

### [Akceptuję](#)

W ramach naszej witryny stosujemy pliki cookies w celu świadczenia państwu usług na najwyższym poziomie, w tym w sposób dostosowany do indywidualnych potrzeb. Korzystanie z witryny bez zmiany ustawień dotyczących cookies oznacza, że będą one zamieszczone w Państwa urządzeniu końcowym. Możecie Państwo dokonać w każdym czasie zmiany ustawień dotyczących cookies. Więcej szczegółów w naszej [Polityce Prywatności](#)

[Portal](#) [Informacje](#) [Katalog firm](#) [Praca](#) [Szkolenia](#) [Wydarzenia](#) [Porównania międzylaboratoryjne](#)  
[Kontakt](#)



**[Laboratoria](#)**  
**[.net](#)**  
**[Innowacje](#)**  
**[Nauka](#)**  
**[Technologie](#)**

[Logowanie](#) [Rejestracja](#) [pl](#)

Newsletter

zapisz się



- [Nowe technologie](#)
- [Felieton](#)
- [Tygodnik "Nature"](#)
- [Edukacja](#)
- [Artykuły](#)
- [Przemysł](#)

[Strona główna](#) > [Artykuły](#)

## ABC: Charakterystyka reaktora jądrowego

### Streszczenie

Energetyka jądrowa jest szeroko dyskutowana na świecie i w Polsce. Ważne jest, aby poznać budowę i działanie reaktorów jądrowych. Przegląd ten zapozna czytelnika z podstawą wiedzy o reaktorach produkujących energię. Omówione zostało działanie reaktora, elementy jego konstrukcji i podstawowe reakcje w nim zachodzące.

**Słowa kluczowe:** energia jądrowa, reaktor jądrowy, reakcja łańcuchowa, neutrony, bilans neutronów

### Skróty

ADU - uranian amonu

AGR - ulepszony reaktor chłodzony gazem ang. Advanced Gas-cooled Reactor

BHWR - wrzący reaktor ciężkiej wody ang. Boiling Heavy Water Reactor

BWR - wrzący reaktor wodny ang. Boiling Water Reactor (ABWR - Advanced Boiling Water Reactor)

FBR - reaktor prędkich neutronów ang. Fast Breeder Reactor

GCR - reaktor chłodzony gazem ang. Gas Cooled Reactor

GLWR - wodny reaktor z moderatorem grafitowym ang. Graphite Light Water Reactor

HTR - reaktor wysokich temperatur High Temperature (Gas-cooled) Reactor

HWLWR - reaktor wody ciężkiej i normalnej ang. Heavy Water - Light Water Reactor

LWR - reaktor wodny ang. Light Water Reactor

Magnox - reaktor w którym koszulki paliwowe zrobione są ze stopu magnezowego

PHWR - Ciśnieniowy reaktor wody ciężkiej ang. Pressurized Heavy Water Reactor

PWR - reaktor wodny ciśnieniowy ang. Pressurized Water Reactor

RBMK - reaktor kanałowy ciężkiej mocy Reaktor Bolszoi Moszcznosti Kanalnyj

WWER - reaktor wodny ciśnieniowy (radziecki odpowiednik PWR) rus. Wodno-Wodianoj Energeticzeskij Reaktor

