

Historia
energetyki jądrowej

Historia

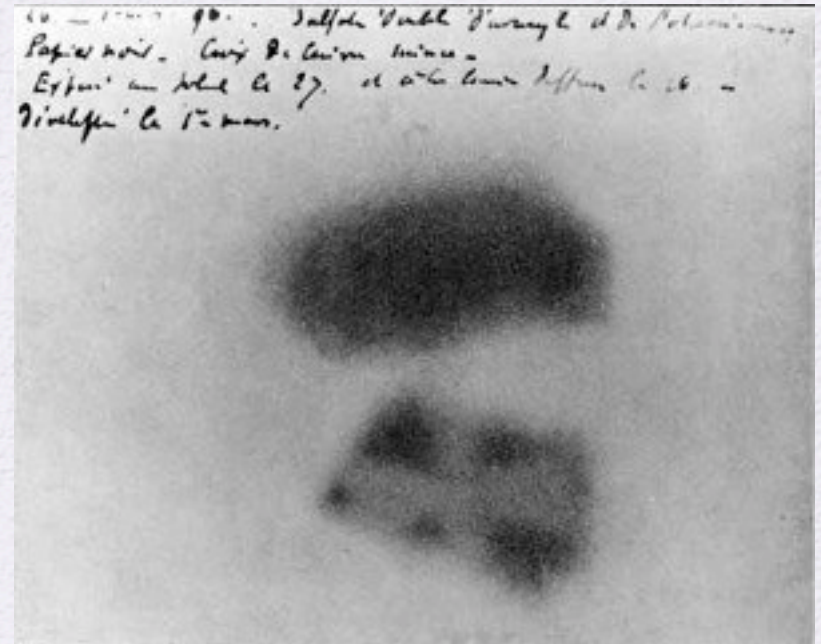
- **Martin Heinrich Klaproth (1743-1817)** odkrywa uran. Klaproth będąc jeszcze studentem farmacji w Berlinie zorganizował swoje laboratorium (1775), gdzie w rudzie, zwanej smółką, odkrył uran. Nowy pierwiastek nazwał od imienia planety, odkrytej osiem lat wcześniej. Oprócz uranu Klaproth odkrył również cyrkon i tytan. Latem 1802 r. został profesorem chemii na Uniwersytecie w Berlinie.

Historia

- **John Dalton** (1766-1844), twórca nowożytnej atomistycznej teorii materii, odkrywa, że atom jest podstawową jednostką pierwiastka chemicznego. Na jego cześć jednostkę masy atomowej nazwano daltonem (*Da*).

Historia

- **Antoine Henri Becquerel** (1852-1908) podczas badania fluorescencji rud uranu **odkrywa zjawisko radioaktywności uranu**. Zawinał fluorescencyjny minerał, będący rudą uranu, w materiał światłoczuły oraz czarny materiał nie przepuszczający światła. Zanim jednak zdjął czarną okrywę, by wystawić kliszę na światło fluorescencyjne, odkrył, że jest ona już całkowicie zaczerniona.



Historia

- **Albert Einstein** publikuje pracę "Czy bezwładność ciał zależy od ich energii", w której to podaje słynny wzór na równowagę masy i energii ($E=mc^2$).
- Einstein był jednym z największych fizyków-teoretyków naszych czasów, twórcą szczególnej i ogólnej teorii względności, współtwórcą korpuskularno-falowej teorii światła. Laureat nagrody Nobla w dziedzinie fizyki w roku 1921 za wyjaśnienie efektu fotoelektrycznego.

