

# PRACA REAKTORA BADAWCZEGO MARIA W 2017 ROKU

## Research reactor MARIA operation in 2017

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 2017 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 are described.

**Słowa kluczowe:** reaktor MARIA, Narodowe Centrum Badań Jądrowych, eksploatacja reaktora MARIA w 2017 r.

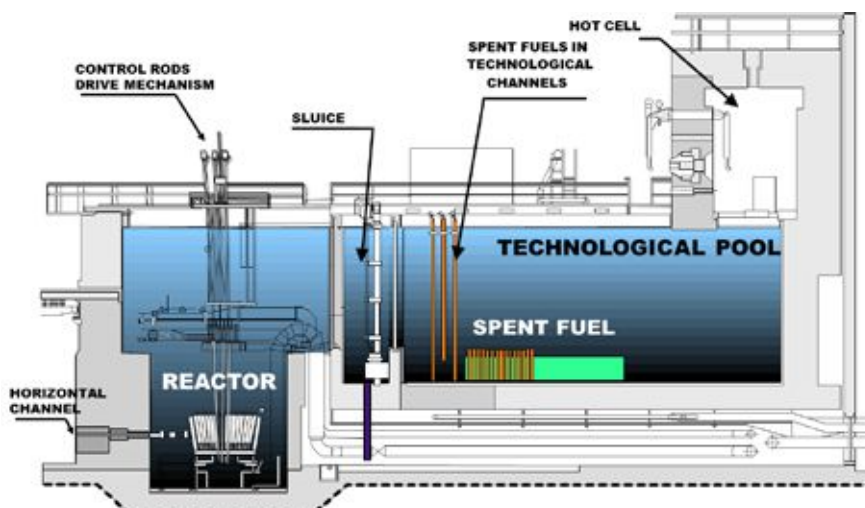
**Keywords:** MARIA reactor, National Centre for Nuclear Research, operation of MARIA reactor in 2017.

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/(cm<sup>2</sup>s)
- moderator - zwykła woda (H<sub>2</sub>O) i beryl

- reflektor - grafit
- element paliwowy typu MC-5:
  - materiał: krzemek uranu w dyspersji z aluminium (U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>-Al)
  - wzbogacenie: 19,75%
  - koszulka: aluminium (Al)
  - kształt: 5 koncentrycznych rur paliwowych
  - długość: 1000 mm

Na rys.1 przedstawiono przekrój poziomy basenów reaktora.



Rys.1. Przekrój poziomy basenów reaktora MARIA

Fig. 2. Cross section of the MARIA reactor pools

W roku 2017 reaktor przepracował łącznie 4933 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 ura-

nowych 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.

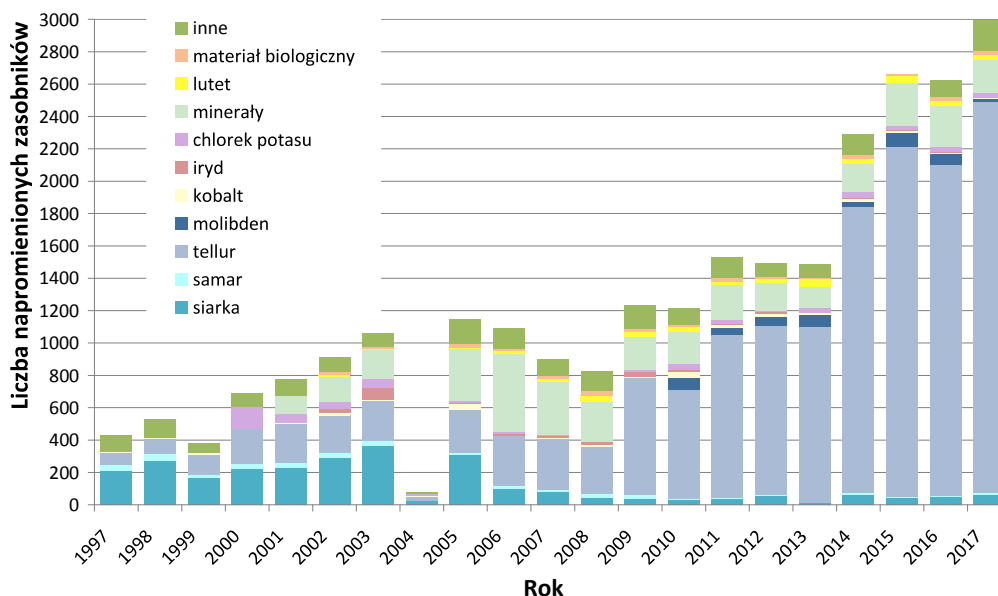


Rys. 2. Zestawienie pracy reaktora MARIA w 2017 r.

