

9 INTERNATIONAL SCHOOL
ON NUCLEAR POWER
MIĘDZYNARODOWA SZKOŁA
ENERGETYKI JĄDROWEJ

Warszawa – Świerk – Różan
14-17 listopada 2017



SPRAWOZDANIE

14-17 listopada 2017

Warszawa - Świerk - Różan

www.szkola-ej.pl

W dniach 15-16 listopada 2017 r. odbyła się kolejna, już dziewiąta edycja Międzynarodowej Szkoły Energetyki Jądrowej, w której uczestniczyło około 200 słuchaczy z różnych rejonów i organizacji w Polsce oraz grono 24 wybitnych specjalistów z kilkunastu krajów, wysoko cenionych każdy w swojej dziedzinie działalności, którzy przedstawili referaty na tematy najbardziej obecnie istotne dla rozwoju energetyki jądrowej w Polsce. Szkoła została zorganizowana wspólnie przez Narodowe Centrum Badań Jądrowych (NCBJ) i Departament Energii Jądrowej (DEJ) Ministerstwa Energii, przy współudziale Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych (ZUOP) i Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

IX Międzynarodowa Szkoła Energetyki Jądrowej kierowana była do nauczycieli i studentów, pracowników administracji i urzędów publicznych, samorządów lokalnych, służb mundurowych, inwestora elektrowni jądrowej, przedsiębiorstw, uczelni oraz instytutów zaangażowanych w program budowy elektrowni jądrowej w Polsce, a także wszystkich zainteresowanych prezentowaną tematyką.

W czasie czterech dni trwania Szkoły dwudniowe wykłady były przedstawione dla wszystkich uczestników, a ponadto zorganizowane zostały warsztaty w dwóch turach, każda po dwie grupy, które odbyły się w Ośrodku Jądrowym w Świerku – w reaktorze badawczym MARIA, w laboratoriach badawczych NCBJ oraz w ZUOP, a także w Krajowym Składowisku Odpadów Promieniotwórczych (KSOP) w Róźnie.

W toku Szkoły uczestnicy wysłuchali 20 wykładów przedstawionych przez najlepszych ekspertów z 14 krajów, którzy przybyli nieraz z bardzo odległych miejsc na trzech kontynentach, by podzielić się z swoją wiedzą z uczestnikami Szkoły.

Poza wymienionym już Ministerstwem Energii, jako partnerzy wspierający finansowo zajęcia warsztatowe Szkoły w NCBJ, ZUOP i w KSOP wystąpiło pięć organizacji budujących elektrownie jądrowe:

- **China General Nuclear Power**, która obecnie buduje 14 reaktorów, to jest jedną czwartą wszystkich nowych reaktorów energetycznych na świecie,
- **Electricite de France (EDF)**, prowadząca eksploatację największej floty reaktorów energetycznych na świecie i oferująca nowe bloki EPR dla Wielkiej Brytanii,
- **General Electric Hitachi (GEH)**, która swymi reaktorami ABWR zapoczątkowała wdrożenia reaktorów III generacji i obecnie doskonali reaktor ESBWR z pasywnymi systemami bezpieczeństwa,
- **Korea Hydro and Nuclear Power (KHNP)**, rozwijająca reaktory III generacji APR 1400 z nowymi rozwiązaniami w dziedzinie bezpieczeństwa w razie ciężkich awarii ze stopieniem rdzenia
- **SNC-Lavalin**, prowadząca doskonalenie reaktorów ciężkowodnych CANDU.

Poza nimi wsparcie dla NCBJ okazały następujące organizacje:

- **URENCO** - zrzeszenie największych producentów paliwa jądrowego,
- **Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A.**,
- **IRTech** – polska firma oferująca detektory promieniowania jonizującego.

Patronat medialny nad Szkołą objęły dwie agencje: **Biznes Alert i CIRE**.

