

# RAPORT Z EKSPLOATACJI REAKTORA BADAWCZEGO MARIA W 2013 ROKU

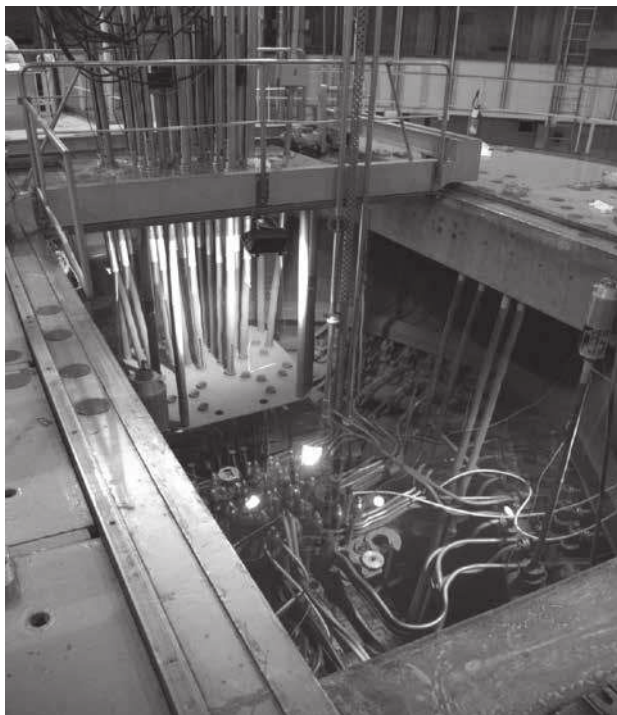
Andrzej Gołąb

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 są następujące:

- moc nominalna - 30 MW cieplnych
- strumień neutronów termicznych -  $4 \cdot 10^{14}$  n/cm<sup>2</sup>s
- moderator – woda (H<sub>2</sub>O) i beryl
- reflektor - grafit
- element paliwowy:
  - materiał: dwutlenek (UO<sub>2</sub>) lub krzemek (U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>) uranu w dyspersji z aluminium (Al)
  - wzbogacenie: 36% lub 19,75% w izotop U-235
  - koszulka: aluminium (Al)
  - kształt: 6 lub 5 koncentrycznych rur
  - długość: 1000 mm

Na rys.1 przedstawiono widok basenu reaktora.

W 2013 r. reaktor przepracował łącznie 3180 godzin na mocy od 18 do 25 MW, co przedstawiono na załączonym



