

JAKIE REAKTORY DLA KANADY: CANDU, SMR?

What reactors for Canada: CANDU, SMR?

Dariusz Witold Kulczyński

Streszczenie: Przy spełnieniu pewnych warunków, energetyka jądrowa jest bezpieczniejsza od innych gałęzi przemysłu. Nadzieje związane z bezpieczeństwem i kosztem eksploatacji SMR-ów będą weryfikowane w kolejnych latach, gdy zostanie wybudowana flota małych, modularnych reaktorów. Muszą one następnie przepracować dostateczną ilość godzin w celu uzyskania rzetelnych danych statystycznych na temat ich niezawodności i bezpieczeństwa.

W artykule omówiono posunięcia rządów prowincji Ontario i rządu federalnego mające negatywny wpływ na rozwój kanadyjskiej energetyki. Na podstawie kanadyjskiego systemu jądrowego CANDU autor tłumaczy zasadę wielopoziomowego bezpieczeństwa jądrowego.

Abstract: Under certain conditions nuclear power is safer than other branches of industry. Safety and operating costs of SMR's will need to be verified by statistics after adequate fleet of Small Modular Reactors has been built and operated for sufficient number of hours. Some decisions of provincial and federal governments, detrimental to Canadian power industry have been presented. The author explains how Canadian nuclear system CANDU implements the principle of "defense in depth".

Słowa kluczowe: SMR, ISMR, EPR, AREVA, Framatome, AP1000, APR1400, CNSC, CANDU®, PHWR, NPD, Darlington, Pierwotny Obieg Chłodzenia, Ciężkowodny Moderator, Rury Ciśnieniowe, Calandria, Przestrzeń Międzyrurowa, Gaz Międzyrurowy, Ontario Hydro, OPG, obszar szybkiej krytyczności, zapas bezpieczeństwa.

Keywords: : SMR, ISMR, EPR, AREVA, Framatome, AP1000, APR1400, CNSC, CANDU®, PHWR, NPD, Darlington, Primary Heat Transport System, Heavy Water Moderator, Pressure Tubes, Calandria, Annulus Space, Annulus Gas, Ontario Hydro, OPG, Prompt Criticality Region, Safety Margins.

1. Przyszłość dużych reaktorów PWR

Reaktory lekkowodne ciśnieniowe (Pressurized Water Reactors) stanowią około 70% wszystkich pracujących reaktorów. Chłodziwo nie opuszcza obudowy bezpieczeństwa, co ułatwia kontrolę materiałów radioaktywnych. Natomiast żeby współczesne PWR-y były konkurencyjne, to koszt ich budowy i uruchomienia musi być obniżony kilkakrotnie w stosunku do tego, co zademonstrowano w Finlandii, we Francji czy w stanie Georgia w USA. Jednym z problemów współczesnych bloków jądrowych jest skomplikowany system sterowania i zabezpieczeń i związane z tym opóźnienia w budowie. Przykłady bloków EPR Areyv (obecnie Framatome) o mocy 1600 MW, takie jak Olkiluto III (Finlandia) i Flamanville III (Francja) skutecznie zniechęciły potencjalnych nabywców. Blok Olkiluto III został zsynchronizowany z siecią w marcu 2022 r., po czym odstawiono go z przyczyn technicznych. Normalna produkcja energii ma się rozpocząć w grudniu 2022 r. Blok trzeci elektrowni we Flamanville ma być uruchomiony dopiero pod koniec 2022 r. i jego całkowity koszt przekroczy 19 mld € (Euro). Dwa nowe bloki Westinghouse'a AP1000 (1100 MW każdy) w elektrowni Vogtle w stanie Georgia kosztują już przeszło 30 mld dolarów (w chwili pisania artykułu kurs Euro wobec US\$ jest prawie 1:1). Przy uwzględnieniu opóźnień i kosztów koncernu Toshiba wniesio-

nych przed bankructwem Westinghouse'a, całkowity koszt budowy bloków 3 i 4 EJ Vogtle może przekroczyć 35 mld USD. Tak więc liczne opóźnienia w uruchomieniu, przesunięcia rozpoczynania nowych inwestycji oraz koszty zniechęcają potencjalnych inwestorów.

Wśród dużych reaktorów PWR dobrze plasują się południowo-koreańskie APR1400. Sześć z nich uruchomiono bez większych opóźnień, a kolejnych sześć jest w budowie.

