

BEZPIECZEŃSTWO NUKLEARNE NA II KONGRESIE ENERGII JĄDROWEJ W WARSZAWIE

Dariusz Witold Kulczyński

|| Międzynarodowy Kongres Energii Jądrowej (2nd International Nuclear Energy Congress) zorganizowany przez Politechnikę Warszawską, Stanowy Uniwersytet w Oregon (USA) oraz francuski Międzynarodowy Instytut Energii Jądrowej (*International Institute of Nuclear Energy-I2EN*) odbył się w dniach 22-24 maja 2012 r. Celem kongresu była prezentacja najnowszych osiągnięć w obszarze energetyki jądrowej, integracji środowiska nauki oraz administracji państwowej. W imieniu Związku Zawodowego Pracowników Umysłowych Energetyki (*The Society of Energy Professionals, OPG Local*) udział w nim wziął autor niniejszych refleksji przedstawiając referat zatytułowany „Pół wieku bezpiecznego systemu CANDU” dotyczący podstawowych zasad bezpieczeństwa jądrowego i systemów bezpieczeństwa tych reaktorów. Prelekcja miała miejsce na sesji popołudniowej pierwszego dnia Kongresu prowadzonej przez prof. Jana Plutę w Auli Wydziału Fizyki P.W. Kanadyjska energetyka jądrowa liczy już sobie 50 lat. W kwietniu 1962 r. stan krytyczny osiągnął pierwszy kanadyjski reaktor energetyczny NPD (Nuclear Power Demonstration w Rolphton w prowincji Ontario). W czerwcu tego samego roku pierwsze 20 MW mocy z tej elektrowni jądrowej włączono do sieci firmy Ontario Hydro.



Fot. 1. NPD NGS 22 MWe 1962-1987



Fot. 2. Darlington NGS 4 x 930 MWe, uruchomiona 1989 roku (jedna z najlepiej pracujących elektrowni na ściecie - kandydat do rankingu NPO-1)

Elektrownia NPD została zamknięta po 25 latach bezpiecznej pracy uzyskawszy 70. procentowy współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej (*capacity factor*). W dniach 3-4 sierpnia br. odbył się zjazd byłych pracowników elektrowni NPD, w której wykształciło się wielu kanadyjskich energetyków jądrowych.

Po zamknięciu elektrowni NPD autor tych refleksji został przeniesiony do Darlington NGS najnowszej i największej w Kanadzie elektrowni (4 x 930 MWe brutto) z reaktorami typu CANDU (Canada-Deuterium-Uranium). CANDU to reaktory ciśnieniowe, chłodzone i modyfikowane ciężką wodą. Wykorzystuje się w nich jako paliwo tani uran naturalny (niewzbogacony), a mogą pracować również korzystając z toru, jako materiału rozszczepialnego, trzykrotnie obficiej występującego w przyrodzie niż uran. Reaktory CANDU mogą także dopalać zużyte paliwo wzbogacone z lekko-wodnych reaktorów ciśnieniowych co pomyślnie sprawdzono w Chinach w elektrowni Qinshan-3.



Fot. 3. Autor artykułu wygłasza swój referat

Myślą przewodnią II Międzynarodowego Kongresu Energii Jądrowej na Politechnice Warszawskiej były także standardy bezpieczeństwa jądrowego, które na arenie międzynarodowej promuje wiele organizacji. Jedną z nich jest Światowe Stowarzyszenie Operatorów Elektrowni Jądrowych (*World Association of Nuclear Operators - WANO*). Na tegorocznym kongresie, były przedstawiciel Rzeczypospolitej Polskiej w WANO, nestor polskiej energetyki jądrowej mgr inż. Jacek Bauriski wyjaśnił, jak to się stało, że Polska, która nie ma elektrowni atomowych jest członkiem WANO. Otóż kiedy w 1989 r. przedstawiciele elektrowni jądrowych z całego świata założyli WANO, Polska budowała właśnie EJ Żarnowiec dzięki czemu znalazła się w tej organizacji. Likwidację Żarnowca należy uznać za fatalny błąd rządów Tadeusza Mazowieckiego i Jana Krzysztofa Bieleckiego. Powrót na drogę energetyki atomowej zadeklarowały następnie kolejne rządy: SLD, PiS, a obecna ekipa PO-PSL przystąpiła do realizacji tych przedsięwzięć. W związku z tym w środowiskach akademickich, w Państwowej Agencji Atomistyki, w redakcjach periodyków naukowo technicznych, takich jak; „Wiadomości Elektrotechniczne”, czy „Postępy Techniki Jądrowej” można odnotować zainteresowanie doświadczeniami Polaków pracujących w energetyce jądrowej.