Fig. 2. MARIA reactor operation diagram in 2017

Napromieniania dotyczyły głównie takich materiałów tarczowych jak: dwutlenek telluru (do produkcji jodu-131), siarka (do produkcji fosforu-32), chlorek potasu (do produkcji siarki-35), iryd, bromek potasu, związki samaru, lutet, iterb, lantan, miedź, kobalt, próbki materiałów alkalicznych, biologicznych i geo-

logicznych. Całkowita aktywność napromienionych materiałów wyniosła ok. 1415 TBq oraz 2337 TBq dla molibdenu-99. Wykaz napromienianych materiałów tarczowych w reaktorze MARIA, w postaci liczby załadowanych zasobników przedstawiono na załączonym zestawieniu (rys.3).

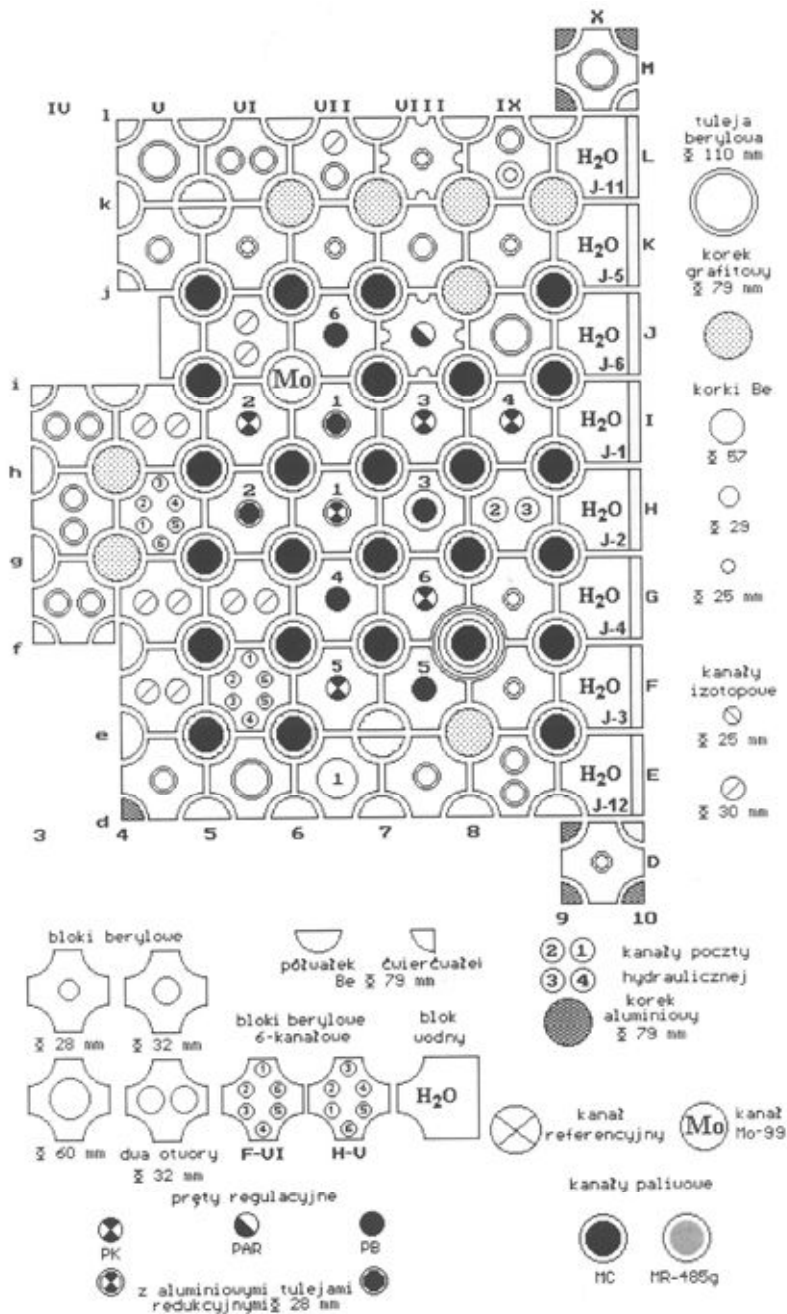


Rys. 3. Wykaz napromienionych materiałów tarczowych reaktorze MARIA w 2017 r. Widoczne na wykresie obniżenie produkcji materiałów tarczowych w 2004 r. spowodowane było ograniczeniem godzin pracy reaktora z powodu braku paliwa jądrowego

