

RAPORT Z EKSPLOATACJI REAKTORA BADAWCZEGO MARIA W 2012 ROKU

Andrzej Gołąb

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 eksploatowanego w 2012 r. były następujące:

- moc nominalna – 30 MW
- strumień neutronów termicznych – $4 \cdot 10^{14}$ n/cm²s
- moderator – zwykła woda (H₂O) i beryl
- reflektor – grafit
- element paliwowy:
 - materiał paliwowy:
 - UO₂-Al (wzbogacenie: 36%), 6 koncentrycznych rur
 - U₂Si₃ (wzbogacenie 19,75%), 5 koncentrycznych rur
 - koszulka: aluminium
 - długość: 1000 mm

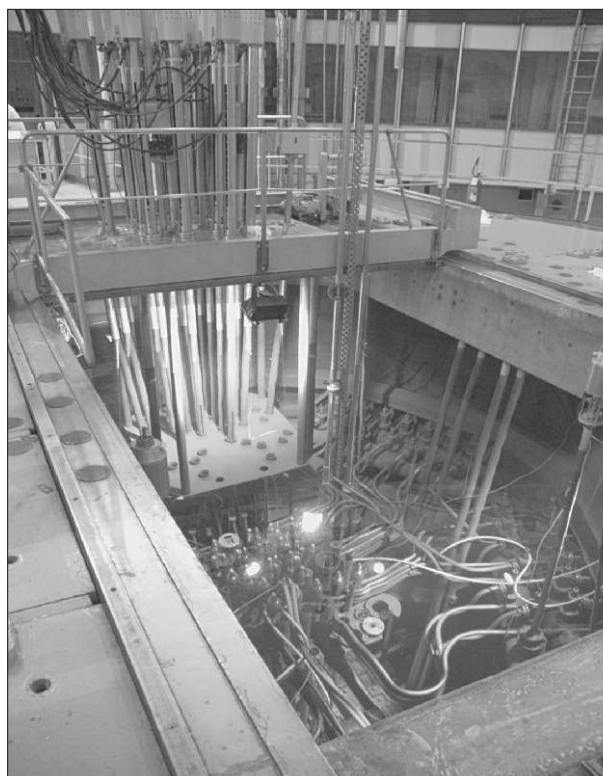
Na fot. 1 przedstawiono widok basenu reaktora.

W roku 2012 reaktor przepracował ogółem 4610 godz., na mocy od 18 do 23 MW, co przedstawiono na załączonym zestawieniu (rys. 1). Eksploatacja reaktora dostosowana była w szczególności do zapotrzebowań na napromienianie materiałów tarczowych, płytek uranowych do produkcji molibdenu (Mo-99) dla firmy Covidien i do zapotrzebowania dla Ośrodka Radioizotopów POLATOM oraz Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej. W eksploatacji reaktora nastąpiło jedno odstępstwo w harmonogramie pracy reaktora, a mianowicie niezrealizowanie cyklu XIV z uwagi na przerwę w zasilaniu energetycznym, uszkodzenie głowicy i kabli zasilających stację transformatorów przy reaktorze OPT11 i konieczność ich wymiany.

