

REMONTY KAPITALNE W KANADYJSKICH ELEKTROWNIACH JĄDROWYCH

Canadian Nuclear Power Plant refurbishment

Dariusz Witold Kulczyński

Tematem artykułu jest przedłużanie okresu eksploatacji starzejących się elektrowni jądrowych. Omówiono szczegółowo remonty kapitalne w kanadyjskich elektrowniach jądrowych typu CANDU (PHWR). Zasygnalizowano także zagadnienia związane z wydłużaniem okresu użytkowania reaktorów lekkowodnych, które były tematem dyskusji konferencji Nuclear Power Plant Life Management & Extension w Paryżu w 2015 r.

The article tackles various aspects of life extension of aging nuclear power plants. It describes in detail mid-life refurbishment of Canadian nuclear power plants (CANDU - PHWR). Some aspects of light water reactors life extension discussed at the Nuclear Power Plant Life Management & Extension 2015 in Paris were also mentioned.

Słowa kluczowe: Zapotrzebowanie na energię jądrową, emisja CO₂, przedłużanie [eksploatacji], remonty [kapitalne], CANDU, PHWR, PWR, makieta [reaktora], końcówki [kanałów], kolektory, rury [odpływowe], rury [dopływowe],

Key words: Nuclear power share in power demand, CO₂ emissions, life extension, nuclear [power plant] refurbishment, CANDU, PHWR, PWR, [reactor] mock-up, end [fittings], reactor channels, headers, feeders.

* Słowniczek skrótów znajduje się na końcu artykułu

W ciągu 20 lat poprzedzających awarię w elektrowni Fukushima Daiichi, roczny wzrost energii elektrycznej produkowanej w elektrowniach jądrowych wynosił zaledwie 0,7% podczas gdy zapotrzebowanie na energię elektryczną wzrastało o 2% rocznie. Po Tsunami i związanej z nim awarii, odstawiono szereg bloków w Japonii i w Niemczech co spowodowało spadek produkcji energetyki jądrowej o 4,3% w stosunku do poprzedniego roku 2011 i o 6,9% w roku 2012 [1]. Było to największą zanotowaną redukcją tego źródła wytwarzania elektryczności. W skali światowej, energia elektryczna wytwarzana przez energetykę jądrową wynosiła 17% w 1993 r., a w 2012 r. zaledwie 10,4%. Udział energetyki jądrowej w całkowitym, światowym zapotrzebowaniu (na wszystkie rodzaje) energii wyniósł w 2012 r. tylko 4,5%, najmniej od 1984 r.

Natomiast w wielu jurysdykcjach energetyka jądrowa nadal odgrywa rolę dominującą. Liderem jest tu bezwzględnie Francja, gdzie 75% zapotrzebowania na energię elektryczną pochodzi z elektrowni jądrowych. Największa (pod względem ludności) prowincja kanadyjska Ontario mogłaby osiągnąć podobny wynik, ponieważ udział hydroenergetyki wynosi tu 24,1%. Niestety na skutek kosztownych inwestycji w tzw. „odnawialne źródła energii” (7,1%) udział energetyki jądrowej w Ontario wynosi około 60%. Wiatraki energetyczne i ogniwa słoneczne posiadają bardzo niski współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej i są wspierane przez bloki opalane gazem ziemnym, których udział w zaspokajaniu zapotrzebowania mocy w Ontario wynosi 8,7%.

Stosunek do energetyki jądrowej w jurysdykcjach szczytujących się ograniczaniem emisji CO₂ nie jest automatycznie przyjazny. Tak we Francji, jak i w Ontario planowane jest zredukowanie udziału elektrowni jądrowych do około 50%. Francja ma osiągnąć tę redukcję w ciągu 10 lat, Ontario znacznie wcześniej. Źródłem tych planów jest ograniczenie lub wstrzymanie kosztownych inwestycji co w połączeniu z koniecznością wycofania z eksploatacji wysłużonych elektrowni jądrowych powoduje ich mniejszy udział w zaspokajaniu zapotrzebowania sieci.