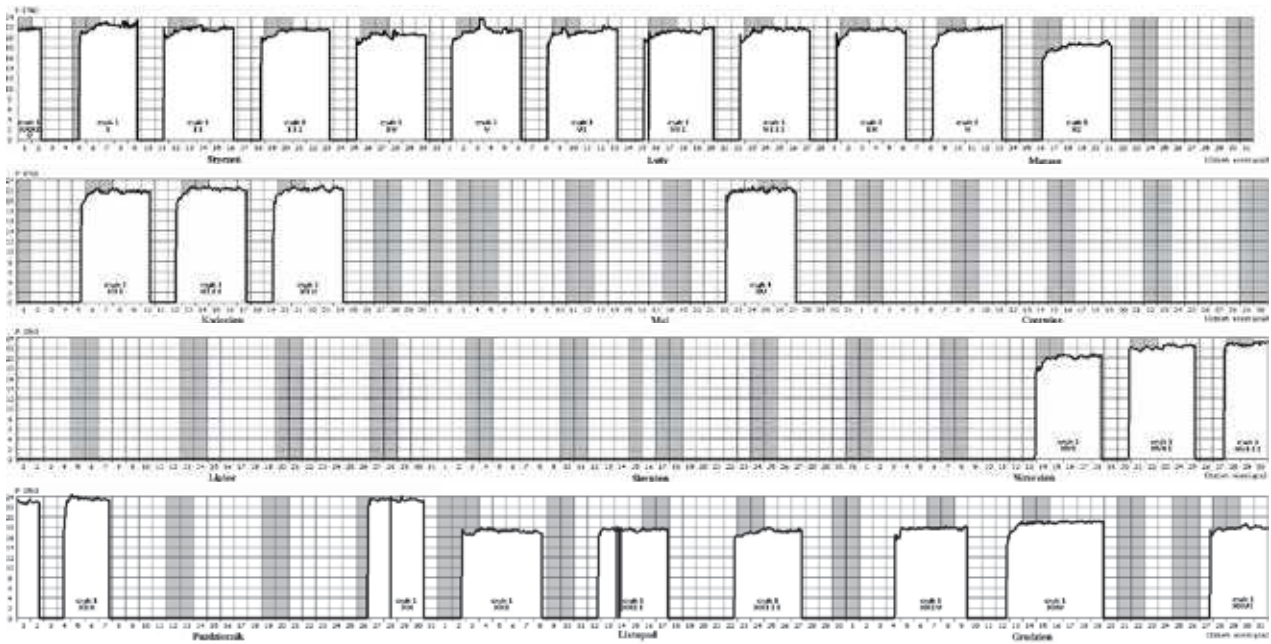
Rys. 1. Widok basenu reaktora

zestawieniu (rys.2). Eksploatacja reaktora dostosowana była w szczególności do zapotrzebowań na napromienianie płytek uranowych do produkcji molibdenu (Mo-99) dla firmy amerykańskiej „Mallinckrodt Pharmaceuticals” oraz do zapotrzebowania Ośrodka Radioizotopów Polatom i Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej na napromienianie materiałów tarczowych. W okresie od 28 maja do 12 września reaktor nie pracował, ze względu na przeprowadzenie istotnej modernizacji pierwotnego obiegu chłodzenia kanałów paliwowych czyli wymiany pomp głównych i zainstalowanie pomp powyłączeniowych.

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. 634 TBq oraz 9257 TBq 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 2013 r. prowadzono napromienianie minerałów, w czterech specjalnych stanowiskach, co wymagało stosowania „nietypowej” konfiguracji rdzenia reaktora z ośmioma blokami wodnymi zawierającymi filtr, modelujący widmo energetyczne neutronów (rys.4). Prowadzono również napromieniania igieł irydu wykorzystywanych w medycynie do brachyterapii.

Cały ubiegły rok kontynuowano komercyjne napromienianie płytek uranowych (o wzbogaceniu 98% w U-235) służących do produkcji molibdenu (Mo-99), który to izotop ulega przemianie w technet (Tc-99m), będący najbardziej powszechnym radiofarmaceutykiem. Napromienianie płytek prowadzone jest w tzw. kanałach molibdenowych, których konstrukcja jest identyczna jak kanałów paliwowych. Napromienianie realizowane jest w gniazdach i-6 i f-7 rdzenia reaktora (rys. 4), w czasie wydłużonych cykli pracy reaktora do 120-145 godz. na mocy ok. 23 MW. Uzyskane aktywności Mo-99 są bardzo wysokie (w zakresie 230-490 TBq).

Celem pracy reaktora MARIA w 2013 r. było również wykorzystywanie wiązek neutronów, wyprowadzonych przez kanały poziome do prac badawczych, realizowanych



Rys. 2. Zestawienie pracy reaktora w 2013 r.

przez Środowiskowe Laboratorium Neutronografii. Poniżej przedstawiono zakres prac badawczych prowadzonych na kanałach poziomych:

**Kanał poziomy Nr H-3**

(łącznie czas otwarcia kanału: 1050 godz. czyli 33% czasu pracy reaktora)

- Badanie nanoniejednorodności w ziarnach kinoptylitu.
- Badanie struktur nanometrycznych w starożytnych ozdobach z brązu.

**Kanał poziomy nr H-4**

- Testy układów mechanicznych i pobierania danych spektrometru.