VHTR - reaktor bardzo wysokich temperatur ang. Very High Temperature Reactor

## Wprowadzenie

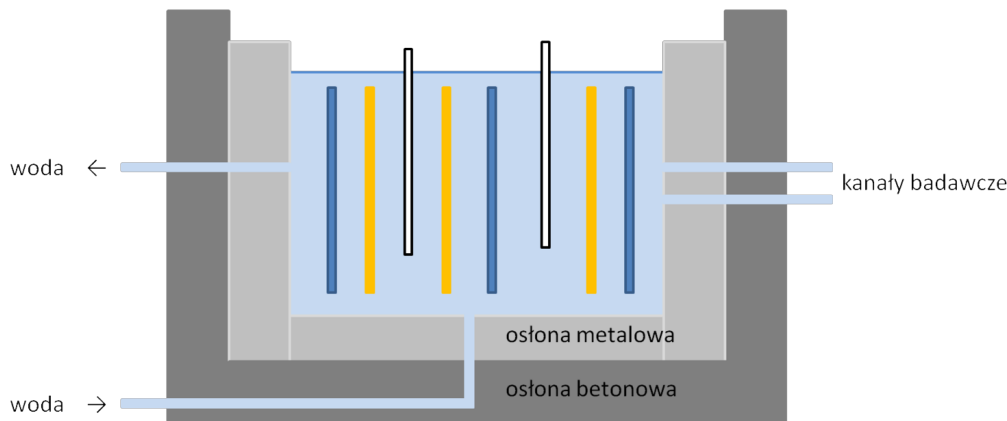
Energia jądrowa jest energią, która wydziela się podczas rozszczepienia jądra atomu. W wyniku tej reakcji wydziela się ciepło, które przetwarzane jest w elektryczność. Elektrownie jądrowe dostarczają ok. 14% prądu elektrycznego na świecie [1]. Trzy kraje świata: Stany Zjednoczone, Francja i Japonia razem produkują 50% energii atomowej, z której generowana jest elektryczność [2]. W 2007 roku aktywnie pracowało 439 reaktorów energii jądrowej działając w 31 krajach na świecie [2].



**Działanie reaktora jądrowego**

W reaktorze jądrowym przeprowadzana jest reakcja kontrolowanej reakcji jądrowej. Reakcje te polegają na rozszczepieniu jądra atomowego. Reakcje te są reakcjami łańcuchowymi, w których produkty reakcji (głównie neutrony) inicjują reakcje następne. Kontrola szybkości reakcji polega na budowie reaktora, który dzieli się na strefy wypełnione na przemian paliwem (omówione poniżej), chłodziwem (najczęściej woda) oraz moderatorem. Moderator jest substancja zmniejszająca energię kinetyczną (prędkość) neutronów, aż do osiągnięcia przez nie stanu tzw. neutronów termicznych. Neutrony termiczne są to neutrony o energii kinetycznej porównywalnej z energią ruchu cieplnego w temperaturze zbliżonej do pokojowej  $T = 295 \text{ K}$ , a energia ta jest równa:  $E = kBT$  (gdzie  $T$  - temperatura neutronu,  $kB$  - stała Boltzmanna). Spowolnione neutrony znacznie wydajniej powodują rozszczepienie jąder w materiale paliwa jądrowego. Zatem szybkość reakcji rozszczepienia jest kontrolowana m.in. przez zmianę wzajemnego położenia lub proporcji paliwa, chłodziwa i moderatora oraz przez wprowadzanie dodatkowych substancji pochłaniających lub spowalniających neutrony, które wprowadza się w tzw. prętach regulacyjnych (służących do normalnej regulacji parametrów reakcji) oraz prętach bezpieczeństwa (stosowanych do awaryjnego wyłączenia reaktora). Substancjami używanymi do pochłaniania neutronów termicznych są bor i kadm, zaś jako moderatorów używa się np. berylu, grafitu, a w szczególności wody, która jest także używana jako

chłodziwo.



Rys.1 Budowa rdzenia reaktora: pręty niebieskie - moderator (jeśli inny niż woda); pręty żółte - pręty paliwowe; pręty białe - pręty sterujące.

Temperatura, powstała w egzotermicznej reakcji rozpadu jądra atomowego, ogrzewa wodę, której opary poruszają turbiny. Turbiny przekształcają energię cieplną w mechaniczną, która następnie przekształcana i wykorzystywana jest w postaci energii elektrycznej.

Osłona reaktora także powinna zawierać moderator oraz powinna efektywnie pochłaniać promieniowanie  $\gamma$  wychodzące z reaktora. Promieniowania  $\alpha$  lub  $\beta$  nie bierze się pod uwagę, gdyż ma bardzo niewielki zasięg i praktycznie nie wydostaje się poza warstwę osłony prętów paliwowych (Rys.1). Największa ilość ciepła powstaje w warstwie przylegającej do reaktora. Warstwa ta zwana osłoną termiczną wykonana jest z płyt stalowych (z dodatkiem boru). Jest ona chłodzona wodą lub powietrzem. Na osłonie termicznej jest tzw. osłona biologicznej, która wykonana jest z ciężkich betonów (cement, drobny złom stalowy oraz rud: barytowej, limonitowej lub magnetytowej). [2, 3, 4]