2. Małe Modularne Reaktory SMR

Na całym świecie wiele wiąże się obecnie z tzw. „małymi reaktorami modularnymi”, czyli Small Modular Reactors. Mają one być tanie w budowie i w obsłudze, a także bardzo bezpieczne. Moduły można dodawać do uzyskania wyższej mocy, co ma być nadal tańsze niż wielkie bloki. Upłynie jednak sporo lat, zanim powyższy optymizm zweryfikuje eksploatacja tych bloków jądrowych i odpowiednie statystyki. W Kanadzie rozpatrywane są trzy główne typy SMR-ów. Firma NuScale oferuje reaktory ciśnieniowe Integral Pressurized Water Reactor o mocy modułu 77 MWe, Terrestrial Energy reaktor 200 MWe chłodzony ciekłymi solami, wreszcie GE-Hitachi reaktor ciśnieniowy wrzący 300 MWe. Pierwszy SMR w Kanadzie, którego budowa rozpoczyna się w elektrowni Darlington w Ontario, to GE Hitachi BWRX-300 o mocy 300 MW. Reaktory lek-

kowodne wrzące mają lepszą sprawność termiczną niż PWR-y lub PHWR-y. Jeszcze lepszą sprawność postulują zwolennicy małych reaktorów wysokotemperaturowych. W sierpniu 2022 r. firma Terrestrial Energy podpisała z agencją rządu zachodniej prowincji Alberta list intencyjny (Memorandum of Understanding) o budowie wysokotemperaturowych reaktorów ISMR chłodzonych ciekłymi solami (Integral Molten Salt Reactor) o mocy elektrycznej około 200 MW. Agencja Invest Alberta ma współdziałać z Terrestrial Energy w celu budowy takich reaktorów na potrzeby m.in. przemysłu naftowego. Projekt ISMR miał pewne trudności ze stabilnością grafitowego moderatora w wyższych temperaturach. Być może podpisanie wspomnianego listu intencyjnego z rządem Alberty oznacza, że stan konstrukcji ISMR umożliwia wystąpienie o pakiet zezwoleń CNSC niezbędny do rozpoczęcia budowy.

3. Kanadyjska „Zielona Energetyka” a energetyka jądrowa

Zgodnie z podziałem politycznych kompetencji w Kanadzie, energetyka jest w gestii rządów prowincji, ale regulatorem energetyki jądrowej jest federalna komisja bezpieczeństwa jądrowego Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC). Rozwój energetyki jądrowej zależy również od federalnego Ministerstwa Zasobów Naturalnych. Wreszcie to rząd federalny ustala tzw. „podatek węglowy”.

Obecny premier Kanady Justin Trudeau znany jest z wiary w powodzenie „zielonej gospodarki”. Świadczy o tym, związana z konferencją COP26 w Glasgow, obietnica redukcji kanadyjskich gazów cieplarnianych (do roku 2030) o 40-45% w stosunku do emisji zanotowanych w 2005 r. Obietnica jest nie tylko nierealna, ale urąga elementarnej arytmetyce. W 2025 r. zostanie wycofana z eksploatacji elektrownia jądrowa w Pickering

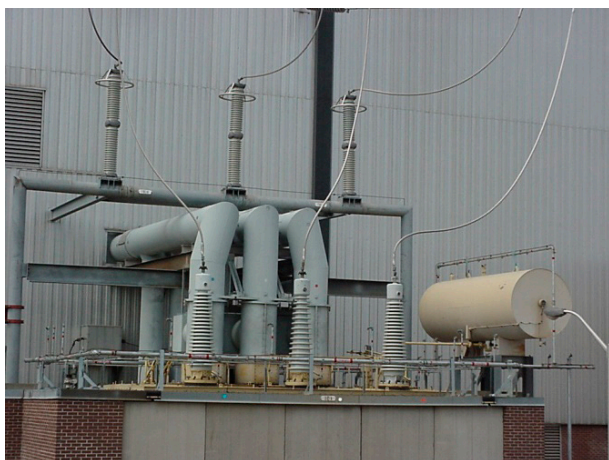
(o mocy 3114 MW, kiedyś 4144 MW). Poprzednie rządy prowincji Ontario zaniechały budowy nowych, dużych bloków jądrowych, a także remontu kapitalnego elektrownia Pickering. Elektrownia ta dostarcza obecnie 16% energii elektrycznej w prowincji Ontario. W 2025 r., po odstawieniu ponad 3000 MW w Pickering, udział energii jądrowej w zasilaniu sieci prowincji zmniejszy się od 60 do 45%.

