

JAK ZREALIZOWAĆ PROGRAM POLSKIEJ ENERGETYKI JĄDROWEJ (PPEJ)

How to implement the Polish Nuclear Power Program (PPEJ)

Dariusz Witold Kulczyński

Streszczenie: W artykule porównano wersje 2020 i 2014 Programu Polskiej Energetyki Jądrowej i przedstawiono krótką charakterystykę reaktora AP1000. Podano źródła informacji, które mogą być pomocne przy ocenie generalnego wykonawcy, poddostawców i przy formułowaniu kontraktu. Wyliczono potencjalne zagrożenia w okresie budowy, rozruchu i eksploatacji elektrowni jądrowej ilustrując je przykładami opartymi na doświadczeniach autora. Podkreślono znaczenie przejrzystości harmonogramów (PERT). Omówiono cechy dobrze zorganizowanej dokumentacji i szkolenia oraz przedstawiono przykłady właściwie i niewłaściwie realizowanych przedsięwzięć. Podkreślono znaczenie stabilności struktur organizacyjnych. Zaproponowano zorganizowane przekazywanie wiedzy opartej na doświadczeniu zawodowym przez starsze pokolenia polskich specjalistów.

Abstract: The article briefly discusses the differences between the Polish Nuclear Power Programme update of 2020 and its 2014 version. A short characteristic of the AP1000 reactor was provided. Sources of information helpful in the assessment of the main contractor and subcontractors were listed. The importance of precision in contract language was stressed. Potential threats to the successful implementation of nuclear power were enumerated and illustrated by the author's own experience. The importance of easily readable work plans (PERT) was stressed. The author discussed some features of well-organized documentation and training. Examples of well-run and poorly run projects were offered. Warning against unnecessary reorganization of nuclear business was presented. The orderly transfer of knowledge of the Baby Boomer generation of Polish ex-pats employed in the nuclear industry was suggested.

Słowa kluczowe: PWR, AP1000, HUALONG ONE, AP1400, Westinghouse, CANDU®, PHWR, ASME Section III, PERT, Darlington, TRF, ABB, AECL, Ontario Hydro, OPG, BBC, Boeing, Davis-Besse, bor

Keywords: PWR, AP1000, HUALONG ONE, AP1400, Westinghouse, CANDU®, PHWR, ASME Section III, PERT, Darlington, TRF, ABB, AECL, Ontario Hydro, OPG, BBC, Boeing, Davis-Besse, Boron

Nowy i stary Program Polskiej Energetyki Jądrowej (PPEJ)

Polityka Unii Europejskiej wymaga od krajów członkowskich drastycznej redukcji emisji dwutlenku węgla. Jedynym praktycznym sposobem, aby to osiągnąć, jest wybudowanie odpowiedniej ilości bloków jądrowych. Tylko to może zapewnić utrzymanie bezpieczeństwa energetycznego Polski po wycofaniu z eksploatacji elektrowni węglowych.

Uchwała Rady Ministrów Nr 141 z 2 października 2020 r. zaktualizowała Program Polskiej Energetyki Jądrowej. Zakłada on uruchomienie w Polsce dwóch elektrowni jądrowych, po 3 bloki każda, o łącznej mocy pomiędzy 6000 a 9000 MWe. Pierwszy blok ma być uruchomiony w 2032 r., a ostatni (szósty) w roku 2042.

PPEJ wersja 2020 ogranicza rodzaj technologii jądrowych do dużych bloków opartych na ciśnieniowych reaktorach lekkowodnych (PWR). Zakres postulowanej mocy obu elektrowni od 6 do 9 GWe zakłada możliwość wyboru AP1000 Westinghouse'a, francuskiego EPR, jak również chińskich lub południowo-koreańskich reaktorów (HUALONG ONE lub AP1400) ¹.

Program Polskiej Energetyki Jądrowej 2020 ma 69 stron w stosunku do 152 stron programu zatwierdzonego w styczniu 2014 r. Jest bardziej zwięzły, wytycza kierunek: PWR, nie BWR czy PHWR (CANDU), ale w stosunku do planów z 2014 r. przesuwają znacznie datę rozruchu pierwszego bloku jądrowego. Dla przypomnienia PPEJ 2014 zakładał 6000 MWe mocy jądrowej do roku 2035, z czego pierwszy blok miał pracować już w 2025 r. PPEJ 2014 podawał obszerną listę różnych lokalizacji sporządzaną od lat osiemdziesiątych. Najlepszą lokalizacją dla elektrowni jądrowej był Żarnowiec (65,5 na 70 możliwych punktów). Następna w kolejności była niezbyt odległa od Żarnowca miejscowość Lubiatowo-Kopalino w gminie Choczewo z wynikiem 51 na 70.

Według załącznika Nr 1 (harmonogram) do PPEJ 2020 już w 2022 r. ma nastąpić zatwierdzenie lokalizacji dla pierwszej elektrowni jądrowej, a dla drugiej w roku 2028.

Jaki reaktor

Do końca 2021 r. ma nastąpić wybór reaktora. Ponieważ Polska podpisała wieloletnią umowę o współpra-

cy w dziedzinie energetyki jądrowej z USA, najbardziej prawdopodobny jest blok Westinghouse'a AP1000. Jego planowana moc netto wynosi 1117 MWe. Ilościowo pasuje on dobrze do całkowitej mocy przyłączonej do polskiej sieci elektroenergetycznej.