### Typy reakcji chemicznych w reaktorze atomowym

W rdzeniu paliwowym wyróżnia się trzy typy reakcji chemicznych. Jedną z nich jest rozszczepienie jądra atomowego. Reakcja ta wykorzystywana jest w większość reaktorów. Jako nośnik reakcji używany jest uran. W reaktorach można także wykorzystywać reakcję kontrolowanej syntezy termojądrowej. Jako paliwa w tym przypadku używa się wodoru. Typ reaktora wykorzystujący tę reakcję nie jest wykorzystywany komercyjnie (fazy eksperymentalna). W reaktorach może być także wykorzystywany proces rozpadu promieniotwórczego, który obecnie wykorzystywany jest w radioizotopowych generatorach termoelektrycznych oraz bateriach jądrowych [3, 4].

### Rodzaje reaktorów jądrowych

Reaktory mogą różnić się od siebie rodzajem paliwa (uran naturalny, uran wzbogacony izotopem uranu lub nuklidem plutonu), związkiem chemicznym, który tworzy paliwo (paliwo metaliczne, węgliki lub tlenki uranu itp.) a także kształtem prętów paliwowych. Rodzaje reaktorów jądrowych wprowadzono na podstawie wykorzystywanego w nim chłodziwa. Wyróżnia się reaktory [4]:

1. Reaktory wodne - ciśnieniowe (PWR lub WWER): chłodziwem i moderatorem jest zwykła woda pod ciśnieniem( aby nie wrzała podczas pracy reaktora).
2. Reaktory wodne - wrzące (BWR): chłodziwem i moderatorem jest również zwykła woda, ale wrząca.
3. Reaktory kanałowe wielkiej mocy (RBMK): chłodzone są wrzącą wodą, a moderatorem jest

grafitem. Najniebezpieczniejszy reaktor, obecnie nie produkowany.

4. Reaktory wodne - basenowe: pręty paliwowe zanurzone w wodzie, która jest równocześnie chłodziwem i moderatorem. Warstwa wody nad pracującym rdzeniem ekranuje promieniowanie umożliwiając personelowi reaktora bezpieczną pracę ponad zanurzonym rdzeniem.

5. Reaktory ciężkowodne (PHWR): chłodziwem i moderatorem jest ciężka woda

6. Reaktory gazowe (GCR, AGR, HTGR): chłodziwem jest gaz (dwutlenek węgla lub hel), a moderatorem grafit

7. Reaktory prężkie (LMFR): pracują na szybkich neutronach; nie posiadają moderatora, chłodziwem są najczęściej stopione metale (najczęściej sód)

8. Reaktory solne (MSR): chłodziwem są stopione sole, najczęściej fluoru

Rodzaj reaktora	Chłodziwo	Moderator	Paliwo jądrowe
AGR	CO <sub>2</sub> , gaz	grafit	UO <sub>2</sub> wzbogacony
Magnox	gaz, CO <sub>2</sub>		U Naturalny
HTR	Hel		UO <sub>2</sub> , UC <sub>2</sub> , ThO <sub>2</sub> ( <sup>235</sup> U, <sup>233</sup> U, Pu)
PHWR	ciężka woda	ciężka woda	UO <sub>2</sub> naturalny lub wzbogacony
BHWR			
BWR	lekka woda	lekka woda	UO <sub>2</sub> wzbogacony lub UO <sub>2</sub> wzbogacony i MOX
PWR			
WWER			
RBMK	lekka woda	grafit	UO <sub>2</sub> wzbogacony
GLWR			U naturalny lub wzbogacony
HWLWR	lekka woda	ciężka woda	UO <sub>2</sub> wzbogacony - PuO <sub>2</sub>
FBR	sód	-	UO <sub>2</sub> wzbogacony - PuO <sub>2</sub>

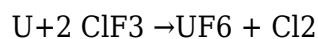
Tab. 1. Zestawienie rodzajów reaktorów jądrowych i ich parametrów.

Innym z ważnych kryteriów jest podział reaktorów na: reaktory prężkie i termiczne. W zależności od energii neutronów (Tab. 2) powodujących rozszczepienia reaktor należy do jednej z wymienionych grup. W reaktorach termicznych rozszczepienia jąder paliwa zachodzą w wyniku pochłonięcia przez nie neutronów o energiach termicznych. Jedynie 3% rozszczepień zachodzi w wyniku pochłonięcia neutronów prężkich przez jądra izotopów uranu [2, 3].