W chwili obecnej remonty kapitalne reaktorów przeprowadza się tylko w elektrowniach systemu CANDU (PHWR). Baza projektowa i regulacyjna (zezwoleń) takich elektrowni uwzględniają wymianę części ciśnieniowej reaktorów w połowie okresu eksploatacji. Dyskusja nad planowym wydłużaniem życia istniejących reaktorów lekkowodnych dopiero się rozpoczyna. Obecnie ich remonty przeprowadza się w koordynacji z kampanią paliwową. W reaktorach ciśnieniowych PWR można w szczególnych przypadkach zainstalować nową głowicę, czyli wieko pionowego reaktora z aparaturą sterowania mocy natomiast samego zbiornika ciśnieniowego do tej pory nikt nie starał się wymienić.

Niektóre bloki PWR w USA odstawiano na wiele lat lub przerywano budowę z przyczyn ekonomicznych. Na przykład firma TVA (Tennessee Valley Authority) w 1985 r. wstrzymała budowę bloku 2 w elektrowni Watts Bar. Dopiero w 2007 r. TVA poinformowała federalny dozór jądrowy NRC (Nuclear Regulatory Commission) o wznowieniu budowy. Budowa, testy, i załadunek paliwa zostały zakończone w 2015 r., a więc 30 lat od wstrzymania budowy. Watts Bar 2 będzie pierwszym blokiem jądrowym uruchomionym w USA w XXI wieku. Projekt Watts Bar 2 został oczywiście zmodyfikowany według wymogów międzynarodowej inicjatywy przeglądu i modernizacji (WANO Post-Fukushima Review), o której już pisano na tych łamach. Tym nie mniej jest to technologia jądrowa sprzed trzydziestu lat. Na terenie Stanów Zjednoczonych trwają jednak mniej zaawansowane budowy kilku najnowocześniejszych elektrowni jądrowych np. Vogtle 3, 4 i VC Summer 2, 3 [6].

Niestety w Kanadzie plany nowych bloków w elektrowni Darlington, a także w Bruce zostały odłożone na półkę i zapewne miną dziesięciolecie zanim do tych projektów się powróci.

Obecny 60-cio procentowy udział energetyki jądrowej w prowincji Ontario jest tak wysoki z powodu drastycznego obniżenia zużycia elektryczności po kryzysie finansowym w 2008 r. oraz wskutek przyłączenia do sieci po remoncie kapitalnym dwóch bloków jądrowych w elektrowni Bruce A (Bruce-1

i Bruce-2). Stanowiło to w sumie prawie 1,700 MW. Udział energii jądrowej w zapotrzebowaniu na elektryczność Prowincji Ontario znacznie niebawem spadać, gdyż do remontu kapitalnego szykuje się elektrownia Darlington (4 x 930 MWe). Na razie Rząd Prowincji Ontario wyraził zgodę na remont państwowej elektrowni Darlington (OPG - Ontario Power Generation), ale w następnej kolejności idą bloki w elektrowni Bruce B (4 x 840 MW brutto). Od 2001 r. elektrownie Bruce A i Bruce B są eksploatowane przez prywatną firmę Bruce Power.