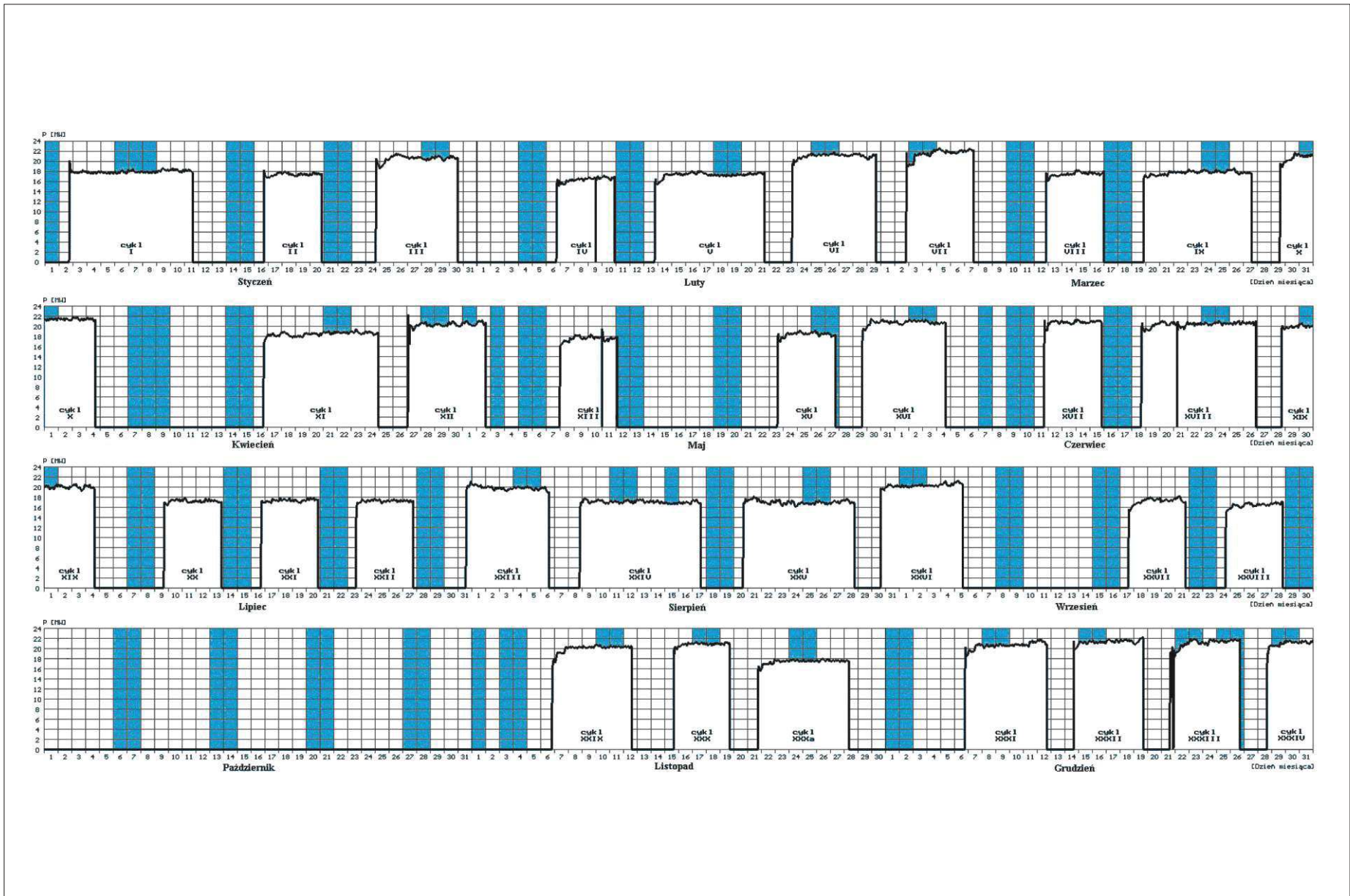
Napromieniania dotyczyły głównie takich materiałów tarczowych, jak: dwutlenek telluru (do produkcji J-131), siarka (do produkcji P-32), chlorek potasu (do produkcji S-35), iryd, bromek potasu, związki samaru, lutet, iterb, lantan, miedź, kobalt, próbki materiałów alkalicznych, biologicznych i geologicznych. Całkowita aktywność napromienianych materiałów wyniosła ok. 613 TBq oraz 7877 TBq Mo-99. Wykaz napromienianych materiałów tar-

cowych w reaktorze MARIA, w postaci liczby załadowanych zasobników przedstawiono na załączonym zestawieniu (rys. 2). Widoczne na rysunku obniżenie produkcji w 2004 r. spowodowane było wyłączeniem reaktora z powodu braku paliwa jądrowego. Ponadto w 2012 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. 3). Prowadzono również napromieniania igieł irydowych wykorzystywanych do zabiegów brachyterapii w medycynie.