Rodzaj neutronów	Energia neutronów (eV)
neutrony termiczne	< 0,1
neutrony prężkie	< 1 000 000
neutrony epitermiczne	zakres pośrednich energii

## Paliwo reaktora - uran

Ruda uranowa jest wydobywana w postaci żółtych złogów. W laboratoriach sole uranowe są przeprowadzane w sześćfluorek uranu (reakcja 1). Zmielona ruda uranowa —  $U_3O_8$  roztwarza się w kwasie azotowym. W wyniku tej reakcji powstaje sól, azotan uranylu:  $UO_2(NO_3)_2$ . Następnie czysty azotan uranylu jest traktowany jamonakiem, w celu otrzymania uranianu amonu (ADU):  $(NH_4)_2U_2O_7$ . Redukcja tej soli wodorem daje ditlenek uranu  $UO_2$ , które pod wpływem kwasu fluorowodorowego (HF) tworzy tetrafluorek uranu,  $UF_4$ . Dalsze utlenianie fluorem daje  $UF_6$ .



(1)

Sześćfluorek uranu, w warunkach standardowych, tworzy szare kryształy. Jest wysoce toksyczny, reaguje z wodą, tworząc roztwór żrący dla większości metali.

W wydobywanym uranie występuje głównie izotop  $^{238}U$  (ok. 99,3%) oraz niewielkie ilości  $^{235}U$  (ok. 0,7%) i  $^{234}U$ . Wszystkie izotopy uranu ulegają rozpadowi radioaktywnemu. Rozszczepieniu spontanicznemu ulegają jądra izotopów  $^{235}U$  i  $^{233}U$ , zaś wymuszonemu rozszczepieniu jądra ulega izotop  $^{238}U$ . Do pracy reaktorów jądrowych wykorzystuje się izotop  $^{235}U$ . Uran naturalny zawiera zbyt mało izotopu  $^{235}U$  by mógł być użyty jako materiał rozszczepialny i wymaga przetworzenia zwiększającego zawartość tego izotopu w procesie zwanym wzbogacaniem. W wyniku tego przetworzenia uzyskuje się uran wzbogacony oraz odpad zwany uranem zubożonym. Uran wzbogacony może być produkowany przy użyciu wirowania frakcjonujące oraz dyfuzji frakcjonującej. W procesie tym otrzymuje się uran z większą zawartością  $^{235}U$ .

Uran wzbogacony tworzy tzw. pręty paliwowe reaktora. Pręty paliwa pracują sprawnie przez ok. 3 cykle (6 lat) wewnątrz reaktora. Zużyte pręty uranowe przenoszone są do basenu chłodzącego paliwo zużyte. Przez około 5 lat w paliwo zużyte jest radioaktywne i gorące. Po upływie tego czasu staje się na tyle chłodne aby można je było przenieść w miejsce stałego składowania.

W pierwszych wyprodukowanych reaktorach stosowano głównie uran naturalny. Obecnie najczęściej paliwem jest uran wzbogacony izotopem  $^{235}U$  (1% - 93%). Dzięki temu uzyskuje się znacznie lepsze parametry krytyczne reaktora i lepszy rozkład neutronów. Oprócz uranu stosuje się również  $^{239}Pu$ , który jest otrzymywany z przemiany jądrowej  $^{238}U$ . Niezależnie od rodzaju paliwa: uranowe lub plutonowe stosuje się w postaci metalicznej lub ceramicznej (tlenki lub węgliki), rzadziej w postaci stopu metalu i ceramiki. Wszystkie elementy paliwowe mają osłonę zwaną są koszulką, która wykonana jest ze stali nierdzewnej, cyrkonu lub aluminium. [2, 3, 4, 5]

## Moderator

Bardzo istotnym elementem każdego reaktora termicznego jest moderator. Typ moderatora wyznacza także kryterium klasyfikacyjne dla poszczególnych typów reaktorów. Rozróżnia się następujące typy reaktorów jądrowych: wodne, ciężkowodne i grafitowe. W niektórych reaktorach wykorzystywany jest beryl w połączeniu z wodą. Istnieją również reaktory, w których moderatorem i chłodziwem są ciekłe związki organiczne, głównie polifenyle (bifenyle), jednak nie są one wykorzystywane na większą skalę. Najpowszechniej używanym moderatorem jest woda.