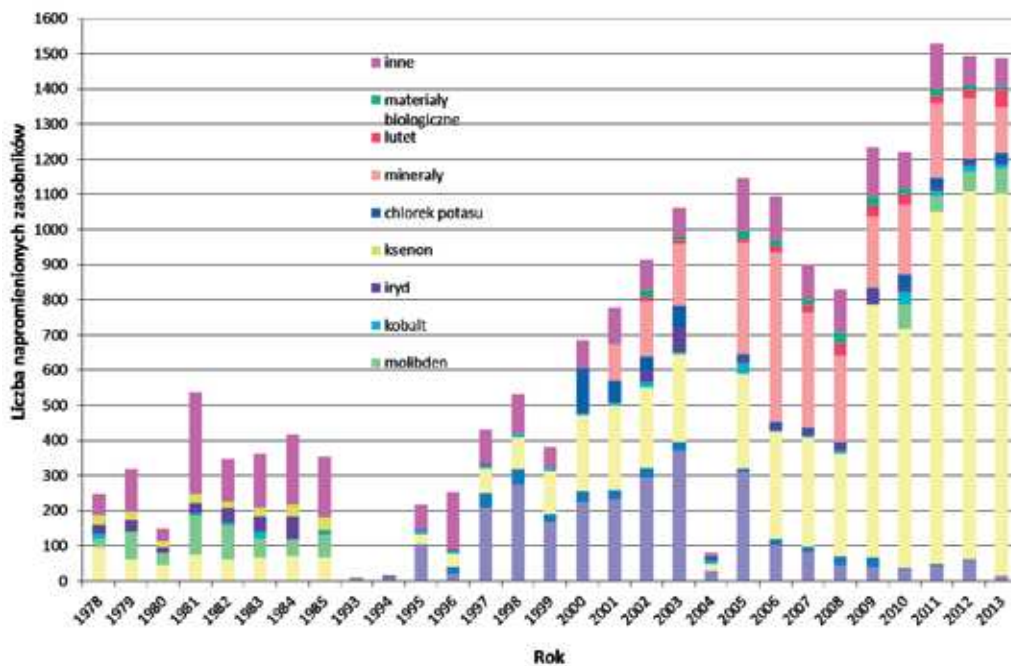
**Kanał poziomy Nr H-5**

- Konserwacja i testy układów mechanicznych spektrometru.

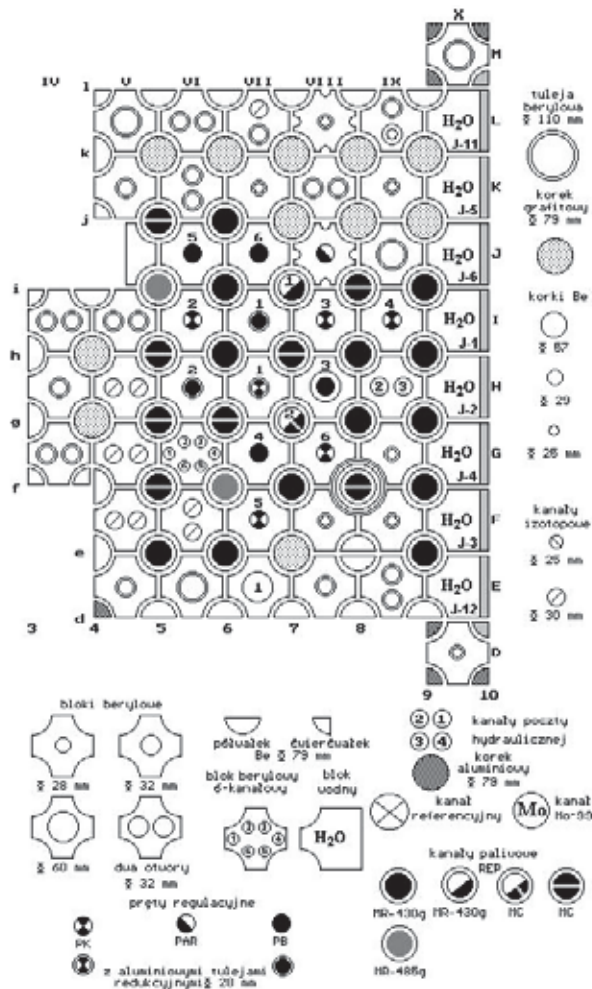
**Kanał poziomy Nr H-6**

(łącznie czas otwarcia kanału: 2200 godz. – 69%)

- Pomiary uzupełniające do wyznaczania relacji dyspersji fal spinowych w hartowanej próbce stopu Mn-25%-Cu.
- Pomiary sprężystego rozpraszania neutronów z dużym przekazywaniem w hartowanym stopie Mn-Ni-Cu.



Rys. 3. Wykaz napromienionych materiałów tarczowych



Rys. 4. Konfiguracja rdzenia reaktora w grudniu 2013 r.

#### Kanał poziomy Nr H-7

(łącznie czas otwarcia kanału: 1700 godz. – 53%)

- Badanie fluktuacji magnetycznych w hartowanej próbce stopu Mn-Ni-Cu w temperaturze 300°K.

#### Kanał poziomy Nr H-8

(łącznie czas otwarcia kanału: 650 godz. – 20%)

- Badanie zależności kinetyki procesu schnięcia próbek wykonanych z materiałów porowatych nasączonych wodnym roztworem NaCl.
- Badanie procesu schnięcia walców betonowego nasączonego czystą wodą i nasyconym roztworem wodnym NaCl.
- Badanie próbek archeologicznych w wykopalisku w Czersku k. Warszawy.

