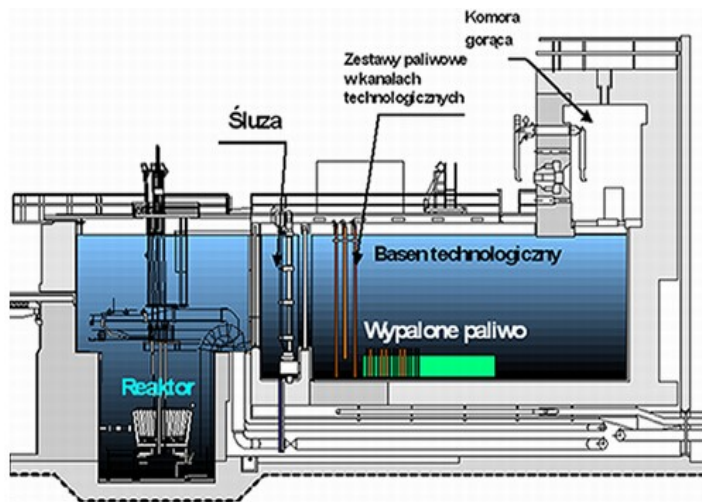


Katarzyna Bzymek
Barbara Trzeciak
Tomasz Cetner
Jan Gładysz

REAKTOR MARIA – BUDOWA I ZASTOSOWANIE

Wstęp

Reaktor MARIA jest jedynym obecnie czynnym reaktorem jądrowym w Polsce. Został uruchomiony w grudniu 1974 roku, jako drugi w Polsce reaktor badawczy (po nie działającej już EWIE), w Instytucie Badań Jądrowych w Otwocku-Świerk pod Warszawą. Nosi imię Marii Skłodowskiej-Curie. MARIA jest wąskostrumieniowym reaktorem typu basenowego o projektowej nominalnej mocy termicznej 30 MW i gęstości strumienia neutronów termicznych w rdzeniu wynoszącej 10^{14} n/cm².s. Został skonstruowany jako reaktor wielozadaniowy o wysokim strumieniu neutronów, budowany również z myślą o prowadzeniu badań materiałowych niezbędnych w programach budowy i eksploatacji elektrowni jądrowych.



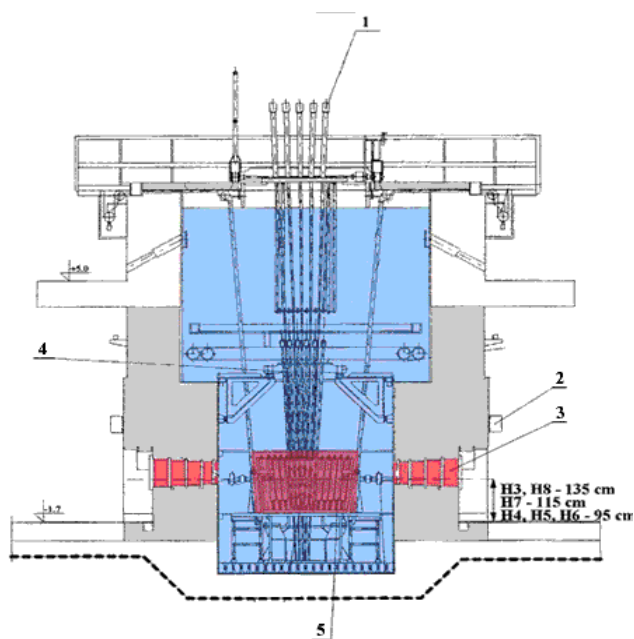
Rys1. Przekrój reaktora MARIA i basenu technologicznego

Budowa

Rdzeń

Pionowy przekrój przez basen reaktora MARIA jest przedstawiony na rysunku:

