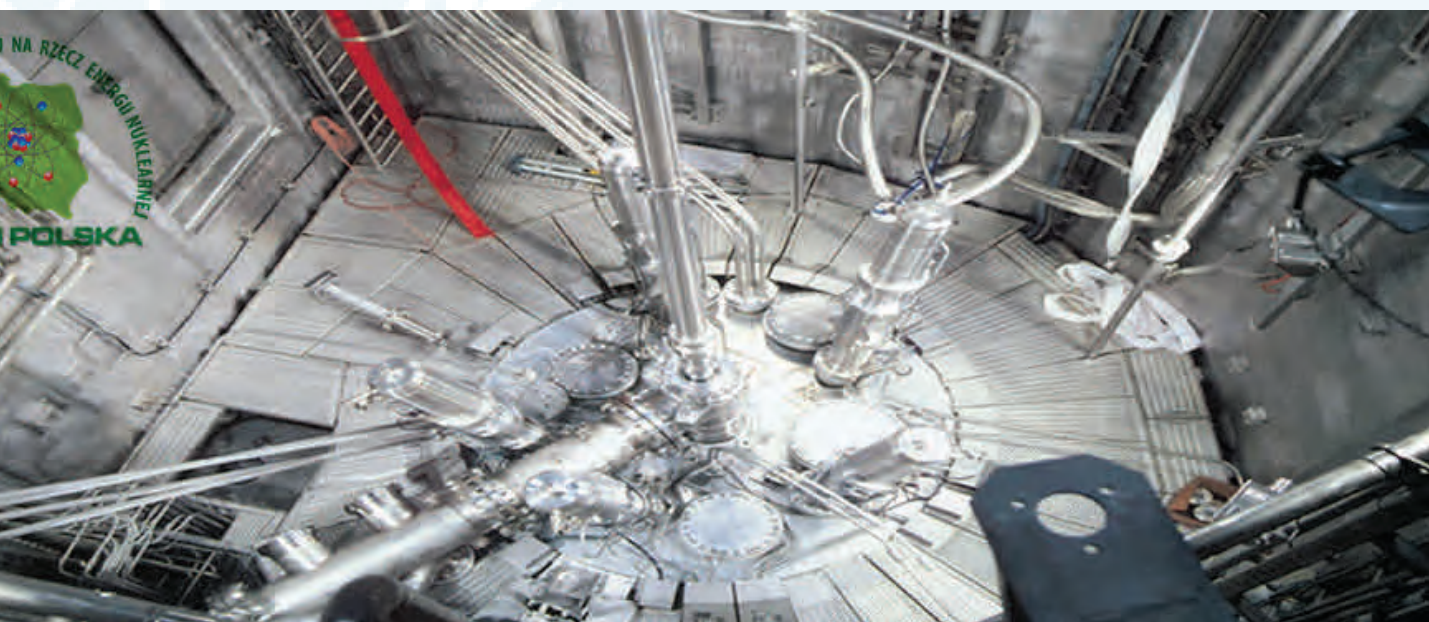
Traktat podpisało początkowo 177 państw. W chwili obecnej traktat obejmuje 180 państw sygnatariuszy, z czego ratyfikowany został w 148 państwach. By Traktat mógł zacząć obowiązywać, konieczna jest jednak ratyfikacja przez wszystkich jego uczestników. Polska ratyfikowała Traktat w maju 1999 roku.



W celu realizacji kontroli warunków Traktatu powołano Międzynarodową Organizację CTBTO, która organizuje Międzynarodowy System Monitorowania (International Monitoring System – IMS). Tworzy go sieć 321 stacji pomiarowych i 16 laboratoriów rozmieszczonych po całym świecie w taki sposób, aby pokryły cały obszar, w którym mogłyby być przeprowadzane próby. Rozmieszczenie punktów pomiarowych zostało uzgodnione i zapisane w Aneksie do Traktatu. W systemie wykorzystywane są najnowsze technologie, a stacje pomiarowe są stale modernizowane. Stacje monitorowania, z których dane przekazywane są bezpośrednio do centrali w Wiedniu, stanowią sieć pierwotną (obecnie 50). Do systemu monitorowania należą także stacje krajowe (obecnie 120), zbierające dane przechowywane w systemach krajowych i udostępniane na żądanie centrali. System obejmuje stacje zbierające dane sejsmiczne (170), hydroakustyczne (11), infradźwiękowe (60), oraz stacje wykrywania radionuklidów (80).

Bibliografia.

1. **Rzymkowski K.** Zabezpieczenie materiału jądrowego przed działaniem terrorystycznym PTJ 2008
2. **Rzymkowski K.** Narażenie elektrowni jądrowych na ataki terrorystyczne ENEX Nowa energia 2009
3. **Rzymkowski K.** Międzynarodowy system zabezpieczeń przed rozprzestrzenianiem broni jądrowej SAFEGUARDS PTJ 2007
4. **Jack Dresser** Letter to the United States Department of Energy (DOE) concerning GNEP proposal squadron13.com/.../ettte to DOE.htm
5. **Buzz Savage** the Global Nuclear energy Partnership (GNEP) and nonproliferation June 2008 JAEA International Forum
6. International Framework for Nuclear Energy Cooperation (formerly Global Nuclear Energy Partnership/world-nuclear.org/info/inf117_gnep.html
7. wnn NUCLEAR POLICIES www.world-nuclear-news.org/
8. Global Nuclear Energy Partnership Wikipedia.org/.../talk:global..Nuclear
9. EKOATOM www.ekoatom.com.pl



POLSKA APARATURA DO POMIARÓW SKAŻEŃ PROMIENIOTWÓRCZYCH ANALIZATOR SPEKTROMETRYCZNY TUKAN 8K.

Krystyna Traczyk, Zbigniew Guzik, Michał Płomiński, Stanisław Borsuk
streszczenie:



Prezentujemy nowoczesny analizator amplitudy impulsów **Tukan_8k**, opracowany, produkowany i serwisowany w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Świerku. Sterowany z komputera (przez złącze USB) stanowi wraz z rozbudowanym wielofunkcyjnym oprogramowaniem i detektorem promieniowania doskonałe narzędzie do pomiarów promieniowania jonizującego.

Analizatory amplitudy impulsów to sterowane komputerowo urządzenia elektroniczne, które wraz z odpowiednimi detektorami służą do pomiarów promieniowania jonizującego. Mogą być stosowane do badania skażeń promieniotwórczych w dozymetrii i ochronie zdrowia, do badania radioaktywnych skażeń produktów żywnościowych, środowiska, materiałów budowlanych, itp. Wykorzystywane są również w systemach kontroli przejść granicznych i w systemach kontroli procesów przemysłowych.

Historia analizatorów w Świerku

Pracownicy (elektronicy, fizycy i programiści) Instytutu Problemów Jądrowych w Świerku (obecnie Narodowe Centrum Badań Jądrowych) zajmują się od ponad 30 lat problematyką spektroskopii jądrowej. W ciągu tego czasu opracowali i wyprodukowali kilka generacji wielokanałowych analizatorów spektrometrycznych wykorzystując najnowsze osiągnięcia technologii mikroelektronicznej. Burzliwy rozwój tych technologii i związane z nim zmiany architektury komputerów osobistych wymuszały projektowanie kolejnych wersji analizatorów i kolejnych wersji sterujących nimi programów komputerowych.

Pierwszy analizator opracowany został w drugiej połowie lat 80-tych i nosił nazwę:

SWAN – (Świerkowy Wielokanałowy ANalizator)

SWAN składał się z zestawu dwóch kart umieszczanych w jednym złączu magistrali komunikacyjnej ISA komputera IBM PC XT/AT (komputer z zegarem 8 MHz i pamięcią RAM 640 kB). Zawierał spektrometryczny przetwornik analogowo-cyfrowy z kompensacyjną metodą przetwarzania i systemem uśredniania szerokości kanałów oraz pamięć buforową o pojemności 8k słów 24-



Karta analizatora SWAN, komputer, w którym była instalowana i dyskietka z programem.

bitowych.

Program pracował pod systemem DOS i napisany był w znacznej części w języku assemblera. Mógł być uruchamiany z dyskietki 5, 25'' o pojemności 360 kB (pierwsze komputery PC nie miały twardego dysku). Analizator SWAN został wdrożony do produkcji w Zakładach Aparatury Elektronicznej POLON. Przed upadkiem i likwidacją tych zakładów sprzedano kilkanaście egzemplarzy, głównie na rynek polski.

Na początku lat 90-tych opracowano nowy analizator:

TuKAN1k – (TysiącKANałowy Analizator) – wykonany w postaci pojedynczej karty instalowanej w złączu ISA, miał być prostym 1024-kanalowym analizatorem przeznaczonym głównie do współpracy z detektorami scyntylacyjnym. Okazało się jednak, że zapotrzebowanie na tego typu analizator jest niewielkie. Następna, rozszerzona wersja urządzenia nosiła nazwę:

Tukan4k – analizator z przetwornikiem na 4096 (4k) kanałów, pozwalający na współpracę zarówno z detektorami scyntylacyjnymi jak i półprzewodnikowymi – wykonany był również w postaci karty instalowanej w złączu ISA komputera PC.

Program Tukan4k sterujący tym analizatorem pracował pod systemem DOS. Napisany był w Pascalu, ale wyświetlanie widm i okienkowy system operatora oparty został o specjalnie napisaną bibliotekę graficzną zapewniającą szybkie i wydajne wyświetlanie widm.

W drugiej połowie lat dziewięćdziesiątych coraz powszechniejszy stawał się system operacyjny Windows. Coraz mniej komputerów osobistych pracowało pod systemem DOS i nasze oprogramowanie powoli stawało się archaiczne. Problemy były również z hardwarem (kartą analizatora), ponieważ nowe komputery były coraz szybsze, nie miały już złącza typu ISA i nie można było w nich zainstalować naszego analizatora.

Wszystko to wymusiło konieczność opracowania nowego produktu:

Tukan8k – analizator z przetwornikiem 13-to bitowym i buforem na 8192-kanałów. Przetwornik jest tego samego typu jak w analizatorze SWAN i pozostałych, ale zbudowano go, podobnie jak całe urządzenie, z wykorzystaniem nowoczesnych technologii, druków wielowarstwowych, programowalnych układów elektronicznych o dużej skali integracji i itd. Umożliwiło to optymalizację parametrów urządzenia, zmniejszenie jego wymiarów i poboru mocy.

Tukan8k produkowany

Tukan_8k_PCI – analiza-
instalowanej w złączu typu



Karta analizatora Tukan_8k_PCI

jest w dwóch wersjach:
tor umieszczony na karcie
PCI komputera,

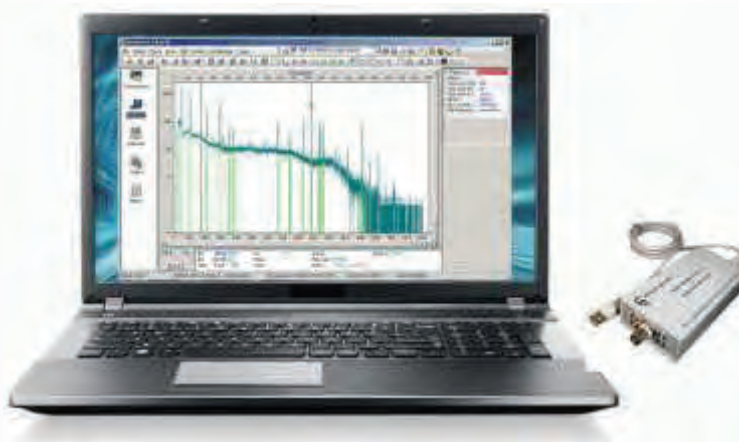
Tukan_8k_USB – wykonany w postaci małego (110 x 60 x 30 mm) ekranowanego pudełeczka zawierającego elektronikę analizatora. Z komputerem łączy się za pomocą łącza USB. Może być

Promieniowanie jonizujące

zasilany bezpośrednio z portu USB lub z zasilacza zewnętrznego.

Dzięki takiemu rozwiązaniu analizator przestaje być zależny od architektury komputera – może pracować z dowolnym komputerem posiadającym złącze USB i wyposażonym w system Windows. Parametry analizatora **Tukan_8k_USB** – w szczególności nieliniowość różniczkowa – odpowiadają, a nawet przewyższają współczesne rozwiązania światowe w zakresie detekcyjnych technik pomiarowych.

Wyjątkowo wysoko oceniane jest przez użytkowników tego analizato-



ko oceniane jest przez użytkowników tego analizato-

Analizator Tukan_8k_USB i laptop z programem

Tukan_DSP – nasz najnowszy analizator, przechodzi ostatnią fazę uruchamiania – spodziewamy się, że wersja komercyjna będzie dostępna pod koniec roku

Pełna rejestracja, przetwarzanie i obróbka danych spektrometrycznych dokonywana jest w sposób cyfrowy z pomocą technik DSP. Dla tego analizatora opracowano oryginalne algorytmy cyfrowej rekonstrukcji energii oraz wyzwalania i odtwarzania składowej stałej impulsu.

Opracowano dwie wersje urządzenia:

Tukan_DSP-MAXI o wymiarach 150x50x150 mm charakteryzujący się poniższymi właściwościami:

- Możliwość pracy skorelowanej (pomiar parametryczny) w dwóch kanałach spektrometrycznych,
- Wbudowane przedwzmacniacze spektrometryczne (możliwość zdalnego dołączenia i odłączenia),
- Wbudowane zasilacze wysokiego napięcia (wartości dodatnie lub ujemne)
- Precyzyjny pomiar czasu, np. przelotu (TDC)
- Precyzyjny pomiar temperatury zewnętrznej
- Zasilanie bezpośrednio z sieci napięcia przemiennego 220V,
- Wymuszone chłodzenie urządzenia z pomocą wentylatora sterowanego temperaturowo.

Podstawowym medium do łączności urządzenia ze światem zewnętrznym jest interfejs USB, który służy także do konfigurowania układu FPGA. Ponadto wykorzystane mogą być także interfejsy Ethernet, BlueTooth i Wi-Fi.

Tukan_DSP-MINI - wersja uproszczona, mająca niewielkie wymiary (50x25x90 mm), jeden kanał spektrometryczny bez przedwzmacniacza, bez wysokiego napięcia, bez pomiarów czasowych i temperaturowych. Ta wersja analizatora zasilana jest zewnętrznie i wyposażona tylko w dwa interfejsy – USB i BlueTooth.

Pomiary skażeń promieniotwórczych – co mierzymy, czym i po co?

O skażeniu promieniotwórczym mówimy wówczas, gdy interesujące nas materiały (elementy środowiska:

powietrze, woda, gleba, runo leśne; żywność, materiały budowlane itp.), zawierają niepożądane substancje promieniotwórcze. Substancje te mogą być zarówno pochodzenia naturalnego jak i sztucznego. Dla oceny stanu środowiska istotne jest przede wszystkim określenie zawartości skażeń promieniotwórczych pochodzących ze sztucznych źródeł, tj. tych skażeń, które powstały w wyniku działalności człowieka.

Systemy pomiarowe powinny, poza wyznaczeniem wielkości skażenia promieniotwórczego, móc określić również, jakie pierwiastki spowodowały skażenie środowiska, ponieważ ta informacja pozwala domniemywać jakiego rodzaju zdarzenie je wywołało.

W skład systemu spektrometrycznego do pomiaru skażeń promieniotwórczych wchodzi:

- ✦ detektor wraz z układami zasilającymi i wzmacniającymi wychodzące z niego impulsy,
- ✦ analizator amplitudy impulsów
- ✦ komputer, w którym zainstalowane jest specjalistyczne oprogramowanie sterujące pracą analizatora i wykonujące analizę wyników pomiarów.

Zasada pomiaru opiera się o zjawisko oddziaływania promieniowania jonizującego z materią. Detektory zbudowane są z takich materiałów, w których cząstki emitowane przez pierwiastki promieniotwórcze (cząstki α , β , neutrony lub elektromagnetyczne kwanty γ i X) wywołują impulsy elektryczne. Impulsy pojawiające się na wyjściu detektora mają tym większą amplitudę im większa była energia cząstki lub kwantu, która je wywołała. Liczba impulsów o podobnej amplitudzie zależy od liczby cząstek o danej energii, które „wpadły” do detektora a więc od natężenia promieniowania o tej energii.

Ponieważ każdy pierwiastek promieniotwórczy emituje promieniowanie o innej, charakterystycznej dla niego, energii, poprzez pomiar amplitudy impulsów możemy określić zarówno rodzaj jak i ilość substancji promieniotwórczych występujących w badanym materiale.

Zasada pracy analizatora **Tukan_8k**

Analizator Tukan_8k może pracować w dwóch różnych trybach pracy: podstawowym MCA (ang. Multi-Channel Analyzer) i dodatkowym MCS (Multi-Channel Scaler).

Praca w trybie MCA

W trybie MCA urządzenie jest wielokanałowym analizatorem amplitudy impulsów, który „odbiera” impulsy

z wyjścia detektora, przetwarza ich amplitudę na wartości cyfrowe, segreguje według podobnych wartości i

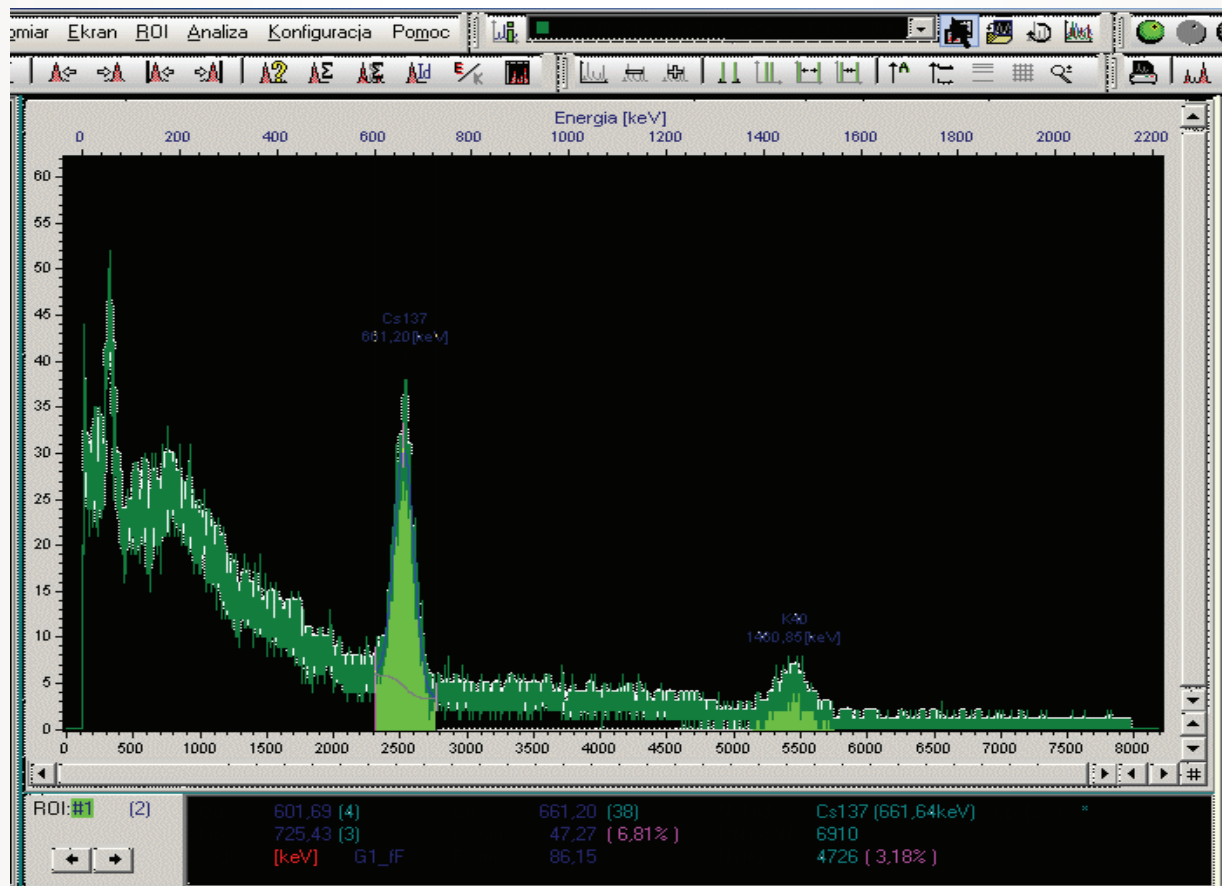
zapisuje w odpowiednich komórkach pamięci tworząc histogram będący wykresem liczby impulsów w

funkcji amplitudy.

Zadaniem programu komputerowego współpracującego z analizatorem jest przetworzenie tego histogramu

w widmo energetyczne badanego promieniowania i zanalizowanie jego składu.