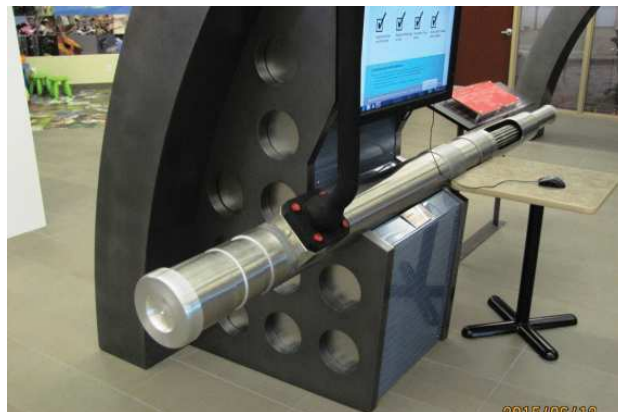
W przyszłym roku do remontu kapitalnego odstawiony zostanie blok 2 elektrowni Darlington o mocy brutto 930 MW(e), a w kolejnych latach bloki 1, 3 i 4. Jednorazowo remont może się odbywać na dwóch blokach, których harmonogramy będą się zazębiać. Bloki w Darlington będą odstawiane do remontu w tej kolejności w jakiej zostały uruchomione na początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku. Remont wszystkich czterech bloków jest planowany na lata 2016–2028. Dlatego firma OPG złożyła podanie o 13-letnie zezwolenie eksploatacyjne - licencję PROL (Power Reactor Operating License). W listopadzie 2015 r., regulator przemysłu atomowego, Kanadyjski Urząd Dozoru Jądrowego (Canadian Nuclear Safety Commission CNSC) rozpoczął przesłuchania publiczne w sprawie tego 13-letniego zezwolenia wśród ludności zamieszkałej w pobliżu elektrowni Darlington.

W reaktorach kanadyjskich, poziome rury ciśnieniowe (Pressure Tubes) są wykonane ze stopu cyrkonu i niobu (Zr-2,5% Nb). Z konieczności są one cienkościennie aby przepuszczać neutrony do obszaru moderatora i z powrotem. Geometria, strumień neutronowy, temperatura i ciśnienie powodują, że rury w reaktorach CANDU wydłużają się i maksymalny okres ich pracy wynosi od 25 do 30 lat (zależnie od mocy i modelu reaktora). Dobrze prowadzona eksploatacja powinna wykluczyć powstawanie pęknięć i korozji rur (stress corrosion cracking) co wymagałoby wcześniejszej wymiany rur i duże straty ekonomiczne związane z przedwczesnym odstawieniem reaktora, którego rury ciśnieniowe są projektowane na 30 lat normalnej eksploatacji. Odpowiednie utrzymanie właściwych parametrów chemicznych w pierwotnym i wtórnym układzie chłodzenia zapewnia trwałość wytwornic pary (Steam Generators), które powinny służyć przez cały 60-letni okres eksploatacji reaktora CANDU. Idealaną sytuacją jest remont kapitalny, w którym wymienia się jedynie rury ciśnieniowe, kolektory i rury dopływowe i odpływowe z kolektorów do kanałów reaktora (Pressure Tube, Header and Feeder replacement).

Taki zakres remontu minimalizuje koszt i skraca całkowity czas odstawienia bloku. Podczas remontu kapitalnego można również wymienić niskociśnieniowe rury moderatora (Calandria Tubes). Dotyczy to reaktorów nowszych, bez zbiorników zrzutowych moderatora. Chłodny moderator pozostaje cały czas w Calandrii, również po wyłączeniu reaktora, co w przypadku poważnej awarii zapewnia, krótkoterminowe, dodatkowe chłodzenie rdzenia w sytuacji przerwy w działaniu długoterminowego chłodzenia awaryjnego.

Jeżeli jednak zakres remontu kapitalnego bardzo się rozszerza, np. wymaga wymiany wytwornic pary (Steam Generators) może zostać podjęta decyzja o zaniechaniu remontu kapitalnego i szybszym wycofaniu bloku z eksploatacji, szczególnie jeśli jest to starsza jednostka o niezbyt dużej mocy (przykład elektrowni jądrowej Pickering o mocy bloku 540 MWe).

Z przyczyn ekonomicznych remont kapitalny może być odroczony nawet o kilkanaście lat po odstawieniu bloku i usunięciu paliwa z rdzenia reaktora (przykład elektrowni Bruce A o mocy bloku 805 MWe). Podczas remontu kapitalnego reaktora typu CANDU przeprowadza się również szereg prac modernizacyjnych innych systemów elektrowni, których zakres jest jednak minimalizowany ze względu na koszt.