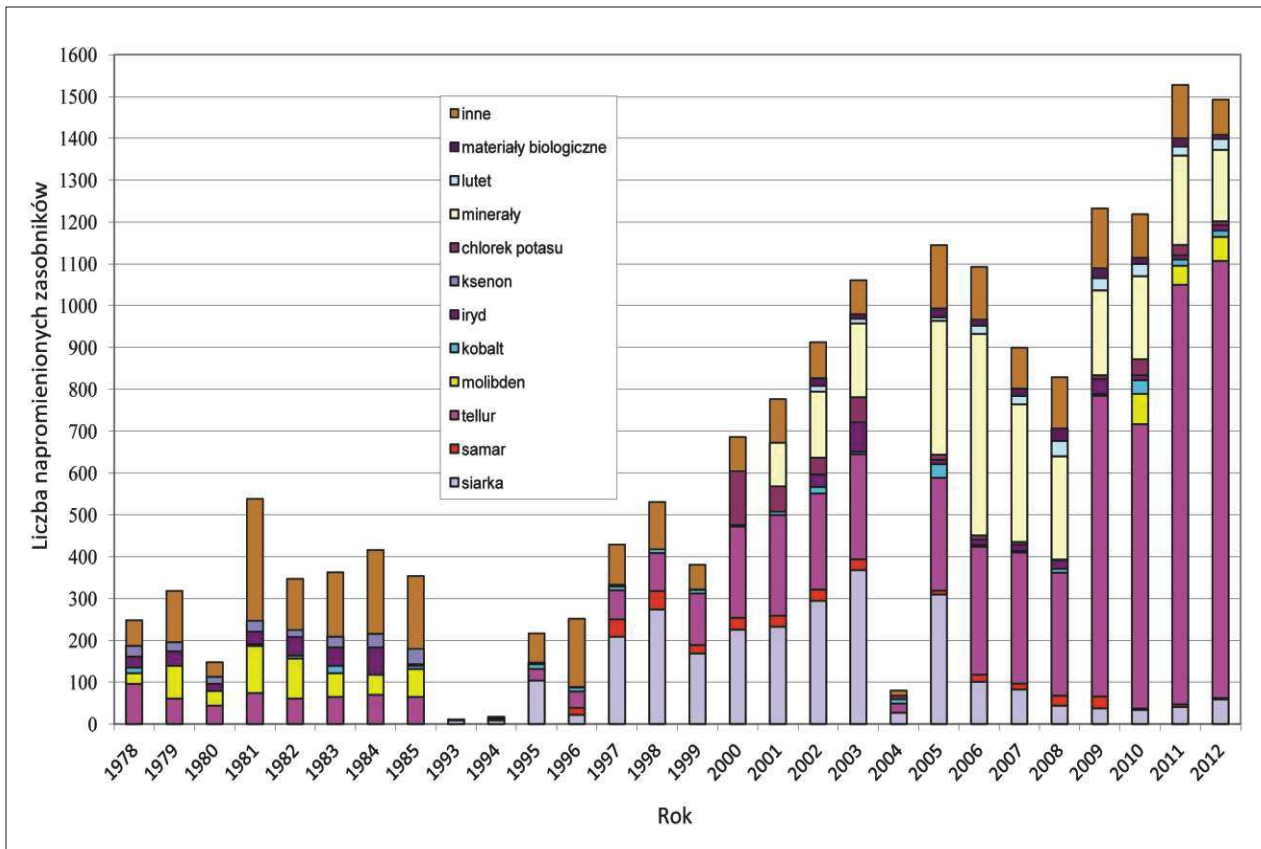
Cały ubiegły rok kontynuowano komercyjne napromienianie płytek uranowych (o wzbogaceniu 98% w U-235) służących do produkcji Mo-99, który to izotop ulega przemianie w technet Tc-99m, będący najbardziej powszechnie stosowanym



Fot. 1. Widok basenu reaktora



Rys. 1. Zestawienie pracy reaktora w 2012 r.



Rys. 2. Wykaz napromienionych materiałów tarczowych

na świecie radiofarmaceutykami. Napromienianie płytek prowadzone jest w tzw. kanałach molibdenowych, których konstrukcja jest identyczna jak kanałów paliwowych z wyjątkiem możliwości umieszczenia zamiast paliwa dwóch zasobników z płytkami uranowymi. Napromienianie realizowane jest w gniazdach i-6 i f-7 rdzenia reaktora (rys. 3) w czasie wydłużonych cykli pracy reaktora do 120-145 godz. i przy zwiększonej mocy cieplnej ok. 23 MW. Uzyskane aktywności Mo-99 są bardzo wysokie (w zakresie 230-490 TBq) i w pełni zadowalające zamawiającego.

