

Dr inż. TADEUSZ ŚWIERZAWSKI, mgr inż. JÓZEF SZWEDA  
mgr inż. KLEMENS ŚCIERSKI, mgr inż. ANDRZEJ ZIĘBIK  
Politechnika Śląska

PROJEKT ZESTAWU PODKRYTYCZNEGO WSPÓŁPRACUJĄCEGO  
Z REAKTOREM JĄDROWYM

1. Wstęp

Zestaw podkrytyczny może być zdefiniowany jako urządzenie zawierające materiał rozszczepialny i moderator w takich ilościach i o takiej konfiguracji, że nie jest możliwe osiągnięcie w nim stanu krytycznego.

Zestawy podkrytyczne są bardzo cennym narzędziem służącym do wykonywania różnorodnych prac badawczych i dydaktycznych z zakresu fizyki i inżynierii reaktorowej. Najbardziej istotną zaletą zestawów podkrytycznych jest duża ilość doświadczeń jakie można przy ich pomocy dokonywać przy niewielkim nakładzie kosztów. Prawie wszystkie podstawowe doświadczenia z fizyki reaktorowej, które są wykonywane na reaktorze krytycznym mogą być dokonywane także na zestawie podkrytycznym. Każdy zestaw podkrytyczny choćby najbardziej kosztowny jest znacznie tańszy niż reaktor krytyczny. Poziom promieniowania wytworzonego przez zestaw podkrytyczny jest niski i w związku z tym ochrona biologiczna jest tańsza niż przy reaktorze krytycznym. Należy zwrócić też uwagę na znacznie większą elastyczność sterowania i bezpieczeństwo pracy w przypadku zestawów podkrytycznych.

Nieodzownym warunkiem pracy zestawu podkrytycznego jest istnienie zewnętrznego źródła neutronów. Do tego celu najczęściej stosuje się naturalne źródła neutronowe jak Ra-Be, Pu-Be, Po-Be, Sb-Be. Źródłem zewnętrznym neutronów może być również akcelerator lub kolumna termiczna reaktora krytycznego. Zastosowanie kolumny termicznej daje około tysiąc razy większy strumień neutronów niż przy użyciu naturalnego źródła neutronów.