Fot. 1. Fragment kanału reaktora – z prawej wiązka paliwowa; Centrum Informacji el. Darlington

Photo 1. Reactor channel, on the right: Fuel Bundle, Darlington INFO Centre



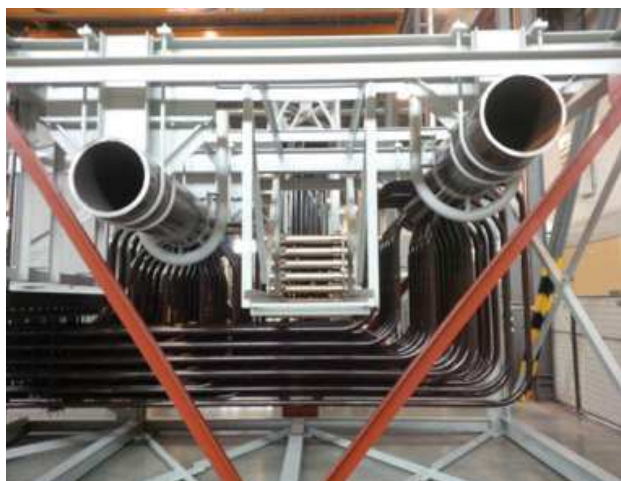
Fot. 2. Makieta Reaktora 2 w elektrowni Darlington (D-2); końcówki kanałów i rury odpływu/dopływu

Photo 2. Reactor mock-up, end fittings & feeders

Planowanie remontu kapitalnego jest wieloletnim i skomplikowanym przedsięwzięciem, które między innymi ustala procentowy udział poszczególnych systemów w pracach remontowych. W przypadku elektrowni Darlington 10% wysiłku (sił i środków) przypadło na projekty wstępne (planowanie, przygotowanie placu budowy, budynek biur i warsztatów z makieta rdzenia reaktora w skali 1:1). Wymiana rur ciśnieniowych, rur niskociśnieniowych przestrzeni moderatora (Calandria Tubes), rur dopływowych i odpływowych z kolektorów do kanałów reaktora to aż 60% prac remontowych. Na usunięcie wiązek paliwowych z kanałów reaktora oraz na remont systemów wymiany paliwa (maszyn przeładowniczych, torów, instalacji elektrycznej, komputerów sterowniczych itd.) przypada 10% sił i środków.

Na przegląd i remont turbogeneratorów oraz wymianę stowarzyszonych regulatorów analogowych na cyfrowe przewidziano 12%. Przegląd, czyszczenie mechaniczne i usuwanie wodą pod ciśnieniem osadu strony wtórnej wytwornicy pary to tylko 4%. Również 4% sił i środków przypadnie na remont lub wymianę elementów pozostałych systemów elektrycznych (takich jak układy gospodarowania ciężką wodą, systemy elektryczne i komputery sterownicze bloków) [2].

Elektrownie wieloblokowe systemu CANDU mają osłony bezpieczeństwa reaktorów i systemów wymiany paliwa jądrowego (Containment) połączone wieloprzekrojowymi kanałami wentylacyjnymi z próżniową wieżą lokalizacji awarii i skażeń (Vacuum Building). Zezwolenia eksploatacji (operating licenses) wymagają, żeby co 10 lat odstawić wieżę próżniową w celu przeprowadzenia inspekcji i ewentualnych napraw. Wiąże się to z koniecznością wyłączenia z ruchu wszystkich bloków elektrowni. Ze względu na wieloletni remont kapitalny elektrowni jądrowej Darlington, firma OPG wystąpiła o wydłużenie okresu przeglądu wieży do dwunastu lat. Wiązało się z tym ilościowe oszacowanie ryzyka przedstawione w urzędzie regulacyjnym CNSC. Na jesieni 2015 r. wszystkie bloki elektrowni Darlington zostały wyłączone w celu przeprowadzenia przeglądu wieży próżniowej (Vacuum Building Outage). Po zakończeniu trwających kilka tygodni prac, bloki zostały uruchomione i zsynchronizowane z siecią. Blok 2 (D-2) zostanie ponownie odstawić i przygotowany do remontu kapitalnego w październiku 2016 r.



