

ARTYKUŁY

PRACA REAKTORA BADAWCZEGO MARIA W 2016 ROKU

Research reactor MARIA operation in 2016

Andrzej Gołąb, Elżbieta Borek-Kruszewska

Streszczenie: Wysokostrumieniowy reaktor badawczy Maria, eksploatowany w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Świerku, służy do produkcji radioizotopów oraz do prowadzenia badań z wykorzystaniem wiązek neutronów. W artykule opisano parametry techniczne reaktora i charakterystykę jego pracy w 2016 r., jak również podsumowano proces wywozu wypalonego, wysokowzbogaconego paliwa do Federacji Rosyjskiej.

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 using neutron beams. The technical parameters of the reactor and characteristics of its operation in 2016 as well as the transport of spent highly enriched fuel to the Russian Federation are described.

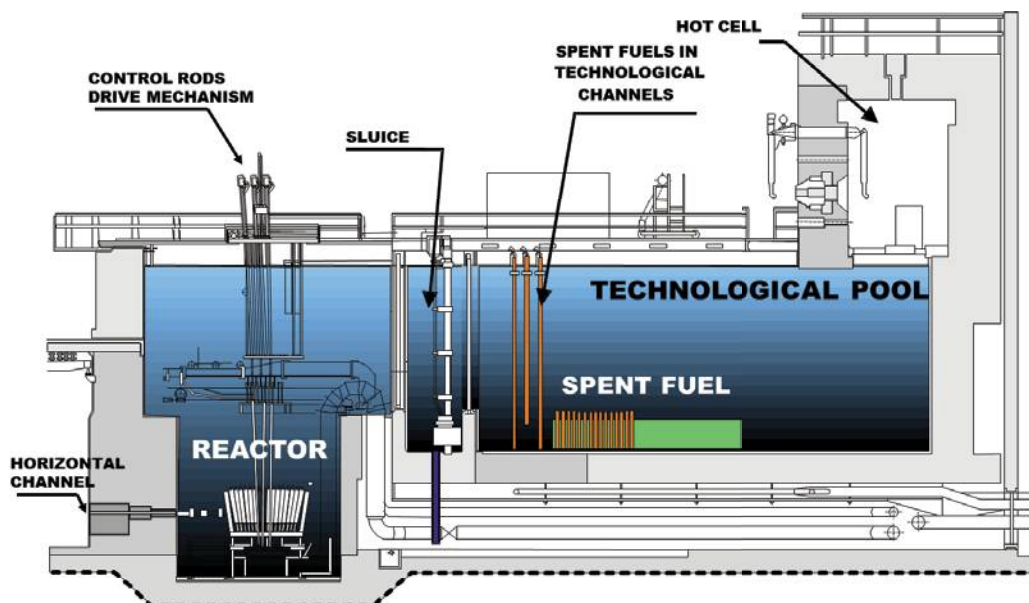
Słowa kluczowe: reaktor MARIA, Narodowe Centrum Badań Jądrowych, eksploatacja reaktora MARIA w 2016 r.

Keywords: MARIA Reactor, National Centre for Nuclear Research, operation of MARIA reactor in 2016

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. Podstawowe parametry reaktora są następujące:

- moc nominalna - 30 MW
- strumień neutronów termicznych - $4 \cdot 10^{14}$ n/(cm²s)
- moderator - zwykła woda (H₂O) i beryl
- reflektor - grafit
- element paliwowy typu MC-5:
 - materiał: krzemek uranu w dyspersji z aluminium (U₃Si₂-Al)
 - wzbogacenie: 19,75%
 - koszulka: aluminium (Al)
 - kształt: 5 koncentrycznych rur
 - długość: 1000 mm

Na rys.1 przedstawiono przekrój poziomy basenów reaktora.



