

REAKTOR MARIA DZIŚ (2015)

The Maria reactor today (2015)

Andrzej Mikulski

W 2015 r. mija 60. rocznica utworzenia Instytutu Badań Jądrowych (IBJ) w Świerku, a jego historia jest ściśle związana z dwoma reaktorami badawczymi EWA i MARIA. Pierwszy z nich został opisany w tym kwartalniku (PTJ nr 1/2015), a obecnie zajmujemy się reaktorem MARIA, którego 40-ta rocznica uruchomienia minęła w w grudniu ubiegłego roku. W artykule przypomniano najważniejsze fakty z okresu jego eksploatacji. Po wielu opisanych w artykule modyfikacjach i przeprowadzeniu analiz wynikających z awarii w Fukushima należy on do najlepiej wykorzystywanych reaktorów w Europie. Reaktor przeznaczony jest przede wszystkim do produkcji izotopów promieniotwórczych, a w tym szeroko stosowanego w medycynie technetu oraz do propagowania rzetelnej wiedzy i szkoleniu kadr dla energetyki jądrowej.

In year 2015 passes 60th anniversary of foundation of the Institute of Nuclear Research (pol. Instytut Badan Jadrowych) at Swierk, and its history is closely connected with two research reactors: EWA and MARIA. The first one was already described in this quarterly magazine (PTJ no 1/2015) and now the other will be presented just after 40th anniversary of its start up in December last year. The paper reminds main facts in history of its operation. After many modifications and performed analysis following Fukushima accident MARIA belongs to the most utilized reactors in Europe. It is used mainly for radioisotopes production among other the widely used technetium in nuclear medicine and for propagation of knowledge and future training of personnel for nuclear power plants.

Słowa kluczowe: reaktor MARIA, historia reaktora MARIA, eksploatacja reaktora MARIA

Key words: the MARIA reactor, history of the MARIA reactor, MARIA reactor operation

WSTĘP

W poprzednim numerze kwartalnika Postępy Techniki Jądrowej (PTJ) opisano pokrótce historię reaktora EWA, początkowo w Instytucie Badań Jądrowych, a potem w Instytucie Energii Atomowej w Świerku, a teraz zajmujemy się drugim reaktorem badawczym w Polsce, czyli reaktorem MARIA, który rozpoczął pracę jak jego poprzednik, a teraz eksploatowany jest w Narodowym Centrum Badań Jądrowych.

Historia budowy drugiego reaktora badawczego sięga w przeszłość do 1960 r., czyli czasów w dwa lata po uruchomieniu reaktora EWA kiedy rozpoczęto rozważanie potrzeby budowy drugiego reaktora badawczego wobec ambitnych planów rozwoju energetyki jądrowej w kraju (wystąpienie prof. J. Minczewskiego na obchodach XX-lecia IBJ nawiązywało do uchwały Rady Ministrów z 1971 r. w sprawie budowy pierwszej elektrowni jądrowej [1]). Ambicją konstruktorów w tamtych czasach by była to konstrukcja polskiego przemysłu oczywiście z wyjątkiem paliwa, którego nie można było wyprodukować w kraju.

W niniejszym artykule przedstawimy historię powstania reaktora MARIA, najważniejsze zdarzenia w jego pracy, a na zakończenie opisane zostaną aktualne informacje o jego przyszłości. Kolejne dwa artykuły przypominają dwa okresy z historii reaktora MARIA: jego budowę w tekście przygotowanym na 30-lecie uruchomienia przez doc. Wacława Dąbka i boje o jego powtórne uruchomienie jakie z okazji 40-lecia uruchomienia przesłał do redakcji prof. Stefan Chwaszczewski.

HISTORIA BUDOWY REAKTORA MARIA

Tuż przed uruchomieniem reaktora MARIA ukazał się Biuletyn ZOINTE (Zakładowy Ośrodek Informacji Naukowej, Technicznej i Ekonomicznej) w IBJ z datą 8.VII.1974 r., w którym napisano:

REAKTOR MARIA

w Instytucie Badań Jądrowych w Świerku

Budowany w Instytucie Badań Jądrowych w Świerku wysokostromieniowy reaktor badawczy, który otrzymał na cześć Marii Curie-Skłodowskiej nazwę „MARIA” jest skomplikowanym obiektem techniki jądrowej i równocześnie pierwszym w kraju samodzielnym przedsięwzięciem polskich naukowców, projektantów, wykonawców i dostawców w zakresie projektowania i budowy dużych obiektów jądrowych.

Prace koncepcyjne i projektowe dotyczące tego reaktora prowadzono w Instytucie Badań Jądrowych i w Biurze Studiów i Projektów Techniki Jądrowej PROATOM. W wyniku opracowania kilku studiów projektowych, podjęto decyzję o wyborze reaktora z ciśnieniowymi kanałami paliwowymi w basenie wodnym i z reflektorem grafitowym.

W lipcu 1970 r. podjęto ostateczną decyzję o realizacji projektu. Wmurowanie aktu erekcyjnego nastąpiło w dniu 16 czerwca 1970 r.¹ Nadzór autorski nad budową sprawował ENERGOPROJEKT, który przejął w tym zakresie obowiązki PROATOMU.

Jest to reaktor uniwersalny, zapewniający szczególnie dogodne warunki do badania materiałów konstrukcyjnych i paliwa dla przyszłych reaktorów energetycznych. Będzie to reaktor o wysokim strumieniu neutronów, dający możliwość równoczesnej realizacji całego szeregu eksperymentów z dziedziny fizyki i techniki jądrowej oraz umożliwiający produkcję izotopów promieniotwórczych o aktywności kilkakrotnie większej od wytwarzanych obecnie w reaktorze EWA. Przy projektowanej mocy 30 megawatów maksymalny strumień neutronów termicznych w środku rdzenia wyniesie ok. $4,7 \cdot 10^{14}$ neutronów/cm²·s.