Historia

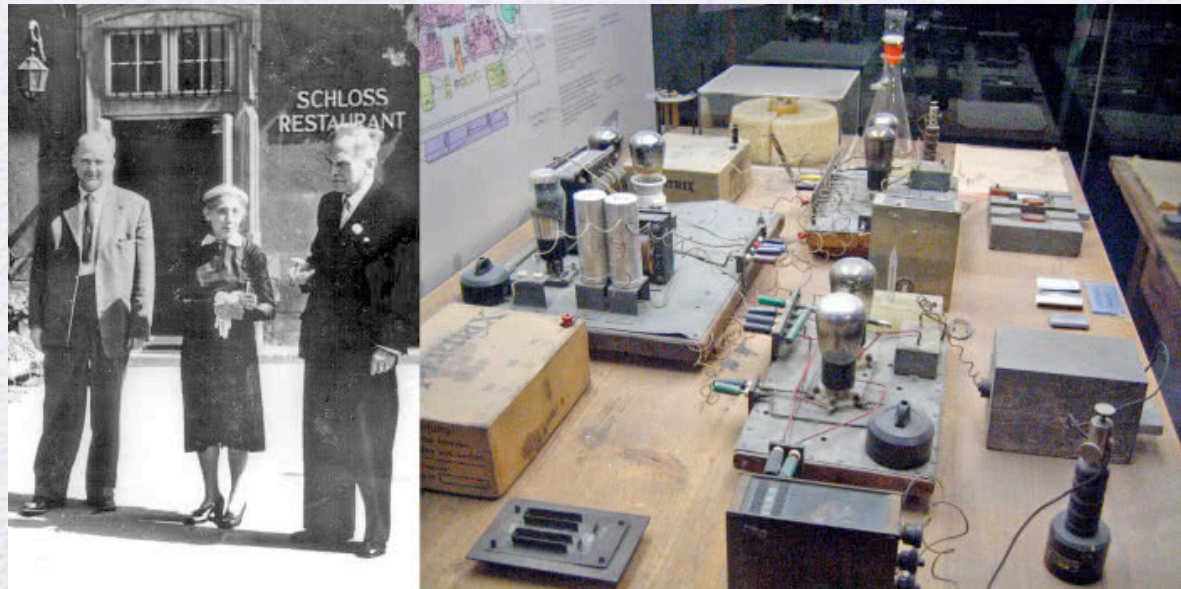
- **Niels Bohr** (1885-1962) publikuje pracę w której opisał swój model budowy atomu wodoru. Według tego modelu elektron krąży wokół jądra jako naładowany punkt materialny, przyciągany do jądra siłami elektrostatycznymi. Przez analogię do ruchu planet wokół Słońca model ten nazwano "modelem planetarnym atomu". Za badanie i opracowanie modelu budowy atomu otrzymał w 1922 roku nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki.

Historia

- **Ernest Rutheford** (1871-1937) przeprowadził pierwszą sztuczną reakcję jądrową i odkrył proton - jeden z dwóch składników wszystkich jąder atomowych. W 1911 r. stwierdził, że prawie cała masa atomu i cały dodatni ładunek skupiony jest w małym jądrze atomowym. Twórca modelu planetarnego atomu. W 1914 r. wykazał falową naturę promieniowania gamma. Za swoje dokonania otrzymał w 1908 r. nagrodę Nobla z chemii.

Historia

- **Otto Hahn** (1879-1968) niemiecki fizykochemik wraz z Fritzem Strassmanem (1902-1980) przeprowadził *pierwszą reakcję rozszczepienia jądra atomu*, za co w 1944 r. otrzymał nagrodę Nobla. Ogromne zasługi w teoretycznym wyjaśnieniu zjawiska rozpadu promieniotwórczego miała austriacka fizyczka Lise Meitner.