Jeżeli badany materiał zawiera pierwiastki promieniotwórcze w widmie wyświetlanym na ekranie komputera (patrz rysunek) pojawiają się „piki”. Miejsce pojawienia się tych pików zależy od energii emitowanych cząstek, a ich wysokość od tego jak dużo materiału promieniotwórczego zawiera próbka. Na podstawie analizy tego widma program Tukan potrafi „na żywo”, czyli jeszcze w czasie trwania pomiaru określić, jakie pierwiastki promieniotwórcze występują w próbce, w jakiej



Ekran analizatora z widmem z pomiaru grzybów.

ilości i stężeniu. Poniżej przedstawiono wynik pomiaru grzybów prawdziwków świeżych przeprowadzony w 2006 r. przez

jedną ze stacji WSSE w Polsce. Program zanalizował zebrane widmo i określił zawartość izotopów cezu (Cs137) i potasu (K40) w badanej próbce.

Ekran analizatora z widmem z pomiaru grzybów.

Praca w trybie MCS

Tryb MCS jest dodatkowym trybem pracy analizatora. W trybie tym urządzenie pracuje jako wielokanałowy licznik zdarzeń. Stosowany jest w aplikacjach, w których wymagane są pomiary intensywności zdarzeń w czasie, sygnalizowanych za pośrednictwem zewnętrznych sygnałów logicznych przychodzących z aparatury pomiarowej lub wewnętrznego sygnału wyzwania pochodzącego z traktu spektrometrycznego. Podczas tego pomiaru, do kanałów pamięci histogramowej wpisywane są wartości zliczeń w kolejnych zadanych przedziałach czasowych o identycznym cza-

się trwania.

Analizator **Tukan_8k** skonstruowany jest tak, że może pracować autonomicznie – po uruchomieniu pomiaru można wyłączyć program, a w przypadku Tukana_8k_USB zasilanego z zasilacza zewnętrznego w ogóle odłączyć komputer a analizator będzie dalej pracował samodzielnie. Ponowne uruchomienie programu będzie niezbędne dopiero dla sczytania wyniku pomiaru z bufora analizatora.

Program Tukan8k

Program **Tukan8k** jest przeznaczony do sterowania pomiarami spektrometrycznymi przeprowadzonymi za pomocą analizatorów typu Tukan oraz do zbierania, wizualizacji i analizy widm zarówno z detektorów scyntylacyjnych, jak i półprzewodnikowych. Analiza zaawansowana jest zorientowana głównie na analizę widm gamma.

Program steruje pracą analizatorów: **Tukan4k_ISA, Tukan8k_PCI i Tukan8k_USB** – przy podłączaniu analizatora należy wskazać jego typ. Może pracować z kilkoma analizatorami jednocześnie. Program został zbudowany w postaci grupy modułów przełączanych ze wspólnego panela za pomocą myszki lub klawiatury. Każdy moduł ma określone zadania i funkcje:

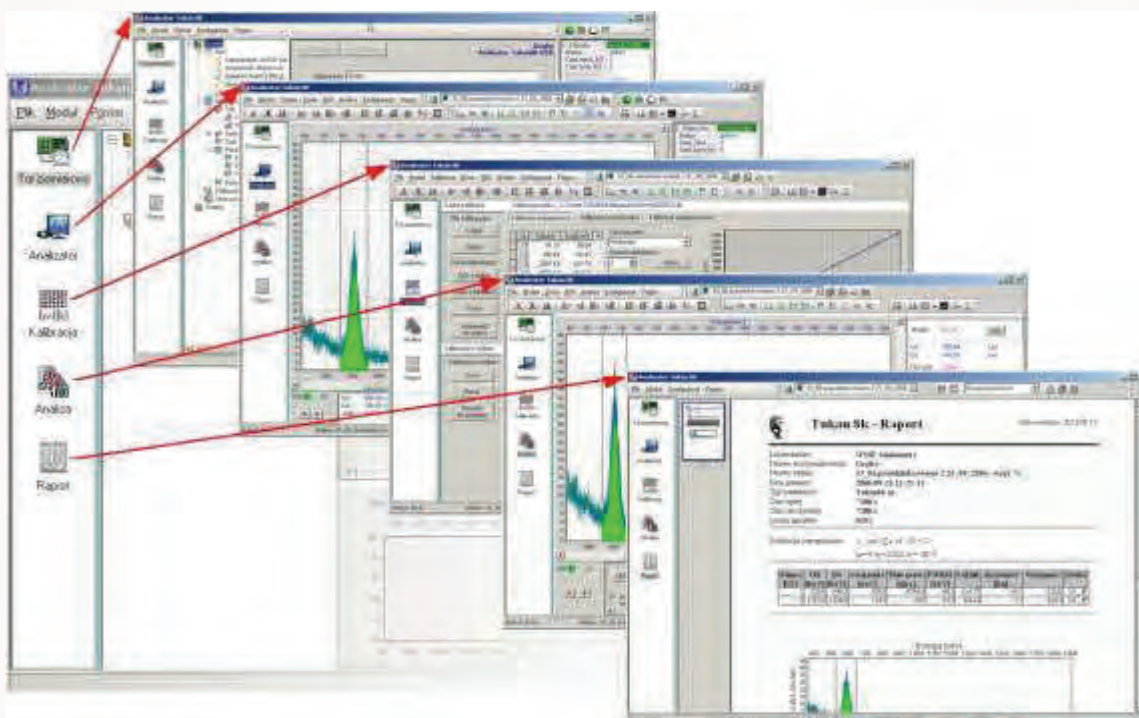
moduł Tor Pomiarowy służy do ustawiania parametrów analizatora, kryteriów pomiaru, geometrii itp.,

moduł Analizator służy do sterowania pomiarem, wizualizacji widma „żywego” i analizy „on-line”,

moduł Kalibracja zawiera operacje przeprowadzania i kontroli kalibracji,

moduł Analiza zawiera algorytmy analizy zaawansowanej, identyfikacji nuklidów,

moduł Raport zawiera mechanizmy do konfigurowania, podglądu i drukowania raportów z pomiarów.



Dzięki takiej budowie programu jego obsługa, mimo ogromnej ilości wykonywanych funkcji, jest bardzo prosta; „kliknięciem” w ikonę modułu przełączamy się z obserwacji zbieranego widma, na kalibrację czy analizę zaawansowaną.

Moduły programu **Tukan8k**

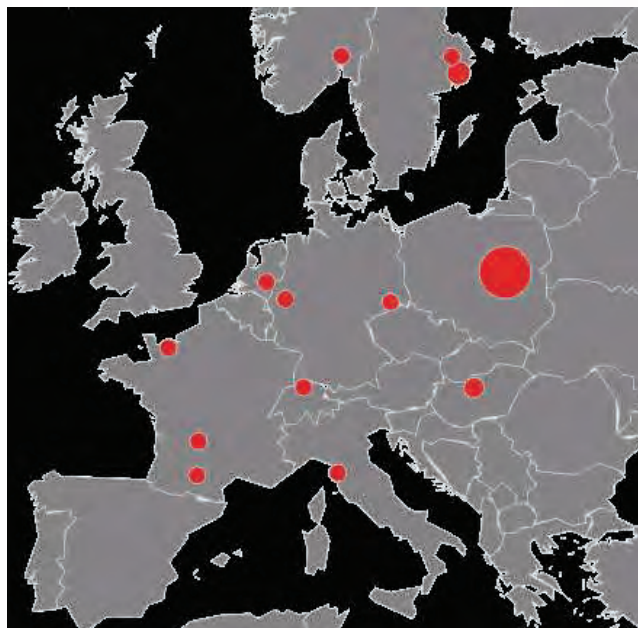
Podstawowe cechy programu to:

- pełne interaktywne sterowanie przebiegiem pomiaru;
- wizualizacja widma „żywego” i analiza widm „on line”;
- wielofunkcyjna wizualizacja widm, skład widm podręcznych;
- automatyczne wyszukiwanie pików;
- kalibracja energetyczna, kształtu piku i wydajnościowa – biblioteki wzorców kalibracyjnych
- zaawansowana analiza widm – dopasowywanie pików f. Gaussa, rozdzielanie dubletów;
- identyfikacja nuklidów; dedykowane biblioteki nuklidów, edytor bibliotek;
- analiza ilościowa - obliczanie wydajności i stężeń;
- import i eksport widm w formacie ASCII;
- konfigurowalne raporty z pomiarów; drukowanie, zapis w formatach HTML i tekstowym
- rozbudowany system pomocy, pomoc kontekstowa;
- dwie wersje językowe: polska i angielska (przełączane z menu);
- szczegółowe instrukcje obsługi w języku polskim i angielskim

Program jest „żywy”, stale aktualizowany i rozwijany – istnieje możliwość dostosowywania go do indywidualnych wymagań użytkowników.

Bezpośredni kontakt z autorami analizatora, szybkie usuwanie problemów, pomoc techniczna i serwis u producenta sprawiają, że analizator Tukan znajduje wielu nabywców.

W chwili obecnej pracuje już kilkaset sztuk naszych analizatorów. Znajdują się w wielu stacjach

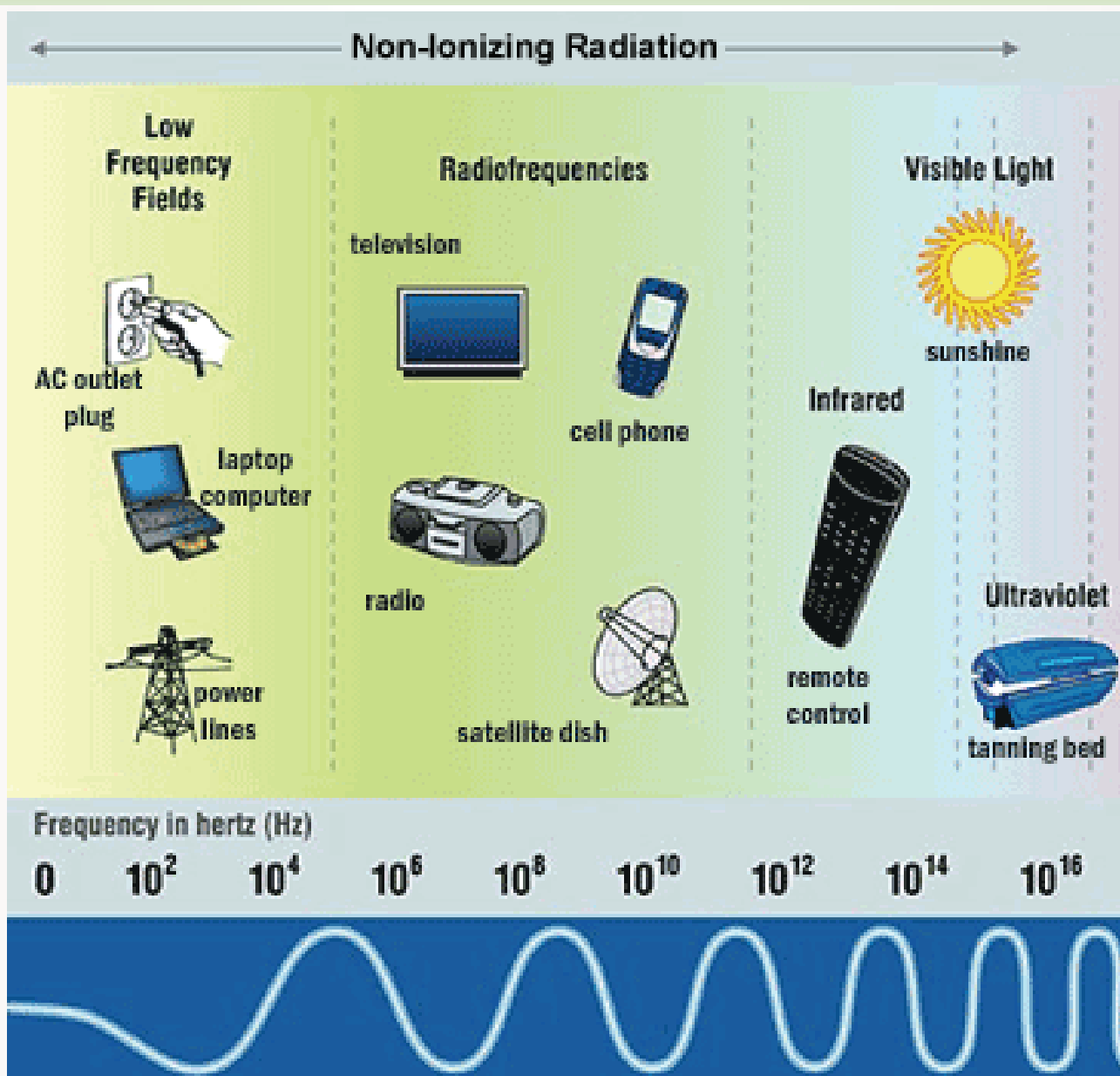


pomiarowych skażeń, laboratoriach naukowych i pracowniach studenckich wyższych uczelni. Od 2002 roku coraz więcej Tukanów sprzedajemy za granicą. Mają je już ośrodki naukowe w Szwecji, Niemczech, Francji, Norwegii, Holandii, Szwajcarii, Włoch, Węgier, USA, Chinach i Tajlandii. Są konkurencyjne technologicznie i cenowo w stosunku do ofert wielkich firm światowych od wielu lat działających na tych rynkach. Poniżej prezentujemy mapkę, na której kółkami zaznaczono miejsca w Europie, w których pracują nasze analizatory.

Średnica kółka jest tym większa im więcej Tukanów znajduje się w danym miejscu.

Znamienna jest duża niezawodność i bezawaryjność naszych urządzeń, np. w niektórych ośrodkach w Polsce, tych, w których udało się utrzymać przy życiu stare komputery AT z lat osiemdziesiątych ciągle jeszcze pracują analizatory SWAN.

Analizator **Tukan8k** ma swoją stronę internetową: www.2.ipj.gov.pl/Tukan, na której poza podsta-



Dla dociekliwych mały konkurs. 2 KUBKI i 3 znaczki EKOATOM-u

Od jakiej częstotliwości zaczyna się promieniowanie jonizujące???!?

Promieniowanie jonizujące - wszystkie rodzaje promieniowania, które wywołują jonizację ośrodka materialnego, tj. oderwanie przynajmniej jednego elektronu od atomu lub cząsteczki albo wybicie go ze struktury krystalicznej. Zapromieniowanie elektromagnetyczne jonizujące uznaje się za promieniowanie, którego fotony mają energię większą od energii fotonów światła widzialnego. (wikipedia)

redakcja@ekoatom.com.pl

No i co to jest??!! (znaczek Ekoatomu do oddania)



SIEĆ STACJI RADIOLOGICZNEGO MONITORINGU POWIETRZA W POLSCE (STACJE TYPU ASS-500)

Marian FUJAK, Krzysztof A. ISAJENKO, Barbara PIOTROWSKA

Wstęp

W celu nadzoru nad przestrzeganiem traktatu „O Całkowitym Zakazie Prób Jądrowych (zidentyfikowania i określenia miejsca potencjalnej eksplozji oraz awarii jądrowej na świecie) powstał międzynarodowy system monitoringu, w skład którego wchodzi 337 stacji monitorujących naszą planetę (są to stacje sejsmologiczne, radiologiczne, hydroakustyczne, infradźwiękowe). Atomowym aniołem stróżem w Polsce jest Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, które jest właścicielem sieci stacji wchodzących w skład polskiego systemu wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych. W skład sieci wchodzi 12 stacji ASS-500 (Aerosol Sampling Stations - stacje ciągłego monitoringu) rozmieszczonych na terenie kraju. Można zadać sobie pytanie, czy w kraju, który nie posiada energetyki jądrowej, taki system jest rzeczywiście potrzebny. Otóż Polska nie posiada (jak na razie) elektrowni jądrowych, ale u naszych najbliższych sąsiadów jest ich dość dużo. Na Rys. 1 przedstawiono elektrownie jądrowe pracujące w odległości nie większej niż 300 km od granic naszego kraju. W sumie w takiej odległości od naszych granic pracują 24 reaktory jądrowe zlokalizowane w 9 elektrowniach:

- **Oskarshamn (Szwecja)** – 3 reaktory typu BWR (Boiling Water Reactor – reaktor wodny wrzący) o mocach 487, 623 oraz 1197 MWe;
- **Równe (Ukraina)** – 2 reaktory WWER-440 – są to reaktory typu PWR (Pressurized Water Reactor – reaktor wodny ciśnieniowy) zaprojektowane w ZSRR (WWER – Wodo-Wodianoj Energietyczeskiej Rieaktor – wodno-wodny reaktor energetyczny) o mocy energetycznej 411 MWe każdy oraz 2 reaktory WWER-1000 o mocach 950 MWe każdy;
- **Chmielnicki (Ukraina)** – 2 reaktory WWER-1000;
- **Mochowce (Słowacja)** – 2 reaktory WWER-440;
- **Bohunice (Słowacja)** – 2 reaktory WWER-440;
- **Paks (Węgry)** – 4 reaktory WWER-440;
- **Dukovany (Czechy)** – 4 reaktory WWER-440;
- **Temelin (Czechy)** – 2 reaktory WWER-1000;
- **Krümmel (Niemcy)** – reaktor typu BWR o mocy 1316 MWe.



Rys. 1. Elektrownie jądrowe (wraz z pracującymi w nich reaktorami) w odległościach nie większych niż 300 km od granic naszego kraju. (Źródło: Państwowa Agencja Atomistyki)

Łączna moc energetyczna powyższych reaktorów to ponad 15 GWe. Mogą one stanowić potencjalne źródła skażeń w naszym kraju. Poza tym Polska, jako członek m.in. Paktu Północnoatlantyckiego (NATO) narażona jest na ataki terrorystyczne (także z użyciem materiałów jądrowych czy promieniotwórczych). I nad tymi potencjalnymi źródłami za-

grożeń musi czuwać nasza sieć pomiarów skażeń promieniotwórczych powietrza.



Rys. 2. Nowy model stacji ASS-500 (stacja NASS-500 – New Aerosol Sampling Station)

Stacja ASS-500 – Informacje ogólne

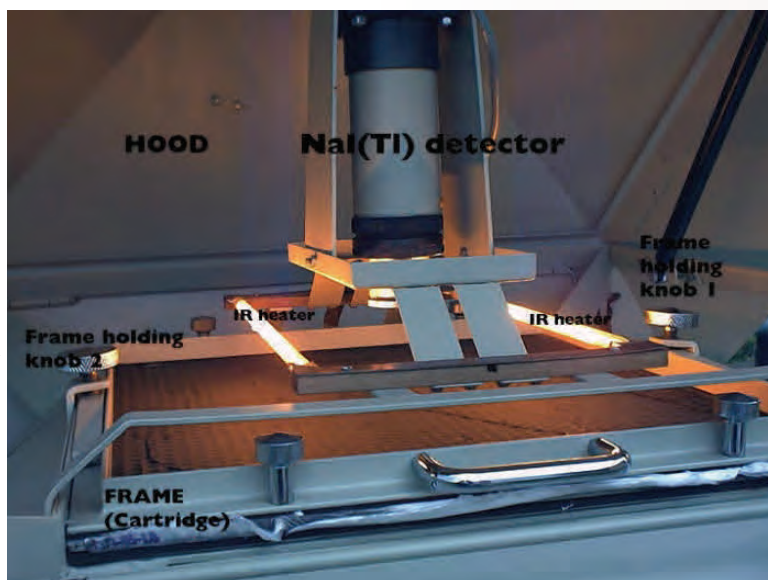
Stacja ASS-500 (Aerosol Sampling Station), przedstawiona na Rys. 2, jest przeznaczona do monitoringu zanieczyszczeń powietrza w sytuacji normalnej i zagrożenia radiacyjnego. Pobór aerozoli z objętości powietrza rzędu nawet 105 m³ pozwala na wykonywanie precyzyjnych pomiarów spektrometrycznych naturalnych i sztucznych radionuklidów (rejestracja stężeń na poziomie od dziesiątych części $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$). Pobór próbek aerozoli może być prowadzony w zmiennych warunkach atmosferycznych, w dużym zakresie różnicy temperatur, przy zmieniającym się ciśnieniu czy wilgotności, a także przy mniejszym lub większym zapyleniu.

Stacja ASS-500 jest wolnostojącym urządzeniem do ciągłego poboru próbek aerozoli z powietrza. Rutynowo do poboru aerozoli stosowany jest filtr Petrianowa typu FPP-15-1.5 o wysokiej wydajności zbierania. W normalnej sytuacji radiologicznej prowadzony jest tygodniowy okres poboru próbki. W tym czasie objętość przepływającego przez filtr powietrza wynosi nawet do ponad 105 m³. W przypadku obecności sztucznych izotopów promieniotwórczych w powietrzu lub zaistnienia przesłanek do intensyfikacji badań, częstotliwość pozyskiwania próbek powinna być odpowiednio zwiększona przez skrócenie czasu ich poboru nawet do kilkunastu minut (np. jak w okresie po awarii czarnobylskiej).

System on-line w stacji ASS-500

Dodatkowo stacja ASS-500 jest wyposażona w sondę scyntylicyjną, która on-line rejestruje sytuację radiologiczną w miejscu lokalizacji stacji (Rys. 3). Oczywiście poziom wykrywalności izotopów pochodzenia sztucznego w powietrzu rejestrowany przez system on-line jest dużo gorszy od pomiarów laboratoryjnych (ok. 2 Bq/m³ dla cezu 137Cs oraz ok. 1 Bq/m³ dla jodu 131I).