Celem pracy reaktora MARIA w 2012 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:

Kanał poziomy Nr H-3

(łącznie czas otwarcia kanału: 1800 godz. czyli 39% czasu pracy reaktora)

- Badanie nanoniejednorodności proszku dwutlenku tytanu.
- Badanie nanoniejednorodności w silica-gelu.
- Określenie stanu rozpadu fazowego stopu Mn-Ni-Cu po krótkotrwałym wygrzewaniu w temperaturze 430°C.

Kanał poziomy Nr H-4

- Testy układów mechanicznych i pobierania danych spektrometru.

Kanał poziomy Nr H-5

(łącznie czas otwarcia kanału: 300 godz. – 6,5%)

- Badanie rozpraszania neutronów w kompozytach polimero-grafitowych.

Kanał poziomy Nr H-6

(łącznie czas otwarcia kanału: 2200 godz. – 48%)

- Badanie dynamiki fluktuacji magnetycznych w próbce hartowanej stopu Mn-25%Cu w otoczeniu punktu sieci odwrotnej (1, ½, 0).
- Badanie uporządkowania bliskiego zasięgu w stopie Mn-Ni-Cu w zależności od temperatury.

Kanał poziomy Nr H-7

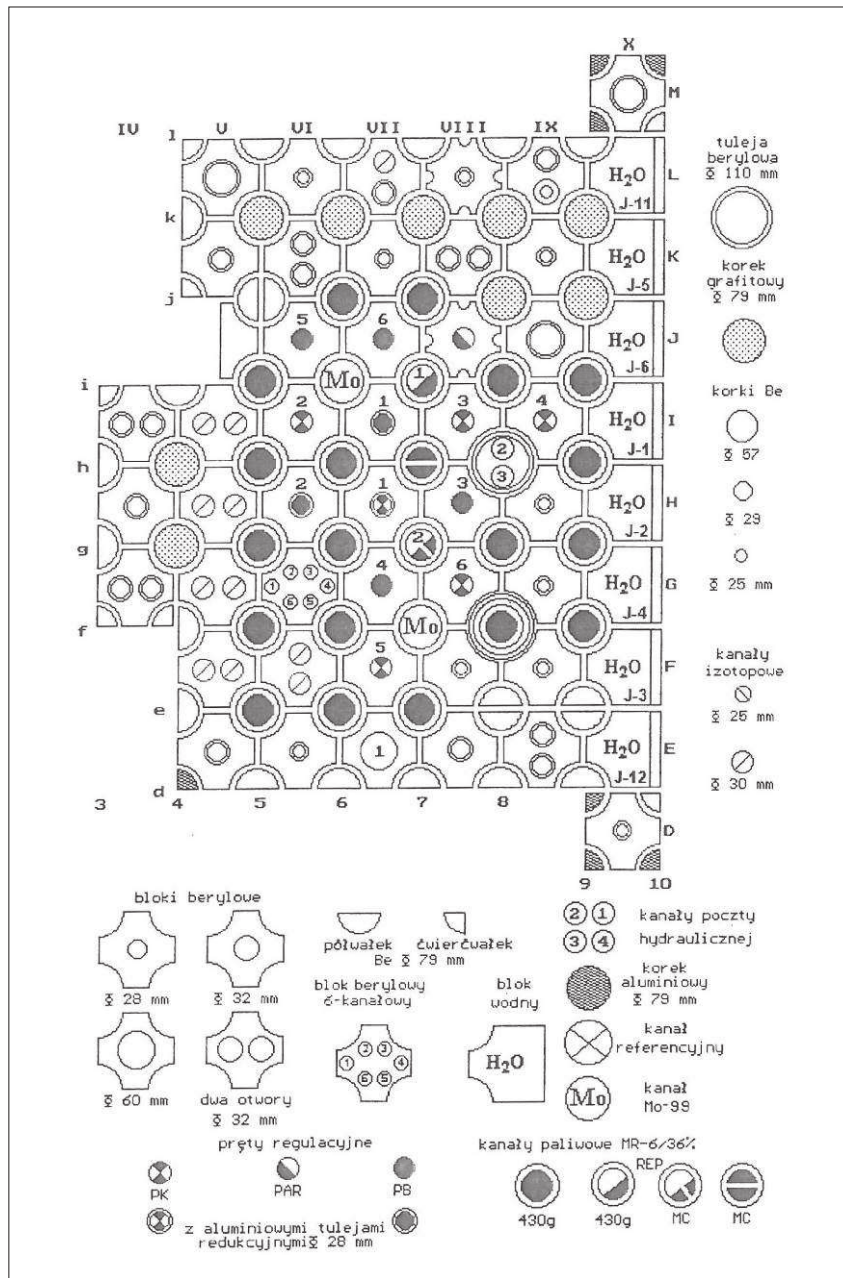
(łącznie czas otwarcia kanału: 2200 godz. – 48%)

