

Dr inż. TADEUSZ J. ŚWIERZAWSKI

Politechnika Śląska

OGÓLNE WPROWADZENIE DO ZAGADNIENÍ ENERGETYCZNYCH TECHNIKI NUKLEARNEJ

Inżynieria Jądrowa jest odmiennym typem nauk inżynierskich i zajmuje się praktycznym zastosowaniem reakcji jądrowych oraz promieniowań jądrowych.

Największe znaczenie mają w dobie obecnej reakcje rozszczepiania jąder ciężkich. Większość wysiłków skierowano na zastosowanie reakcji rozszczepienia do wytwarzania użytecznej energii. Energia ta będzie stanowiła prawdopodobnie główną bazę energetyczną w obrębie najbliższych dwudziestu lat.

Jeszcze bogatszym źródłem energii jest synteza lekkich jąder znana pod nazwą reakcji termojądrowych. Nad praktycznym zastosowaniem tej energii prowadzone są bardzo intensywne badania. Reakcje termojądrowe będą w przyszłości stanowiły niewyczerpane zasoby energetyczne świata.

Reakcje jądrowe znalazły zastosowanie nie tylko w procesach wytwarzania energii ale również stosuje się je do produkcji izotopów radioaktywnych i do transmutacji pierwiastków. Stanowią też one bogate źródła promieniowań jądrowych.

Energetyczny aspekt inżynierii jądrowej

Rozdział ten ma za zadanie naświetlenie celowości zajmowania się inżynierią jądrową. Należy podkreślić, że naświetlenie to jest jednostronne, nie podkreślające innych zalet i korzyści poza aspektem energetycznym.

Mówiąc o światowym zapotrzebowaniu energii wprowadza się zazwyczaj jednostkę $Q = 3 \cdot 10^{11}$ MWh. Wyczucie tej wielkości można uzyskać przez zaznajomienie się z faktem, że jest to taka ilość energii cieplnej, która wystarczy by podgrzać 2500 km^3 wody (basen o wymiarach $50 \text{ km} \times 50 \text{ km} \times 1 \text{ km}$) od zera do 100°C . Światowe zapotrzebowanie energii

mierzona tą jednostką wynosi obecnie około 0,1 Q/rok. Według obliczeń specjalistów, w roku 2000 będzie ono wynosiło około 1 Q/rok. Zapasy energetyczne w formie paliw konwencjonalnych wynoszą około 158 Q, a zapasy zawarte w dotychczas odkrytych paliwach rozszczepialnych około 5000 Q (przy całkowitym wykorzystaniu). Zapotrzebowanie na energię stale wzrasta. Jak z tego widać odkrycie możliwości wykorzystania procesów rozszczepiania jąder w porę uratowało ludzkość od braku zasobów energetycznych. Zapasy te pokrywają wprawdzie zapotrzebowanie energii w przyszłym stuleciu, jednak wykorzystanie ich spowoduje nagromadzenie długożyjących izotopów (radioaktywnych produktów rozpadu) o natężeniu wzrostu aktywności równym około 10^{13} curie/rok.

Z reakcji syntezy jąder wodoru należy się spodziewać uzyskania o wiele mniejszej radioaktywności produktów, minimalnego niebezpieczeństwa przy eksploatacji i możliwości bezpośredniej produkcji energii elektrycznej z pominięciem produkcji ciepła. Poza tym zapasy materiałów dla procesów termojądrowych są wprost niewyczerpane i tanie. Deuter (D), najbardziej użyteczny z nuklidów występujących w stanie naturalnym, znajduje się w ilości 0,0153% atomów wodoru w wodzie morskiej. Ta ilość deuteru, przy użyciu energii wynoszącym nawet 15 Q/rok może dostarczyć energii na 10^9 lat. Należy tu podkreślić, że już przy dzisiejszym stanie techniki produkcja ciężkiej wody dla uzyskania pewnej ilości energii na drodze syntezy jest tańsza niż produkcja węgla potrzebnego do wytworzenia tej samej ilości energii. Nadto koszt paliw konwencjonalnych będzie prawdopodobnie wzrastał wraz z ich ubytkiem, podczas gdy koszt produkcji deuteru ciągle maleje wraz z ulepszeniem metod techniki uzyskiwania go.

