

PRACA REAKTORA BADAWCZEGO MARIA W 2019 ROKU

Research reactor MARIA operation in 2019

Ireneusz Owsianko

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 skrótoowo opisano parametry techniczne reaktora oraz omówiono szczegółowo charakterystykę jego pracy w 2019 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 2019 are given in detail.

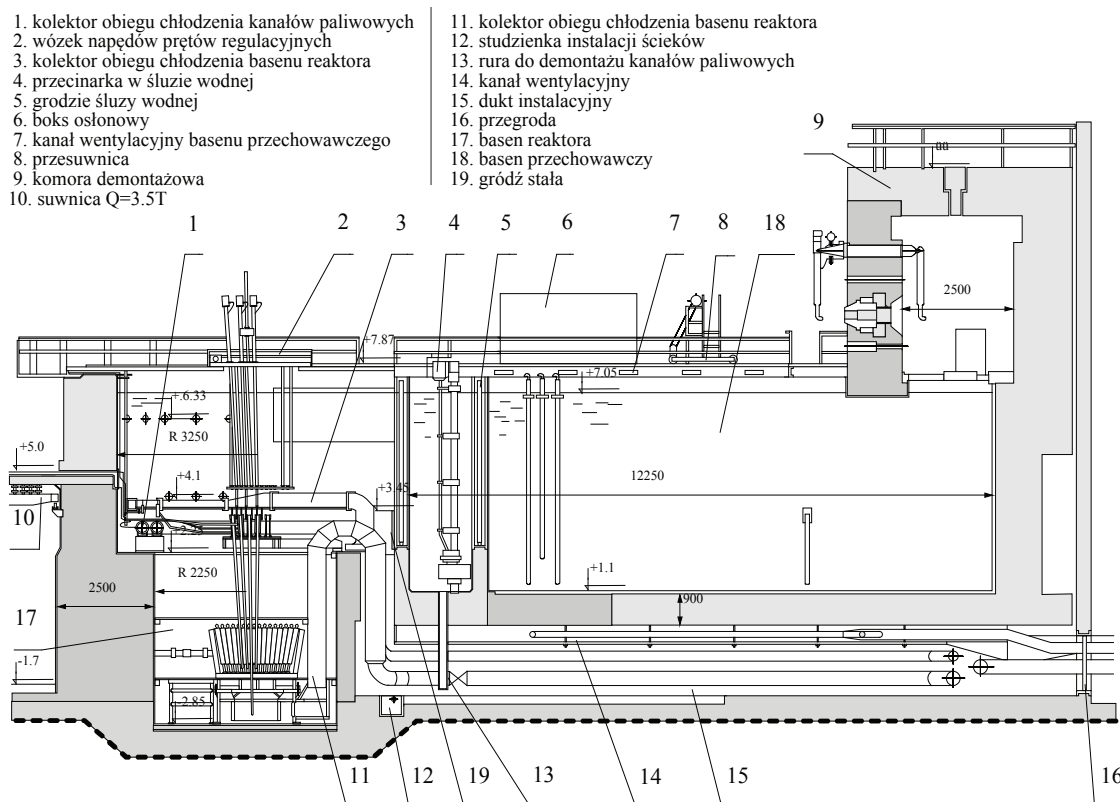
Słowa kluczowe: reaktor MARIA, Narodowe Centrum Badań Jądrowych, eksploatacja reaktora MARIA w 2019 r.

Keywords: MARIA reactor, National Centre for Nuclear Research, operation of MARIA REACTOR in 2019.

Wysokostrumieniowy reaktor badawczy MARIA, eksploatowany w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Świerku, wykorzystywany jest do produkcji izotopów promieniotwórczych dla potrzeb medycyny i przemysłu oraz do prowadzenia badań fizycznych. Jest to reaktor kanałowo-basenowy moderowany z paliwem umieszczonym w matrycy berylowej z reflektorem grafitowym i chłodzony zwykłą wodą. Nominalna moc cieplna reaktora wynosi 30 MW przy strumieniu neutronów termicznych równym $2 \cdot 10^{14}$ n/(cm²s). W 2019 r. wykorzystywane były dwa rodzaje elementów paliwowych: typu MC-5 i MR-6, o wzboğace-

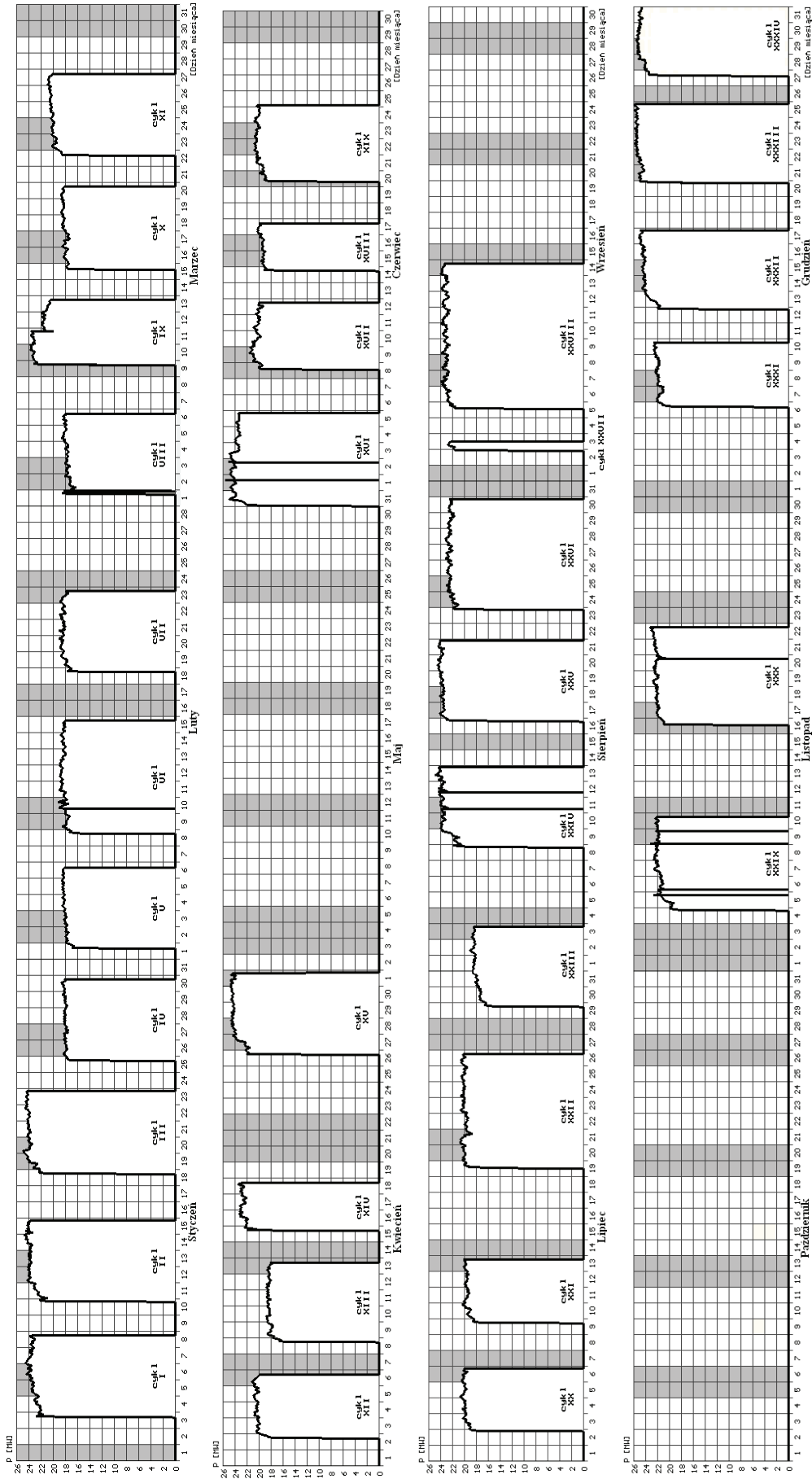
niu 19,75% oraz 19,7% w izotop U-235 (tzw. paliwo LEU) w kształcie 5 lub 6 koncentrycznych rur o długości 1000 mm koszulkowanych aluminium.

Na rys.1 przedstawiono przekrój pionowy dwóch basenów reaktora: reaktorowego, gdzie umieszczony jest rdzeń reaktora i przechowawczego (technologicznego), gdzie przechowywane jest wstępnie wypalone paliwo. W roku 2019 reaktor MARIA przepracował łącznie 4092 godzin na mocy cieplnej od 18 do 25 MW, co przedstawiono na załączonym zestawieniu (rys. 2).



Rys. 1. Przekrój pionowy basenów reaktora MARIA
Fig. 1. Cross section of the MARIA reactor pools

Zestawienie pracy reaktora „MARIA” w 2019 roku

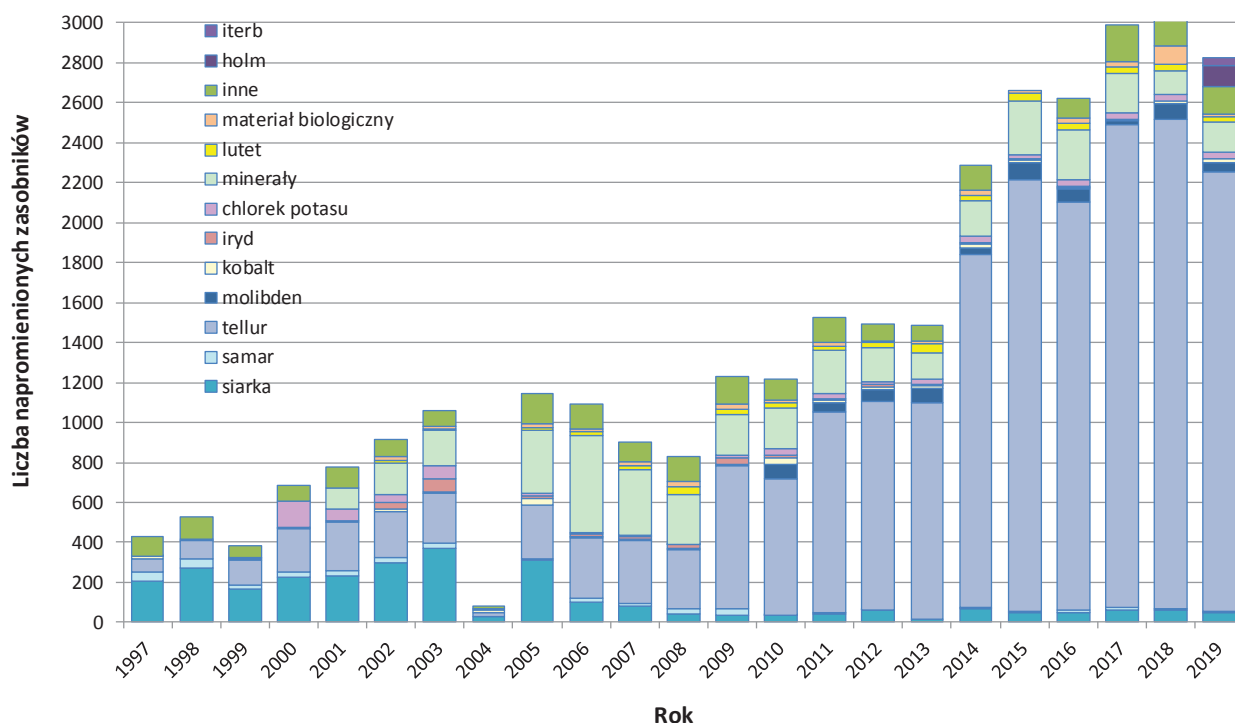


Opracowanie i wykonanie Andrzeja Frydrysiak - DOMEJ2

Rys. 2. Zestawienie pracy reaktora MARIA w 2019 r.
Fig. 2. MARIA reactor operation diagram in 2019

Eksploatacja reaktora dostosowana była w szczególności do zapotrzebowania na napromienianie płytek uranowych do produkcji molibdenu (Mo-99) dla amerykańskiej firmy Curium (dawniej Mallinckrodt Pharma-

ceuticals) oraz do zapotrzebowania Ośrodka Radioizotopów POLATOM i Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej na napromienianie materiałów tarczowych.



Rys. 3. Wykaz napromienionych materiałów tarczowych w reaktorze MARIA w 2019 r.

Fig. 3. List of irradiated targets in MARIA reactor in 2019

Napromienienia dotyczyły głównie takich materiałów tarczowych jak: dwutlenek telluru (do produkcji J-131), siarka (do produkcji P-32), chlorek potasu (do produkcji S-35), iryd, bromek potasu, związki samaru, lutet, iterb, lantan, miedź, kobalt, próbki materiałów alkalicznych, biologicznych i geologicznych. Całkowita aktywność napromienionych materiałów wyniosła około 1400 TBq oraz 4357 TBq dla molibdenu-99. Wykaz napromienianych materiałów tarczowych w reaktorze MARIA, w postaci liczby załadowanych zasobników przedstawiono na załączonym zestawieniu (rys. 3). Ponadto w 2019 r. prowadzono napromienianie minerałów, w czterech specjalnych stanowiskach, co wymagało stosowania „nietypowej” konfiguracji rdzenia reaktora z ośmioma blokami wodnymi zawierającymi filtr, modelujący widmo neutronów (rys. 4).

W 2019 r. prowadzono intensywne komercyjne napromienianie płytek uranowych służących do produkcji molibdenu (Mo-99), który to izotop ulega przemianom w technet (Tc-99m), będący najbardziej powszechnym na świecie radiofarmaceutyką stosowaną w diagnostyce medycznej. Płytki uranowe napromieniano w 9 cyklach pracy reaktora, łącznie napromieniono 184 płytek niskowz bogactwa (o wzbogaceniu 19,75% w uran-235). Napromienianie płytek prowadzone jest w tzw. kanałach molibdenowych, których konstrukcja

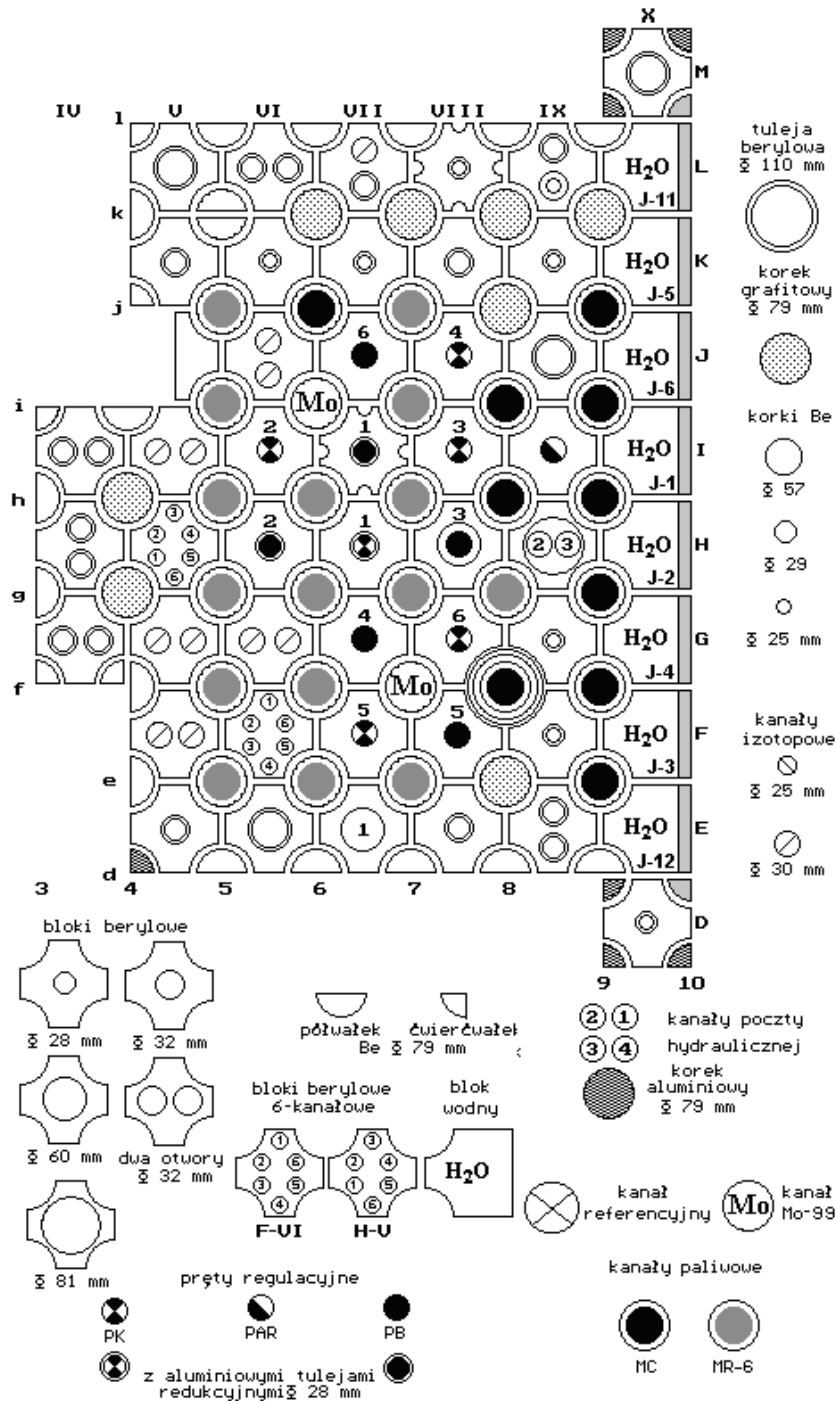
jest identyczna, jak kanałów paliwowych. Napromienianie realizowane jest w dwóch gniazdach i-6 i f-7 rdzenia reaktora (rys. 4), w czasie wydłużonych cykli pracy reaktora do 120 godz., na mocy około 25 MW.

W tym samym roku kontynuowane były prace, w ramach współpracy z amerykańską firmą NorthWest Medical Isotopes, których celem jest realizacja eksperymentu napromieniania i przetwarzania nowego typu tarcz uranowych, w postaci mikrosfer UO_2 . Prace te prowadzone są we współpracy z Zakładem Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych (ZUOP), który odpowiedzialny jest za proces przetwarzania napromienionych tarcz.

W drugim kwartale 2019 r. przeprowadzono trzecie testowe napromienianie trzech tarcz LEU o zawartości 2 g U-235 każda. Napromienione tarcze, po 24-godzinym schładzaniu przetransportowane zostały do ZUOP, gdzie przeprowadzono operacje radiochemiczne, których końcowym efektem było wyodrębnienie izotopu Mo-99 z produktów rozszczepienia.

Oba testowe napromienienia potwierdziły prawidłowość opracowanych technologii, których końcowym efektem było wyodrębnienie izotopu molibdenu-99 z produktów rozszczepienia.

W tym samym roku prowadzono również współpracę z holenderską firmą QUIREM, w ramach której napromieniono około 88 zestawów tarcz holmu w postaci



Rys. 4. Konfiguracja rdzenia reaktora MARIA w grudniu 2019 r.

Fig. 4. MARIA reactor core configuration in December 2019

mikrosfer (Ho-165-PLLA MS). Napromienione tarcze holmowe wykorzystywane są w selektywnej brachyterapii polegającej na podawaniu mikrosfer, zawierających izotop Ho-165 bezpośrednio do tętnicy wątrobowej.

Jeszcze inną współpracę kontynuowano z kanadyjską firmą BTG International Canada, w ramach przygotowania technologii napromieniania tarcz itrowych w postaci mikrosfer Y_2O_3 .

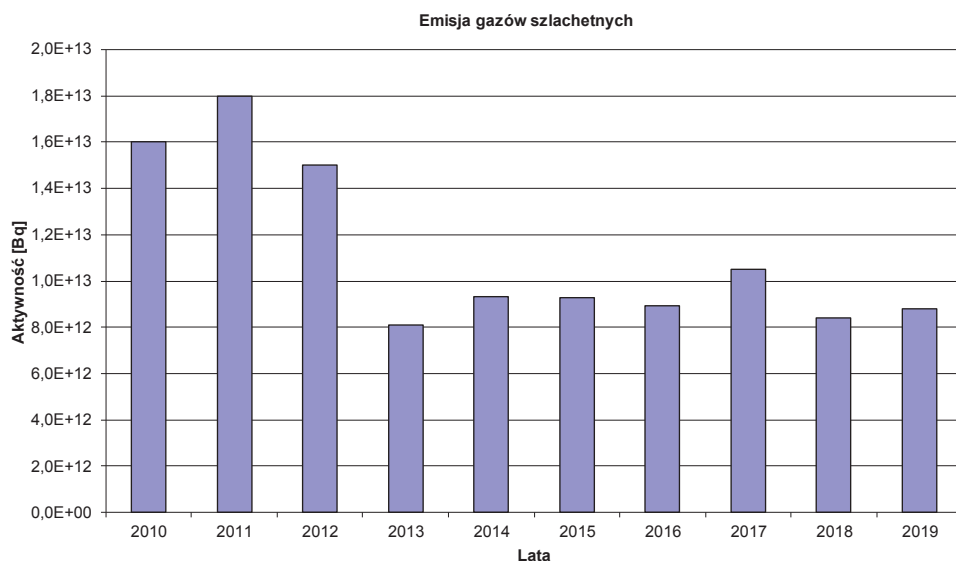
Można stwierdzić, że opisane wyżej technologie napromieniania zostały sprawdzone technologicznie i stanowią podstawę do przyszłych zastosowań w reaktorze MARIA.

W 2019 r. nie prowadzono badań na wiązkach neutronów wyprowadzanych z kanałów poziomych reaktora przez Środowiskowe Laboratorium Neutronografii. Kanały poziome zostały zamknięte w 2017 r., a w hali fizycznej reaktora przeprowadzona jest jej modernizacja, która umożliwi zainstalowanie, na wylocie kanałów poziomych reaktora, wysokiej klasy aparatury badawczej, pozyskanej z wyłączonego z eksploatacji reaktora, w niemieckim instytucie badawczym Helmholtz-Zentrum-Berlin (HZB) w Berlinie. Modernizacja dotyczy głównie wykonania nowej posadzki oraz takich układów technologicznych jak:

wentylacja, kontrola dozymetryczna, instalacja dostawy sprężonego powietrza itp.

W 2019 r. eksploatowane były ostatnie elementy paliwowe typu MC-5, wyprodukowane przez francuską firmę AREVA. Są to elementy 5-rurowe, niskowzbożone (LEU), zawierające 485 g uranu o wzbogaceniu 19,75% w izotop U-235. Materiałem rozszczepialnym jest krzemek uranu w dyspersji z aluminium (U_3Si_2-Al) koszulkowany aluminium i umieszczony w pięciu koncentrycznych rurach. Paliwo to jest bardzo dobrej jakości i dzięki temu, możliwe jest jego głębsze wypalanie, przewyższające 55%, co zdecydowanie podnosi efektywność ekonomiczną stosowania tego paliwa. W 2018 r. zapas tego paliwa się skończył i rozpoczęto eksploatację paliwa typu MR-6, produkcji rosyjskiej firmy TVEL. Jest to paliwo 6-rurowe, w którym materiałem paliwowym jest dyspersja UO_2 z aluminium, o wzbogaceniu 19,7% w izotop U-235 i zawartości uranu 485 g. Od 2018 do końca 2019 r. umieszczono w rdzeniu reaktora 18 elementów paliwowych typu MR-6.

Wypalone elementy paliwowe, po wyjęciu z rdzenia reaktora, schładzane są w basenie przechowawczym reaktora, gdzie poddawane są systematycznej kontroli uwolnień produktów rozszczepienia, do wody chłodzącej. W ramach tej kontroli (tzw. sipping test) wykonywane są pomiary poziomów aktywności produktów rozszczepienia uwalnianych z tych elementów do wody, w tym głównie Cs-137. Na podstawie spektrometrycznych pomiarów aktywności produktów rozszczepienia, oceniana jest szczelność wypalonych elementów paliwowych. Dotychczasowe pomiary wykazują dobry stan koszulek wypalonych elementów paliwowych, umieszczonych w basenie przechowawczym reaktora. Tylko w przypadku dwóch prototypowych elementów paliwowych MC001 i MC002 (produkcji firmy AREVA) oraz prototypowego elementu paliwowego MR 2212 (produkcji firmy TVEL) zaobserwowano wzrost uwolnienia Cs-137, co wskazuje na pogorszenie stanu koszulek tych elementów. Elementy te zamknięte są w kapsułach przechowawczych i systematycznie monitorowane.



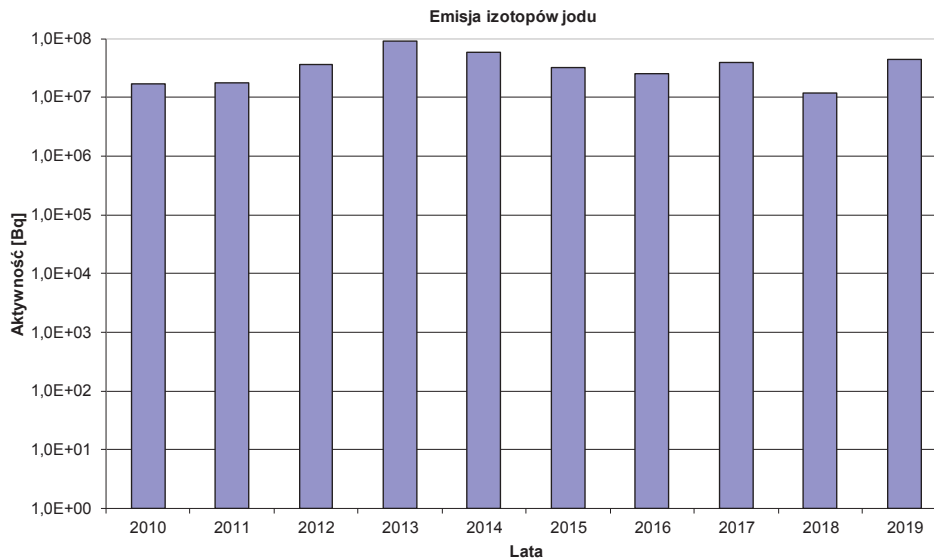
Rys. 5. Roczne uwolnienia gazów szlachetnych z reaktora MARIA w ciągu ostatnich dziesięciu lat
Fig. 5. Yearly noble gases emission from MARIA reactor during the last 10 years

W 2019 r. odnotowano 12 nieplanowanych wyłączeń reaktora. Jedenaście krótkotrwałych wyłączeń nie spowodowało konieczności skrócenia cyklu pracy reaktora. Jedno z wyłączeń w dniu 3 września 2019 r. związane było z podejrzeniem rozszczelnienia elementu paliwowego MR01116 powodującym gwałtowny wzrost wskazań w torach pomiarów dozymetrycznych 1GO, 2GO oraz w systemie WNEP (znacznie powyżej ustalonego limitu). Nastąpiło skrócenie cyklu pracy reaktora, który został wyłączony decyzją Kierownika Zmiany na podstawie szybkości narastania wskazań przyrządów pomiarowych. Późniejsze badania tego elementu paliwowego, wykazały wzrost uwolnień produktów rozszczepienia i potwierdziły prawidłowość podjętej decyzji o wyłączeniu reaktora.

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 wynosiły:

- emisja gazów szlachetnych (głównie Ar-41) – $8,8 \times 10^{12}$ Bq, co stanowiło 0,9% limitu uwolnień,
- emisja jodów – $4,5 \times 10^7$ Bq, co stanowiło 0,9% rocznego limitu uwolnień.

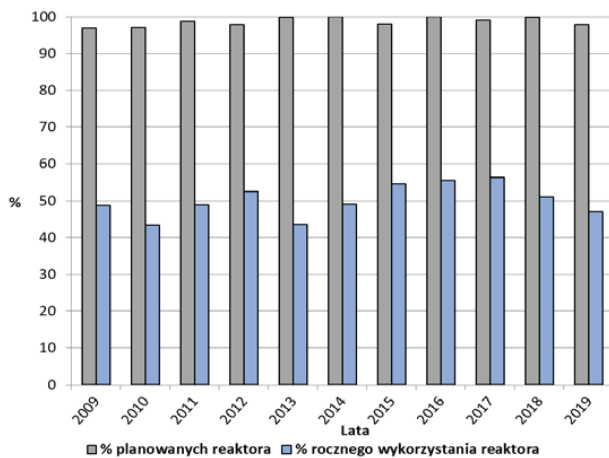
W 2019 r. 114 pracowników reaktora otrzymało dawkę mierzalną na całe ciało (Hp-10) zawierającą się w granicach 0,1 do 1,09 mSv, a 9 pracowników otrzymało dawkę mierzalną na skórę (Hp-0,07) w granicach 0,20 do 2,35 mSv, przy granicach dopuszczalnych wynoszących odpowiednio 20 i 500 mSv.



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

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

- (1) stosunek liczby przepracowanych godzin do sumy liczby przepracowanych godzin i liczby godzin nieplanowanych wyłączeń w 2019 r. (A_1), który wynosił 97,9%,
- (2) stosunek liczby godzin pracy reaktora do liczby godzin w 2019 r. (A_2) wynoszący 47,1%.



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

Zgodnie z zaleceniami Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA) i przy udziale finansowym MAEA, w 2017 r., przeprowadzono modernizację układu pomiarowego, mierzącego temperatury wyjściowe z indywidualnych kanałów paliwowych reaktora MARIA oraz układu pomiarowego mierzącego temperaturę globalną wejściową (sygnał 1T1). Celem tej modernizacji było umożliwienie włączenia sygnałów

pomiaru temperatur w kanałach paliwowych, w układ zabezpieczeń reaktora, dla poprawienia bezpieczeństwa jego eksploatacji.

W maju 2019 r. po przeprowadzeniu prób i testów system został włączony do układów zabezpieczeń reaktora. Docelowo, układ zapewnia zabezpieczenie od przekroczenia granicy dopuszczalnej różnicy temperatur wody chłodzącej między wlotem a wylotem w kanałach paliwowych, poprzez generację automatycznego sygnału wyłączenia reaktora (SCRAM), który pracuje w logice 2 z 3.

Z ważniejszych prac modernizacyjnych przeprowadzonych w 2019 r., można wyszczególnić rozpoczęcie procesu wymiany matrycy berylowej – w tym roku wymieniono 4 bloki berylowe w rdzeniu reaktora. Ponadto, w ramach prac modernizacyjnych wykonano modernizację instalacji oświetlenia awaryjnego i ewakuacyjnego w budynkach R2 reaktora MARIA, oraz w ramach odbudowy kanału poziomego H2 w basenie reaktora, zamontowano kanał pośredni.

W ramach upowszechniania wiedzy o atomistyce w 2019 r., reaktor MARIA zwiedziło około 5500 uczniów szkół średnich i studentów uczelni wyższych z terenu całej Polski oraz około 500 osób w czasie dni otwartych zorganizowanych w październiku tego roku. Dla niektórych grup studenckich organizowano również ćwiczenia praktyczne z zakresu fizyki reaktorowej i ochrony przed promieniowaniem jonizującym.

Podsumowując, należy stwierdzić, że praca reaktora w 2019 r. przebiegała bez większych zakłóceń, potwierdzając jego dobrą dyspozycyjność oraz spełnianie warunków bezpiecznej eksploatacji.

mgr inż. Ireneusz Owsianko,
Narodowe Centrum Badań Jądrowych,
Świerk