- Badanie struktury krystalicznej materiałów grafitowo-grafenowych.
- Badanie niesprężystego rozpraszania neutronów w szerokim otoczeniu punktu sieci odwrotnej (1, ½, 0) w temperaturze pokojowej w stopie Mn-25%Cu wygrzewanej, a następnie poddanej deformacji plastycznej.

Kanał poziomy Nr H-8

(łącznie czas otwarcia kanału: 1600 godz. – 35%)

- Badanie kinetyki procesu schnięcia walców wykonanych z materiałów porowatych nasączonych wodnym roztworem NaCl.



Rys. 3. Konfiguracja rdzenia reaktora w grudniu 2012 r.

- Badanie spontanicznej migracji roztworów wodnych wybranych soli w złożach suchego drobnoziarnistego zeolitu naturalnego i proszku marmurowego.
- Badanie namakania i schnięcia próbek zapraw i betonów komórkowych (współpraca z firmą Necsa w Republice Południowej Afryki).
- Badanie próbek archeologicznych w wykopalisku w Czersku k. Warszawy.

Od 2006 r. eksploatowane są elementy paliwowe o wzbogaceniu 36% i o zawartości 430 g izotopu rozszczepialnego U-235 (MR-6/430). Od tego czasu stwierdzono zdecydowany spadek uwolnień produktów rozszczepienia do wody obiegu chłodzenia kanałów paliwowych i co za tym idzie, spa-

dek zagrożenia radiologicznego w pomieszczeniach technologicznych. Ze względu na lepszą jakość, możliwe jest głębsze wypalenie elementów paliwowych, przewyższające 50%, co zdecydowanie podnosi efektywność wykorzystania paliwa.

W ubiegłym roku, we wrześniu rozpoczęto proces konwersji rdzenia na paliwo niskowzbogacone, o wzbogaceniu 19,75% w U-235 i jego zawartości 485 g (MC-5/485). Jest to paliwo wyprodukowane przez firmę AREVA. Dwa prototypowe elementy paliwowe tego typu zostały przetestowane w reaktorze MARIA w latach 2010-2011 i wobec pozytywnych wyników paliwo to będzie wykorzystywane do konwersji rdzenia reaktora MARIA. Konwersja ta poddyktowana jest przystąpieniem Polski do programu GTRI (*Global Threat Reduction Initiative*) redukcji zagrożenia poprzez przechodzenie w reaktorach badawczych na całym świecie na paliwo niskowzbogacone. Konwersja prowadzona będzie stopniowo i polegała będzie na zastępowaniu wypalonych elementów paliwowych typu MR-6/430, elementami typu MC-5/485.

