

ARTYKUŁY

RAPORT Z EKSPLOATACJI REAKTORA BADAWCZEGO MARIA W 2011 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
- strumień neutronów termicznych – $4 \cdot 10^{14}$ n/cm²s
- moderator – H₂O, beryl
- reflektor – grafit
- element paliwowy:
 - materiał: UO₂-Al
 - wzbogacenie: 36%
 - koszulka: Al
 - kształt: 6 koncentrycznych rur
 - długość: 1000 mm

Na rys. 1 przedstawiono fotografię basenu reaktora z widocznymi rurami doprowadzającymi chłodziwo do kanałów paliwowych.

W roku 2011 reaktor przepracował 4275 godz. na mocy od 18 do 22 MW, co przedstawiono na załączonym zestawieniu (rys. 2). Eksploatacja reaktora przebiegała zgodnie z harmonogramem i dostosowana była w szczególności do zapotrzebowań, na napromienianie płytek uranowych do produkcji molibdenu (Mo-99) dla firmy Covidien (Holandia) oraz do zapotrzebowania Ośrodka Radioizotopów Polatom i Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej na napromienianie materiałów tarczowych.

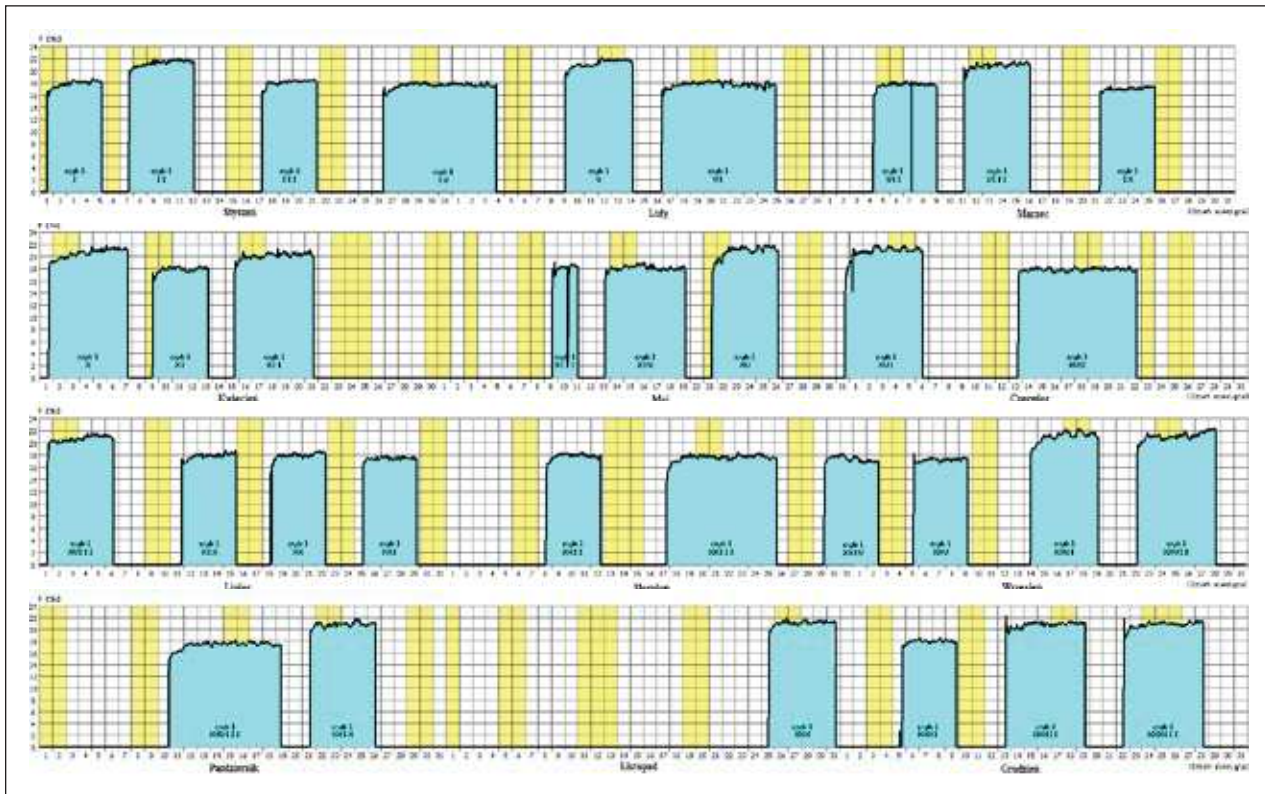
Napromieniania dotyczyły głównie takich materiałów tarczowych, jak: dwutlenek telluru (do produkcji J-131), siarka (do produkcji P-32), chlorek potasu (do produkcji S-35), iryd, bromek potasu, związki samaru, lutet, iterb, lantan, miedź, kobalt, próbki materiałów