Fot. 3. Makieta Reaktora D-2; kolektory i rury odpływowe i dopływowe
Photo 3. Darlington Unit 2 reactor mock-up: headers and feeders



Fot. 4. Końcówki kanałów
Photo 4. Reactor channel end fittings

Remont kapitalny bloku 2 rozpocznie się od usunięcia wszystkich 6240 wiązek paliwowych do basenów składowania paliwa (Spent Fuel Bays). Posłużą do tego te same maszyny przeładownicze (inaczej: roboty wymiany paliwa: Fuelling Machines), których używa się podczas normalnego ruchu bloku. Maszyna taka posiada magazynek (podobny w koncepcji do rewolweru Colta) i tłok do wpychania wiązek do reaktora. Reaktory CANDU budowane są na osi Wschód - Zachód, w związku z czym istnieją dwie maszyny wymiany paliwa wschodnia i zachodnia, które podłączają się do tego samego kanału z obu stron, każda wyciąga korek i wkładkę ekranującą i jedna wpycha dwie wiązki, a druga je odbiera. Następnie magazynki obu maszyn obracają się i proces się powtarza. W każdym kanale magazynka (Fuelling Machine Head Magazine) jest dostatecznie dużo miejsca na umieszczenie dwóch wiązek paliwowych. Główne maszyny paliwowych są naczyniem ciśnieniowym zdolnym do utrzymywania ciśnienia kilkunastu MPa (nominalna wartość ciśnienia kolektora wylotowego reaktorów w elektrowni jądrowej Darlington wynosi 10 MPa). Znajdujące się w magazynku wiązki paliwa jądrowego są przez cały czas chłodzone ciężką wodą D₂O pod ciśnieniem aż do usunięcia ich do basenu zużytego paliwa (Spent Fuel Bay), gdzie rolę chłodziwa przejmuje zdemineralizowana lekka woda H₂O. Ze znajdującego się w ruchu reaktora bloku 2 w Darlington usuwa się dziennie średnio 17 wiązek (zawsze liczba wymienianych wiązek jest parzysta). Podczas normalnej eksploatacji każdy reaktor produkuje około 340 kg wypalonego paliwa dziennie, którego ciepło rozpadu musi być odbierane w basenie zużytego paliwa. Podczas usuwania całego paliwa z reaktora wydajność systemu chłodzenia zużytego paliwa musi być wielokrotnie wyższa co uwzględnia się w przygotowaniach do remontu kapitalnego (modyfikacje). Wynika to bezpośrednio z ilości wiązek paliwowych odprowadzanych do basenów: średnio 17 dziennie podczas normalnej eksploatacji i 6240 wiązek w ciągu kilku tygodni przy remoncie kapitalnym reaktora.



Fot. 5. Końcówki rur ciśnieniowych i rury odpływowe i dopływowe
Photo 5. End fittings and feeders



Fot. 6. Makieta D-2; Płaszczyzna graniczna reaktora, końcówki kanałów i rury odpływu/dopływu

Photo 6. Darlington Unit 2 reactor mock-up; reactor face, end fittings, feeders



Fot. 7. Autor artykułu przed wejściem do pomieszczenia makiety reaktora D-2

Photo 7. The author in front of the D-2 mock-up area entrance

Roboty wymiany paliwa są sterowane komputerowo. Nota bene, wprowadzenie komputerów do systemu wymiany paliwa CANDU w 1967 r. stanowiło pierwsze zastosowanie komputerów sterowniczych w energetyce jądrowej. Podczas normalnej eksploatacji reżim pracy maszyn wymiany paliwa jest zupełnie inny niż przy usuwaniu całego paliwa z bloku przed remontem kapitalnym lub przy wycofywaniu bloku z eksploatacji. Wymaga to innego oprogramowania komputerów. Na potrzeby elektrowni Darlington nowe programy i wymagany sprzęt dostarcza firma GE-Hitachi (dawniej: Canadian General Electric), której oddział mieści się w Peterborough, Ontario, około 100 km na północny wschód od elektrowni jądrowej.