Od 2006 r. w reaktorze eksploatowane są elementy paliwowe o wzbogaceniu 36% i o zawartości 430 g izotopu rozszczepialnego U-235 (typu MR-6/36). Od tego czasu stwierdzono zdecydowany spadek uwolnień produktów rozszczepienia do wody pierwotnych obiegów chłodzenia reaktora i co za tym idzie spadek zagrożenia radiologicznego w pomieszczeniach technologicznych. Ze względu na lepszą jakość, możliwe jest głębsze wypalenie elementów

paliwowych, przewyższające 50%, co zdecydowanie podnosi efektywność ekonomiczną wykorzystania paliwa.

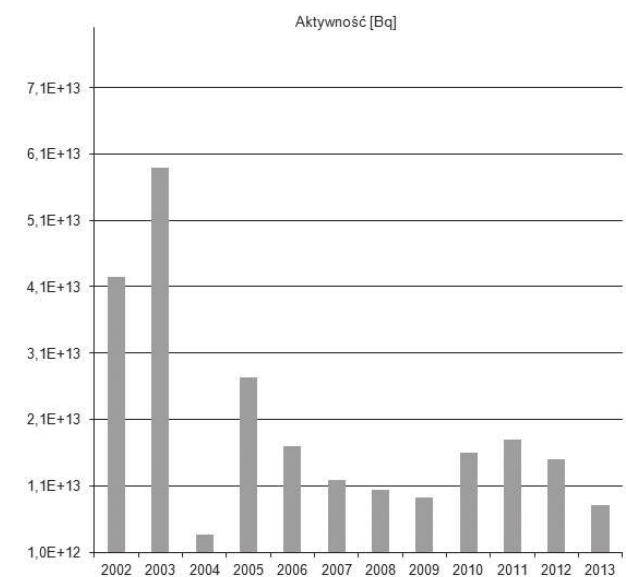
W ubiegłym roku kontynuowano proces konwersji rdzenia na paliwo niskowzbożone o wzbogaceniu 19,75% w izotop U-235 i zawartości 480 g uranu-235 (typu MC). Jest to paliwo wyprodukowane przez francuską firmę AREVA. Konwersja rdzenia reaktora MARIA, na paliwo niskowzbożone, podyktowana jest przystąpieniem Polski do programu GTRI (Global Threat Reduction Initiative) globalnej redukcji zagrożenia terrorystycznego. Konwersja prowadzona jest stopniowo i polega na zastępowaniu wypalonych elementów paliwowych typu MR-6/36 elementami typu MC.

W styczniu 2013 r. rozpoczęto testowe napromienianie dwu niskowzbożonych elementów paliwowych produkcji rosyjskiej typu MR-6/20. Elementy te zawierają 485 g uranu (U-235) o wzbogaceniu również do 19,75%. Wykonane są one z dyspersji  $UO_2-Al$  w odróżnieniu od elementów firmy AREVA wykonanych z dyspersji  $U_3Si_2-Al$ . Dotychczasowa eksploatacja potwierdza ich dobry stan techniczny i być może w następnych latach również tego typu paliwo będzie wykorzystywane w reaktorze Maria.

Poziomy uwolnień do atmosfery, przedstawione na rys. 5-7, wyniosły:

- emisja gazów szlachetnych (głównie Ar-41) –  $8,1 \times 10^{12} Bq$ , co stanowiło 0,8% limitu uwolnień,
- emisja jodów –  $9,2 \times 10^7 Bq$ , co stanowiło 1,8% rocznego limitu uwolnień,
- uwolnienie krótkożyjących izotopów Rb-88 i Cs-138 –  $5,4 \times 10^7 Bq$ .