Prace Szkoły trwały cztery dni. **W pierwszym i czwartym dniu Szkoły (14 i 17 listopada) przeprowadzone zostały warsztaty w Ośrodku Jądrowym w Świerku oraz Krajowym Składowisku Odpadów Promieniotwórczych w Różanie.** Objęły one następujące punkty:

- (1) **Reaktor MARIA**, i jego zastosowania w nauce, przemyśle i medycynie. Jest to jedyny w Polsce działający reaktor jądrowy, obecnie przeznaczony m.in. do produkcji radioizotopów, badań materiałowych i technologicznych czy neutronowego domieszkowania materiałów półprzewodnikowych. Do szczególnych osiągnięć tego reaktora należy prowadzona już od 2010 roku produkcja molibdenu 99 który pozwolił na ponad 70 milionów badań medycznych. Uczestnicy Szkoły zapoznali się z problemami technicznymi związanymi z pracą reaktora, a także z problemami chłodzenia i transportu napromieniowanych tarcz uranowych, z których otrzymuje się molibden i technet.



- (2) **Przedsiębiorstwo Państwowe Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych** - jedyna instytucja w Polsce posiadająca zezwolenie na unieszkodliwianie i składowanie odpadów promieniotwórczych. Uczestnicy zapoznali się z całym procesem unieszkodliwiania różnych typów odpadów radioaktywnych, które trafiają do Zakładu, oraz problematyką ich składowania w Polsce.

- (3) **Dział Edukacji i Szkoleń** zajmuje się propagowaniem wiedzy jądrowej, w tym o energetyce jądrowej, wśród szeroko rozumianego społeczeństwa. Wiedza przekazywana jest w oparciu o różnorodne zestawy demonstracyjne i pomiarowe. Laboratorium Fizyki Atomowej i Jądrowej, dostępne m.in. dla uczniów szkół ponadpodstawowych, jest atrakcją i unikatową placówką edukacyjną. Dział odwiedza rocznie ok. 7000 osób. Uczestnikom

Szkoły zademonstrowano aparaturę laboratoryjno-dydaktyczną (ponad 30 eksperymentów!), makietę zastosowań reaktora HTR i makietę środowiska reaktora MARIA oraz wystawę dot. postępowania z odpadami promieniotwórczymi z licznymi eksponatami.



(4) Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych

a. Monitoring narażenia wewnętrznego – Licznik Promieniowania Całego Ciała

Podczas ćwiczenia przedstawiono stanowisko do pomiarów skażeń wewnętrznych ciała człowieka izotopami promieniotwórczymi emitującymi promieniowanie gamma. Umożliwia to zidentyfikowanie i ocenę aktywności wszystkich radionuklidów gamma-promieniotwórczych w ciele człowieka, w ramach monitoringu narażenia wewnętrznego. W trakcie ćwiczenia wykonano przykładowy pomiar.

b. Monitoring narażenia wewnętrznego – Licznik Promieniowania Tarczycy

Podczas ćwiczenia przedstawiono stanowisko do pomiarów aktywności jodu promieniotwórczego zgromadzonego w tarczycy, stosowane podczas monitoringu narażenia wewnętrznego osób pracujących z otwartymi źródłami jodu. W trakcie ćwiczenia wykonano kalibrację układu oraz przykładowy pomiar.

c. Monitoring narażenia zewnętrznego

Podczas ćwiczenia zaprezentowano przyrządy do pomiaru mocy przestrzennego równoważnika dawki promieniowania gamma oraz metody wzorcowania aparatury dozymetrycznej.

d. Radiochemia

W trakcie ćwiczenia omówiono zasady oznaczania aktywności izotopów alfa- i beta-promieniotwórczych w próbkach moczu. Pomiary takie wykonuje się w celu oceny obciążających dawek skutecznych u osób narażonych na skażenia wewnętrzne izotopami promieniotwórczymi. Przedstawiono również zasady poboru i preparatyki próbek



środowiskowych (np. różnego rodzaju próbki wodne, ścieki, muły, gleby, trawy) oraz pomiarów aktywności różnych izotopów promieniotwórczych w tych próbkach.



(5) **Warsztat przygotowany przez IRtech. Identyfikacja i analiza promieniowania jonizującego z wykorzystaniem technologii detektorów germanowych**. W trakcie warsztatu zademonstrowano przenośny spektrometr promieniowania gamma z detektorem germanowym HPGe. Celem ćwiczenia było zapoznanie uczestników z zasadą działania spektrometru, technologią detektorów HPGe oraz ich zastosowaniem w przemyśle i nauce. Zadanie polegało na znalezieniu, a następnie wykonaniu pomiaru i zidentyfikowaniu ukrytych źródeł promieniotwórczych.