Elektrownia Darlington, do której autor został przeniesiony w 1987 r., otrzymała w bieżącym roku ocenę celującą w wyniku wizyty „Peer Review” ekspertów z WANO. Darlington zaliczony został tym samym do ekskluzywnego klubu najlepiej pracujących elektrowni jądrowych na świecie. Do tej właśnie elektrowni mieli 14. kwietnia 2010 r. przyjechać premier Donald Tusk i minister Hanna Trojanowska. Na ten dzień przygotowany był odczyt o kanadyjskim systemie jądrowym. Wizyta była starannie przygotowana przez mgra Włodzimierza Leszczyńskiego, radcę handlowego R.P. w Montrealu i działaczy

Polsko-Kanadyjskiej Izby Handlowej w Toronto *Canada-Poland Chamber of Commerce of Toronto*: mgra Wojciecha Śniegowskiego, mgra inż. Mariusza Zimnego i dra inż. Emila Brosia. Jak nietrudno się domyślić, nic z powyższych planów nie wyszło z powodu odwołania wizyty w wyniku tragedii smoleńskiej.

Współpraca polsko-kanadyjska w dziedzinie badań jądrowych ma precedens historyczny. Kanada uczestniczyła w anglo-amerykańskim wojennym programie badań atomowych, a pod koniec lat 40. zorganizowała potężną infrastrukturę badawczą dla celów pokojowych. W programie „Manhattan” jak również i w powojennych badaniach jądrowych w Kanadzie uczestniczył wybitny polski fizyk-teoretyk prof. Leopold Infeld. W latach 1930-1950 był profesorem Uniwersytetu Torontońskiego, po czym wrócił do Polski przyczyniając się do rozwoju fizyki jądrowej w kraju. Jego wykładów (z zapartym tchem) słuchali nie tylko teoretycy, ale także wybitni fizycy doświadczalni, tacy jak przedwcześnie zmarły dr Ryszard Gokieli, współtwórca CERN-owskiego systemu obliczeniowego Delphi i polskiej części komputerowego ‘Gridu’ dla analizy danych generowanych w Wielkim Zderzaczach Hadronów (LHC). Referat, który wygłosił autor tego artykułu na II Międzynarodowym Kongresie Energii Jądrowej został zadedykowany Jego pamięci. Polska od dziesięcioleci uczestniczyła w europejskich badaniach jądrowych i ma zapewne w dziedzinie badań podstawowych większy dorobek, niż Kanada natomiast, jak wiadomo, do dziś nie posiada żadnej elektrowni jądrowej. Z kolei Kanada ma własny przemysł jądrowy z dobrze rozwiniętą infrastrukturą badań stosowanych i świetnie funkcjonujący dozór jądrowy czyli Kanadyjską Komisję Bezpieczeństwa Jądrowego (*Canadian Nuclear Safety Commission – CNSC*, dawniej *Atomic Energy Control Board - AECB*). Na II Kongresie, interesujący referat o strukturze i możliwościach konsultacyjnych tej organizacji wygłosił pracownik CNSC z Ottawy dr inż. Janusz Kowalski. Z kolei dr inż. Andrzej Mikulski, przedstawiciel polskiego odpowiednika CNSC, czyli Państwowej Agencji Atomistyki, omówił zasady bezpiecznej eksploatacji reaktora badawczego „Maria” w Otwocku-Świerku pod Warszawą i jego gospodarkę paliwową.