Jak wcześniej wspomniano moderatory wykorzystywane w technice jądrowej zmniejszają energię kinetyczną neutronów, powstałych w wyniku reakcji łańcuchowej. Moderatory zmniejszają prędkość neutronów do osiągnięcia przez nie stanu tzw. neutronów termicznych. Dzięki temu wydajniej

powodują rozszczepienie jąder uranu. Moderatory, wykorzystywane w reaktorach jądrowych, charakteryzują się dużym przekrojem czynnym na rozpraszanie neutronów oraz małym na pochłanianie ich. Wraz z masą jądra rośnie przekrój czynny na pochłanianie neutronów. Neutron najwięcej energii traci podczas zderzenia. Z zasad kinetycznych zachowania pędu i energii wiadomo, że neutron utraci najwięcej energii przy zderzeniu z jądrem atomu, którego masa jest zbliżona do masy neutronu. Warunek ten najlepiej spełnia atom wodoru. W reaktorze może pełnić także funkcję reflektora, który powoduje odrzucenie neutronów powstających w reaktorze jądrowym i skierowanie ich z powrotem w kierunku rdzenia reaktora. Dzięki reflektorom neutronów, w rdzeniu jest ich dużo więcej, co pozwala zmniejszyć masę krytyczną materiału rozszczepialnego i wymiarów reaktora. Reflektory ujednolicają rozkład neutronów w rdzeniu paliwowym. Związki używane w reaktorach jako moderatory są również reflektorami [2,5].

## **Chłodziwa**

Chłodziwa reaktorowe dzielone są na trzy grupy: gazy, ciecze niemetaliczne i ciecze metaliczne. Grupy te różnią się znacząco właściwościami fizycznymi, a tym samym efektywnością akumulacji i transportu ciepła. Znaczenie mają również właściwości jądrowe, takie jak np. pochłanianie neutronów, promieniotwórczość wzbudzona czy właściwości korozyjne. Do najczęściej stosowanych chłodziw, tak jak i moderatorów, należy zwykła woda. W niektórych typach reaktorów wykorzystuje się również dwutlenek węgla i hel. W reaktorach prędkich (Tab.1) chłodziwem jest ciekły sód lub jego stopy. Istnieją doniesienia próby zastosowania jako chłodziwa w reaktorach jądrowych gazów dysocjujących, np. N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Tlenek ten w procesie dysocjacji (dysocjuje na NO<sub>2</sub>), pochłania ciepło z reaktora, a redysocjuje poza reaktorem, będąc w ten sposób bardzo dobrym nośnikiem ciepła. Zastosowanie sodu jest także wysoce niebezpieczne ze względu na aktywność chemiczną w stosunku do powietrza, jak i wody (reakcja silnie egzotermiczna), a także silne właściwości korozyjne. [2]

W reaktorach jądrowych chłodziwo pełni również funkcję moderatora. Dlatego też najczęściej stosowana jest zwykła woda, rzadziej dwutlenek węgla, hel i niekiedy związki organiczne. Chłodziwo może znajdować się pod ciśnieniem atmosferycznym lub podwyższonym (np. reaktory wodne ciśnieniowych). W reaktorach wodnych wrzących chłodziwo jest częściowo doprowadzone do wrzenia, tak że w obiegu chłodzącym jest mieszanina wody z parą. Inne chłodziwa w Tab.1.

## **Spowalnianie neutronów w reaktorze jądrowym**

Przekrój czynny na rozszczepienie dla nuklidów rozszczepialnych rośnie bardzo szybko wraz ze zmniejszaniem się energii padającego neutronu. Zatem zmniejszając energię neutronów (spowalniając je) wywołujących rozszczepienie zwiększa się efektywność reakcji łańcuchowej. Przy zderzeniu cząstki poruszającej się (neutron), przekazuje ona część swej energii kinetycznej jądru nieruchomego moderatora. Wielkość energii przekazanej jądru moderatora zależy od kąta padania i stosunku masy nieruchomego jądra do masy neutronu. Najefektywniejsze spowalnianie neutronów zachodzi na lekkich jądrach moderatora. [2, 3, 4, 5]