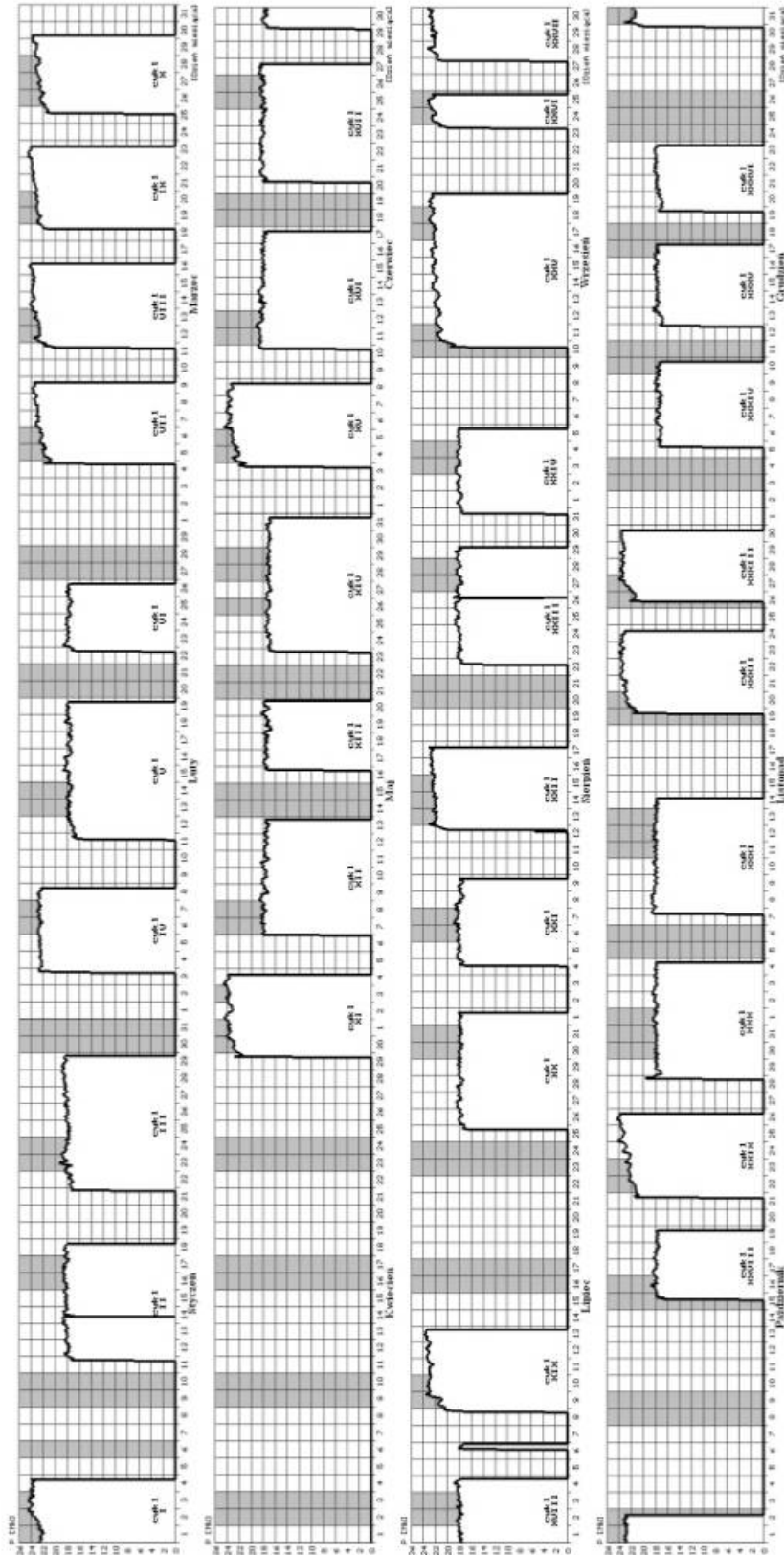
Rys. 1. Przekrój poziomy basenów reaktora