^{*)} Z dniem 1 września 2011 r. nastąpiło połączenie Instytutu Energii Atomowej POLATOM, dotychczasowego operatora reaktora MARIA, z Instytutem Problemów Jądrowych w Narodowe Centrum Badań Jądrowych w Świerku

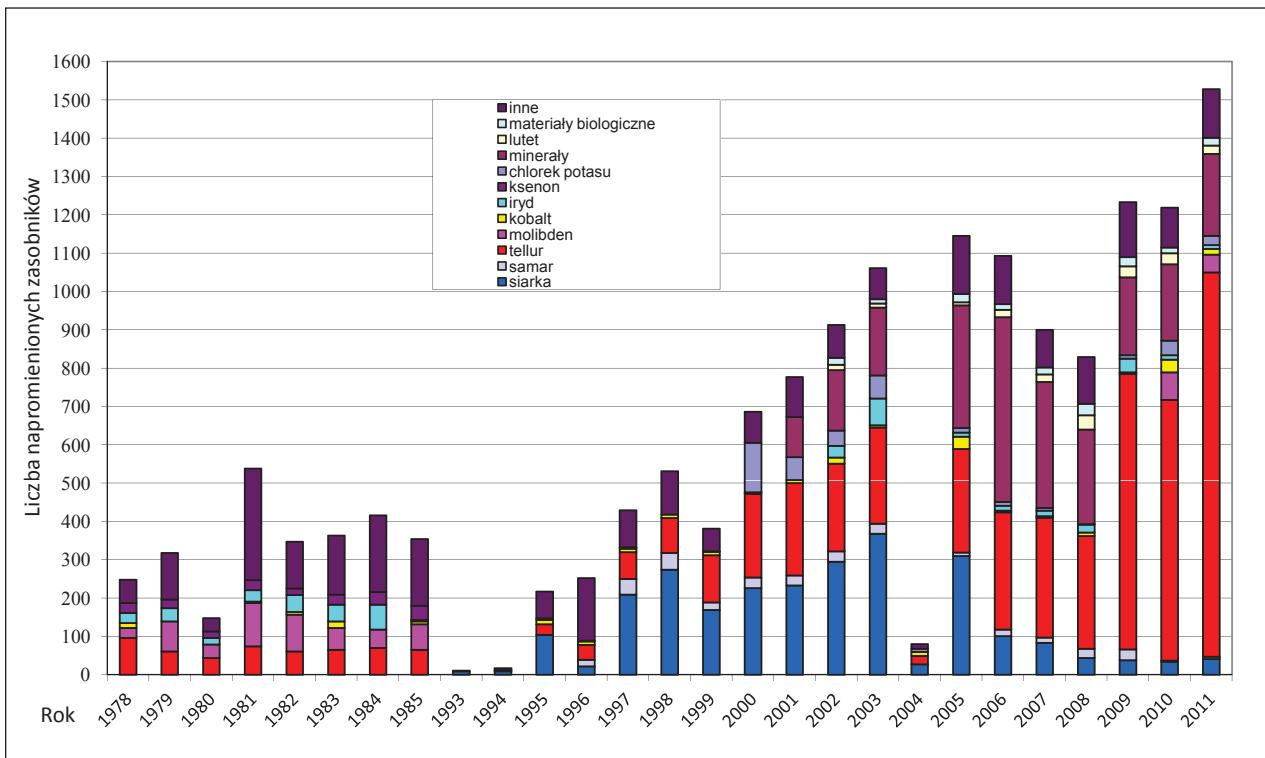


Rys. 1. Widok basenu reaktora (z archiwum NCBJ)