Jedyny blok jądrowy obecnie w budowie to wspomniany SMR BWRX-300 w Darlington o mocy 300 MWe, czyli 10% tego, co dostarcza dziś elektrownia jądrowa Pickering. W dodatku to 300 MW ma być zsynchronizowane z siecią najwcześniej w 2028 r., ponieważ jedyną alternatywą w Ontario są bloki opalane gazem ziemnym, jest jasne, że emisje dwutlenku węgla w Kanadzie potężnie wzrosną w najbliższych latach, nie mówiąc o tym, że przecieki metanu wskutek jego zwiększonego użycia są 30 razy groźniejsze, niż CO₂. Wzrost emisji gazów cieplarnianych może być w Kanadzie jeszcze gwałtowniejszy ze względu na konieczność remontu kapitalnego elektrowni Bruce B. Jest prawdopodobne, że rozpocznie się on jeszcze podczas wymiany rur ciśnieniowych kanałów ostatniego bloku jądrowego elektrowni Darlington.

Kanadyjski „zielony projekt”

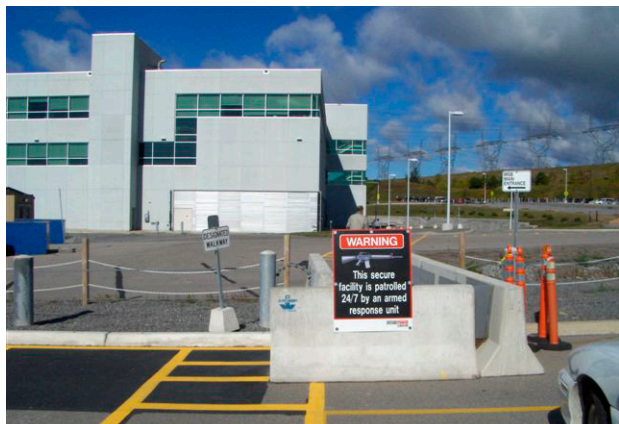
Przykładem niewiarygodnej wręcz naiwności jest ogłoszenie przez Premiera Justina Trudeau niemiecko-kanadyjskiego „zielonego projektu” podczas ostatniej wizyty kanclerza Olafa Scholza w Ottawie. Niemcy i Kanadyjczycy chcą w wodach przybrzeżnych Nowej Funlandii postawić mnóstwo wiatraków energetycznych, które będą produkowały prąd do elektrolitycznego wytwarzania wodoru. Załadowany na statki, ma on popłynąć w postaci „zielonego amoniaku” (NH₃) do Niemiec. Tam ma być zamieniony ponownie w wodór – czyste paliwo. Już na Międzynarodowym Kongresie Energii Jądrowej w Toronto w październiku 1993 r. inżynierowie i naukowcy kanadyjscy proponowali produkcję wodoru elektrolitycznego i innych „zielonych paliw” (np. etanolu) w dolinach nocnych zapotrzebowania mocy, gdy dostępna jest tania energia z bloków jądrowych. Byłoby to możliwe od zaraz, bez żadnych wiatraków, pomimo zredukowanej obecnie mocy elektrowni jądrowych w Ontario.

Niemiecko-kanadyjski pomysł wiatraków morskich w Nowej Funlandii już wywołał protesty miejscowej ludności z obawy przed infradźwiękami i ze względów ekologicznych. Projekt jest także chybiony z powodów ekonomicznych, nawet jeśli w przeciwieństwie do turbin budowanych na lądzie ich współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej przekroczy 25%. Warto przypomnieć, co w 2017 r. powiedział w Warszawie prof. Jerzy Buzek wówczas przewodniczący Komitetu Przemysłu, Badań Naukowych i Energii w Parlamencie Europejskim (ITRE): *Najlepszym miejscem dla wiatraków*



Fot. 1. Wyprowadzenie mocy generatora do transformatora blokowego trójfazowego w elektrowni Pickering (fot. za zgodą OPG 2007)
Photo 1. Main Output Transformer Isolated Phase Bus (IPB) at Pickering NGS (Picture courtesy of OPG 2007)

energetycznych są regiony nadmorskie, ale ze względu na sól ich trwałość może być ograniczona do zaledwie 10. lat, a nie 40 jak się przyjmuje w rachunku ekonomicznym.