Fig. 1. Cross section of the reactor pools

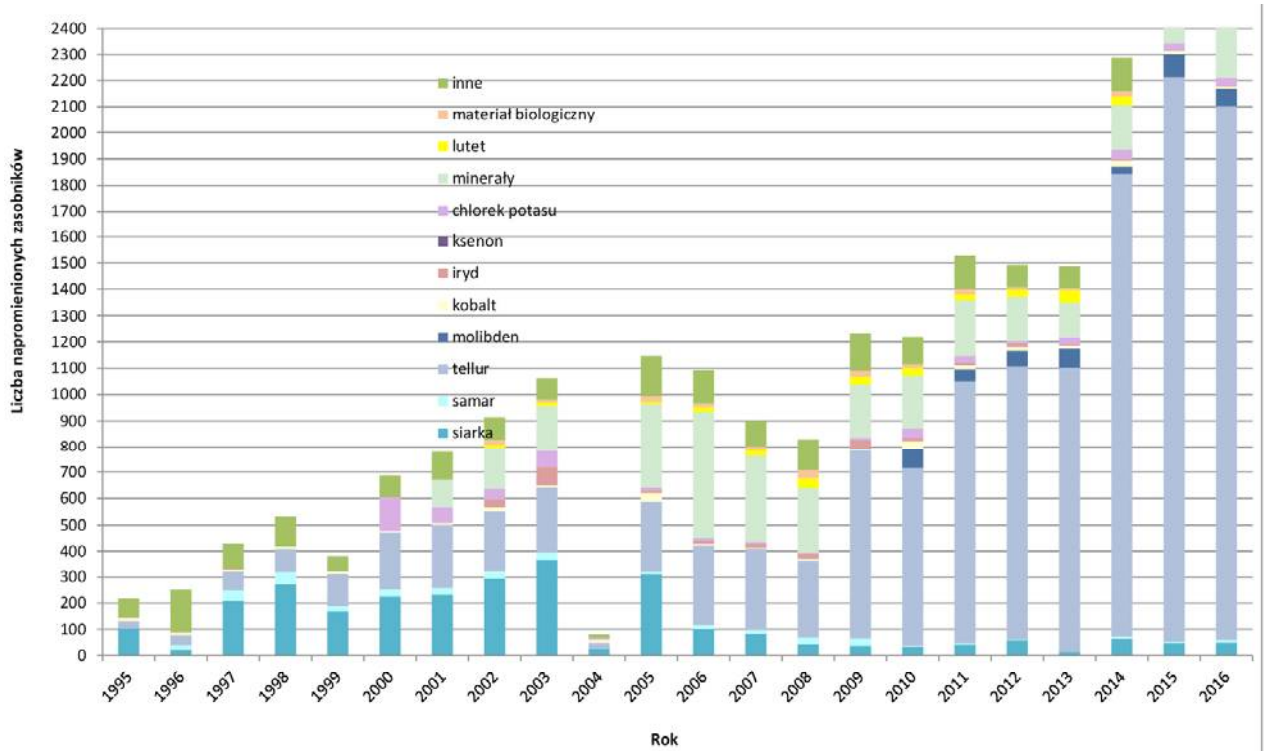
W roku 2016 reaktor przepracował łącznie 4862 godzin na mocy cieplnej od 18 do 25 MW, co przedstawiono na załączonym zestawieniu (rys.2). Eksploatacja reaktora dostosowana była w szczególności do zapotrzebowań na na-

promienianie płytek uranowych do produkcji molibdenu (Mo-99) dla amerykańskiej firmy Mallinckrodt Pharmaceuticals oraz do zapotrzebowania Ośrodka Radioizotopów Polatom i Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej na napromienianie materiałów tarczowych.

Zestawienie pracy reaktora „MARIA” w 2016 roku



Rys. 2. Zestawienie pracy reaktora w 2016 roku
Fig. 2. Reactor operation diagram in 2016



Rys. 3. Wykaz napromienionych materiałów tarczowych
Fig. 3. Irradiation targets

Napromieniania 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 ok. 1243 TBq oraz 7767 TBq dla Mo-99. Wykaz napromienianych materiałów tarczowych w reaktorze MARIA, w postaci liczby załadowanych zasobników przedstawiono na załączonym zestawieniu (rys. 3). Widoczne na rysunku obniżenie produkcji w 2004 r. spowodowane było wyłączeniem reaktora z powodu braku paliwa jądrowego. Ponadto w 2016 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). Prowadzono również napromieniania igieł irydowych wykorzystywanych w brachyterapii.