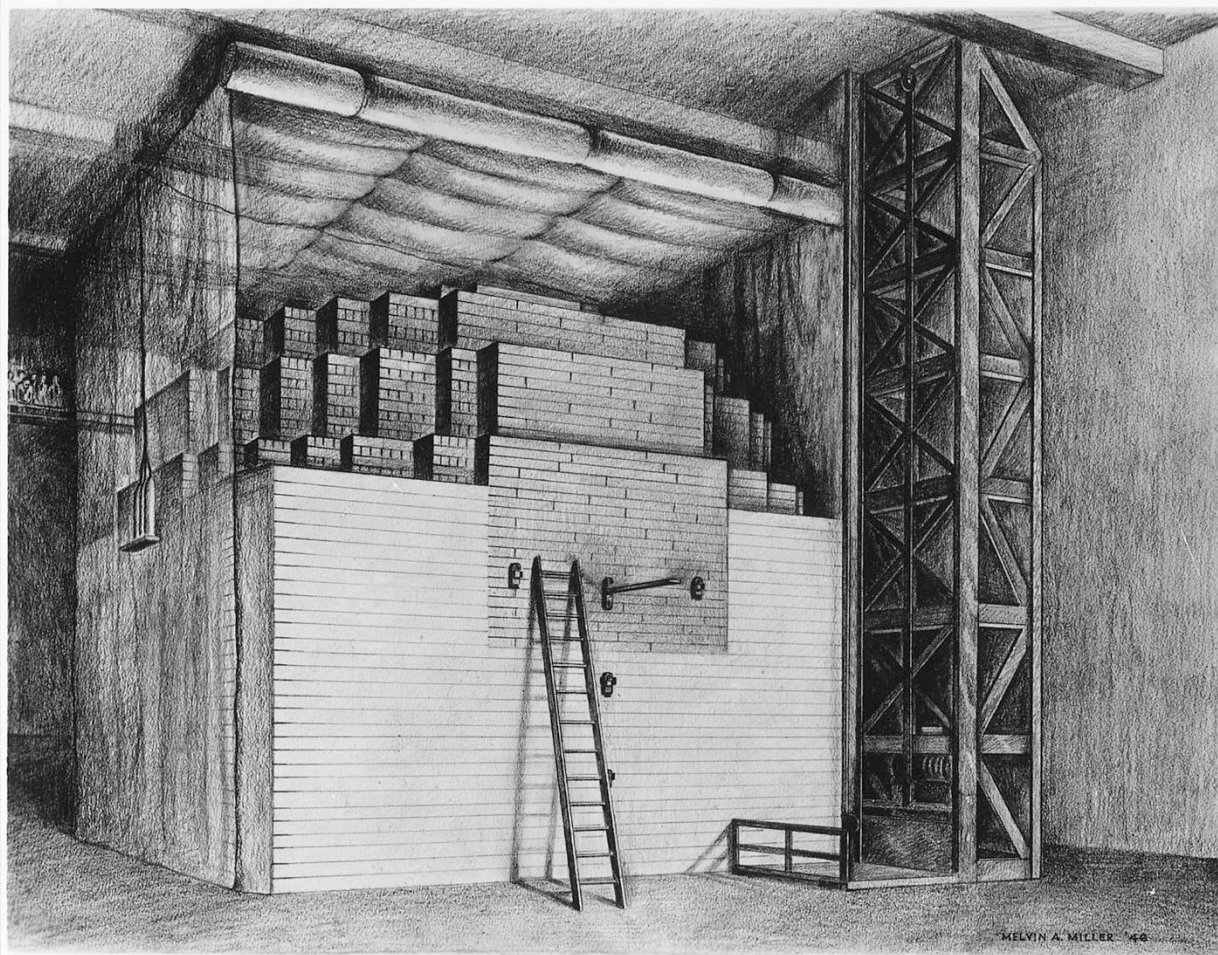
1924-pierwszy reaktor

- Zespół uczonych pod kierunkiem **Enrico Fermiego** (1901-1954) pracował nad wykorzystaniem zjawiska rozszczepienia i przeprowadzeniem reakcji w sposób kontrolowany². Skonstruowany **pierwszy stos atomowy** osiągnął krytyczność. Zbudowany na stadionie University of Chicago w Stagg Field Chicago Pile 1 (CP-1) składał się z około 40.000 bloków grafitowych, specjalnie wyprodukowanych, by wykluczyć możliwość zanieczyszczeń, w których wydrążono około 22.000 otworów, by w nich umieścić kilka ton uranu.

