

ATOMOWA AUSTRALIA

Atomic Australia

Piotr Leśny

Streszczenie: W Australii nie ma elektrowni jądrowej. Dyskusje na temat budowy trwają w parlamencie Australii i poszczególnych jej krajów. Australia posiada natomiast jedno z największych złóż uranu – trzecie miejsce w świecie po Kazachstanie i Kanadzie, około 30% światowych zasobów. Australijczycy nie dysponują pełnym cyklem paliwowym.

W Międzynarodowym Centrum Konferencyjnym Darling Harbour w Sydney w Australii dwa lata temu odbyła się w dniach 3-7 grudnia 2017 r. 18. Międzynarodowa Grupa ds. Badań Reaktorów (IGORR18). Konferencja IGORR18 była organizowana przez IGORR i ANSTO (Australian Nuclear Science and Technology Organisation) we współpracy z Międzynarodową Agencją Energii Atomowej (MAEA) w ramach wbudowanych warsztatów MAEA na temat oceny bezpieczeństwa reaktorów badawczych w świetle lekcji wyciągniętych z wypadku Fukushima Daiichi. Autor tego artykułu prezentował polskie działania (z punktu widzenia dozoru jądrowego) oraz poznawał osiągnięcia krajów najbardziej zaawansowanych w dziedzinie przemysłu jądrowego. Konferencja, warsztaty oraz szkolenia były również doskonałą okazją do zapoznania się z australijską fizyką jądrową ze szczególnym uwzględnieniem reaktora badawczego OPAL.

Abstract: Australia has no nuclear power. Discussions on the construction of the last in the Parliament of Australia and different countries. Australia has one of the largest uranium deposits but was third in the world after Kazakhstan and Canada, about 30% of the world's resources. Australians do not have the full fuel cycle.

On December 3-7, 2017, the 18th International Reactor Research Group (IGORR18) took place at the Darling Harbor International Conference Center in Sydney, Australia. The IGORR18 conference was organized by IGORR and ANSTO in cooperation with the IAEA as part of the IAEA's built-in workshops on the safety assessment of research reactors in the light of the lessons learned from Fukushima Daiichi's accident. The author of the article presented Polish activities (from the point of view of nuclear regulatory body) and learned the achievements of the most advanced countries in the field of the nuclear industry. The conference, workshops and trainings were also an excellent opportunity to get acquainted with Australian nuclear physics, with particular emphasis on the OPAL research reactor.

Słowa kluczowe: przemysł jądrowy, OPAL, reaktor badawczy, IGORR 18, Australia.

Keywords: the nuclear industry, OPAL, research reactor, IGORR 18, Australia.

Australia – kraina luzu, uśmiechniętych i uprzejmych ludzi, wspaniałych plaż, misiów koala i kangurów nie kojarzy się przeciętnemu Polakowi, Amerykaninowi, Japończykowi z przemysłem jądrowym. Australijczycy na każdym kroku podkreślają swoją miłość do natury, ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju co łączy się... z fizyką jądrową i jej praktycznymi zastosowaniami.



Fot. 1. Przedstawiciel fauny Australii (fot. Piotr Leśny)

Photo. 1. A representative of Australian fauna

Australijski przemysł jądrowy

W Australii nie ma elektrowni jądrowej. Dyskusje na temat budowy trwają (choć teoretycznie budowa EJ jest zabroniona prawem) w parlamencie Australii i poszczególnych jej krajów (np. Nowej Południowej Walii). Australia posiada natomiast jedno z największych złóż uranu – trzecie miejsce w świecie po Kazachstanie i Kanadzie, około 30% światowych zasobów. Australijczycy nie dysponują pełnym cyklem paliwowym. Wydobywają tylko rudę uranową i przerabiają ją do postaci tak zwanego yellow cake. Tak przerobiony surowiec trafia do odbiorców na całym świecie. Kraj na antypodach jest więc czołowym eksporterem uranu i...bardzo ważnym graczem w światowej energetyce jądrowej. Tak jak historia wcześniejszych australijskich programów jądrowych – do tej pory tajne, militarne programy z czasów zimnej wojny (w skrócie w latach 50. ubiegłego wieku w Australii przeprowadzano próby z brytyjską bronią jądrową na poligonach Maralinga, Emu Fields i wyspach Monte Bello- zainteresowani mogą na ten temat przeczytać książki Franka Walkera „Maralinga” czy Elizabeth Tynan „Atomic thunder. The Maralinga story” lub