Cały ubiegły rok kontynuowano komercyjne napromienianie płytek uranowych (o wzbogaceniu 98% w uran U-235) służących do produkcji molibdenu (Mo-99), który to izotop ulega przemianie w technet (Tc-99m), będący najbardziej powszechnym na świecie radiofarmaceutyką stosowaną w diagnostyce medycznej. Z uwagi na wyłączenie z eksploatacji reaktora belgijskiego BR2, napromieniania w reaktorze MARIA były bardzo intensywne, łącznie zrealizowano napromieniania w 13 cyklach pracy reaktora. Napromienianie płytek prowadzone jest w tzw. kanałach molibdenowych, których konstrukcja jest identyczna jak kanałów paliwowych. Napromienianie realizo-

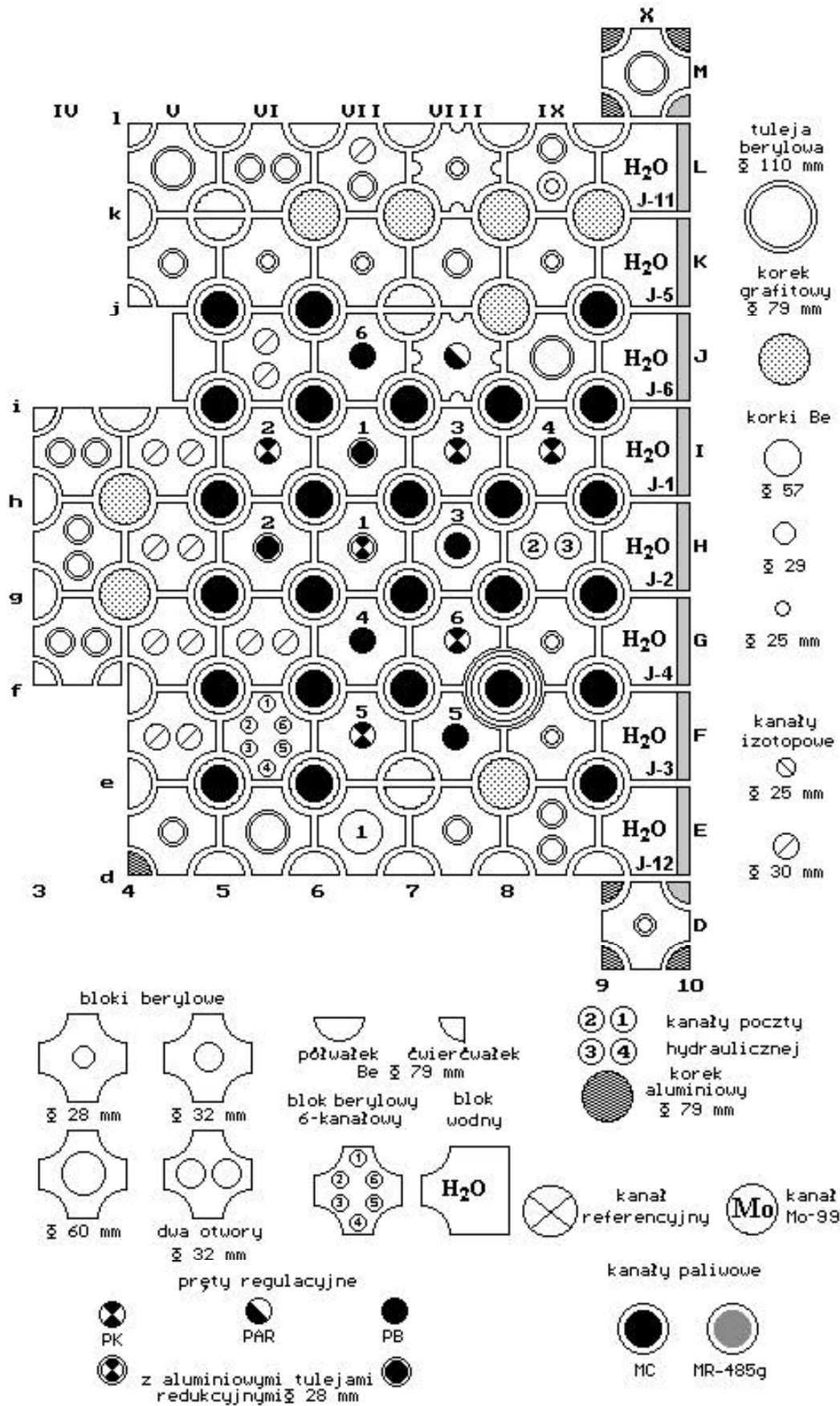
wane jest w dwóch gniazdach i-6 i f-7 rdzenia reaktora (rys. 4), w czasie wydłużonych cykli pracy reaktora do 120 godz. na mocy ok. 25 MW.