W stosunku do wcześniejszych modeli Westinghouse'a AP1000 posiada wiele zalet: o jedną trzecią mniej pomp, o połowę mniej zaworów mających wpływ na bezpieczeństwo ruchu, aż 80% mniej rurociągów o podobnym znaczeniu i o 85% mniej kabli sterowniczych. Wreszcie, objętość budynków sejsmicznie kwalifikowanych dla AP1000 jest o 45% mniejsza. Awaryjne chłodzenie rdzenia ma system tzw. „pasywny”, czyli woda spływa do rdzenia ze zbiornika umieszczonego nad reaktorem w wyniku grawitacji. Po 72 godzinach zbiornik trzeba napełniać wodą. System posiada zawory, które nie wymagają sprężonego powietrza ani napędu hydraulicznego, a wyłącznie zasilania prądem stałym. Należy jednak zdawać sobie sprawę, że konstrukcja AP1000 jest dynamiczna. Kolejne wersje Dokumentu Projektowego AP1000 (Westinghouse Design Control Document) podlegają kontroli przez amerykańską agencję bezpieczeństwa jądrowego (NRC)¹³.

Rzeczywiste możliwości partnera strategicznego i poddostawców

Przemysł jądrowy bardzo źle znosi wieloletnie przerwy w zamówieniach na nowe obiekty. Wprowadzenie dodatkowych zabezpieczeń reaktorów po awariach w Czarnobylu i w Fukushima podniosło koszt energii jądrowej. W połączeniu z anty-nuklearnymi nastrojami społeczeństwa wiele państw, prowincji i stanów zrezygnowało z nowych elektrowni. W rezultacie firmy zwalniały personel, a niektóre nawet ogłosiły bankructwo. Nadal jednak prezentują bardzo optymistyczny obraz ich możliwości w dokumentach marketingowych. Podstawowe pytanie powinno dotyczyć budów/rozruchów bloków jądrowych w ostatnim pięcioleciu na obszarze podstawowym działania firmy. Westinghouse'a należy więc zapytać o przedsięwzięcia zrealizowane w USA⁴.

Pomocą w ocenie realnych możliwości firm może być doświadczenie Polaków, którzy przez dziesięciolecia zajmowali się realizacją wielkich przedsięwzięć budowlanych i rozruchem

elektrowni jądrowych. Przebywający od kilku lat na emeryturze, lecz wciąż aktywny zawodowo, inż. Jerzy Parkitny¹ był kierownikiem działów inżynierii sprzętu i systemów (*Manager Equipment & Products Engineering*) w państwowej firmie AECL². Po jej prywatyzacji pracował w Candu Energy Inc. Mgr inż. Jerzy Parkitny, absolwent Wydziału Mechaniczno-Energetycznego Politechniki Śląskiej, zaczynał karierę zawodową od projektowania urządzeń obiegu pierwotnego dla Żarnowca. W Kanadzie kierował przygotowaniem specyfikacji najważniejszych urządzeń jądrowych dla elektrowni CANDU 6 Cernavoda 2 w Rumunii. Prowadził nadzór ich budowy, instalacji i rozruchu. Był również zaangażowany w operację wymiany wytwornic pary bloku CANDU 6 w elektrowni Embalse w Argentynie. Zajmował stanowiska kierownicze na prestiżowych budowach reaktorów CANDU-6 Wolsong 2,3 & 4 w Korei Południowej i w Qinshan Phase III (blok 1 & 2) w Chinach. Te budowy zakończono przed terminem i wydatkowano mniej środków, niż planowano.

Kluczem do sukcesu, jaki produkt AECL odniósł w Korei Płd., w Chinach i w Rumunii była pełna integracja oraz kontrola wszystkich elementów mega-projektu. Dotyczyło to specyfikacji technicznych, kontroli jakości produkcji oraz instalacji. Równie ważne były terminowe dostawy urządzeń produkowanych w różnych krajach. Transfer technologii do krajów, które budowały elektrownie CANDU był ważnym elementem tych kontraktów. Prowadzono bardzo dokładną kontrolę jakości produkowanych urządzeń. Dzięki doświadczonej kadrze inżynierijno-technicznej oraz formalnemu systemowi przekazywania doświadczeń z budowy na budowę, bloki CANDU 6 były uruchamiane zgodnie z harmonogramem i kosztorysem. W ramach obowiązków służbowych inż. Jerzy Parkitny śledził także postęp technologiczny reaktorów typu PWR oraz BWR.

Wysoce niekompetentne rządy prowincji Ontario i władze federalne w Ottawie doprowadziły w 2013 r. do zaniechania budowy nowych elektrowni jądrowych.



Fot. 1. Elektrownia jądrowa Darlington bloki 2, 3 i 4 oraz wieża próżniowa lokalizacji awarii, (zezwoleń OPG 2007)

Photo. 1. DNGS units 2, 3, 4 and Vacuum Building (courtesy of OPG 2007)



Fot. 2. Maszynownia elektrowni jądrowej Darlington (zezwoleń OPG 2007)
Photo. 2. Darlington turbine hall (courtesy of OPG 2007)

wych. Kanadyjska ekspertyza jądrowa ocalała dzięki remontowi kapitalnemu elektrowni Darlington (4 x 930 MWe brutto).