Pierwszy stos



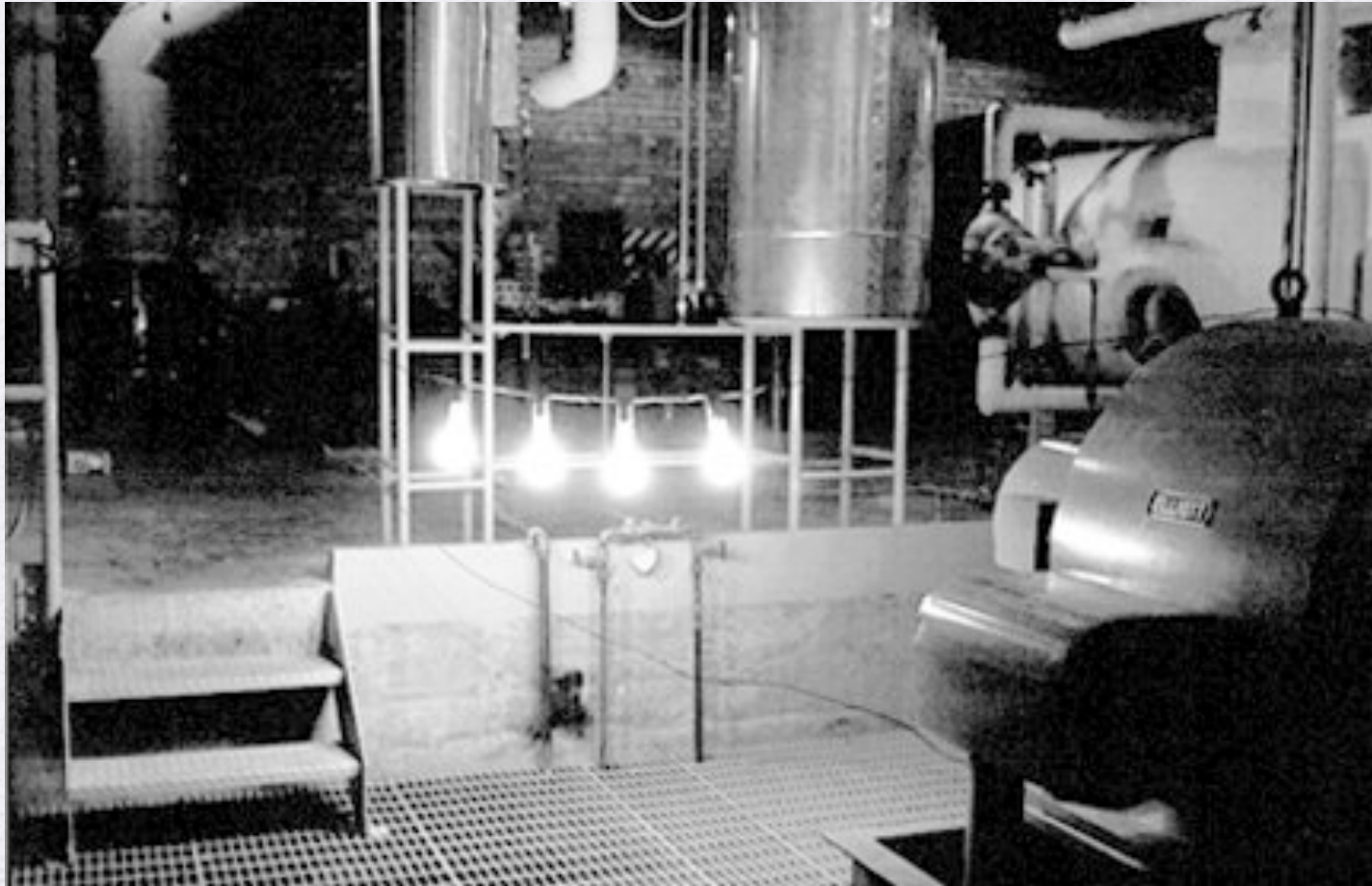
Pierwszy stos atomowy



1951- pierwsza elektrownia jądrowa

- Podczas pierwszego demonstracyjnego pokazu zorganizowanego w grudniu przez Argonne National Laboratory **zaświecono pierwsze cztery żarówki małej mocy, zasilane prądem elektrycznym wytworzonym przy pomocy reaktora jądrowego EBR-1, zlokalizowanego w National Reactor Testing Station w Idaho Falls.** Reaktor EBR-1 był prototypem reaktorów chłodzonych ciekłym metalem.