W czwartym kwartale ubiegłego (2016) r. zakończono certyfikację niskowzbożonych tarcz uranowych (LEU), po przeprowadzeniu testowego napromieniania w kanale i-6. Po napromienianiu, tarcze wyeksportowane zostały do laboratorium w Petten (Holandia), gdzie zostały one przerobione celem wydzielenia izotopu (Mo-99). Wyniki pomiarów uzyskanych aktywności potwierdziły przewidywane parametry i będą podstawą do dopuszczenia tarcz LEU do komercyjnych napromieniania.

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 roku ubiegłym realizowano prace związane z przygotowaniem testowego napromieniania wysokowzbożonych tarcz uranowych (HEU) do produkcji molibdenu, o kształcie rurowym. Napromienianie tego typu tarcz, realizowane będzie dla nowego kontrahenta, którym jest Institute National des Radioelements w Belgii.

Celem pracy reaktora MARIA w 2016 r. było również wykorzystywanie wiązek neutronów, wyprowadzonych przez kanały poziome reaktora do prac badawczych, prowadzonych przez Środowiskowe Laboratorium Neutronografii. Poniżej przedstawiono zakres prac badawczych prowadzonych na kanałach poziomych:



Rys. 4. Konfiguracja rdzenia reaktora w grudniu 2016
 Fig. 4. Reactor core configuration in December 2016

Kanał poziomy Nr H-3

(łączy czas otwarcia kanału: 600 godz. czyli 12% czasu pracy reaktora)

- Badanie rozmiarów ziaren i wydzielań międzyziarnowych w stalach typu ODS.
- Badanie niejednorodności materiałów obiektów archeologicznych.

Kanał poziomy Nr H-4

- Testy układów mechanicznych i pobierania danych ze spektrometru.

Kanał poziomy Nr H-5

- Konserwacja i testy układów mechanicznych spektrometru.

Kanał poziomy Nr H-6

(łączy czas otwarcia kanału: 2500 godz. – 51%)

- Badanie niskoenergetycznych części relacji dyspersji fononów w hartowanej próbce stopu Mn-Ni-Cu.
- Sprawdzenie jakości próbek krystalicznych GaFeO_3 , YFeO_3 (współpraca z Uniwersytetem w Białymstoku).

Kanał poziomy Nr H-7

(łączy czas otwarcia kanału: 2850 godz. – 59%)

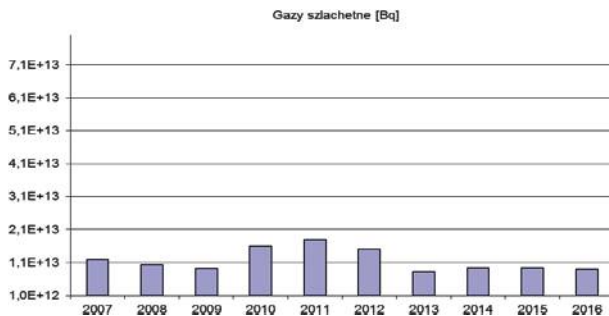
- Badanie niskoenergetycznej części relacji fononów w hartowanej próbce stopu Mn-Ni-Cu i w związku międzymetalicznym MnNi.

Kanał poziomy Nr H-8

(łączy czas otwarcia kanału: 250 godz. – 5%)

- Badanie wpływu parowania na kinetykę procesu migracji wody w próbkach lekkiego betonu.
- Badanie procesu schnięcia prostopadłościowej próbki gruboziarnistego korundu nasyconego wodnym roztworem CdCl_2 ~17%.