Patronat honorowy nad II Międzynarodowym Kongresem Energii Jądrowej objęły następujące osoby: Waldemar Pawlak- Wicepremier i Minister Gospodarki, Hanna Trojanowska, Podsekretarz Stanu w Ministerstwie Gospodarki, Makoto Yamanaka - Ambasador Japonii w Polsce, Adam Struzik - Marszałek Województwa Mazowieckiego, Lee A. Feinstein - Ambasador Stanów Zjednoczonych, Pierre Buhler - Ambasador Francji i Young



Fot. 4. Uczestnicy obrad w Aulii Wydziału PW

Sun Paek -Ambasador Republiki Korei w Polsce. Mała Aula PW, gdzie w większości odbywały się sesje II Kongresu, zgromadziła dostawców reaktorów z takich firm, jak: Westinghouse, GE-Hitachi i oczywiście francuska firma AREVA. Licznie reprezentowny był też francuski urząd dozoru jądrowego ASN. Na pytanie, jak AREVA rozwiązała niepomysłne wyniki symulacji uszkodzenia rdzenia podczas postulowanego wypadku gwałtownego usunięcia pręta sterowniczego (w przeciwieństwie do CANDU, to jest możliwe w lekko-wodnych reaktorach ciśnieniowych) nie było odpowiedzi. Ani AREVA, ani francuski dozór jądrowy ASN, nie słyszeli o artykule Patricii Brett na temat tej symulacji, którą latem 2010 r. opublikował dziennik The New York Times. Artykuł ten został przesłany z Kanady do uczestników dyskusji już na początku czerwca.

A oto fragmenty mojego referatu na II Kongresie.

[...] Podstawowe zasady bezpieczeństwa eksploatacji wszystkich elektrowni atomowych to tzw. 3 c's CONTROL !, COOL ! and CONTAIN! czyli steruj, chłódź i lokalizuj (skażenia). Na tym opierają się specjalne systemy zabezpieczeń: *Shutdown Systems I & II, Emergency Core Cooling, Containment (Dousing)* itd. (Systemy wyłączania I & II, Awaryjne Chłodzenie Rdzenia, Lokalizacja Awa-

rii i Skażeń). W wyniku wypadków w Fukushima, które wydarzyły się 25 lat po Czarnobylu - na całym świecie - ponownie zaczęto zadawać sobie pytania dotyczące bezpieczeństwa energetyki jądrowej. Trzy awarie miały na pewno wielki wpływ na późniejsze zasady eksploatacji i konstrukcję elektrowni jądrowych: Three Mile Island (1979), Czarnobyl (1986) i Fukushima (2011).

Awaria w TMI-2 (blok 2 elektrowni Three Mile Island) miała miejsce 28 marca 1979 r.; doszło do częściowego stopienia rdzenia. W wyniku usterki wskaźnika i błędów operatorów (nastawniczych) w interpretacji tej usterki nastąpiło zlekceważenie dwóch zasad bezpieczeństwa jądrowego (steruj i chłódź), ale trzecia (lokalizuj) została zachowana. Skażenia nie wydostały się z obudowy bezpieczeństwa chociaż prewencyjnie ewakuowano ludność. Bliźniaczy blok TMI-1 pozostaje do dziś w eksploatacji. Po awarii w Three Mile Island powstał Instytut Eksploatacji Elektrowni Jądrowych (*Institute of Nuclear Power Operations – INPO*), który między innymi, zbiera i analizuje raporty o znaczących awariach i incydentach w elektrowniach jądrowych.

W Czarnobylu skutek poważnych błędów operatora i technicznego personelu dozoru jądrowego i niecodziennej konstrukcji prętów regulacyjnych reaktora