Równolegle przeprowadzono **warsztat w Krajowym Składowisku Odpadów Promieniotwórczych KSOP**, którego operatorem i użytkownikiem jest państwowe przedsiębiorstwo użyteczności publicznej Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych. ZUOP jest jedyną instytucją w Polsce posiadającą zezwolenie na unieszkodliwianie i składowanie odpadów promieniotwórczych. ZUOP odpowiada za prawidłowe postępowanie z odpadami promieniotwórczymi od chwili ich przejęcia od wytwórcy. KSOP położone jest w miejscowości Różan nad Narwią w odległości ok. 90 km od Warszawy i mieści się na terenie dawnego fortu, zajmując powierzchnię 3,045 ha. KSOP funkcjonuje od 1961 roku i według klasyfikacji MAEA jest typem składowiska powierzchniowego. Organizatorzy zapewnili transport uczestników Szkoły na warsztaty specjalnymi autokarami.



Dwa dni – 15 i 16 listopada – trwały wykłady w sali wykładowej zapewnionej przez Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

W pierwszej sesji wykładowej poświęconej **programowi energetyki jądrowej w Polsce**, którą prowadził prof. dr hab. Mariusz Dąbrowski z NCBJ, przedstawiono referaty dyrektora Departamentu Energii Jądrowej (DEJ) Ministerstwa Energii o stanie programu jądrowego w Polsce, prezesa PGE EJ1 jako głównego inwestora elektrowni jądrowej o planie badań lokalizacyjnych i innych pracach planowanych do 2020 roku, oraz Polskich Sieci Elektroenergetycznych (PSE) o działaniach dla zapewnienia wyprowadzenia mocy z elektrowni jądrowej.

Referat dyrektora DEJ, dra Józefa Sobolewskiego, omawiał strukturę mixu energetycznego w Polsce, obecny stan rozwoju programu energetyki jądrowej w Polsce (PPEJ) na tle strategii odpowiedzianego rozwoju przedstawionej przez wicepremiera Morawieckiego, istniejący stan prawny związany z energetyką jądrową oraz możliwe i preferowane modele finansowania budowy elektrowni jądrowych.

W drugim referacie, przedstawionym przez mgr inż. Krzysztofa Sadłowskiego, prezesa PGE EJ1, czyli spółki będącej głównym inwestorem elektrowni jądrowej, przedstawiono stan badań lokalizacyjnych i prace zaplanowane do 2020-2021 roku. Prezes Sadłowski oświadczył też, że spółka PGE EJ1 przygotowała warunki do otwarcia przetargu i po podjęciu przez rząd decyzji o sposobie finansowania energetyki jądrowej może w ciągu kilku miesięcy sfinalizować te warunki odpowiednio do modelu finansowania i otworzyć przetarg.

W trzecim referacie mgr inż. Zbigniew Uszyński z PSE omówił stan prawny dotyczący linii transmisyjnych mających wprowadzać moc generowaną przez elektrownie jądrowe i przedstawił warianty rozbudowy sieci zależne od mocy tych elektrowni.



W drugiej sesji, prowadzonej przez przedstawiciela DEJ, Pana Zbigniewa Kubackiego, przedstawione zostały **referaty na temat przyszłości energetyki jądrowej**. Dr Holger Rogner z International Institute for Applied Systems Analysis w Austrii, który w latach 1997-2012 kierował sekcją Planowania i Studiów Ekonomicznych w Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej, gdzie prowadził program „Capacity Building and Nuclear Knowledge Maintenance for Sustainable Energy Development”, mówił o energii jądrowej jako kluczowym warunku zrównoważonego rozwoju i przedstawił szereg danych o roli energii jądrowej na świecie. Był to referat o szczególnej wadze, ponieważ dr Rogner jest współautorem raportów IPCC przedstawiających obecny stan zagrożenia Ziemi efektem cieplarnianym i pokazujących, że energia jądrowa jest ważnym elementem strategii energetycznej proponowanej dla ograniczenia zmian klimatu. Dr Rogner podsumował zalety energetyki jądrowej i przeszkody stojące na drodze do jej pełnego wykorzystania a także aspekty ekonomiczne. Analiza opłacalności energii jądrowej na tle innych rodzajów energetyki wykazała, że jednostkowe nakłady inwestycyjne są w przypadku elektrowni jądrowych wysokie, ponieważ moc jednego bloku jądrowego jest około tysiąc razy większa od mocy elektrowni wiatrowej, natomiast koszty energii elektrycznej oceniane w ciągu całego życia elektrowni są w przypadku elektrowni jądrowych dużo mniejsze niż dla energetyki odnawialnej. Dr Rogner podkreślił, że poza kosztami produkcji energii elektrycznej w samej elektrowni, społeczeństwo ponosi także koszty współpracy elektrowni z systemem, niezbędne przede wszystkim dla utrzymania ciągłości zasilania elektroenergetycznego niezależnie od zmian pogodowych, oraz koszty strat zdrowia i zniszczeń środowiska, jakie wywołuje energetyka oparta na paliwach organicznych, w Polsce – na węglu. Po podsumowaniu tych kosztów, energia jądrowa okazuje się zdecydowanie najtańszym źródłem energii elektrycznej.