Wymiana 480 kanałów paliwowych bloku D2, połączona z wymianą niektórych innych urządzeń, została przeprowadzona terminowo i bez przekroczenia kosztów. Obecnie remontowany jest blok D3, a następnie D1 i D4. Jako ciekawostkę można wspomnieć, że wirnik do generatora BBC (1100 MVA) wykonano w Polsce (GE, d. Dolmel). Remonty kapitalne rozpoczną się niebawem także w elektrowni Bruce A i B. Ich 8 bloków łącznie stanowi największą pracującą elektrownię jądrową na świecie. Tego typu przedsięwzięcia wymagają wsparcia inżynierskiego oraz dobrze działającej sieci dostawców i poddostawców. Sukces remontu bloku D2 zademonstrował, że infrastruktura przemysłu jądrowego w Kanadzie jest sprawna.

Wiedza do dyspozycji polskich władz i firm związanych z PPEJ

W grudniu 2006 r. autor spotkał się z drem Piotrem Naimskim, wówczas Podsekretarzem Stanu w Ministerstwie Gospodarki. Jedną z omawianych metod wdrażania polskiego programu jądrowego było wysyłanie grup polskich specjalistów z różnych dziedzin do pracy w elektrowniach jądrowych i przedsiębiorstwach towarzyszących. Nie chodziło o zwiedzanie obiektów tylko o wykonywanie zadań w ramach istniejących organizacji. W Kanadzie jest to znane pod nazwą „on the job training” (szkolenie przez pracę).

Warto zauważyć, że wszystkie obiekty jądrowe funkcjonują podobnie niezależnie od rodzaju technologii. Na przykład spawy w części jądrowej elektrowni muszą spełniać wymagania ASME Section III³ i być wy-



Fot. 3. Symulator nastawni bloku D2 (zezwoleń OPG 2007)
Photo. 3. Darlington D2 Control Room simulator (courtesy of OPG 2007)



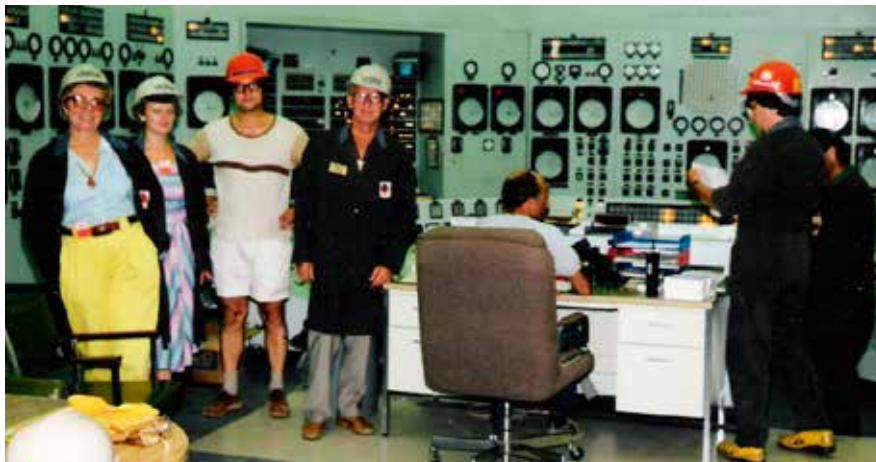
Fot. 4. Minister Piotr Naimski i autor – Ministerstwo Gospodarki grudzień 2006 r.

Photo. 4. Minister Piotr Naimski and the author – Ministry of Economy December 2006



Fot. 5. Autor z żoną przed pierwszą elektrownią atomową w Kanadzie NPD NGS (1985)

Photo. 5. The author and his spouse in front of the first nuclear power plant in Canada NPD NGS, Rolphton ON (1985)



Fot. 6. Autor z gośćmi w nastawni -sterowni blokowej NPD NGS (1987)

Photo. 6. The author with the guests in the NPD NGS control room (1987)

konywane według odpowiednich instrukcji spawalniczych. W 1984 r., gdy autor pracował w elektrowni NPD NGS, instrukcja spawalnicza (*Ontario Hydro NPD NGS Welding Manual*) składała się z kilkunastu segregatorów zajmujących kilka półek biblioteczki. Były to bardzo przejrzyste dokumenty z rysunkami do selekcji elektrod i ich właściwego używania. Proces szkolenia kadr dla polskich elektrowni jądrowych należy zaplanować i wdrożyć jak najszybciej biorąc pod uwagę rotację pokoleń w czasie wieloletniej realizacji PPEJ.

Wspomniany poprzednio mgr inż. Jerzy Parkitny napisał w ubiegłym roku obszerny raport pt. *Westinghouse AP1000 Constructability Briefing*. Napisał go po angielsku, w języku powszechnie używanym w energetyce jądrowej i w negocjacjach kontraktowych. Raport inż. Parkitnego był recenzowany i uzupełniony przez inż. Edwarda C. Shyolskiego – emerytowanego

wiceprezesa Bechtel Corporation⁴. Kolejnymi recenzentami byli: dr inż. Stefan Doerffer – emerytowany kierownik działu Bezpieczeństwa i Zezwoleń w AECL (*Safety and Licesing Manager*), kiedyś wykładowca Politechniki Gdańskiej oraz dr inż. Maria (John) Pietralik – wysokiej rangi pracownik naukowy AECL (obecnie na emeryturze). W grudniu 2020 r. inż. Parkitny przesłał swój raport do Ministerstwa Klimatu oraz do instytucji związanych z PPEJ. Grupa rządowo-inżynierska realizująca polski program jądrowy powinna

mieć wiarygodny obraz potencjału rodzimego przemysłu oraz możliwości partnera strategicznego.