## **Bilans neutronów**

Neutrony ulegają rozpadowi znacznie wolniej (rzędu 12 min), aniżeli niż szybkość reakcji łańcuchowej - reakcji rozszczepienia. Zatem neutrony, jako cząstki trwale zostaną pochłonięte przez układ. Moderator pochłaniania neutrony (wychwyt radiacyjny), zatem część neutronów zostaje spowolniona na tyle, iż nie są w stanie zainicjować reakcji rozszczepienia. Dodatkowo pochłonięcie neutronu przez paliwo nie oznacza, że zostanie zapoczątkowana reakcja rozszczepienia. W reakcji rozszczepienia powstaje średnio 2 - 3 neutronów wtórnych. Warunkiem tego, aby reakcja łańcuchowa przebiegała w sposób stacjonarny, zapewniający nieprzerwaną pracę reaktora jest stała

liczba neutronów w kolejnych pokoleniach, czyli  $k=1$  (układ krytyczny; gdzie  $k$  jest współczynnikiem ilość neutronów na inicjujących reakcję rozszczepienia do liczby neutronów wtórnych). Należy pamiętać, że empirycznie nie można wyznaczyć początku ani końca reakcji, gdyż praca reaktora jest procesem ciągłym. Przy  $k < 1$  liczba neutronów maleje i reakcja łańcuchowa zanika (układem podkrytycznym), zaś dla  $k > 1$  liczba neutronów rośnie (układ jest nadkrytyczny). Układ krytyczny nie zależy od gęstości neutronów. Prawdopodobieństwo uniknięcia ucieczki poza układ oznacza się przez  $P$ . Otrzymuje się w ten sposób tzw. efektywny współczynnik mnożenia w układzie skończonym  $k_{ef} = P \times k$

(1)

Znanie i kontrolowanie bilansu neutronów w reaktorze wynika z dwóch faktów: nuklidy powstające w procesie rozszczepienia są silnie radioaktywne i należy zapobiegać przedostaniu się ich do otoczenia oraz wydzielanie się ogromnej ilości ciepła, które trzeba zminimalizować. [2, 3]

### Stany nieustalone reaktora

Zatem przyjmuje się, że praca reaktora, czyli stała reakcja łańcuchowa zachodzi w układzie krytycznym, oraz rzadziej w układzie podkrytycznym (uruchamianie reaktora) i układzie nadkrytycznym (zatrzymanie pracy reaktora). W wyniku zmian układu zmienia się również moc reaktora, która maleje wykładniczo (2) dla reaktywności neutronów mniejszej od udziału neutronów opóźnionych:

$$M(t) = M_0$$

$$e^{-(t/s)\gamma}$$

gdzie

(2)

$\gamma$  - średni czas życia jednego pokolenia neutronów (10<sup>-7</sup> - 10<sup>-3</sup>s)

$s = k_{ef} - 1$ ; współczynnik reaktywności

$M_0$  - początkowa moc reaktora.

Im większa jest reaktywność danego reaktora (dodania bądź ujemna), tym gwałtowniejsze zmiany mocy w nim zachodzą.

Przy krótkim czasie życia neutronów (przy pominięciu neutronów opóźnionych) niewielkie zmiany reaktywności powodowałyby bardzo gwałtowny spadek lub wzrost mocy reaktora, co eliminowałoby je z eksploatacji. Jednak w praktyce udział neutronów opóźnionych zwiększa czas życia neutronów o kilka rzędów (nawet do ok. 0,1 s). Dzięki temu jest możliwa regulacja reaktora.

Pracę reaktora regulują także sprzężenia temperaturowe. Polegają one na tym, że wzrost mocy powoduje wzrost temperatury a co za tym idzie wywołuje zmianę przekrojów czynnych i reaktywności. Eksploatacji paliwa jądrowego podczas pracy reaktora powoduje powolne zmiany parametrów jądrowych (akumulacja produktów rozszczepienia, zmianą składu paliwa). Procesy ten powodują zmniejszenie reaktywności i przejście reaktora w układ podkrytyczny. Akumulacja produktów rozszczepienia (trucizn) powoduje pochłanianie neutronów, zmniejszając tym samym reaktywność. W reaktorach powstają dwie grupy trucizn: stałe i przejściowe. Pierwsza grupa to nuklidy trwałe i długożyjące (149Sm), zaś druga grupa krótkożyjące (135Xe). Podczas eksploatacji reaktora ulegają wypalaniu się nuklidy rozszczepialne. W wyniku zmian składu paliwa uranowego prowadzi do powstawania plutonu 239Pu, który jest także rozszczepialny pod wpływem neutronów. Zjawisko to charakteryzuje współczynnik przemiany paliwa (stosunek liczby jąder uzyskanych nuklidów rozszczepialnych do liczby wypalonych jąder paliwa). Gdy w reaktorach jądrowych paliwem jest uran naturalny współczynnik ten sięga 0,7. W reaktorach prędkich współczynnik przemiany może wynosić 1. Zachodzi wtedy tzw. powielanie paliwa.