Elementy paliwowe reaktora znajdują się w koszulkach chłodzonych obiegiem wody pod ciśnieniem kilkunastu atmosfer, wstawionych w gniazda matrycy zestawionej z bloków berylowych i grafitowych, umieszczonej w basenie reaktora pod siedmiometrową warstwą wody. Rozwiązanie to jest wzorowane na radzieckim reaktorze MR pracującym w ośrodku im. I.W. Kurczatowa w Moskwie. Istotną różnicą w stosunku do reaktora radzieckiego stanowi wyposażenie reaktora MARIA w kanały poziome służące do wyprowadzania wiązek neutronów z obszaru grafitowego reflektora i dające możliwość prowadzenia prac doświadczalnych w dziedzinie fizyki. Również uzupełnieniem reaktora MR będzie wyposażenie reaktora MARIA w cały szereg kanałów pionowych do produkcji izotopów. To rozszerzenie możliwości badawczych i produkcyjnych reaktora ma istotne znaczenie w warunkach polskich gdzie nie ma możliwości budowy szeregu wyspecjalizowanych reaktorów badawczych, a jedyny pracujący reaktor doświadczalny EWA w chwili uruchomienia reaktora MARIA będzie miał za sobą ponad 17 lat eksploatacji i nie nadaje się do badań materiałów i paliw jądrowych.

Ogólna wartość kosztorysowa inwestycji wynosi 433 mln zł. Pierwotnie ustalony dyrektywny czasokres realizacji inwestycji wynosi:
- cykl budowy wraz z rozruchem mechanicznym – 60 miesięcy
- technologiczny rozruch jądrowy – 6 miesięcy.

Zgodnie z dokonanymi ustaleniami jak również podjętym zobowiązaniem załóg dla uczczenia Roku Nauki Polskiej oraz XXX-lecia powstania PRL zakończenie robót montażowych wraz z rozruchem mechanicznym nastąpi przed 22 lipca 1974 r., tj. w terminie o 9 miesięcy krótszym od dyrektywnego harmonogramu realizacji inwestycji.

Zakończenie technologicznego rozruchu jądrowego oraz przekazanie obiektu do eksploatacji nastąpi w terminie do 31 grudnia 1974 r.

Warunki realizacji tej unikalnej w skali kraju inwestycji stawały przed wszystkimi uczestnikami procesu inwestycyjnego szereg nietypowych i wysoce skomplikowanych wymagań, charakterystycznych jedynie dla dużych obiektów techniki jądrowej.

Stąd też budowa ta – zgodnie z porozumieniem ministrów – postraktowana została jako poligon doświadczalny dla budowy pierwszej elektrowni jądrowej w Polsce.

Przekazanie do eksploatacji reaktora „MARIA” wzbogaci naukę polską w niezwykle potrzebne – dla dalszego rozwoju współczesnej techniki reaktorowej i energetyki jądrowej – urządzenie badawcze oraz zwiększy możliwości produkcji izotopów dla gospodarki narodowej.

Warto zaznaczyć, że tekst powstał przed uruchomieniem reaktora i termin przekazania do eksploatacji podany został dosyć optymistycznie, gdyż pełna eksploatacja rozpoczęła się dopiero w 1977 r. kiedy to reaktor przepracował 1413 godzin przy produkcji izotopów promieniotwórczych [2]. Drugą interesującą informacją jest oszacowany wtedy koszt inwestycji na 433 mln zł, i chciałoby się wiedzieć, ile wynosiłoby to w dzisiejszych warunkach.

Na stronie internetowej Instytutu Energii Atomowej (pochodzącej prawdopodobnie z 2008 r.) całościowo opisano historię powstania reaktora MARIA:

Program wykorzystania drugiego polskiego reaktora badawczego został opracowany w Instytucie Badań Jądrowych w 1964 r. Zgodnie z dokumentem programowym (P-3166) reaktor MARIA powinien umożliwiać:

- prowadzenie badań fizycznych na wiązkach neutronów;
- prowadzenia badań radiochemicznych;
- prowadzenia badań materiałowych w sondach i pętlach;
- napromieniania materiałów tarczowych dla produkcji izotopów;
- wykorzystanie promieniowania gamma wypalonych elementów paliwowych do prowadzenia badań radiochemicznych;
- prowadzenie naświetlań dla spektrometrii krótkożyciowych izotopów;
- prowadzenie badań w zakresie inżynierii reaktorowej i energetyki jądrowej.

Biorąc za podstawę przedstawiony powyżej program został opracowany przez Biuro Studiów i Projektów Techniki Jądrowej „PRO-ATOM” założenia do budowy drugiego reaktora (Nr arch. P-3166) zatwierdzone przez Radę Techniczną do Oceny Założeń i Rozwiązań Projektowych Reaktorów oraz przez Pełnomocnika Rządu d/s Wykorzystania Energii Jądrowej w lutym 1965 r. Założenia te były podstawą do opracowania przez BSIPTJ „PROATOM” Projektu wstępnego 2-go reaktora doświadczalnego 30 MW, typ wodno-berylowy R-2. Projekt ten został przyjęty przez Radę Techniczną 20 listopada 1965 r.

W dniu 16 czerwca 1970 r. został wmurowany kamień węgielny pod budowę reaktora R-2 i tym samym rozpoczęto budowę tego obiektu. Budowa została zakończona w 1974 r. i w dniu 18 grudnia 1974 r.² przeprowadzono doświadczenie krytyczne reaktora R-2. Reaktor ten został nazwany imieniem Marii Curie-Skłodowskiej. W roku 1975 rozpoczęto eksploatację reaktora MARIA.