dotrzeć do raportów w Australijskim Archiwum Państwowym czy Bibliotece Narodowej Australii. Trudno znaleźć polskie opracowania na ten temat) kładą dość długi cień na tamtejszy przemysł jądrowy, powodując, że antynuklearne organizacje są w krainie kangurów bardzo silne. W 2017 r. pokojową nagrodę Nobla otrzymała założona w australijskim Melbourne organizacja „Międzynarodowa Kampania na rzecz zniesienia broni nuklearnej (ICAN)”. Ponadto australijskie organizacje ekologiczne są, jak to nazywa prawo: zainteresowaną stroną w kwestiach związanych z górnictwem uranowym, jak i energetyką jądrową. Nastroje antyatomowe w społeczeństwie sprawiły, że w niektórych częściach Australii np. w Queensland i na Tasmanii reaktory jądrowe są zabronione przez lokalne prawo.

Paradoksalnie w dziedzinie badań naukowych w fizyce jądrowej Australia znajduje się aktualnie w ścisłej światowej czołówce. Przykładowo: Australijski Uniwersytet Narodowy z Canberry według rankingu szanghajskiego znajduje się aktualnie na 32 miejscu w świecie w dziedzinie fizyki, według rankingu The Best Schools (korzystającego z rankingu QS) na 44. Ranking rankingiem, ale wyposażenie laboratoriów badawczych na tym uniwersytecie mówi samo za siebie. Znaleźć tam można takie urządzenia badawcze jak: 14UD Akcelerator ciężkich jonów, liniowy akcelerator nadprzewodzący czy stellarator H1-NF (w dziedzinie fuzji Australijczycy prowadzą ponadto bardzo interesujące badania metod inicjowania reakcji termojądrowych za pomocą laserów- temat na oddzielny artykuł). Co istotne wysoki poziom naukowy nie dotyczy tylko fizyki jądrowej – na liście szanghajskiej w pierwszej setce najlepszych uniwersytetów świata znajduje się aż 6 z krainy kangurów (poza uczelnią z Canberry – Uniwersytety w Melbourne, Sydney, Queensland, Monash i Zachodniej Australii). Poza tym... Australia w tej chwili posiada jeden z najnowocześniejszych reaktorów badawczych w świecie. To prawdziwy klejnot w koronie ANSTO nic dziwnego, że został nazwany imieniem kamienia szlachetnego najbardziej kojarzącego się z Australią.

Reaktor badawczy OPAL

Reaktor badawczy OPAL dysponuje mocą cieplną 20 MW, w kompaktowym rdzeniu może znajdować się 16 niskowobogaconych zestawów paliwowych (to ważne... Australijczycy, sygnatariusze układu NPT o nieprolifracji broni jądrowej bardzo dbają o ten aspekt międzynarodowego bezpieczeństwa, są na tym punkcie mocno wyczuleni). Reflektor stanowi ciężka woda, reaktor chłodzony i moderowany jest natomiast za pomocą zwykłej wody. Dwa niezależne, różne i ze sobą niepowiązane systemy bezpieczeństwa i automatycznego wyłączenia gwarantują bezpieczne użytkowanie OPAL-a. Systemy bezpieczeństwa australijskiego reaktora są inherentne i pasywne. Zaprojektowano bezpieczeństwo geometryczne – to znaczy, że różne platformy

załadunkowe mają inną geometrię dla innych celów, aby uniknąć błędnego załadunku. W przypadku wyłączenia pomp reaktor chłodzony jest pasywnie przepływem wody w wyniku naturalnej konwekcji.