Oprócz omówionych powyżej zmian, w reaktorze zachodzą także inne przemiany izotopowe, w wyniku których paliwo staje się mieszaniną różnych nuklidów z grupy aktywności, które mogą być ponownie rozszczepialne. [2, 3, 4, 5]

### Sterowanie reaktorem

Sterowanie reaktorem polega na zmianie objętości paliwa, moderatora, reflektora lub substancji pochłaniającej neutrony. W tym celu wykorzystuje się ruchome pręty sterownicze wykonane z materiałów silnie pochłaniających neutrony termiczne. Pręty wykonane są z kadmu bądź boru. Rodzaje prętów sterowniczych przedstawia Tab. 3.

Rodzaj prętów	Skutek
Pręty bezpieczeństwa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• wprowadzenie do układu reaktywność ujemną,</li> <li>• gwałtownego wyłączenia reaktora</li> <li>• spadają do rdzenia pod wpływem siły ciężkości</li> <li>• odłączenie mechanizmu napędowego: elektrycznego, hydraulicznego lub pneumatycznego.</li> </ul>
Pręty kompensacyjne	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zmniejszenie reaktywności po wstępnym okresie eksploatacji paliwa</li> <li>•</li> </ul>
Pręty regulacyjne	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stosunkowo małe zmiany reaktywności,</li> <li>• kompensacja przypadkowych odchyień mocy reaktora od stanu równowagi</li> </ul>

Tab.3. Rodzaje prętów bezpieczeństwa

### Zastosowanie energii jądrowej

Oprócz elektryczności energia atomowa wykorzystywana jest jako napęd nuklearny (statki, lodołamacze) [6]. Kilka statków kosmicznych napędzanych jest reaktorami jądrowymi: rosyjska seria RORSAT i amerykański statek SNAP-10A.

Niektóre fabryki używają syntezy jądrowej do produkcji wodoru, odsalania wody morskiej oraz w różnorodnych systemach ciepłownictwa.

Podział reaktorów, ze względu na zastosowania przedstawia poniższa tabela (Tab. 4).

Typ reaktora	Zastosowanie
reaktory energetyczne	przeznaczone do produkcji energii elektrycznej w elektrowniach zawodowych
reaktory ciepłownicze	wytwarzające ciepło do celów ogrzewczych w ciepłowniach jądrowych;
reaktory wysokotemperaturowe	wytwarzające ciepło do celów technologicznych;
reaktory badawcze	przeznaczone do prowadzenia w nich prac badawczych - głównie badań fizycznych wykorzystujących wiązkę neutronów do badań struktury ciał stałych oraz do badań materiałów i paliw reaktorowych
reaktory napędowe	przeznaczone do napędu łodzi podwodnych, łodołamaczy, statków handlowych itd.
reaktory wytwórcze	przeznaczone do produkcji plutonu (z reguły reaktory wojskowe pracujące w przemyśle zbrojeniowym pod kontrolą władz wojskowych);
reaktory szkoleniowe	zwane często reaktorami uniwersyteckimi, z reguły bardzo małej mocy, przeznaczone do celów dydaktycznych;
reaktory do celów specjalnych	do produkcji radioizotopów, odsalania wody morskiej itp.

Tab. 4 Podział reaktorów ze względu na zastosowania [7]

### Przyszłość energii atomowej - synteza jądrowa

Reakcje syntezy jądrowej są bezpieczniejsze i generują mniej odpadów promieniotwórczych niż rozszczepianie jąder atomowych [8]. Synteza jądrowa mniej ryzykowna jest technicznie trudna i potrzeba wielu badań aby mogła być stosowana w elektrowniach atomowych.