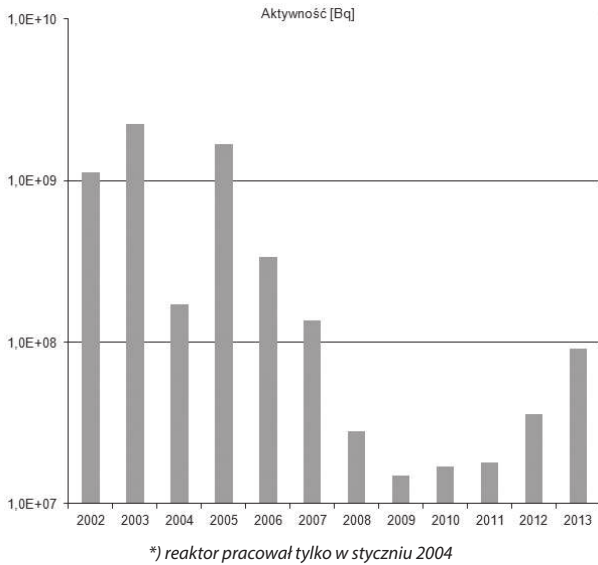
W 2013 r. 97 pracowników reaktora otrzymało dawkę mierzalną na całe ciało (Hp-10) zawierającą się w granicach 0,15-2,03 mSv, a 8 pracowników otrzymało dawkę mierzalną na skórę (Hp-0,07) w granicach 0,11- 3,45 mSv,



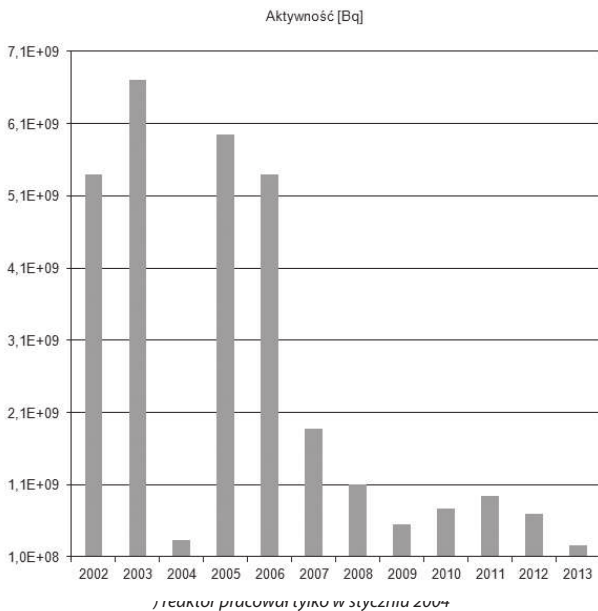
\*) reaktor pracował tylko w styczniu 2004

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





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



Rys. 7. Roczne uwolnienia aerozoli krótkożyciowych izotopów rubidu (Rb-88) i cezu (Cs-138) w ciągu ostatnich jedenastu lat

przy granicach dopuszczalnych wynoszących odpowiednio 20 mSv i 500 mSv.

W czasie pracy reaktora wystąpiły 4 krótkotrwałe przerwy w pracy. Wyłączenia te wystąpiły w trzech przypadkach przy przełączaniu pomp głównych obiegu chłodzenia oraz w jednym przypadku błędem operatora.

Na rys. 10 przedstawiono dwa parametry mówiące o dyspozycyjności reaktora Maria na przestrzeni ostatnich 13 lat.

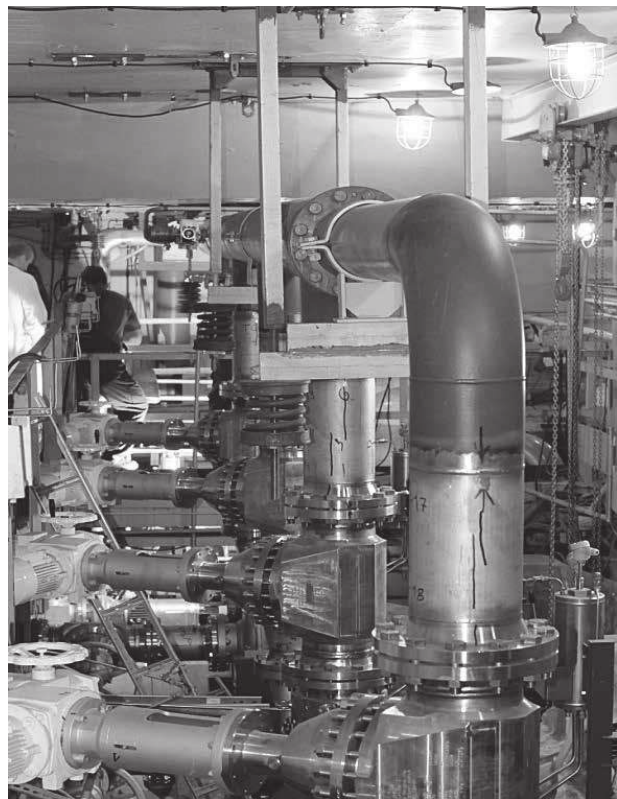
1. stosunek liczby przepracowanych godzin do sumy liczby przepracowanych godzin i liczby godzin w 2013 r. nieplanowanych wyłączeń (A1), który wyniósł 99,9%,
2. stosunek liczby godzin pracy reaktora do liczby godzin w 2013 r. (A2) wynoszący 43,5%.