Podobne wnioski przedstawił pan Andrei Goicea z międzynarodowej organizacji FORATOM, który omówił finansowanie projektów jądrowych w Europie. Zwrócił on uwagę, że energia jądrowa w Europie obejmuje 129 reaktorów energetycznych, wytwarza 27% energii elektrycznej w Europie, zapewnia zatrudnienie 800 000 ludzi i daje wkład ponad 70 miliardów euro rocznie w gospodarkę krajów europejskich. Zarówno według prognoz FORATOM-u jak i według raportów IPCC energia jądrowa jest niezbędnym elementem planów redukcji emisji CO₂ i w perspektywie roku 2050 można oczekiwać wzrostu mocy elektrowni jądrowych do 120 000 MWe.

Prof. dr hab. Grzegorz Wrochna i współpracujący z nim ekspert dr T. Shibata z Japan Atomic Energy Agency omówili stan rozwoju i perspektywy budowy reaktorów wysokotemperaturowych ze szczególnym uwzględnieniem ich zapotrzebowania w Polsce. Prof. Wrochna przedstawił zapotrzebowanie na wysokotemperaturowe ciepło dla instalacji przemysłowych w Europie i w Polsce oraz korzyści dla gospodarki i społeczeństwa wynikające z zainstalowania reaktora HTGR w Polsce. Omówiono także programy międzynarodowe przewidujące rozwój reaktorów HTR i możliwości ich finansowania.

W trzeciej sesji dotyczącej **cyklu paliwowego** ekspert organizacji URENCO, dr M. Mori, przedstawił stan i perspektywy dostaw paliwa jądrowego, a dr inż. A. Strupczewski z NCBJ omówił recykling paliwa jądrowego, jego powody i perspektywy.



W następnej sesji, poświęconej **150. rocznicy urodzin Marii Skłodowskiej Curie**, prof. dr hab. A.K. Wróblewski z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego przedstawił sylwetkę Marii Skłodowskiej Curie i historię jej odkryć.



Na zakończenie pierwszego dnia wykładowego odbyła się sesja poświęcona **problemom ochrony radiologicznej**, szczególnie ważnym w świetle doświadczeń po awarii w Fukusimie. Sesję tę prowadził dr Paweł Krajewski, dyrektor Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej, a więc osoba najbardziej kompetentna w sprawach promieniowania w Polsce.

Referat o zasadniczym znaczeniu dla ochrony radiologicznej przedstawił dr Mohan Doss, doktor nauk medycznych i prezes poza rządowego Stowarzyszenia Uczonych dla Rzetelnej Informacji o Promieniowaniu (SARI). SARI skupia wybitnych naukowców ze Stanów Zjednoczonych, Kanady, Wielkiej Brytanii i innych krajów, a tym także z Polski. Dr Doss jest praktykującym lekarzem, prowadzącym badania chorób nowotworowych w centrum leczenia raka Fox Chase Cancer Centre i autorem szeregu publikacji o potrzebie zmian przepisów ochrony radiologicznej i uwzględnienia dobroczynnego wpływu małych dawek promieniowania. Zgodnie