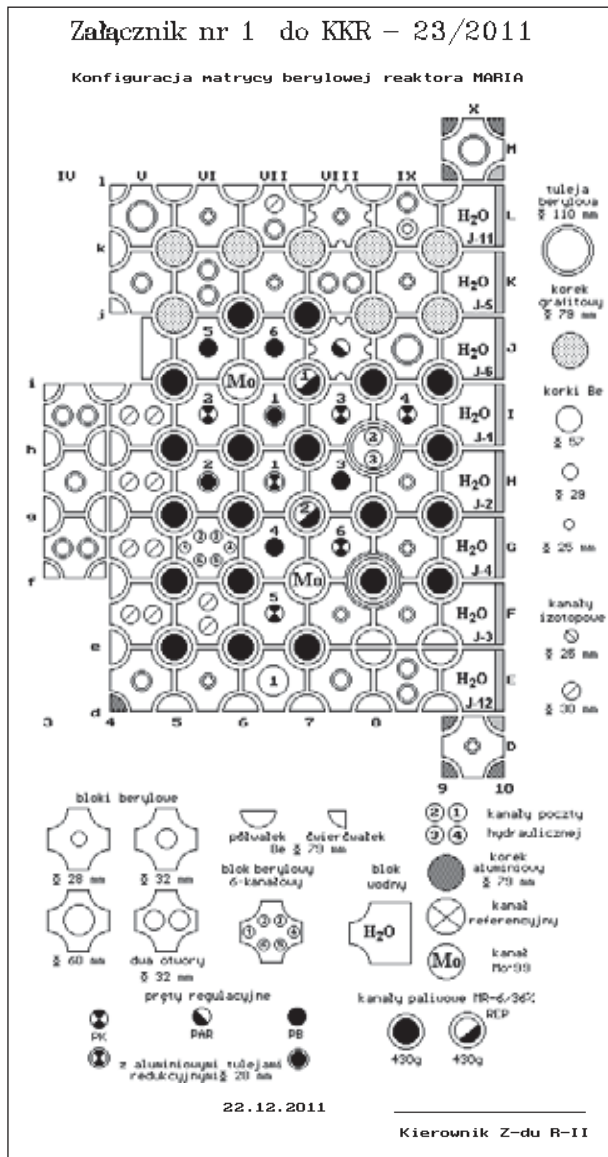
alkalicznych, biologicznych i geologicznych. Całkowita aktywność napromienionych materiałów wyniosła ok. 600 TBq oraz 6000 TBq Mo-99. Wykaz napromienianych materiałów tarczowych w reaktorze MARIA, w postaci liczby załadowanych zasobników przedstawiono na załączonym zestawieniu (rys. 3). Widoczne na rysunku obniżenie produkcji w 2004 r. spowodowane było wyłączeniem reaktora z powodu braku paliwa jądrowego. Ponadto w 2011 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.



Rys. 2. Zestawienie pracy reaktora w 2011 r.



Rys. 3. Wykaz napromienionych materiałów od początku eksploatacji reaktora MARIA



Rys. 4. Konfiguracja rdzenia reaktora w grudniu 2011 r.

Cały ubiegły rok kontynuowano komercyjne napromienianie płytek uranowych (o wzbogaceniu 98% w izotop U-235) służących do produkcji Mo-99, który to izotop ulega przemianie w technet Tc-99m, będący najbardziej powszechnym radiofarmaceutykiem stosowanym w medycynie. 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 równych 120÷145 godz., na mocy ok. 22 MW. Uzyskane aktywności Mo-99 są bardzo wysokie (w zakresie 230-490 TBq) co dobrze charakteryzuje możliwości produkcyjne reaktora MARIA.

