

# PRACE MODERNIZACYJNE W REAKTORZE MARIA

## *Refurbishment activity in the MARIA reactor*

Andrzej Mikulski

Artykuł poświęcony pamięci dr. Krzysztofa Pytla

**Streszczenie:** Przedstawiono przeprowadzone prace modernizacyjne w reaktorze MARIA w czasie jego prawie 45-letniej eksploatacji. Można stwierdzić, że większość urządzeń istotnych dla jego bezpiecznej eksploatacji została wymieniona. Z pierwotnego wyposażenia pozostał tylko zbiornik, konstrukcja podtrzymująca elementy paliwowe i rurociągi obu obiegów.

**Abstract:** The majority of refurbishment work in the MARIA reactor done during its almost 45 years of operation is presented. The most of devices important for its safe operation was exchanged. From the initial equipment only reactor pool, construction supporting fuel elements and pipes of both cooling circuits are the same.

**Słowa kluczowe:** reaktor badawczy, reaktor MARIA

**Keywords:** research reactor, MARIA reactor

### Wprowadzenie

Historia reaktora MARIA z okazji 40-lecia jego uruchomienia została opisana w jednym z numerów kwartalnika PTN<sup>1</sup>. Obecnie chcemy przekazać w jednym miejscu więcej informacji o wykonanych pracach modernizacyjnych w tym okresie mających na celu podniesienie jego bezpieczeństwa eksploatacyjnego.

Reaktor MARIA stanowi w tej chwili jedyny eksploatowany w Polsce reaktor badawczy. Uruchomiony on został w grudniu 1974 r. i podlegał jednej gruntownej modernizacji w latach 1985-1992 oraz szeregu mniejszych modernizacji w latach następnym. Informacje o tych działaniach można znaleźć w kolejnych wydaniach Raportu Bezpieczeństwa znakomicie przygotowywanych przez dr. Krzysztofa Pytla, w Raportach Rocznych IEA i NCBJ oraz w systematycznie publikowanych rocznych sprawozdaniach z eksploatacji reaktora w kwartalniku Postępy Techniki Jądrowej od 1996 r., ale warto zgrupować je w jednym miejscu. Jak wyżej napisano, prace te związane są w pierwszym rzędzie z działaniami na rzecz zwiększenia bezpieczeństwa eksploatacji reaktora MARIA, ale wynikają też z potrzeby zastępowania wyeksploatowanych urządzeń, dla których brakuje części zamiennych oraz pojawienia się techniki komputerowej, która nie istniała praktycznie w czasie, gdy reaktor ten był uruchamiany w 1974 r.

### Gruntowna modernizacja w latach 1985-1992

Po ok. prawie 9 latach eksploatacji reaktora MARIA, który był pierwszym, dużym obiektem jądrowym zbudowanym w Polsce (gdy pominiemy zbudowane wcześniej zestawy krytyczne ANNA, MARYLA i AGATA) stwierdzono

potrzebę dokonania niezbędnych zmian wynikających z niedostatków projektu i wad wykonawczych mających istotne znaczenie dla bezpieczeństwa jego eksploatacji. Zakres prac do wykonania był dosyć obszerny i zaplanowano wyłączenie reaktora na ok. 2 lata. Po tym okresie przygotowano nowy Raport Bezpieczeństwa, który przekazano do akceptacji dozorowi jądrowemu. By zorientować się w zakresie tych prac i liczebności zespołu pracowników zaangażowanych w to zadanie zamieszczono pierwszą stronę tego raportu (rys.1). Jest to też forma oddania hołdu dla pracy tego zespołu i chęć wydobycia z niepamięci nazwisk tych ludzi.

Przywołany raport<sup>2</sup> przytacza listę stwierdzonych usterek w czasie eksploatacji do 1985 r., która może być istotna przy planowanych zmianach dokonanych w obiekcie reaktora, a najważniejsze z nich, w obecnej ocenie, podane są poniżej:

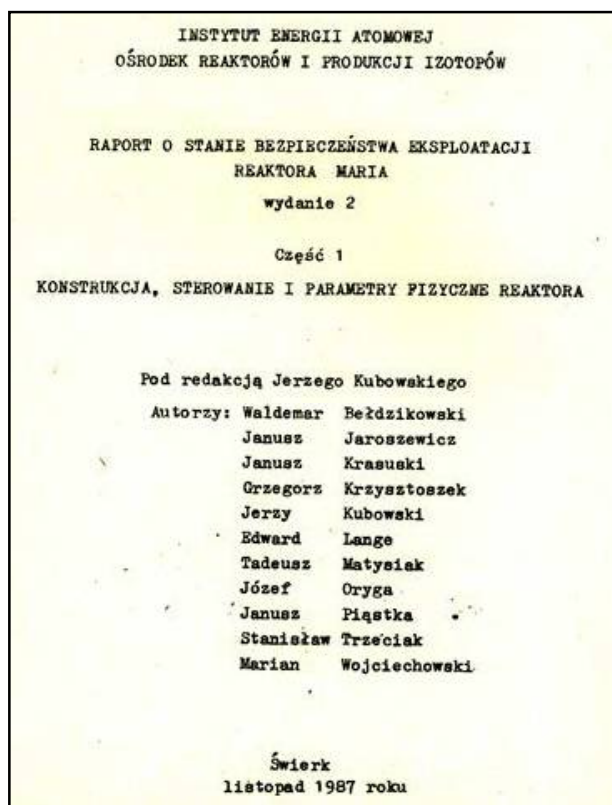
- zainstalowanie pasywnego układu zalewania kanałów paliwowych wodą z basenu reaktora, który działa bez interwencji operatora, otwierając zawory dostarczające wodę do obiegu kanałów paliwowych pod wpływem ciśnienia statycznego słupa wody w basenie reaktora,
- zainstalowanie nowych zaworów w układzie chłodzenia kanałów paliwowych, gdyż wskutek niespełnienia zasady niesprawności bezpiecznej (fail safe) zaistniało niebezpieczeństwo zatkania wylotu kanałów (w wyniku opadnięcia grzybka zaworu), co w konsekwencji groziło nieuniknioną awarią jądrową.
- poprawienie osłonowości stabilizatora ciśnienia, gdyż w warunkach awaryjnych (pojawienie się produktów rozszczepienia w obiegu pierwotnym) mogłoby to stanowić zagrożenie dla personelu sterowni reaktora,

<sup>1</sup> A. Mikulski: Reaktor MARIA dziś (2015), PTJ 2/2015, s. 2-8

<sup>2</sup> Raport o stanie bezpieczeństwa eksploatacji reaktora MARIA, Opracowanie wewnętrzne IEA nr 0-173/ORIPI/87, Praca zbiorowa w 5 częściach, 1987

- modernizacja systemu wentylacji hali reaktora,
- zamiana kierunku przepływu wody chłodzącej w wymiennikach ciepła pierwotnego obiegu chłodzenia,
- modernizacja chłodni wentylatorowych w II obiegu chłodzenia,
- zainstalowanie wielokanałowej poczty hydraulicznej do produkcji radioizotopów, która umożliwiła wprowadzenie do rdzenia reaktora materiałów w czasie pracy reaktora na ustalony czas naświetlania (pierwotnie nie przewidywano zainstalowania takiego urządzenia, gdyż reaktor miał być przeznaczony do badań pętlowych, a nie produkcji izotopów),
- w układach sterowania, zabezpieczeń i kontroli technologicznej zainstalowano aparaturę elektroniczną typu SAKOR-B (zaprojektowaną i wykonaną całkowicie w Zakładzie Aparatury Elektronicznej IBJ) oraz system elektroniczny OKCR do temperatury wylotowej i natężenia przepływu w kanałach paliwowych.

Nowy Raport Bezpieczeństwa gotowy był już pod koniec 1987 r. ale jego zatwierdzenie przez utworzony w 1986 r. Państwowy Dozór Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej i uzyskanie zgody na uruchomienie reaktora trwały dalszych 5 lat co dokładnie było już opisane w PTJ<sup>3</sup>. Spowodowane to było wymaganiami wykonania dalszych zmian konstrukcyjnych wraz z odpowiednimi analizami bezpieczeństwa, co wobec trudności finansowych IEA nie było łatwe. Ostatecznie drugie doświadczenie fizyczne (uruchomienie reaktora) miało miejsce 30 grudnia 1992 r.



Rys. 1. Strona tytułowa Raportu Bezpieczeństwa reaktora MARIA z 1987 r.  
Photo 1. Title page of the reactor safety report MARIA prepared in 1987

Dalsze usprawnienia w reaktorze w latach 1995-2004 obejmowały:

- wymianę aparatury systemu sterowania i zabezpieczeń SAKOR-B na znacznie nowocześniejszą aparaturę firmy Hartmann&Braun pozyskaną w formie bezpłatnego przekazania po likwidacji reaktora badawczego SAPHIR w Szwejcarii,
- modernizację systemu wykrywanie nieszczelności elementów paliwowych (WNEP), polegającą na pełnej automatyce pomiarów z przełączaniem kanałów paliwowych i wprowadzaniem niezbędnych korekcyjnych mierzonych aktywności produktów rozszczepienia w każdym kanale paliwowym jako wskaźnika szczelności pojedynczego elementu paliwowego,
- usprawnienie pomp obiegu pierwotnego poprzez usunięcie kół zamachowych (zbędnych jak się okazało po przeprowadzeniu nowej analizy bezpieczeństwa dotyczącej wychłodzenia obiegu pierwotnego po nagłym wyłączeniu zasilania elektrycznego) i skrócenie wału napędowego.

W kolejnych latach 2006-2008 miała miejsce modernizacja systemu dozometrycznego związana z wymianą detektorów i linii pomiarowych oraz zainstalowaniem w sterowni reaktora panelu informacyjnego (fot. 1).

W 2008 r. dokonano modernizacji systemu SAREMA zbierania danych z pomiarów technologicznych, który umieszczono w sterowni obok pulpitu operatora. System w sposób nowoczesny wyświetla na ekranie (fot. 2) wyniki pomiarów temperatury wylotowej i natężenia przepływu w kanałach paliwowych oraz obliczoną moc ciepłą generowaną w każdym kanale paliwowym, a także wyświetla parametry obiegów chłodzenia, sumaryczną moc ciepłą reaktora oraz parametry pracy kanału molibdenowego.

Kolejną istotną zmianą dokonaną w trzech kolejnych latach 2010-2012 było zainstalowanie trzech nowych wentylatorów typu WO-6000 w chłodni kominowej obiegu wtórnego.

Zgodnie z wymaganiami międzynarodowymi MAEA wszystkie reaktory badawcze pracujące na paliwie wysokowzbogaconym musiały przejść na paliwo niskowzbogacone w izotop uranu-235 do 20%. Proces ten realizowany był z funduszy amerykańskich i rozpoczął się w reaktorze MARIA w 2012 r. i aby uzyskać tę samą moc ciepłą reaktora, należało zwiększyć liczbę kanałów paliwowych. Niestety posiadane pompy obiegu pierwotnego nie mogły zapewnić wymaganego chłodzenia kaset paliwowych i należało je wymienić. Operację tą wykonano w 2014 r. i tak opisano w sprawozdaniu drukowanym w PTJ<sup>4</sup>:

Polegała ona, na zamianie czterech dwubiegowych pomp głównych, czterema pompami jednobiegowymi i trzema pompami powyłączeniowymi. Konieczność przeprowadzenia modernizacji wynikała z potrzeby przeprowadzenia konserwacji rdzenia reaktora MARIA na paliwo niskowzbogacone produkcji francuskiej. Z uwagi na niekorzystne charakterystyki hydrauliczne tego paliwa, a mianowicie wyższe o ok. 30% opory hydrauliczne i mniejszą o ok. 25% powierzchnię wymiany ciepła, istniała konieczność zwiększenia natężenia przepływu chłodziwa w kanałach paliwowych

<sup>3</sup> S. Chwaszczewski: Bitwa o reaktor MARIA po modernizacji, PTJ 2/2015, s.12-13

<sup>4</sup> A. Gołąb: RAPORT z eksploatacji reaktora badawczego MARIA w 2013 r., PTJ 1/2014 s.18-22

z 25 m<sup>3</sup>/h, stosowanej dla elementów produkcji rosyjskiej, do 30 m<sup>3</sup>/h. Istniejący w reaktorze zestaw pomp głównych, nie umożliwiał zapewnienia we wszystkich kanałach paliwowych wydatku chłodziwa na tym poziomie. Podjęto więc decyzję o wymianie pomp głównych, na nowe zapewniające wydatek globalny 800 m<sup>3</sup>/h, przy dwu pracujących pompach, co umożliwi przeprowadzenie pełnej konwersji rdzenia reaktora na paliwo niskowzbożacone.

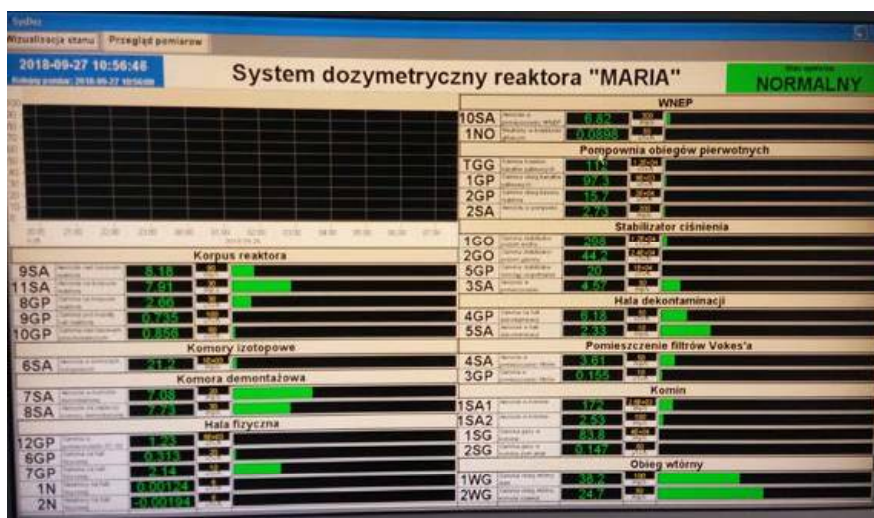
Jednocześnie zmieniono koncepcję chłodzenia powyłaczeniowego i awaryjnego reaktora, a mianowicie zainstalowano trzy dodatkowe pompy powyłaczeniowe, które w czasie wyłączenia się pomp głównych, bezzwłocznie przejmują chłodzenie powyłaczeniowe reaktora.

Inną istotną modernizacją przeprowadzoną w reaktorze była zmiana w konfiguracji rdzenia reaktora polegająca na przeniesieniu kanałów nr 2 i 3 poczty hy-

draulicznej z gniazda h-8 do gniazda H-IX. Operacja ta wymagała umieszczenia w gnieździe H-IX specjalnego bloku berylowego, z otworami umożliwiającymi zainstalowanie w nim kanałów poczty hydraulicznej oraz emisyjnych detektorów neutronów, tzw. kolektronów celem precyzyjnego określenia dawki otrzymywanej przez naświetlane materiały. W dotychczasowym gnieździe h-8 zainstalowano kanał paliwowy.

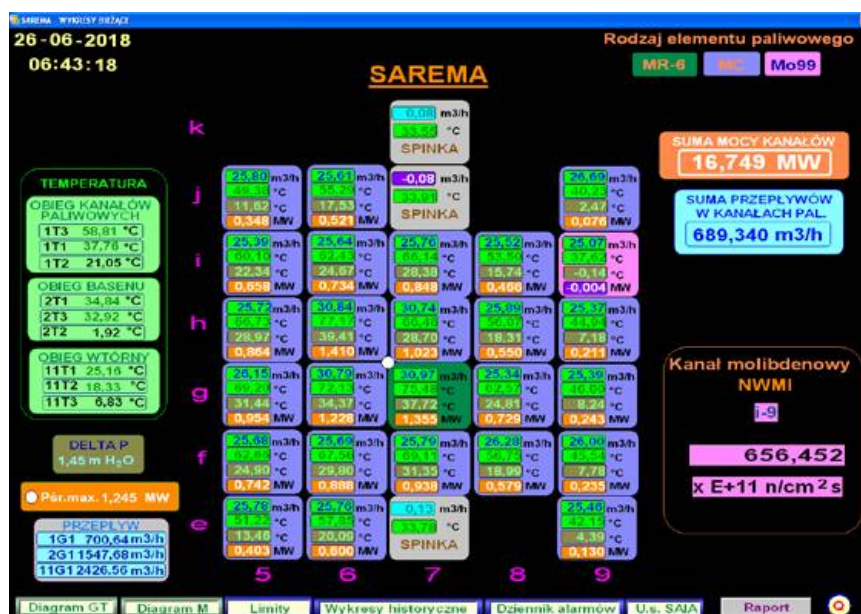
W ramach poprawiania infrastruktury reaktora zmodernizowano również stację transformatorów OPT11 i OPT12 (6/0,4kV), która polegała na zainstalowaniu nowych kontenerowych stacji w miejscu starych.

Widok nowych pomp głównych w pompowni (fot. 3) oraz informacje o ich pracy prezentowane są w nowoczesny sposób na panelu umieszczonym w sterowni reaktora (fot. 4).



Fot. 1. Panel informacyjny systemu dozymetrycznego (fot. A. Mikulski)

Photo 1. The panel of radiation protection system (photo A. Mikulski)



Fot. 2. Panel informacyjny systemu SAREMA (dostarczył A. Frydrysiak, NCBJ)

Photo 2. The panel presenting the SAREMA system operation (submitted by A. Frydrysiak, NCBJ)



Trzeba dodać, że nowe pompy zostały wyposażone fabrycznie w system diagnostyki określający w czterech kategoriach (A, B, C i D) poziom drgań czyli zdolność do dalszej pracy. Tym samym zlikwidowano dawny system własnego pomysłu i konstrukcji, który zdaniem piszącego te słowa dostarczał więcej informacji co zostało przedstawione w podsumowaniu 40-lecia pracy reaktora MARIA.<sup>5</sup>

Kolejna modernizacja w 2015 r. dotyczyła układu awaryjnego zasilania reaktora<sup>6</sup>:

Dotychczas stosowane przetwornice elektromaszynowe uległy naturalnemu zużyciu. Naprawa bądź wymiana przetwornic na nowe okazała się niemożliwa, stąd podjęta została decyzja o modernizacji wspomnianych układów. Polegała ona na wymianie przetwornic elektromaszynowych na zasilacze bezprzerwowe typu FTM-200. W wyniku modernizacji uzyskano bardziej niezawodny układ zasilania awaryjnego o prawie dwukrotnie wydłużonym czasie działania.



**Fot. 3.** Widok czterech nowych pomp głównych pierwotnego obiegu chłodzenia kanałów paliwowych (fot. Andrzej Mikulski)

**Photo 3.** The view of the four main pumps of fuel channel cooling system (photo: Andrzej Mikulski)

Następny, 2015 rok wiąże się z istotną zmianą przeprowadzoną w układach technologicznych reaktora<sup>7</sup>, a mianowicie:

była [to] modernizacja układu wentylacji reaktora, która polegała na zainstalowaniu przetwornic częstotliwości, na silnikach wentylatorów w układzie wentylacji wyciągowej i nawiewnej z pompowni reaktora, które umożliwiają płynną regulację przepływu powietrza przez wentylatory. Przetwornice te oraz wcześniej zainstalowane przetwornice na jednej parze wentylatorów w układzie wentylacji z hali reaktora, włączone zostały w układ automatycznej kontroli podciśnień w pomieszczeniach technologicznych reaktora. Dzięki temu istnieje możliwość automatycznego dostosowywania wydatków przepływającego powietrza przez wentylator do zadanych wartości podciśnienia. Sposobność ta jest szczególnie istotna w sytuacjach awaryjnych uwolnień gazowych substancji promieniotwórczych do pomieszczeń technologicznych,

ponieważ, w takich stanach, nie można uwalniać dużych ilości skażonego powietrza do środowiska, a miałyby to miejsce przy pracy wentylatorów z pełnym przepływem. Zainstalowanie przetwornic daje możliwość automatycznej redukcji wydatków powietrza wyrzucanego do środowiska w sytuacjach awaryjnych, która inicjowana jest na skutek sygnałów dozymetrycznych wskazujących na przekroczenie dopuszczalnych granic skażeń powietrza usuwanego do środowiska.

Niestety roczne sprawozdanie za 2016 r. nie wspomina o przeprowadzonych modernizacjach, natomiast z prac w następnym [2017] roku<sup>8</sup>:

wymienić należy modernizację układu pomiaru temperatur wody chłodzącej kanały paliwowe. Zgodnie z zaleceniami Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA) i przy jej udziale finansowym, w dniach od 28 lipca do 22 września 2017 r., przeprowadzono modernizację układu pomiarowego, mierzącego temperatury wyjściowe z indywidualnych kanałów paliwowych reaktora MARIA oraz układu pomiarowego mierzącego temperaturę globalną wejściową (1T1).

Celem tej modernizacji jest umożliwienie włączenia sygnałów pomiaru temperatur w kanałach paliwowych, w układ zabezpieczeń reaktora, co poprawi bezpieczeństwo jego eksploatacji. Prace przebiegały zgodnie z dokumentem „Projekt techniczny modernizacji układów pomiarowych temperatury w obiegu pierwotnym reaktora Maria” nr W-0416A. Zrealizowano, ujęty w ww. projekcie technicznym montaż: 30 indywidualnych kanałów pomiarowych obejmujący kanały paliwowe: e-5÷e-9; f-5÷f-9; g-5÷g-9; h-5÷h-9; i-5÷i-9; j-5÷j-7; j-9; k-7. W układzie pomiaru temperatur wyjściowych zainstalowano łącznie: 120 szt. termometrów typu PT-100, 90 szt. przetworników temperatury typu TMT-112, 90 szt. układów progowych typu RMA-42, oraz 270 szt. przekaźników wykonawczych. Zmiany w torze pomiarowym 1T1 dotyczyły instalacji 3 termometrów dwupołówkowych PT-100 na kolektorze tłocznym, instalację 6 szt. przetworników TMT-112, 6 szt. układów progowych RMA42, oraz 18 szt. przekaźników wykonawczych. W ramach modernizacji utworzona została zmodyfikowana wersja programu SAREMA zbierania i wizualizacji danych pomiarowych.

Obecnie system znajduje się w fazie testowania i nie został jeszcze wprowadzony do układu zabezpieczeń reaktora. Docelowo, układ ma zapewnić zabezpieczenie od przekroczenia różnicy temperatur wody chłodzącej w kanałach paliwowych, poprzez generację sygnału wyłączenia (SCRAM), od sygnałów pracujących w logice 2 z 3.

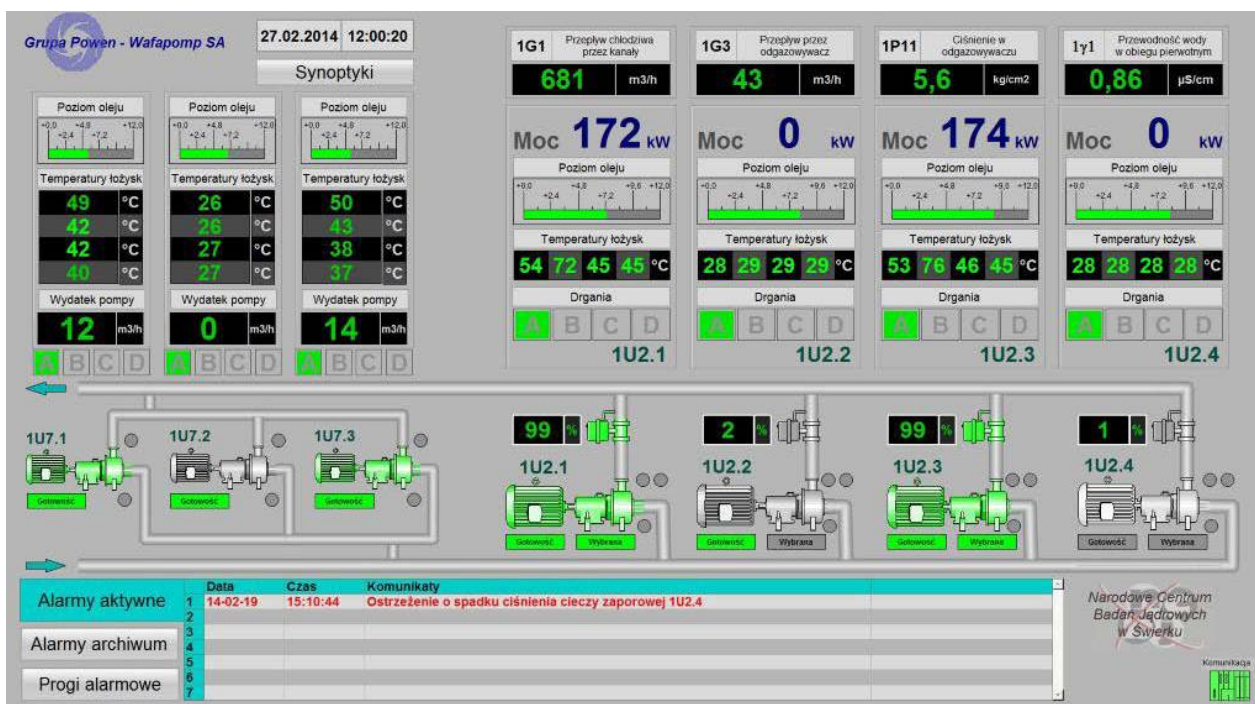
Ponadto, w ramach prac modernizacyjnych, w układzie awaryjnego zasilania w energię elektryczną reaktora, zainstalowano 2 nowe awaryjne agregaty Diesla serii Herkules (typ D/IA-275P), wyprodukowane przez firmę FPT-IVECO (Grupa Fiat), a zakup współfinansowany był przez Ministerstwo Energii. Agregaty te (fot. 5), charakteryzują się możliwością bezwłocznego obciążenia pełną mocą. Stanowi to dużą zaletę w porównaniu do starych agregatów, dla których czas konieczny do ich obciążenia pełną mocą wynosił ok. 20 minut.

<sup>5</sup> A. Mikulski: Reaktor MARIA dziś (2015), PTJ 2/2015, s. 5

<sup>6</sup> J. Idzikowski: Raport z eksploatacji reaktora badawczego MARIA w 2014 r., PTJ 1/2015, s.12-15

<sup>7</sup> A. Gołąb, M. Tarchalski: Praca reaktora badawczego MARIA w 2015 r., PTJ 1/2016, s. 28-33

<sup>8</sup> A. Gołąb: Praca reaktora badawczego MARIA w 2017 r., PTJ 1/2018 s. 37-41



Fot. 4. Panel informacyjny o pracy nowych pomp głównych pierwotnego obiegu chłodzenia (dostarczył A. Gołąb, NCBJ)

Photo 4. The panel showing information about operation of new main pumps of primary cooling system (submitted by A. Gołąb, NCBJ)



Fot. 5. Widok jednego z dwóch nowych awaryjnych agregatów Diesla (fot. A. Mikulski)

Photo 5. View of one of two new Diesel back-up power generators (photo A. Mikulski)



Fot. 6. Widok ogólny sterowni reaktora MARIA w 2018 r. (fot. A. Mikulski)

Photo 6. The general view of control room of the MARIA reactor in 2018 (photo A. Mikulski)

## Podsumowanie

Po prawie 45 latach od uruchomienia reaktora MARIA możemy stwierdzić, jak wiele zmieniło się w jego wyposażeniu technicznym i jak podniósł się poziom techniczny zastosowanej aparatury. Można bez wątplenia zauważyć, że jest to prawie nowy reaktor, nie licząc zbiornika, konstrukcji podtrzymującej elementy paliwowe i rurociągów obu obiegów. Aktualny widok sterowni reaktora MARIA przedstawiony jest na kolejnej fotografii (fot. 6). Zatem eksploatacyjny poziom bezpieczeństwa jest nieporównywalnie wyższy niż w latach 70. ubiegłego wieku. Przeprowadzone modernizacje pozwalają sądzić, że reaktor może być jeszcze eksploatowany przez 20 lat, do 2040 r.

Przedstawienie tak obszernego materiału o modernizacji reaktora ma jeszcze jeden cel. Chodzi o wskazanie, że od prototypu do sprawdzonego obiektu jest droga daleka, a piszę to w kontekście planowanych prac nad reaktorem wysokotemperaturowym, którego wersja przemysłowa ma być realizowana prawie równoległe z reaktorem doświadczalnym. Trzeba jasno stwierdzić, że projektowanie i budowa obiektu przemysłowego powinna mieć miejsc dopiero po uzyskaniu przynajmniej minimalnych doświadczeń z eksploatacji obiektu doświadczalnego.

Autor pragnie wyrazić podziękowanie p. Grzegorzowi Krzysztozkowi z NCBJ w Świerku za przejrzenie artykułu i uzupełniające uwagi.

dr inż. Andrzej Mikulski,  
Polskie Towarzystwo Nukleoniczne,  
Warszawa