z obszernymi pismami SARI do US Environmental Protection Agency, do US Nuclear Regulatory Commission, z wieloma wystąpieniami na konferencjach naukowców i artykułami w fachowych periodykach, dr Doss przedstawił propozycje zmierzające do usunięcia z przepisów ochrony radiologicznej modelu liniowego bezprogowego LNT i zastąpienia go hormezą, to jest modelem zachowania żywych organizmów, w którym małe dawki promieniowania pobudzają naturalne procesy obronne i w efekcie redukują niebezpieczeństwo nowotworów. Powodem tego postulatu są wnioski z badań doświadczalnych dużych populacji zwierząt i obserwacji ludzi w rejonach o podwyższonym tle promieniowania, redukcja umieralności na raka w kohortach wystawionych na działanie małych dawek promieniowania w toku leczenia medycznym, wnioski z nowych analiz umieralności na raka wśród ludzi, którzy przeżyli wybuchy bomb atomowych i wyniki badań pracowników przemysłu jądrowego w różnych krajach, którzy otrzymali podwyższone dawki promieniowania. Wszystkie te prace wykazują, że model LNT jest sprzeczny z rzeczywistością. Dr Doss wskazał też na ogromne szkody, powodowane przez stosowanie liniowych bezprogowych zależności do opisu wpływu promieniowania na zdrowie człowieka, przede wszystkim szerzenie strachu przed promieniowaniem, ograniczanie badań i terapii medycznych z użyciem promieniowania, zwiększanie kosztów budowy i eksploatacji elektrowni jądrowych, a w przypadku awarii w Fukushima – niepotrzebna ewakuacja, która spowodowała wiele zgonów i ogromne straty gospodarcze.



Następnym referatem w tej sesji była prezentacja Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych, w której omówiono metody monitoringu promieniowania w sąsiedztwie KSOP. W szczególności przedstawiono bogaty wachlarz pomiarów, wykonywanych przez różne organizacje – m.in. Państwowy Instytut Geologiczny (pomiar hydrogeologiczne, meteorologiczne, hydrogeochemiczne, pomiar zmiany wilgotności objętościowej w gruncie i pomiar zawartości trytu w wodach podziemnych), przez NCBJ (pomiar radioaktywności w próbkach wody wodociągowej i gruntowej, w próbkach gleby i trawy i w próbkach aerozoli atmosferycznych, oraz pomiar dawki pochłoniętej od tła promieniowania jonizującego, pomiar radioaktywności w próbkach wody rzecznej (Narew) i pomiar mocy dawki promieniowania gamma) przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej oraz Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej. Ten dobór niezależnych od siebie organizacji wykonujących pomiary

gwarantuje wiarygodność uzyskanych rezultatów. A są one bardzo dobre – KSOP nie powoduje zagrożenia radioaktywnego w swym sąsiedztwie, a ludność w otoczeniu KSOP należy do najzdrowszych w Polsce. Te pozytywne wyniki z sześćdziesięciu lat eksploatacji KSOP potwierdzają, że obiekty energetyki jądrowej nie powodują rzeczywistego zagrożenia radiacyjnego, a strach przed promieniowaniem jest nieuzasadniony i szkodliwy.

Już w czasie zajęć poprzedniej, Ósmej Międzynarodowej Szkoły Energetyki Jądrowej, zgodnie z hasłem Marii Skłodowskiej Curie „*promieniowania nie trzeba się bać, trzeba je rozumieć*”, prof. Wade Allison wzywał do zwalczania niepotrzebnych obaw i zrozumienia roli promieniowania jonizującego, stanowiącego nieodłączny element środowiska nie tylko na Ziemi ale i w całym Wszechświecie. W odniesieniu do awarii w Fukushima prof. Allison stwierdził, że zgodnie z raportami IAEA, UNSCEAR i WHO głównym ujemnym efektem awarii był stres i strach przed promieniowaniem. Obecne referaty potwierdzają to stanowisko.

W drugim dniu wykładowym pierwsza duża sesja obejmowała referaty pięciu dostawców reaktorów. Tematyka referatów została określona przez Komitet Programowy Szkoły tak, aby uniknąć powtarzania ogólnych informacji o liczbie i rozmieszczeniu pracowników lub o innych aspektach pracy firm dostarczających reaktory, a skupić się na wybranych aspektach technicznych, ważnych dla oceny bezpieczeństwa elektrowni jądrowej w Polsce.