Fot. 2. Basen reaktora OPAL. Wykonany ze stali nierdzewnej i 4,5 m szerokości, zawiera wodę demineralizowaną, używaną do osłony i chłodzenia
Photo 2. The OPAL reactor pools. Made of stainless steel and 4.5-metre (15 ft) wide, it contains demineralised water used for shielding and cooling

OPAL w pierwszej kolejności służy do produkcji radioizotopów dla celów medycznych jak na przykład Mo-99, określanego w świecie anglosaskim „molly”. Do tego dochodzą technet i jodek sodu, bardzo podobnie do asortymentu produkcji polskiego reaktora MARIA. Podobieństw z polskim reaktorem jest więcej. OPAL produkuje radioizotopy do celów naukowych oraz zmodyfikowane półprzewodniki dla potrzeb przemysłu. Ponadto: australijski reaktor znajduje się na przedmieściach Sydney w Lucas Heights około godziny drogi od centrum miasta, podobnie jak MARIA w Świerku pod Warszawą. Tu się kończą podobieństwa. OPAL został oddany do użytku w 2007 r. – jest więc znacznie młodszy od swojego polskiego odpowiednika no i znacznie nowocześniejszy. W tej chwili na świecie pracuje 226 reaktorów badawczych, z tego tylko 87 osiągnęło krytyczność później niż przed czterdziestu laty (klasyfikacja używana przez IAEA). Większość została oddana do użytku w latach 50. i 60. ubiegłego wieku. Nawet polski

reaktor MARIA, który przekroczył „czterdziestkę” nie zalicza się więc do seniorów. Tych zbudowanych według najnowszych wymagań ... jest więc naprawdę niezbyt wiele, a tych, które podobnie jak MARIA ponadto produkują radioizotopy medyczne takie jak molibden, można na palcach jednej ręki policzyć. Wśród producentów dostarczających Mo-99 na światowe OPAL jest na chwilę obecną najmłodszy i najnowocześniejszy. Cała produkcja radioizotopów odbywa się w nim w warunkach zamkniętych. Projektantem reaktora była argentyńska firma INVAP, spin-off z argentyńskiej Narodowej Komisji Energii Atomowej. Spin-off, ponieważ departament laboratoriów badawczych argentyńskiego regulatora stał się prywatną firmą.



Fot. 3. To opal – Muzeum opali w Sydney (fot. Piotr Leśny)
Photo. 3. It's opal - the museum of opals in Sydney

Ciekawa siatkowa konstrukcja obudowy budynku reaktora (najczęściej bywa to zwykła kopuła lub budynek, który jest otoczony niewidocznym na zdjęciu kanyonem o gwałtownym spadku, stanowi zabezpieczenie na wypadek gwałtownych deszczów, które są jednym z największych zagrożeń w Australii (w ciągu kilku chwil potrafią się na australijskiej pustyni pojawić rzeki okresowe o bardzo burzliwym nurcie).



Fot. 4 OPAL – Open Pool Australian Light Water Reactor (fot. ANSTO z prezentacji Jason Chakovski & Andrew Frikken)
Photo. 4. OPAL – Open Pool Australian Light Water Reactor

Budynek reaktora jest więc dostosowany do lokalnych warunków.

Tu należałoby wspomnieć o działaniach podjętych w reaktorze badawczym Opal przez Australijską Organizację ds. Nauki i Technologii Jądrowej (Australian Nuc-

lear Science and Technology Organisation – ANSTO) po Fukushima, [9]ANSTO dokonało przeglądu bezpieczeństwa OPAL-a dla zagrożeń związanych z reaktorem i zagrożeniami zewnętrznymi w trakcie okresowej oceny bezpieczeństwa PSR (Periodic Safety Review). Zakres przeglądu ANSTO obejmował następujące wydarzenia:

- Awarie stacji (blackout-zaciemnienie do 30 minut, 30 minut, do 10 dni i powyżej 10 dni);
- Wydarzenia zewnętrzne (uderzenie samolotu, pożary buszu, wypadki przemysłowe i transportowe, działania wojskowe, działania lokalne, ekstremalny wiatr, trzęsienie ziemi);
- Połączenie zdarzeń zewnętrznych (łączone zagrożenia zewnętrzne, wynikające z nich dodatkowe zagrożenia zewnętrzne i przypadkowe zagrożenia zewnętrzne);
- Wybuch wodoru;
- Awaria systemu chłodzenia basenu wypalonego paliwa;
- Uwolnienia z obudowy reaktora.