Sonda połączona jest ze sterownikiem (Rys. 4), w którym rejestrowane jest widmo promieniowania pobieranych na filtr zanieczyszczeń promieniotwórczych powietrza. Sterownik obsługiwany jest przez komputer, do którego raz na godzinę przesyłane jest zebrane widmo (w sytuacji zagrożenia radiologicznego czas ten może zostać skrócony do 10 minut). Wszystkie komputery stacyjne połączone są siecią komputerową z serwerem nadzorowanym przez CLOR.



Rys. 3. Sonda scyntylicyjna NaI(Tl) umieszczona nad filtrem powietrza w stacji ASS-500 (element systemu on-line)



Rys. 4. Sterownik AS-01 obsługujący sondę scyntylicyjną – sterownik umieszczony jest w stacji ASS-500 (element systemu on-line)

Warto tutaj podkreślić fakt, że działający w stacji system on-line, pełni jedynie funkcję „wskaznika” pojawienia się sytuacji zagrożenia radiologicznego. Nie podaje on rzeczywistych stężeń radionuklidów pochodzenia sztucznego w powietrzu. Informacja otrzymana z systemu on-line (mówiąca o możliwym pojawieniu się skażeń w powietrzu) jest jedynie podstawą do zdjęcia filtru ze stacji i zmierzeniu go w warunkach laboratoryjnych.

Wzorcowanie spektrometru dla radionuklidów pochodzenia sztucznego zebranych na filtrze stacji ASS-500 przeprowadzono za pomocą powierzchniowych źródeł baru ^{133}Ba (o energii zbliżonej do energii fotonów promieniowania gamma ^{131}I) oraz cezu ^{137}Cs o aktywnościach odpowiednio 3000 Bq i 1000 Bq. Powierzchnia źródeł była równa powierzchni filtru stosowanego w stacji ASS-500 (44 cm x 44 cm). Bezpośrednio na kryształach pod jego osłoną aluminiową znajduje się źródło ^{241}Am układu stabilizacji pracy spektrometru. Zdolność rozdzielcza spektrometru dla promieniowania ^{137}Cs o energii 661,6 keV wynosi 9,5%. Liczba kanałów analizatora amplitudy impulsów wynosi 2048. Spektrometr w ASS-500 jest połączony z komputerem co pozwala na zbieranie i obróbkę danych pomiarowych. Komputer terenowej stacji ASS-500 może być połączony z centralnym serwerem przy użyciu modemu i publicznej sieci telefonicznej lub sieci LAN. Korzystając ze spektrometrów HPGe można wykrywać i oznaczać ilościowo radionuklidy naturalne i pochodzenia sztucznego na poziomie ich stężeń w powietrzu rzędu $1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$, co pozwala na prowadzenie szczegółowych badań np. dla potrzeb systemu kontroli przestrzegania Układu o Całkowitym Zakazie Prób Jądrowych.

Procedura pomiarów laboratoryjnych filtrów ze stacji ASS-500

Do pomiarów oznaczeń ilościowych wykorzystuje się laboratoryjną spektrometrię promieniowania gamma z użyciem detektora HPGe. Zakres energii fotonów badanych radionuklidów zawiera się w granicach: od kilkunastu do ponad 2000 keV. Detektor umieszczony jest w niskotłowym domku osłonowym (Rys. 5), który zapewnia zmniejszenie, przynajmniej o dwa rzędy wielkości, zewnętrznego tła promieniowania gamma. Każda próbka jest mierzona dwukrotnie.

Wstępny pomiar próbki trwający 3000 s jest przeprowadzany bezpośrednio po zakończeniu ekspozycji (poboru zanieczyszczeń na filtr) próbki. Celem tego pomiaru jest stwierdzenie ewentualnej obecności radionuklidów pochodzenia sztucznego, przy dolnym limicie detekcji wynoszącym $20 - 50 \text{ mBq}/\text{m}^3$.

Jeżeli pomiar wstępny nie wykazał podwyższonej aktywności



Rys. 5. Germanowy detektor półprzewodnikowy HPGe umieszczony w ołowianym domku osłonowym

radionuklidów pochodzenia sztucznego, wówczas pomiar drugi (podstawowy – trwający 80 000 s) wykonywany jest po 2 dobach licząc od momentu zakończenia poboru. W ciągu tego czasu ulegają rozpadowi osadzone na filtry krótko-życiowe pochodne produkty rozpadu radonu, których obecność wpływa niekorzystnie na wartość dolnego progu detekcji pozostałych radionuklidów. Przygotowanie próbki do pomiaru podstawowego polega na doprowadzeniu jej do odpowiedniej geometrii pomiarowej, czyli sprasowaniu jej do postaci krążka o średnicy 51 mm i grubości od 4 do 8 mm (zależnie od ilości zebranego pyłu).

Wielokanałowy analizator amplitudy impulsów współpracuje z komputerem wyposażonym w oprogramowanie umożliwiające obliczenie stężeń radionuklidów występujących w badanej próbce (oprogramowanie GENIE-2000). Program ten określa również dolne limity detekcji dla zanieczyszczeń radionuklidami naturalnymi i pochodzenia sztucznego. W oparciu o podstawowy pomiar są określone stężenia każdego radionuklidu występującego w badanym powietrzu.

Oczywiście, jeśli pierwszy pomiar pokaże podwyższoną zawartość radionuklidów pochodzenia sztucznego na filtrze, wtedy zarówno prasowanie filtrów jak i drugi pomiar następują natychmiast po zakończeniu pomiaru pierwszego. W przypadku, gdy stacja pracuje w systemie alarmowym, bezpośrednio po zdjęciu filtru ze stacji, następuje jego sprasowanie i pomiar (w odpowiedniej geometrii pomiarowej).

Sieć stacji ASS-500 w Polsce

Sieć stacji ASS-500 w Polsce stanowi wyspecjalizowaną podsieć działającą w ramach Systemu Wczesnego Ostrzegania o Skażeniach Promieniotwórczych (SWO). Stacje działające w ramach SWO zlokalizowane są w następujących instytucjach:

- *Warszawa – Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, Zakład Dozymetrii*
- *Białystok – Akademia Medyczna, Zakład Biofizyki*
- *Gdynia – Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Oddział Morski*
- *Katowice – Główny Instytut Górnictwa, Zakład Akustyki Technicznej, Techniki Laserowej i Radiometrii, Laboratorium Radiometrii*
- *Kraków – Instytut Fizyki Jądrowej, Zakład Fizykochemii Jądrowej, Pracownia Badań Skażeń Promieniotwórczych Środowiska*
- *Lublin – Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Zakład Radiochemii i Chemii Koloidów*
- *Łódź – Politechnika Łódzka, Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej*
- *Sanok – Wojewódzka Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna w Rzeszowie, Laboratorium Pomiarów Promieniowania*
- *Szczecin – Politechnika Szczecińska, Instytut Inżynierii Chemicznej i Chemii Fizycznej*
- *Toruń – Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Instytut Fizyki*
- *Wrocław – Politechnika Wrocławska, Instytut Chemii Nieorganicznej i Metalurgii Pierwiastków Rzadkich*
- *Zielona Góra – Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Inżynierii Środowiska i Budownictwa, Zakład Odnowy Środowiska.*

Ich rozmieszczenie zostało przedstawione na Rys. 6.



Rys. 6. Rozmieszczenie stacji ASS-500 na terenie naszego kraju.

Większość instytucji, w których zlokalizowane są stacje działające w ramach SWO posiada wysokorozdzielczą spektrometrię promieniowania gamma (półprzewodnikową, opartą na germanowych detektorach HPGe), pozwalającą na pomiary stężeń radionuklidów naturalnych i pochodzenia sztucznego pobranych z przyziemnej warstwy powietrza atmosferycznego. Pomiary filtrów z ośrodków nie posiadających detektorów półprzewodnikowych wykonywane są w Zakładzie Dozymetrii CLOR. Działalność sieci nadzorowana jest przez CLOR. Wyniki w postaci raportów miesięcznych, kwartalnych i rocznych przekazywane są do Centrum ds. Zdarzeń Radiacyjnych (CEZAR) w Państwowej Agencji Atomistyki.

Przykładowe wyniki otrzymane w sieci stacji ASS-500

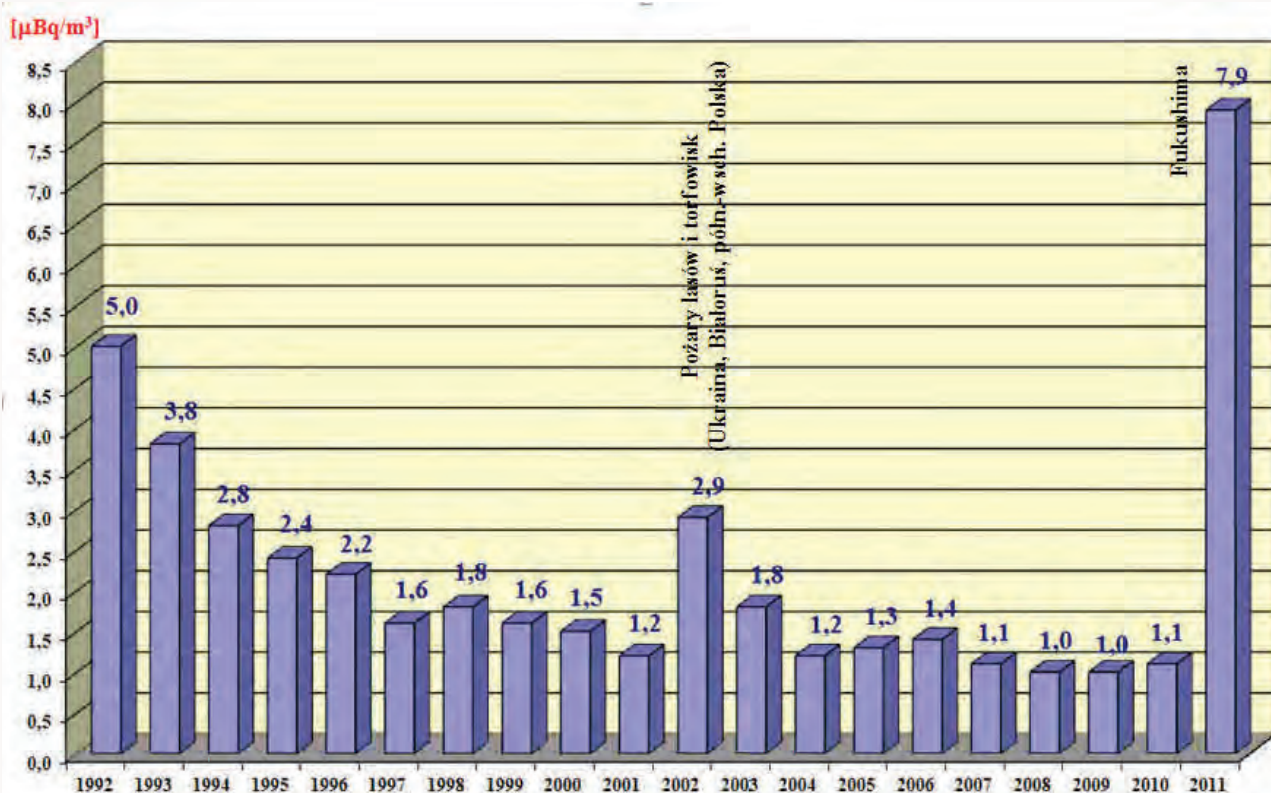
Sieć stacji ASS-500 pozwoliła na wykrycie kilku incydentalnych zdarzeń w Europie. Do najważniejszych z nich można zaliczyć:

- Incydent w hucie Algeciras na południu Hiszpanii (czerwiec 1998), gdzie nastąpiło nieświadome stopienie źródła ^{137}Cs , które spowodowało wzrost aktywności tego radionuklidu w powietrzu w Polsce do ponad $22,5 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ (w Katowicach). Maksymalną wartość zarejestrowano na terenie południowej Francji (ponad $2400 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$).
- W 15 tygodniu 2003 roku stacja w Sanoku zmierzyła ^{131}I o stężeniu $43,6 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Jak się okazało przyczyną obecności ^{131}I w powietrzu w Sanoku był incydent 3 stopnia, jaki miał miejsce w elektrowni jądrowej w Paks na Węgrzech w dniu 10 kwietnia 2003r.
- W maju i czerwcu 1992 roku zanotowano znaczny wzrost (do maksymalnej wartości $33,5 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ zarejestrowanej przez stację w CLOR) stężenia ^{137}Cs w powietrzu spowodowany pożarami lasów w okolicach Czarnobyla.
- W lipcu i sierpniu 2002 roku zaobserwowano podwyższone stężenia ^{137}Cs szczególnie w

Białymstoku i Lublinie. Przyczyną takiej sytuacji była resuspensja poczarnobyłowskiego ^{137}Cs pochodząca z palących się torfowisk i lasów na terenie Ukrainy, Białorusi oraz na środkowym wschodzie Polski (np. Biebrzański Park Narodowy) i towarzyszącą temu przewagę wiatrów z kierunków wschodnich.

Sieć stacji ASS-500, jako jedyna w Polsce zarejestrowała przemieszczające się nad naszym krajem skażone masy powietrza pochodzące z Japonii po awarii japońskiej elektrowni jądrowej Fukushima Daiichi (marzec 2011). Wyniki, jakie były w tym czasie przekazywane społeczeństwu pochodziły z sieci stacji ASS-500.

Poniżej (na Rys. 7) przedstawione zostały średnie roczne wartości stężeń promieniotwórczych ce-



zu ^{137}Cs dla wszystkich stacji od roku 1992 (rok uruchomienia sieci stacji ASS-500).

Rys. 7. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze cezu ^{137}Cs zmierzone w sieci stacji ASS-500 w Polsce w latach 1992 – 2011.



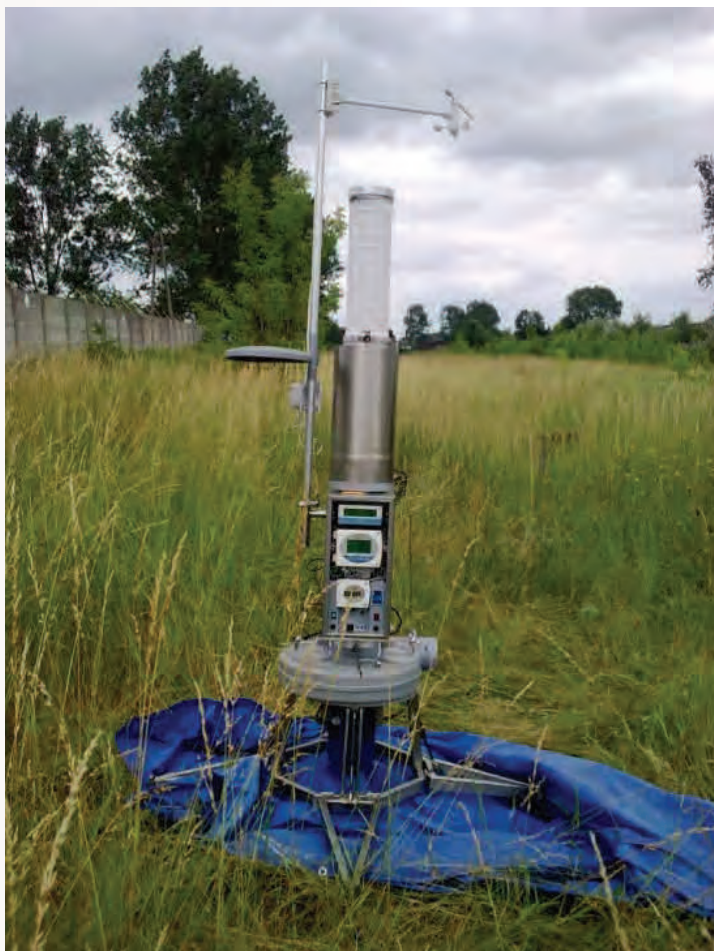
Podsumowanie – plany na przyszłość

Stacje ASS-500 w miarę posiadanych możliwości finansowych są modernizowane i rozbudowywane. W roku 2011 w Zakładzie Dozymetrii CLOR został opracowany nowy model stacji (NASS-500 – New Aerosol Sampling Station – Rys. 8). W 2011 roku zostały także wyprodukowane i uruchomione dwa pierwsze egzemplarze nowej stacji (w Warszawie i Lublinie).

Rys. 8. Nowy model stacji NASS-500 pracujący w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej w Warszawie.

Podstawowym celem opracowania nowej stacji było ograniczenie kosztów eksploatacji. Rozwiązania stosowane w stacjach, pracujących dotychczas w Polsce, były bardzo energochłonne, co przy wciąż rosnących cenach energii elektrycznej miały ogromne znaczenie w kosztach obsługi stacji. Zmiany jakie zastosowano w stosunku do stacji pracujących w sieci wczesnego wykrywania skażeń dotychczas:

- zastosowano wentylator napięcia jednofazowego (zamiast stosowanych dotychczas trójfazowych) o dużo mniejszych gabarytach i mniejszej mocy;
- zastosowano falownik sterujący wentylatorem – co zdecydowanie zmniejszyło energochłonność;
- zastosowano układ pomiarów warunków atmosferycznych (temperatura oraz wilgotność). Parametry te są wykorzystywane do ewentualnej aktywacji układu podgrzewania filtru;
- stabilizacja wielkości przepływu – przez cały okres pracy stacji (tydzień) przez filtr pompowane jest powietrze o stałej objętości jednostkowej – dodatkowo wielkość przepływu może być programowana w zakresie od 100 do 500 m³/h (a nawet więcej, ale nie jest to zalecane ze względu na stosowane filtry Petrianowa);
- stosowany do pomiarów on-line detektor scyntylacyjny, został umieszczony w specjalnej obudowie, w której została wprowadzona stabilizacja temperaturowa, dzięki której detektor pracuje dużo bardziej stabilnie;
- zastosowano cylindryczny przelotowy tłumik hałasu, który zdecydowanie zmniejszył opory przepływu powietrza przez stację oraz zdecydowanie zmniejszył głośność pracy stacji;
- do podgrzewania filtru zastosowano ceramiczne promienniki podczerwieni o ukierunkowanej wiązce, pozwalające na dużo bardziej efektywne suszenie filtru;
- wprowadzono stabilizację temperatury układów odpowiedzialnych za pomiar przepływu powietrza;



- konstrukcja nośna wraz z płaszczem zewnętrznym została wykonana z blach kwasoodpornych.

Planowane jest stopniowe zastąpienie wszystkich stacji pracujących w sieci SWO nowymi stacjami NASS-500 (w miarę możliwości finansowych).

Dodatkowo w latach 2009-2010 w Zakładzie Dozymetrii CLOR opracowano i zbudowano przewoźną stację do poboru aerozoli (o nieoficjalnej nazwie MASS-1000 – Mobile Aerosol Sampling Station – Rys. 9). Prototyp stacji został zgłoszony do opatentowania do Urzędu Patentowego RP, w związku z czym nie podajemy żadnych szczegółów technicznych stacji.

Rys. 9. Stacja przewoźna MASS-1000.

Wytworzone przewoźne urządzenie do poboru dużych próbek aerozoli powietrza z jednoczesną analizą γ -spektryczną może być wykorzystane do badania aerozolowych zanieczyszczeń powietrza zarówno wokół obiektów jądrowych jak i przemysłowych. Mobilność urządzenia pozwala na szybki pobór próbek z dużej objętości powietrza w dowolnie wskazanym miejscu i kontrolę uwalnianych do atmosfery radionuklidów, co z kolei jest ważne z punktu widzenia ochrony radiologicznej.

Stacja MASS-1000 została już kilkakrotnie sprawdzona w następujących działaniach:

- ✦ Kontrola otoczenia Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych w Różanie – Umowy z Państwową Agencją Atomistyki w latach 2010 oraz 2011 (stacja była wykorzystana do określenia zawartości sztucznych aerozoli atmosferycznych na poziomie kilku $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$).
- ✦ Ekspertyza radiologiczna pomieszczeń Zakładu Medycyny Nuklearnej Wojewódzkiego Szpitala Specjalistycznego w Siedlcach – zlecenie z października 2010 r. (w pomieszczeniach sprawdzano obecność izotopów promieniotwórczych pochodzenia sztucznego w powietrzu).
- ✦ Testowanie stacji w czasie przechodzenia nad Polską masy powietrza znad elektrowni jądrowej Fukushima w Japonii – na podstawie pomiarów filtrów powietrza eksponowanych w stacji określiliśmy stężenia izotopów promieniotwórczych pochodzenia sztucznego w powietrzu (jod ^{131}I , cez ^{134}Cs , cez ^{137}Cs)

Obecnie w Zakładzie Dozymetrii CLOR rozpoczęto prace nad opracowaniem założeń technicznych i stworzeniem pierwszych przewoźnych stacji do poboru i pomiaru stężeń gazowej postaci jodu w przyziemnej warstwie powietrza atmosferycznego. Prace zakończą się w roku 2014.



KONFERENCJA ROZBROJENIOWA

JAKO NAJWAŻNIEJSZE FORUM ROZBROJENIA NUKLEARNEGO

Andrzej Suda

Narody Zjednoczone praktycznie od swojego powstania dążyły do eliminacji broni nuklearnej. Pierwsza rezolucja przyjęta przez Zgromadzenie Ogólne ONZ w 1946 r. powołała Komisję, której zadaniem byłoby m.in. przedłożenie propozycji “eliminacji z narodowych arsenałów broni atomowej i wszelkich innych broni mogących służyć masowej zagładzie”.