Pierwszy referat przedstawiony przez Pana Liang Rena z **China General Nuclear Power Group** omawiał nowe rozwiązanie wtórnego systemu odbioru ciepła z reaktora w przypadku poważnej awarii z utratą zasilania elektrycznego. Polega ono na umieszczeniu w górnej części budynku reaktora poza pierwotną obudową bezpieczeństwa dużego zbiornika z wodą, do którego w razie potrzeby odprowadzane jest ciepło ze strony wtórnej wytwornic pary. Po schłodzeniu w tym zbiorniku woda powraca do wytwornicy pary. Rozwiązanie to (zastosowane już w elektrowniach jądrowych FCG 3 i 4 oraz HongYanHe 5 i 6 i przewidywane jako standardowe wyposażenie w reaktorach HPR 1000) nie wymaga zewnętrznego zasilania energetycznego, wykorzystuje konwekcję naturalną jako siłę napędową, zapewnia automatyczny odbiór ciepła powyłłączeniowego i znacząco zmniejsza zagrożenie uszkodzeniem rdzenia i rozerwaniem obudowy bezpieczeństwa.



Drugi referat **firmy EDF** omawiał wpływ ujemnego współczynnika reaktywności – charakterystycznego dla reaktorów PWR - na przebieg awarii związanych z rozerwaniem obiegu pierwotnego lub obiegu wtórnego. Dla każdego z tych przypadków rozpatrywano szereg scenariuszy. Analizy bezpieczeństwa przedstawione w referacie wykazały, że parametry reaktywnościowe oraz zabezpieczenia projektowe wystarczają, by zapewnić osiągnięcie podkrytyczności rdzenia i planowe schłodzenie reaktora EPR w obu rozpatrywanych przypadkach.



W trzecim referacie firma **General Electric Hitachi (GEH)** przedstawiła doświadczenia z licencjonowania reaktora ABWR w Wielkiej Brytanii, ich wykorzystanie w projekcie reaktora który będzie proponowany dla Polski. Panowie D. Hinds i K. Okamura omówili rozwój reaktorów BWR i rozwiązania zastosowane w reaktorze ABWR. Częstość uszkodzenia rdzenia w tym reaktorze jest zredukowana do 1.6 E-7/rok . Reaktory BWR nie zawierają wytwornic pary, stabilizatora ciśnienia, pomp obiegu pierwotnego i rurociągów obiegu pierwotnego, a zapewniają najlepsze wśród reaktorów III generacji długotrwałe odprowadzanie ciepła w razie kompletnej utraty zasilania elektrycznego. Szczegółowo omówiono układy awaryjnego odbioru ciepła, stanowiące ważną linię obrony rdzenia w przypadku ciężkiej awarii reaktora. Czasy budowy reaktorów ABWR w Japonii wahały się od 37 do 54 miesięcy. Reaktor ABWR ma już za sobą ponad dekadę pomyślniej pracy i jest obecnie planowany do budowy w Wielkiej Brytanii.

W czwartym referacie uczestnicząca po raz pierwszy w Szkole koreańska firma **Korea Hydro and Nuclear Power** omówiła drogę rozwoju koreańskiego przemysłu jądrowego, konstrukcję reaktora AP1400 budowanego w Korei i w Zjednoczonych Emiratach Arabskich, oraz metody chłodzenia rdzenia w przypadku ciężkiej awarii ze stopieniem paliwa. Omówiono szczegółowo scenariusz zalewania komory reaktora i zewnętrznego chłodzenia zbiornika rdzenia, analizy i badania doświadczalne, które doprowadziły do wdrożenia tej koncepcji w projektach reaktorów o mocy do 1400 MWe. Opisano także możliwość chłodzenia stopionego rdzenia poza zbiornikiem reaktora i wykazano, że w projekcie EU AP1400 przewidzianym do oferowania w



Unii Europejskiej zapewniono wystarczająco dużą przestrzeń dla rozplywu stopionego rdzenia i środki odbioru ciepła powyłaczeniowego z tego rdzenia.