W ubiegłym roku eksploatowane było tylko paliwo typu MC-5, wyprodukowane przez firmę AREVA. Jest to paliwo 5-cio rurowe, zawierające 485g uranu o wzbogaceniu 19,75% w izotop U-235, a więc paliwo niskowzbożone. Paliwo to jest bardzo dobrej jakości i dzięki temu możliwe jest głębsze wypalanie paliwa, przewyższające 55%, co zdecydowanie podnosi efektywność ekonomiczną stosowania tego paliwa.



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

Fig. 5. Yearly noble gases emission in the last 10 years

Poziomy uwolnień do atmosfery przedstawione na rys. 5 i 6, wyniosły:

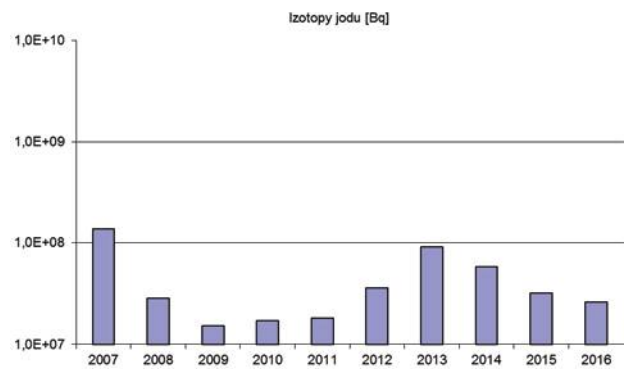
- emisja gazów szlachetnych (głównie Ar-41) – $8,9 \times 10^{12}$ Bq, co stanowiło 0,9% limitu uwolnień,
- emisja jodów – $2,6 \times 10^7$ Bq, co stanowiło 0,5% rocznego limitu uwolnień.

W 2016 r. 96 pracowników reaktora otrzymało dawkę mierzalną na całe ciało (Hp-10) zawierającą się w granicach 0,1÷2,33 mSv, a 8 pracowników otrzymało dawkę mierzalną na skórę (Hp-0,07) w granicach 1,28÷3,12 mSv, przy granicach dopuszczalnych wynoszących odpowiednio 20 i 500 mSv.

W czasie pracy reaktora wystąpiły w 2016 r. dwie krótkotrwałe przerwy w pracy, nie powodujące konieczności skrócenia cykli 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 2016 r. (A_1), który wyniósł 100%,

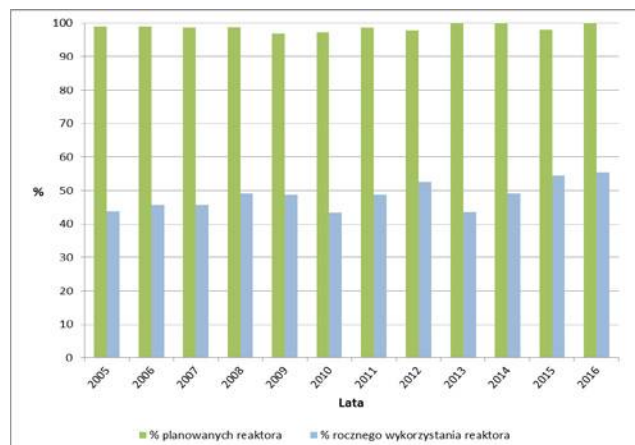
(2) stosunek liczby godzin pracy reaktora do liczby godzin w 2016 r. (A_2) wynoszący 55,5%.