Sukces i przeszkody w realizacji PPEJ

Elektrownia jądrowa powinna pracować pełną mocą przez 24 godziny na dobę, 365 dni w roku, czyli osiągać stuprocentowy współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej (*capacity factor*). Jeżeli blok nie pracuje, bo jest nadal w budowie albo jest odstawiony z powodu uszkodzenia sprzętu czy braku personelu, wtedy oczywiście wyżej wymieniony współczynnik jest równy zeru.

Terminowe oddanie bloku do eksploatacji, bezawaryjne i bezpieczne prowadzenie ruchu i wymagana ilość odpowiednio wykwalifikowanego personelu to

przepis na sukces. Niektóre zagrożenia w jego osiągnięciu wymienione są poniżej:

1. Nieprecyzyjnie spisany kontrakt (kontrakty),
2. Niekompletna, nieczytelna lub wadliwa dokumentacja projektowa lub wykonawcza,
3. Niekompetentny lub źle nadzorowany generalny wykonawca,
4. Niekompetentny lub źle nadzorowany dostawca (poddostawca) sprzętu,
5. Nieterminowe dostawy,
6. Niekompetentny lub źle nadzorowany personel budowlany,
7. Brak odpowiednio przeszkolonego personelu eksploatacyjnego, remontowego i inżynierskiego,
8. Nieprzewidziane problemy przy rozruchu,
9. Brak zaplecza naukowo badawczego wspierającego eksploatację elektrowni jądrowej,
10. Awarie w trakcie eksploatacji,
11. Zmiany struktury organizacyjnej,
12. Zawieszenie zezwolenia na eksploatację elektrowni jądrowej w wyniku poważnej awarii lub emisji materiałów radioaktywnych.

Podczas 33 lat pracy w kanadyjskich elektrowniach jądrowych autor artykułu pomyślnie zrealizował szereg przedsięwzięć. Jednym z nich była wymiana komputerów generujących informacje na ekranach operatora (interfejs) i komputerów sterowniczych instalacji usuwania trytu TRF⁵. Dostawca komputerów i dokumentacji projektowej (Bailey/ABB), który zbyt optymistycznie wycenił swoje usługi, usiłował uniknąć zaprojektowania kluczowych połączeń elektrycznych. Chodziło o podłączenie do komputerów sterowniczych wejść z czujników i wyjść do sterowników zaworów, pomp i kompresorów; w sumie około 6 tysięcy sygnałów. ABB chciało pozostawić połączenia pomiędzy listwami zaciskowymi kabli i zaciskami komputerów do wykonania przez Ontario Hydro/OPG¹⁵. Spowodowałyby to kolosalne opóźnienia w ponownym uruchomieniu instalacji koniecznej do pracy całej elektrowni 4 x 930 MW. Na szczęście dla Ontario Hydro (i oczywiście dla autora tego artykułu odpowiedzialnego za projekt) kontrakt z ABB zawierał precyzyjne sformułowanie, że połączenia „na lewo od listew zaciskowych kabli do zacisków komputerów” mają być zaprojektowane przez dostawcę.

Niesłychanie ważna jest przejrzystość i precyzja dokumentacji. Elektrownie CANDU posiadają system identyfikacji systemów i struktur umożliwiający określenie przynależności nawet tak małych elementów, jak śruby. Pięciodziesięciodziesiąt SCI⁸ lub USI można rozszerzać i dodawać za pomocą myślnika do symboli alfanumerycznych takich jak P1 (pompa numer 1). I tak ciąg cyfr 33100 opisuje główny obwód chłodzenia pierwotnego, 33110 to wytwornice pary (*Steam Generators*), a 40005 oznacza główny system parowy

turbiny. Komputery instalacji usuwania trytu TRF mają SCI 69791.

System SCI/USI świetnie zdaje egzamin w dokumentacji projektowej, wykonawczej i ruchowej (tzw. *flowsheets*) elektrowni systemu CANDU. Warto zażądać, aby podobnie uniwersalny system znakowania układów i sprzętu został przyjęty w dokumentacji polskich elektrowni jądrowych.