W ostatnim referacie w tej sesji, firma kanadyjska **SNC Lavalin** przedstawiła reaktor CANDU i jego rozwiązania pozwalające na ograniczenie skutków awarii z dodatnim wprowadzeniem reaktywności. Omówiono zalety reaktora CANDU, mianowicie możliwość wymiany paliwa w czasie pracy reaktora CANDU na pełnej mocy, zastosowanie paliwa z uranu naturalnego, co zapewnia niezależność od krajów prowadzących wzbogacanie uranu, wysoki współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej, ograniczenie do minimum nadmiaru reaktywności w rdzeniu, proste i tanie rozwiązanie konstrukcji wiązki prętów paliwowych oraz minimalizację kosztów importu i maksymalne wykorzystanie miejscowego przemysłu w kraju budowy elektrowni. W analizach podkreślono wbudowane cechy reaktora CANDU, ułatwiające opanowanie awarii reaktywnościowych, w szczególności długi okres życia neutronów natychmiastowych, 30-45 razy dłuższy niż w reaktorze PWR,

Sprawdzono scenariusze awarii z wprowadzeniem reaktywności dodatniej. Okazało się, że największy wzrost reaktywności występujący po awarii rozerwania obiegu pierwotnego nie przekracza 1 \$ i zainstalowane w reaktorze CANDU dwa niezależne szybkodziałające układy wyłączenia reaktora wystarczają by zapewnić pełne bezpieczeństwo reaktora.

W sesji popołudniowej prof. dr hab. Ludwik Dobrzyński przedstawił przebieg i skutki awarii w **Fukushimie**. Opisał on przyczyny awarii, a następnie wykorzystując raporty organizacji międzynarodowych oraz własne doświadczenie z pobytu w Fukushimie po awarii omówił sytuację radiologiczną po awarii.

Prof. Dobrzyński zwrócił uwagę, że po awarii w Japonii wprowadzono przepisy znacznie ostrzejsze niż w krajach UE. Podczas gdy w Europie dopuszczalne skażenie cezem Cs-137 wynosi 1000 Bq/kg, w Japonii jako górną granicę przyjęto 100 Bq/kg żywności. Tymczasem nawet wg hipotezy LNT uważanej obecnie za przesadnie pesymistyczna, potencjalny utracony czas życia z powodu jedzenia skażonej żywności to 10 s/ 100 Bq cezu. Niewątpliwie osoby ewakuowane wolałyby mieć perspektywę skrócenia życia o kilka dni a nie podlegać przymusowemu przesiedleniu. Ponadto, zgodnie z referatem dra Dossa omawianym powyżej, małe dawki promieniowania wcale nie powodują ujemnych skutków zdrowotnych ani skrócenia życia, a hipoteza LNT jest błędna. Uczestnicy spotkań w Japonii proponują zwiększyć graniczną aktywność właściwą do 1000 Bq/kg dla dorosłych i 100 Bq/kg dla dzieci , tak jak przyjęto w krajach UE.



Kolejny referat przedstawiony przez eksperta z NCBJ, dr inż. A. Strupczewskiego, prof. NCBJ, odnosił się do aktualnych sporów na temat kosztu energii uzyskiwanej z elektrowni jądrowych i z morskich farm wiatrowych. Doświadczenie uczy nas, że w krajach Europy Środkowej co rok występują długie przerwy w generacji energii elektrycznej z elektrowni wiatrowych, sięgające 5–7 dni. Magazynowanie energii potrzebnej do zasilania sieci w czasie takich przerw w bateriach samochodowych Tesli powodowałoby ogromne koszty dodatkowe, ze wzrostem kosztów energii elektrycznej z OZE do ponad 500 USD/MWh. Inną, tańszą metodą, jest magazynowanie energii w elektrowniach pompowo-szczytowych. Ale jeśli w Polsce energia z wiatru ma zaspokoić 10% zapotrzebowania, to dla pokrycia ciszy przez 5 dni potrzeba 240 GWh zaś wszystkie istniejące w Polsce elektrownie pompowo/szczytowe razem mają pojemność odpowiadającą mniej niż 8 GWh. Dlatego dla utrzymania ciągłości zasilania trzeba posiadać w systemie energetycznym elektrownie rezerwowe, a to kosztuje dużo. W oparciu o analizy wykonane w NCBJ stwierdzono, że łączne koszty ponoszone przez społeczeństwo są najniższe w przypadku energetyki jądrowej, nieco większe w elektrowniach węglowych, a dużo wyższe dla elektrowni wiatrowych, ogniw fotowoltaicznych i najwyższe dla morskich farm wiatrowych.