W każdym z 480 kanałów reaktora D-2 znajduje się 13 wiązek paliwowych (fuel bundles). Każda wiązka ma pół metra długości i waży około 20 kg. Wokół 37 elementów paliwowych, zwanych ze względu na podłużny kształt „ołówkami” (pencils) przepływa ciężka woda obiegu pierwotnego chłodzenia. Do usuwania paliwa służą metalowe, ażurowe walce (dummy fuel bundles) identyczne gabarytowo jak wiązki paliwowe, ale oczywiście pozbawione paliwa jądrowego. Niektóre z tych „sztucznych wiązek” w kanałach mają nieco inny kształt (w przybliżeniu stożka ściętego) i ich zadaniem jest tworzenie dodatkowego oporu przepływu. Chodzi o to, żeby przez sztuczne wiązki przepływała ta sama ilość chłodziwa co przez trzynaście normalnych wiązek paliwowych w kanale. Po usunięciu całego paliwa z reaktora następuje wypompowanie ciężkiej wody z pierwotnego układu chłodzenia (PHT- Primary Heat Transport System) oraz z układu moderatora. Ponieważ zawartość D_2O w pierwotnym układzie chłodzenia (heat transport system D_2O isotopic) wynosi 97–98%, a moderatora powyżej 99,75% D_2O , płyny z tych systemów są kierowane do osobnych zbiorników. Wymaga to dodatkowych modyfikacji systemów gospodarki ciężką wodą (Heavy Water Management Systems), które w elektrowni jądrowej Darlington współpracują z instalacją usuwania trytu. Do chwili rozpoczęcia wymiany kanałów reaktora CANDU należy więc usunąć paliwo, ciężką wodę, a także dwutlenek węgla z przestrzeni pierścieniowej (Annulus Gas System). CO_2 wypełnia przestrzeń pomiędzy rurami ciśnieniowymi układu chłodzenia pierwotnego i rurami Calandrii (czyli obszarem moderatora). Podczas normalnej eksploatacji higrometry badają wilgotność dwutlenku węgla w celu wczesnego wykrycia potencjalnej nieszczelności.

Wymiana rur ciśnieniowych, rur dopływowych i odpływowych z kolektorów do kanałów reaktora (Pressure Tubes and Feeders), wreszcie niskociśnieniowych rur ograniczających przestrzeń moderatora (Calandria Tubes) jest w wysokim stopniu zrobotyzowana. Roboty przemysłowe zakleszczają się na kolejnych kanałach reaktora po czym wycinają i wyciągają odpowiednie elementy. Jest to nie tylko szybsze niż przeprowadzanie tych prac przez mechaników, ale znakomicie ogranicza dawkę promieniowania jaką otrzymuje personel remontowy. Przed zastosowaniem robotów do wymiany rur ciśnieniowych, prace wykonywano za pomocą narzędzi przy użyciu skomplikowanych systemów osłon w celu zabezpieczenia przed promieniowaniem. Roboty specjalistyczne do prac remontowych produkuje kilka firm kanadyjskich, między innymi firma Pro-mation Nuclear, której prezesem jest mgr inż. Mariusz Zimny, absolwent Politechniki Wrocławskiej. Moc reaktorów CANDU jest regulowana przez dwa komputery – aktualnie sterujący blokiem komputer podstawowy i drugi, pozostający w tzw. stanie „gorącej rezerwy” (hot standby). Jeśli podstawowy komputer blokowy się zawiesi, jego funkcje przejmuje komputer rezerwowy. Jeśli oba się zawieszą następuje automatyczne odstawienie bloku. Program regulacji mocy reaktora zmienia poziom lekkiej wody (czyli negatywnej reaktywności) w 14 zbiornikach wodnych (Liquid Zone Control) i reaguje na zmiany strumienia neutronów. Bez sprawnych komputerów blokowych praca reaktorów CANDU nie jest możliwa. Uruchomiona w 1990 r. elektrownia jądrowa Darlington używa komputerów PDP-11 konstrukcji nieistniejącej już od szeregu lat firmy DEC (Digital Equipment Corporation). Te minikomputery z lat siedemdziesiątych są stosunkowo dobrze znane starszej genera-