Fot. 2. Środki bezpieczeństwa wprowadzone w elektrowni jądrowej Darlington po ataku na World Trade Center (fot. za zgodą OPG 2007)

Photo. 2. Special security measures implemented at Darlington NGS after (picture courtesy of OPG 2007)

4. Bezpieczne reaktory CANDU

Od 60. lat energetyka jądrowa w Kanadzie opiera się wyłącznie na reaktorach ciężkowodnych – ciśnieniowych PHWR (Pressurized Heavy Water Reactors – inaczej CANDU od Canada Deuterium Uranium). Nie używają one drogiego uranu wzbogaconego tylko spieków uranu kopalnego o zawartości 0,7% U-235. To tanie paliwo wymaga jednak dość drogiego chłodziwa i moderatora D_2O , bo lekka woda zbyt pochłania neutrony.

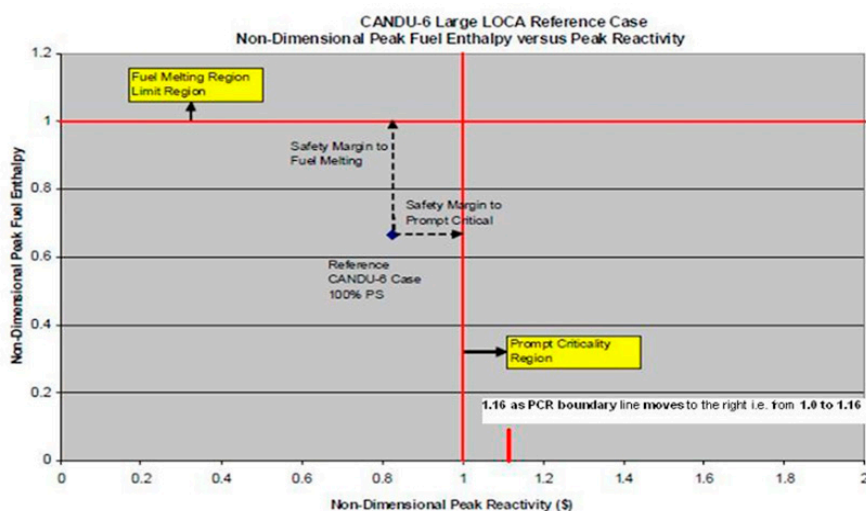
Pierwszy kanadyjski reaktor CANDU w Rolphton w prowincji Ontario osiągnął stan krytyczny w kwietniu 1962 r. W czerwcu tego samego roku 20 MW mocy z elektrowni NPD (Nuclear Power Demonstration) włączono do sieci firmy Ontario Hydro. Elektrownia NPD pracowała bezpiecznie przez 25 lat uzyskując 70% współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej.

Przez 60 lat jakiegokolwiek awarie w elektrowniach CANDU zostały opanowane bez naruszenia fundamentalnych zasad bezpieczeństwa jądrowego. Podstawowe zasady bezpieczeństwa eksploatacji wszystkich elektrowni atomowych to tzw. trzy C: CONTROL!, COOL! and CONTAIN! czyli steruj, chłódź i lokalizuj (skażenia). Na

tym opierają się specjalne systemy zabezpieczeń CANDU: Shutdown Systems I & II, Emergency Core Cooling, Containment (Dousing) itd. (Systemy wyłączenia I & II, Awaryjne Chłodzenie Rdzenia, Lokalizacja Awarii i Skażeń). Specjalne systemy bezpieczeństwa ulepszano w kolejnych modelach, w miarę zdobywania doświadczeń, także z awarii w elektrowniach jądrowych innego typu. Wszystko to zapewnia odpowiedni zapas bezpieczeństwa.

Zapasy bezpieczeństwa w elektrowniach CANDU były dyskutowane podczas trzeciego spotkania sprawozdawczego Międzynarodowej Konwencji d.s. Bezpieczeństwa Jądrowego w Wiedniu w 2005 roku. Porównano wypadki gwałtownego wzrostu reaktywności w różnych reaktorach (CANDU, PWR i BWR). Szczytowa entalpia paliwa podczas wypadku determinuje uszkodzenie paliwa w różnych typach reaktorów. W wyniku powyższych dyskusji zaproponowano na przyszłość metodologię analizy probabilistycznej BEAU (Best-Estimate and Analysis of Uncertainty), czyli uzyskania najlepszej oceny i analizy niepewności zakładającej rozrzut statystyczny parametrów fizycznych podczas wypadku, nie zaś, że wszystkie parametry będą jednocześnie posiadać najgorsze, możliwe wartości. Kanadyjska Komisja Bezpieczeństwa Jądrowego CNSC opracowała wskazówki w używaniu kryteriów deterministycznych i probabilistycznych RD-152.