Reaktor MARIA był eksploatowany do połowy 1985 r. W połowie roku 1985 reaktor MARIA został poddany gruntownej modernizacji. Działania modernizacyjne obejmowały:

- wymianę systemu sterowania na blokowy system aparatury reaktorowej SAKOR-B,
- przegląd i diagnostykę stanu grafitowych bloków stanowiących reflektor reaktora,
- uzupełnienie konfiguracji rdzenia o dodatkowe bloki berylowe,
- budowę osłony biologicznej stabilizatora ciśnienia,
- modernizację urządzeń systemu chłodzenia reaktora,
- modernizację systemów klimatyzacji i wentylacji reaktora,
- instalację systemu obiegowej kontroli temperatur i przepływów w kanałach chłodzenia paliwa reaktora (system OKCR).

Po katastrofie reaktora energetycznego w Czarnobylu nastąpiła zmiana w podejściu do analiz bezpieczeństwa reaktorów jądrowych. W rezultacie prowadzonych analiz, reaktor MARIA został wyposażony w szereg nowoczesnych układów eliminujących wystąpienie określonych zdarzeń lub minimalizujących ich konsekwencje. Zainstalowano pasywny układ zalewania kanałów paliwowych wodą basenową w przypadku spadku ciśnienia w obiegu chłodzenia elementów paliwowych, zamontowano nowe konstrukcje poziomych kanałów wyprowadzających wiązki neutronów z reaktora.

Reaktor został ponownie uruchomiony w grudniu 1992 r. i od 1993 r. po przejściu przez procedurę rozruchu energetycznego reaktor MARIA podjął normalną eksploatację. W chwili obecnej jest prowadzona normalna eksploatacja reaktora MARIA. Według wstępnych technicznych analiz reaktor MARIA może być eksploatowany do 2020 r., a po modernizacji do 2050-2060 r.

Przygotowania do budowy reaktora MARIA realizowane tylko w jednym roku zostały opisane w Roczniku IBJ 1972 [3], w którym czytamy takie oto doniesienia:
s.130

W związku z budową reaktora MARIA wykonane zostały przy pomocy posiadanych programów, pełne obliczenia numeryczne osłon tego reaktora.

s.135

Budowa reaktora MARIA przebiega zgodnie z planem. Do końca 1972 r. wybudowano w stanie surowym wszystkie ważniejsze budynki obiektu, wykończono część laboratoryjną i poważnie zaawansowano betonowanie bloku reaktora. Zakończenie budowy reaktora przewidziane jest w roku 1974.

s.136

W zakresie technologii elementów paliwowych typu MR dla reaktora MARIA przeprowadzono z wynikiem pomyślnym próby wytopu U-Al na powietrzu. Wlewki przebadano pod względem jednorodności struktury oraz zmęczenia cieplnego w zakresie temperatury 25-400°C. Przeprowadzono badanie metalograficzne i rentgenowskie oryginalnego elementu MR. Wyciśnięto 3 elementy paliwowe typu MR o średnicach zewnętrznych rur 25, 34 i 45 mm (krótkie). Elementy te poddano badaniom defektoskopowym rentgenowskim, oraz przeprowadzono badania metalograficzne, makro i mikroskopowe wycinków rur na przekrojach wzdłużnych i poprzecznych.

s.142

W związku z budową i przygotowaniem do rozruchu reaktora MARIA kontynuowano także szereg prac związanych z opracowaniem prototypów unikalnej aparatury kontrolno-pomiarowej i konstrukcji elementów wykonawczych automatyki neutronowej reaktora. Szereg prac wyniło również przy uaktualnianiu dokumentacji urządzeń i aparatury stanowiącej wyposażenie reaktora MARIA, opracowanej w latach poprzednich, a obecnie przekazywanej do produkcji.

s.149

W dziedzinie parametrów statycznych reaktorów na neutronach termicznych przeprowadzone prace dotyczyły następujących zagadnień: (...) badania parametrów siatek reaktora wysokostrumieniowego MARIA na zestawie krytycznym AGATA – przygotowanie metod i oprzyrządowania.

Jest rok 1972 i z tego wyliczenia możemy stwierdzić, jak szeroki zakres prac realizowany był przez IBJ przy budowie reaktora MARIA, a zatem był to reaktor budowany własnymi siłami (jeśli te informacje były prawdziwe).

W artykule na 40-lecie powstania IBJ w 1995 r. tak pisze Konrad Blinowski o reaktorze MARIA [4]:

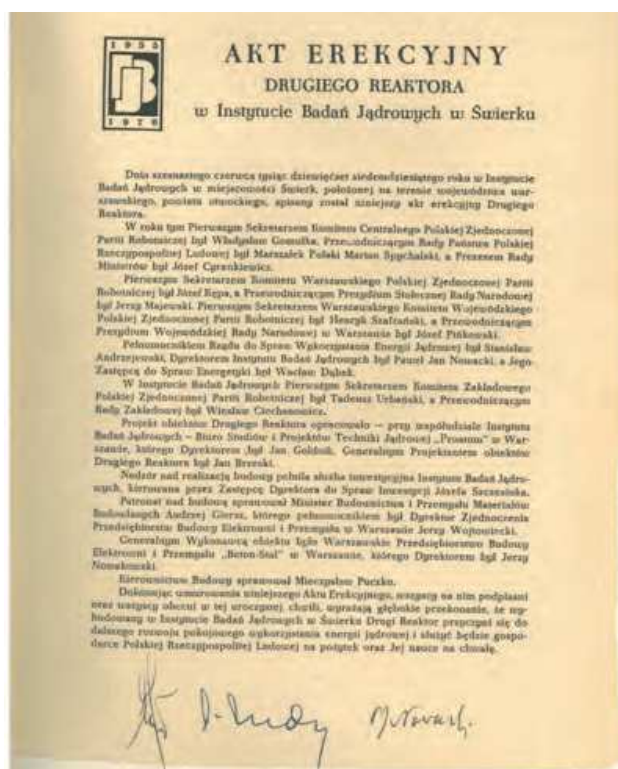
Zadania starszki EWY przejęła młodsza MARIA – reaktor badawczy, wielozadaniowy, zaprojektowany i zbudowany, jak wiadomo, całkowicie w Polsce, z wyjątkiem paliwa produkowanego w Związku Radzieckim. Reaktor MARIA został uruchomiony w grudniu 1974 r. Po długim okresie rozruchu rozpoczął od 1976 r. normalną pracę na mocy 20 MW. Zatrzymany w 1985 r. w celu dokonania wymiany bloków grafitowych w rdzeniu reaktora³, został po 9-letniej przerwie przygotowany do dalszej eksploatacji, która nastąpiła w marcu br. [1995] po wyłączeniu EWY.