RBMK zostały naruszone wszystkie trzy zasady bezpieczeństwa jądrowego: „steruj, chłódź i lokalizuj”. Katastrofa, która wydarzyła się 26 kwietnia 1986 r. była spowodowana próbą pracy generatora na potrzeby własne przy jednoczesnym odłączeniu elektrowni od sieci energetycznej. Operator działał pod wpływem nacisków, aby wykonać plan i przeprowadzić test pomimo, że od początku nie rozwijał się on pomyślnie. Zablokował kilka źródeł automatycznego wyłączenia reaktora oraz wyciągnął z rdzenia wszystkie pręty regulacyjne wbrew instrukcji nakazującej, żeby minimum 30% prętów zawsze pozostawało w rdzeniu. Pręty regulacyjne w reaktorze RBMK zaczynały działać bardzo powoli, 10 sekund po sygnale na ich wprowadzenie do rdzenia. Co gorsze, pręty regulacyjne miały końcówki z grafitu, który jest moderatorem neutronów. Wprowadzenie prętów do rdzenia początkowo dodawało reaktywności. Kiedy operator wreszcie wprowadził wszystkie pręty do rdzenia, będącego w niestabilnym obszarze pracy, doszło do skokowej zmiany reaktywności i lawinowego wzrostu mocy. Duży, dodatni współczynnik reaktywności przestrzeni gazowych (próżniowy) reaktora RBMK nie miałby najmniejszego wpływu na pracę reaktora, gdyby nie zaniedbano podstawowych zasad bezpiecznej eksploatacji. W wyniku katastrofy w Czarnobylu powstała międzynarodowa organizacja WANO. Od 1989 r., wraz z INPO, analizuje i przedstawia raporty z istotnych incydentów w elektrowniach jądrowych na całym świecie oraz organizuje przeglądy przeprowadzane przez ekspertów (*Peer Reviews*) w celu oceny stanu bezpieczeństwa i efektywności eksploatacji. Po wizycie ekspertów WANO właściciel elektrowni może wystąpić do INPO o wydanie oceny numerycznej w skali od 1 do 5, ocena celująca to INPO-1, a niedostateczna to INPO-5. WANO, czy INPO nie zastępują w żaden sposób krajowych urzędów dozoru jądrowego takich, jak CNSC lub NRC, ale uważa się, że ich działalność podniosła standardy bezpieczeństwa elektrowni jądrowych na świecie.

Systemy bezpieczeństwa w reaktorach w Fukushima zadziałały prawidłowo w momencie trzęsienia ziemi i automatycznie je wyłączyły, zasada 'steruj' została zachowana. Zostały jednak naruszone dwie pozostałe zasady bezpieczeństwa jądrowego: 'chłódź' i 'lokalizuj'. 'Piętą Achillesa' elektrowni Fukushima Dai-ichi okazało się zasilanie rezerwowe, gdyż zapasowe generatory Diesla zostały zalane przez falę tsunami o wysokości ponad 12 metrów, gdy tymczasem elektrownia była projektowana na ochronę przed falą o wysokości zaledwie 6 metrów. W basenie zużytego paliwa w bloku nr 4 na skutek przerwania jego chłodzenia poziom wody zaczął gwałtownie opadać wskutek parowania. To spowodowało

wystąpienie silnego promieniowania wstrzymujące akcję ratunkową. W reaktorach wrzących BWR całe paliwo może być wymienione podczas jednego przestoju przeładowczego. Obawiano się także, że zużyte paliwo może w basenie osiągnąć stan krytyczny.

W wyniku awarii chłodzenia w Fukushima wszystkie firmy energetyczne na świecie, także w Kanadzie, przeprowadziły przegląd zasilania rezerwowego w należących do nich elektrowniach jądrowych. Wprowadzane są dalsze ulepszenia w tej dziedzinie w nowo projektowanych i w obecnie eksploatowanych elektrowniach jądrowych.

Bezpieczeństwo reaktorów CANDU analizowane jest wg modeli deterministycznych i probabilistycznych w symulacjach komputerowych. Bezpieczne cechy tego typu reaktorów są wymienione poniżej: **mały zapas dodatknej reaktywności** (wymiana paliwa w czasie pracy), **mała ilość zużytego paliwa umieszczana codziennie w basenie** (340 kg na 900 megawatowy blok w Darlington) - **znacznie mniej generowanego ciepła w zbiornikach zużytego paliwa CANDU** niż w przypadku innych typów reaktorów (PWR czy BWR), **małe przekroje rur** (układu chłodzenia) – mniejszy wyciek przy nieszczelności, **moderator o niskiej temperaturze i woda ekranująca** (osłonowa) to dodatkowe chłodziwo dla paliwa w przypadku uszkodzenia rdzenia, **termosyfon-awaryjne usuwanie ciepła z paliwa drogą konwekcji** oraz **dwa szybkie (czas zadziałania mniejszy niż 2 sekundy) układy wyłączenia awaryjnego reaktora**, całkowicie niezależne od siebie i od systemu sterowania mocą. Pręty bezpieczeństwa (wyłączenia awaryjnego) reaktora wchodzi w przestrzeń niskiego ciśnienia (moderator), skąd nie mogą być wypchnięte (gwałtownie usunięte). Układy bezpieczeństwa posiadają elementy pasywne wykorzystujące grawitację, sprężony gaz, ściśniętą sprężynę itd.