W ramach udoskonalenia technologii napromieniania kryształów krzemu, w celu jego neutronowego domieszkowania, prowadzono szereg prac analitycznych i próbnych napromieniania kryształów o średnicy 5" (cali). Ponieważ efektywność procesu neutronowego domieszkowania określana jest jednorodnością wprowadzanych domieszek oraz zgodnością z założonym poziomem domieszek, jest istotne, aby precyzyjnie określać warunki napromieniania (strumienie neutronów i ich rozkłady). Z uwagi na specyfikę konstrukcji rdzenia reaktora MARIA, tzn. jego dużą niejednorodność, usytuowanie kanału krzemowego w sąsiedztwie kanałów do napromieniania materiałów tarczowych i prętów regulacyjnych, odnotowujemy dużą niestabilność poziomu strumienia neutronów termicznych, co wpływa na poziom domieszkowania kryształów. Wykonane prace analityczne i pomiarowe miały na celu optymalizację procesu napromieniania, poprzez dobór konfiguracji i rodzaju samozasilających detektorów dla określenia strumienia neutronów jak również opracowanie optymalnej procedury kalibracyjnej.

Celem pracy reaktora MARIA w 2011 r. było również wykorzystywanie wiązek neutronów, wyprowadzonych przez kanały poziome reaktora do prac badawczych, prowadzonych przez Środowiskowe Laboratorium Neutrografii. Poniżej przedstawiono zakres prac badawczych prowadzonych na kanałach poziomych:

Kanał poziomy Nr H-3

(łącznie czas otwarcia kanału: 800 godz. czyli 19% czasu pracy reaktora)

- Badanie nano-struktury proszku korundowego o różnej granulacji.
- Badanie nano-wydzieleń powstających w wyniku rozpadu spinodalnego w polikrystalicznych stopach Mn-Cu.

Kanał poziomy nr H-4

(łącznie czas otwarcia kanału: 530 godz. – 12%)

- Badanie rozmiarów pustek w złożach korundu o różnej granulacji.

Kanał poziomy Nr H-5

(łącznie czas otwarcia kanału: 350 godz. – 8%)

- Testowanie układu scyntylacyjnej detekcji neutronów termicznych.

Kanał poziomy Nr H-6

(łącznie czas otwarcia kanału: 3350 godz. – 78%)

- Badanie wzbudzeń magnetycznych w hartowanej próbce stopu $Mn_{0,75}Cu_{0,25}$ po rozpadzie spinodalnym i deformacji wzdłuż kierunku [110] w zależności od temperatury.
- Badanie uporządkowania bliskiego zasięgu w stopie Mn-Ni-Cu w zależności od temperatury.

Kanał poziomy Nr H-7

(łącznie czas otwarcia kanału: 2650 godz. – 62%)

- Badanie dyfuzyjnego sprężystego rozpraszania neutronów w stopie SENDUST.
- Badanie fal spinowych w temperaturze pokojowej w stopie $Mn_{0,75}Cu_{0,25}$ po rozpadzie spinodalnym.
- Badanie fluktuacji magnetycznych w otoczeniu sieci odwrotnej (1,1/2,0) w hartowanej próbce stopu $Mn_{0,75}Cu_{0,25}$ w temperaturze pokojowej.

Kanał poziomy Nr H-8

(łącznie czas otwarcia kanału: 1250 godz. – 29%)