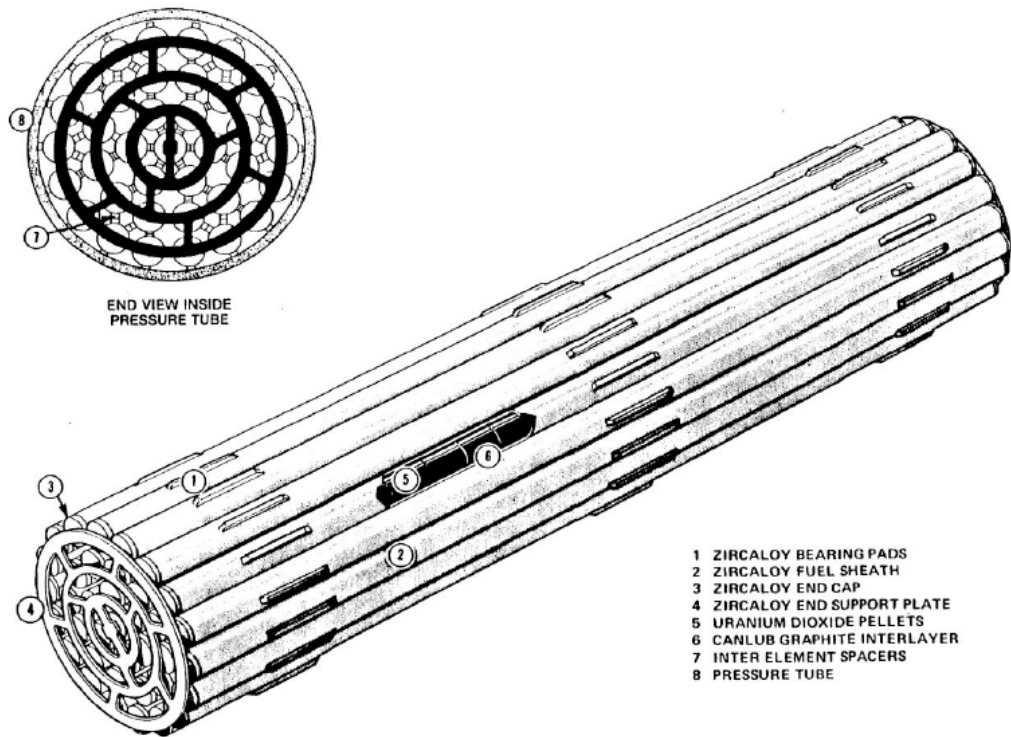
Zezwolenie na eksploatację elektrowni jądrowej (*Operating License*) zakłada dostateczną ilość personelu ruchowego, remontowego i inżynierskiego. Jeżeli z jakichś powodów stan załogi nie spełnia tych wymogów (*less than minimum Staff complement*) urząd regulacyjny może zawiesić zezwolenie na prowadzenie ruchu bloku jądrowego i nakazać jego odstąpienie. Dlatego konieczny jest dobrze funkcjonujący program szkolenia bieżącego i autoryzacji personelu. W Ontario Pierwsi Operatorzy i Inżynierowie Dyżurni Ruchu muszą zdać szereg egzaminów państwowych, także tych praktycznych z użyciem symulatora nastawni blokowej. Z doświadczenia 33 lat, najlepszy system szkolenia to zajęcia w klasach pod kierunkiem instruktorów. Autor ma duże zastrzeżenia do indywidualnych kursów komputerowych CBT⁶. Jest to szczególnie nieskuteczne przy nauce ochrony radiologicznej.

Mniejsze i większe problemy przy rozruchu należy przewidywać i harmonogram prac musi zawierać planowanie awaryjne (*contingency planning*). Konieczne jest wsparcie specjalistycznego zaplecza inżyniersko-naukowego.

Podczas rozruchu elektrowni Darlington zaobserwowano pęknięcia uzwojeń wirników generatorów synchronicznych. BBC musiało zmienić konstrukcję rotorów i dostarczyć pięć nowych (po jednym na każdy blok i jeden zapasowy).

Wkrótce po uruchomieniu bloku D2 (15 stycznia 1990 r.), zaobserwowano poważną awarię w części jądrowej elektrowni. Pękały talerze wsporcze wiązek paliwowych (*fuel bundles*). Rozpadająca się wiązka jest rzeczą niedopuszczalną, gdyż może uszkodzić maszyny przeładownicze (*Fuelling Machines*) lub kanał reaktora (*Pressure Tube*), a nawet spowodować skażenie środowiska. Przyczyną pęknięcia wiązek paliwowych był rezonans przy częstotliwości około 150 Hz; wynik pulsacji pięcio-łopatkowych pomp chłodzenia obiegu pierwotnego PHT⁷. Autor artykułu pracował przy systemie monitorowania wibracji końcówek kanałów reaktora. Zamówione zostały siedmio-łopatkowe wirniki pomp obiegu pierwotnego, co wyeliminowało problem rezonansu.

W latach 1990-1991 tj. podczas rozruchu bloków D2 i D1 Ontario Hydro było zintegrowaną firmą energetyczną (generatory, sieć, ośrodki badawcze i wsparcia inżynierskiego). Jednak zmiana konstrukcji wirników generatorów i pomp oznaczała potężne straty przesto-



Fot. 7. 37 elementowa wiązka paliwowa elektrowni jądrowej Darlington
Photo. 7. 37 element Fuel Bundle DNGS

jowe. W przypadku nowego modelu reaktora, a takim były bloki w Darlington, nie wszystko można obliczyć i przewidzieć wcześniej. W kolejnych latach pracy elektrownia Jądrowa Darlington osiągnęła najwyższy stopień w rankingu INPO¹⁴, a we wrześniu 2020 r. blok D1 przepracował bez wyłączenia 962 dni, ustanawiając światowy rekord ciągłej pracy.