Od tego czasu zawarto szereg traktatów i umów wielostronnych mających na celu zapobieganie rozwojowi broni jądrowej oraz promocję rozbrojenia nuklearnego, w tym Traktat o nierozprzestrzenianiu broni jądrowej (Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons -NPT), Traktat o zakazie prób z bronią jądrową w atmosferze, przestrzeni kosmicznej oraz pod wodą (Treaty Banning Nuclear Weapon Tests In The Atmosphere, In Outer Space And Under Water, znany również jako Częściowy zakaz prób (z bronią jądrową Partial Test Ban Treaty - PTBT), a także Traktat o całkowitym zakazie prób z bronią jądrową (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty - CTBT), który został podpisany w 1996 r. nie wszedł jeszcze w życie.

Ponadto wiele porozumień dwustronnych oraz innych umów międzynarodowych wielostronnych i regionalnych dotyczy eliminacji pewnych kategorii broni masowego rażenia, w tym jądrowej środków ich przenoszenia jak również obrotu materiałami rozszczepialnymi i technologią. Są to nie tylko umowy pomiędzy Stanami Zjednoczonymi i Federacją Rosyjską ale również różne inne inicjatywy jak np. Grupa Dostawców Jądrowych, Reżim Kontroli Technologii Raketowej - MTCR, Haski kodeks postępowania przeciwko rozprzestrzenianiu rakiet balistycznych czy Porozumienie z Wassenaar.

Największym i praktycznie jedynym wielostronnym ciałem międzynarodowym negocjującym szeroko rozumiane kwestie rozbrojenia, w szczególności nuklearnego jest Konferencja Rozbrojeniowa (Conference on Disarmament - CD).

Rozpoczęta w marcu 1962 r. Konferencja, początkowo pod nazwą Komitet Rozbrojeniowy Osiemnastu Państw (Eighteen Nations Disarmament Committee - ENDC)

w 1969 r. została powiększona do 30 członków, a w 1983 przekształcona w Konferencję Rozbrojeniową i poszerzona do 38 członków. W czerwcu 1996 r. liczbę członków zwiększono do 61, a w 1999 r. do 65.

Aczkolwiek Konferencja jest niezależna od ONZ, jednakże Sekretarz Generalny Konferencji mianowany jest przez Sekretarza Generalnego ONZ. Jest on jednocześnie jego Osobistym Przedstawicielem. Z reguły jest nim Dyrektor Biura ONZ w Genewie. Sekretarz CD uwzględnia rekomendacje Zgromadzenia Ogólnego NZ oraz co najmniej raz w roku przedstawia na tym forum sprawozdanie.

Państwa uczestniczące w CD podzielone są na 5 Grup (zał1):

- Zachodnią (Western Group) w skład której wchodzi również Polska,
- Państw Niezaangażowanych (Non-Aligned Movement) określanych również jako G21,
- Państw Wschodnio-Europejskich i Innych (Eastern European States and Others) nazywaną również potocznie Grupą Wschodnią,
- tzw. P5 w skład której wchodzi 5 państw “nuklearnych” - stałych członków Rady Bezpieczeństwa,

- ✚ tzw. P4 do której należy P5 bez Chin,
- ✚ oraz Chiny, które często określają się jako - Grupa Jednego (Group of One).

Zgodnie z Przepisami Proceduralnymi (Rules of Procedure - dok.CD/8/Rev.9 z 19 grudnia 2003 r.) CD zaprasza również inne państwa - członków ONZ, które nie są jej członkami, a wyraziły chęć udziału w pracach konferencji do udziału w nich w charakterze obserwatora. Państwa te występują często jako tzw. Nieformalna Grupa Państw Obserwatorów (Informal Group of Observer States - IGOS).

Konferencja odbywa każdego roku 3 sesje, z których pierwsza rozpoczyna się w przedostatnim tygodniu stycznia i trwa przez dziesięć tygodni, druga oraz trzecia - obie siedmiodniowe rozpoczynają się w odpowiednio w maju lipcu. Corocznie Konferencji przewodniczy 6 Przewodniczących (P6). Od 2006 r., grupa P6 koordynuje swoje przewodnictwa co sprzyja większej koordynacji i bardziej płynnego przekazywania comiesięcznej prezydencji (3).

CD pracuje na posiedzeniach plenarnych, jednym w tygodniu (z reguły w czwartki), otwartym dla publiczności i organizacji pozarządowych. W zależności od potrzeb mogą być jednak zwoływane dodatkowe posiedzenia. Zasadnicze dyskusje robocze nad poszczególnymi punktami porządku obrad oraz negocjacje odbywają się na zamkniętych posiedzeniach grup roboczych i/lub komitetów ad hoc.

Konferencja przyjmuje program prac (1) oraz przepisy proceduralne kierując się rekomendacjami Zgromadzenia Ogólnego oraz propozycjami państw członkowskich.

Stały program Prac CD, zwany również Dekalogiem obejmuje następującą problematykę:

- ✚ broni jądrowej we wszelkich jej aspektach (włączając w to materiały rozszczepialne)),
- ✚ innych broni masowego rażenia (2),
- ✚ broni konwencjonalnych,
- ✚ ograniczenia budżetów wojskowych,
- ✚ redukcji sił zbrojnych,
- ✚ rozbrojenia i rozwoju,
- ✚ rozbrojenia i bezpieczeństwa międzynarodowego,
- ✚ środków towarzyszących; budowy zaufania, efektywnych i możliwych do zaakceptowania przez wszystkie strony, metod weryfikacji dotyczących kroków podejmowanych w zakresie rozbrojenia;
- ✚ kompleksowego programu rozbrojeniowego zmierzającego do całkowitego rozbrojenia pod efektywnym nadzorem międzynarodowym.

Konferencja (jak również poprzedzające ją fora) negocjowały najważniejsze wielostronne traktaty rozbrojeniowe takie jak; Układ o nierozprzestrzenianiu broni jądrowej (Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons - NPT) (4), Traktat o całkowitym zakazie prób z bronią jądrową (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty - CTBT) (5), Konwencję w sprawie zakazu wojskowego lub innego wrogiego wykorzystania technik modyfikacji środowiska (Convention on the Prohibition of Military or Any Other Hostile Use of Environmental Modification Techniques), konwencje dotyczące dna morskiego etc.

Na forum Konferencji negocjowano również Konwencję o zakazie prowadzenia badań, produkcji i gromadzenia zapasów broni biologicznej i toksynowej oraz o jej zniszczeniu (Convention on the Prohibition of the Development, Production and Stockpiling of Bacteriological (Biological) and Toxin Weapons and on their Destruction – BTWC) oraz Konwencja o zakazie rozwoju, produkcji, składowania i użycia broni chemicznej oraz o jej zniszczeniu (Convention on the Prohibition of the Development, Production, Stockpiling and Use of Chemical Weapons and on Their Destruction - CWC). Z uwagi na niemożliwość osiągnięcia konsensusu podczas negocjacji dwie ostatnie z wymienionych powyżej konwencji zostały ostatecznie sfinalizowane zostały poza forum CD.

Od 1996 r. Konferencja przechodzi poważny impas, spowodowany niemożnością osiągnięcia konsensusu. W praktyce doprowadziło to do sytuacji, iż bardzo ważne ważniejsze traktaty rozbrojeniowe, jak np. Konwencja o zakazie min przeciwpiechotnych (tzw. Konwencja Ottawska) oraz Konwencja o zakazie stosowania amunicji kasetowej (tzw. Konwencja z Oslo) ostatecznie negocjowane i przyjęte zostały poza jej forum.

Aczkolwiek zakres prac Konferencji obejmuje praktycznie całość problematyki wielostronnej kontroli zbrojeń i rozbrojenia to jednak w okresie od 1998 r. obrady koncentrują się przede wszystkim na:

- zaprzestaniu wyścigu zbrojeń atomowych i rozbrojeniu nuklearnemu,
- szeroko rozumianemu przeciwdziałaniu możliwości konfliktu z użyciem broni nuklearnej,
- zapobieganiu wyścigowi zbrojeń w przestrzeni kosmicznej (prevention of an arms race in outer space - PAROS) oraz umieszczaniu na orbicie okołoziemskiej ładunków nuklearnych,
- stworzeniu gwarancji bezpieczeństwa dla państw nie posiadających w swych arsenałach broni nuklearnych na wypadek użycia takich broni przez inne państwa (tzw. negative security assurances - NSA);
- nowych rodzajach i systemach broni masowego rażenia - włączając w to broń radiologiczną
- kompleksowych programach rozbrojeniowych oraz zapewnieniu przejrzystości w zbrojeniach.

W maju 1998 r. Konferencja uzgodniła program prac obejmujący ww. problemy i powołała komitety: ds. gwarancji bezpieczeństwa NSA oraz traktatu ws. ograniczeń produkcji materiałów rozszczepialnych do celów wojskowych (fissile material cut-off negative treaty). W kolejnych latach nastąpił impas i z wyjątkiem 2006 r. nie udało się uzgodnić programu prac.

W tej sytuacji we wrześniu 2010 r. na zaproszenie Sekretarza Generalnego ONZ Ban Ki-moon'a odbyło się tzw. Spotkanie Wysokiego Szczebla (high-level meeting) mające na celu rewitalizację konferencji i podjęcie konkretnych negocjacji. Na spotkaniu poczyniono szereg sugestii, a dyskusję kontynuowano zarówno podczas obrad I Komitetu ds. Rozbrojenia i Bezpieczeństwa Międzynarodowego Zgromadzenia Ogólnego NZ w październiku 2010 r. oraz pierwszych dwóch sesji Konferencji w 2011 r. Przedstawiciele niektórych państw sugerowali przeniesienie dyskusji np. nad traktatem nt. materiałów rozszczepialnych (fissile material treaty) poza forum CD, inne sugerowały zmianę przepisów tak aby działania konferencji nie były oparte o zasadę jednomyślności (konsensusu). Padały również dość skrajne propozycje jak np. wstrzymane finansowania prac CD. Również w 2012 r. dotychczas nie doszło do uzgodnienia mandatu na skutek sprzeciwu niektórych państw. Wydaje się wątpliwe aby nastąpiło to przed końcem tegorocznych obrad sesji, tj. 14 września 2012 r.

Trwający zastój w negocjacjach powoduje coraz większe zniecierpliwienie nie tylko niektórych państw, ale przede wszystkim frustrację organizacji pozarządowych (NGO) zajmujących się tą tematyką wzywających do podjęcia bardziej zdecydowanych działań dla zmiany obecnego status quo.

Przypisy:

1. Ostatni program pracy CD, został przyjęty na 1139 posiedzeniu plenarnym Konferencji, 29 maja 2009 r. (dok. CD/1864). Po 2009 r. nie udało się osiągnąć konsensusu odnośnie programu prac.
2. Punkt ten początkowo obejmował również broń chemiczną, jednakże w 1993 r., po przyjęciu we wrześniu 1992 r. tzw. Konwencji o Broni Chemicznej – CCW został usunięty.
3. W 2012 r. w skład P6 wchodzi: Ekwador, Egipt, Etiopia, Finlandia, Francja oraz RFN.

4. Układ o nierozprzestrzenianiu broni jądrowej (ang. Nuclear Non-Proliferation Treaty, NPT) – międzynarodowy traktat zabraniający państwom posiadającym technologię budowy broni jądrowej sprzedaż jej do krajów, które tej technologii nie posiadają i jednocześnie zobowiązanie państw, które jej nie posiadają do zaprzestania prób jej rozwoju. Układ ten został przedłożony do ratyfikacji 1 lipca 1968. Został ratyfikowany przez Polskę 3 maja 1969. Jego stroną jest obecnie 190 państw. Depozytariuszami są 3 państwa: Stany Zjednoczone, Federacja Rosyjska, jako prawny następca ZSRR i Wielka Brytania.
5. Traktat o całkowitym zakazie prób z bronią jądrową (ang. Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty, CTBT) – podpisany 24 września 1996 zakłada całkowity zakaz przeprowadzania prób nuklearnych. Do jego wejścia w życie wymagana jest ratyfikacja 44 państw w nim wymienionych. Spośród nich proces ratyfikacyjny zakończył się w 34, jednak Indie, Pakistan i Korea Północna nie złożyły jeszcze swych podpisów. Dotychczas Traktat podpisały 183 państwa, a ratyfikowało 157 państw. Traktat nie wszedł w życie, gdyż Indie, Pakistan i Korea Północna nie podpisały. Dokument ratyfikacyjny został podpisany przez Prezydenta RP podpisał w dn. 10 maja 1999 roku, a 25 maja złożony u depozytariusza (ONZ).

Źródła:

1. *United Nations Office for Disarmament Affairs: www.un.org/disarmament/WMD/Nuclear/*
2. *The United Nations Office in Geneva: www.unog.ch/disarmament/*
3. *International Atomic Energy Agency: www.iaea.org/Publications/Documents/Conventions/*
4. *Weapons of Mass Destruction Commission (WMDC): www.wmdreport.org/*
5. *Verification, Research, Training and Information Centre (VERTIC): [www www.vertic.org](http://www.vertic.org)*
6. *Patrz również: MSZ: www.traktaty.msz.gov.pl/*

Grupy państw biorących udział w Konferencji Rozbrojeniowej

Grupa Zachodnia

Argentyna, Australia, Austria, Belgia, Finlandia, Francja, Hiszpania, Irlandia, Izrael, Japonia, Kanada, Niderlandy, Niemcy, Nowa Zelandia, Norwegia, Polska, Republika Korei, Słowacja, Szwecja, Szwajcaria, Turcja, Zjednoczone Królestwo, USA, Węgry, Włochy.

Grupa 21

Algieria, Bangladesz, Brazylia, Kamerun, Chile, Kolumbia, Kuba, KRLD- Korea, Demokratyczna Rep. Kongo, Ekwador, Egipt, Etiopia, Indie, Indonezja, Islamska Rep. Iranu, Irak, Kenia, Malezja, Meksyk, Mongolia, Maroko, Myanmar, Nigeria, Pakistan, Peru, Senegal, Płd. Afryka, Sri Lanka, Syria, Tunezja, Wenezuela, Wietnam, Zimbabwe.

Grupa Wschodnio - Europejska

Białoruś, Bułgaria, Kazachstan, Rumunia, Federacja Rosyjska, Ukraina.

Grupa Jednego

Chiny

MIĘDZYNARODOWA AGENCJA ENERGII ATOMOWEJ

Tadeusz Wójcik

I

Światowa społeczność państw wykazała zdolność skutecznego reagowania na problemy jakie pojawiły się na początku ery atomowej, około połowy ubiegłego stulecia oraz w okresie późniejszego rozwoju atomistyki. Narodziny praktycznych zastosowań energii atomowej zaczęły się niestety od rzucenia bomb atomowych w dniach 6 i 9 sierpnia 1945 roku w Japonii na Hiroshimę i Nagasaki.

Obawa przed rozpowszechnianiem tej nowej broni o potężnej sile niszycielskiej oraz z drugiej strony, świadomość ogromnego potencjału energetycznego nowego źródła energii spowodowały podjęcie w 1945 roku „na forum nowo powstałej Organizacji Narodów Zjednoczonych (ONZ) prac nad określeniem warunków pokojowego wykorzystania energii atomowej oraz środków eliminowania ryzyka rozpowszechniania broni atomowej.

U podstaw rozważań tych warunków i środków przez powołaną dla tego celu Komisję Atomową Rady Bezpieczeństwa ONZ legło przekonanie, że przy szerokim światowym rozwoju atomistyki nie uda się wyeliminować ryzyka nie kontrolowanej produkcji broni atomowej. Historia bez mała 70 lat rozwoju wykorzystania energii atomowej uzasadniła w pewnym stopniu te obawy. Konsekwentnie, większość członków powyższej komisji Rady Bezpieczeństwa uznała za konieczne wyłączenie z pod władania państw wszystkich operacji technologicznych, które mogłyby przynieść ryzyko użycia uranu dla celów produkcji broni atomowej i poddanie tych operacji i związanych z nimi urządzeń i materiałów wyłącznej kompetencji międzynarodowej organizacji, Międzynarodowej Agencji Kontroli Energii Atomowej. Ta międzynarodowa organizacja, będąca w założeniu monopolistą nuklearnym, miałaby rozwijać w imieniu swych państw członkowskich przemysł jądrowy, być właścicielem instalacji i materiałów jądrowych, w tym wydobytego uranu oraz prowadzić prace badawcze w dziedzinie nukleoniki. Zakładano stopniowe przekazywanie MAKEA kontroli nad całą atomistyką. Ostatnim etapem wdrażania monopolistycznej roli MAKEA miało być przekazanie jej przez państwa zasobów broni atomowej.

Po dwu latach pracy nad tą koncepcją i odbyciu 200 posiedzeń Komisja poinformowała Radę Bezpieczeństwa o niemożności osiągnięcia zgody co do propozycji zasad i środków mających zapewnić pokojowy rozwój atomistyki. Kluczowym powodem niepowodzenia była niemożność osiągnięcia kompromisu między koncepcją popieraną przez większość członków Komisji, w tym USA, jedynym w tym okresie posiadaczem broni atomowej, a stanowiskiem byłego Związku Radzieckiego, który proponował bezwarunkowe wyrzeczenie się przez państwa broni atomowej, pod międzynarodową kontrolą oraz pozostawienie pokojowej działalności atomowej we władaniu państw.

II

Następne kilka lat przyniosły intensywne badania i rozwój w obydwu dziedzinach zastosowań energii atomowej. Nieskuteczną okazała się więc stosowana polityka niejawności. Osłabieniu też uległa monopolistyczna pozycja USA dziedzinie atomistyki. Związek Radziecki (1949), Anglia (1952) i Francja (1960) weszły w posiadanie broni atomowej.

Do roku 1955 uruchomiono na świecie 40 reaktorów doświadczalnych oraz dwie elektrownie

jądrowe, w USA i w Związku Radzieckim.

Zorganizowana przez ONZ w 1955 roku w Genewie pierwsza światowa konferencja na temat pokojowych zastosowań energii jądrowej przyniosła podniesienie kurtyny tajności i zapoczątkowanie szerokiej współpracy międzynarodowej w zakresie badań jądrowych, z wyjątkiem badań związanych z rozwojem broni atomowej oraz izotopowym wzbogacaniem uranu. Ujawniony ogromny potencjał energetyczny energii jądrowej został dostrzeżony przez kraje rozwijające się, jako czynnik umożliwiający znaczne przyspieszenie ich gospodarczego rozwoju. Udzieliły one szerokiego poparcia inicjatywie USA, złożonej na sesji Zgromadzenia Ogólnego ONZ w dniu 8 grudnia 1953 roku, utworzenia międzynarodowej organizacji dla promowania pokojowego wykorzystania energii jądrowej oraz dla działań zapewniających, że pokojowa działalność jądrowa nie będzie wykorzystywana dla celów militarnych, które zdefiniowano jako posiadanie broni atomowej, termojądrowej i radiologicznej

Nie przypadkiem, przewodniczącym Konferencji Genewskiej został hinduski fizyk Homi Bhabha. Jego wypowiedź w przemówieniu inauguracyjnym „ Nie ma energii droższej niż brak energii” stała się motywem wielu wypowiedzi w dyskusji i jest przywoływana do dzisiaj. Doświadczenie dotychczasowego rozwoju energetyki jądrowej wskazuje na trwałość zainteresowania nią wiodących krajów rozwijających się i nie dysponujących bogatymi zasobami paliw organicznych. Wskazuje na to fakt, że o ile liczba eksploatowanych reaktorów energetycznych w Chinach, Indiach, Brazylii i Republice Korei stanowi obecnie 13% w stosunku do ich łącznej liczby na świecie, to liczba obecnie budowanych w tych krajach reaktorów jądrowych stanowi 60 % ich ogólnej liczby. W latach 1954- 1956 trwały prace nad koncepcją i statutem międzynarodowej organizacji zaproponowanej przez USA w 1953 roku. Jej koncepcja oznaczała radykalne odejście od polityki tajności i drastycznego ograniczania rozwoju i przejście do otwartości i promocji rozwoju technologii jądrowych dla celów pokojowych, przy równoczesnym stworzeniu systemu zabezpieczeń przeciw niekontrolowanemu rozprzestrzenianiu broni atomowej. Doprowadziły one do utworzenia w 1957 roku Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA) z siedzibą w Austrii w Wiedniu.

III

Ogólny cel działalności Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej określa art. II jej statutu „Agencja dąży do tego aby przyspieszyć i zwiększyć wykorzystanie energii atomowej w celu zapewnienia pokoju, zdrowia i dobrobytu na całym świecie. Agencja będzie czuwać nad tym, w miarę swych możliwości, aby pomoc udzielana przez nią samą, na jej życzenie, pod jej nadzorem lub zarządem nie była wykorzystywana w sposób mogący służyć jakimkolwiek celom militarnym.” Statut Agencji określa trzy główne działania służące powyższemu celowi:

I. Pomoc techniczna w formie:

(i) wspieranie badań, rozwoju i praktycznych zastosowań, w tym wspieranie edukacji naukowców i ekspertów,

(ii) dostarczanie materiałów , usług, urządzeń i instalacji, ze szczególnym uwzględnieniem potrzeb krajów nisko rozwiniętych, (Art.IIIA.1, III.A.2, III.A.4)

II. Skuteczne przeciwdziałanie ryzyku szkód dla zdrowia i środowiska naturalnego związanych z cyklem paliwowym energetyki jądrowej i stosowaniem promieniowania jonizującego.