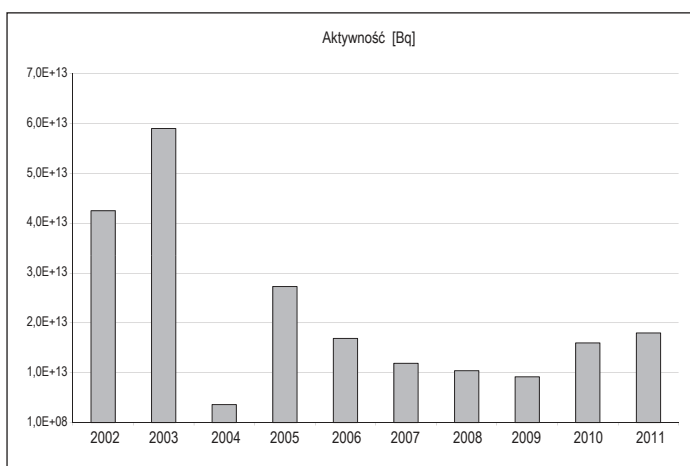
- Badanie procesu schnięcia walców i szescianów wykonanych z mokrego piasku kwarcowego i kaolinu.
- Badanie migracji roztworów wodnych wybranych soli w złożach suchego drobnoziarnistego zeolitu naturalnego i proszku marmurowego.
- Badanie namakania i schnięcia próbek zapraw i betonów (współpraca z Necsa RPA).

Od 2006 r. eksploatowane są elementy paliwowe typu MR-6 o wzbogaceniu 36% i zawartości 430 g izotopu rozszczepialnego U-235. 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 wykorzystania paliwa.

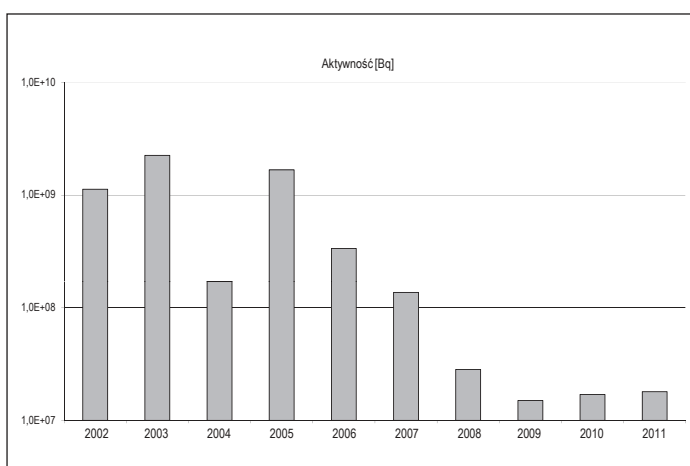
W ubiegłym roku zakończono testowe napromienianie drugiego prototypowego elementu paliwowego, typu MC o wzbogaceniu 19,75% w izotop U-235 (niskowzbogacony) i zawartości 480g po osiągnięciu 60% wypalenia. Dwa takie elementy wyprodukowane zostały przez firmę CERCA i z uwagi na pozytywne wyniki ich testowania, tego typu paliwo będzie w przyszłości eksploatowane w reaktorze MARIA. Konwersja rdzenia reaktora MARIA, na paliwo niskowzbogacone, podyktowana jest przystąpieniem Polski do programu GTRI (*Global Threat Reduction Initiative*).

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

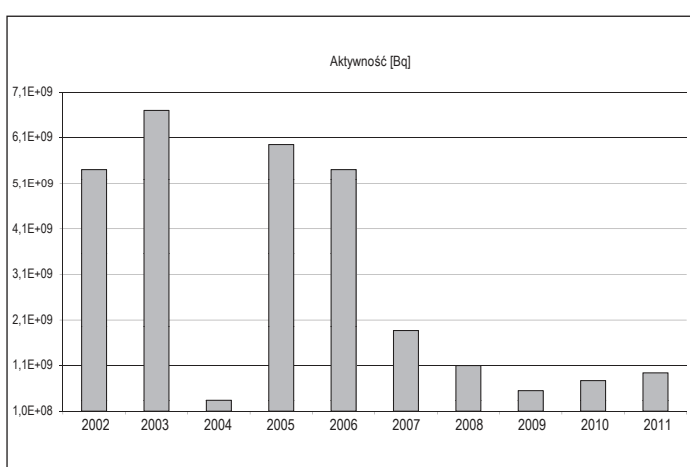
- emisja gazów szlachetnych (głównie Ar-41) –



Rys. 5. Roczne uwolnienia gazów szlachetnych wciągu ostatnich dziewięciu lat



Rys. 6. Roczne uwolnienia jodów wciągu ostatnich dziewięciu lat



Rys. 7. Roczne uwolnienia aerozoli krótkożyjących izotopów rubidu (Rb-88) i cezu (Cs-138) wciągu ostatnich dziewięciu lat

- 1,8·10¹³Bq, co stanowiło 1,8% limitu uwolnień,
- emisja jodów – 1,8·10⁷Bq, co stanowiło 0,4% rocznego limitu uwolnień,
- emisja krótkożyciowych izotopów Rb-88 i Cs-138 – 9,4·10⁸Bq.

