

PRACA REAKTORA BADAWCZEGO MARIA W 2023 ROKU

Research reactor MARIA operation in 2023

Piotr Witkowski

Streszczenie: Wysokostrumieniowy reaktor badawczy MARIA, eksploatowany w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Świerku, wykorzystywany jest do produkcji radioizotopów oraz do prowadzenia badań z wykorzystaniem wiązek neutronów. W artykule opisano parametry techniczne reaktora i charakterystykę jego pracy w 2023 r.

Abstract: The MARIA high-flux research reactor operated at the National Centre for Nuclear Research at Swierk (Poland) is used for targets irradiation and to run physical experiments. The technical parameters of the reactor and characteristics of its operation in 2023 are presented.

Słowa kluczowe: reaktor MARIA, Narodowe Centrum Badań Jądrowych (NCBJ), eksploatacja reaktora MARIA w 2023 r.

Keywords: MARIA reactor, National Center for Nuclear Research (NCNR), operation of MARIA reactor in 2023

Reaktor MARIA osiągnął pierwszy raz stan krytyczny 18 grudnia 1974 r. Reaktor został zaprojektowany przez polskich inżynierów, wykorzystując w większości krajowe rozwiązania techniczne i komponenty. Z punktu widzenia konstrukcyjnego i parametrów fizycznych rdzeń reaktora MARIA jest podobny do rdzenia rosyjskiego reaktora typu MR, pracującego od 1964 r. do połowy lat 90 w ówczesnym Instytucie Energii Atomowej im. I. W. Kurczatowa w Moskwie. W odróżnieniu od reaktora MR reaktor MARIA został wyposażony w kanały poziome do badań fizycznych oraz szereg kanałów pionowych do produkcji radioizotopów.

Po okresie dziesięcioletniej eksploatacji w latach 1975-1985, reaktor został poddany pierwszej modernizacji. Pierwsza modernizacja trwała 7 lat podczas której położono duży nacisk na podniesienie poziomu bezpieczeństwa reaktora oraz eliminację drobnych błędów konstrukcyjnych m.in. zamontowano w obiegu kanałów paliwowych pasywne zawory bezpieczeństwa, pozwalające na chłodzenie reaktora w przypadku wystąpienia dużej ucieczki wody z obiegu, zmieniono część zaworów doprowadzających wodę do elementów paliwowych na zawory fail-safe nieblokujące przepływu wody w przypadku ich uszkodzenia, zmodernizowano system wentylacji oraz wprowadzono szereg innych usprawnień. Modernizacja została zakończona w 1992 r. Kolejna przerwa w pracy reaktora miała miejsce w 2004 r., była spowodowana problemami z zakupem paliwa jądrowego, przerwa w pracy trwała blisko rok. W latach 2008-2015 w reaktorze MARIA z sukcesem przeprowadzono proces konwersji paliwa jądrowego. Proces polegał na zaprojektowaniu i wdrożeniu do eksploatacji paliwa o wzbogaceniu 19,75%, które zastąpiło elementy paliwowe o wzbogaceniu 36%. Proces konwersji wymusił konieczność wymiany pomp obiegu

kanałów paliwowych. Wymianę zrealizowano w 2013 r. Zastosowano nowe pompy z większym wydatkiem przepływu, dodatkowo rozdzielono funkcję chłodzenia elementów paliwowych z nominalnym wydatkiem oraz dodatkowe pompy powyłączeniowe. Podczas eksploatacji od 1992 r. prowadzono także inne modernizacje stale podnoszące poziom bezpieczeństwa reaktora m.in.:

- zmodernizowano część aparatury neutronowej,
- zmodernizowano system dozymetryczny,
- uzupełniono system zabezpieczeń o dodatkowe sygnały awaryjne, wyłączające reaktor po przekroczeniu temperatury wody chłodzącej poszczególne elementy paliwowe,
- wymieniono bloki matrycy berylowej,
- przetwornice elektromaszynowe DC/AC zastąpiono zasilaczami bezprzewodowymi,
- wymieniono agregaty Diesla.

We wrześniu 2022 r. rozpoczęła się kolejna przerwa modernizacyjna reaktora trwająca do października 2023 r. Głównym celem remontu była modernizacja rozdzielni głównych reaktora wraz z wymianą okablowania. Podczas modernizacji realizowanej przez firmę Elektrobudowa S.A. wymieniono szafy rozdzielcze, wraz z aparatami i urządzeniami SZR (samoczynnego Załączania Rezerwy), wymieniono trasy kablowe wraz z okablowaniem. Zastosowano kable o zwiększonej odporności ogniowej, natomiast dla najistotniejszych odbiorów z punktu widzenia bezpieczeństwa reaktora użyto kabli bezhalogenowych, w sumie na potrzeby modernizacji zużyto około 70 km kabli energetycznych i sterowniczych. Nowe rozdzielnie są wyposażane w system diagnostyki, który pozwala operatorom na szybką ocenę stanu systemu zasilania reaktora.

Kolejną znaczącą zrealizowaną pracą była modernizacja zbiorników na ciekłe odpady promieniotwórcze. NCBJ został zobowiązany decyzją dozoru jądrowego do dostosowania zbiorników na ciekłe odpady promieniotwórcze do aktualnych wymogów Prawa atomowego, także ich stan techniczny wskazywał na konieczność realizacji remontu. W ramach modernizacji usunięto ściany stropowe zbiorników, istniejące ściany zewnętrzne oraz dna zbiorników zostały zabezpieczone poprzez iniekcje betonu, a następnie pokryte warstwą hydroizolacji. W kolejnym etapie we wnętrzu istniejących zbiorników umieszczono zbiorniki wykonane z prefabrykatów oraz wykonano płytę stropową. Nowe zbiorniki mają nieznacznie mniejszą pojemność. Zmniejszenie pojemności nie wpływa na parametry eksploatacyjne reaktora, natomiast poprawa szczelności zbiorników oraz system monitorowania szczelności znacząco wpływa na poziom ochrony radiologicznej otoczenia reaktora.

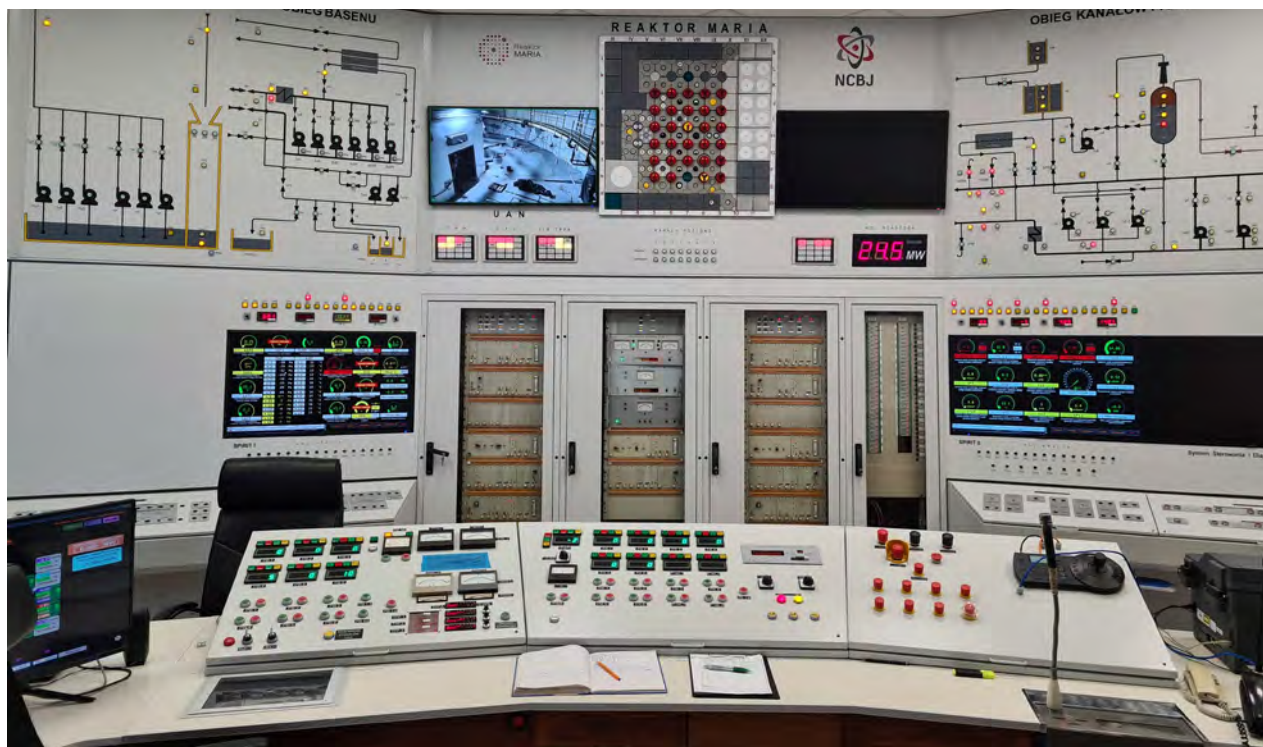
Kolejnym zrealizowanym zadaniem podczas przerwy remontowej była modernizacja sterowni reaktora (fot.1.) zrealizowana przez firmę ZPAS S.A. Podczas modernizacji zostały wymienione tablice mnemotechniczne i pulpity sterownicze oraz uruchomiono nowy system rejestracji i wizualizacji parametrów technologicznych reaktora. Nowa zabudowa sterowni została wykonana z modułowych tablic symptomatycznych ułatwiających wprowadzanie w przyszłości zmian. System wizualizacji tworzą dwie niezależne stacje pomiarowe wykorzystujące sterowniki przemysłowe PLC, w przy-

padku awarii jednego z systemów drugi zachowuje pełną funkcjonalność. System rejestruje parametry pracy reaktora, ułatwia operatorom analizę danych z przyrządów pomiarowych, pozwala na generowanie trendów archiwalnych, pracuje zgodnie z aktualnymi standardami w automatyce procesowej.

Podczas przerwy remontowej rozpoczęto proces modernizacji układów automatyki neutronowej, został dostarczony i uruchomiony przez czeską firmę dataPartner tor pomiarowy odpowiadający za pomiar zmian strumienia neutronów przy niskich poziomach mocy, jako detektor neutronów jest wykorzystywana komora rozszczepieniowa. Obecnie tor jest testowany podczas pracy reaktora i zostanie włączony w układ zabezpieczeń reaktora po zatwierdzeniu programu testów i otrzymaniu zgody na eksploatację reaktora ze zmodernizowanym układem.

Podczas przerwy remontowej prowadzone były również mniejsze prace remontowo-modernizacyjne w celu utrzymania sprawności reaktora m.in. remont chłodni wtórnego obiegu, naprawa wentylatorów wtórnego obiegu chłodzenia, wymiana innych urządzeń pomiarowych. Główne prace modernizacyjno-remontowe trwały do lipca 2023 r. następnie rozpoczęto etap testów i uruchomienie wszystkich systemów reaktora.

Przed rozpoczęciem każdej z przeprowadzonych modernizacji wpływającej na poziom bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej jest przygotowywany Plan jakości danej modernizacji. Plan zawiera



Fot.1. Sterownia reaktora MARIA (fot. NCBJ)

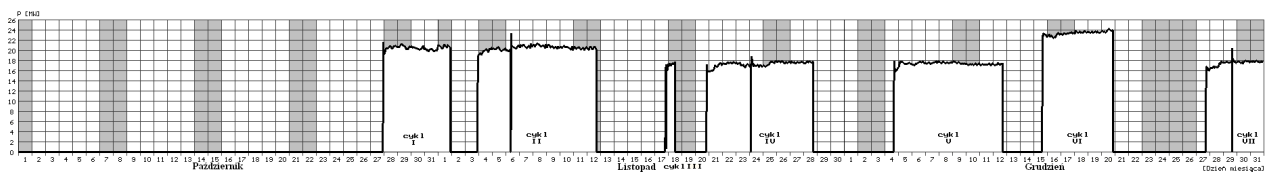
Photo.1. The control room of reactor MARIA (photo NCBJ)

wymagania dotyczące prowadzenia prac, stosowanie rozwiązań zastępczych w celu utrzymania sprawności systemów niezbędnych do funkcjonowania reaktora oraz wstępny program prób i testów, który należy przeprowadzić po zakończeniu modernizacji. W celu zapewnienia bezpieczeństwa reaktora podczas modernizacji niezbędne było utrzymanie sprawności zasilania najważniejszych komponentów reaktora m.in. systemu wentylacji, zaworów zrzutowych, pomp recyrkulacji wody, urządzeń pomiarowych oraz zasilania podstawowego budynków. Natomiast podczas modernizacji zbiorników zrzutowych niezbędne było utrzymanie w sprawności układu ścieków oraz systemu recyrkulacji wody z obiegów pierwotnych. Stosowanie rozwiązań zastępczych znacząco komplikuje prowadzenie prac, jednak jest niezbędne do zapewnienia bezpieczeństwa obiektu jądrowego.

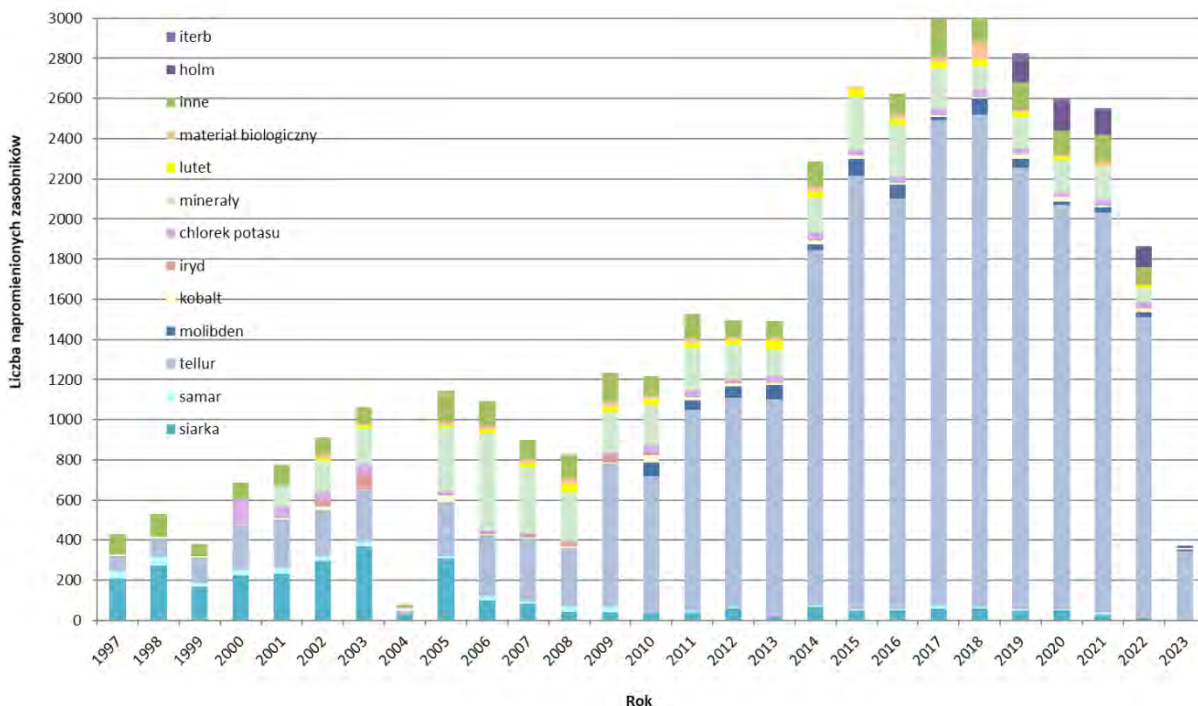
Na etapie kontroli przeprowadzono ponad 100 testów potwierdzających poprawną pracę zmodernizowanych układów i prawidłową współpracę z istniejącymi systemami reaktora. W dniu 12.10.2023 r. po otrzymaniu zgody Prezesa PAA przeprowadzono

testowy rozruch z mocą do 500 kW mający na celu sprawdzenie poprawności pracy układów podczas pracy reaktora. Pozytywne wyniki testów oraz obszerna dokumentacja powykonawcza były podstawą do wydania zgody na eksploatację reaktora ze zmodernizowanymi układami. NCBJ otrzymał zgodę na uruchomienie reaktora po przeprowadzonych modernizacjach w dniu 27.10.2023 r. i niezwłocznie rozpoczął eksploatację reaktora w celu zapewnienia dostaw izotopów promieniotwórczych.

W 2023 r. reaktor był uruchamiany 10 razy. Czas pracy na mocy nominalnej wynoszącej od 18 do 25 MW wynosił 1004 godziny i obejmował realizację siedmiu cykli pracy, co przedstawiono na rys. 1. Czas trwania cykli w zależności od programów napromieniania mieścił się w przedziale od 19 do 211 godzin. Harmonogram pracy reaktora był dostosowany do zapotrzebowania na napromienianie Ośrodka Radioizotopów POLATOM oraz napromienianie tarcz uranowych do produkcji ^{99}Mo . Reaktor był również uruchamiany na potrzeby realizacji prac badawczych, m.in. pomiarów parametrów reaktywności rdzenia.



Rys. 1. Zestawienie pracy reaktora MARIA w 2023 r.
Fig. 1. MARIA reactor operation diagram in 2023



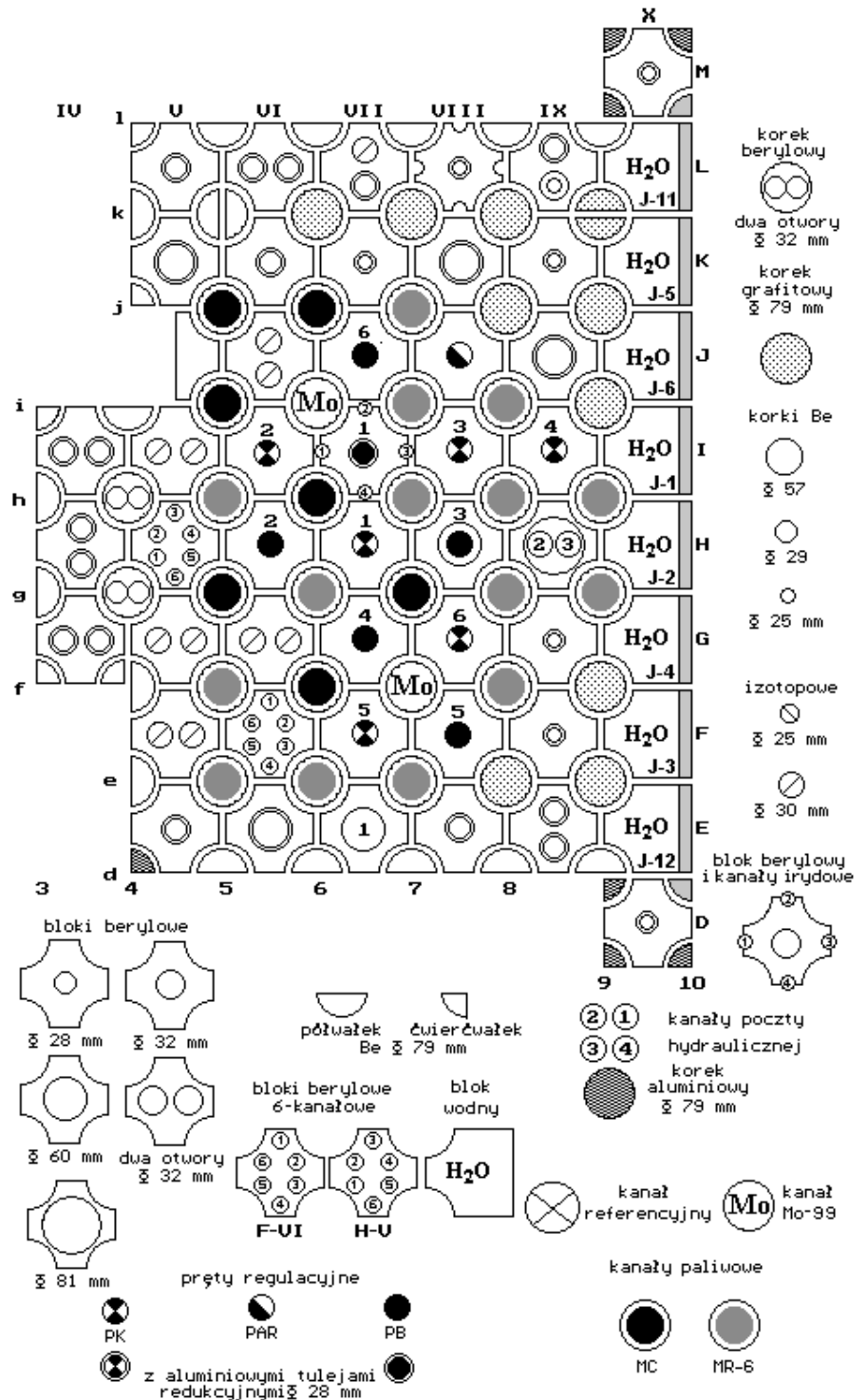
Rys. 2. Wykaz napromienionych materiałów tarczowych reaktorze MARIA w 2023 r.
Fig. 2. List of irradiated targets in MARIA reactor in 2023.

Napromieniania dotyczyły głównie takich materiałów tarczowych jak: dwutlenek telluru (do produkcji I-131), chlorek potasu (do produkcji S-35), iryd, bromek potasu, związki samaru, lutet, miedź, kobalt, próbki materiałów alkalicznych, biologicznych i geologicznych. Całkowita aktywność napromienionych materiałów wyniosła około 205 TBq dla zasobników z materiałami tarczowymi oraz 983 TBq dla płytek uranowych przeznaczonych do produkcji molibdenu-99. Wykaz napromienionych materiałów tarczowych w reaktorze MARIA, w postaci liczby załadowanych zasobników przedstawiono na rys. 2.

W 2023 r. prowadzono komercyjne napromienianie płytek uranowych służących do produkcji molibdenu (Mo-99), który to izotop ulega przemianie w technet (Tc-99m), będący najbardziej powszechnym na świecie radiofarmaceutykiem stosowanym w diagnostyce medycznej. Płytki uranowe napromieniano w 2 targetach reaktora, łącznie napromieniono 96 płytek niskowzobogaconych (o wzbogaceniu 19,75% w uran-235). Napromienianie płytek prowadzone jest w tzw. kanałach molibdenowych, których konstrukcja jest identyczna jak kanałów paliwowych. Napromienianie realizowane jest w dwóch gniazdach i-6 i f-7 rdzenia reaktora.

Reaktor MARIA posiada licencje na eksploatację dwóch standardowych elementów paliwowych typu MR-6, MC-5 oraz specjalnego elementu paliwowego typu MR-2 przeznaczonego do napromieniania materiałów. Standardowe elementy paliwowe posiadają 6 (MR-6) lub 5 (MC-5) rur zawierających około 485 g U-235 o wzbogaceniu 19,75%. Element MR-2 składa się tylko z zewnętrznych dwóch rur paliwowych, wewnątrz zamiast rur oznaczonych 1-3 posiada pustą

przestrzeń, w której można napromienić materiały w wysokim strumieniu neutronów prędkich. Od pierwszego cyklu pracy elementy paliwowe typu MR-6 są zastępowane paliwem typu MC-5 produkcji Framatome-CERCA. Jest to paliwo o wzbogaceniu 19,75% ^{235}U w postaci U_3Si_2 . W okresie 2009-2020 wypalono 91 elementów paliwowych MC-5, eksploatacja przebiegała



Rys. 3. Konfiguracja rdzenia reaktora MARIA w 2023 r.
Fig. 3. Core configuration of the MARIA reactor in 2023

bez żadnych problemów. Natomiast eksploatacja paliwa typu MR-6 wyprodukowanego przez rosyjską firmę TVEL zostanie zakończona w 2025 r.

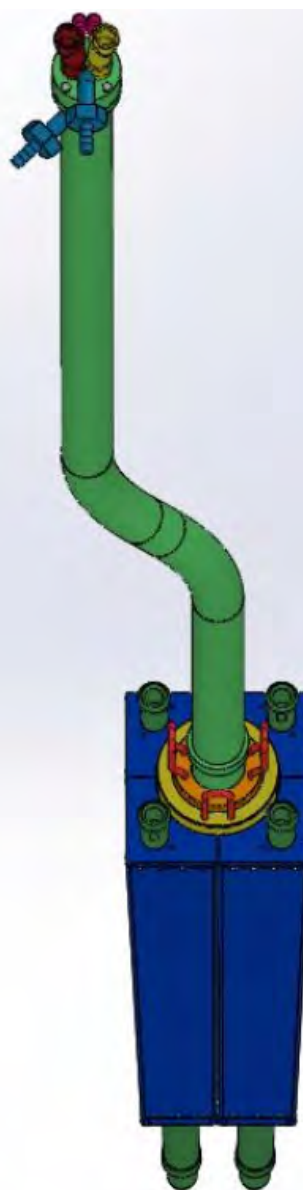
Reaktor został zaprojektowany do pracy z nominalną mocą cieplną do 30 MW. Obecnie moc cieplna jest dostosowywana do harmonogramu napromieniowań materiałów tarczowych umieszczonych w rdzeniu reaktora, zwykle moc nominalna wynosi 19-27 MW. Obecnie maksymalna moc reaktora jest ograniczona limitem mocy najbardziej obciążonego elementu paliwowego mocy, który wynosi 1,96 MW (poziom awaryjny). W kanałach do napromieniowań materiałów tarczowych maksymalny strumień neutronów termicznych osiąga wartość $2,5 \times 10^{14}$ n/cm²s, stosunek strumienia neutronów termicznych do strumienia neutronów prędkich w matrycy berylowej wynosi około 5, natomiast w reflektorze grafitowym jest większy od 10.

Rdzeń reaktora przedstawiony na rys. 3 jest zbudowany z bloków berylowych, pomiędzy którymi umieszczone są elementy paliwowe. Wewnątrz bloków berylowych znajdują się pręty bezpieczeństwa, pręty kompensacyjne pręt automatycznej regulacji oraz kanały do napromieniowań materiałów tarczowych. W 2023 r. kontynuowano program wymiany bloków berylowych, dwa bloki o największej fluencji neutronów zastąpiono blokami świeżymi. W matrycy berylowej wskutek oddziaływania neutronów termicznych i prędkich zachodzą reakcje, w wyniku których rośnie generacja izotopów ⁶Li i ³He odznaczających się dużymi przekrojami czynnymi na pochłanianie neutronów termicznych, co w miarę narastania ich koncentracji prowadzi do strat zapasu reaktywności, a ich akumulacja w bokach osłabia parametry wytrzymałościowe.

Rdzeń otoczony jest reflektorem zbudowanym z bloków grafitowych, w reflektorze umieszczone są również stanowiska do napromieniowań minerałów, neutronowego domieszkowania krzemu oraz kanały poczty hydraulicznej do krótkoterminowego napromieniania materiałów tarczowych. W ubiegłym roku prowadzono prace nad rozbudową stanowisk do napromieniowań w reflektorze grafitowym. Wymieniono dwa stanowiska do napromieniowań minerałów. Wymiana była spowodowana zużyciem stanowisk. Bloki w wyniku naprężeń mechanicznych zostały odkształcone oraz uległo zmianie widmo neutronów wewnątrz stanowisk. Nowe stanowiska mają wzmocnioną konstrukcję wewnętrzną zwiększającą wytrzymałość mechaniczną bloku. Kolejną zmianą w reflektorze grafitowym był montaż zestawu czterech bloków aluminiowych z wewnętrzną osłoną wykonaną z ołowiu, przedstawiony na rys 4. Wewnątrz osłony zostanie zamontowane stanowisko poczty hydraulicznej umożliwiające napromienianie materiałów tarczowych wrażliwych na podwyższoną temperaturę. Osłony ołowiane zostały zaprojektowane w celu ograniczenia składowej promieniowania gamma w kanale poczty hydraulicznej powodującej

podgrzewanie napromienianego materiału. Jednym z materiałów wymagających niskiej temperatury są mikrosfery holmowe wykorzystywane w terapii leczenia nowotworów wątroby. NCBJ współpracuje z firmą Terumo rozwijając kompetencje w rozwoju technologii, napromieniowań mikrosfer.

W 2023 r. nie prowadzono badań na wiązkach neutronów wyprowadzanych z kanałów poziomych reaktora z powodu modernizacji hali fizycznej. Remont ma opóźnienie spowodowane problemami z realizacją zadania. Obecnie remont powinien zostać zakończony w 2024 r. Niezależnie od remontu hali fizycznej trwają prace przy odbudowie kanału poziomego H2. Kanał został wyłączony z eksploatacji w latach 80. ubiegłego



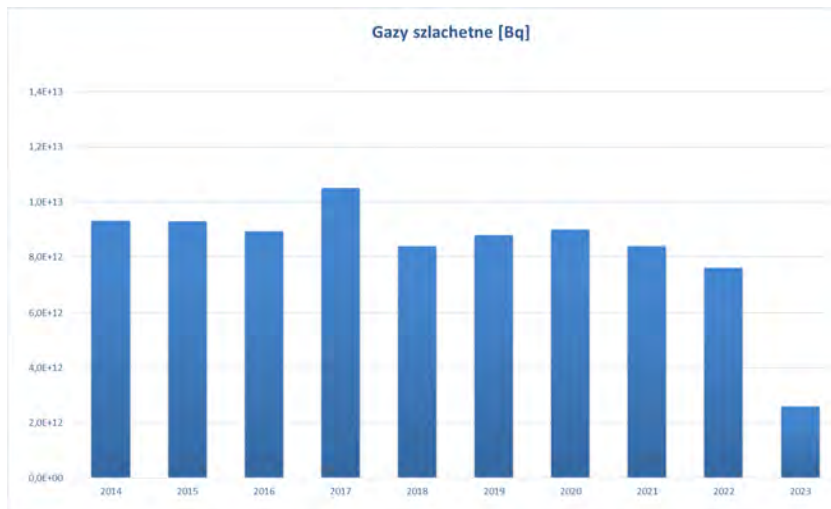
Rys. 4. Zespół czterech bloków aluminiowych wraz z kanałem poczty hydraulicznej

Fig. 4. Assembly of four aluminium blocks including hydraulic "rabbit" channel

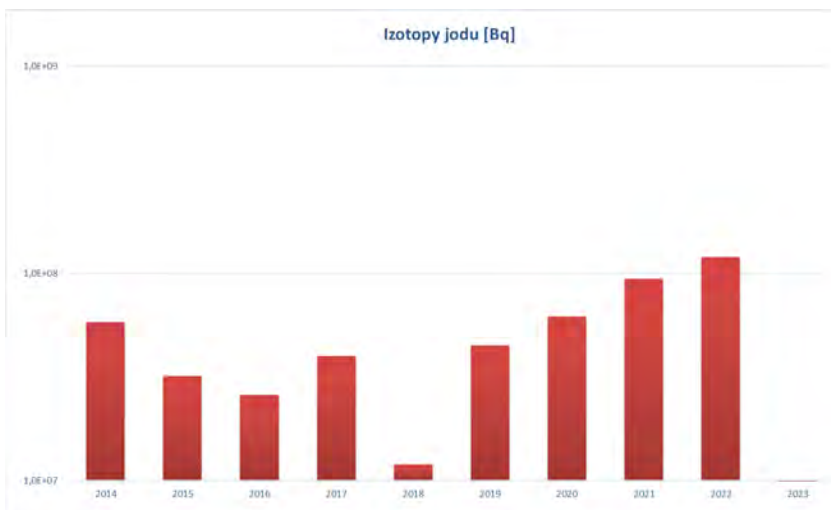
go wieku, w wyniku prac nad stanowiskiem badawczo-modelowym elektrowni jądrowej, po przerwaniu budowy polskiej elektrowni jądrowej program zawieszono. W ubiegłym roku zamontowano bloki osłonowe w niszy kanału oraz rozpoczęto testy układu zamykającego. Zakończenie testów i uzyskanie zgody na eksploatację kanału H2 jest przewidywane w 2024 r.

Reaktor badawczy MARIA jest w sposób ciągły monitorowany pod względem uwolnień produktów radioaktywnych do środowiska. Poziomy uwolnień do atmosfery przedstawione na rys. 5 i 6, w 2023 r. wynosiły:

- emisja gazów szlachetnych (głównie Ar-41 oraz izotopy ksenonu i kryptonu) – $2,6 \times 10^{12}$ Bq, co stanowi około 0,2% limitu uwolnień,
- emisja jodów – $2,2 \times 10^6$ Bq, co stanowiło 0,04% rocznego limitu uwolnień.



Rys. 5. Roczne uwolnienia gazów szlachetnych z reaktora MARIA w ciągu ostatnich dziesięciu lat
Fig. 5. Yearly noble gases emission from MARIA reactor in the last 10 years



Rys. 6. Roczne uwolnienia jodów z reaktora MARIA w ciągu ostatnich dziesięciu lat
Fig. 6. Yearly iodines emission from MARIA REACTOR in the last 10 years

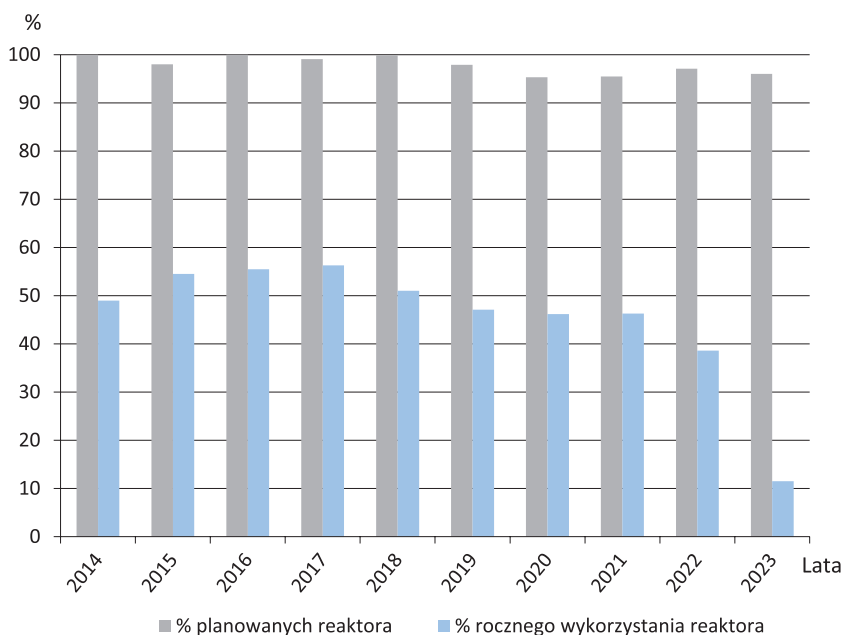
Uwolnienia izotopów promieniotwórczych do atmosfery w 2023 r. były znacznie niższe niż w latach ubiegłych z powodu krótkiego okresu pracy reaktora.

W okresie 2023 r. 124 pracowników otrzymało dawkę na całe ciało Hp(10)z zawierającą się w granicach 0,1-1,21 mSv. Dziewięciu pracowników otrzymało dawkę na skórę rąk Hp(0,07)z zawierającą się w granicach 0,20-2,02 mSv.

Wykresy na rys.7 przedstawiają dwa parametry, mówiące o dyspozycyjności reaktora MARIA na przestrzeni ostatnich 10 lat:

- stosunek liczby przepracowanych godzin do sumy liczby przepracowanych godzin i liczby godzin nieplanowanych wyłączeń w 2023 r. (A_1), który wynosił 96 %,
- stosunek liczby godzin pracy reaktora do liczby godzin w 2023 r. (A_2) wynoszący 11,5%.

W 2023 r. miały miejsce cztery nieplanowane wyłączenia reaktora. Pierwsze wyłączenie zostało wyzwolone automatycznym sygnałem zaniku napięcia w rozdzielni wtórnego obiegu. Generację sygnału spowodował krótkotrwały zanik napięcia w zewnętrznej sieci zasilającej (trwający poniżej 2 sekund), który zarejestrowały systemy automatyki reaktora. Po kontroli wszystkich parametrów z systemów pomiarowych reaktora podjęto decyzję o ponownym rozruchu i powrocie do mocy nominalnej. Wyłączenie spowodowało jedynie kilkudziesięciu minutową przerwę w pracy reaktora. Przyczyną drugiego z nieplanowanych wyłączeń była nieszczelność uszczelki zaworu w kolektorze tłocznym obiegu kanałów paliwowych. W wyniku nieszczelności woda z obiegu kanałów paliwowych wyciekła do obiegu basenu. Ucieczka wody była niewielka i nie wywołała sekwencji awaryjnej, ani zwiększonego zagrożenia radiologicznego. Podjęto decyzję o wyłączeniu reaktora i naprawie uszkodzonego elementu, reaktor został uruchomiony ponownie po około 48 godzinach. Dwa nieplanowane wyłączenia były wywołane błędnymi sygnałami z aparatury pomiarowej usterki zostały usunięte, reaktor uruchomiony ponownie, wyłączenia nie miały wpływu na realizację harmonogramu.



Rys. 7. Roczne wskaźniki pracy reaktora MARIA
Fig. 7. Yearly factors of reactor MARIA operation

W 2023 r. z powodu późnego uruchomienia po przerwie remontowej reaktor wypracował cztery razy mniej godzin na mocy nominalnej niż w ubiegłych latach, co spowodowało znaczący spadek wykorzystania reaktora. W 2024 r. i kolejnych latach przewidywana jest praca reaktora przez około 4200 h z mocą nominalną. Współczynnik wypełnienia planowanych godzin jest nieznacznie niższy niż w latach ubiegłych. Nieplanowane wyłączenie spowodowane nieszczelnością w obiegu kanałów paliwowych spowodowało przerwę w pracy reaktora, a przy krótkim sumarycznym czasie eksploatacji znacząco obniżyło to współczynnik wypełnienia.

Przeprowadzone w ubiegłym roku modernizacje są częścią wieloletniego planu modernizacji reaktora MARIA. 20 czerwca 2023 r. Rada Ministrów przyjęła uchwałę ws. wieloletniego programu wsparcia reaktora MARIA pod nazwą „Program modernizacji badawczego reaktora jądrowego MARIA umożliwiający jego eksploatację po 2027 r.". Uchwała przewiduje, że modernizacja reaktora obejmie lata 2023-2027, a koszt wsparcia tego przedsięwzięcia wyniesie około 91,7 mln zł. W 2023 r. modernizacje pochłonęły blisko ¼ założonego budżetu. Modernizację podzielono na 5 głównych obszarów tematycznych: układy zasilania energią elektryczną, układy sterowania i zabezpieczeń, układ wentylacji, układy dozymetryczne oraz pozostałe modernizacje (obejmujące obiekty technologiczne, układ awaryjnego ostrzegania czy chłodnia wentylatorowa). Zespół pracowników reaktora w najbliższych latach czeka

wiele wyzwań związanych z realizacją programu modernizacji, które muszą być powiązane z normalną eksploatacją reaktora, nie przewiduje się kolejnej tak długiej przerwy w pracy reaktora, modernizacje będą realizowane w przerwach remontowych. Realizacja programu ma na celu poprawę bezpieczeństwa oraz zapewnienie eksploatacji przez następne 25 lat.

Obecnie reaktor MARIA posiada licencję na eksploatację do marca 2025 r. NCBJ rozpoczął proces relicencjonowania reaktora. Pierwszym etapem jest kolejna okresowa ocena bezpieczeństwa reaktora, przeprowadzona w 2023 r. Raport z oceny został przekazany do zatwierdzenia organom dozoru jądrowego. Kolejnym dokumentem opracowywanym przez zespół reaktora jest nowa edycja „Eksploatacyjnego Raportu Bezpieczeństwa Reaktora MARIA”, którego zawartość musi zostać dostosowana do wymagań aktualnego Prawa atomowego.

W 2023 r. z powodu zwiększonego zagrożenia terrorystycznego zastosowano zaostrzone środki bezpieczeństwa reaktora, wpłynęło to m.in. na zmniejszenie działalności edukacyjnej z powodu ograniczenia ilości osób odwiedzających.

Eksploatacja reaktora w ubiegłym roku odbiegała od standardowego procesu z ubiegłych lat. Przez dziewięć miesięcy wysiłki personelu były skupione wokół realizacji modernizacji. Oprócz prowadzonych fizycznych prac zostały zaktualizowane i powstały nowe instrukcje i procedury dla zmodernizowanych układów. Po uruchomieniu reaktora rozpoczęto intensywny program eksploatacji, który potwierdził wysoką jakość prowadzonych prac. Przeprowadzone modernizacje nie miały negatywnego wpływu na eksploatację reaktora, nieplanowane wyłączenia nie były związane ze zmodernizowanymi układami. Obecnie przygotowywane są kolejne modernizacje, które pozwolą na dalszą bezpieczną eksploatację reaktora w perspektywie do 2050 r.

inż. Piotr Witkowski,
Narodowe Centrum Badań Jądrowych,
Otwock-Świerk