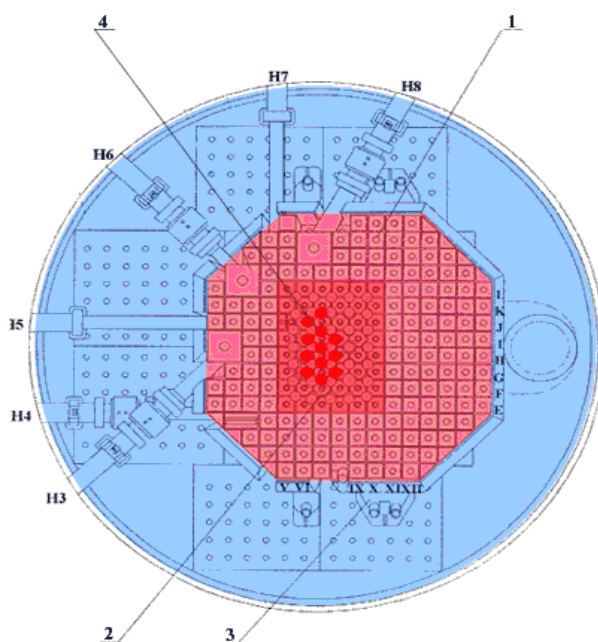
1. napęd pręta regulacyjnego
2. napęd zasuwki kanału poziomego
3. zasuwka kanału poziomego
4. kanał paliwowy
5. bloki reflektora



Rys.2. Pionowy przekrój przez basen reaktora MARIA

Rdzeń reaktora, kanały paliwowe i inne elementy związane z rdzeniem reaktora są umieszczone w basenie pod znaczącą warstwą wody zapewniającej osłonę przed promieniowaniem oraz umożliwiającą chłodzenie tych elementów rdzenia, które nie posiadają specjalnych obiegów chłodzenia (np. elementy paliwowe).

Charakterystyczną cechą reaktora MARIA jest stożkowa konstrukcja rdzenia reaktora. W matrycy bloków berylowych o wysokości 110 cm znajdują się kanały paliwowe zawierające zestawy z paliwem jądrowym. Berylowa matryca rdzenia reaktora jest otoczona reflektorem wykonanym z bloków grafitowych zamkniętych w koszulce aluminiowej. W reflektorze znajdują się zakończenia kanałów służących do wyprowadzenia wiązek neutronów do kanałów poziomych. Przekrój poziomy rdzenia reaktora MARIA jest przedstawiony na rysunku poniżej:



Rys.3. Przekrój poziomy rdzenia reaktora MARIA

1. bloki grafitowe reflektorów

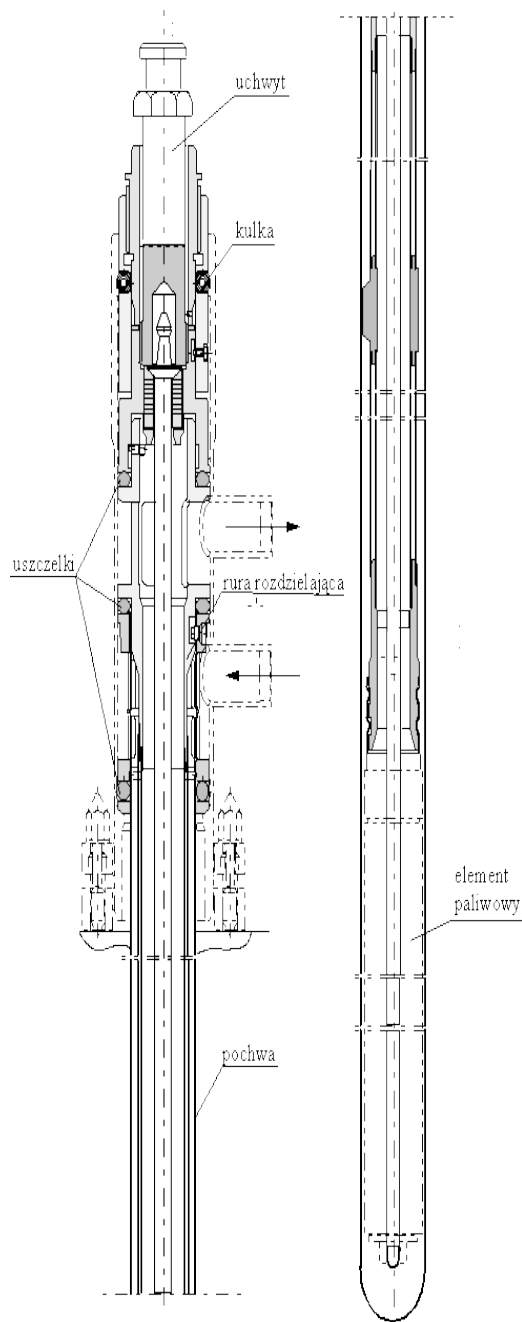
2. bloki berylowe w rdzeniu reaktora

3. osłona komór jonizacyjnych

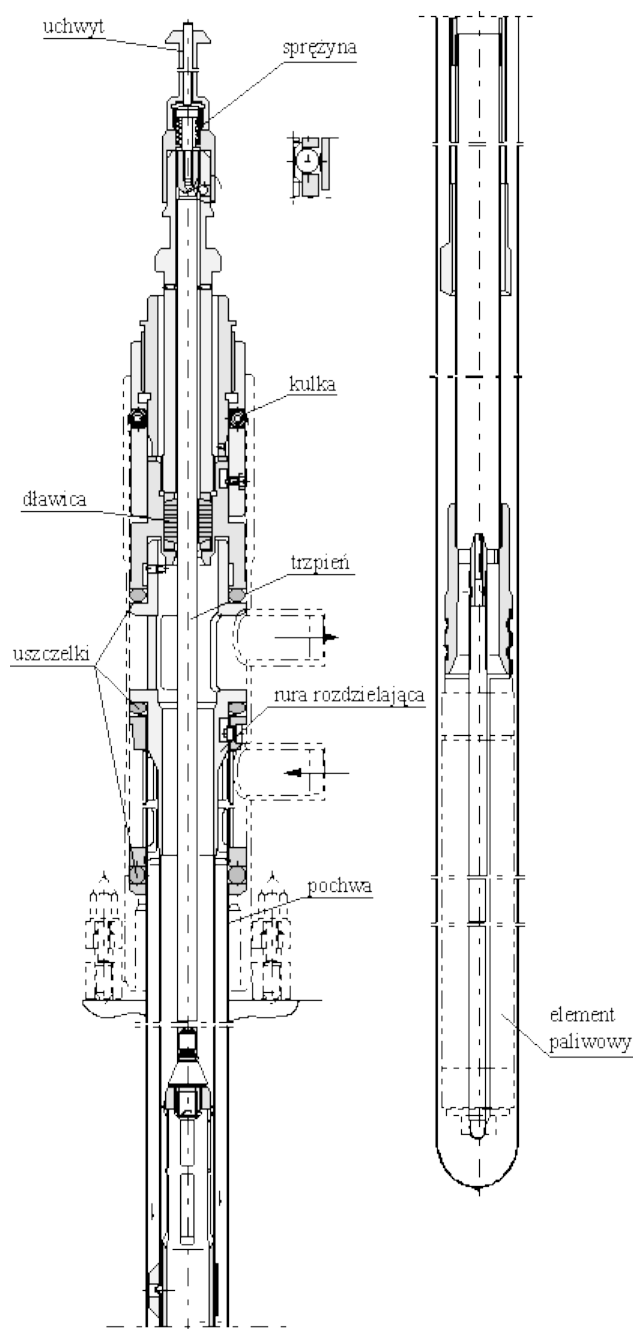
4. zestawy paliwowe

H3-H8 zakończenia kanałów do wyprowadzania wiązek

W reaktorze MARIA wykorzystywane są dwa rodzaje kanałów paliwowych: stacjonarny oraz z ruchomym elementem paliwowym.



Rys4. Stacjonarny kanał paliwowy reaktora MARIA



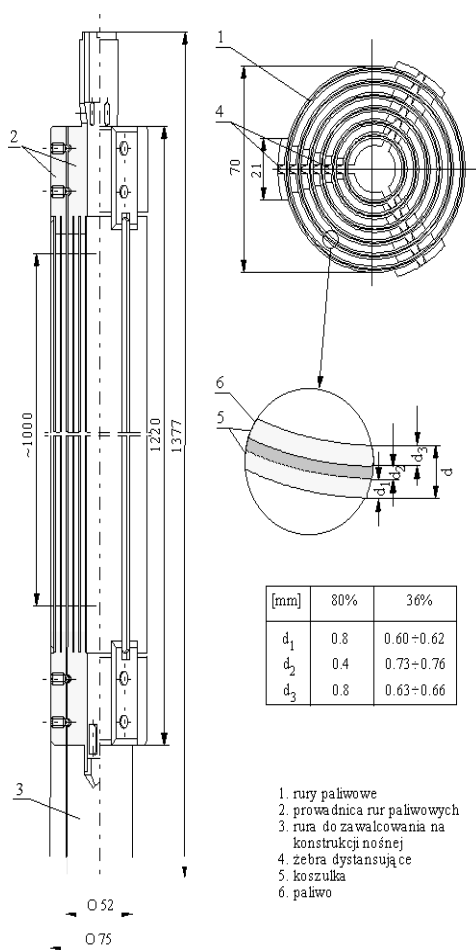
Rys5. Kanał paliwowy z ruchomym elementem paliwowym