Fig. 3. List of irradiated targets in MARIA reactor in 2017. Decreased number of irradiated targets in 2004 was caused by limited operational hours due to lack of nuclear fuel

Ponadto w 2017 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).



Rys. 4. Konfiguracja rdzenia reaktora MARIA w grudniu 2017 r.  
Fig. 4. MARIA reactor core configuration in December 2017

W ubiegłym roku kontynuowano 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. Wymienione wyżej płytki uranowe napromieniano w 5 cyklach pracy reaktora, w tym w 4 cyklach napromieniano płytki wysokowzbogacone (o wzbogaceniu 98% w uran U-235), a w jednym cyklu płytki niskowzbogacone (o wzbogaceniu 19,75% w uran U-235). Napromienianie płytek prowadzone jest w tzw. kanałach molibdenowych, których konstrukcja jest identyczna jak kanałów pali-

wowych. Napromienianie realizowane jest w dwóch gniazdach i-6 i f-7 rdzenia reaktora (rys. 4), w czasie pięciu wydłużonych (tzw. molibdenowych) 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. Pierwsze testowe napromienianie i przerób tego

typu tarcz przeprowadzono w trzecim kwartale 2017 r. Test wypadł pozytywnie i potwierdził możliwości komercyjnego napromieniania i przerobu tarcz w postaci mikrosfer  $UO_2$  w Ośrodku Jądrowym w Świerku.

W pierwszym kwartale 2017 r. zakończono badania, na wiązkach neutronów wyprowadzanych z kanałów poziomych reaktora, prowadzone przez Środowiskowe Laboratorium Neutronografii. Kanały poziome zostały zamknięte i przystąpiono do usuwania aparatury i osłon biologicznych z hali fizycznej reaktora. Celem tych prac było przygotowanie hali fizycznej reaktora 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). Modernizacja dotyczyć będzie głównie wykonania nowej posadzki oraz układów technologicznych takich jak: układy wentylacji, kontroli dozymetrycznej, instalacji sprężonego powietrza itp.

W ubiegłym roku prowadzono również prace modernizacyjne, w pomieszczeniu technologicznym na wylocie kanału poziomego H2 oraz w pomieszczeniu sąsiednim. Kanał H2 został wyłączony z eksploatacji wiele lat temu, kiedy instalowano w reaktorze stanowisko badawczo-modelowe elektrowni jądrowej (SBMEJ). Po rezygnacji z kontynuowania budowy tego stanowiska, postanowiono reaktywować kanał poziomy H2 i przystosować go do wyprowadzenia wiązki neutronów epitermicznych.

Przez cały ubiegły rok eksploatowane było tylko 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. Paliwo to jest bardzo dobrej jakości i dzięki temu, możliwe jest jego głębsze wypalanie, przewyższające 55%, co zdecydowanie podnosi efektywność ekonomiczną stosowania tego paliwa.

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, przechowywanych w basenie przechowawczym reaktora. Tylko w przypadku dwóch prototypowych elementów paliwowych MC001 i MC002 firmy AREVA zaobserwowano wzrost uwolnienia Cs-137, co wskazuje na pogorszenie stanu koszulek tych elementów. Oba elementy zamknięte są w osobnych kapsułach i systematycznie monitorowane.