Pierwsze atomowe żarówki



USS Nautilus1q

- W stoczni Electric Boat Division of General Dynamic w Groton rozpoczęto budowę pierwszego na świecie okrętu podwodnego o napędzie jądrowym **Nautilus (SSN-571)**. Napęd okrętu stanowił reaktor jądrowy S2W firmy **Westinghouse** o mocy 15.000 KM (11.029 kW).



1954- pierwsza eksperymentalna elektrownia w ZSRR

- W **Obnińsku** w b. ZSRR została uruchomiona **pierwsza doświadczalna elektrownia jądrowa** (w skali półtechnicznej) o mocy 6 MW.



1956

- W **Calder Hall** w Wielkiej Brytanii uruchomiono **pierwszą przemysłową elektrownię jądrową** wyposażoną w reaktor chłodzony gazem (GCR - ang. Gas Cooled Reactor).



1958

- Uruchomiono pierwszą komercyjną elektrownię jądrową, wyposażoną w reaktor lekkowodny (PWR) w Shippingport w USA.



1960

- 60 mil na południowy zachód od Chicago w miejscowości Morris uruchomiono **pierwszą komercyjną EJ Dresden wyposażoną w reaktor wodny wrzący**. EJ Dresden była pierwszą EJ w USA wybudowaną bez wsparcia funduszy rządowych.



1962

- Energię elektryczną zaczyna dostarczać **pierwsza kanadyjska elektrownia jądrowa NPD (Nuclear Power Demonstration)** będąca prototypem reaktora CANDU.



1963

- 17 lipca rozpoczęła pracę pierwsza w świecie elektrociepłownia jądrowa w Agesta, która dostarczała ciepło do przedmieść stolicy Szwecji - Farsta. Zainstalowano w niej reaktor ciężkowodny na uranie naturalnym, o mocy 68 MWt oraz 12 MWe.