III. Organizowanie i stosowanie zabezpieczeń dla zapewnienia, że jakakolwiek pomoc techniczna czy dostawy związane z Agencją nie będą wykorzystywane dla jakichkolwiek celów militarnych oraz stosowanie zabezpieczeń na życzenie państw w odniesieniu do jakichkolwiek dwustronnych czy wielostronnych porozumień. Dodatkową funkcją realizowaną w związku i dla wsparcia po-

wyższych trzech działalności to wspieranie wymiany informacji naukowych i technicznych.

W związku z rozważaną w okresie prac nad projektem statutu koncepcją funkcji:

- (i) banku materiałów jądrowych przekazywanych Agencji przez kraje członkowskie celem udostępnienia na zasadach komercyjnych krajom inicjującym działalność jądrową,
- (ii) przyjmowania przez Agencje w depozyt od krajów członkowskich nadwyżek materiałów jądrowych w stosunku do bieżących potrzeb, statut przewiduje możliwość ustanowienia składowisk takich materiałów.(art.III.A.7) Do tej pory obydwie funkcje nie były realizowane. Nie doszło więc do organizacji odpowiednich składowisk.

Do idei składowania w magazynach Agencji materiałów jądrowych powstałych w ramach cyklu paliwowego energetyki jądrowej i odpowiadających warunkom niezbędnym dla produkcji broni atomowej (pluton) wraca się dzisiaj w ramach dyskusji nad zaprzestaniem (cut off) produkcji takich materiałów.

IV

W pierwszej dekadzie pracy Agencji dziedzina pomocy technicznej, w wymiarze zaangażowanych środków, dominowała pośród wszystkich programów. Było to naturalną konsekwencją faktu, że praktyczne wykorzystywanie energii jądrowej oraz metod i technik jądrowych znajdowało się w początkowej fazie rozwoju i większość krajów, szczególnie krajów rozwijających się, nie posiadało żadnego doświadczenia w tych dziedzinach. W swej treści pomoc techniczna koncentrowała się wtedy na zastosowaniu izotopów i metod jądrowych głównie w dziedzinach ochrony zdrowia, rolnictwa i konserwacji żywności, hydrologii, eksploatacji reaktorów doświadczalnych oraz poszukiwaniach rud uranu. Co do form pomocy technicznej, to dominowały kursy szkoleniowe, indywidualne stypendia szkoleniowe oraz usługi ekspertów.

Rosnącemu zapotrzebowaniu na te usługi towarzyszyła budowa licznych reaktorów doświadczalnych, których oddano na świat:

12 w latach 1940 - 1949

162 w latach 1950 - 1959

275 w latach 1960 - 1969

87 w latach 1970 – 1979.

Naturalną konsekwencją tego szerokiego rozwoju badań i zastosowań była konieczność tworzenia infrastruktury regulacyjnej i technicznej w zakresie ochrony przed promieniowaniem, bezpieczeństwa jądrowego i gospodarki odpadami promieniotwórczymi, czemu towarzyszył rosnący zakres pomocy technicznej. Agencji. Do 1969 roku zorganizowano ogółem 1560 kursów szkoleniowych i udzielono pomocy w wyszkoleniu 19 tysięcy specjalistów.

W miarę postępu w szkoleniu specjalistów i budowie infrastruktury wzrastało w krajach członkowskich zainteresowanie konkretnymi projektami zastosowań przynoszących wymierne korzyści ekonomiczne. Akcją rozsyłania misji dla oceny korzystnych zastosowań objęto 50 krajów.

Od około 1980 roku programy w wymienionych wyżej dziedzinach zastosowań obejmowały konkretne projekty, z biegiem czasu również w zakresie energetyki jądrowej. Znaczny udział w tej ostatniej dziedzinie miały kraje Europy Środkowej i Wschodniej oraz Chiny i Republika Korei.

Statut Agencji przewiduje, że świadczenia bezpośredniej pomocy technicznej krajom członkowskim finansowane są z Funduszu Pomocy Technicznej tworzonego z dobrowolnych wpłat a nie z budżetu regularnego, który powstaje z obowiązkowych składek wnoszonych w wysokości jednolitej w organizacjach systemu ONZ, w tym MAEA.

W roku 1958, pierwszym roku działalności Agencji, wpłaty do Funduszu Pomocy Technicznej wyniosły 12,5 tys. \$ i wzrastały stopniowo do:

10,5 mln \$ w roku 1980,
45,5 mln \$ w roku 1990,
85,5 mln \$ w roku 2010.

Stanowiło to 25 % Budżetu Regularnego w 1958 roku, spadło do 13 % w 1980 roku, wzrosło do 28% w roku 1990 i aż do 33% w 2010 roku. Motywy tak znacznego wzrostu wpłat do przedmiotowego funduszu były głównie natury politycznej. Wejście w życie Traktatu o Nierozprzestrzenianiu Broni Jądrowej (NPT Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons w skrócie Non-Proliferation Treaty) przyniosło zasadniczy wzrost intensywności i zabezpieczeń (safeguards) i w konsekwencji wzrost jej budżetu. (piętnastokrotny wzrost w okresie 1970 – 1980). Pod hasłem zapewnienia właściwych proporcji między działalnością promocyjną a regulacyjną Agencji kraje rozwijające się uzyskały znaczny wzrost budżetu programu pomocy technicznej, co sprzyjało włączaniu się przez nie do NPT.

Do około połowy lat 80-tych wartość nominalna udzielanej pomocy technicznej rozkładała się względnie równomiernie między cztery dziedziny:

- zastosowanie technik jądrowych
- w rolnictwie i technologii żywności,
- w medycynie,
- wspieranie nauk fizycznych i chemicznych,
- ochrona przed promieniowaniem i bezpieczeństwo jądrowe.

Poczynając od początku lat 90-tych wzrasta udział tematyki bezpieczeństwa jądrowego

Z punktu widzenia form udzielanej pomocy technicznej, udział usług ekspertów utrzymuje się na poziomie około 30%, spada udział fundowanych stypendiów z blisko 50% do 30% oraz rośnie wartość dostarczanego sprzętu.

W okresie 1972- 1990 roku utworzono pod auspicjami Agencji Regionalne Porozumienia do Promocji Badań i Zastosowań Technologii Jądrowych, w rejonie Azji Ameryki Łacińskiej i Afryki. W ich ramach inicjowane były konkretne projekty, jak optymalne wykorzystywanie reaktorów doświadczalnych, poszukiwanie nowych odmian produktów rolnych, do których realizacji włączały się kraje zaawansowane w tych dziedzinach.

W 1964 roku rozwinięto unikalną formę pomocy technicznej przez utworzenie w Trieście, we współpracy z rządem Włoch Międzynarodowego Centrum Fizyki Teoretycznej. W dużym stopniu dzięki kierownictwu Centrum przez prof. Abdusa Salama, wybitnego pakistańskiego fizyka, laureata Nagrody Nobla, stało się ono miejscem spotkań i współpracy w różnych formach (kursy szkoleniowe, konferencje i seminaria, udział w krótko okresowych spotkaniach grup roboczych) naukowców z krajów rozwiniętych i rozwijających się. W latach 90-tych uczestniczyło rocznie w tej współpracy około 4 tys. uczonych, w tym 40 laureatów Nobla. W 1995 roku organizację centrum przejęło UNESCO, rozszerzając jego zakres tematyczny na inne dziedziny nauki.

V

Zadania wymienione w punkcie II głównych działań Agencji wiążą się z pierwszym z dwu głównych postrzeganych zagrożeń płynących z rozwoju energetyki jądrowej jak:

- nie kontrolowane rozprzestrzenianie promieniowania jądrowego,
- nie kontrolowane rozprzestrzenianie broni jądrowej.

Mówiąc bardziej szczegółowo pierwsza dziedzina obejmuje zagadnienia:

- bezpieczeństwa jądrowego instalacji jądrowego cyklu paliwowego,
- bezpieczeństwa radiologicznego (radiation safety) obejmującego stosowanie promieniowania jonizującego w medycynie, przemyśle i w różnych dziedzinach badań, oraz bez-

pieczeństwa gospodarki odpadami promieniotwórczymi.

W latach 1970-1975, kiedy na świecie podejmowano rocznie budowę 25-35 reaktorów energetycznych (bloków jądrowych) drastycznie wzrosło zapotrzebowanie na usługi doradztwa i oceny w zakresie bezpieczeństwa jądrowego. Rychło ujawniła się niezbędność jednolitego podejścia w tych sprawach.

Bezpośrednią przyczyną podjęcia realizacji tego podejścia było doświadczenie Agencji w doradztwie Republice Korei w sprawach bezpieczeństwa elektrowni jądrowej KORI- 1. Kontrakt zawarty w 1969 roku z firmą Westinghouse zakładał, że wymagania co do bezpieczeństwa jądrowego tej elektrowni będą identyczne z występującymi w elektrowni jądrowej Kewaunee Plant w USA, której budowę firma Westinghouse, według takiego samego projektu, rozpoczęła w roku 1968. Po 1969 roku w USA podwyższono poziom wymagań w zakresie bezpieczeństwa elektrowni jądrowych i firma Westinghouse była gotowa odpowiednio zmodyfikować projekt elektrowni KORI-1, z konsekwencjami finansowymi tego przedsięwzięcia. Republika Korei, z myślą o uniknięciu dodatkowych kosztów, porosiła Agencję o opinię czy poziom bezpieczeństwa jądrowego przewidziany w umowie z 1969 roku nie może być uznany za wystarczający dla Republiki Korei. Agencja stanęła więc przed problemem ewentualnego uznania różnych poziomów bezpieczeństwa EJ stosowanych w zależności od warunków ekonomicznych kraju.

Odpowiedzią Agencji było podjęcie pracy nad międzynarodowo uzgodnionymi podstawowymi technicznymi wymaganiami bezpieczeństwa, na których oparte byłyby jednolite kryteria bezpieczeństwa i niezawodności elektrowni jądrowych na świecie. W oparciu o te kryteria opracowano w latach 1970-1980, w ramach projektu Normy Bezpieczeństwa Jądrowego (Nuclear Safety Standards -NUSS) 5 regulacji (codes) bezpieczeństwa w zakresie lokalizacji, projektowania i budowy, eksploatacji, zapewnienia jakości oraz organizacji krajowych organów bezpieczeństwa jądrowego oraz 47 wytycznych (guides) określających szczegółowe wymagania w zakresie stosowania tych regulacji.

Dokumenty programu NUSS stały się powszechną podstawą przedmiotowych krajowych regulacji, szczególnie w krajach rozwijających się. Dwukrotnie podejmowane dyskusje nad nadaniem normom NUSS mocy prawnie obowiązujących nie doprowadziły do ugody i normy te posiadają do dzisiaj status rekomendacji. Z przedsięwzięciami dotyczącymi zapewnienia bezpieczeństwa pracy elektrowni jądrowych wiąże się kwestia odpowiedzialności za szkody wobec państw trzecich wywołane wypadkami jądrowymi.. Na początku lat 60-tych Europejska Agencja Energii Atomowej oraz równolegle MAEA (Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej) podjęły prace nad Konwencją Odpowiedzialności Państw Trzecich w Dziedzinie Energii Nuklearnej regulującą sprawy odpowiedzialności i ubezpieczeń związanych z ryzykiem awarii jądrowych w cywilnych naziemnych instalacjach jądrowych oraz szkód wywołanych w transporcie materiałów jądrowych.

Trudności związane z interpretacją zapisów konwencji, praktycznie identycznych w sprawach zasadniczych, jednej dotyczącej członków NEA/OECD (Agencja Energii Atomowej - Nuclear Energy Agency (NEA) będąca specjalistyczną gałęzią Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), i drugiej dotyczącej członków MAEA, w tym również należących do MAEA, doprowadzili w 1988 roku do utworzenia przez obie organizacje wspólnego protokołu łączącego obie konwencje i stanowiącego jeden całościowy reżim przedmiotowej odpowiedzialności.

Fundamentalną zasadą leżącą u podstaw tego reżimu jest, że operator instalacji jądrowej ponosi pełną odpowiedzialność za szkody wywołane jej awarią.

Awarye elektrowni jądrowych w Three Mile Island w 1979 roku oraz w Czarnobylu w 1986 roku ujawniły, że kraje o bardziej ograniczonym doświadczeniu i potencjale naukowym i technicznym niż USA i ZSRR mogą mieć trudności w przeciwdziałaniu skutkom dużych awarii. Obydwa kraje, a szczególnie ZSRR były krytykowane za ograniczone i późne informowanie o tych awariach i ich skutkach. W tej sytuacji Agencja przygotowała projekty dwu międzynarodowych konwencji dotyczące:

- międzynarodowej pomocy w sytuacjach wypadków jądrowych bądź zagrożenia radiacyjnego,
- wczesnego informowania o wypadkach jądrowych.

Obydwie konwencje weszły w życie po awarii czarnobylskiej w 1978 roku.

W rezultacie dokonanych analiz przebiegu i skutków obydwu awarii podjęto kilka dalszych inicjatyw w programie działalności MAEA:

- powołano w 1988 roku Międzynarodowy Komitet Doradczy Bezpieczeństwa Jądrowego (International Nuclear Safety Advisory Group (INSAG)), złożoną z 14 ekspertów o międzynarodowej reputacji, jako organ doradczy Dyrektora Generalnego w sprawach głównych zasad stanowiących
- podstawę standardów i zaleceń Agencji oraz dla wymiany opinii o głównych bieżących problemach w zakresie bezpieczeństwa jądrowego.
- rozpoczęto w 1982 roku wysyłanie, na zaproszenie krajów, misji doradczych zwanych Zespoły Przeglądu Bezpieczeństwa Eksploatacji (Operational Safety Review Teams (OSART)) dla oceny aspektów organizacji, zarządzania i działania w zakresie zapewnienia bezpieczeństwa EJ w kontekście międzynarodowych norm i zaleceń.

W rezultacie wyników obrad wysokiej rangi międzynarodowej konferencji odbytej w 1991 roku, zwołanej na propozycję Unii Europejskiej pod wpływem szerokiej reperkusji awarii czarnobylskiej, celem, „określenia programu w zakresie bezpieczeństwa jądrowego na następną dekadę” podjęto prace nad międzynarodową konwencją bezpieczeństwa jądrowego, pierwszym międzynarodowym instrumentem wprowadzającym prawnie wiążące wymagania dotyczące bezpieczeństwa cywilnych reaktorów energetycznych, opierających się na fundamentalnej zasadzie, że „odpowiedzialność za bezpieczeństwo jądrowe spoczywa na państwie sprawującym jurysdykcję nad obiektem jądrowym.”

Konwencja zobowiązuje jej członków do :

- Ustalenia prawnej infrastruktury i powołanie organu dozoru jądrowego niezależnego od innych organów związanych z promocją i zarządzaniem działalnością jądrową.
- Ustalenia systemu licencjonowania, inspekcji i egzekwowania przestrzegania regulacji dotyczących bezpiecznej lokalizacji, budowy i użytkowania instalacji jądrowych w całym okresie ich użytkowania. W przypadku konieczności podjęcia działań dla zapewnienia wymaganego poziomu bezpieczeństwa rząd zobowiązany jest do pilnego ich podjęcia, lub zamknięcia instalacji w przypadku niemożności podjęcia tych działań.
- Składania co trzy lata sprawozdania z działań podejmowanych dla wykonywania postanowień konwencji. Sprawozdania te są rozpatrywane na organizowanych co trzy lata plenarnych konferencjach przeglądowych krajów sygnatariuszy konwencji. Ostatnia miała miejsce w 2011

roku.

- ✦ stosowania wprowadzonej w życie w 1990 roku Międzynarodowej Skali Zdarzeń Jądrowych, z następującym podziałem: poziom 1 do 3 jako wydarzenia oraz 4 do 7 jako wypadki. Katastrofa w Czarnobylu reprezentuje najwyższy, siódmy poziom - wielki wypadek (major) Skala ta jest obecnie stosowana w informowaniu o wypadkach jądrowych.

W powyższym kontekście warto przypomnieć o powołaniu w 1989 roku Światowego Stowarzyszenia Operatorów Elektrowni jądrowych (World Association of Nuclear Operators - WANO), jako poza rządowej organizacji w celu podniesienia poziomu bezpieczeństwa eksploatacji elektrowni jądrowych, poprzez wzmocnienie więzi i wymiany doświadczeń między operatorami. Obecnie wszystkie kraje eksploatujące EJ są członkami WANO. Polska przystąpiła do WANO w czasie budowy EJ w Żarnowcu i była członkiem do końca 2011 roku.

Działania MAEA podjęte w związku z obydwu wspomnianymi awariami EJ reprezentują ważny etap tworzenia szeroko zakreślonego międzynarodowego reżimu bezpieczeństwa jądrowego. Do tego wysiłku dołączyła odbyta w czerwcu 2011 roku konferencja ministerialna państw członków MAEA zwołana dla wstępnej oceny awarii w EJ Fukushima w Japonii. Sformułowano na niej wnioski dotyczące wzmocnienia głównych elementów istniejącego reżimu bezpieczeństwa EJ, jak:

- ✦ dokonanie oceny istniejącego systemu przygotowania do awarii, w świetle doświadczeń tej awarii,
- ✦ wzmocnienie niezależności organów dozoru jądrowego i skuteczności ich działania,
- ✦ dokonanie oceny marginesów bezpieczeństwa EJ dla przeciwdziałania skutkom ekstremalnych,
- ✦ naturalnych katastrof.

Postanowiono odbyć w 2012 roku specjalne, wysokiej rangi, podobnie jak to miało miejsce po awarii w Czarnobylu, spotkanie państw członków Konwencji Bezpieczeństwa Jądrowego oraz państw członków MAEA celem pogłębienia wiedzy o przyczynach i skutkach awarii w Fukushima i wyciągnięcia wniosków dla globalnego systemu bezpieczeństwa jądrowego.

VI

Co się tyczy bezpieczeństwa radiologicznego, to zalecenia ilościowe dotyczące dopuszczalnych dawek promieniowania formułowane są przez Międzynarodową Komisję Ochrony Radiologicznej (International Commission of Radiological Protection (ICRP)), niezależną i powszechnie uznaną, również przez MAEA, za autorytatywną organizację. MAEA przyjmowała od początku swej działalności jej rekomendacje jako podstawę do formułowania swych norm w ramach Podstawowych Norm Bezpieczeństwa dla Ochrony Pracowników i Ogółu Społeczeństwa Przed Nadmiernym Promieniowaniem (Basic Safety Standards for Protection of Workers and General Public Against Excessive Radiation). Były one publikowane w latach: 1962, 1967 oraz 1981-1982.

Od 1991 roku standardy te są publikowane wspólnie przez IAEA (International Atomic Energy Agency Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej), WHO (World Health Organization – Światowa Organizacja Zdrowia), ILO (International Labour Organization – Światowa Organizacja Pracy), FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations - Organizacja Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa) oraz PAHO (Pan American Health Orga-

nization - Amerykańska Organizacja Zdrowia), po zatwierdzeniu przez ciała zarządzające tych organizacji. Fundamentalnym założeniem przyjętym w tych standardach jest, że przy bardzo niskich dawkach promieniowania ich szkodliwość dla człowieka pozostaje w proporcji do otrzymanej dawki, bez istnienia progu poniżej którego nie występuje znacząca szkoda. Jest to tak zwana liniowa zależność dawka- skutek. Wyrażana jest krytyka tego założenia wprowadzającego, zdaniem krytyków, nieuzasadnione obciążenie ekonomiczne dla przemysłowych zastosowań energii jądrowej. Jednakże brak wyników badań doświadczalnych weryfikujących i kwestionujących to założenie przyjęto jako uzasadnienie stosowania tego założenia ze względów ostrożności.

Warto też przypomnieć że w okresie przeciągających się międzynarodowych negocjacji w sprawie ograniczenia zakresu rozwoju broni atomowej Zgromadzenie Ogólne ONZ przyjęło w 1954 roku rezolucję nakazującą powołanie w ramach ONZ komitetu do badań skutków promieniowania jądrowego dla zdrowia ludzi. Komitet taki pod nazwą Komitet Naukowy ONZ do spraw Skutków Promieniowania Atomowego (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) (UNSCEAR) został powołany w marcu 1956 roku.

Zdecydowano więc, że to ONZ, a nie mająca być wkrótce powołana MAEA będzie śledzić zdrowotne skutki rozwijającej się atomistyki, zarówno militarnej jak pokojowej. W okresie do zaprzestania prób z bronią atomową w atmosferze przez USA, ZSRR i Anglię w 1963 roku, Francję w 1974 roku i Chiny w 1980 roku środowiskowe skutki tej militarnej dziedziny były głównym przedmiotem badań UNSCEAR. Obecnie, głównym przedmiotem jego badań i ocen są emisje promieniowania z pokojowej działalności atomistyki. Rezultaty tych badań i ocen są przedstawiane Zgromadzeniu Ogólnemu ONZ. Warto więc pamiętać, że zarówno ustalenia dopuszczalnych dawek promieniowania jak i badania i oceny w skali światowej emisji promieniowania z pokojowej działalności atomistyki dokonywane są przez inne organizacje a nie MAEA.