EKSPLOATACJA REAKTORA MARIA

Na spotkaniu z okazji 40-lecia uruchomienia reaktora MARIA historię jego eksploatacji - chronologię zdarzeń z jego „życia” przedstawił dyr. Departamentu Energii Jądrowej NCBJ, Grzegorz Krzysztozek [4], którą warto tu przytoczyć, ale autor pozwolił sobie ją uzupełnić w kilku punktach:

1964	Przygotowanie programu wykorzystania 2-go reaktora badawczego
1970	Zatwierdzenie projektu reaktora (decyzja budowy) Oficjalne rozpoczęcie budowy - wmurowanie aktu erekcyjnego (16 czerwca)
1974	Rozruch technologiczny z udziałem E. Gierka i P. Jaroszewicza (12 lipca)
1974	Doświadczenie krytyczne – krytyczność 18 grudnia o godz. 0:17
1977-85	Pierwszy okres eksploatacji reaktora: <ul style="list-style-type: none"> • moc cieplna 20-30 MW • czas pracy 700-3500 godz. rocznie • instalacja sond do badań materiałowych • nieplanowane wyłączenia reaktora (niesprawność głównych pomp chłodzenia kanałów paliwowych tzw. pomp Guinarda) • trudności w wymianie paliwa • brak wymaganych parametrów systemu wentylacji
1978	Awarie oprzyrządowanego elementu paliwowego – wydostanie się gazowych produktów rozszczepienia do obiegu pierwotnego i dalej do pomieszczeń technologicznych – przyczyna: zbyt niski przepływ chłodziwa w czasie eksperymentu prowadzącego do określenia dopuszczalnej mocy generowanej w elemencie paliwowym (16 maja)

1985-92	Modernizacja reaktora: <ul style="list-style-type: none"> • zainstalowanie pasywnego układu zalewania kanałów paliwowych wodą z basenu reaktora • poprawienie osłonowości stabilizatora ciśnienia • modernizacja systemu wentylacji • usunięcie zdeformowanych bloków grafitowych • zakup berylu z pomocą techniczną MAEA • rozbudowa matrycy berylowej z 20 do 48 szt. • zamiana przepływu wody chłodzącej w wymiennikach ciepła pierwotnego obiegu chłodzenia • modernizacja chłodni wentylatorowych w II obiegu
1992	Drugie doświadczenie krytyczne (30 grudnia)
1995	Zwrotny moment w eksploatacji reaktora MARIA - wyłączenie reaktora EWA (20 lutego 1995) i przejście produkcji izotopów promieniotwórczych oraz przeniesienie urządzeń z kanałów poziomych reaktora EWA
1995	Awarie prętów regulacyjnych polegające na oderwaniu się dolnego odcinka pochłaniającego neutrony – przyczyna znaczne zmniejszenie natężenia przepływu wody chłodzącej pręty na skutek niedostatecznego uszczelnienia matrycy rdzenia po przeprowadzonej modernizacji, przegrzanie się dolnej części pochłaniającej pręta (5, 11, 25 i 27 lipca)
1996	Usunięcie części rdzeniowej SBM-EJ w związku z zaniechaniem realizacji programu badań bezpieczeństwa elektrowni jądrowych
1999	Pierwszy etap konwersji wzbogacenia paliwa z 80% do 36% zawartości U-235 (zła jakość dostarczonego paliwa - produkty rozszczepienia w wodzie chłodzącej, skażenia pompowni)
2002	Zakończenie procesu konwersji rdzenia na paliwo o wzbogaceniu 36%
1995-2004	Kolejne usprawnienia w reaktorze: <ul style="list-style-type: none"> • wymiana aparatury systemu sterowania i zabezpieczeń SAKOR-B na aparaturę firmy Hartmann&Braun • modernizacja systemu wykrywania nieszczelności elementów paliwowych (WNEP) • usprawnienie pomp obiegu pierwotnego (usunięcie kół zamachowych i skrócenie wału napędowego) • wywóz wypalonego paliwa z reaktora MARIA do przechowalnika wypalonego paliwa (budynek 19a)
2004-2005	Przebieg reaktora z powodu braku paliwa, dostawa nowego paliwa o wzbogaceniu 36% (b. dobra jakość)
2006-2008	Modernizacja systemu dozymetrycznego
2008	Modernizacja systemu SAREMA zbierania danych z pomiarów technologicznych
2009-2011	Badanie paliwa francuskiego o wzbogaceniu 19,7%
2010-2014	Wywóz wypalonych elementów paliwowych do Federacji Rosyjskiej – współpraca polsko-amerykańsko-rosyjska w ramach układu globalnej redukcji zagrożenia (GTRI) paliwem wysoko wzbogaconym w reaktorach badawczych
2010-2012	Zainstalowanie trzech nowych wentylatorów w chłodni kominowej
2010-nadal	Napromienianie tarcz uranowych do produkcji molibdenu
2012-2014	Konwersja rdzenia na paliwo francuskie o wzbogaceniu 19,7%
2013-2014	Badanie paliwa rosyjskiego o wzbogaceniu 19%
2014	Wymiana pomp głównych obiegu chłodzenia kanałów paliwowych i zainstalowanie nowych pomp powyłączeniowych