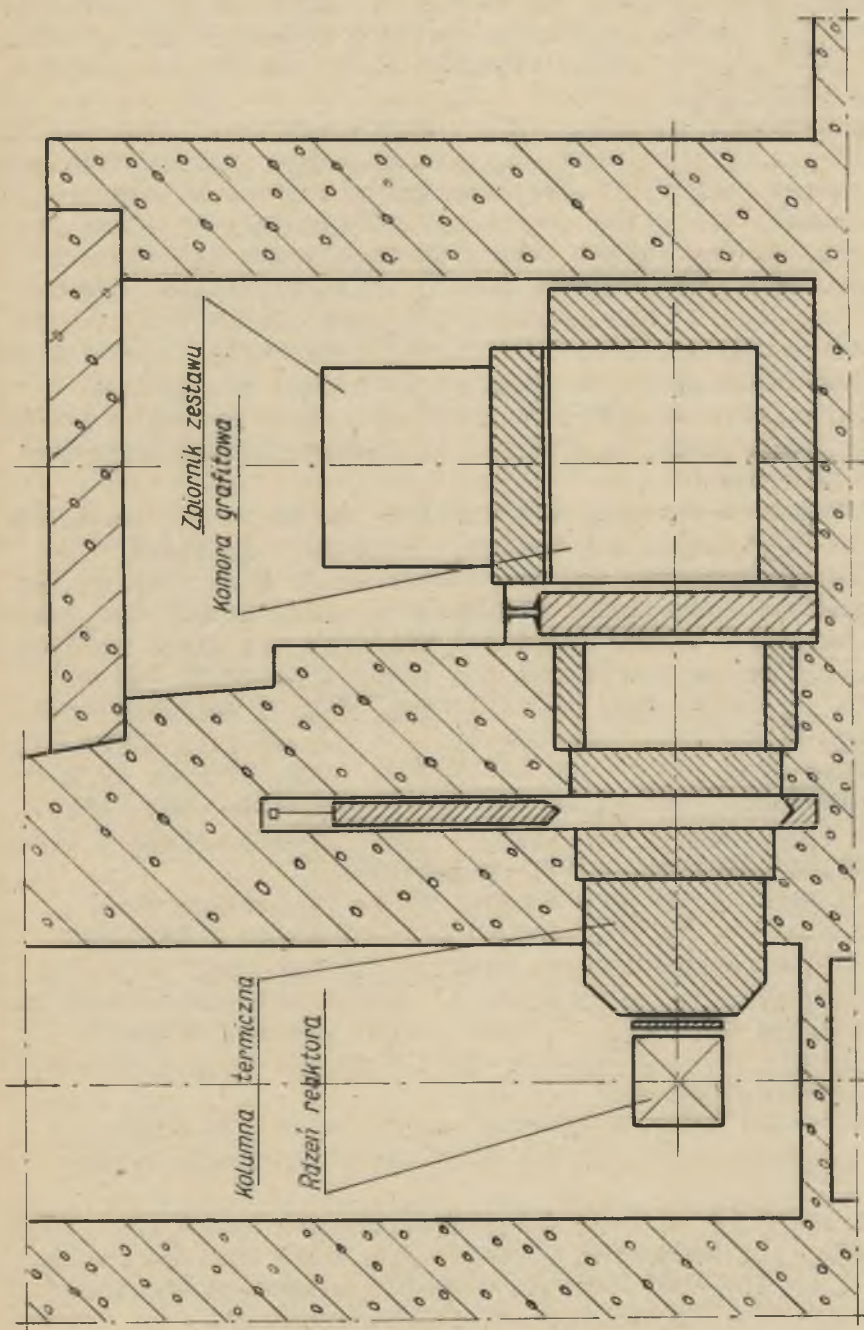
Obecnie w świecie najbardziej popularne są następujące typy zestawów podkrytycznych, a to:

- a. Zestaw podkrytyczny z uranem naturalnym moderowany lekką wodą.
- b. Zestaw podkrytyczny z uranem wzbogaconym moderowany lekką wodą.
- c. Zestaw podkrytyczny z uranem naturalnym lub wzbogaconym moderowany ciężką wodą.
- d. Zestaw podkrytyczny z uranem naturalnym moderowany grafitem.

Po przeanalizowaniu wymienionych tu typów zestawów podkrytycznych [1] zdecydowano, że dla warunków polskich najbardziej odpowiedni byłby zestaw podkrytyczny z uranem wzbogaconym, moderowany lekką wodą. Ten typ zestawu nadaje się bardziej do różnorodnych eksperymentów niż pozostałe typy zestawów podkrytycznych, gdyż możliwe jest w nim osiągnięcie stanu blisko-krytycznego. Posiada on małe wymiary i możliwość łatwej zmiany konfiguracji siatki rdzenia.

## 2. Konstrukcja zestawu podkrytycznego

Zaprojektowany zestaw podkrytyczny korzystać ma z kolumny termicznej reaktora basenowego typ IRT jako zewnętrznego źródła neutronów. Ponieważ oś projektowanego zestawu podkrytycznego jest pionowa do osi kolumny termicznej (rys.1), zaprojektowano komorę grafitową służącą do zmiany kierunku transportu neutronów. Nazwa komora grafitowa odnosi się do przestrzeni, przez którą neutrony mogą przechodzić z bardzo małym prawdopodobieństwem zderzenia z atomami ośrodka. Dzieje się tak wówczas jeżeli przestrzeń tę stanowi próżnia lub wypełnienie gazem o dużej średniej drodze swobodnej dla neutronów. W omówionym poniżej przypadku komorę grafitową wypełnia powietrze o parametrach otoczenia (średnia droga swobodna dla neutronów wynosi około 37 m). Neutrony z powierzchni czołowej kolumny termicznej wchodzi do komory grafitowej i ulegają zderzeniom ze ścianami grafitowymi. Neutrony mogą dyfundować poprzez ściany, mogą być absorbowane przez materiał ścian albo mogą być rozproszone na powrót do przestrzeni komory grafitowej. Neutrony rozproszone w kierunku górnego zamknięcia komory grafitowej stanowią



Rys. 1. Usytuowanie zestawu podkrytycznego

silne źródło zewnętrzne dla zestawu podkrytycznego umieszczonego tuż nad komorą grafitową. Badania różnych komór grafitowych służących do zmian kierunku ruchu neutronów przeprowadzono w MIT [2].