Dokumentacja budowlano-montażowa i harmonogramy muszą być kompletne i przejrzyste żeby zapewnić planowe oddanie bloku do eksploatacji. Jednak każde odstawienie bloku, planowe czy awaryjne, powoduje poniekąd powtórzenie budowy i rozruchu tylko w dużo mniejszej skali. Wielkie budowy okresu przed komputerowego pomyślnie realizowano na podstawie schematów PERT⁹. Wykonawcy i koordynator widzą od razu, co musi być wykonane najpierw, co można robić równolegle i jaka jest ścieżka krytyczna. Metodologia ta ma zastosowanie podczas budowy, remontu, eliminacji awarii i przy rozruchu. Współczesne komputery umożliwiają wizualizację wielowymiarowych systemów. Istnieją programy, które mogą generować przejrzyste schematy PERT i prezentować je, jako drobne części skomplikowanej całości. Takie „narzędzia” planowania i zarządzania są wymienione we wspomnianym raporcie inż. J. Parkitnego.

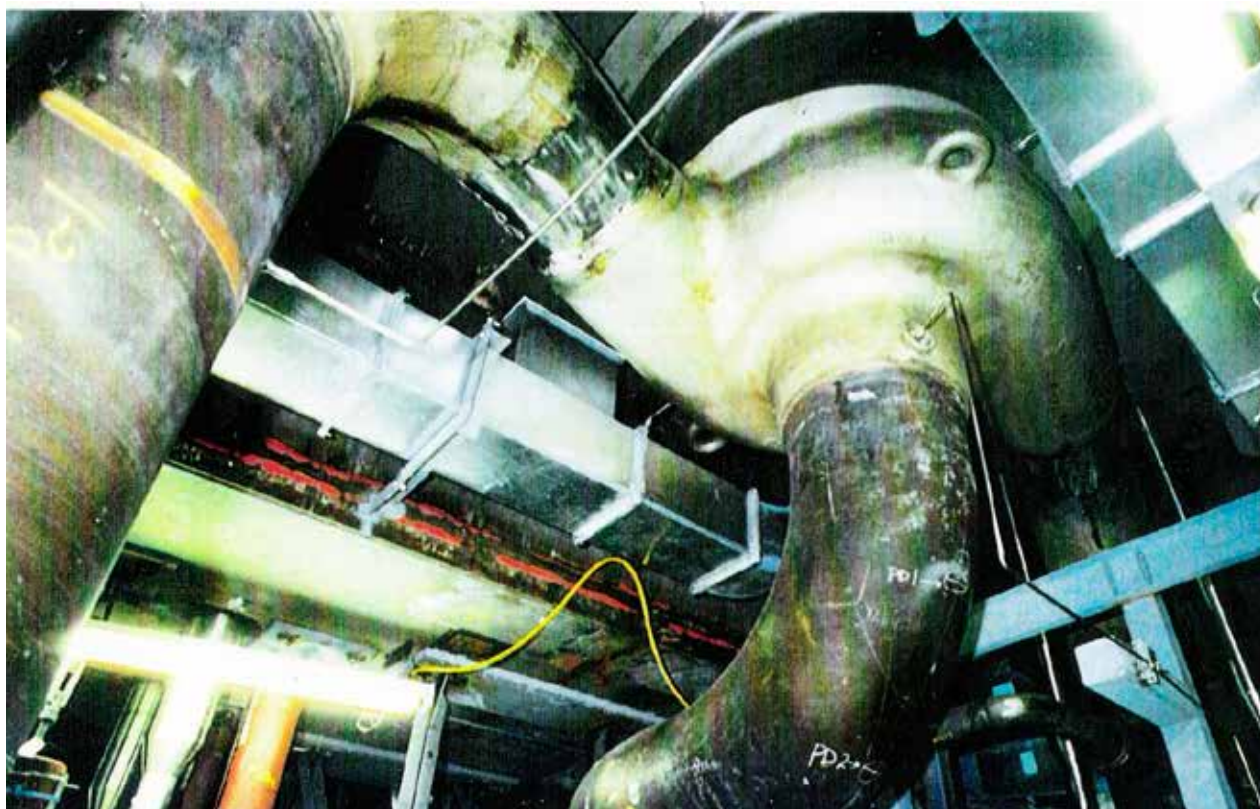
Struktura organizacyjna polskiej elektrowni jądrowej i zaplecza naukowo-badawczego musi być dobrze przemyślana. Warto przyjąć funkcjonalne schematy polskiej energetyki konwencjonalnej i uzupełnić

je o część jądrową według dobrych wzorów. Należy przy tym pamiętać, że każda struktura organizacyjna będzie działać pod warunkiem, że jest obsadzona kompetentnymi ludźmi, którzy wiedzą, co mają robić. Jedyną racjonalną reorganizacją jest przekształcanie ekip rozruchowych (*commissioning personel*) w sekcje techniczne, ruchowe i remontowe po synchronizacji bloku.

Konsultanci różnych firm doradczych, obiecując optymalizację funkcjonujących już struktur organizacyjnych, nie powinni mieć dostępu do polskiej energetyki jądrowej. Liczne doświadczenia z kontynentu północno-amerykańskiego dowodzą, że „konsultanci-cudotwórcy” wprowadzają chaos i powodują wielomiliardowe straty, jednocześnie inkasując ogromne sumy za wyrządzone szkody.

Autor artykułu uczestniczył w licznych kursach doskonalenia zawodowego. Niektóre dotyczyły realizacji inwestycji, inne eksploatacji obiektów jądrowych.