Fot.1. Akt erekcyjny (podpisany od lewej: Józef Szczesiuk, prof. Stanisław Andrzejewski i prof. Paweł J. Nowicki)



Fot.2. Podpisanie aktu erekcyjnego (od lewej w ciemnych okularach Józef Szczesiuk zastępca dyr. IBJ ds. inwestycji i prof. Stanisław Andrzejewski Pełnomocnik Rządu ds. Pokojowego Wykorzystania Energii Jądrowej)

PRACE NAUKOWE

W czasie długiej eksploatacji reaktora MARIA wykonano wiele prac o charakterze naukowym dla polepszenia opisu zjawisk neutronowych oraz ciepło-przepływowych zachodzących w tym reaktorze. Najważniejsze z tych prac, zdaniem autora, dotyczyły:

- 1) obliczenia zatrucia berylem w pierwszym okresie eksploatacji reaktora co spowodowało niedoszacowanie masy krytycznej przy drugim doświadczeniu krytycznym [6],
- 2) modelowania zagadnień ciepło-przepływowych przy pomocy kodu RELAP5 [7],

- 3) analizy przepływu wody chłodzącej pręty regulacyjne jako wyjaśnienia sytuacji dotyczącej urywania się tych prętów w dolnej części [8],
- 4) obliczenia rozkładu temperatur w bloku grafitowym [9],
- 5) kompleksowej analizy zjawisk zachodzących przy chłodzeniu paliwa jądrowego w reaktorze, a w tym nieoczekiwanej zmiany przebiegu (modu) wychładzania elementów paliwowych polegającej na zmianie kierunku przepływu wody chłodzącej przez elementy paliwowe dokonanej w liczącej ponad 200 stron monografii na ten temat [10].

DIAGNOSTYKA WIBRACYJNA

Korzystając z przywileju autora chciałbym przedstawić dwa przykłady z pracy systemu diagnostyki wibracyjnej, które mogą służyć do implementacji procedur diagnostycznych wykrywających niekorzystne sytuacje eksploatacyjne.

System diagnostyki wibracyjnej został przeniesiony po zakończeniu eksploatacji reaktora EWA w 1995 r. i pracował do 2013 r., czyli do czasu zainstalowania nowych pomp obiegu chłodzenia kanałów paliwowych. System ten pozwalał na rejestrację sygnałów z akcelerometrów i termometrów oporowych zainstalowanych na trzech łożyskach każdej z czterech głównych pomp chłodzenia kanałów paliwowych. Opracowywanie sygnałów z akcelerometrów polegało na obliczaniu wariancji sygnału z bloków pomiarowych rejestrowanych co 3 minuty, natomiast z termometrów oporowych sygnał napięciowy przeliczano na temperaturę. Wyniki pomiarów prezentowane były dla operatora w postaci odpowiednich wykresów.

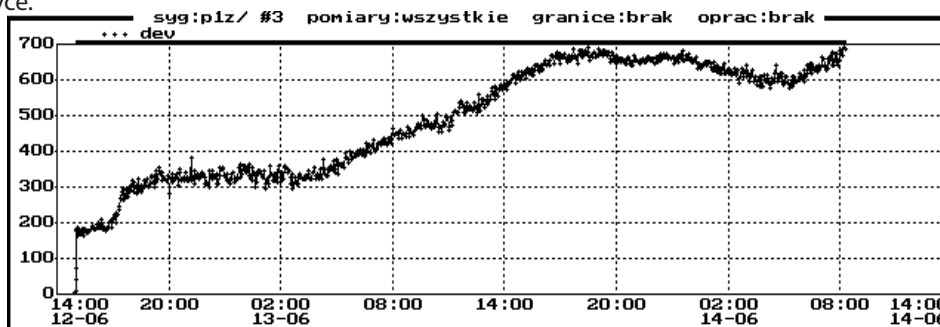
W okresie do 2001 r. zarejestrowano dwie sytuacje diagnostyczne:

(1) wzrost natężenia wibracji jednego z łożysk o ponad 3 razy, w ciągu 27 godzin od momentu uruchomienia pompy na początku cyklu pracy i przez dalsze 12 godzin pozostawał on na stałym poziomie do czasu wyłączenia pompy dwa dni później (rys.1). Informacja o zaobserwowanym wzroście natężenia wibracji została przekazana kierownikowi zmiany reaktora, który po upewnieniu się o znacznym wzroście poziomu hałasu w pompowni zdecydował o wyłączeniu wskazanej pompy, a po zakończeniu cyklu pracy wymieniono uszkodzone łożysko.