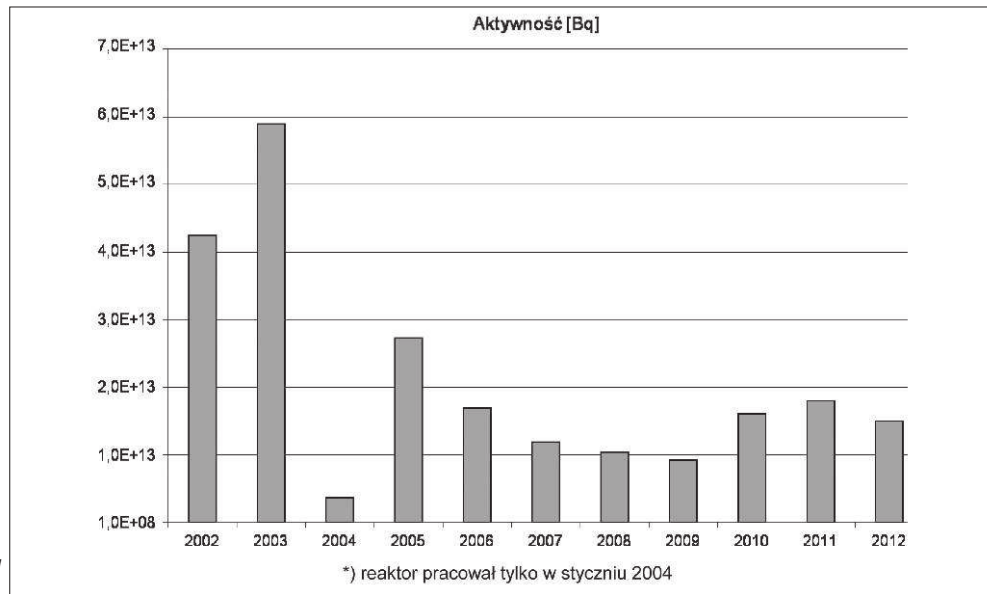
Również w ramach programu GTRI, w roku ubiegłym wywieziono z reaktora MARIA kolejnych 60 wypalonych elementów paliwowych do Federacji Rosyjskiej, celem ich przerobu.

Łącznie w latach 2009-2012 wywieziono 380 wypalonych, wysokowzbogaconych elementów paliwowych.

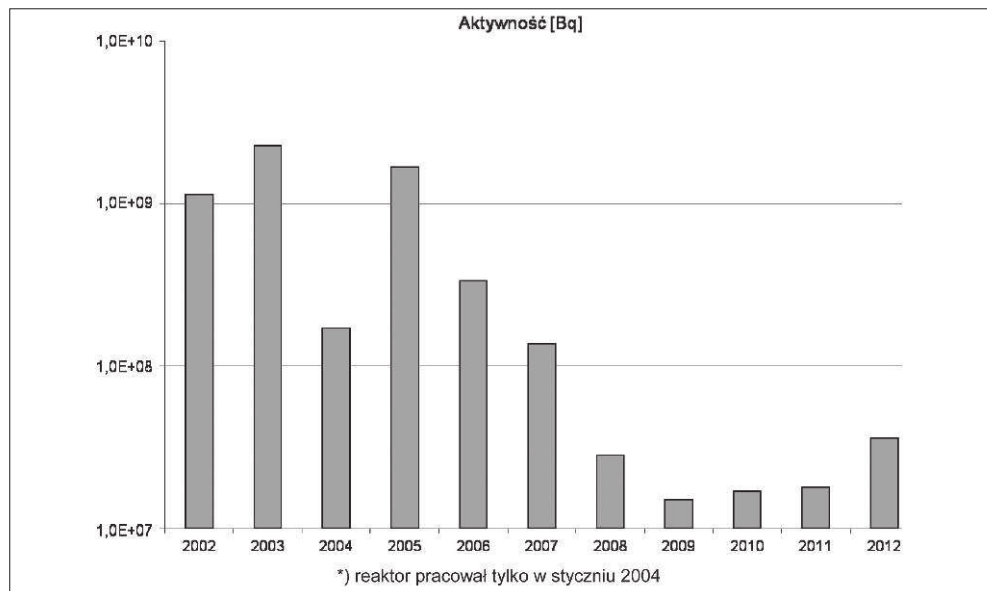
Poziomy uwolnień radionuklidów do atmosfery, przedstawione na rys. 4-6, wynosiły:

- emisja gazów szlachetnych (głównie Ar-41) – $1,5 \cdot 10^{13}$ Bq, co stanowiło 1,5% rocznego limitu uwolnień,
- emisja jodów – $3,6 \cdot 10^7$ Bq, co stanowiło 0,7% rocznego limitu uwolnień,
- uwolnienie krótkożyciowych izotopów Rb-88 i Cs-138 – $6,9 \cdot 10^8$ Bq.

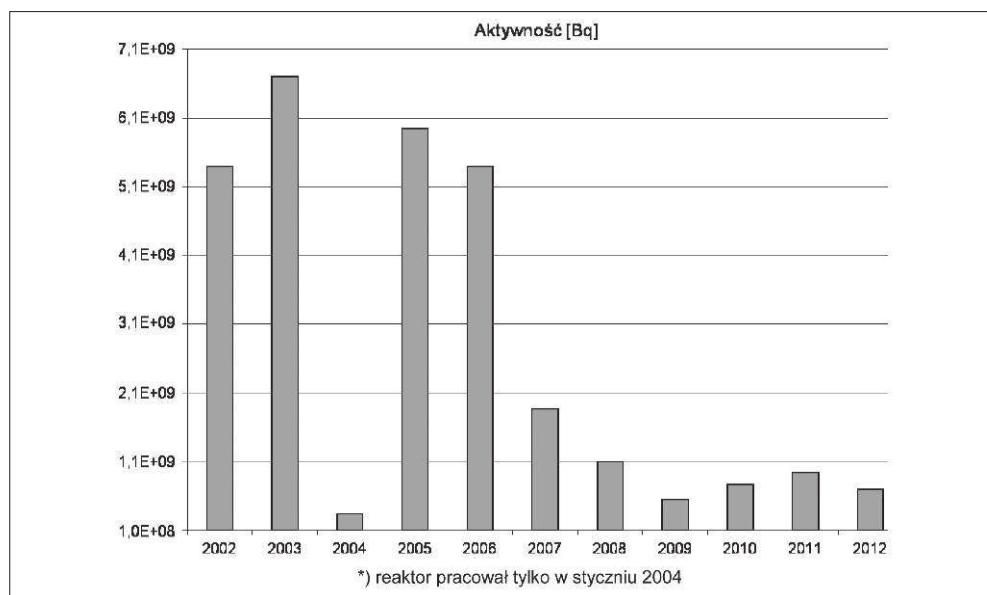
W 2012 r. 95 pracowników reaktora otrzymało dawkę mierzalną na całe ciało (Hp-10) zawierającą się w granicach $0,20 \div 1,71$ mSv przy granicznej



Rys. 4. Roczne uwolnienia gazów szlachetnych w ciągu ostatnich dziesięciu lat



Rys. 5. Roczne uwolnienia jodów w ciągu ostatnich dziesięciu lat



Rys. 6. Roczne uwolnienia aerozoli krótkożyciowych izotopów rubidu ($Rb-88$) i cezu ($Cs-138$) w ciągu ostatnich dziesięciu lat

wartości 20 mSv, a 8 pracowników otrzymało dawkę mierzalną na skórę ($H_p-0,07$) w granicach $0,35 \div 3,41$ mSv (przy granicznej wartości 500 mSv).

W czasie pracy reaktora wystąpiły 4 krótkotrwałe przerwy w pracy reaktora. Wyłączenia te spowodowane były w trzech przypadkach zanikami napięcia w rozdzielniach głównych oraz w jednym błędnym sygnałem awaryjnym w układzie pomiaru i reaktor został ponownie uruchomiony po ok. 20 minutach.

Na rys. 7 przedstawiono dwa parametry mówiące o dyspozycyjności reaktora MARIA na przestrzeni ostatnich 15 lat:

- (1) stosunek liczby przepracowanych godzin do sumy liczby przepracowanych godzin i liczby godzin nieplanowanych wyłączeń (A_1), który wynosił 97,8%,
- (2) stosunek liczby godzin pracy reaktora do liczby godzin w roku (A_2) wynoszący 52,6%.

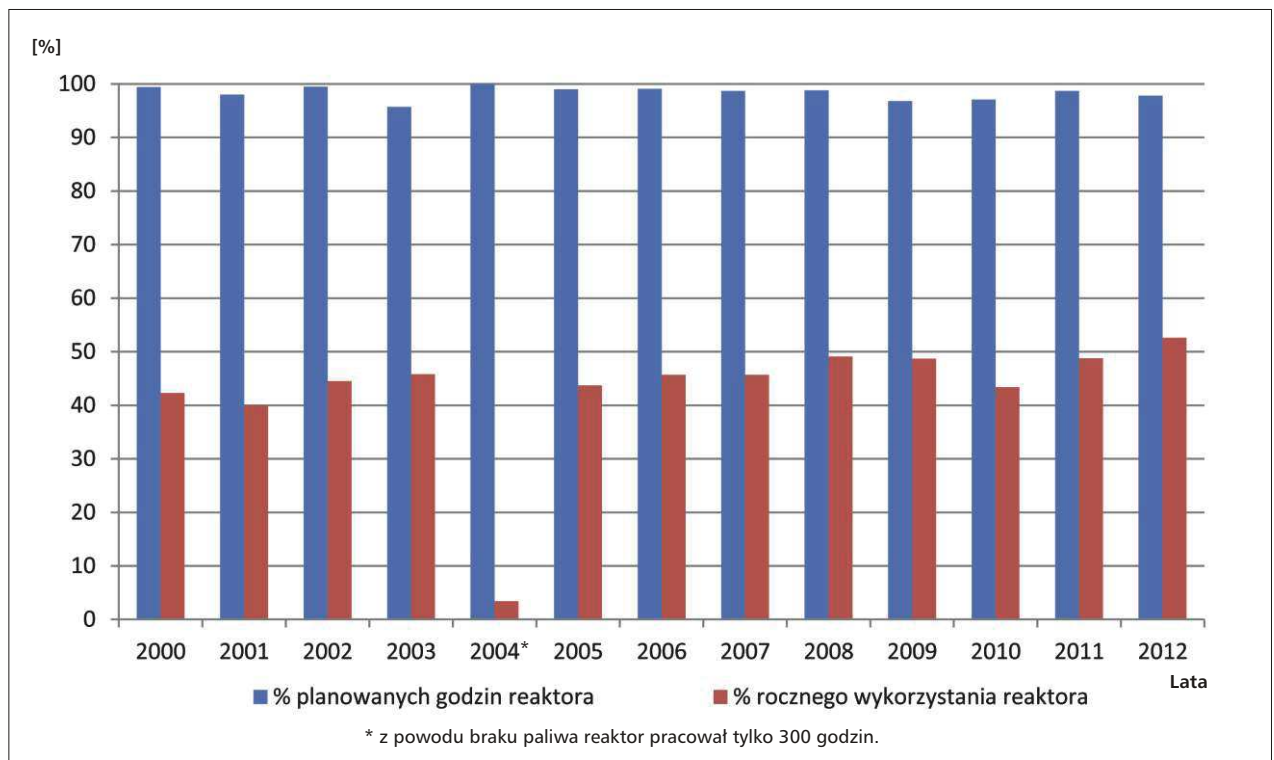
Podczas ubiegłorocznej pracy reaktora nie odnotowano żadnych incydentów, które spowodowałyby zagrożenie radiologiczne środowiska.

Z ważniejszych prac modernizacyjnych dokonanych w reaktorze należy wymienić zainstalowanie trzeciego, nowego wentylatora typu WO 6000 na chłodni wentylatorowej obiegu wtórnego.

Praca reaktora MARIA podlegała systematycznej kontroli przez Państwową Agencję Atomistyki w 2012 r. poprzez nadzór parametrów technologicznych przesyłanych po każdym cyklu pracy i składanie kwartalnych sprawozdań. W tym czasie przeprowadzono też 5 kontroli w Zakładzie Eksploatacji Reaktora Narodowego Centrum Badań Jądrowych, które nie wykazały istotnych uchybień w eksploatacji reaktora.

W ramach upowszechniania wiedzy o atomistyce w 2012 r., reaktor MARIA zwiedziło ok. 5000 uczniów szkół średnich i studentów uczelni wyższych z terenu całej Polski. Dla niektórych grup studenckich z Politechniki Warszawskiej i Politechniki Gdańskiej organizowano również ćwiczenia praktyczne z zakresu fizyki reaktorowej i ochrony przed promieniowaniem jonizującym.

Podsumowując, należy stwierdzić, że praca reaktora MARIA w 2012 r. przebiegała bez zakłóceń, potwierdzając tym samym jego dobrą dyspozycyjność i spełniając warunek jego bezpiecznej eksploatacji.



Rys. 7. Roczne wskaźniki pracy reaktora MARIA

*mgr inż. Andrzej Gołąb,
Narodowe Centrum Badań Jądrowych,
Otwock-Świerk*