Przykładem pozytywnym realizacji dużego przedsięwzięcia była organizacja Igrzysk Olimpijskich w Londynie w 2012 r. Wszystko wykonano na czas i w ramach budżetu. Za przykład negatywny może służyć zaprojektowanie i produkcja Boeinga 787 (*Dreamliner'a*). Biura konstrukcyjne i fabryki poszczególnych podzespołów rozsiane były po całym świecie. Wystąpiły znaczne opóźnienia, przekroczenie kosztów i usterki w produkcie końcowym. Przyczynami niepowodzeń były: brak odpowiedniej łączności mię-



Fot. 8. Pompa (jedna z czterech) chłodzenia obiegu pierwotnego bloku D2 (zezwolenie OPG 2007)
 Photo. 8. Darlington D2 PHT Pump (1 of 4) – courtesy of OPG 2007

dzy projektantami i wykonawcami, różnice czasowe dzielące siedziby poszczególnych grup, a także różnice językowe i kulturowe.

Eksploatacja elektrowni jądrowej *Davis-Besse* (894 MW PWR) w Ohio stanowi „podręcznikowy” przykład złego zarządzania. Należący do firmy *First Energy* blok miał zresztą bardzo dobre wyniki, jeśli chodzi o współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej. Natomiast przeglądy podczas postoju reaktora były przeprowadzane bardzo powierzchownie. Nie zauważono chronicznego wycieku zanieczyszczonej borem wody z pręta sterowniczego (*Control Rod*). Do marca 2002 r. w głowicy (pokrywie) naczynia ciśnieniowego reaktora, wykonanej ze stali węglowej, powstało wskutek korozji wgłębienie o głębokości 150 mm o kształcie i wielkości piłki do Rugby. Ciśnienie w reaktorze (17 MPa) było utrzymywane przez wkładkę ze stali nierdzewnej o grubości zaledwie 9,5 mm. Blok 1 zbliżył się do potężnej awarii utraty chłodziwa (LOCA¹⁰). Amerykański Urząd Regulacyjny NRC nakazał odstąpienie bloku, który uruchomiono dopiero w marcu 2004 r., czyli po dwóch latach¹¹. Firma *First Energy* musiała także zapłacić wielomilionowe kary. Powyższy przykład dotyczy lekkowodnego reaktora ciśnieniowego, czyli systemu jądrowego wybranego przez Polskę.

W reaktorach CANDU nie używa się boru ani gadolinu w pierwotnym (ciśnieniowym) obiegu chłodzenia.

Gadolin jest stosowany wyłącznie w pozostającym pod ciśnieniem atmosferycznym obiegu moderatora. Ma to miejsce przez kilka miesięcy po pierwszym uruchomieniu bloku wypełnionego świeżym paliwem oraz podczas gwarantowanego odstąpienia bloku. Reaktory PWR stosują pochłaniacze neutronów takie jak bor podczas normalnej pracy.

Realizując PPEJ, należy wybrać dobry reaktor, przygotować jego wyczerpującą i przejrzystą dokumentację, zapewnić wysoką jakość i terminowość dostaw wszystkich komponentów, prowadzić montaż urządzeń zgodnie z wymaganiami jakości i według harmonogramu oraz terminowo przeszkolić personel do obsadzenia funkcjonalnej struktury organizacyjnej. Po uruchomieniu bloku należy rygorystycznie przestrzegać zasad bezpiecznej eksploatacji i inspekcji. System planowania w elektrowni musi być przygotowany na nieprzewidziane usterki czy awarie i wspierać ich sprawną eliminację. W strukturze organizacyjnej musi być miejsce dla działu usług inżynieryjno-badawczych.

Testament *Baby Boomers*¹²

Emigranci lat 80. odchodzą już na emeryturę, jeżeli nie na ten „lepszy świat”. Fala emigracji, słusznie czy niesłusznie nazywana „solidarnościową”, otrzy-

mała często uprzywilejowane traktowanie w krajach osiedlenia ze względu na polskie „pięć minut w historii świata”. Wiązało się to z zatrudnieniem w dobrych firmach, w tym w kanadyjskim sektorze jądrowym. Byłoby wysoce wskazane, gdyby odchodzące pokolenia związane z atomistyką i energetyką po obu stronach Atlantyku spróbowały wspólnie sformułować sposób przekazania wiedzy – *knowledge transfer* – pokoleniom, które będą realizować PPEJ. Chodzi o wiedzę praktyczną, którą zdobywa się w ciągu kilkudziesięciu lat pracy, tzw. „*lessons learned*” (uczenie się na błędach). Osoby, które wyemigrowały w wieku dojrzałym, czują się dużo bardziej związane z Polską niż ich dzieci czy wnuki. Sukces Programu Polskiej Energetyki Jądrowej jest sprawą o narodowym formacie niezależnie od podziałów politycznych.

Dariusz Witold Kulczyński, P. Eng.,
Kanada

Autor artykułu jest absolwentem Liceum Reytana i Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej. Do lutego 2015 r., był pracownikiem wydziału usług inżynierskich elektrowni jądrowej Darlington 4 x 930 MW(e) brutto. W sekcjach technicznych kanadyjskich elektrowni jądrowych typu PHWR (inaczej CANDU) przepracował 33 lata.