VII

Trzecią dziedziną szeroko pojętego bezpieczeństwa jądrowego jest gospodarka odpadami promieniotwórczymi. Wywołuje ona obawy przed przedostawaniem się części tych odpadów do przyrodniczego łańcucha żywności.

W okresie rozpoczynania działalności MAEA problem składowania znaczących ilości tych odpadów widziany był jako odległy. Składowiska powstawały wtedy prawie wyłącznie w wyniku stosowania izotopów promieniotwórczych. Tego typu nisko-aktywne odpady z krajów Europy Zachodniej składowane były w głębokich wodach Atlantyku. Praktyka ta została czasowo wstrzymana w 1982 roku oraz ostatecznie zabroniona w 1994 roku.

Początkowo działalność Agencji ograniczała się do wspierania badań wymiany doświadczeń. Na początku lat 90-tych podjęto prace nad standardami bezpiecznego składowania odpadów, które przyniosły wydanie dokumentów Zasady Bezpieczeństwa i Wymagania techniczne dla Podziemnego Składowania Odpadów Wysokoaktywnych (Safety principles and technical criteria for underground disposal of high level radioactive waste) oraz Zasady Praktyki Międzynarodowej Przegranicznej Gospodarki Odpadami radioaktywnymi (Code of practice on international transboundary management of radioactive waste).

Dla udzielania odpowiedzi na prośby krajów o dokonanie oceny ich zamierzeń w zakresie gospodarki odpadami promieniotwórczymi zapoczątkowano w 1989 roku tzw. Ocena Gospodarki Odpadami i Program Oceny Technicznej (Waste Management Assessment and Technical Review Program WATRP) oparty na zasadzie „peer review”, w którym kilku wybranych eksper-

tów z krajów dysponujących doświadczeniem w tej dziedzinie dokonuje przeglądu wszystkich przedmiotowych informacji i zamierzeń, po czym przedstawiają swoje oceny i wnioski. Przeglądy takie dokonano w latach 80-tych w Szwecji, i Anglii oraz w latach 90-tych w Republice Korei, Finlandii, Czechach, Słowacji i Francji. W 1997 roku opracowana została przez MAEA Międzynarodowa Konwencja Bezpieczeństwa Składowania Odpadów Promieniotwórczych. Otwartą pozostaje idea międzynarodowych składowisk opadów promieniotwórczych, której urzeczywistnienie przyniosłoby pożądane ograniczenie ilości składowisk, a także rozwiązanie problemu ich budowy przez małe kraje z ograniczonymi programami energetyki jądrowej.

Jedynym krajem, który wyraził gotowość przyjęcia wypalonego paliwa z reaktorów energetycznych dostarczonego przez nią to Rosja mając na względzie, aby przerób tego paliwa nie doprowadził do wykorzystania wydzielonego plutonu dla celów produkcji broni atomowej. Podobne podejście wydaje się reprezentować USA. Obydwa kraje przyjmują wypalone paliwo z reaktorów doświadczalnych dostarczone przez nie. Rezultaty dotychczasowych badań i rozwoju w zakresie gospodarki odpadami promieniotwórczymi wskazują, że istnieją koncepcje i opracowane środki techniczne pozwalające na odseparowanie tych odpadów od środowiska naturalnego na dostatecznie długi okres, konieczny dla likwidacji ryzyka ich szkodliwego oddziaływania na ludzi i środowisko.

VIII

Działalność MAEA związana z zapobieganiem rozprzestrzenianiu broni jądrowej rozpoczęła się, w odróżnieniu od jej pozostałych programów, w atmosferze odmiennych poglądów na rolę Agencji w tym zakresie, między krajami Europy Zachodniej i USA a Związkiem Radzieckim i kilku wiodącymi krajami rozwijającymi się, głównie Indiami i Brazylią.

Idea inspekcji rozwoju nowoczesnej i obiecującej technologii przez zagranicznych inspektorów pracujących dla wielonarodowej organizacji była zaskakująca, biorąc jeszcze pod uwagę, że państwa dysponujące wtedy bronią jądrową – USA, Anglia, Francja i ZSRR- miały nie podlegać inspekcjom a ich obywatele, pracownicy MAEA mogli jako inspektorzy kontrolować inne kraje. Zgodnie z postanowieniami art.II Statutu system zabezpieczeń (safeguards) miał być sprawowany w odniesieniu do materiałów i urządzeń:

- dostarczanych państwu przez Agencję,
- dostarczanych z udziałem Agencji (umowy trójstronne),
- poddanych pod zabezpieczenia Agencji na mocy jednostronnych decyzji państw.

Urządzenia i materiały wyprodukowane w kraju bez powyższych form udziału Agencji nie podlegały obowiązkowi objęcia ich międzynarodowymi zabezpieczeniami.

W okresie 1959- 1969 opracowano, kilkakrotnie modyfikowany, nowatorski system zabezpieczeń obejmujący stopniowo reaktory doświadczalne, elektrownie jądrowe, zakłady produkcji paliwa reaktorowego oraz przerobu tego paliwa. W 1970 roku Agencja sprawowała działalność zabezpieczeń w oparciu o umowy zawarte z 32 państwami, przy budżecie tej działalności 1,3 mln \$, stanowiącym 10 % jej Budżetu Regularnego. Rosnący ilościowy udział reaktorów doświadczalnych i energetycznych oraz zakładów cyklu paliwowego budowanych bez zaangażowania Agencji, a więc niepodlegających obowiązkowi poddania międzynarodowym zabezpieczeniom, powodował stopniowe zmniejszanie się znaczenia

systemu zabezpieczeń Agencji w światowym wysiłku przeciwdziałania rozprzestrzenianiu broni jądrowej.

Spektakularną demonstracją tej sytuacji była eksplozja nuklearna dokonana w 1974 roku przez Indie, które wykorzystwały do wykonania ładunku pluton wyprodukowany i wydzielony w instalacjach niepodlegających kontroli MAEA. Instalacje te zbudowały same, po początkowym okresie importu doświadczalnych reaktorów jądrowych.

Świadomość powyższego procesu spowodowała utworzenie w 1969 roku, w wyniku długotrwałych negocjacji w ramach ONZ, Traktatu o Nierozprzestrzenianiu Broni Jądrowej. (Non Proliferation Treaty – NPT), zasadniczo wzmacniającego międzynarodowy system przeciwdziałania rozprzestrzeniania broni jądrowej.

Traktat wprowadził zobowiązania:

(i) - państw posiadających broń atomową do nie przekazywania jej innym krajom nie posiadającym tej broni i nie pomagania tym krajom w jakiegokolwiek formie do wejścia w jej posiadanie lub osiągnięcia nad nią kontroli (art.I traktatu)

(ii) - państw nie posiadających broni jądrowej - do nie przyjmowania jakiegokolwiek broni atomowej bądź jądrowych urządzeń wybuchowych, ani kontroli nad nimi, nie wytwarzania broni atomowej lub jądrowych urządzeń wybuchowych ani nie wchodzenie innymi drogami w ich posiadanie, a także nie zabieganie o jakąkolwiek pomoc w celu wytwarzania broni atomowej lub jądrowych urządzeń wybuchowych. (art.II traktatu)

- zaakceptowania drodze umowy z MAEA jej systemu zabezpieczeń celem weryfikacji przestrzegania powyższych zobowiązań w odniesieniu do materiałów jądrowych (lecz nie urządzeń) występujących w całej pokojowej działalności jądrowej prowadzonej na terytorium państwa lub gdziekolwiek pod jego kontrolą. (art.III traktatu)

Powyższe postanowienia oznaczały odejście od systemu zabezpieczeń pojedynczych określonych urządzeń jądrowych a objęcie nimi wszystkich materiałów jądrowych (uranu i plutonu) w całej pokojowej działalności atomowej państwa. Oznaczały także powierzenie MAEA przez ONZ szerokiej roli weryfikacji, z punktu widzenia zapobiegania rozprzestrzenianiu broni jądrowej, całej działalności jądrowej państw, niezależnie od braku związku z inną działalnością Agencji przewidzianą jej statutem.

Informacja państwa o stanie zadeklarowanych materiałów jądrowych znajdujących się w określonych lokalizacjach, określanych mianem punktów strategicznych stanowi punkt wyjściowy działalności weryfikacyjnej Agencji. Inspektorzy Agencji mają w procesie weryfikacyjnym dostęp jedynie do punktów strategicznych w danej instalacji jądrowego cyklu paliwowego. Państwa mają obowiązek prowadzenia rachunkowej ewidencji stanu i ruchu zadeklarowanych materiałów jądrowych w ramach tzw. Krajowego Systemu Ewidencji i Kontroli. Zapisy tej ewidencji są przedmiotem prac weryfikacyjnych inspektorów Agencji, którzy mają jednak prawo dokonywania własnych pomiarów i obserwacji (kamery).

Ten system weryfikacji, w warunkach różnych formalnych oraz budżetowych ograniczeń, w dużym stopniu polegał na kontroli zapisów Krajowych Systemów Ewidencji i Kontroli. W praktyce oznaczało to, że inspektorzy kontrolowali stan materiałów jedynie w miejscach zadeklarowanych przez państwo w zawieranej z Agencją umowie. To podejście zawierające elementy ograniczenia intensywności czynności weryfikacyjnych, po hasłem ograniczania zbędnej wścibskości, wynikało w części z chęci strzeżenia tajemnicy przemysłowej w zakresie technologii będących przedmiotem

działań weryfikacyjnych a w części z krytycznego nastawienia krajów nieposiadających broni atomowej wobec mocarstw atomowych, których instalacje jądrowe nie podlegały międzynarodowej weryfikacji.

Skutki tych ograniczeń dały o sobie znać w ujawnionym złamaniu zobowiązań podjętych w ramach NPT przez:

- ✦ Irak, który w końcu lat 80-tych zainicjował trzy projekty izotopowego wzbogacania uranu,
- ✦ DPRK - która na przełomie lat 80 – 90-tych tajnie dokonała przerobu paliwa wypalonego w reaktorze badawczym i wydzieliła pewną ilość plutonu.

W świetle tych doświadczeń Rada Zarządzających Agencji uchwaliła w 1997 roku tzw. Dodatkowy Protokół do umowy o zabezpieczeniach:

- ✦ potwierdzający prawo Agencji do przeprowadzania specjalnych inspekcji gdziekolwiek na terenie kraju, włączając inne, poza wyznaczonymi punktami strategicznymi, oddziały instalacji jądrowych bądź inne obiekty na terenie instytutów badawczych czy zakładów przemysłowych, jeśli okaże się to konieczne dla weryfikacji kompletności przekazanej Agencji informacji o stanie materiałów jądrowych,
- ✦ przyznający Agencji prawo, przy przygotowywaniu specjalnych inspekcji na terenie kontrolowanego kraju, do korzystania z dostępnych (media) informacji wywiadowczych,
- ✦ przyznający Agencji prawo do odwoływania się do Rady Bezpieczeństwa ONZ w przypadku działań państwa blokujących skutecznie działalność weryfikacyjną Agencji.
- ✦ przyznający Agencji prawo pobierania do analizy próbek materiałów środowiskowych na terenie całego kraju w celu weryfikacji prowadzenia nie zadeklarowanej działalności nuklearnej,
- ✦ apelujący do krajów członkowskich MAEA o informowanie o ich imporcie i eksporcie materiałów jądrowych oraz wyspecyfikowanych urządzeń.

Rozwój energetyki jądrowej przynoszący rosnącą ilość instalacji reaktorowych , wielkości produkcji i przerobu paliwa jądrowego oraz ilości materiałów rozszczepialnych składowanych w zakładach jądrowego cyklu paliwowego, spowodowały uzupełnianie międzynarodowych działań w zakresie bezpieczeństwa jądrowego, ochrony przed promieniowaniem i zapobieganiu rozprzestrzenianiu broni jądrowej działaniami dla zabezpieczenia materiałów jądrowych (security) przed ich nieautoryzowanym zawładnięciem przez terrorystów czy grupy kryminalne. W tym celu ustanowiona była w 1980 roku Międzynarodowa Konwencja Fizycznej Ochrony Materiałów Jądrowych oraz w 2005 roku Międzynarodowa Konwencja dla Tłumienia Aktów Terroryzmu Jądrowego.

Odbyte 2010 roku w Waszyngtonie oraz w 2012 roku w Seulu międzynarodowe konferencje spotkanie na szczycie w sprawie bezpieczeństwa jądrowego (Nuclear Security Summits) potwierdziły podstawową odpowiedzialność państw za zapewnienie skutecznego zabezpieczenia materiałów jądrowych i zachęciły do podejmowania szerokiej międzynarodowej współpracy w tym zakresie. Warto wspomnieć, że Republika Południowej Afryki podejmując w 1991 roku decyzję przystąpienia do NPT poinformowała Agencję, że po 1979 roku wyprodukowała sześć głowic atomowych, które zostały w całości zdemontowane w 1989 roku. Na zaproszenie rządu tego kraju Agencja zweryfikowała prawdziwość informacji o tym demontażu. Wzrost ilości materiałów jądrowych w krajach członkowskich NPT oraz wzrost intensywności procesu weryfikacji powodowały, że budżet działalności zabezpieczeń Agencji w liczbach bezwzględnych i względnych rośnie. Wzrósł on

z 354 tyś. \$ w 1965 roku do 121 mln.\$ w 2010 roku oraz z 4,5 % Budżetu Regularnego w 1965 roku do 35,5 % w 1985 roku i 38,2% w 2010 roku.

IX

Wspieranie wymiany informacji naukowo technicznej w dziedzinach szeroko pojętej atomistyki stanowi duży dział aktywności MAEA, przewidziany w art.VIII statutu. Spektakularnym otwarciem tej działalności o skali światowej była, wspomniana już, pierwsza Międzynarodowa Konferencja na Temat Pokojowych Zastosowań Energii Atomowej zorganizowana przez ONZ w Genewie w sierpniu 1955 roku, z około 1500 uczestnikami, którzy przedstawili ponad tysiąc referatów. Otworzyła ona proces odtajniania informacji o badaniach w tej dziedzinie, z wyjątkiem związanych z bronią atomową i wzbogacaniem izotopowym uranu. Wielkość oczekiwań świata od tej nowej dziedziny nauki i techniki dobrze ilustruje wypowiedź Winstona Churchilla, że dziedzina ta „będzie nie słabnącą (perennial) fontanną światowego dobrobytu” W okresie do 1968 roku ONZ, wraz z powołaną w 1957 roku MAEA, zorganizował trzy dalsze międzynarodowe konferencje poświęcone całej dziedzinie atomistyki. Tematyka później organizowanych już przez MAEA międzynarodowych konferencji była ograniczona do wybranych dziedzin badań czy zastosowań.

W miarę organizowania mniejszych spotkań specjalistów, seminariów i spotkań członków koordynowanych programów badawczych Agencja stawała się uznanym światowym wydawcą opracowań rezultatów tych spotkań oraz opracowań przeglądowych, norm i katalogów. W 1962 roku podjęto prace nad stworzeniem międzynarodowego systemu informacji w zakresie rosnącej ilości publikacji w całej dziedzinie pokojowej atomistyki, aby zaspokoić potrzeby krajów o różnym poziomie rozwoju w tej dziedzinie. W maju 1970 roku rozpoczął działalność Międzynarodowy System Informacji Jądrowej (International Nuclear Information System INIS)

Zorganizowano zdecentralizowany system przygotowywania i przekazywania Agencji abstraktów całej powstającej przedmiotowej literatury danego kraju przez krajowych oficerów łącznikowych INIS. Centralne biuro INIS rejestruje otrzymane dane, publikuje informacje o nich w swoim INIS Atomidex (dane bibliograficzne i słowa kluczowe) oraz udostępnia elektronicznie użytkownikom abstrakty, i na życzenie, pełne teksty.

W 2010 roku uczestniczyło w systemie 148 krajów i 24 międzynarodowe organizacje. Ocenia się, że obecnie w pełni skomputeryzowany system INIS pokrywa przynajmniej 90% światowego zasobu publikacji w dziedzinie pokojowej atomistyki. Systemy informacji naukowo-technicznej UNESCO i FAO rozwinięto w oparciu o doświadczenia INIS.

X

Specyficzne cechy i zagrożenia jakie wnosi rozwój zastosowań energii atomowej wymagały utworzenia infrastruktury prawnej i organizacyjnej odpowiadającej tym celom i zagrożeniom. Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej odgrywała od początku swej działalności wielką rolę w budowaniu tej infrastruktury, zarówno na poziomie państw, „poprzez różne formy doradztwa i pomocy technicznej, jak i na poziomie międzynarodowym. W tym drugim wymiarze Agencja była najczęściej inicjatorem tworzenia elementów tej infrastruktury oraz organizatorem prac nad ich formułowaniem i pełni funkcje wykonawcze w zakresie określonych postanowień międzynarodowych konwencji.

Utworzone do tej pory główne elementy przedmiotowej międzynarodowej infrastruktury prawnej ratyfikowane przez Polskę:

- ↘ Układ o nierozprzestrzenianiu broni jądrowej, z dnia 1 lipca 1968 r.
- ↘ Konwencja o ochronie fizycznej materiałów jądrowych, z dnia 3 marca 1980 r.
- ↘ Konwencja o pomocy w przypadku awarii jądrowej lub zagrożenia radiologicznego, z dnia 26 września 1986 r.
- ↘ Konwencja o wczesnym powiadamianiu o awarii jądrowej, z dnia 26 września 1986 r.
- ↘ Konwencja wiedeńska o odpowiedzialności cywilnej za szkodę jądrową, z dnia 21 maja 1963 r.
- ↘ Wspólny protokół do stosowania Konwencji wiedeńskiej i Konwencji paryskiej (o odpowiedzialności za szkody jądrowe), z dnia 21 września 1988 r.
- ↘ Konwencja bezpieczeństwa jądrowego, z dnia 20 września 1994 r.
- ↘ Wspólna konwencja bezpieczeństwa w postępowaniu z wypalonym paliwem jądrowym i bezpieczeństwa w postępowaniu z odpadami promieniotwórczymi, z dnia 5 września 1997 r.
- ↘ Międzynarodowa Konwencja w sprawie zwalczania aktów terroryzmu jądrowego, z dnia 13 kwietnia 2005 r.

czerwiec 2012 r.



Artykuł przygotowany w ramach kampanii
Ministerstwa Gospodarki
Poznaj atom. Porozmawiajmy o Polsce z energią.



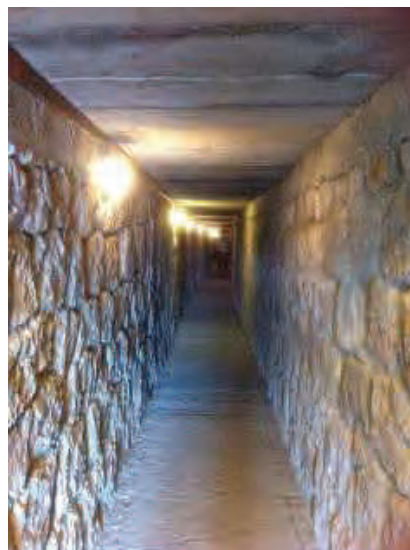
ŚLADAMI KRÓLA MIDASA

Wojciech Głuszewski

Znana jest przypowieść o starożytnym władcy królu Midasie, który posiadał zdolność do zamiany wszystkiego w złoto, czego dotknął. Ta szczególna właściwość była nagrodą za poratowanie zabłąkanego Sylena z orszaku Dionizosa podążającego do Indii. Szybko jednak władca zorientował się, że grozi mu śmierć głodowa, gdyż chleb i wino również zamieniało się w złoto. Przerazony wybłagał od Dionizosa utratę danego mu daru, musiał jedynie umyć głowę i dłonie w wodach rzeki Paktol, która to od tej pory stała się złotonośna. Nie wszyscy jednak wiedzą, że, Król Midas istniał naprawdę, a jego grobowiec w formie kurhanu z drewnianą komorą grobową wewnątrz znajduje się niedaleko Ankarę (około 90 km) w pobliżu dawnego miasta Gordion. Według mitologii greckiej miasto to założył Gordios, który władcą został w sposób dosyć osobliwy. Otóż mieszkańcy Frygii nękani brakiem władcy i walkami wewnętrznymi zwrócili się o radę do wyroczni, która poradziła im, by ogłosili królem tego, kto pojawi się u nich na rydwanie zaprzężonym w woły. W ten sposób Gordios, który przybył takim właśnie zaprzęgiem, został obwołany królem. Z wdzięczności złożył Zeusowi w ofierze swój rydwan, na którego dyszlu wykonał skomplikowany węzeł, znany jako węzeł gordyjski. Przepowiednia głosiła, że, kto ten węzeł rozwiąże, będzie rządził światem. Dokonać tego miał ponoć Aleksander Wielki rozcinając go jednym cięciem miecza.