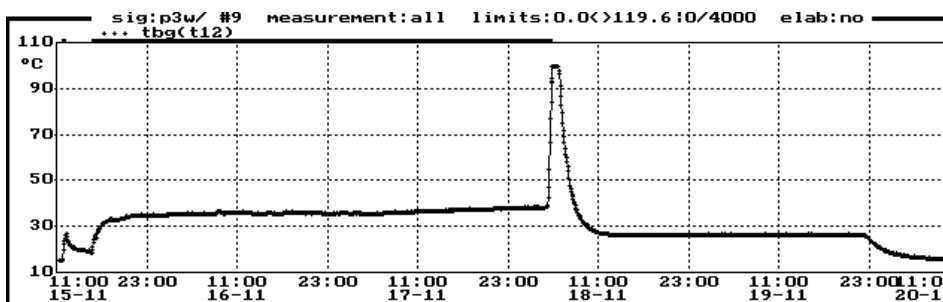
(2) szybki wzrost temperatury łożyska (rys. 2) po 56 godzinach od rozpoczęcia cyklu pracy. Sygnał ostrzegawczy o przekroczeniu granicznej temperatury łożyska równej 80°C został wygenerowany automatycznie w sterowni i operator wyłączył wskazaną pompę. Natomiast system diagnostyczny na podstawie trendu temperatury odpowiednio ostrzeżenie mógłby wydać kilkanaście minut wcześniej. Przedstawiony wykres temperatury pokazuje jej wzrost do 100°C, czyli do granicy rejestracji termometru oporowego i utrzymywanie się na tym poziomie przez ok. jedną godzinę.

Te dwa przykłady wskazują na użyteczność wprowadzenia odpowiednich procedur analizy wykonywanych pomiarów celem zapobiegania możliwym poważniejszym uszkodzeniom łożysk, ale niestety nie zostało to wprowadzone.

dzzone w praktyce.



Rys. 1. Wartość średniego odchylenia standardowego (RMS) sygnału z akcelerometru (cykl XXVII od 12 lipca 2000 r.)



Rys. 2. Temperatura łożyska pompy nr 3 (cykl XXIV od 15 listopada 1999r.)

ZALECENIA PO ZDARZENIU W FUKUSHIMIE

Ogólne informacje o bezpieczeństwie reaktora MARIA po Fukushima na podstawie materiałów z posiedzenia specjalnej Grupy Zadaniowej utworzonej przez Agencję Energii Jądrowej NEA/OECD w odniesieniu do reaktorów badawczych przedstawiono następująco [11]:

W dwóch polskich referatach dotyczących reaktora MARIA po zdarzeniu w EJ Fukushima opisane zostały działania podejmowane z punktu widzenia operatora (K. Pytel: Reaktor MARIA – Post Fukushima Activity) i urzędu dozoru jądrowego jakim jest PAA (A. Mikulski: Activity of Nuclear Regulatory Authority Regarding Research Reactor in Poland after Fukushima NPP Accident). W pierwszym referacie rozważano różne scenariusze dotyczące: braku zasilania zewnętrznego (black-out) i zalania pomieszczeń wewnętrznych na skutek nieprawdopodobnie dużych opadów deszczu lub śniegu w rejonie lokalizacji reaktora, wystąpienia bardzo silnych wiatrów i oblodzenia obudowy bezpieczeństwa, która nie była obliczona na takie sytuacje w momencie budowy na początku lat 70-tych ubiegłego wieku. Pod względem zapewnienia zasilania awaryjnego reaktor MARIA jest dobrze przygotowany i nie należy oczekiwać konsekwencji braku zasilania zarówno dla chłodzenia kanałów paliwowych, jak i basenu przechowawczego wypalonego paliwa. W drugim referacie opisano systemy monitorujące pracę reaktora i analizy dostarczanych informacji przeprowadzane w dozorcze dla określenia prawidłowości pracy poszczególnych urządzeń, by możliwie wcześnie wykrywać pojawiające się symptomy ich nieprawidłowej pracy. Przeprowadzony przez dozór przegląd pomieszczeń w reaktorze wykazał możliwość zalania pomieszczenia awaryjnych agregatów prądotwórczych (generatory Diesla) w przypadku bardzo silnych opadów deszczu (zalecono podjęcie kroków zapobiegających zalaniu akumulatorów rozruchowych przez ustawienie ich kilkanaście centymetrów powyżej podłogi). Kontrolowano również stan techniczny baterii akumulatorów zapewniających działanie pomp wychładzających rdzeń po wyłączeniu w przypadku braku zasilania zewnętrznego i stwierdzono zgodność przewidywanego czasu pracy pomp z ustanowionymi wymaganiami w raporcie bezpieczeństwa.

się szerokim echem w dokonaniu przeglądów bezpieczeństwa reaktorów energetycznych na poziomie międzynarodowym, ale również spowodowała dokonanie takiego przeglądu w odniesieniu do reaktorów badawczych. Bardziej szczegółowe informacje na ten temat zawarte są w artykule, którego autorem jest Krzysztof Pytel [12]:

Niżej przytoczono fragment polskiego raportu (sprawozdania narodowego) opisujący działania podjęte pod wpływem analiz przyczyn i skutków awarii w EJ Fukushima-1 w NCBJ jako jednostce eksploatującej reaktor MARIA operatora reaktora) oraz w PAA jako urzędu dozoru jądrowego w zakresie:

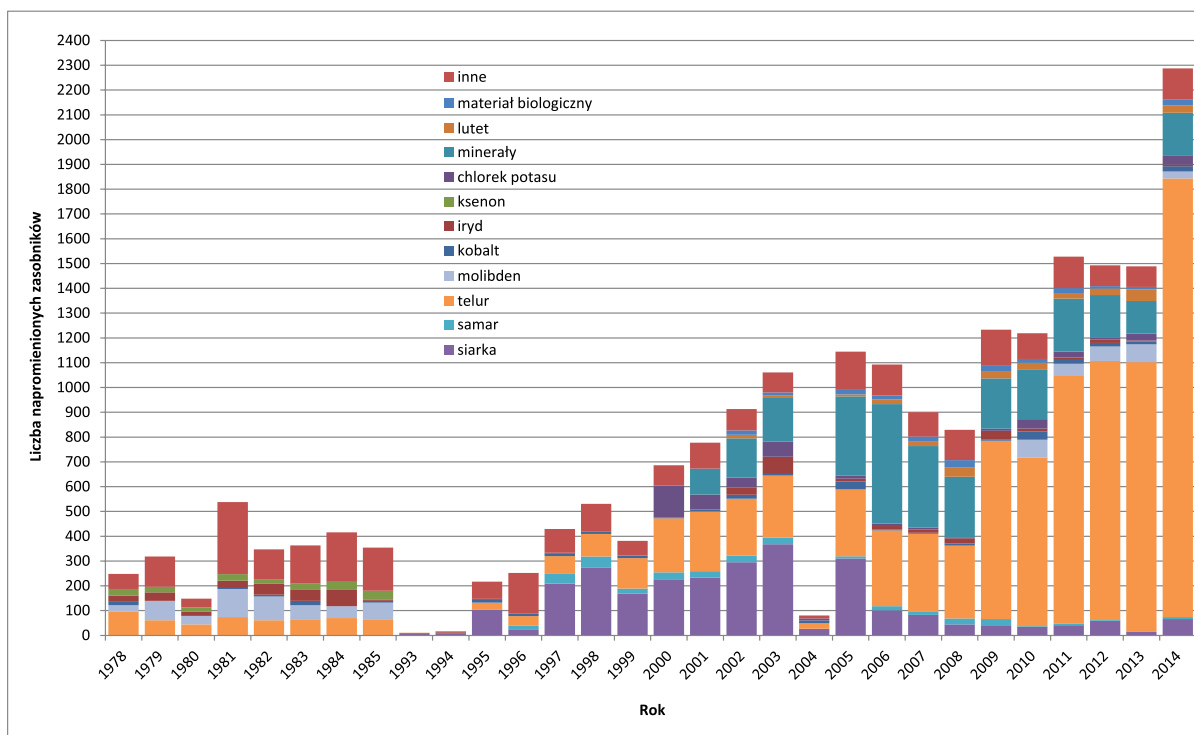
- tematu 1 – zdarzenia zewnętrzne
- i tematu 2 – zagadnienia projektowe – w odniesieniu do tego reaktora.

(...)

Przeprowadzono ponowną ocenę tych czynników środowiskowych, które mogą mieć wpływ na bezpieczeństwo reaktora MARIA. Są to takie naturalne zjawiska jak: trzęsienia ziemi, powodzie, intensywne opady deszczu i śniegu, wichury i trąby powietrzne. Inne zdarzenia zewnętrzne, rozpatrywane w Raporcie Bezpieczeństwa reaktora, takie jak upadek samolotu, czy atak raketowy nie były rozpatrywane w ramach przeglądu zainicjowanego po awarii elektrowni Fukushima Dai-ichi.

Można obiektywnie stwierdzić, że zagrożenie dla bezpieczeństwa eksploatacji reaktora MARIA w świetle awarii w EJ Fukushimy jest na poziomie praktycznie pomijalnym ze względu na zagrożenia czynnikami zewnętrznymi, a dokonane zmiany techniczne i w procedurach obsługi, podniosły jeszcze to bezpieczeństwo. Nie mniej jednak należy rozważyć zasadność dokonania pewnych zmian, przykładowo takich jak: wymiana awaryjnych agregatów prądotwórczych, zainstalowanie nowego systemu diagnostyki wibracyjnej pomp głównych i powyłaczeniowych, modernizacja systemu pomiarów parametrów technologicznych i inne.

Katastrofa w EJ Fukushima w Japonii w 2011 r. odbiła

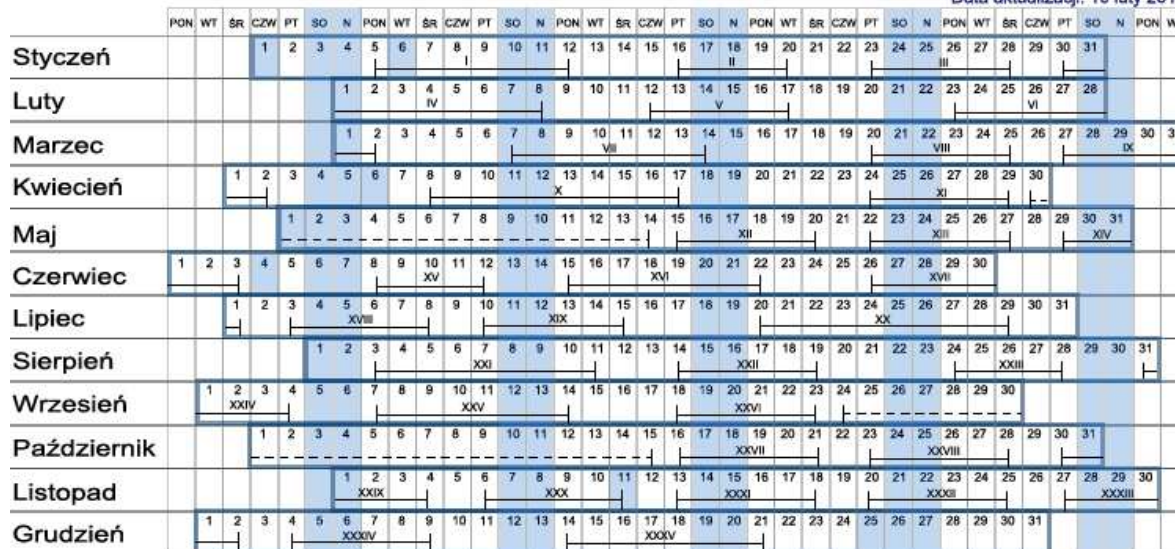


Rys. 3. Zestawienie liczby napromienionych zasobników w reaktorze MARIA



Harmonogram pracy reaktora MARIA 2015

Data aktualizacji: 10 lutego 2015



Rys. 4. Harmonogram pracy reaktora MARIA w 2015 r.