cji polskich informatyków ponieważ były masowo stosowane w Hucie Katowice. Jeżeli firma nie istnieje to zakup części zamiennych staje się z biegiem lat niemożliwy. Z kolei całkowita zmiana oprogramowania komputerów blokowych na potrzeby współczesnej platformy fizycznej (contemporary computer hardware) jest zadaniem zbyt kosztownym i ryzykownym aby skorzystał z niego w przypadku remontu kapitalnego elektrowni CANDU (mid-life refurbishment). W elektrowni jądrowej Darlington wybrano zatem rozwiązanie wymiany procesorów i pamięci komputerów blokowych z zastosowaniem rozwiązań technologicznych końca pierwszej dekady XXI wieku. Jednocześnie, zastosowana elektronika (hardware) zachowuje się funkcjonalnie identycznie do systemu PDP-11 z lat siedemdziesiątych (original hardware emulation). Dzięki temu nie jest konieczna zmiana oprogramowania komputerów blokowych.

W podsumowaniu: remont kapitalny bloku systemu CANDU (PHWR) polega na usunięciu paliwa, chłodziwa, wymiany kanałów reaktora, rur i kolektorów, czyszczenia wytwornic pary, wymiany zużytych maszyn przeładowniczych i ich układów wspomagających, modernizacji lub wymiany komputerów sterowniczych bloków i komputerów robotów wymiany paliwa. Dodatkowo, korzystając z długiego okresu odstawienia bloku wymienia się inne zużyte elementy, także w układach konwencjonalnych. Po uzyskaniu nowego zezwolenia na eksploatację następuje załadunek świeżego paliwa, kompensacja moderatora (Bor, Gadolin) i rozruch.

Remont kapitalny reaktorów CANDU jest zadaniem pochłaniającym miliardy dolarów i od jego powodzenia zależy los firm eksploatujących elektrownie jądrowe. O sukcesie decyduje szybkość, terminowość i jakość prac remontowych. Dlatego sprawą podstawowej wagi jest przećwiczenie większości czynności remontowych na makiecie czyli zanim rozpoczną się czynności remontowe w bunkrach reaktorów w obecności promieniowania jonizującego. Już 31 marca 2014 r. uruchomiono centrum treningowe i oddano do użytku makietę reaktora D-2 (Darlington Energy Complex Reactor Mockup Training Facility). Od początku 2015 r. makiety reaktora używa się do sprawdzania sprzętu, w tym robotów i do szkolenia mechaników i kierowników ekip remontowych.

Wysoki koszt budowy najnowocześniejszych elektrowni jądrowych skłania także firmy energetyczne poza Kanadą do przyjrzenia się metodom przedłużania życia znajdujących się obecnie w ruchu bloków jądrowych. Na początku listopada 2015 r., w Paryżu odbyła się międzynarodowa konferencja na temat planowania i przedłużania okresu eksploatacji reaktorów i związanymi z tym obawami społeczeństwa. Dyskusja objęła następujące zagadnienia: oszacowanie ryzyka związanego ze starzejącymi się blokami jądrowymi, wyzwanie stawiane przez remonty bieżące, przedłużanie zezwoleń (licencji) na eksploatację, zasady finansowania wydłużania życia bloków jądrowych, szkolenie kadr w przemyśle jądrowym i wreszcie udział energetyki jądrowej w zaspokajaniu zapotrzebowania sieci państw członkowskich Unii Europejskiej.