Zapasy bezpieczeństwa dla reaktora jądrowego określa się, jako odległość reaktywności szczytowej punktu, w którym nastąpiła awaria od obszaru szybkiej krytyczności (Prompt Criticality) oraz entalpii szczytowej od obszaru topienia się paliwa w rdzeniu (Fuel Melting Region Limit). Określenie i porównanie zapasu (marginesów) bezpieczeństwa ilustrować można wykresem bezwymiarowej szczytowej reaktywności (oznaczonej β) na osi odciętych i bezwymiarowej szczytowej entalpii



Rys. 1. CANDU-6 przypadek wzrostu odniesienia LOCA bezwymiarowej szczytowej entalpii paliwa w porównaniu ze szczytową reaktywnością

Fig. 1. CANDU-6 large LOCA reference case non-dimensional peak fuel enthalpy versus peak reactivity

paliwa na osi rzędnych. Zapas (marginesy) bezpieczeństwa jest dostateczny, jeśli punkt wykresu odpowiadający wypadkowi leży dobrze poniżej poziomej granicy stopnienia paliwa i dobrze na lewo od pionowej granicy szybkiej krytyczności. Na lewo od tej granicy działają pręty wyłączania awaryjnego (Shut-Off Rods) lub pręty sterownicze w PWR-ach SCRAM („Safety Control Rod Axe Man”). [9].

Współczesne reaktory CANDU posiadają dwa szybkie (<2 sec) układy odstawiania (wyłączania awaryjnego) reaktora, całkowicie niezależne od siebie i od systemu regulacji mocy. Elementy każdego z tych dwóch systemów są fizycznie umiejscowione w innych obszarach rdzenia. Pręty odstawiania (awaryjnego wyłączania) reaktora nie mogą zostać wypchnięte, bo wchodzą w przestrzeń niskiego ciśnienia (poduszka z helu nad moderatorem utrzymywana jest pod ciśnieniem minimalnie wyższym od atmosferycznego). Układy bezpieczeństwa posiadają elementy pasywne wykorzystujące grawitację, sprężony gaz, ściśniętą sprężynę itd.

Wysokie ciśnienie, utrata chłodziwa

Istnieje szereg paramentów, których odchylenie powoduje wyłączenie reaktora CANDU (Trip Parameters). Są one zależne od postulowanych awarii. Np. wyłączenie w wyniku wysokiego ciśnienia w pierwotnym obiegu chłodzenia może być spowodowane blokadą przepływu, utratą kontroli reaktywności, utratą kontroli w obszarze wysokiego ciśnienia, albo utratą wody obiegu wtórnego (wody kotłowej). Inne parametry wyłączeniowe to niskie ciśnienie w obiegu pierwotnym chłodzenia, niski poziom w zbiorniku ciśnieniowym (Pressurizer) układu pierwotnego, niski przepływ ciężkiej wody w pierwotnym obiegu chłodzenia, mała różnica ciśnień między kolektorami dopływowymi i odpływowymi reaktora i wreszcie zbyt wysokie wskazania w układzie pomiaru mocy neutronowej.

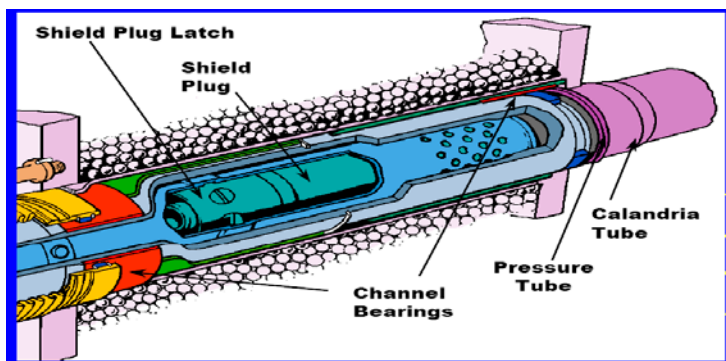
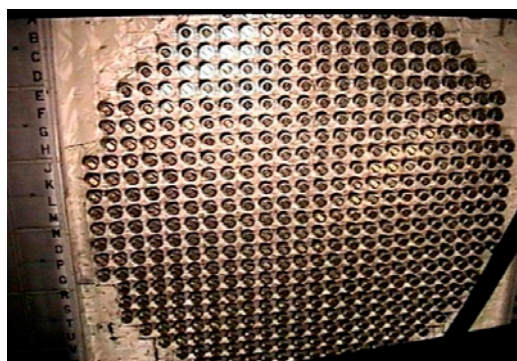
Jedną z najpoważniejszych awarii, jakiej może ulec każda elektrownia jądrowa niezależnie od typu, jest utrata chłodziwa paliwa jądrowego (Loss of Coolant Accident – LOCA). Reaktory CANDU posiadają kilkaset