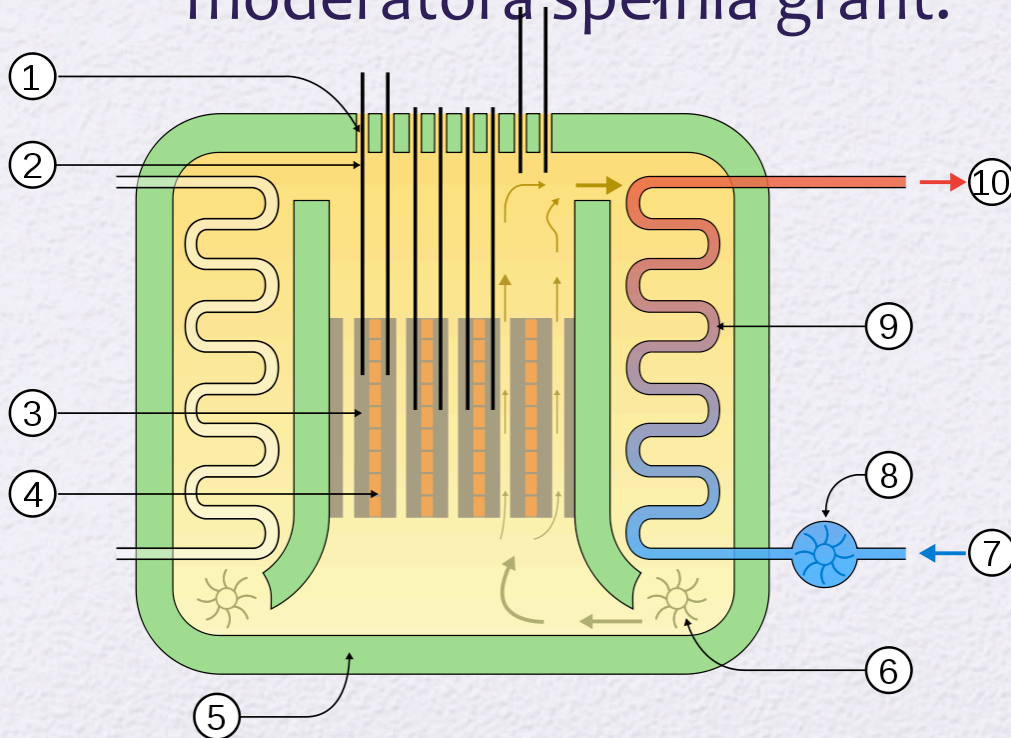
1965

- We Francji uruchomiono pierwsze reaktory jądrowe chłodzone gazem w **Chinon**.



Reaktor chłodzony gazem

- Reaktor chłodzony gazem— rodzaj reaktora jądrowego, w którym czynnikiem chłodzącym jest gaz (dwutlenek węgla, hel, powietrze), a rolę moderatora spełnia grafit.



1. Kanały prętów
2. Pręty kontrolne
3. Moderator grafitowy
4. Zestawy paliwowe
5. Zbiornik ciśnieniowy i osłona
6. Pompy obiegu chłodziwa
7. Woda
8. Pompa obiegu wtórnego
9. Wymiennik ciepła, zwarty w zbiorniku ciśnieniowym
10. Para wodna

1972

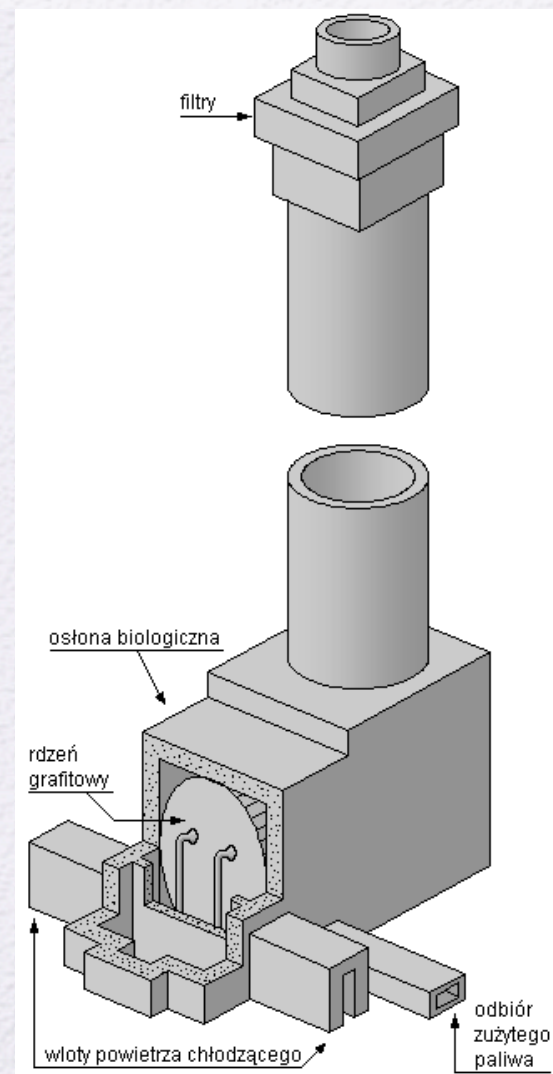
- W **Oklo** w zachodniej Afryce grupa uczonych francuskich odkryła pozostałości po **naturalnym reaktorze jądrowym**.
- Naturalny reaktor jądrowy – złożone rud uranowych, w którym w sposób naturalny doszło do łańcuchowej reakcji jądrowej. Znane są dwa złoża uranu, w których potwierdzono istnienie naturalnych reaktorów jądrowych: w Oklo i Bangombé w Gabonie.