Fot. 1. Grobowiec Króla Midasa



Fot. 2. Korytarz prowadzący do drewnianego sarkofagu Króla Midasa

Te znane z mitów miejsca odwiedzili uczestnicy kursu MAEA (Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej z siedzibą w Wiedniu) poświęconego zastosowaniom technik nuklearnych, a w szczególności fluorescencji rentgenowskiej do identyfikacji obiektów o znaczeniu historycznym. Wyjazdy terenowe poza walorami turystycznymi miały charakter roboczy. Obserwowano pracę ekipy archeologów oraz zapoznawano się z najnowszymi wynikami ich poszukiwań. Na bieżąco analizowano znalezione obiekty za pomocą przenośnego spektrometru XRF (ang. X-ray fluorescence).

Na fotografii 3 prezentowany jest pierścionek znaleziony w jednym z grobów. To chyba pierwsze zdjęcie tego znaleziska. Kursanci określili wstępnie skład materiału, z jakiego wykonano cenny obiekt,



Fot. 3. Pierścionek znaleziony w jednym z grobów w okolicach dawnego miasta Gordion.



Fot. 4. Polowe badania za pomocą spektrometru XFR

Konserwacja dzieł sztuki początkowo polegała na studiach porównawczych, kompozycyjnych, ikonograficznych i stylistycznych. Wszystkie one, podobnie jak proste metody fizyko-chemiczne nie dawały dostatecznie pełnej informacji o badanym obiekcie. Dopiero zastosowanie technik jądrowych pozwoliło na szczegółowe rozpoznanie i identyfikację materiału, z którego wykonano dzieło. Opracowano metody oznaczania pierwiastków śladowych w badanych obiektach oraz sposoby na określenie techniki, jaką posługiwał się artysta. Obecnie techniki nuklearne wykonuje się stosując: diagnostykę, obrazowanie, dokumentację, badania nad budową technologiczną i technologią wyrobu, prace nad pochodzeniem, datowanie oraz identyfikację falsyfikatów. Określenie składu pierwiastkowego w sposób nieniszczący jest kluczowym warunkiem w prowadzeniu analizy dla próbek o szczególnej wartości. Mogą to być, obiekty zabytkowe lub dzieła sztuki ewentualnie inne przedmioty o dużej wartości materialnej. Możliwość wykonania analizy pierwiastkowej w sposób nieniszczący zakłada wykorzystywanie technik analitycznych niewymagających pobrania próbki z badanego obiektu i niepowodujących zmian właściwości materiału.

Te warunki spełnia fluorescencja rentgenowska XRF.

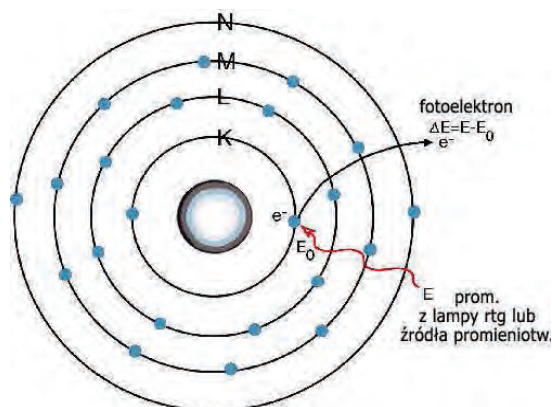
Jest ona jedną z najlepszych technik analitycznych służących do analizy składu pierwiastkowego wszelkiego rodzaju próbek. Badane próbki mogą mieć prawie każdy kształt i być w różnym stanie skupienia. Proszki i pasty analizowane są w taki sam sposób, jak ciała stałe lub ciecze. Fluorescencja rentgenowska umożliwia analizy pierwiastków od berylu do uranu w zakresie stężeń od poziomu ppm do 100%. Metoda ta jest obecnie najczęściej stosowaną techniką analityczną w badaniach nie-



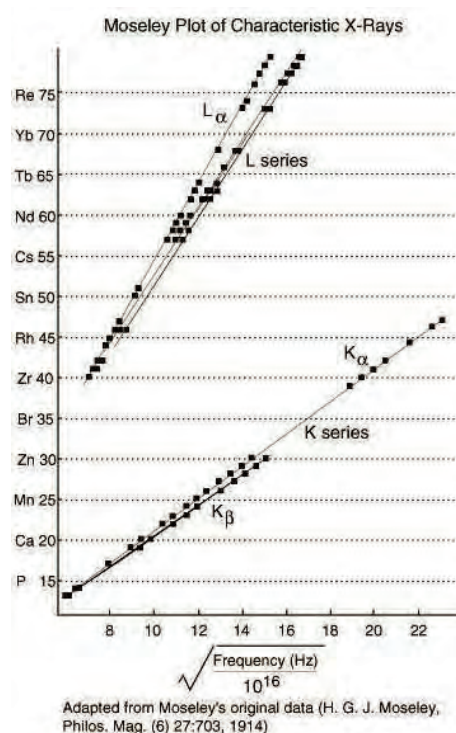
Fot. 5. Spektrometr XFR

niszczących. Ze względu na szybkość analizy i możliwość wykonania pomiarów bez jakiegokolwiek przygotowania próbek XRF znajduje szerokie zastosowanie w metalurgii, ochronie środowiska (ocena skażenia gleby i osadów) oraz konserwacji dzieł sztuki i zabytków. Ręczne spektrometry XRF używane są powszechnie do prowadzenia badań polowych przez geologów, petrochemików i archeologów. Jako źródła promieniowania w technice XRF najczęściej wykorzystuje się lampę rentgenowską. W przyrządach przenośnych spotyka się wciąż izotopy promieniotwórcze. Obecnie jednak, ze względu na restrykcje dotyczące przewożenia urządzeń zawierających źródła promieniowania jonizującego producenci zastępują je miniaturowymi lampami rentgenowskimi.

Zasada pomiaru jest stosunkowo prosta. Pod wpływem promieniowania rentgenowskiego dochodzi do wybitcia elektronów znajdujących się na wewnętrznych powłokach elektronowych atomów, z których zbudowana jest próbka. Powstałe w ten sposób dziury elektronowe wypełniane są w czasie rzędu 10-15 s przez elektrony z wyższych powłok, czemu towarzyszy emisja promieniowania



Rys. 1. Schemat opisujący zjawisko emisji promieniowania fluorescencji w wyniku działania na materiał promieniowania rentgenowskiego



Rys. 2. Rycina z archiwalnej pracy Moseley'a.

rentgenowskiego charakterystycznego dla danego pierwiastka, rys. 1.

pierwiast-

Linie emisyjne są ściśle związane z energiami wiązania elektronów w poszczególnych pierwiastkach. Dla danego typu przejścia przybliżone energie linii emisyjnych podaje empiryczne prawo Moseley'a (1913): $E[\text{keV}] = B (Z - 1)^2$ gdzie Z to liczba atomowa, a B stała dla danego typu przejścia, rys. 2.

Do rejestracji promieniowania fluorescencji rentgenowskiej stosuje się obecnie spektrometry rentgenowskie z detektorami półprzewodnikowymi. Odpowiednia kalibracja spektrometru pozwala przejść od obserwowanych natężeń linii widmowych promieniowania charakterystycznego do koncentracji pierwiastków w badanym materiale. Technika komputerowa umożliwia uzyskanie wyników analiz praktycznie na bieżąco. Spektroskopia fluorescencji rentgenowskiej należy do tych nielicznych technik analizy instrumentalnej, w których powstają względnie proste widma,

pozwalające na łatwą identyfikację składników badanej próbki. Najbardziej rozpowszechnioną wersją spektrometrów XRF są spektrometry z rozpraszaniem energii (Energy Dispersive XRF), istnieją również konstrukcje aparatów wykorzystujące całkowite odbicie wiązki padającej (Total Reflection XRF, TRXRF) oraz spektrometry z rozpraszaniem długości fali (Wavelength Dispersive XRF, WDXRF), w których pomiędzy próbką a detektorem umieszczony jest analizator długości fali (monokryształ). TRXRF i WDXRF pozwalają na łatwiejszą interpretację ilościową widm, charakteryzują się dużą rozdzielczością.

Kurs, na który składały się wykłady, treningi laboratoryjne, prezentacje sprzętu oraz zajęcia w terenie MAEA zorganizowała przy pomocy Tureckiej Agencji Atomistyki oraz Ministerstwa Kultury i Turystyki Turcji. W ramach ćwiczeń poszukiwano np. falsyfikatów w kolekcji monet z czasów cesarstwa rzymskiego. Badano polichromie obiektów, które powstały przeszło tysiąc lat przed naszą erą. Każdy mógł również sprawdzić zawartość złota w swoim pierścionku lub obrączce. Ten ostatni eksperyment można polecić organizatorom pikników i festiwali naukowych w naszym kraju. Frekwencja osób z własnymi eksponatami murowana.

Na koniec jeszcze kilka refleksji. Kurs był bardzo dobrze zorganizowany. Z czystym sumieniem można polecać muzea Ankary i jej okolic, w których znajduje się mnóstwo cennych okazów z różnych epok.



Fot. 6. Wejście do pierwszego odkrytego grobowca w okolicach

Wrażenie robią również znakomicie wyposażone laboratoria analityczne zajmujące się identyfikacją dzieł sztuki.

Warto pofatygować się 90 kilometrów od Ankary, aby zobaczyć wykuty w skale grobowiec króla Midasa. Prowadzi do niego korytarz długi na 53 metry. Zamiast budować piramidy świadomie wykorzystano wówczas naturalną górę, która rozmiarami, jak sądzę, przewyższa te pierwsze. Zamężnych obywateli z tego okresu chowano również w grobowcach skalnych, ale mniej okazałych. Odkryto ich na razie około 300. Dzięki uprzejmości archeologów do niektórych niedawno odkopanych jaskiń można było zajrzeć, Fot. 6. W badaniach i konserwacji sarkofagu oraz znalezionych tam obiektów pomagają Turkom uczelnie amerykańskie. Mogę poświadczyć, że Król Midas z całą pewnością utracił zdolności zamiany materii w złoto. Tym niemniej wszystkim, którzy będą w okolicach Ankary polecam jego muzeum „Gordion Museum”. Zestawienie informacji na temat spektroskopii atomowej XFR

(źródło: http://www.chemia.uj.edu.pl/chemia_konserwatorska/materialy/XRF.pdf).

Zalety

- możliwość analizy wielu pierwiastków (Na – U)
- możliwość analizy wielu pierwiastków jednocześnie
- równoczesne oznaczanie składników głównych i śladowych

analiza jakościowa, półilościowa i ilościowa dla proszków, próbek stałych i cieczy
możliwość prowadzenia analizy składu cienkich warstw
relatywnie nieskomplikowane widma
położenia maksimów niezależne od stanu chemicznego i otoczenia analitu
nie wymaga przygotowania próbek lub wymaga niewielu zabiegów
metoda nieniszcząca (m.in. próbka może być poddana dalszej analizie)
aparatura łatwa w obsłudze, niskie koszty analizy
krótki czas trwania analizy
możliwość wykonania analiz w skrajnie niekorzystnych warunkach (badania sklepień w wysokich budowlach)
brak informacji o lekkich pierwiastkach ($Z < 11$)
niewielka głębokość penetracji 0,01 – 0,1 mm (może być to zaletą)
utrudnienia w analizie ilościowej wynikając z tzw. efektu matrycy
duży wpływ sposobu przygotowania próbki na oznaczenia ilościowe (również jakościowe)

Wady

brak informacji o stopniu utlenienia pierwiastków
nie rozróżnia izotopów
stosunkowo wysokie granice oznaczalności (> 1 ppm)
aparatura (może być) kosztowna
ograniczenia aparaturowe w analizie próbek niehomogenicznych

Zastosowania

ochrona środowiska - metale ciężkie w glebie, wodzie, analiza pyłów
geologia i mineraologia – jakościowa i ilościowa analiza gleb, minerałów, skał
metalurgia i przemysł chemiczny - kontrola jakości surowców, procesów produkcyjnych i gotowych produktów
przemysł barwników (pigmenty)
analiza kamieni i metali szlachetnych
przemysł paliwowy – monitorowanie poziomu zanieczyszczeń (np. siarki w benzynie)
chemia spożywcza – oznaczanie metali ciężkich
rolnictwo – metale śladowe w glebie i produktach
archeometria (metale, ceramika, szkło, kamień)
konserwacja – analiza pigmentów, metali (rzeźby, wyroby z metalu)

*Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa*



Materiał:
Zakład Fotofizyki
Instytut Maszyn Przepływowych
im. R. Szewalskiego PAN



Analiza odbywa się w sposób bezkontaktowy i nie wywołuje żadnych negatywnych skutków dla badanego obiektu.

Spektrometr zapewnia natychmiastową analizę składu chemicznego dowolnego materiału, zawierającego pierwiastki o liczbie atomowej większej od 19. Głębokość penetracji wynosi od ok. 30 m dla metali do kilkuset m dla warstw malarskich. Duża czułość spektrometru (60 - 300 ppm) gwarantuje detekcję nawet śladowych ilości pierwiastków na badanej powierzchni.



MIĘDZYNARODOWA SZKOŁA ENERGETYKI JĄDROWEJ

Andrzej Strupczewski, Łukasz Koszuk, Ewa Szlichcińska, Gabriela Kosicka

Trwałym elementem działań w zakresie popularyzacji energetyki jądrowej w Polsce stała się Szkoła Energetyki Jądrowej, zapoczątkowana przez Instytut Energii Atomowej POLATOM i kontynuowana przez Narodowe Centrum Badań Jądrowych.

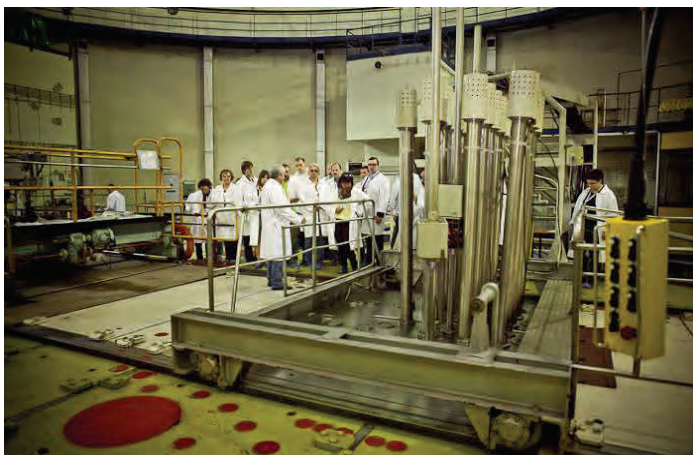
W dniach 7-10 maja 2012 r. odbyła się już piąta edycja Szkoły, która, ze względu na uczestnictwo w niej takich firm jak Areva, General Electric czy Westinghouse, zyskała charakter międzynarodowy. Szkoła zorganizowana była we współpracy z Przedsiębiorstwem Użyteczności Publicznej Zakładem Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych. Patronat honorowy objęło Ministerstwo Gospodarki. Otwarcia V Międzynarodowej Szkoły Energetyki Jądrowej dokonał Dyrektor Narodowego Centrum Badań Jądrowych, prof. dr hab. Grzegorz Wrochna.

Dowodem na to, że Szkoła od samego początku cieszyła się dużym zainteresowaniem, jest uczestniczyło w niej ok. 185 osób – studentów i doktorantów uczelni wyższych i pracowników instytucji i organizacji jak: ministerstwa i urzędy centralne, urzędy wojewódzkie, organizacje społeczno-gospodarcze, firmy konsultingowe oraz przedsiębiorstwa sektora energetycznego: Ministerstwo Gospodarki, Podlaski Urząd Wojewódzki, Ambasada Francji, Państwowa Agencja Atomistyki, Urząd Miejski w Koszalinie, Urząd Gminy Krokowa, Główny Inspektorat Sanitarny, Wojewódzka Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna z Opola, Katowic, Poznania, Bydgoszczy, Rzeszowa, Gdańska i Warszawy, Politechnika Warszawska, Politechnika Łódzka, Politechnika Wrocławska, Politechnika Gdańska, Uniwersytet Łódzki, Wyższa Szkoła Policji w Szczytnie, Akademia Obrony Narodowej, Instytut Geofizyki Polskiej Akademii Nauk, Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, EDF Polska, PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna SA, TAURON Wytwarzanie SA, RAFAKO SPÓŁKA AKCYJNA, Ernst & Young, Fundacja FORUM ATOMOWE, Stowarzyszenie Elektryków Polskich Wrocław, Euroregionalne Stowarzyszenie Inicjatyw Społeczno-Gospodarczych z Rzeszowa, kilka mniejszych firm i wiele osób prywatnych.



Otwarcie Szkoły – prof. dr hab. Grzegorz Wrochna

„Pragnę zapewnić o swoim poparciu dla przedsięwzięcia szczególnie istotnego zwłaszcza dziś – w dobie toczącej się szeroko w społeczeństwie dyskusji nad problematyką rozwoju energetyki jądrowej w Polsce” – napisała prof. dr hab. Barbara Kudrycka, Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego, w liście skierowanym do uczestników V edycji Międzynarodowej Szkoły Energetyki Jądrowej – „Międzynarodową Szkołę Energetyki Jądrowej uważam za niezwykle istotne narzędzie popularyzacji energetyki jądrowej w Polsce. Niewątpliwie rangę i wartość merytoryczną spotkania podnosi wielu znamienitych gości z Polski i zagranicy. Cieszę się, że refleksja naukowa nad jądrowymi źródłami energii, bezpieczeństwie jądrowym, ekonomice, a także roli energetyki jądrowej w zapewnieniu ochrony środowiska i bezpieczeństwa energetycznego Polski odbywać się będzie w tak doborowym, międzynarodowym gronie ekspertów”.



Warsztaty w reaktorze badawczym MARIA

obejmowały pięć bloków tematycznych: program energetyki jądrowej w Polsce, bezpieczeństwo energetyki jądrowej w świetle awarii w elektrowni jądrowej w Fukushima, wpływ programu energetyki jądrowej na środowisko, problematykę odpadów promieniotwórczych i ochrony radiologicznej, rozwiązania projektowe zapewniające bezpieczeństwo. Wykłady przygotowane były przez wybitnych specjalistów i autorytetów z wyżej wymienionych dziedzin. Wychodząc poza zwykle przedstawiane podstawowe informacje, wykładowcy omówili wyniki analizy wysokiego szczebla wykonane dla reaktorów III generacji, w szczególności przedstawiając ich bezpieczeństwo w świetle wniosków z awarii w Fukushima i z programu testów bezpieczeństwa Unii Europejskiej.

Szkoła składała się z dwóch części. W dniach 7 i 10 maja odbyły się warsztaty, których celem było dokładne zapoznanie uczestników Szkoły z działalnością Ośrodka Jądrowego w Świerku. Mieli oni możliwość udziału w ćwiczeniach w stosowaniu wyposażenia dozymetrycznego i w wykonywaniu pomiarów promieniowania jonizującego, a także odwiedzenie reaktora MARIA i Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych w małych grupach. Z kolei w części wykładowej Szkoły uczestnicy wysłuchali 18 wystąpień autorów zaproszonych przez organizatorów. Referaty



Sesja wykładowa Szkoły

W programie szkoły nie mogło zabraknąć także dyskusji panelowej. Tym razem zaproszono osoby najbardziej zainteresowane lokalizacją pierwszej elektrowni jądrowej, czyli samych mieszkańców gmin, w których planowana jest jej budowa. Panel poprowadził prof. nzw. dr hab. inż. A. Kraszewski z Politechniki Warszawskiej, a wzięli w nim udział: pan Macin Ciepłiński z PGE Energia Jądrowa S.A., prof. dr inż. Andrzej Strupczewski z NCBJ, pani Wioletta Wójcik – redaktorka pisma „Wieści Choczewskie”, Wiceprzewodniczący Radny Gminy Krokowa Pan Marek Krzebietke oraz pan Mikołaj Orzeł, kierownik referatu funduszy strukturalnych, analiz i promocji Urzędu Gminy Gniewino. Swoje stanowisko w sprawie budowy elektrowni jądrowej na terenie Gminy Mielno, przedstawiła

także w specjalnym liście kierowanym do Przewodniczącego Komitetu Programowego Szkoły, Pani Wójt Olga Roszak-Peżała. Dyskusja ta stanowiła kontynuację tradycji zapraszania przedstawicieli środowisk antynuklearnych do wspólnego stołu, podtrzymywanej systematycznie przez organizatorów Szkoły od wielu lat.



Dyskusja panelowa z udziałem zaproszonych gości

Wygłoszone w czasie referaty cieszyły się dużym zainteresowaniem i żywą reakcją uczestników konferencji. Szczególnie żywa dyskusja wywiązała się podczas sesji panelowej. Była to cenna okazja do wymiany poglądów i zaprezentowania stanowisk organizacji sprzeciwiających się energetyce jądrowej z okolic potencjalnych lokalizacji elektrowni jądrowej na Pomorzu i ekspertów oraz wielu uczestników z sali, popierających jej rozwój w Polsce.

Teksty referatów oraz prezentacje wygłoszone w czasie Szkoły znajdują się na specjalnie przygotowanej witrynie www.szkoła-ej.pl.