Część stacjonarna charakteryzuje się tym, że pręt paliwowy jest mocowany za pomocą zamka kulowego, którym mocuje się i uszczelnia kanał paliwowy w gnieździe. Element paliwowy

przymocowany jest do wewnętrznej rury kanału. Konstrukcja kanału z ruchomym elementem paliwowym różni się od wyżej opisanego głównie tym, że jest on dłuższy, a wewnętrzna rura zawieszona jest na pręcie wyprowadzonym poprzez dławicę na zewnątrz. Rozwiązanie to umożliwia przemieszczanie elementu paliwowego w kanale. Gdy reaktor jest w stanie wyłączonym, ruchome elementy paliwowe znajdują się pod rdzeniem, a przed rozruchem są podnoszone i wprowadzane do rdzenia. Elementy paliwowe są wprowadzane w ruch za pomocą dwóch silników o mocy 40W każdy.

Paliwem jądrowym reaktora MARIA były sześciururowe lub pięciururowe (MR-6 lub MR-5) zestawy paliwowe zawierające uran wzbogacony do 80% w izotop U-235. Od 1999 roku reaktor wykorzystuje zestawy paliwowe zawierające uran wzbogacony do 36% w izotop U-235. Każdy element paliwowy jest umieszczony w kanale technologicznym indywidualnie połączonym z pierwotnym obiegiem chłodzenia paliwa.

Element paliwowy reaktora MARIA:



1. rury paliwowe
2. prowa dnica rur paliwowych
3. rura do zawalcowania na konstrukcji nośnej
4. zebrza dystansujące
5. koszulka
6. paliwo

Rys6. Element paliwowy reaktora MARIA

Spowolnienie neutronów w reaktorze MARIA odbywa się głównie w wodzie, która zajmując około 20% objętości rdzenia uczestniczy w 70% w spowalnianiu neutronów. Pozostałe 30% procesów spowolnienia zachodzi w blokach berylowych. Zastosowanie berylu umożliwia zastosowanie dużych skoków siatki paliwowej w rdzeniu reaktora MARIA a w konsekwencji uzyskanie znacznych objętości kanałów w których są prowadzone naświetlania materiałów tarczowych.

W reaktorze MARIA jako elementy regulacyjne, kompensacyjne i bezpieczeństwa zastosowano pręty z węglikiem boru koszulkowanego w aluminium. Elementy te umiejscowione są w kanałach w matrycy berylowej. Elementy te są przemieszczane w rdzeniu przy pomocy napędów

umieszczonych na górnej płycie reaktora.

Układ chłodzenia

System chłodzenia reaktora MARIA zawiera trzy obiegi chłodzenia:

- obieg chłodzenia elementów paliwowych
- obieg chłodzenia elementów basenu
- wtórny obieg chłodzenia

Każdy element paliwowy jest indywidualnie połączony do zbiorczych rurociągów systemu chłodzenia elementów paliwowych. Każdy kanał chłodzenia elementu paliwowego jest wyposażony w przepływomierz i miernik temperatury chłodziwa na wyjściu z elementu paliwowego. Oprzyrządowanie to umożliwia nie tylko identyfikację poprawności chłodzenia poszczególnych elementów paliwowych lecz również umożliwia wyznaczenie mocy, która jest odbierana z poszczególnych elementów paliwowych przez układ chłodzenia. Obieg chłodzenia elementów paliwowych jest ciśnieniowym obiegiem pracującym ze stabilizatorem ciśnienia. Przepływ chłodziwa w obiegu jest wymuszany przez pracę dwóch z czterech zainstalowanych pomp. Energia cieplna z tego układu chłodzenia jest przekazywana przez wymienniki ciepła do wtórnego obiegu chłodzenia.