W wyniku analizy ANSTO zalecił zmiany w spisie zagrożeń dotyczących bezpieczeństwa OPAL. Zmiany dotyczyły następujących obszarów:

- a. Analiza bezpieczeństwa utraty mocy (blackout) powinna zostać zaktualizowana, aby uwzględnić 15-dniowy blackout. Wcześniejsza analiza obejmowała awarię instalacji trwającą do 10 dni. Zalecenie dotyczące przedłużenia okresu zaciemnienia opiera się na ustaleniach ANSTO w celu przeanalizowania zaniku dla zawsze bezpiecznego czasu (ever-safe) dla paliwa reaktora OPAL, który wynosi 15 dni.
- b. Zalecana jest dalsza ocena potencjalnego połączenia ruchomych generatorów energii z systemem dystrybucji mocy reaktora OPAL.
- c. Sugeruje się włączenie kombinacji zagrożeń zewnętrznych do analizy bezpieczeństwa OPAL, rozdział 16 SAR (Raportu bezpieczeństwa).
- d. Raport zaleca dalszą analizę uwalniania wodoru pochodzącego ze źródła zimnych neutronów z którym obudowa reaktora jest połączona.
- e. Należy przeprowadzić analizę systemu chłodzenia basenu wypalonego paliwa podczas przedłużonej utraty mocy (15 dni), która powinna również zostać włączona do OPAL SAR (Raportu bezpieczeństwa).

Australijski Dozór Jądrowy ARPANSA dokonał wstępnej oceny działań ANSTO w ramach kontroli PSR. A oto wnioski dozoru [9] „Inspektorzy ARPANSA są zadowoleni z rozwoju ponownej oceny bezpieczeństwa OPAL w kontekście wniosków wyciągniętych z wypadku w Fukushima. Wstępna ocena implikacji dla przypadku bezpieczeństwa OPAL i wnioski wyciągnięte z wydarzenia w elektrowni jądrowej Fukushima Dai-ichi zostały uznane za odpowiednie.

Recenzenci ARPANSA są usatysfakcjonowani, że działania wynikające ze wstępnej oceny reaktora OPAL przez ANSTO w związku z wypadkiem w Fukushima zo-

stały odpowiednio umieszczone w programie działań następczych (After Action-Programme).

Pełny przegląd ostatecznej ponownej oceny bezpieczeństwa OPAL w świetle wypadku Fukushima Da-iihi zostanie przeprowadzony niezależnie od tej oceny PSR.”



Fot. 5. Rdzeń reaktora OPAL (fot. ANSTO – z prezentacji Jason Chakovski & Andrew Frikken)

Photo. 5. The core of the OPAL reactor



Fot.6. Sterownia reaktora OPAL (fot. IAEA, ANSTO i Rządu Australii z oficjalnej prezentacji „Rozruch reaktora OPAL” podczas konferencji IAEA w Sydney w listopadzie 2007 r.)

Photo.6. OPAL control room

Reaktor został zaprojektowany tak, aby jak najefektywniej wykorzystywać wytworzony strumień neutronów. Integralną częścią reaktora jest hala fizyczna, w której znajduje się kompleksowy zestaw urządzeń badawczych wykorzystujących wiązki neutronów emitowanych przez OPAL:

- a. Echidna — jest dyfraktometrem proszkowym o wysokiej rozdzielczości neutronowej. Przyrząd służy do określania krystalicznych struktur materiałów przy użyciu promieniowania neutronowego analogicznego do technik rentgenowskich. Nazwa to angielskie określenie... kolczatki, ponieważ kolczaste szczyty instrumentu wyglądają jak kolczatka.
- b. Platypus — to reflektometr czasu przelotu zbudowany na źródle zimnych neutronów. Przyrząd służy do określania struktury za pomocą wysoko skolimowanych wiązek neutronów. Platypus to po prostu angielskie określenie dziobaka.

- c. Wombat — to dyfraktometr proszkowy o wysokiej intensywności. Przyrząd służy do określania krystalicznych struktur materiałów przy użyciu promieniowania neutronowego analogicznego do technik rentgenowskich. Nazwa pochodzi od wombata, zwierzęcia z rodziny torbaczy z Australii. Pracuje na neutronach termicznych.
- d. Kowari jest dyfraktometrem resztkowego naprężenia neutronowego. Służy do skanowania odkształceń za pomocą neutronów termicznych. Nazwa pochodzi od kowari, australijskiego torbacza.
- e. Taipan — 3-osiowy spektrometr neutronów termicznych (nazwa to gatunek węża).
- f. Koala — dyfraktometr Laue’go.
- g. Quokka — przyrząd do badania neutronów o małym kącie rozpraszania. Nazwa pochodzi od sympatycznego torbacza australijskiego.