Jak wiadomo, mimo pozytywnego stanowiska inżynierów i organizacji technicznych w Polsce, rządów ogromnej większości krajów i organizacji międzynarodowych, w tym Parlamentu Europejskiego i Komitetów ONZ, istnieje w naszym społeczeństwie szereg wątpliwości co do potrzeby, bezpieczeństwa i opłacalności energetyki jądrowej. Narodowe Centrum Badań Jądrowych uważa za niezbędne prowadzenie otwartej dyskusji na te tematy na wszelkich spotkaniach organizowanych za lub przeciw energetyce jądrowej.

Energetyka jądrowa - studia w Polsce

Akademia Górniczo-Hutnicza: (uczelnia ma podpisaną umowę na szkolenia studentów z firmą GE - Hitachi, producentem reaktorów ABWR i ESBWR)

Politechnika Gdańska: (uczelnia ma podpisaną umowę na szkolenia studentów z firmą GE - Hitachi, producentem reaktorów ABWR i ESBWR)

Politechnika Koszalińska: (uczelnia ma podpisaną umowę na szkolenia studentów z firmą GE - Hitachi, producentem reaktorów ABWR i ESBWR)

Politechnika Krakowska

Politechnika Łódzka

Politechnika Opolska

Politechnika Poznańska

Politechnika Śląska

Politechnika Warszawska: (uczelnia ma podpisaną umowę na szkolenia studentów z firmą AREVA, producentem reaktora EPR)

Politechnika Wrocławska

Uniwersytet Łódzki

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie

Uniwersytet Śląski

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski

Uniwersytet Warszawski

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny (d. Politechnika Szczecińska) (uczelnia ma podpisaną umowę na szkolenia studentów z firmą GE - Hitachi, producentem reaktorów ABWR i ESBWR)

David Powell, Vice President Nuclear Power Plant Sales – Europe

Brian Hunt, Strategic Marketing Analyst

David Hinds, Engineering Program Leader

Dr. Christer Dahlgren, Senior Engineer

Gary Miller, Senior Engineer

J. Alan Beard, Principal Engineer

ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE REAKTORÓW JĄDROWYCH GE HITACHI

Stoimy dziś na progu nowej ery w dziedzinie cywilnej energii jądrowej. Przez ostatnie 55 lat energia jądrowa odegrała ważną rolę. Nie tylko przyczyniła się do zapewnienia czystszej atmosfery, ale również bezpieczeństwa dostaw energii po konkurencyjnej cenie. Ważne jest, aby powyższe cele w dalszym ciągu były realizowane dzięki zapewniającym bezpieczeństwo reaktorom jądrowym o uproszczonej konstrukcji – to dzięki nim nasza branża będzie w stanie nadążyć za popytem rynkowym na energię elektryczną pokrywającą stałe potrzeby, zwłaszcza w regionach rozwijających się lub objętych programami ochrony przed zmianami klimatu. Receptę na sukces tworzą: (a) usprawnienie i optymalizacja systemów bezpieczeństwa elektrowni, ograniczających ryzyko awarii rdzenia do niespotykanie niskich poziomów, (b) budowanie zaufania do nowych obiektów i (c) wykorzystanie najbezpieczniejszej dostępnej technologii jako zabezpieczenia przed nieprzewidywalnymi zdarzeniami zewnętrznymi. Reaktor jądrowy ABWR GE Hitachi Nuclear Energy (GEH) zapewnia jeszcze bardziej udoskonalony aktywny system bezpieczeństwa, który jest już z powodzeniem wykorzystywany. Z kolei systemy pasywne reaktora ESBWR GEH nie wymagają zasilania do uruchomienia ani do działania, wykorzystując siły naturalne takie jak grawitacja czy unoszenie się pary aby bezpiecznie chłodzić reaktor. Umożliwia to chłodzenie reaktora przez ponad siedem dni bez podejmowania żadnych dodatkowych działań czy podłączania zasilania na terenie obiektu lub poza nim, dzięki czemu reaktor będzie w stanie sprostać najcięższym wyzwaniom środowiskowym.

Od początków rozwoju komercyjnej energii jądrowej w Europie w latach 50., przez niemal połowę epoki elektryfikacji na starym kontynencie wykorzystywano cywilną energię jądrowych w celach pokojowych. Jądrowa energia elektryczna bezpiecznie i skutecznie zasila Europę od dziesięcioleci, nie generując niemal żadnych zanieczyszczeń czy emisji dwutlenku węgla. Elektrownie jądrowe zasilają dziesiątki milionów domów i przedsiębiorstw, wspierając okoliczne społeczności poprzez zapewnienie dziesiątek tysięcy miejsc pracy w całej Europie. Obecnie w Europie działa 139 elektrowni jądrowych, co odpowiada około jednej trzeciej światowej produkcji tego typu energii.¹ Energia jądrowa sprawdziła się w Europie jako bezpieczne, długoterminowe i stabilne źródło energii, oferujące również Polsce możliwość dalszego zaspokojenia znacznej części popytu na energię.

¹Publikacja *Nuclear Power Reactors in Europe 2011*, FORATOM

Zaawansowane technologie reaktorów GE Hitachi

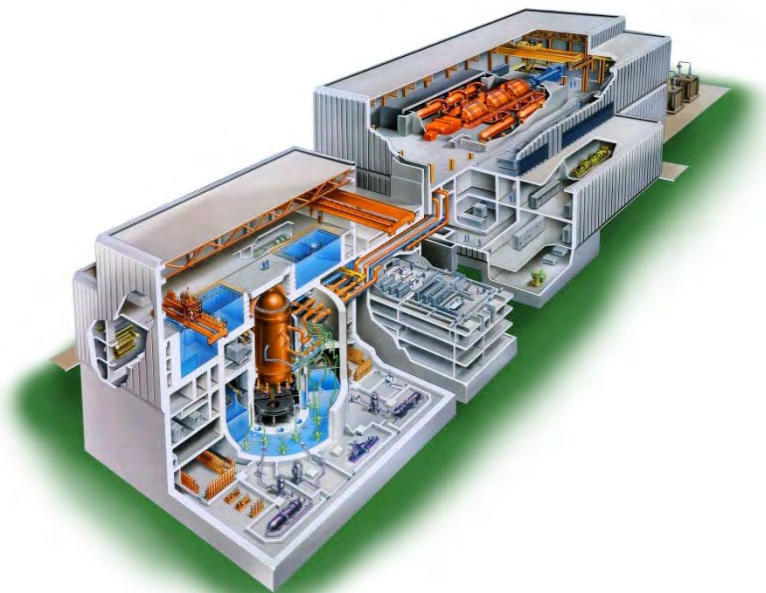
Jaki jest najlepszy typ reaktora jądrowego, biorąc pod uwagę potrzeby i oczekiwania związane z nowymi obiektami? Wyboru typu reaktora należy dokonać uwzględniając następujące trzy czynniki: bezpieczeństwo, sprawność i ekonomikę. Tymi trzema wartościami kierują się GE i Hitachi od ponad 40 lat przy wdrażaniu i stałym udoskonalaniu technologii reaktorów wodnych wrzących (BWR).

Ogólnie mówiąc, reaktory BWR charakteryzują się mniejszymi rozmiarami w zestawieniu z ich mocą, mają mniej sprzętu wymagającego serwisowania oraz wymagają mniej pracowników do utrzymania ruchu. Niewielki rozmiar zawdzięczają względnie niewielkim ciśnieniom wykorzystywanym do generowania pary w reaktorach BWR. Reaktory BWR zaprojektowane i zbudowane przez GE były pierwszymi, sfinansowanymi ze środków prywatnych, komercyjnymi, mało- i wielkoskalowymi reaktorami jądrowymi. Reaktor BWR GE Vallecitos został uruchomiony w 1957 roku, a Dresden 1 w 1960 roku – 3 lata później. Reaktor drezdeński generował parę w reaktorze, ale ta przepływała następnie do podwyższonego zbiornika ciśnieniowego i drugiego zestawu generatorów pary przed odprowadzeniem do turbiny. Technologia BWR szybko odeszła od podwójnego układu parowego na rzecz bardziej wydajnego, bezpośredniego cyklu generowania pary, który obecnie jest wykorzystywany w reaktorach BWR.

ABWR

Zaawansowany reaktor wodny wrzący (ABWR) to następny rozdział w historii rozwoju technologii BWR. Reaktory ABWR osiągają najniższe wartości współczynników awaryjności rdzenia (CDF) spośród wszystkich typów reaktorów z aktywnymi systemami bezpieczeństwa, jakie są obecnie dostępne na rynku. Odnotowany najlepszy wynik w branży to 1/10 poziomu awaryjności poprzedniej generacji reaktorów BWR oraz około 1/100 awaryjności działających obecnie reaktorów wodnych ciśnieniowych (PWR). Jest to również obecnie jedyny działający reaktor trzeciej generacji na rynku światowym. Prace projektowe nad ABWR rozpoczęto w 1978 roku. Zespól międzynarodowych producentów i dostawców rozwiązań BWR rozwijał pod przewodnictwem GE nową generację zaawansowanych reaktorów, aby ograniczyć tak zwane „trzy D”, czyli odpowiedniki angielskich terminów: zanieczyszczenia (dirty), niebezpieczeństwa (dangerous) i wysoką dawkę promieniowania (high dose). W efekcie powstał reaktor BWR trzeciej generacji o mocy 1350 MWe, przedstawiony na rys. 1. Usprawnienia projektu i konstrukcji reaktora ABWR zapewniły niespotykane bezpieczeństwo obiektu, skuteczność zabezpieczeń i sprawność oraz ekonomikę. Projekt ABWR licencjonowano na terenie Stanów Zjednoczonych, Japonii i Tajwanu – działają tam cztery obiekty, a cztery kolejne są w budowie. Pierwszy reaktor ABWR został zbudowany w terminie, a koszt jego budowy nie przekroczył budżetu. Budowa trwała 39 miesięcy – od wylania pierwszej warstwy betonu do załadunku paliwa.

Niektóre z pionierskich usprawnień reaktora ABWR to: w pełni cyfrowy system ochrony reaktora (*Reactor Protection System, RPS*), trzyczęściowy układ awaryjnego chłodzenia reaktora (*3 Division Emergency Core Cooling System, ECCS*), obudowa bezpieczeństwa o uproszczonej konstrukcji z żelazobetonu (*Reinforced Concrete Containment Vessel, RCCV*), trzyczęściowy system zasilania (PG, PIP i system bezpieczeństwa), usprawniony system chłodzenia izolacji rdzenia reaktora (*Reactor Core Isolation Cooling, RCIC*), pasywny system dodawania wody (*AC-Independent Water Addition, ACIWA*), usprawnione systemy precyzyjnie sterujące położeniem prętów paliwowych (*Fine Motion Control Rod Drives, FMCRDs*), usprawnione pompy wewnętrzne (*Reactor Internal Pumps, RIP*) oraz korki topliwe do pasywnego zalewania niższej przestrzeni suchej wewnątrz obudowy zabezpieczającej (w przypadku poważnego wypadku). Te usprawnienia zostały wprowadzone z powodzeniem i nie miały żadnego niekorzystnego wpływu na harmonogram budowy czterech realizowanych obecnie reaktorów ABWR.



Rys. 1: przekrój przez zaawansowany reaktor wodny wrzący (ABWR)

ESBWR

Budowa reaktorów ESBWR jest dowodem na to, że innowacyjne rozwiązania technologii jądrowej nie są zagrożeniem dla harmonogramu dostawy obiektu, ani nie zwiększają ryzyka związanego z inwestycją. Ekonomiczny uproszczony wodny reaktor wrzący (*Economic Simplified Boiling Water Reactor, ESBWR*) to reaktor generacji III+, który został opracowany na podstawie projektu ABWR. W stosunku do tradycyjnej technologii BWR reaktory ESBWR oferują (a) większe bezpieczeństwo, (b) prostszą budowę obiektu, obsługę i konserwację, (c) większą wydajność reaktora i (d) pasywne systemy bezpieczeństwa. Dzięki pasywnym systemom bezpieczeństwa reaktor może pracować z pełną wydajnością przy wykorzystaniu jedynie naturalnego obiegu w jego rdzeniu – bez konieczności zastosowania wewnętrznych lub zewnętrznych pomp cyrkulacyjnych. Eliminuje to nie tylko konieczność zapewnienia ok. 7– 40 MWe energii do zasilania tego typu pomp, ale również (a) eliminuje wszelkie duże otwory poniżej górnej granicy paliwa (większe bezpieczeństwo, niższa awaryjność, niższy koszt) i (b) zwiększa stabilność i bezpieczeństwo w czasie przebiegów przejściowych obiektu i reaktora dzięki jego zwiększonej wysokości.

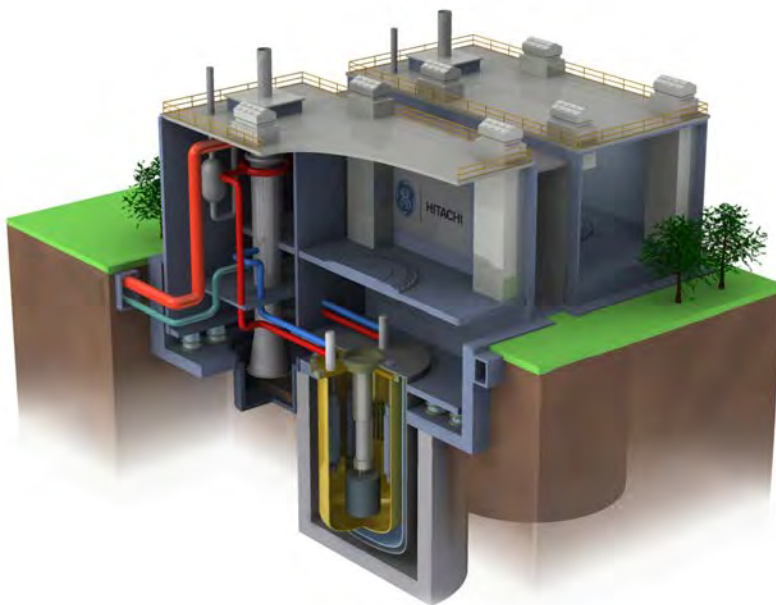
	ESBWR	ABWR
Bezpieczeństwo fizyczne	Przed penetracją z użyciem siły chroni budynek reaktora o ścianach z żelazobetonu o grubości 1,5 metra oraz obudowa bezpieczeństwa o grubości 2 metrów. Sieć przejść podziemnych umożliwia dostęp w normalnym trybie.	Przed penetracją z użyciem siły chroni budynek reaktora o ścianach z żelazobetonu o grubości 1,3 metra oraz obudowa bezpieczeństwa o grubości 2 metrów. Sieć przejść podziemnych umożliwia dostęp w normalnym trybie.
Uderzenie samolotu	ESBWR spełnia wymagania NRC. Pasywne systemy chłodzenia eliminują zależność od zewnętrznej infrastruktury w przypadku uderzenia samolotu.	ABWR spełnia wymagania NRC. ABWR posiada trójstopniowy system chłodzenia reaktora.
Bezpieczeństwo wirtualne	Cyfrowe narzędzia i systemy kontrolne (I&C) zapewniają fizyczną redundancję i środki ochrony integralności oprogramowania sterującego w przypadku ataku.	Cyfrowe narzędzia i systemy kontrolne (I&C) zapewniają fizyczną redundancję i środki ochrony integralności oprogramowania sterującego w przypadku ataku.
Sterownia	Sterownia umiejscowiona jest w podziemiu i wyposażona w system bezpieczeństwa HVAC, zabezpieczający przez zagrożeniami radiologicznymi, chemicznymi i biologicznymi.	Sterownia umiejscowiona jest w podziemiu i wyposażona w system bezpieczeństwa HVAC, zabezpieczający przez zagrożeniami radiologicznymi, chemicznymi i biologicznymi.

Duże możliwości w zakresie wykorzystania cyrkulacji naturalnej działających obecnie reaktorów BWR zostały potwierdzone w przypadku instalacji BWR o wymuszonym obiegu w trakcie testów lub w czasie zdarzeń nieplanowanych (Dodewaard w Holandii i Humboldt Bay w Stanach Zjednoczonych). Aby zmaksymalizować sprawność obiegu w reaktorze ESBWR wyeliminowano lub zoptymalizowano ograniczenia przepływu. Siłę cyrkulacji naturalnej zwiększono wykorzystując wysokość słupa wody w „kominie” – wydłużonej części korpusu reaktora nad rdzeniem a poniżej sekcji osuszacza pary. Szczelinę opadową pozbawiono ograniczeń przepływu oraz zmniejszono długość wiązki paliwowej w stosunku do poprzednich projektów. Wszystkie pasywne systemy bezpieczeństwa reaktora ESBWR zostały poddane intensywnym pracom projektowym, uzyskano dla nich stosowne zatwierdzenia oraz przetestowano w ramach kompleksowych procedur testowych. Amerykańska komisja dozoru jądrowego (NRC) zatwierdziła projekt każdego systemu i wyniki testów w ramach certyfikacji projektu reaktora ESBWR. Ryzyko w przypadku konstrukcji pasywnych systemów bezpieczeństwa zostało zminimalizowane dzięki ich prostocie, potwierdzonej sprawności i wydajności oraz szerokiemu zastosowaniu modułowych konstrukcji otwartych.

Innowacyjne usprawnienia projektu BWR przynoszą ogromne korzyści. Uproszczony projekt reaktora ESBWR wymaga o 25 proc. mniej pomp, zaworów i silników w porównaniu z obiektami wykorzystującymi aktywne systemy bezpieczeństwa. Nowy typ reaktora umożliwia opracowanie bardziej przewidywalnego harmonogramu budowy. Reaktory ESBWR oferują również najniższe koszty osobowe, ruchu i konserwacji na megawat spośród wszystkich reaktorów jądrowych generacji III i III+.²

PRISM

Temat technologii zaawansowanych reaktorów nie zostałby wyczerpany bez poruszenia



kwestii „zamknięcia” obiegu paliwa. Reaktor PRISM produkcji GE Hitachi oferuje zaawansowane, rewolucyjne mechanizmy bezpieczeństwa oraz możliwość wykorzystania różnych rodzajów paliwa. Obiekty typu PRISM można wykorzystać na wiele sposobów: tylko do wytwarzania energii elektrycznej, do ponownego przetwarzania zużytego plutonu lub do integracji z rozwiązaniem znanym pod

nazwą „Zaawansowane centrum recyklingowe” (*Advanced Recycling Center*). W takiej konfiguracji reaktor PRISM może rozwiązać problem zużytego paliwa przy pomocy dostępnej obecnie technologii. Wysokoaktywne odpady jądrowe można w pełni przetworzyć ponownie w zaawansowanym centrum recyklingowym, redukując je do postaci o radioaktywności występującego w warunkach naturalnych plutonu – w okresie jedynie 300 lat. Dla porównania, wykorzystywane najczęściej paliwo wymaga ok. 300 tys. lat, aby uzyskać ten stopień radioaktywności.

²Opracowanie na zlecenie amerykańskiego Departamentu Energii *Study of Construction Technologies and Schedules, O&M Staffing and Cost, and Decommissioning Costs and Funding Requirements for Advanced Reactor Designs*

Zaawansowany reaktor PRISM to innowacja, która pozwoli spółce GE Hitachi zaoferować swoim klientom możliwość skutecznego rozwiązania problemu odpadów jądrowych, umożliwiając jednocześnie generowanie energii elektrycznej w sposób bezpieczny, czysty i niezawodny. Chłodzony sodem reaktor czwartej generacji opiera się na amerykańskim reaktorze EBR-II, który działał bezpiecznie przez ponad 30 lat. Niewielka konstrukcja bloku reaktora PRISM o mocy 311 MWe umożliwia zastosowanie zaawansowanych technik konstrukcyjnych – fabrycznych, modułowych oraz otwartych. W przeciwieństwie do reaktorów BWR, sód wykorzystywany do chłodzenia reaktorów PRISM ma względnie niewielką gęstość mocy w porównaniu z obiektami chłodzonymi wodą, dzięki czemu możliwe jest osiągnięcie wyższej wydajności. Rekompensuje to mniejsze korzyści skali, co jest problemem z którym trzeba uporać się w przypadku większości niewielkich reaktorów modułowych.

Bezpieczna i niezawodna energia

Różnorodność źródeł energii, w tym również rozwiązań jądrowych, to ważna kwestia w przypadku Europy. Energetyka jądrowa zapewnia bezpieczną i czystą energię elektryczną pokrywającą stałe potrzeby, kierującą gospodarkę europejską na ścieżkę wzrostu w konkurencyjnym otoczeniu globalnego rynku. Technologie ABWR, ESBWR i PRISM są częścią bogatego doświadczenia GE Hitachi w zakresie technologii zaawansowanych reaktorów. To dzięki niemu mogą powstać bezpieczne obiekty o uproszczonej budowie, umożliwiające opracowanie wiarygodnego harmonogramu czasowo-kosztowego i zapewniające niezawodność działania.

Mała encyklopedia energii jądrowej

Mini Encyclopaedia of Nuclear Energy

W PRZYGOTOWANIU II WYDANIE

POPRAWIONE WZBOGAĆCONE UAKTUALNIONE