poziomych kanałów paliwowych, w których rury ciśnieniowe (Pressure Tubes) utrzymują ciężką wodę obiegu pierwotnego pod ciśnieniem około 12 MPa. Są one otoczone rurami o większej średnicy, ograniczającymi przestrzeń ciężkowodnego moderatora (Calandria Tubes).

W NPD i w Douglas Point, pierwszych dwóch elektrowniach typu CANDU, przestrzeń pomiędzy rurami ciśnieniowymi i rurami niskociśnieniowej „beczki” Calandrii (Annulus Space) była otwarta i chłodzona powietrzem. Powodowało to produkcję Argonu 41 podczas ruchu reaktora i związane z tym wysokie pola promieniowania w systemach wentylacji. W nowszych elektrowniach przestrzeń międzyrurową zamknięto (Bellows) i wypełniono gazem, który przepływa przez higrometr. Zwiększona wilgotność świadczy o rozpoczynającym się minimalnym pęknięciu rury ciśnieniowej [Zircaloy-2, Zr-2.5% Nb]. Zanim nastąpi duże pęknięcie i utrata chłodziwa (Loss of Coolant Accident), reaktor będzie wyłączony, a uszkodzona rura będzie wymieniona podczas przestoju remontowego. To rozwiązanie nie tylko podnosi efektywność śledzenia integralności pierwotnego obiegu chłodzenia, ale eliminuje wysokie pola związane z Argonem 41 w przewodach wentylacyjnych. W Pickering A jako gaz międzyrurowy zastosowano azot, ale powodowało to powstawanie węgla C-14 i kwasu azotowego w przypadku zawilgocenia. Optymalnym gazem międzyrurowym okazał się dwutlenek węgla, który zastosowano w następnych modelach reaktorów CANDU.

W przypadku awarii, takiej jak różnego rozmiaru utrata chłodziwa (LOCA), kluczową rolę odgrywa system lokalizacji awarii i skażeń. Chroni on budynki przed nadmiernym wzrostem ciśnienia, a personel, ludność i środowisko przed rozprzestrzenianiem się skażeń radioaktywnych.

Warto zauważyć, że stosowane obecnie „pasywne” metody chłodzenia awaryjnego w nowych blokach PWR (np. AP1000) wykorzystujące grawitację i konwekcję, stosowano od samego początku w niektórych układach systemu CANDU. W pierwszej elektrowni ka-



Fot. 3. 480 kanałów reaktora w Darlington w budowie i rysunek przekroju końcówki kanału (na zdjęciu końcówki nie są jeszcze przymocowane) – (fot. za zgodą OPG 2007).

Photo 3. 480 fuel channels at Darlington NGS and a cross-section of End Fitting (in the picture not attached yet) – (courtesy of OPG 2007)



Rys. 2. Zachowywanie zapasów bezpieczeństwa – obrazek za zgodą OPG 2012

Fig. 2. Protecting Safe Operating Margins – picture courtesy of OPG 2012

nadyjskiej NPD NGS, w przypadku pęknięcia rury systemu pierwotnego (Loss of Coolant Accident – LOCA) powstającą parę szybko skropliłby wtrysk lekkiej wody ze zbiornika umieszczonego na zewnątrz budynku elektrowni. Było to konieczne, aby nie przekroczyć ciśnienia dopuszczalnego struktur betonowych. Woda płynęła do zraszaczy grawitacyjnie ze zbiornika, którego dolna część była zarezerwowana na awaryjne chłodzenie rdzenia. Dodatkowe chłodzenie powypadkowe uzyskać można było drogą konwekcji między reaktorem i wytwornicą pary (thermosyphoning).