Fot. 7. Quokka (fot. Piotr Leśny)

Photo. 7. Quokka

- h. Pelikan — spektrometr czasu przelotu zimnych neutronów.
- i. Sika — 3-osiowy spektrometr neutronów zimnych (nazwa od gatunku jelenia, który występuje w Australii).
- j. Kookaburra — urządzenie do badań neutronów o ultra-małym kącie rozpraszania (nazwa od gatunku australijskiego ptaka).
- k. Dingo — Radiografia neutronowa i tomografia.
- l. Bilby — rozpraszanie o małym kącie neutronów (nazwa od małego torbacza).
- m. Emu — rozpraszanie wsteczne.

Australijczycy na każdym kroku manifestują swój patriotyzm, wszystkie nazwy urządzeń badawczych są krajowe. Pod zarządem ANSTO znajduje się również Australijski Synchrotron (oficjalna nazwa tego 216-metrowego urządzenia – The Australian Synchrotron), jak i laboratoria akceleratorowe. Australia została oficjalnie przyjęta do umowy ramowej Międzynarodowego Forum Generacji IV (GIF), dzięki któremu uczestniczy w międzynarodowych pracach nad rozwojem przyszłych technologii energii jądowej. Naukowcy z Australii, wnoszą swój wkład w ITER, największy na świecie

projekt inżynierski, w celu budowy reaktora opartego na syntezie jądrowej we Francji. Wkład Australii w badania ITER obejmuje zasadniczo trzy obszary: diagnostykę, teorię plazmy i modelowanie oraz rozwój zaawansowanych materiałów dla ekstremalnych środowisk. Kraj na antypodach ma również olbrzymie i wspaniałe tradycje naukowe wystarczy wspomnieć noblistę Williama Lawrence'a Bragga. Należy zauważyć przy tym pewną ciekawostkę. Australijscy fizycy uczestniczą często we wspólnych projektach badawczych ze swoimi kolegami ze Stanów Zjednoczonych czy Wielkiej Brytanii. Dość trudno znaleźć w naszym kraju materiały o australijskim przemyśle jądrowym. Celem niniejszego artykułu jest zasygnalizowanie tego bardzo ciekawego i kształtującego zagadnienia, a także zainteresowanie tematyką polskich Czytelników.

18. Międzynarodowa Grupa ds. Badań Reaktorów (IGORR18)

18. Międzynarodowa Grupa ds. Badań Reaktorów (IGORR18) odbyła się dwa lata temu w Międzynarodowym Centrum Konferencyjnym Darling Harbour w Sydney w Australii. Konferencja IGORR18 była organizowana przez IGORR i ANSTO (Australian Nuclear Science and Technology Organisation) we współpracy z Międzynarodową Agencją Energii Atomowej (MAEA) w ramach wbudowanych warsztatów MAEA na temat oceny bezpieczeństwa reaktorów badawczych w świetle lekcji wyciągniętych z wypadku Fukushima Daiichi.

Autor tego artykułu prezentował polskie działania (z punktu widzenia dozoru jądrowego) oraz poznawał osiągnięcia krajów najbardziej zaawansowanych w dziedzinie przemysłu jądrowego. Konferencja, warsztaty oraz szkolenia były również doskonałą okazją do zapoznania się z australijską fizyką jądrową ze szczególnym uwzględnieniem reaktora badawczego OPAL.

Warsztaty szkoleniowe "Workshop on Safety Reassessment of Research Reactors in the Light of the Lessons Learned from the Fukushima Daiichi Accident" zorganizowane były przez MAEA, IGORR oraz ANSTO. Szkolenie dotyczyło problematyki dokonania ponownej oceny bezpieczeństwa w reaktorach badawczych po awarii w Fukushima (zalecanej przez MAEA w wytycznych SRS-80). Szkolenie MAEA było zintegrowane z IGORR 18. Zajęcia oraz prezentacje podczas konferencji i wykłady odbywały się jednocześnie w trzech salach. Uczestnicy szkolenia wybierali te wykłady i prezentacje, które były dla nich najbardziej potrzebne lub interesujące. Podstawowa część wykładów odbywała się natomiast w ramach warsztatów MAEA i była przeznaczona dla wszystkich. Szkolenie było więc podzielone na „kurs obowiązkowy” i zajęcia do wyboru. Prezentacje i wykłady w ramach warsztatów MAEA dotyczyły:

- działań MAEA w zakresie bezpieczeństwa reaktorów badawczych,
- nowych wymagań dozorowych dotyczących bezpieczeństwa, będących odpowiedzią na awarię w Fukushima,
- działań kierownictwa reaktorów badawczych wynikających z doświadczeń wynikających z awarii w Fukushima,
- aspektów dozorowych wprowadzania nowych środków bezpieczeństwa,
- aktualnego stanu japońskich reaktorów badawczych, jak np. w Kioto, ponownie uruchomionych po przerwie w działalności spowodowanych FDA (Fukushima Daiichi accident),
- wzmocnienia odporności sejsmicznej projektów reaktorów badawczych, jak na przykład HANA-RO w Korei Południowej,
- doświadczeń dozorowych z kontroli wykonania ponownej analizy bezpieczeństwa po FDA, np. reaktor badawczy ORPHEE we Francji,
- wykorzystania doświadczeń z FDA w innych niż reaktory badawcze obiektach jądrowych oraz składowiskach odpadów promieniotwórczych, na przykładzie między innymi Stanów Zjednoczonych,
- poszczególnych rodzajów analiz bezpieczeństwa, np. dotyczących kwestii ciepło-przepływowych, m. in. Korea i Jordania itd.

Podczas szkolenia w ANSTO (Australian Nuclear Science and Technology Organisation) odpowiednika polskiego Narodowego Centrum Badań Jądrowych z antypodów – na każdym kroku demonstrowano proekologiczne nastawienie: nawet zeszyty i materiały piśmiennicze wykonane były z materiałów pochodzących z recyklingu (makulatura) lub nieszkodzących środowisku (bambus). Ta postawa dotyczy również starej kultury Aborygenów, o szacunku, do której w publicznych wystąpieniach australijscy naukowcy często wspominają. W związku z tym, że kultura Aborygenów funkcjonowała w zgodzie z przyrodą, obydwie kwestie harmonijnie się ze sobą łączą.

W Australii w ramach warsztatów prezentowane były polskie działania wynikające z awarii elektrowni jądrowej w Fukushima. W skrócie: ponowna ocena bezpieczeństwa reaktora MARIA zalecona przez MAEA w raporcie SRS-80 po wypadku w Fukushima została uwzględniona w zaktualizowanym raporcie analizy bezpieczeństwa MARIA (ERBM2015), który został starannie sprawdzony przez Państwową Agencję Atomistyki (PAA). PAA zweryfikowało ponowną ocenę bezpieczeństwa reaktora MARIA zalecaną przez MAEA w raporcie SRS-80. Skontrolowana została dokumentacja (ERBM2015, Plan awaryjny reaktora MARIA i Plan reagowania kryzysowego NCBJ, procedury, instrukcje itd.). Przygotowano raport z oceny zgodności z SRS-80 i sformułowano zalecenia dotyczące dalszych działań.

Tabela 1. Przykładowa tabela z przeglądu postulowanych zdarzeń inicjujących. Litera A oznacza spełnienie wszystkich wymagań dozоровych dotyczących danej kwestii, litera B dotyczy tych zagadnień w których dozór domagał się uzupełnienia dokumentacji.

(1) Loss of electrical power supplies:	
1. Loss of normal electrical power.	A
(2) Insertion of excess reactivity:	
1. Criticality during fuel handling (due to an error in fuel insertion);	B
2. Startup accident;	A
3. Control rod failure or control rod follower failure;	A
4. Control drive failure or system failure;	A
5. Failure of other reactivity control devices (such as a moderator or reflector);	B

Znacznie bardziej różnorodna była tematyka wykładów i prezentacji na 18. Międzynarodowej Konferencji Reaktorów Badawczych, choć również była ściśle powiązana z ocenami bezpieczeństwa po doświadczeniach związanych z awarią w Fukushima. Wykłady i prezentacje przygotowane zostały przez naukowców z najbardziej zaawansowanych laboratoriów i instytutów badawczych z całego świata (między innymi MIT, Oak Ridge, KAIST, North Caroline itd.) i dotyczyły między innymi:

- najnowszych projektów reaktorów badawczych i kierunków ich rozwoju,
- akceptacji przez dozór jądrowy najnowszych projektów reaktorów badawczych np. w Jordani,
- doświadczeń z funkcjonowania zintegrowanych pasywnych systemów bezpieczeństwa w reaktorach badawczych,
- aktualnego stanu okresowych przeglądów bezpieczeństwa np. w HANARO (Korea Południowa),
- analiz bezpieczeństwa rdzenia prototypowych reaktorów badawczych np. w Chinach,
- integracji pasywnych środków bezpieczeństwa w wielofunkcyjnych reaktorach badawczych,
- rozwoju technologii reaktorów badawczych np. w Argentynie itd.

Wnioski z warsztatów i konferencji.

- Wymagania dotyczące analiz bezpieczeństwa dla reaktorów badawczych są zbliżone w większości krajów jak dla elektrowni jądrowych. Interesujący jest tu przypadek Korei Południowej. Reaktor badawczy HANARO, aby spełnić wymagania dotyczące odporności sejsmicznej musiał wstrzymać na około trzy lata działalność, w tym czasie przebudowano całą konstrukcję (zbudowano nowe ściany nośne).
- Podobne w wielu krajach rozwiązania zagadnień wynikających z przeprowadzonych analiz bezpieczeństwa.

Podwyższenie poziomu ustawienia akumulatorów przy polskim reaktorze MARIA zostało przeprowadzone w podobny sposób jak we francuskim reaktorze badawczym. Potwierdza to skuteczność korzystania z doświadczeń i uczenia się na dobrych wzorach.

- Stosowanie podejścia stopniowanego w ocenie analiz bezpieczeństwa przez dozór jądrowy. Zgodnie z niemieckim prawodawstwem raport z okresowej oceny bezpieczeństwa otrzymuje zarówno dozór jak i jego TSO. PSR w Niemczech przeprowadzany jest zgodnie z zasadami podejścia stopniowanego.
- Wymagania MAEA (SRS-80) stanowią tylko pewne minimum wymagane przez dozory jądrowe. W niektórych krajach wymagania dotyczące analiz bezpieczeństwa przeprowadzanych po FDA są znacznie bardziej szczegółowe (np. ASN we Francji.)
- Oprócz warsztatów czy konferencji gospodarze (czyli ANSTO) zaprezentowali swój dorobek w dziedzinie energetyki jądrowej czy może lepiej to nazywając ogólnie pojętych praktycznych zastosowań fizyki jądrowej. Australia jest krajem bardzo zaawansowanym w fizyce jądrowej, który wypracował w tej dziedzinie swoją własną specyfikę.

*Piotr Leśny,
Inspektor Dozoru Jądrowego,
Departament Nadzoru i Kontroli,
Państwowa Agencja Atomistyki,
Warszawa*

Literatura:

- [1] Materiały z konferencji międzynarodowej organizacji reaktorów badawczych IGORR 18 w Sydney, Australia, między innymi: „The Journey of Continuous Improvement in the Reliability and Availability of the OPAL Reactor IGORR 18 – Sydney, Australia Jason Chakovski & Andrew Frikken, ANSTO
- [2] ANSTO (Australian Nuclear Science and Technology Organisation) oficjalna strona internetowa.
- [3] Frank Walker „Maralinga” Hachette 2016
- [4] Elizabeth Tynan „Atomic thunder. The Maralinga story” University of New South Wales Press 2016
- [5] The Best Schools – 50 najlepszych programów fizyki w świecie link: <https://thebestschools.org/rankings/best-physics-programs-in-world-today/>
- [6] Lista szanghajska ARWU World University Ranking link: <http://www.shanghairanking.com/>
- [7] International Atomic Energy Agency Research Reactor Database link: <https://nucleus.iaea.org/Pages/rr-db.aspx>
- [8] IAEA konferencja w Sydney listopad 2007 materiały. Oficjalna prezentacja „Rozruchu reaktora OPAL” link: https://www.pub.iaea.org/Mtcd/Meetings/PDFplus/2007/cn156/cn156presentations/cn156_Irwin.pdf
- [9] REGULATORY ASSESSMENT REPORT Periodic Safety Review of OPAL Reactor Facility Licence F0157