Układ chłodzenia basenu reaktora jest przeznaczony do odbioru ciepła generowanego w matrycy berylowej, grafitowych bloków reflektora, ciepła wytwarzanego w innych elementach rdzenia poddanych napromienieniu neutronami i oddziaływaniu promieniowania gamma (np. zasobniki z naświetlanymi materiałami tarczowymi, elementy kompensacyjne i regulacyjne reaktora itp.). Układ chłodzenia basenu reaktora odbiera także część energii cieplnej wytwarzanej w obiegu chłodzenia elementów paliwowych przekazywanej do basenu reaktora przez gorące rurociągi. Przepływ chłodziwa jest wymuszany przez pracę odpowiedniej liczby pomp. Energia cieplna tego obiegu jest przekazywana przez wymienniki ciepła do wtórnego obiegu chłodzenia reaktora.

Energia cieplna wytworzona w kanałach elementów paliwowych jak i w basenie reaktora jest przekazywana do obiegu wtórnego przez system wymienników ciepła i tu jest rozpraszana do atmosfery w trzech celach wieży chłodniczej. Przepływ chłodziwa w obiegu wtórnym jest zapewniony przez prace pomp.

W obiegach chłodzenia reaktora MARIA zastosowano urządzenia do oczyszczania wody oraz instalacje do odbioru odpadów radioaktywnych uzyskiwanych w procesach oczyszczania wody. Instalacje chłodzenia są wyposażone również w instalacje do wytwarzania destylowanej i dejonizowanej wody stosowanej w pierwotnych obiegach chłodzenia reaktora.

Oslony biologiczne

Górną osłoną rdzenia reaktora jest warstwa wody w basenie reaktora o grubości 7 metrów. Woda w basenie reaktora również jest osłoną przed promieniowaniem gamma emitowanym przez rurociągi chłodzenia elementów paliwowych, rurociągi pętli i innych urządzeń umieszczonych w rdzeniu reaktora. Poziomą osłonę tworzy grafitowy blok reflektora, warstwa wody basenu reaktora oraz przede wszystkim ściany z ciężkiego betonu o grubości 220 cm. Oslony reaktora umożliwiają pracę personelu reaktora oraz eksperymentatorów w hali przy pracy obiektu na parametrach nominalnych.

Zastosowanie

Reaktor MARIA wykorzystywany jest do napromieniowania materiałów tarczowych służących do produkcji preparatów promieniotwórczych, do badań fizycznych z użyciem kanałów poziomych fizyki materii, do naświetlania kryształów i domieszkowania krzemu, do badań stosowanych, np. z wykorzystaniem neutronowej analizy aktywacyjnej, a także w celach szkoleniowych.

KANAŁ nr 3 - DYFRAKTOMETR NISKOKĄTOWEGO ROZPRASZANIA DYFRAKTOMETR DUŻEJ ROZDZIELCZOŚĆ

Dyfraktometr niskokąowego rozpraszania neutronów jest przeznaczony do badania drobnych (1 nm - 30 nm) niejednorodności występujących w materiałach. Wyposażony jest w układ podwójnego monochromatora z grafitu pyrolitycznego. Długość fali neutronów padających na próbkę wynosi 0.21 nm. Niską rozbieżność kątową padającej na próbkę wiązki neutronów uzyskano poprzez zastosowanie układu szczelin kolimujących.

Dyfraktometr o dużej zdolności rozdzielczej jest wyposażony monochromator wykonany z wysokiej jakości monokryształu Si przy wykorzystaniu odbicia od płaszczyzn typu (311). Służy do badania jakości monokryształów metali. Możliwe jest także użycie monochromatorów wykonanych z Zn, Cu i grafitu pyrolitycznego. Wstawienie analizatora umożliwia zwiększenie zdolności rozdzielczej oraz pozwala na badanie zmian energii rozproszonych neutronów. Przyrząd przeznaczony jest do badań struktur krystalicznych i magnetycznych oraz wyznaczania rozszczepienia poziomów energetycznych jonów w polu krystalicznym.