W elektrowniach wieloblokowych takich, jak Darlington, zbiornik zraszaczy (Dousing Tank) umieszczono wewnątrz wieży próżniowej lokalizacji skażeń – Vacuum Building. Wieża ta wysysa powietrze z budynków reaktorów i korytarzy wymiany paliwa. Natomiast w elektrowniach jedno lub dwublokowych z blokami CANDU-6, system zraszania powypadkowego (Dousing System) jest zbliżony do oryginalnych rozwiązań z NPD. Obok Dousing (zraszania), częścią Containment System (układu lokalizacji awarii) był w NPD NGS tzw. Reactor Vault Containment Box-up (zamykanie klap wentylacyjnych na dopływie i odpływie powietrza z bunkra reaktora). Podobne awaryjne odcinanie zewnętrznych części układu wentylacji jest nadal stosowane w niektórych systemach współczesnych elektrowni CANDU.

Normalna praca reaktorów CANDU odbywa się w obrębie tzw. wieloboku (koperty) bezpiecznej eksploatacji SOE (Safe Operating Envelope). Oznacza to, że wszystkie parametry fizyczne muszą utrzymywać odpowiedni margines w stosunku do wartości uważanych za limit bezpiecznej eksploatacji. Te limity są ustalone poniżej limitów projektowych konstrukcji (Design Basis), które stanowią granicę SOE. Istnieją następnie marginesy od limitów zezwolenia na eksploatację (li-

mitów 'licencji eksploatacyjnej'), które nie mogą być przekraczane w żadnym wypadku. Jeśli miałyby zostać przekroczone, reaktor CANDU zostaje bezpiecznie odstawiony (wyłączony). Limity licencji operacyjnej leżą poniżej limitów analizy bezpieczeństwa, a te ostatnie poniżej granicy ostatecznej wytrzymałości systemu.

5. Przyszłość CANDU i nie tylko – wnioski

Przez najbliższe 40 lat bloki CANDU będą remontowane i eksploatowane, dostarczając bezpiecznie trochę mniej niż połowę zapotrzebowania energii w Prowincji Ontario. W Kanadzie politycy podjęli decyzję stopniowego odchodzenia od technologii PHWR (CANDU). Istnieje nadal rynek międzynarodowy np. Rumunia czy Argentyna gdzie prawdopodobne jest wybudowanie kilku nowych bloków CANDU 6 lub EC6. Te kraje mają pozytywne doświadczenie eksploatacyjne z PHWR. Własne paliwo – niewzbogacony uran kopalny – to dla nich wystarczająca zachęta, aby kontynuować rozwój elektrowni z blokami kanadyjskimi. W Indiach pracuje bardzo wiele klonów CANDU, a także pionowe reaktory ciężkowodne. Korea Południowa i Chiny nie są obecnie zainteresowane budową kolejnych reaktorów PHWR.

Nie tylko w Kanadzie utrwała się pogląd, że SMR-y są przyszłością energetyki jądrowej. Nowa koncepcja to energetyka zdecentralizowana z małymi reaktorami modułowymi niekoniecznie eksploatowanych przez energetykę zawodową. W skali światowej oznaczałoby to nie tylko odejście od PHWR, ale także od dużych bloków PWR i BWR. Czy SMR-y spełnią pokładane w nich oczekiwania będzie wiadomo za około 20 lat. Rozwój energetyki, nie tylko jądrowej, będzie zależał od sytuacji geopolitycznej. W wyniku sankcji zachodnich i odwetowych posunięć Rosji, samowystarczalność energetyczna stała się w 2022 r. sprawą pierwszoplanowej wagi. Wycofanie się z energetyki atomowej na rzecz gazowej (za zastoną wiatraków energetycznych) postawiło Niemcy w trudnej sytuacji.

*Dariusz Witold Kulczyński,
były pracownik elektrowni jądrowej
Ontario Kanada*

Literatura:

- [1] <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Olkiluoto-3-test-production-to-continue-until-Dece> data dostępu 31-08-2022
- [2] <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Fresh-delay-to-Flamanville-blamed-on-impact-of-pan> data dostępu 31-08-2022
- [3] <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Vogtle-3-approved-to-load-fuel> data dostępu 31-08-2022
- [4] <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/UAE-completes-fuel-loading-at-Barakah-1> data dostępu 31-08-2022