Podczas ubiegłorocznej pracy reaktora nie odnotowa-

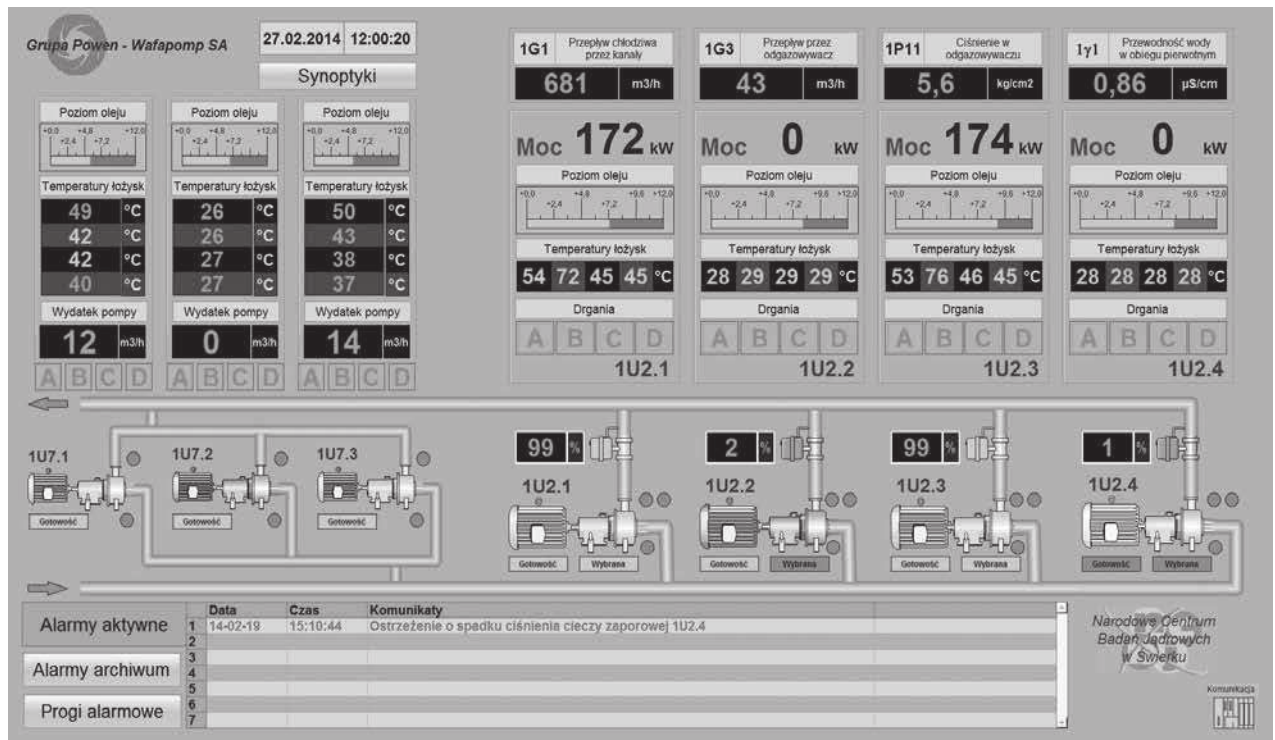
no żadnych incydentów, które spowodowałyby zagrożenie radiologiczne dla środowiska.