### Kontrowersyjność reaktorów jądrowych

Na świecie ciągle dyskutowane jest bezpieczeństwo reaktorów atomowych [9,10, 11]. Do zrzeszeń propagujących energetykę jądrową należy Światowe Stowarzyszenie Nuklearne oraz Międzynarodowa Agencja Atomistyki (IAEA), której głównym argumentem jest: zaprzestanie eksploatacji węgla kamiennego, a tym samym zmniejszenie emisji dwutlenku węgla do atmosfery [12]. Jednak zwolennicy energii atomowej mają także swych przeciwników: Greenpeace. Wierzą oni, że energia jądrowa stwarza wiele niebezpieczeństw ludziom i całemu środowisku naturalnego [13].

Awaryjne elektrowni jądrowej na wyspie Three Mile (1979), potem w Czarnobylu (1986), i w Fukushima (2011), pokazują jaki ogrom szkód może przynieść awaria elektrowni atomowej. Mimo awarii bezpieczeństwo energetyki jądrowej jest znacznie lepsze niż innych technologii [14]. Ulepszanie zabezpieczeń i poprawianie bezpieczeństwa reaktorów jądrowych wciąż trwa, aby całkowicie zminimalizować ryzyko awarii.

Wiele krajów miało plany zbudować więcej nowych reaktorów (Chiny, Stany Zjednoczone), jednak po awarii w Japonii w 2011 (Fukushima) plany zostały wstrzymane. Niemcy zdecydowały się zamknąć wszystkie reaktory do 2022, a Włochy zakazały energii jądrowej.

**Autor: Karolina Wójciuk**

### Literatura:

[1] World Nuclear Association. Another drop in nuclear generation World Nuclear News. 2010

[2] <http://www.iaea.org>

- [3] A. Strupczewski. 2009. II Szkoła energetyki jądrowej.
- [4] G. Jeziński. 2006. Energia jądrowa wczoraj i dziś. Wydawnictwo Naukowo Techniczne
- [5] S. Góra. 1978. Elektrownie jądrowe. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe. s. 46.
- [6] <http://www.bellona.org>
- [7] Z. Celiński. 2009. Reaktory Jądrowe - Typy i charakterystyka. II Szkoła Energetyki Jądrowej.
- [8] <http://www.worldenergy.org>
- [9] J.J. MacKenzie. Review of The Nuclear Power Controversy by Arthur W. Murphy. The Quarterly Review of Biology, Vol. 52, No. 4 (Dec., 1977), pp. 467-468.
- [10] <http://www.nytimes.com>
- [11] <http://www.utsandiego.com>
- [12] <http://www.bloomberg.com>
- [13] <http://www.ncwarn.org>
- [14] D. Baurac . 2002. Passively safe reactors rely on nature to keep them cool. Logos 20(1)

<https://laboratoria.net/artukul/13149.html>

**Informacje dnia:** [Gwałtowne przerwanie gry komputerowej w złości to ważny sygnał Uniwersytet Wrocławski, PAP i Fundacja PAP podpisały umowę 10 polskich zespołów w zawodach Shell Eco-marathon Poland 2026](#) [Prawie 1,2 mld ludzi na świecie cierpi na zaburzenia psychiczne AGH uruchomiła laboratorium UE Katowice i Śląski Uniwersytet Medyczny uruchamiają nowe kierunki](#) [Gwałtowne przerwanie gry komputerowej w złości to ważny sygnał Uniwersytet Wrocławski, PAP i Fundacja PAP podpisały umowę 10 polskich zespołów w zawodach Shell Eco-marathon Poland 2026](#) [Prawie 1,2 mld ludzi na świecie cierpi na zaburzenia psychiczne AGH uruchomiła laboratorium UE Katowice i Śląski Uniwersytet Medyczny uruchamiają nowe kierunki](#) [Gwałtowne przerwanie gry komputerowej w złości to ważny sygnał Uniwersytet Wrocławski, PAP i Fundacja PAP podpisały umowę 10 polskich zespołów w zawodach Shell Eco-marathon Poland 2026](#) [Prawie 1,2 mld ludzi na świecie cierpi na zaburzenia psychiczne AGH uruchomiła laboratorium UE Katowice i Śląski Uniwersytet Medyczny uruchamiają nowe kierunki](#)

## **Partnerzy**