- [5] <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Canadian-SMR-to-offer-once-in-a-generation-economy-data> data dostępu 31-08-2022
- [6] <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/NuScale-Xcel-explore-partnership-for-SMR-operation> data dostępu 31-08-2022
- [7] https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/27/057/27057474.pdf; C5.2 *Issues Pertaining to Electrolytic Hydrogen Production Using Nuclear Power* by E. Jelinski (Ontario Hydro) and J. Stephenson (Ontario Hydro, Retired). Page 82; C5.3 *Nuclear Hydrogen – Co-generation and the Transitional Pathway to Sustainable*
- Development* by G.M. Gurbin (Integrated Energy Development Corp.) and K.H. Talbot (Ontario Hydro) page 83 - International Nuclear Congress, October 3-6,1993, Toronto, Ontario, Canada
- [8] A.J. Muzumdar and D.A. Meneley, "Large LOCA Margins in CANDU Reactors – an Overview of the COG Report", Proceedings of CNS 30th Annual Conference, Calgary, AB, 2009 May 31-June 3.
- [9] Half a century of safe CANDU, D.W. Kulczyński, 2nd International Nuclear Energy Congress, Politechnika Warszawska, 22-24 maja 2012



RAPORT MAPY DROGOWEJ ODZWIERCIEDLA POSTĘPY POLSKO-AMERYKAŃSKIEJ WSPÓŁPRACY NUKLEARNEJ 13 WRZEŚNIA 2022

Stany Zjednoczone i Polska określiły szczegółową dwustronną mapę drogową budowy sześciu dużych reaktorów jądrowych z wykorzystaniem amerykańskiej technologii oraz ramy strategicznej współpracy w zakresie cywilnej energetyki jądrowej.

Raport *Koncepcyjny i Wykonawczy Cywilnej Współpracy Jądrowej* został przekazany polskiej Minister Klimatu i Środowiska Annie Moskwie w Warszawie przez USA za pośrednictwem Departamentu Energii (DOE) i Ambasadora USA w Polsce Marka Brzezińskiego oraz Prezydenta Westinghouse Polska Mirosława Kowalika oraz Dyrektora Generalnego Bechtel ds. energetyki jądrowej Ahmet Tokpinar.

Raport, który spełnia zobowiązanie wynikające z umowy międzyrządowej z 2020 r. w sprawie współpracy w dziedzinie energii jądrowej, odzwierciedla ponad 18 miesięcy intensywnej pracy i miliony dolarów finansowanych przez USA analiz i ocen, poinformowały oba kraje we wspólnym komunikacie prasowym. Potwierdzają go szczegółowe badania Westinghouse i Bechtel dotyczące możliwości spełnienia przez technologię AP1000 oczekiwań Programu Polskiej Energetyki Jądrowej oraz Polskich Elektrowni Jądrowych (PEJ), inwestora budowy elektrowni jądrowych w Polsce. Ostateczny dokument został zrecenzowany przez dwustronny komitet sterujący, któremu współprzewodniczył wice-minister Adam Guibourgé-Czetwertyński z polskiego Ministerstwa Klimatu i Środowiska oraz zastępca sekretarza Departamentu Energii Andrew Light.

„Raport jest ważnym krokiem w kierunku rozwoju silnego cywilnego przemysłu jądrowego w Polsce, który nie emituje dwutlenku węgla i będzie skutkował ko-



Fot. 1. Brzeziński i Moskwa na ceremonii przekazania raportu w Warszawie (fot.: Ministerstwo Klimatu i Środowiska)

lejnym europejskim źródłem energii wolnym od rosyjskich wpływów” – powiedziała amerykańska sekretarz ds. energii Jennifer Granholm.

Raport zostanie wzięty pod uwagę przez polski rząd przy podejmowaniu tej jesieni kluczowych decyzji technologicznych – powiedziała Moskwa. „Rozmieszczenie energetyki jądrowej w Polsce w istotny sposób przyczyni się do rozwoju społeczno-gospodarczego i tego, co ostatnio stało się kluczowe w związku z wybuchem agresji Rosji na Ukrainę – do zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego” – dodała.

Polska planuje mieć energetykę jądrową od około 2033 r. w ramach zróżnicowanego portfela energetycznego, odsuwając ją od silnej zależności od węgla. PEJ wybrała lokalizację w Lubiatowie-Kopalinie jako preferowaną lokalizację dla pierwszego z sześciu dużych zakładów. Ponadto kilka energochłonnych przedsiębiorstw przemysłowych pracuje nad unowocześnieniem zakładów w celu włączenia małych reaktorów modułowych, a reaktory wysokotemperaturowe do przemysłowej produkcji ciepła są od 2016 r. uwzględnione w rządowym projekcie strategii rozwoju.

Opracowane i napisane przez World Nuclear News,
przygotował: Stanisław Latek,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa