

PRACA REAKTORA BADAWCZEGO MARIA W 2018 ROKU

Research reactor MARIA operation in 2018

Andrzej Gołąb

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 2018 r.

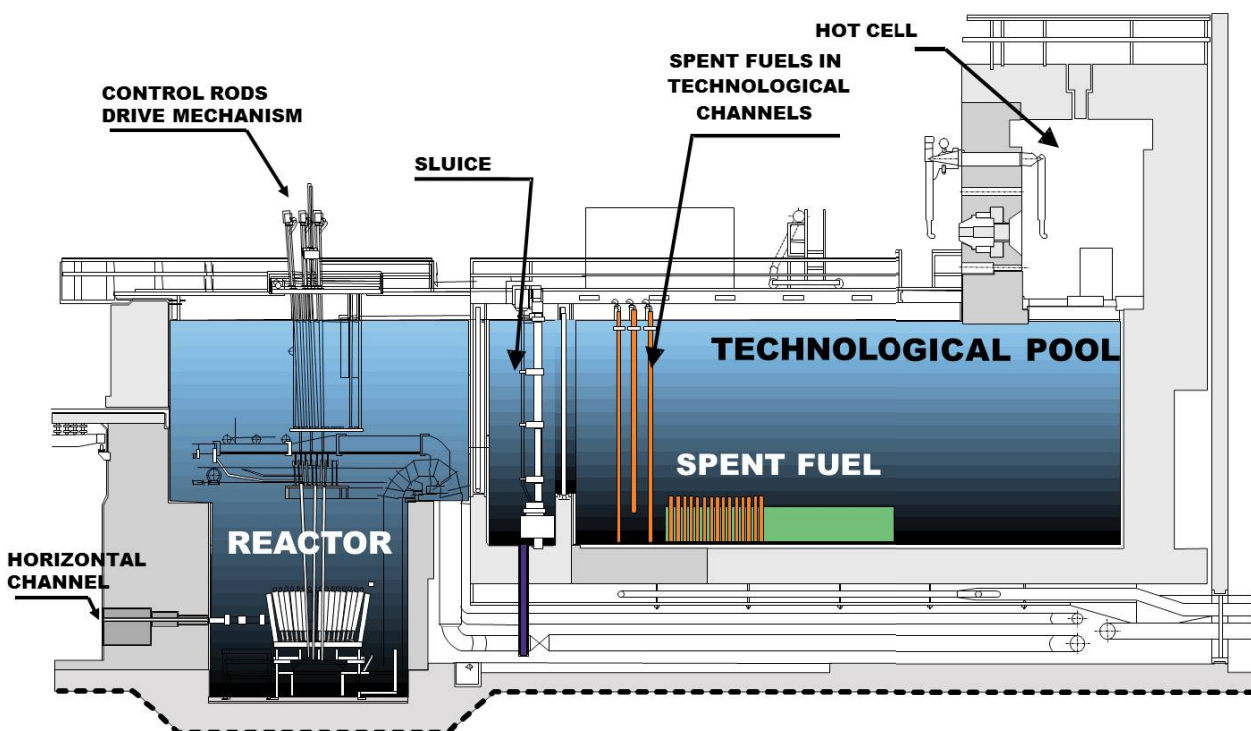
Abstract: The MARIA high-flux research reactor operated at the National Centre for Nuclear Research at Swierk (Poland) is used for targets irradiation and to run physical experiments. The technical parameters of the reactor and characteristics of its operation in 2018 are presented.

Słowa kluczowe: reaktor MARIA, Narodowe Centrum Badań Jądrowych, eksploatacja reaktora MARIA w 2018 r.

Keywords: MARIA reactor, National Centre for Nuclear Research, operation of MARIA reactor in 2018.

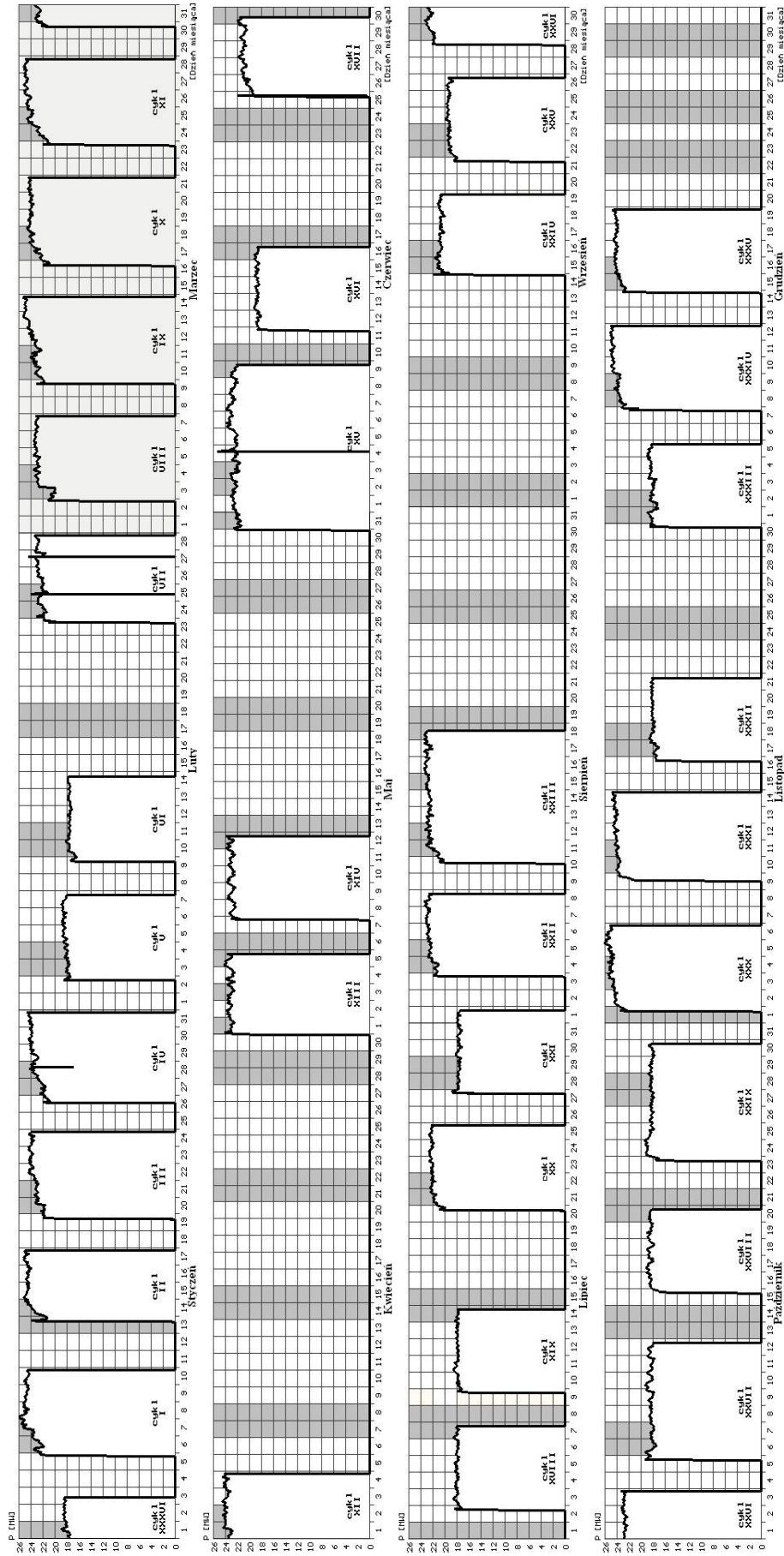
Wysokostrumieniowy reaktor badawczy MARIA, eksploatowany w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Świerku, wykorzystywany jest do produkcji izotopów promieniotwórczych dla potrzeb medycyny i przemysłu oraz do prowadzenia badań fizycznych. Jest to reaktor kanałowo-basenowy moderowany i chłodzony zwykłą wodą z reflektorem grafitowym. Nominalna moc cieplna reaktora wynosi 30 MW przy strumieniu neutronów

termicznych równym $4 \cdot 10^{14}$ n/(cm²s). W 2018 r. wykorzystywano dwa rodzaje elementów paliwowych typu MC-5 i MR-6, o wzbogaceniu 19,75% 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 i technologicznego.



Rys.1. Przekrój pionowy basenów reaktora MARIA
Fig.1. Vertical cross-section of the MARIA reactor pools

Zestawienie pracy reaktora „MARIA”
w 2018 roku



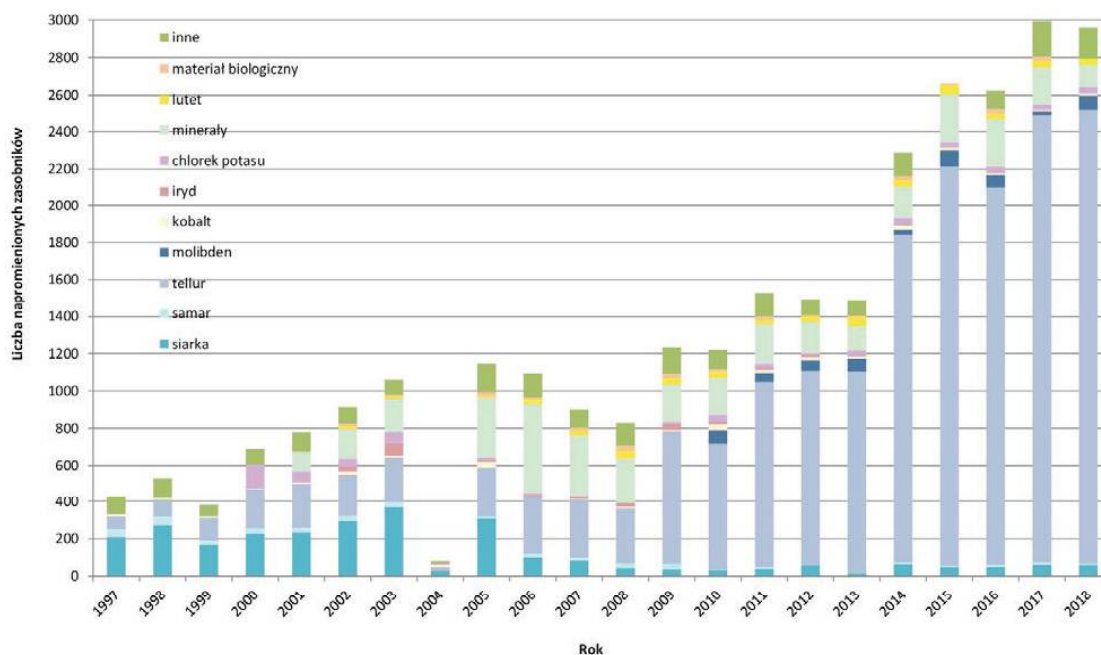
Opracowanie i wykonanie Andrzej Frydryszak - DOM EL2

Rys. 2. Zestawienie pracy reaktora MARIA w 2018 r.

Fig. 2. MARIA reactor operation diagram in 2018

W roku 2018 reaktor MARIA przepracował łącznie 4508 godzin na mocy cieplnej od 18 do 25 MW, co przedstawiono na załączonym zestawieniu (rys. 2). Eksploatacja reaktora dostosowana była w szczególności do zapotrzebowań na napromienianie płytek urano-

wych do produkcji molibdenu (Mo-99) dla amerykańskiej firmy Curium (dawniej Mallinckrodt Pharmaceuticals) 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 2018 r. Widoczne na wykresie obniżenie liczby napromienionych zasobników w 2004 r. spowodowane było wyłączeniem reaktora z powodu braku paliwa jądrowego

Fig. 3. List of irradiated targets in MARIA reactor in 2018. Decreased number of irradiated targets in 2004 was caused by limited hours of reactor operation due to lack of nuclear fuel

Napromieniania dotyczyły głównie takich materiałów tarczowych jak: dwutlenek telluru (do produkcji J-131), siarka (do produkcji P-32), chlerek 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 1451 TBq oraz 7676 TBq dla molibdenu-99. Wykaz napromienianych materiałów tarczowych w reaktorze MARIA, w postaci liczby załadowanych zasobników przedstawiono na załączonym zestawieniu (rys. 3). Ponadto w 2018 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 ubiegłym roku prowadzono intensywne 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 16 cyklach pracy reaktora, łącznie napromieniono 296 płytek niskowzbożonych (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 ok. 25 MW.

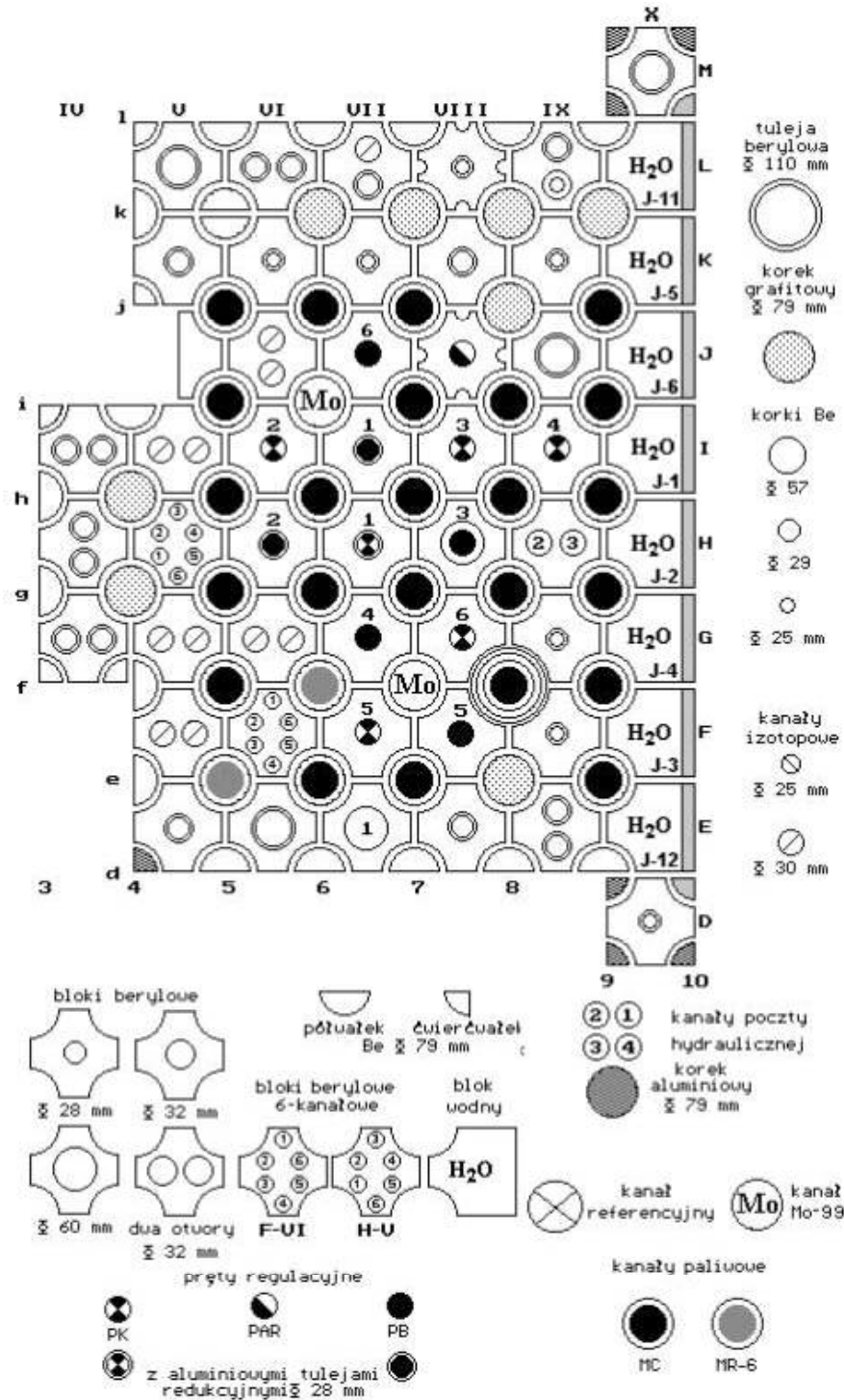
W roku ubiegłym kontynuowane były prace, w ramach współpracy z amerykańską firmą NorthWest Medical Isotopes, których celem jest realizacja eksperymentu napromieniania i przetwarzania nowego typu tarcz uranowych, w postaci mikrosfer UO_2 . Prace te prowadzone są we współpracy z Zakładem Unieszkodliwiania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

W drugim kwartale 2018 r. przeprowadzono drugie testowe napromienianie dwu 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 napromieniania potwierdziły prawidłowość opracowanej technologii.

W ubiegłym roku prowadzono również współpracę z holenderską firmą QUIREM, w ramach której napromieniono około 30 zestawów tarcz holmu w postaci 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.

Kolejną współpracę prowadzono z kanadyjską firmą BTG International Canada, w ramach przygotowania technologii napromieniania tarcz itrowych w postaci mikrosfer Y_2O_3 .



Rys. 4. Konfiguracja rdzenia reaktora MARIA w grudniu 2018 r.
Fig. 4. MARIA reactor core configuration in December 2018

Można stwierdzić, że opisane wyżej technologie napromieniania zostały sprawdzone technologicznie i mogą być zastosowane w przyszłości w reaktorze MARIA.

W 2018 r. nie prowadzono badań na wiązках neutronów wyprowadzanych z kanałów poziomych reaktora przez Środowiskowe Laboratorium Neutronografii. Kanały poziome zostały zamknięte, a hala fizyczna reaktora jest przygotowana do przeprowadzenia jej modernizacji, 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 dotyczyć będzie głównie wykonania nowej posadzki oraz takich układów technologicznych jak: wentylacja, kontrola dozymetryczna, instalacja dostawy sprężonego powietrza itp.

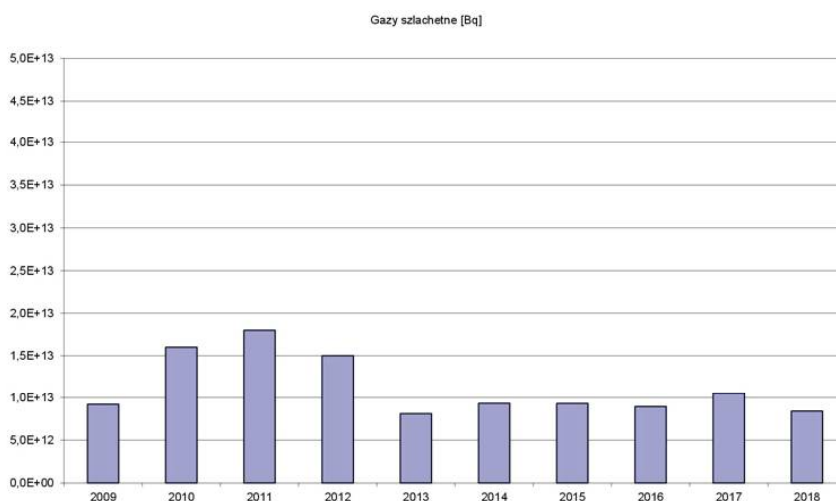
W ubiegłym roku eksploatowane było głównie paliwo typu MC-5, wyprodukowane przez francuską firmę AREVA. Jest to paliwo 5-rurowe, zawierające 485 g uranu o wzbogaceniu 19,75% w izotop U-235, a więc paliwo niskowzbożone (LEU). Materiałem rozszczepialnym jest krzemek uranu w dyspersji z aluminium (U_3Si_2-Al) koszulkowany aluminium i umieszczony w 5-ciu 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 TWIEŁ. Jest to paliwo 6-rurowe, w którym materiałem paliwowym jest dyspersja tlenku uranu (UO_2) z aluminium, o wzbogaceniu 19,7% w izotop U-235 i zawartości uranu 485 g. Do końca 2018 r. umieszczono w rdzeniu reaktora dwa takie elementy paliwowe.

Wypalone elementy paliwowe, po wyjęciu z rdzenia reaktora, schładzane są w basenie technologicznym (przechowawczym) reaktora, gdzie poddawane są systematycznej kontroli uwolnień produktów rozszczepienia, do wody chłodzącej. W ramach tej kontroli (tzw. sipping test) wyko-

nywane 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 zaobserwowano wzrost uwolnienia Cs-137, co wskazuje na pogorszenie stanu koszulek tych elementów. Elementy te zamknięte są w kapsułach przechowawczych i systematycznie monitorowane.

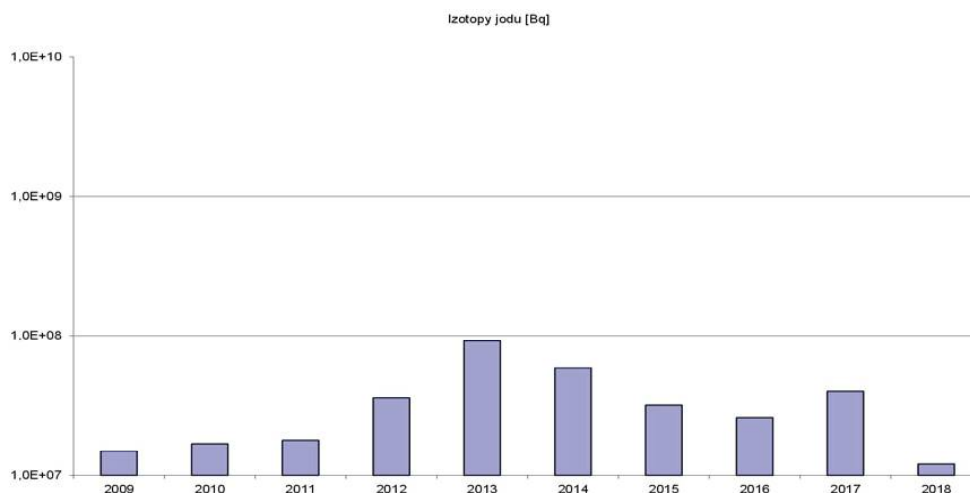
Reaktor badawczy MARIA jest w sposób ciągły monitorowany pod względem uwolnień produktów radioaktywnych do środowiska. Poziomy uwolnień do atmosfery przedstawione na rys. 5 i 6, wynosiły:

- emisja gazów szlachetnych (głównie Ar-41) – $8,4 \times 10^{12}$ Bq, co stanowiło 0,8% limitu uwolnień,
- emisja jodów – $1,2 \times 10^7$ Bq, co stanowiło 0,2% rocznego limitu uwolnień.