Normalna praca reaktorów CANDU odbywa się w tzw. „wieloboku bezpiecznej eksploatacji (Safe Operating Envelope SOE)”. Oznacza to, że parametry fizyczne bloku utrzymują zawsze odpowiedni zapas bezpieczeństwa w stosunku do wartości granicznych, nieprzekraczalnych w eksploatacji reaktora. Limity te są ustalone poniżej limitów konstrukcyjno-eksploatacyjnych, które stanowią granicę SOE. Istnieją następnie marginesy od limitów zezwolenia na eksploatację (limitów 'licencji eksploatacyjnej'), które nie mogą być przekraczane w żadnym wypadku. Jeśli limity zostaną przekroczone, następuje bezpiecznie wyłączenie reaktora CANDU.

Wszystkie reaktory jądrowe, nie tylko CANDU, muszą od czasu do czasu potwierdzać skuteczność swoich zapa-



Fot. 5. Sesja poświęcona bezpieczeństwu jądrowemu

sów bezpieczeństwa w miarę publikowania rezultatów najnowszych badań. Prawdopodobieństwo postulowanych wypadków jest coraz silniej brane pod uwagę w analizie bezpieczeństwa reaktorów jądrowych na całym świecie [...].

Po zakończeniu II Międzynarodowego Kongresu Energii Jądrowej autor niniejszej publikacji uczestniczył w Konferencji Gospodarczej Polonii. Zaproszony przez jej organizatora, Prezesa Fundacji „Polonia” Zbigniewa Ludgera Olszewskiego wygłosił odczyt o zaletach i zagrożeniach związanych z energetyką jądrową, którą Polska zdecydowała się wdrożyć. Ze statystyk wynika, że Polska jest czwarta od końca w Europie pod względem zużycia energii elektrycznej na głowę mieszkańca, co związane jest w wykorzystaniem węgla w celach ogrzewczych. To będzie się jeszcze zmieniać chociażby z powodu zmian klimatycznych; częste upały wymagają klimatyzatorów. Energetyka jądrowa nie produkuje gazów cieplarnianych i nie podnosi tym samym temperatury Ziemi.

Elektrownie jądrowe oferują tani prąd w nocnej strefie taryfowej, kiedy zapotrzebowanie na energię jest znacznie mniejsze, co można wykorzystać do produkcji wodoru za pomocą elektrolizy. Z kolei zamiast benzyny w silnikach samochodowych można użyć wodoru. Wodorem mogą być napędzane wszystkie rodzaje pojazdów. W tym roku zademonstrowali takie rozwiązanie polscy naukowcy w Lublinie. Jeśli chodzi o aspekty ujemne, to poza powszechnie znanymi zagrożeniami od promieniowania, energetyka jądrowa może się potencjalnie stać przyczyną katastrofy ekonomicznej, jeśli budowa bardzo kosztownych bloków będzie poważnie opóźniona.

*Dariusz Witold Kulczyński,
Kanada*

mgr inż. Dariusz Witold Kulczyński jest absolwentem VI L.O. im. Tadeusza Reytana. Ukończył Wydział Elektryczny Politechniki Warszawskiej w 1977 r., a od 1981 r. przebywa w Kanadzie, gdzie pracuje w pionie technicznym elektrowni jądrowych z ciężko-wodnymi reaktorami CANDU. Autor artykułu przez 6 lat pracował w szkoleniu i w elektrowni jądrowej NPD w Rolphton, a przez kolejne 25 lat w elektrowni Darlington. Należy do osób czynnie włączających się w dyskusję o energetyce jądrowej w Polsce. O energetyce jądrowej pisał w artykułach opublikowanych w „Wiadomościach Elektrotechnicznych”, „Gazecie Wyborczej”, „Postępiech Techniki Jądrowej”, „Biuletynie Radiologicznym”, witrynie CIRE i w „Nuclear Engineering International (UK)”.

Wygłosił w Polsce szereg wykładów; był m.in. prelegentem na konferencji NOT „Rozwój energetyki atomowej w Polsce” w grudniu 2007 r. i na II Międzynarodowym Kongresie Energetyki Jądrowej na Politechnice Warszawskiej, 22-24 maja, 2012. Dwukrotnie wygłaszał także referaty na Konferencjach Gospodarczych Polonii (2004 i 2012).