W 2011 roku 97 pracowników reaktora otrzymało dawkę mierzalną na całe ciało (Hp-10) zawierającą się w granicach 0,2÷3,42 mSv, a 8 pracowników otrzymało dawkę mierzalną na skórę (Hp-0,07) w granicach 0,48÷4,25 mSv.

W czasie pracy reaktora wystąpiła jedna krótkotrwała przerwa w pracy reaktora (ok. 20 minut) oraz jedno wyłączenie nieplanowane prowadzące do skrócenia cyklu pracy. Wyłączenie to spowodowane było nieszczelnością w układzie chłodzenia kanałów paliwowych.

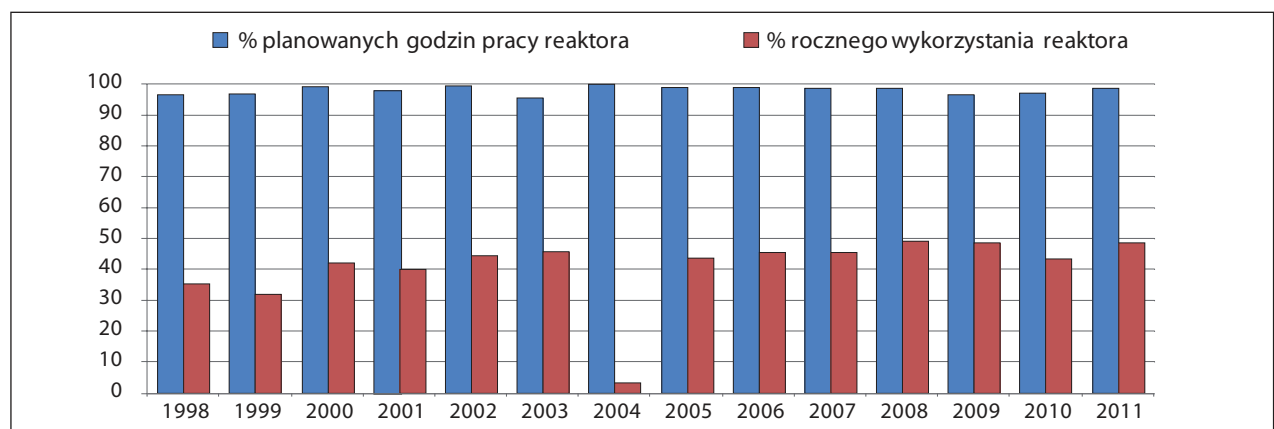
Poniżej przedstawiono dwa parametry świadczące o dyspozycyjności reaktora MARIA:

1. stosunek liczby przepracowanych godzin do sumy liczby przepracowanych godzin i liczby godzin nieplanowanych wyłączeń (A₁), który wynosił 98,7%,
2. stosunek liczby godzin pracy reaktora do liczby godzin w roku (A₂) wynoszący 48,8%.

W latach poprzednich wskaźniki te kształtowały się następująco:

Wskaźnik	Rok													
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
A ₁	96,8	97,0	99,4	98,0	99,5	95,7	100,0	99,0	99,1	98,7	98,8	96,8	97,1	98,7
A ₂	35,5	32,0	42,3	40,0	44,5	45,8	3,4 ^{*)}	43,7	45,7	45,7	49,1	48,7	43,4	48,8

*) z powodu braku paliwa reaktor pracował tylko 300 godzin



Rys. 8. Wskaźniki dyspozycyjności reaktora MARIA

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