1974

- Opublikowano raport **WASH1400** stanowiący **manifest bezpieczeństwa elektrowni jądrowych**. Określono po raz pierwszy ilościowy sposób oceny poziomu bezpieczeństwa obiektów jądrowych oraz metodykę porównania zagrożeń z obiektami nie jądrowymi.

1957 - katastrofa

- Pożar w Windscale – 10 .10. 1957
grafitowy rdzeń brytyjskiego reaktora w miejscowości Windscale (obecnie w hrabstwie Kumbria), uległ samozapłonowi. Gazy wylotowe porywając materiały radioaktywne zawarte w rdzeniu spowodowały skażenie radioaktywne pobliskiej okolicy



1979 – kolejna katastrofa

- W elektrowni **Three Mile Island** w USA miała miejsce **najpoważniejszą awarią reaktora LWR**. Mimo iż połowa paliwa uranowego znajdującego się w reaktorze uległa stopieniu, awaria nie pociągnęła za sobą ofiar w ludziach, nikt nie doznał nawet uszczerbku na zdrowiu w wyniku napromieniowania. Dzięki systemowi barier, które spełniły swoją rolę, tak jak to przewidzieli konstruktorzy, na zewnątrz elektrowni wydostały się tylko śladowe ilości substancji radioaktywnych. Pomimo to gruntownie zweryfikowano ocenę poziomu bezpieczeństwa, a w wielu elektrowniach dokonano modernizacji układów bezpieczeństwa.