Na zakończenie, w sesji „**Kierunek Mars**” specjaliści z Europejskiej Agencji Kosmicznej i National Nuclear Laboratory przedstawili dwa referaty, dotyczące napędu jądrowego dla statków kosmicznych i problemów ochrony zdrowia kosmonautów w czasie pobytu na orbicie. Pani Zara Hodgson, prowadząca w NNL Research and Innovation Programme omówiła radioizotopowe generatory termoelektryczne z dwutlenkiem plutonu lub z amerykiem jako źródłem ciepła, wykorzystywane w kosmosie do zasilania urządzeń na pokładzie rakiety. Pani Hodgson przedstawiła też możliwości napędu rakiet przy pomocy reaktorów jądrowych, np. reaktora rosyjskiego o mocy megawatowej, którego prototyp ma zacząć pracę w 2018 r. lub reaktora Democritos budowanego dla European Space Agency. W przypadku pracy reaktorów jako jednostek napędowych, konieczne jest zapewnienie osłon cieniowych dla uchronienia załogi przed promieniowaniem. Temat promieniowania omawiał też lekarz dr Ulrich Straube, opiekujący się astronautami w czasie ich lotów. Stwierdził on, że promieniowanie w kosmosie ma inną charakterystykę niż na Ziemi i potencjalnie może powodować zagrożenie radiacyjne, ale w praktyce nie wykryto ujemnych skutków działania tego promieniowania.



Podsumowując, IX Międzynarodowa Szkoła Energetyki Jądrowej przedstawiła najlepszych światowych specjalistów i najbardziej autorytatywne i obiektywne materiały w wybranych dziedzinach energetyki jądrowej. Śmiało można stwierdzić, że było to udane wydarzenie, o znakomitej frekwencji i dużym zainteresowaniu słuchaczy. Międzynarodowa Szkoła Energetyki Jądrowej jest doskonałym źródłem aktualnej wiedzy dotyczącej energetyki jądrowej i ochrony radiologicznej, dostępnej zainteresowanym grupom społecznym i niewątpliwie przyczynia się do kształtowania pozytywnej opinii dotyczącej budowy pierwszej elektrowni jądrowej w Polsce.



Referaty przedstawione w ramach Szkoły są zamieszczone na stronie internetowej www.szkoła-ej.pl. Następną, dziesiątą, jubileuszową edycję Szkoły odbędzie się w listopadzie 2018 roku.

*Dr inż. Andrzej Strupczewski, prof. NCBJ
Przewodniczący Komitetu Programowego
IX Międzynarodowej Szkoły Energetyki Jądrowej*

*Mgr Łukasz Koszuk
Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego
IX Międzynarodowej Szkoły Energetyki Jądrowej*

KOMITET PROGRAMOWY

- Dr inż. Andrzej Strupczewski, prof. NCBJ, Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Przewodniczący
- Prof. dr hab. Stefan Chwaszczewski, Narodowe Centrum Badań Jądrowych

KOMITET ORGANIZACYJNY

- Łukasz Koszuk, Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Przewodniczący
- Aneta Korczyc, Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych
- Dr Agnieszka Korgul, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski
- Gabriela Kosicka, Narodowe Centrum Badań Jądrowych
- Agnieszka Negadowska, Ministerstwo Energii
- Ewa Szlichcińska, Narodowe Centrum Badań Jądrowych

ORGANIZATORZY:



MINISTERSTWO ENERGII



NARODOWE
CENTRUM
BADAŃ
JĄDROWYCH
ŚWIERK

WSPÓŁPRACA:



PARTNERZY NARODOWEGO CENTRUM BADAŃ JĄDROWYCH:



HITACHI

IRtech®



KHNP
KOREA HYDRO & NUCLEAR POWER CO., LTD



PSE Polskie Sieci
Elektroenergetyczne



SNC-LAVALIN

Candu®

urenco

PATRONAT MEDIALNY:

BIZNES ALERT

CIRE.PL
Centrum Informacji o Rynku Energii