Wyzwolenie energii syntezy jąder atomowych podczas eksplozji "bomby wodorowej" (1951 r.) wykazało, że istnieją możliwości zajęcia takich procesów w warunkach ziemskich i skierowało uwagę na korzyści jakie można by było osiągnąć z kontrolowanej reakcji termojądrowej.

Reaktory jądrowe i siłownie jądrowe

Jak zaznaczono na początku, w dobie obecnej największe znaczenie praktyczne mają reakcje rozszczepiania jąder ciężkich (U-235, Pu-239, U-233). Urządzenie w którym zachodzi samopodtrzymująca się, kontrolowana reakcja łańcuchowa rozszczepiania jąder nazywa się reaktorem jądrowym.

Podział reaktorów jądrowych można przeprowadzić kierując się albo ich zastosowaniem albo konstrukcją.

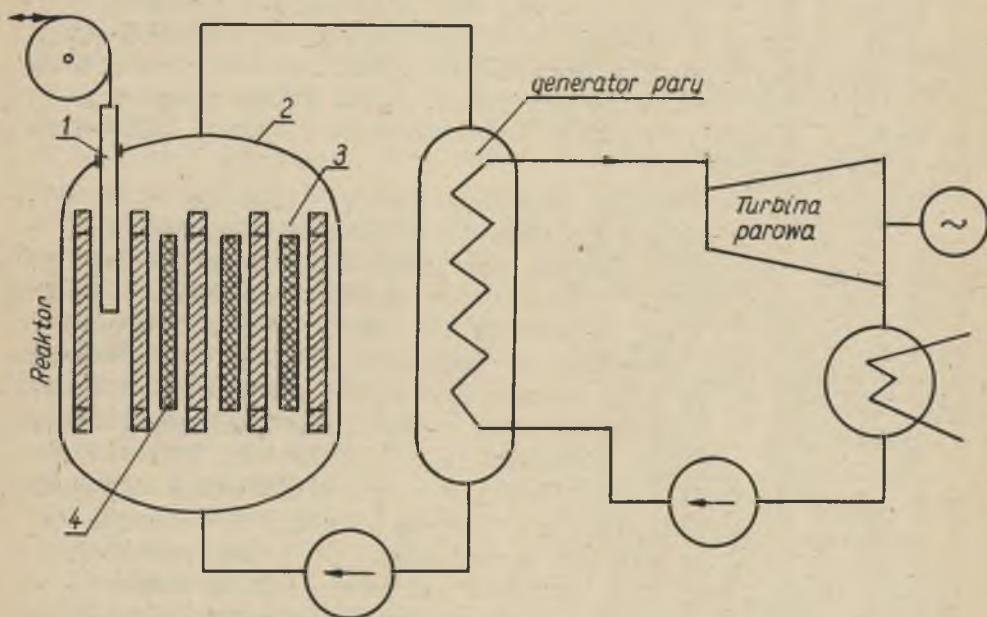
Większość zbudowanych i projektowanych reaktorów jądrowych ma za zadanie wytwarzać energię cieplną dla elektrowni lub dla celów grzewczych, wytwarzać materiały rozszczepialne, izotopy radioaktywne, neutrony lub promienie γ . Mogą być też budowane reaktory trakcyjne, mające zastosowanie w marynarce, lotnictwie lub kolejnictwie.

Reakcji jądrowej towarzyszy wydzielanie się dużej ilości energii cieplnej i dlatego reaktor stanowi źródło ciepła. Efektywne wykorzystanie energii cieplnej reaktora dla celów energetycznych realizuje się na przykład przez zamianę jej na energię elektryczną przy zastosowaniu turbin i generatorów elektrycznych.

Wykorzystanie energii cieplnej reaktora dla celów energetycznych jest bardzo podobne do wykorzystania ciepła w siłowniach konwencjonalnych, ale posiada cały szereg specyficznych właściwości. Stanowią one część problematyki inżynierii jądrowej. Poza zagadnieniami fizyki neutronowej stanowiącej podstawę procesów zachodzących w samym reaktorze napotyka się tu na cały szereg problemów związanych z konstrukcją, bazą materiałową oraz z eksploatacją urządzenia.

Na rysunek poniżej przedstawiono uproszczony schemat elektrowni jądrowej. Cylindryczne pręty paliwowe 4 wykonane z materiału rozszczepialnego (zamiast oddzielnych prętów paliwowych stosuje się też zgrupowania płyt lub cienkich prętów, tworzących tzw. element paliwowy) umieszczone są w cylindrycznych kanałach 3 reaktora. W rezultacie reakcji jądrowych pręty paliwowe nagrzewają się i wydzielające się ciepło odbiera czynnik chłodzący przepływający w przestrzeni pomiędzy ścianką kanału a prętem paliwowym. Materiał w którym wykonane są kanały dla przepływającego czynnika chłodzącego (kanały technologiczne reaktora) spełnia rolę moderatora (spowalniacza) neutronów. Chodzi bowiem o to, że neutrony opuszczające rozszczepione jądro paliwa posiadają dużą energię kinetyczną, a od neutronów mających powodować dalsze rozszczepiania paliwa wymagane są często niższe energie. Niekiedy rolę moderatora spełnia czynnik chłodzący (H_2O lub D_2O). Istnieją również reaktory w których nie ma moderatora² (reaktory szybkie). Cała strefa aktywna reaktora znajduje się w zbiorniku ciśnieniowym 2. Czynnik chłodzący opuszczający strefę aktywną reaktora dostaje się do parogeneratora i tam oddaje swe ciepło wodzie, która zamienia się w parę. Para wodna płynie do turbiny, ekspanduje w niej i po

skropleniu kondensat zostaje z powrotem przepompowany do parogeneratora. Również czynnik chłodzący znajduje się w obiegu zamkniętym. Niekiedy stosuje się obieg pojedynczy i wtedy czynnik chłodzący opuszczający reaktor płynie bezpośrednio do turbiny parowej lub gazowej.



W celu zabezpieczenia personelu obsługującego od szkodliwych skutków promieniowań jądrowych towarzyszących reakcjom jądrowym, korpus reaktora otoczony jest ciężkim ekranem wykonanym zazwyczaj z betonu. Również ekranowane są parogeneratory i rurociągi łączące reaktor z parogeneratorem. Dla regulacji ilości wytworzonej energii reaktor zaopatrzony jest w specjalne elementy sterownicze 1 (pręty sterownicze), które przez odpowiednie zanurzenie w strefie aktywnej regulują intensywność reakcji jądrowych a tym samym i moc cieplną reaktora. Elementy sterownicze są tak zaprojektowane by przy całkowitym zanurzeniu w strefie aktywnej nie dopuszczały do zaistnienia stanu krytycznego, który jest warunkiem działania reaktora jądrowego.

W wielu przypadkach reaktor wraz z betonową osłoną biologiczną i wymiennikami ciepła umieszczany jest w osłonie mającej w razie awarii układu chłodzącego zabezpieczyć otoczenie reaktora przed zatruciem radioaktywnymi produktami rozszczepienia.

W referacie przedstawiono jedynie mały wycinek problematyki konstrukcyjnej inżynierii jądrowej i to w dużym uproszczeniu. Istnieją wprost niezliczone możliwości rozwiązań gdyż ze względu na różne przeznaczenie prawie wszystkie istniejące reaktory różnią się pod pewnymi względami jeden od drugiego.