KANAŁ nr 4 - DWUKRYSTAŁOWY DYFRAKTOMETR ULTRANISKOKĄTOWEGO ROZPRASZANIA NEUTRONÓW

Dwukrystaliczny dyfraktometr ultraniskokąowego rozpraszania neutronów jest przeznaczony do badań rozpraszania w zakresie bardzo małych kątów rozpraszania od 1/2 sekundy do 5 minut kątowych (0.5" - 3'). Składa się z monochromatora i analizatora wykonanych z monokryształów Si. Próbkę umieszczona jest pomiędzy monochromatorem a analizatorem, a kąty rozpraszania są ustalane przez obrót analizatora. Przyrząd pozwala na badanie wielokrotnego rozpraszania neutronów w materiałach. Analiza zależności krzywej rozpraszania od grubości próbki pozwala na wyznaczenie rozmiarów niejednorodności. Przy użyciu przyrządu badano rozmiary domen magnetycznych w materiałach amorficznych, nanokrystalicznych i polikrystalicznych, a także wpływ czynników zewnętrznych, takich jak temperatura, naprężenia mechaniczne i pole magnetyczne na rozmiary tych domen.

KANAŁ nr 5 – DYFRAKTOMETR

Dyfraktometr przeznaczony do badania uporządkowań atomowych i magnetycznych. Obecnie wyposażony w podwójny monochromator wykonany z monokryształów Cu z płaszczyznami odbijającymi typu (200). Monochromator ten zapewnia monochromatyzację neutronów o długościach fali z zakresu 0.06 nm - 0.1 nm. Spektrometr spolaryzowanych neutronów umożliwia badanie struktury magnetycznej, polegające na określeniu położenia, wielkości i kierunków elementarnych momentów magnetycznych w sieci krystalicznej. Pomiar magnetycznych odbić braggowskich od próbek monokrystalicznych pozwalają na wyznaczenie gęstości namagnesowania.

KANAŁ nr 6 i 7 - TRÓJOSIOWY SPEKTOMETR NEUTRONÓW

Spektrometr neutronów termicznych służy głównie do badania kolektywnych ruchów atomów (fononów) i momentów magnetycznych (magnonów) metodą nieelastycznego (spójnego) rozpraszania neutronów. Stosowany jest również do badania elektronowych poziomów energetycznych w jonach tworzących ciało stałe metodą nieelastycznego (niespójnego) rozpraszania neutronów. Spektrometr pozwala określić liczbę neutronów, które w procesie rozproszenia doznały zadanej zmiany pędu i energii.

Trójosiowy spektrometr neutronów jest uniwersalnym urządzeniem pozwalającym na prowadzenie badań rozpraszania neutronów. Poza wyznaczaniem krzywych dyspersji fononów i magnonów oraz rozszczepień poziomów pola krystalicznego pozwala prowadzić badania strukturalne na próbkach proszkowych, a zwłaszcza badania struktur magnetycznych o dużych rozmiarach komórek elementarnych.

KANAŁ nr 8 - STANOWISKO RADIOGRAFII NEUTRONOWEJ I GAMMA (SRNG)

W stanowisku dynamicznej radiografii neutronowej i gamma przy reaktorze MARIA do rejestracji obrazu zastosowano przetwarzanie promieniowania neutronowego na światło widzialne za pomocą specjalnych ekranów fluorescencyjnych. Obraz powstający na ekranie fluorescencyjnym jest rejestrowany przy użyciu cyfrowej kamery CCD i systemu komputerowego. Podstawowymi zespołami stanowiska radiografii neutronowej i gamma (SRNG) przy reaktorze jądrowym MARIA są:

- źródło neutronów (reaktor),
- układ kolimacyjny wiązki neutronów,
- stolik obiektu,
- układ wizualizacji i rejestracji obrazu,
- układ osłon przed promieniowaniem jonizacyjnym.

Stolik obiektu jest zdalnie sterowany pozwalając na prześwietlanie i skanowanie wewnątrz obiektów technicznych (silniki, lodówki, etc.).

Bibliografia:

1. <http://www.iea.cyf.gov.pl/reaktor.html>
2. http://www.zs3.lublin.pl/2007-2008/2008-04-09_swierk/swierk12.html
3. <http://www.paa.gov.pl/?frame=4.1.1>
4. <http://www.if.pw.edu.pl/~pluta/pl/dyd/mtj/zal00/Zborecki/maria.htm>
5. http://pl.wikipedia.org/wiki/Reaktor_Maria