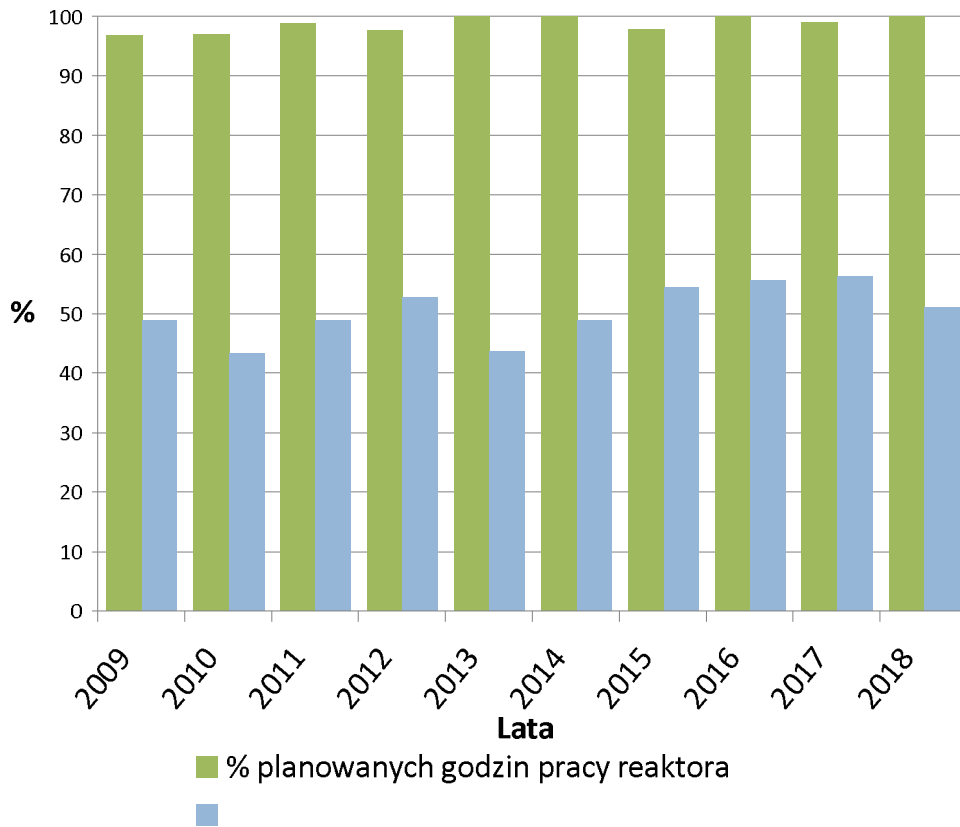
Rys. 5. Roczne uwolnienia gazów szlachetnych z reaktora MARIA w ciągu ostatnich dziesięciu lat

Fig. 5. Yearly noble gases emission from MARIA reactor during 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 during the last 10 years



Rys. 7. Roczne wskaźniki pracy reaktora MARIA

Fig. 7. Yearly indicators of reactor MARIA operation

W 2018 r. 115 pracowników reaktora otrzymało dawkę mierzalną na całe ciało ($H_p(10)$) zawierającą się w granicach $0,1 \div 1,46$ mSv, a 9 pracowników otrzymało dawkę mierzalną na skórę ($H_p(0,07)$) w granicach $0,79 \div 2,38$ mSv, przy granicach dopuszczalnych wynoszących odpowiednio 20 i 500 mSv.

W czasie pracy reaktora wystąpiło w 2018 r. pięć krótkotrwałych przerw w pracy, przy czym żadna nie powodowała konieczności skrócenia cyklu pracy. 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 2018 r. (A_1), który wynosił 99,9%,
- (2) stosunek liczby godzin pracy reaktora do liczby godzin w 2018 r. (A_2) wynoszący 51%.

Zgodnie z zaleceniami Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA) i z udziałem 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 jest umożliwienie włączenia sygnałów pomiaru temperatur w kanałach paliwowych, w układ zabezpieczeń reaktora, co poprawi jego bezpieczeństwo.

W 2018 r. system był ciągle w fazie testowania i nie został jeszcze wprowadzony do układów zabezpieczeń reaktora. Docelowo, układ ma zapewnić zabezpieczenie od

przekroczenia granic 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 2018 r., wymienić można wymianę całego toru pomiaru przewodności wody w obiegu kanałów paliwowych oznaczonego symbolem 1y1 oraz zastąpienie toru pomiaru temperatury łożysk wentylatorów i pomp obiegu basenu oraz obiegu wtórnego KMT-10 sterownikiem programowalnym z panelem HMI.

Ponadto, w ramach prac modernizacyjnych, w układzie awaryjnego zasilania w energię elektryczną reaktora, zainstalowano 2 nowe prostowniki 220 VDC/24 VDC.

W ramach upowszechniania wiedzy o atomistyce w 2018 r. reaktor MARIA zwiedziło około 8500 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 2018 r. przebiegała bez większych zakłóceń, potwierdzając jego dobrą dyspozycyjność oraz spełnianie warunków bezpiecznej eksploatacji.

mgr inż. Andrzej Gołąb,
Narodowe Centrum Badań Jądrowych,
Świerk