Z ważniejszych prac modernizacyjnych dokonanych w reaktorze należy wymienić przede wszystkim modernizację pierwotnego obiegu chłodzenia kanałów paliwowych. Polegała ona, na zamianie czterech dwubiegowych pomp głównych, czterema pompami jednobiegowymi i trzema pompami powyłączeniowymi. Konieczność przeprowadzenia modernizacji wynikała z potrzeby przeprowadzenia konwersji rdzenia reaktora MARIA na paliwo niskowzbożone produkcji francuskiej. Z uwagi na niekorzystne charakterystyki hydrauliczne tego paliwa, a mianowicie wyższe o ok. 30% opory hydrauliczne i mniejszą o ok. 25% powierzchnię wymiany ciepła, istniała konieczność zwiększenia natężenia przepływu chłodziwa w kanałach paliwowych z 25 m<sup>3</sup>/h, stosowanej dla elementów produkcji rosyjskiej, do 30 m<sup>3</sup>/h. Istniejący w reaktorze zestaw pomp głównych, nie umożliwiał zapewnienia we wszystkich kanałach paliwowych wydatku chłodziwa na tym poziomie. Podjęto więc decyzję o wymianie pomp głównych, na nowe zapewniające wydatek globalny 800 m<sup>3</sup>/h, przy dwu pracujących pompach, co umożliwiał przeprowadzenie pełnej konwersji rdzenia reaktora na paliwo niskowzbożone.

Jednocześnie zmieniono koncepcję chłodzenia powyłączeniowego i awaryjnego reaktora, a mianowicie zainstalowano trzy dodatkowe pompy powyłączeniowe, które w czasie wyłączenia się pomp głównych, bezwzględnie przejmują chłodzenie powyłączeniowe reaktora. Na rys.8



Rys. 8. Widok pompowni z nowym układem pompowym



Rys. 9. Strona główna układu sterowania i diagnostyki pomp obiegu kanałów paliwowych

przedstawiono widok pomp z nowym układem pompowym, a na rys.9 widok strony głównej układu sterowania i diagnostyki pomp.

Inną istotną modernizacją przeprowadzoną w reaktorze, w roku ubiegłym, była zmiana w konfiguracji rdzenia reaktora polegająca na przeniesieniu kanałów nr 2 i 3 pocztu hydraulicznej z gniazda h-8 do gniazda H-IX (rys. 4). Operacja ta wymagała umieszczenia w gnieździe H-IX spe-

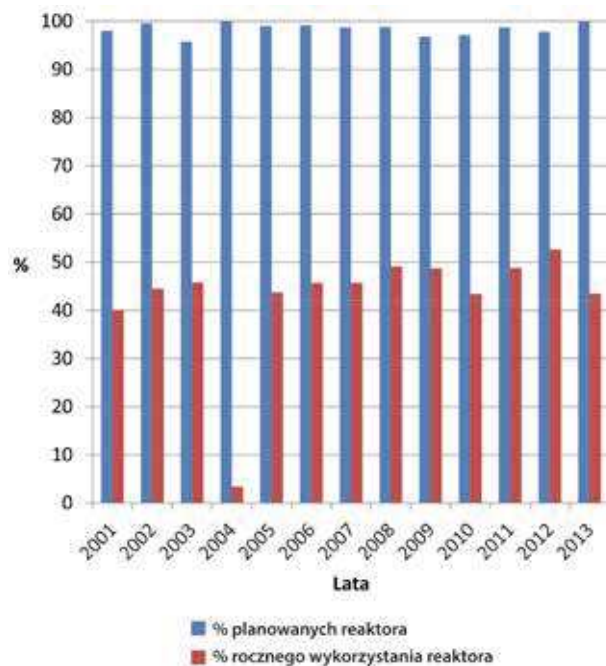
cialnego bloku berylowego, z otworami umożliwiającymi zainstalowanie w nim kanałów pocztu hydraulicznej oraz emisyjnych detektorów neutronów, tzw. kolektronów celem precyzyjnego określenia dawki otrzymywanej przez naświetlane materiały. W dotychczasowym gnieździe h-8 zainstalowano kanał paliwowy.

W ramach poprawiania infrastruktury reaktora, zmodernizowano w roku ubiegłym stację transformatorów OPT11 i OPT12 (6/0,4kV), która polegała na zainstalowaniu nowych kontenerowych stacji w miejscu starych.

W ramach upowszechniania wiedzy o atomistyce w 2013 r., reaktor MARIA zwiedziło ok. 5000 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 2013 r. przebiegała bez większych zakłóceń, potwierdzając jego dobrą dyspozycyjność oraz bezpieczną eksploatację.

*mgr inż. Andrzej Gołąb,  
kierownik Zakładu Eksploatacji Reaktora MARIA,  
Narodowe Centrum Badań Jądrowych,  
Otwock-Świerk*



\*) z powodu braku paliwa reaktor pracował tylko 300 godzin

Rys. 10. Roczne wskaźniki pracy reaktora MARIA