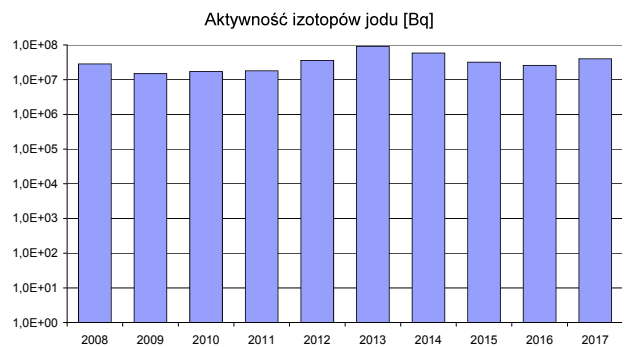
Reaktor badawczy MARIA jest w sposób ciągły monitorowany, pod względem uwolnień produktów radioaktywnych do środowiska, a poziomy uwolnień do atmosfery przedstawiono na rys. 5 i 6 i wynosiły one:

- emisja gazów szlachetnych (głównie Ar-41) –  $1 \times 10^{13}$  Bq, co stanowiło 1% limitu uwolnień,
- emisja jodów –  $4 \times 10^7$  Bq, co stanowiło 0,8% 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

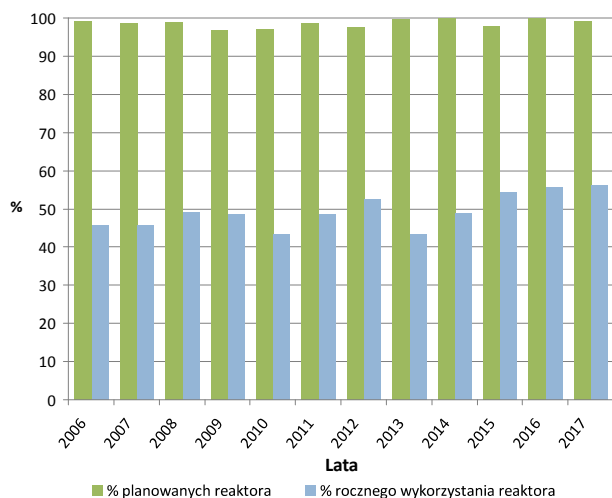
**Fig. 6.** Yearly iodines emission from MARIA reactor during the last 10 years

W 2017 r. 104 pracowników reaktora otrzymało dawkę mierzalną na całe ciało (Hp-10) zawierającą się w granicach  $0,1 \div 2,55$  mSv, a 8 pracowników otrzymało dawkę mierzalną na skórę (Hp-0,07) w granicach  $1,01 \div 2,08$  mSv, przy granicach dopuszczalnych wynoszących odpowiednio 20 i 500 mSv.

W 2017 r. wystąpiły trzy przerwy w pracy reaktora MARIA, w tym jedna powodująca konieczność skrócenia cyklu pracy. Przerwa ta spowodowana była niesprawnością w torze pomiaru poziomu wody w stabilizatorze ciśnienia. 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 2017 r. ( $A_1$ ), który wyniósł 99,1%,

(2) stosunek liczby godzin pracy reaktora do liczby godzin w 2017 r. ( $A_2$ ) wynoszący 56,3%.



Rys. 7. Roczne wskaźniki pracy reaktora MARIA

Fig. 7. Yearly indicators of reactor MARIA operation

Z istotnych prac modernizacyjnych wykonanych w reaktorze w 2017 r., 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 obejmującym 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 (rys.4). 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 dwupołkowych 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, zbierania danych i wizualizacji, SAREMA. 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 (fot.1). Agregaty te, 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.



Fot. 1. Widok nowych awaryjnych agregatów Diesla

Photo 1. View of new Diesel back-up power generators

W celu zwiększenia możliwości napromieniania tarcz, w kanałach pionowych reaktora, w 2017 r. zainstalowano w rdzeniu reaktora nowy, sześciokanałowy blok berylowy. Blok ten został zainstalowany w pozycji H-V, w miejsce bloku dwukanałowego (rys. 4).

W roku ubiegłym przeprowadzono istotną modernizację systemu ochrony fizycznej reaktora, a mianowicie: unowocześniono system kamer, wprowadzono nowy system stref dostępu do poszczególnych rejonów w obiekcie reaktora oraz zainstalowano układ zliczania osób przebywających w hali reaktora. Szczególnie ta ostatnia zmiana jest ważna, gdyż umożliwia kontrolę stanu osobowego w sytuacjach awaryjnych.

W ramach upowszechniania wiedzy o atomistyce w 2017 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.

Podsumowując, należy stwierdzić, że praca reaktora MARIA w 2017 r. przebiegała bez większych zakłóceń, potwierdzając jego dobrą dyspozycyjność oraz spełnienie warunków bezpiecznej eksploatacji.

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