PRZYSZŁOŚĆ REAKTORA MARIA

Przyszłość reaktora MARIA, która przedstawiona została w czasie obchodów 40-lecia jego pracy grudniu 2014 r. rysuje się bardzo pozytywnie. Dokonane zostały istotne zmiany techniczne, jak wymiana pomp układu chłodzenia kanałów paliwowych, modernizacja zasilania w energię elektryczną, prowadzona jest wymiana bloków berylowych w rdzeniu reaktora, a system dozymetryczny nie tak dawno został rozbudowany. Reaktor ma zapewnione dostawy paliwa z Francji do 2017 r. dzięki współpracy z rządem USA. Poza tym przetestowano niskowzbożone elementy paliwowe produkowane w Federacji Rosyjskiej. W skali krajowej prowadzona jest zintensyfikowana współpraca z Ośrodkiem Radioizotopów POLATOM i praktycznie każda pozycja w kanałach pionowych jest zajęta przez materiał tarczowy.

Opanowana technologia napromieniowania tarcz uranowych do produkcji molibdenu stawia reaktor MARIA na pozycji dostarczyciela 160% światowego zapotrzebowania na najpowszechniej stosowany w diagnostyce medycznej izotop jakim jest technet-99m (100 000 badań przeprowadzanych codziennie na całym świecie). Włączenie reaktora MARIA do łańcucha dostaw molibdenu spowodowało wzrost jego prestiżu, dzięki któremu został on zauważony w Europie i na świecie, a w wymiarze lokalnym wiąże się to ze znaczącym wzrostem przychodów.

Inną bardzo ważną rolę do spełnienia ma reaktor MARIA w zakresie szkolenia studentów i młodzieży w ramach upowszechniania wiedzy o atomistyce.

Przykładowy harmonogram pracy reaktora MARIA w 2015 r. wygląda jak na rys. 4, i widzimy w nim wiele tzw. cykli molibdenowych w drugiej połowie tego roku.

Według aktualnych ocen technicznych reaktor MARIA może być eksploatowany do 2030 r., a po modernizacji do 2060 r. Można zatem stwierdzić, że po 40. latach eksploatacji, reaktor MARIA ma przed sobą następne 40 lat pracy.



Fot. 3. Wizyta władz państwowych z okazji rozruchu technologicznego reaktora MARIA (od lewej Józef Kempa - sekretarz Komitetu Wojewódzkiego PZPR, prof. Jerzy Minczewski, Piotr Jaroszewicz - Premier, Edward Gierek - Pierwszy Sekretarz KC PZPR, osoba nieznaną)

Autor składa podziękowania Grzegorzowi Krzysztoszkowi za możliwość skorzystania z wystąpienia przygotowanego na obchody 40-lecia reaktora MARIA.

*materiał przygotował dr Andrzej Mikulski,
Polskie Towarzystwo Nukleoniczne,
Warszawa*

Literatura

- [1] Rezonans (czasopismo wewnętrzne IBJ) nr 11(70), listopad 1975
- [2] Raport o stanie bezpieczeństwa eksploatacji reaktora MARIA, Opracowanie IBJ Nr 0-173/ORIPI/87
- [3] Rocznik Instytutu Badań Jądrowych 1972, Raport IBJ Nr 1477/DN/B (wydany w 800 egzemplarzach, ze wstępem prof. dr Jerzego Minczewskiego).
- [4] K. Blinowski: Powstanie, rozwój i działalność Instytutu Badań Jądrowych – Pion energetyki i wykorzystanie reaktorów, PTJ 1995, z. 3, s. 40
- [5] G. Krzysztoszek: „Historia reaktora MARIA i jego ludzie”, prezentacja na obchodach 40-lecia reaktora MARIA, 17 grudzień 2014 r.
- [6] K. Andrzejewski, T. Kulikowska: Beryllium Blocks Poisoning During the First Period of Reactor Maria Operation (1975-1985), Raport IAE-69/A, 2000
- [7] J. Szczurek, P. Czerski, W. Bykowski: RELAP51MOD3 Model and Transient Analysis for Poland's MARIA Research Reactor. Annual Report IAE 2002, s. 32
- [8] W. Bykowski, Charakterystyka hydrauliczna gniazda pręta regulacyjnego reaktora MARIA, Raport IEA nr 101/A, 2003
- [9] W. Bykowski, M. Klisińska, J. Polak: Temperature fields In the block of beryllium-graphite matrix of MARIA reactor, Annual Report IAE 2006, s. 41
- [10] W. Bykowski: Chłodzenie paliwa jądrowego badawczego reaktora MARIA, Monografia Nr 12 – Instytut Energii Atomowej, 2008
- [11] A. Mikulski: Bezpieczeństwo reaktorów badawczych po Fukushima, PTJ nr 3/2012, s. 5-8
- [12] K. Pytel: Raport Polski na zgodność ze zobowiązaniami Konwencji bezpieczeństwa Jądrowego – Reaktor badawczy MARIA wraz z basenem technologicznym, Biuletyn BJIOR, 4(90)/2012, s. 7-14

Przypisy

- 1 dziwnym wydaje się najpierw wmurowanie aktu erekcyjnego, a potem dopiero podjęcie ostatecznej decyzji.
- 2 doświadczenie krytyczne rozpoczęło się 17 grudnia, a zakończyło się 18 grudnia 1974 r. o godz. 0:17 uzyskaniem po raz pierwszy stanu krytycznego, czyli samopodtrzymującej się reakcji łańcuchowej rozszczepienia uranu w reaktorze MARIA.
- 3 ale i wielu innych zmian i modernizacji, które zostały osobno opisane.