Komora grafitowa składa się z ramy grafitowej oraz właściwej komory w kształcie prostopadkościennej pudełka otwartego od strony ramy grafitowej. Zamknięcie górne komory grafitowej stanowi piedestał grafitowy spoczywający na aluminiowej płycie, która opiera się na dwu stalowych kątownikach przypawanych do konstrukcji nośnej. Boki piedestału grafitowego są ujęte w ramę wykonaną z blachy aluminiowej. W celu zabezpieczenia elementów stalowej konstrukcji nośnej przed aktywacją neutronami boki oraz część górnej powierzchni piedestału jak również górne powierzchnie ścian bocznych i ściany tylnej komory grafitowej są pokryte blachą kadmową o grubości 1 mm.

W kolumnie termicznej w odległości 340 mm od jej końcowej powierzchni znajdują się zasłony: kadmowe o grubości 1 mm i ołowiane o grubości 150 mm podnoszone do góry przy pomocy liny stalowej, przekładni i silnika elektrycznego. Pomiędzy ramą a właściwą komorą grafitową znajdują się drzwi stalowe o grubości 360 mm pokryte blachą kadmową grubości 0,5 mm. Drzwi te są przetaczane po stalowych rolkach umieszczonych w betonowej podłodze o pochyleniu 1 : 50. Od góry drzwi są prowadzone przy pomocy dwu kątowników aluminiowych. Do górnej powierzchni tych kątowników jest przytwierdzona blacha kadmowa o grubości 1 mm, łącząca się z jednej strony z blachą kadmową pokrywającą boki piedestału.

Kiedy zasłona kadmowa i ołowiana są opuszczone oraz drzwi zasunięte, to przy pełnej mocy reaktora 2 MW dawka promieniowań radioaktywnych wewnątrz komory grafitowej jest znacznie niższa od dopuszczalnej. Jeżeli natomiast zasunięte są tylko zasłona kadmowa i ołowiana, dawka promieniowania w tym samym miejscu nie przekracza dawki dopuszczalnej jeżeli moc reaktora jest niższa od 0,1 kW.

Konstrukcja nośna zbudowana jest z belek stalowych pokrytych kadmem, który chroni stal przed aktywacją neutronami.

Aluminiowa płyta nośna podtrzymująca piedestał grafitowy złożona jest z trzynastu aluminiowych belek dwutekowych zakuwanych na zimno do dwu płaskowników aluminiowych, które opierają się na kątownikach konstrukcji nośnej.

Zbiornik służący do pomieszczenia rdzenia zestawu i wody stanowiącej moderator i reflektor posiada średnicę 1600 mm i wysokość 1200 mm. Wykonany jest z blachy aluminiowej o grubości 8 mm. Płaszcz zbiornika pokryty jest blachą kadmową o grubości 1 mm. Zbiornik opiera się przy pomocy kołnierza na stalowym pierścieniu konstrukcji nośnej. Dno zbiornika ma grubość 15 mm. Do dna zbiornika przypawany jest króciec rurociągu doprowadzającego wodę (o średnicy 80 mm) oraz króciec rury przelewowej ( $\phi$  80 mm). W płaszczu zbiornika znajdują się też dwa gwintowane otwory  $R \frac{1}{2}$  służące do wkręcania końcówek zdalnego wodowskazu. Wodowskaz jest wyprowadzony na zewnątrz osłony biologicznej. Zbiornik jest przykryty pokrywą aluminiową o grubości 5 mm, pokrytą blachą kadmową o grubości 1 mm. Zbiornik wypełniony jest wodą destylowaną, która cyrkuluje w obiegu poprzez zbiornik zasobnikowy, wymiennik jonitowy, zbiornik zestawu podkrytycznego i z powrotem do zbiornika zasobnikowego. Przetłaczanie wody destylowanej odbywa się przy pomocy pompy wirowej o wydajności  $60 \frac{1}{\text{min}}$ . Celem wymiennika jonitowego jest utrzymanie oporu elektrycznego wody na poziomie  $\sim 1 \frac{\text{MSa}}{\text{cm}^3}$  w celu uniknięcia korozji części aluminiowych.

Konstrukcja nośna rdzenia składa się z pierścienia aluminiowego i ceowników aluminiowych. Pierścień aluminiowy spoczywa na stalowym pierścieniu konstrukcji nośnej zestawu podkrytycznego. Pręty paliwowe są mocowane w wycięciach ceowników na których nacięty jest parametr siatki prętów paliwowych. Poszczególne ceowniki można przesuwac przy pomocy wycięcia w pierścieniu aluminiowym. Umożliwiony w ten sposób ruch prętów aluminiowych w dwu prostopadłych do siebie kierunkach pozwala dowolnie zmieniać parametr siatki. Dolne końcówki prętów paliwowych wchodzi w otwory w dolnym ruszcie. Dla siatki kwadratowej rdzenia najmniejszy parametr siatki jaki można ustawić przy pomocy tak zaprojektowanej konstrukcji wynosi 32 mm. Odpowiada mu wartość  $k_{\infty} = 1,068$ . Przy takiej konfiguracji rdzenia niemożliwe jest osiągnięcie stanu krytycznego.

Zestaw podkrytyczny i komora grafitowa są osłonięte przez bloki betonowe formujące pomieszczenie o wymiarach wewnętrznych 2700 x 2800 x 5200 mm. Boczne ściany betonowe mają grubość 1000 mm. W osłonie biologicznej stanowiącej ścianę tylną uformowane jest wyjście labiryntowe dla personelu. Część ściany tylnej na poziomie wyjścia labiryntowego wykonana jest z płyty stalowej grubości 300 mm pokrytej blachą kadmową grubości 1 mm. Płyta ta stanowi ekwiwalentną grubość

osłony betonowej usuniętej dla uformowania wyjścia labiryntowego.

### 3. Charakterystyka jądrowa zaprojektowanego zestawu podkrytycznego

Rdzeń zestawu podkrytycznego posiada kształt cylindra o średnicy 1000 mm i wysokości 500 mm. Do budowy rdzenia użyto jedynego dostępnego obecnie w kraju paliwa jądrowego a mianowicie prętów paliwowych EK-10 (dwutlenek uranu z 10% wzbogaceniem w izotop U 235). Moderatorem i reflektorem jest zwykła woda. Podstawowa praca zestawu podkrytycznego jest przewidziana przy parametrze siatki kwadratowej  $a = 34$  mm, któremu odpowiada  $k_{\infty} = 1,021$  oraz efektywny współczynnik mnożenia  $k_{ef} = 0,88$ . Rdzeń złożony jest z 688 prętów paliwowych zawierających 6,5 kg izotopu U 235. Maksymalny strumień neutronów termicznych w rdzeniu wynosi  $\phi_{max} = 1,65 \cdot 10^7 \frac{n}{cm^2 \text{ sec}}$ , średni strumień zaś  $\phi = 4,65 \cdot 10^6 \frac{n}{cm^2 \text{ sec}}$

#### LITERATURA

- [1] J.Szweda, K. Ścierski, A. Ziębik: Projekt zestawu podkrytycznego współpracującego z reaktorem jądrowym - Magisterska praca dyplomowa, Politechnika Śląska, kwiecień 1963.
- [2] Madell J.T., Thompson T.J. Profio A.E., Kaplan I. Spatial distribution of the neutron flux on the surface of a graphite - lined cavity NYO - 9657, MITNE - 18.