Literatura i odnośniki:

- [1] Korespondencja z Jerzym Parkitnym, P. Eng., kontakt: <https://www.linkedin.com/in/jerzyparkitny/>
- [2] AECL – *Atomic Energy of Canada Limited* – wynalazca i generalny projektant kanadyjskiego systemu jądrowego CANDU (PHWR). W laboratoriach AECL/CRNL (*Chalk River Nuclear Laboratories*) prowadzono badania w ramach projektu Manhattan. W Chalk River eksperymenty przeprowadzał także admirał Hyman (Chaim) Rickover urodzony w Makowie Mazowieckim „ojciec” amerykańskiej floty łodzi podwodnych o napędzie jądrowym. W Sali Pamięci ośrodka atomowego w Chalk River ON jest ściana wypełniona zdjęciami słynnych fizyków, w tym dwójga Polaków Marii Curie-Skłodowskiej i Leopolda Infelda. Ten ostatni w czasie wojny był współpracownikiem Einsteina i profesorem Fizyki na Uniwersytecie Torontońskim.
- [3] ASME Section III – część jądrowa zbioru przepisów organizacji technicznej ASME (American Society of Mechanical Engineers).
- [4] Edward Shyloski, <https://www.enr.com/articles/41869-what-went-wrong-on-the-westinghouse-nuclear-projects> data dostępu 29-03-2021
- [5] TRF – Tritium Removal Facility. Znajdująca się na terenie elektrowni Darlington instalacja usuwająca tryt z chłodziwa i moderatora reaktorów CANDU. TRF współpracuje z uzdatniaczem ciężkiej wody SU (Station Upgrader).
- [6] CBT – *Computer Based Training* – szkolenie indywidualne przy komputerze kończące się egzaminem typu *Multiple Choice Checkout* – czyli sprawdzianem gdzie wybiera się jedną z kilku możliwych odpowiedzi.
- [7] PHT Pumps; Primary Heat Transport Pumps. Pompy chłodzenia pierwotnego – po cztery na blok – miały 5 łopatek; $5 \times (1800/60) = 150$ Hz (rps), gdzie 1800 RPM jest prędkością synchroniczną dla silników pomp. Silniki były asynchroniczne, więc występował poślizg zmniejszający nieco częstotliwość pulsacji.
- [8] *SCI System Classification Index* (wymawiany niezbyt prawidłowo, jako SKI), USI – *Uniform Subject Index*.
- [9] PERT – *Program Evaluation Review Technique*. Wykresy oparte o węzły (*nodes*) umożliwiające m. in. wyznaczenie ścieżki krytycznej (*Critical Path*).
- [10] LOCA – *Loss of Coolant Accident* – utrata chłodziwa grożąca stopieniem się rdzenia.
- [11] Davis-Besse https://en.wikipedia.org/wiki/Davis%E2%80%93Besse_Nuclear_Power_Station data dostępu 28-03-2021.
- [12] Baby Boomers – osoby urodzone w fali powojennego wyżu demograficznego w latach 1946 do 1964.
- [13] NRC – Nuclear Regulatory Commission, amerykańska, rządowa komisja regulacyjna przemysłu jądrowego.
- [14] INPO – Institute of Nuclear Power Operations – Atlanta, Georgia USA. Organizacja ta ustala kryteria, według których oceniana jest jakość pracy elektrowni jądrowych. INPO współpracuje ściśle z WANO (World Association of Nuclear Operators).
- [15] Ontario Hydro/OPG (Hydroelectric Power Commission of Ontario) – państwowa firma energetyczna w kanadyjskiej prowincji Ontario istniejąca od 1906 do 1999 r. Firma posiadała około 35 tys. megawatów mocy zainstalowanej w elektrowniach i łączącą je sieć przesyłową wysokiego napięcia. W 1999 r. Ontario Hydro zostało przekształcone w OPG (Ontario Power Generation Inc.). Sprywatyzowano elektrownię Bruce A i B (Bruce Power). Sieć oddzielono organizacyjnie od elektrowni, a następnie sprywatyzowano (Hydro One).
- [16] <https://en.wikipedia.org/wiki/AP1000> data dostępu 26-03-2021
- [17] [https://en.wikipedia.org/wiki/EPR_\(nuclear_reactor\)](https://en.wikipedia.org/wiki/EPR_(nuclear_reactor)) data dostępu 26-03-2021
- [18] https://en.wikipedia.org/wiki/Hualong_One data dostępu 26-03-2021
- [19] <https://en.wikipedia.org/wiki/APR-1400> data dostępu 26-03-2021
- [20] Planning for a nuclear Poland, by D. Kulczyński, P. Eng. (Nuclear Engineering International, April 2014 www.neimagazine.com).
- [21] Kanadyjska Energetyka Jądrowa, autor D. Kulczyński, P. Eng., („Wiadomości Elektrotechniczne” 03-2008-ISSN 0043-5112).
- [22] Half a century of safe CANDU, by D. Kulczyński, P. Eng. Submission 8_18_1332207338, II Nuclear Energy Congress, Warsaw, May 2012.
- [23] Bezpieczeństwo nuklearne na II Kongresie Energii Jądrowej w Warszawie, autor D. Kulczyński, P. Eng. („Postępy Techniki Jądrowej” ISSN 0551-6846; PTJ VOL.57 Z.3 2012).