Dariusz Witold Kulczyński, P. Eng.

* *Słowniczek skrótów*

CANDU – Canada-Deuterium – Uranium (reaktor ciśnieniowy ciężkowodny produkcji kanadyjskiej używający jako paliwa uranu naturalnego), to samo co PHWR (Pressurized Heavy Water Reactor)

PWR – Pressurized Water Reactor (reaktor ciśnieniowy lekkowodny używający jako paliwa uranu wzbogaconego)

TVA – Tennessee Valley Authority, duża amerykańska firma energetyczna eksploatująca reaktory PWR

WANO – World Association of Nuclear Operators – Światowe Stowarzyszenie Operatorów Elektrowni Jądrowych

OPG – Ontario Power Generation Inc. duża kanadyjska firma energetyczna eksploatująca reaktory PHWR (CANDU)

CNSC – Canadian Nuclear Safety Commission – Kanadyjska Komisja Bezpieczeństwa Jądrowego – kanadyjski urząd regulacyjny przemysłu atomowego - (w nomenklaturze polskiej nazywany także- Kanadyjskim Urzędem Dozoru Jądrowego)

PHT - Primary Heat Transport System – pierwotny układ chłodzenia reaktora

DEC – Digital Equipment Corporation duża amerykańska firma komputerowa (1957 do 1998). Została wykupiona przez firmę Compaq, która w 2002 roku połączyła się z firmą Hewlett-Packard. Część DEC zajmująca się kompilatorami została przejęta przez Intel.

References:

- [1] The Nuclear Power Sector dim prospects (by National Bank Financial, 2013); NBF_GP13M16_E_.pdf
- [2] Darlington Refurbishment Newsletter, Spring 2015; Ontario Power Generation
- [3] DarlingtonRefurb_PerformanceReport_July2014.pdf
- [4] <http://www.promation.com/nuclear-division/reactor-custom-tooling/2015>
- [5] Nuclear Power Plant Life Management & Extension 2015: <http://v11.vuturvev.com/exchange-sites/Whitmore%20Group/59/events-pdfs-eu/en11-mktg-agenda.pdf>
- [6] Nuclear Power in the USA <http://world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-T-Z/USA–Nuclear-Power/2015>

NOTKA O AUTORZE:

mgr inż. Dariusz Witold Kulczyński jest absolwentem VI L.O. im. Tadeusza Reytana. Ukończył Wydział Elektryczny Politechniki Warszawskiej w 1977 r. Od 1981 r. przebywa w Kanadzie, gdzie przez 33 lata pracował w pionie technicznym elektrowni jądrowych z ciężkowodnymi reaktorami CANDU (przez 6 lat w szkoleniu i w elektrowni jądrowej NPD w Rolphton, a przez kolejne 27 lat w elektrowni jądrowej Darlington: 4 x 930 MWe). 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). Autor artykułu należy do osób czynnie włączających się w dyskusję o energetyce jądrowej w Polsce. Wygłosił w Polsce szereg wykładów; był m.in. prelegentem na konferencji NOT „Rozwój energetyki atomowej w Polsce” w grudniu 2007r. i na II Kongresie Energetyki Jądrowej na Politechnice Warszawskiej 22-24 maja, 2012. Dwukrotnie wygłaszał także referaty na Konferencjach Gospodarczych Polonii (2004 i 2012). Jest autorem przeglądu Programu Polskiej Energetyki Jądrowej dla Nuclear Engineering International Magazine (artykuł „Planning for a Nuclear Poland” NEI, April, 2014).