Rys. 6. Roczne uwolnienia jodów w ciągu ostatnich dziesięciu lat

Fig. 6. Yearly iodines emission in the last 10 years

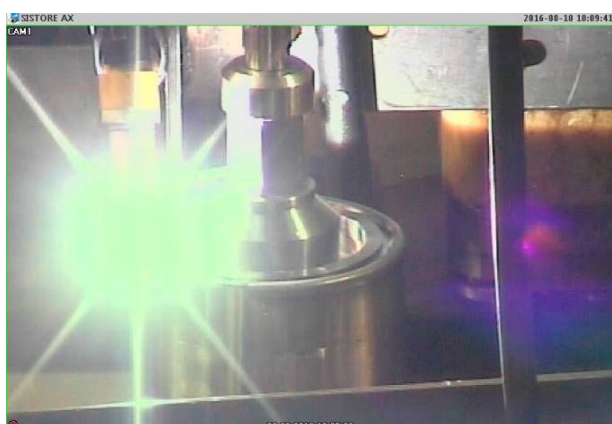
W ramach upowszechniania wiedzy o atomistyce w 2016 r., reaktor MARIA zwiedziło ok. 7000 uczniów szkół średnich i studentów uczelni wyższych z terenu całej Polski. Dla niektórych grup studenckich organizowano również ćwiczenia praktyczne z zakresu fizyki reaktorowej i ochrony przed promieniowaniem jonizującym.



Rys. 7. Roczne wskaźniki pracy reaktora MARIA

Fig. 7. Yearly factors of reactor MARIA operation

W ubiegłym roku zakończył się proces wywozu wypalonego paliwa jądrowego do Federacji Rosyjskiej z terenu Rzeczypospolitej Polskiej, który prowadzony był w latach 2010-2016 w ramach ogólnoswiatowego programu „Inicjatywa ograniczania globalnych zagrożeń” (Global Threat Reduction Initiative – GTRI), zainicjowanego przez rząd Stanów Zjednoczonych Ameryki przy współpracy z Międzynarodową Agencją Energii Atomowej w Wiedniu. W ramach tej inicjatywy rząd Stanów Zjednoczonych zobowiązał się do pokrycia kosztów wywozu z terenu Polski wypalonego paliwa jądrowego o wysokim wzbogaceniu (80% i 36%), pochodzącego z polskich reaktorów badawczych do kraju producenta, którego zobowiązania przejęła obecnie Federacja Rosyjska. Wysokoaktywne odpady promieniotwórcze powstałe z przerobu paliwa, zgodnie z zawartą umową pozostaną w Federacji Rosyjskiej.



Fot. 1. Operacje prowadzone w komorze demontażowej reaktora: spawanie kapsuły, zawierającej wypaloną sekcję paliwową typu MR, przed załadunkiem i załadunek kapsuł do pojemnika transportowego TUK-19
Phot. 1. Operation carried out inside dismantling hot cell: welding of capsule containing fuel element MR type and loading to TUK-19 cask.

Ogólne zasady realizacji projektu wywozu wypalonego paliwa w zakresie odpowiedzialności, sposobu rozliczeń, zasad dokumentowania wykonanych prac itp. regulował kontrakt (Blanket Master Contract) zawarty pomiędzy Zakładem Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych (ZUOP) a Battelle Energy Alliance, reprezentującym Departament Energii (DOE) rządu Stanów Zjednoczonych. W uzgodnieniu z DOE realizacja projektu była podzielona na zadania,

a podstawą formalną ich realizacji były umowy zawierane pomiędzy Narodowym Centrum Badań Jądrowych a ZUOP.

W ramach programu GTRI w latach 2010-2014 wywieziono z reaktora badawczego MARIA do Federacji Rosyjskiej ogółem 424 szt. wypalonych sekcji paliwowych typu MR o wzbogaceniu 80% i 36% zawartości izotopu U-235. Transport z terenu Polski do Federacji Rosyjskiej odbywał się drogą morską przy zastosowaniu rosyjskich pojemników transportowych TUK-19, które mieściły po cztery sekcje paliwowe.

W ostatnim etapie programu w 2016 r. wywieziono – 51 szt. wypalonych sekcji paliwowych o wzbogaceniu 36% zawartości U-235, jednak odmiennie do poprzednich wywozów, transport do Federacji Rosyjskiej odbył się drogą lotniczą, co ze względów bezpieczeństwa wymagało zamknięcia wypalonych sekcji paliwowych w szczelnych kapsułach. W pojemniku TUK-19 mieściły się zatem trzy kapsuły.



Fot. 2. Transport pojemnika TUK-19, załadowanego wypalonym paliwem, na halę dekontaminacji i sprawdzanie jego szczelności
Phot. 2. Transport of TUK-19 cask containing fuel element to the expedition hall and verification of the cask tightness

Zadaniem procesów technologicznych, związanych z wywozem wypalonego paliwa do Federacji Rosyjskiej, było bezpieczne przeniesienie, wypalonych zestawów paliwowych typu MR z basenu przechowawczego reaktora MARIA do

pojemnika transportowego TUK-19, a następnie transport załadowanych paliwem, szczelnych pojemników TUK-19 poza obiekt reaktora MARIA na plac spedycyjny, znajdujący się na terenie Ośrodka Jądrowego w Świerku, do kontenerów typu ISO. Na placu spedycyjnym wypalone paliwo było przekazywane do ZUOP, który był odpowiedzialny za nadzór i dalszy transport paliwa do Federacji Rosyjskiej.

Zarówno załadunek wypalonego paliwa do pojemnika transportowego TUK-19, jak i prace przygotowawcze, zwią-

zane z kapsułowaniem paliwa przed jego załadunkiem, odbywały się w komorze demontażowej reaktora MARIA (fot. 1).

Pojemnik TUK-19, załadowany wypalonym paliwem, transportowano spod komory demontażowej na halę dekontaminacji (fot. 2), gdzie po sprawdzeniu jego szczelności i przeprowadzeniu pomiarów dozymetrycznych (kontrola mocy dawki na powierzchni pojemnika i w jego otoczeniu), przenoszony był na lawetę i przewożony na plac spedycyjny (fot. 3).



Fot. 3. Pomiary dozymetryczne pojemnika TUK-19 i transport na plac spedycyjny (fot. z archiwum NCBJ)
Phot. 3. Dosimetric measurements of TUK-19 cask and transport to expedition area

Podczas operacji transportowo-przeładunkowych, prowadzonych w obiekcie reaktora MARIA, nie stwierdzono żadnych nieprawidłowości ani zwiększonego zagrożenia radiacyjnego. Wszystkie operacje technologiczne przebiegały zgodnie z przewidzianą technologią i transport wypalonego paliwa do Federacji Rosyjskiej zakończył się sukcesem.

Podsumowując, należy stwierdzić, że praca reaktora w 2016 r. przebiegała bez większych zakłóceń, potwierdzając jego dobrą dyspozycyjność oraz spełnienia warunków bezpiecznej eksploatacji.

*mgr inż. Andrzej Gołąb,
dr inż. Elżbieta Borek-Kruszewska,
Narodowe Centrum Badań Jądrowych,
Świerk*

Reaktor MARIA dla medycyny nuklearnej

„Wszystko to pokazuje, że bez polskiego reaktora MARIA nie można zaspokoić potrzeb medycyny nuklearnej na świecie” stwierdził mgr inż. Grzegorz Krzysztożek, Dyrektor Departamentu Energii Jądrowej NCBJ – „Choć pierwsze prace nad wytwarzaniem molibdenu prowadziliśmy już w latach 70. to produkcję na skalę przemysłową rozpoczęliśmy w lutym 2010 r. Od tego momentu wyprodukowaliśmy taką jego ilość, która pozwoliła na przebadanie ok. 75,5 mln pacjentów, a w 2014 r. nasz reaktor zapewnił blisko 20% światowej produkcji molibdenu-99.”

Polski reaktor badawczy „MARIA” jest przystosowany do napromieniania tarcz uranowych, które przewożone są do zakładu przerobu w Holandii celem wydobycia z nich molibdenu.

„Otrzymany molibden-99 służy do wytwarzania technetu-99m, jako składnika zestawów diagnostycznych stosowanych m.in. w scyntygrafii mózgu, nerek, serca i kości. Trzeba wiedzieć, że 80% procedur medycznych wykonywanych na świecie realizowanych jest przy użyciu technetu-99m” – przypomina prof. Krzysztof Kurek, dyrektor NCBJ. „Pracujemy nad inwestycją, która pozwoli realizować cały proces na miejscu napromieniając tarcze i dokonując ich przerobu”.

NCBJ stara się o uzyskanie finansowania takiej inwestycji, która mogłaby powstać w ciągu trzech lat i kosztować ok. 35 mln euro. Wtedy Polska stałaby się potentatem na rynku medycyny nuklearnej na świecie.

Na podstawie informacji ze strony internetowej NCBJ opracował A. Mikulski