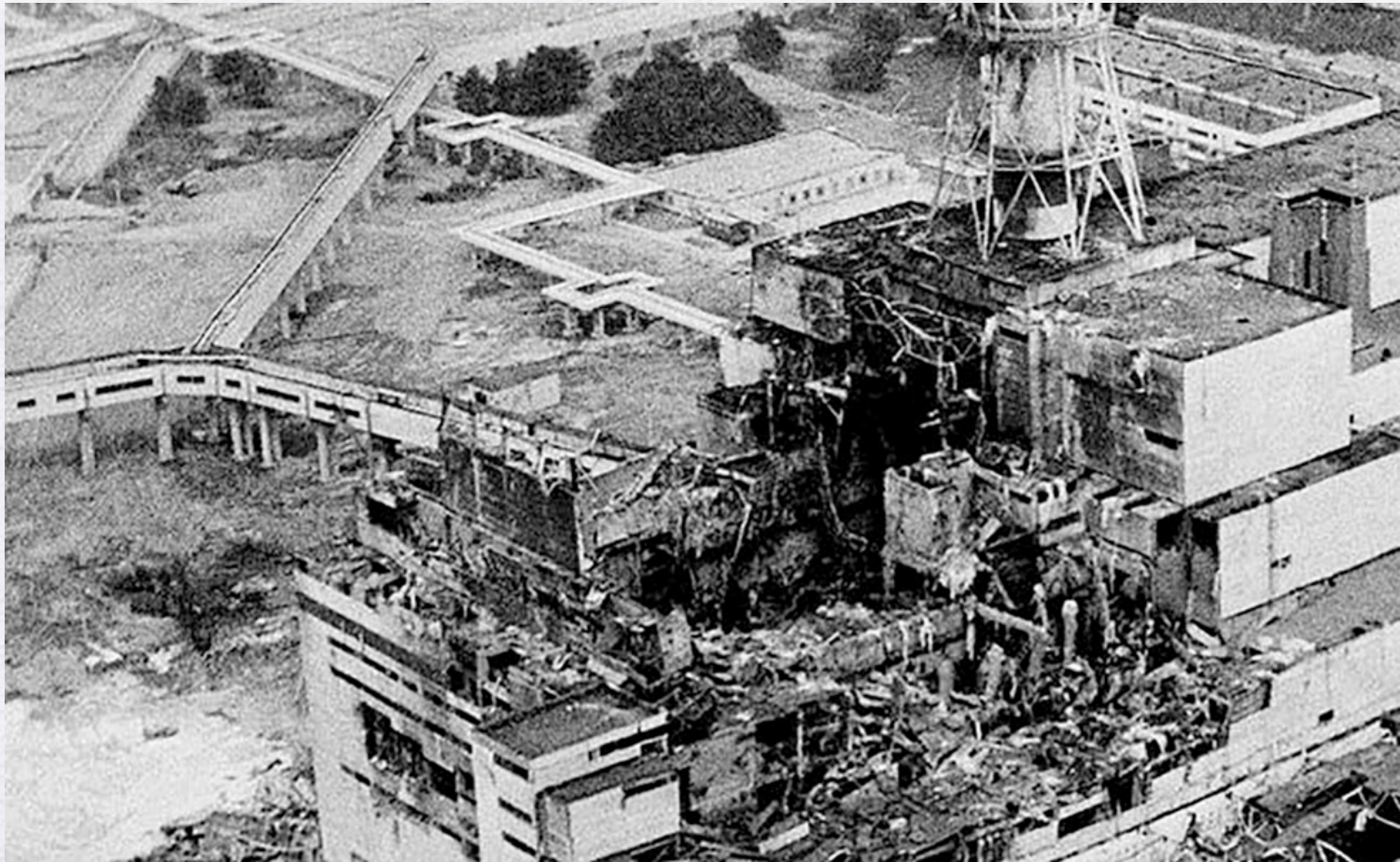
1986 - Czarnobyl

- Katastrofa w Czarnobylu – 26 kwietnia 1986 w reaktorze jądrowym bloku energetycznego nr 4 Czarnobylskiej Elektrowni Jądrowej. **W wyniku awarii przy przegrzaniu się rdzenia reaktora doszło do wybuchu wodoru, pożaru oraz rozprzestrzenienia się substancji promieniotwórczych**
- Była to największa katastrofa w historii energetyki jądrowej i jedna z największych katastrof przemysłowych XX wieku. Razem z katastrofą w elektrowni jądrowej Fukushima I została zakwalifikowana do siódmego, najwyższego stopnia w skali INES

Czarnobyl

- W wyniku całkowitego zniszczenia reaktora skażeniu promieniotwórczemu uległ obszar od 125 000 do 146 000 km² terenu na pograniczu Białorusi, Ukrainy i Rosji, a wyemitowana z uszkodzonego reaktora chmura radioaktywna rozprzestrzeniła się po całej Europie. W efekcie skażenia ewakuowano i przesiedlono ponad 350 000 osób

Po katastrofie...



Czarnobyl w sakrofagu



Nowa osłona zniszczonego reaktora



Katastrofa w Fukushima

- Katastrofa Elektrowni Atomowej Fukushima Nr 1 – w 2011 roku w wyniku tsunami spowodowanego przez trzęsienie ziemi u wybrzeży Honsiu, w tym druga awaria stopnia 7.
- **W reaktorach nr 1, 2 i 3 doszło do stopienia rdzeni.** Emisja materiałów radioaktywnych katastrofa była równa katastrofie jądrowej w Czarnobylu lub od niej większa; Ilość uwolnionego materiału promieniotwórczego wynosiła ok. 10% tego. Koszt awarii ponad 188 mld dolarów

Przyczyny katastrofy w Fukushima

- Po wyłączeniu reaktorów ustał proces wytwarzania elektryczności. W normalnej sytuacji systemy kontroli i chłodzenia elektrowni zasilane są w takim przypadku z sieci zewnętrznej. Tym razem było to jednak niemożliwe z powodu uszkodzeń sieci elektrycznej, będących następstwem trzęsienia ziemi. **Działające w sytuacji awaryjnej generatory prądotwórcze Diesla włączyły się prawidłowo, zatrzymały się jednak nagle, pozbawiając elektrownię zasilania prądem.**

Katastrofa w Fukushima

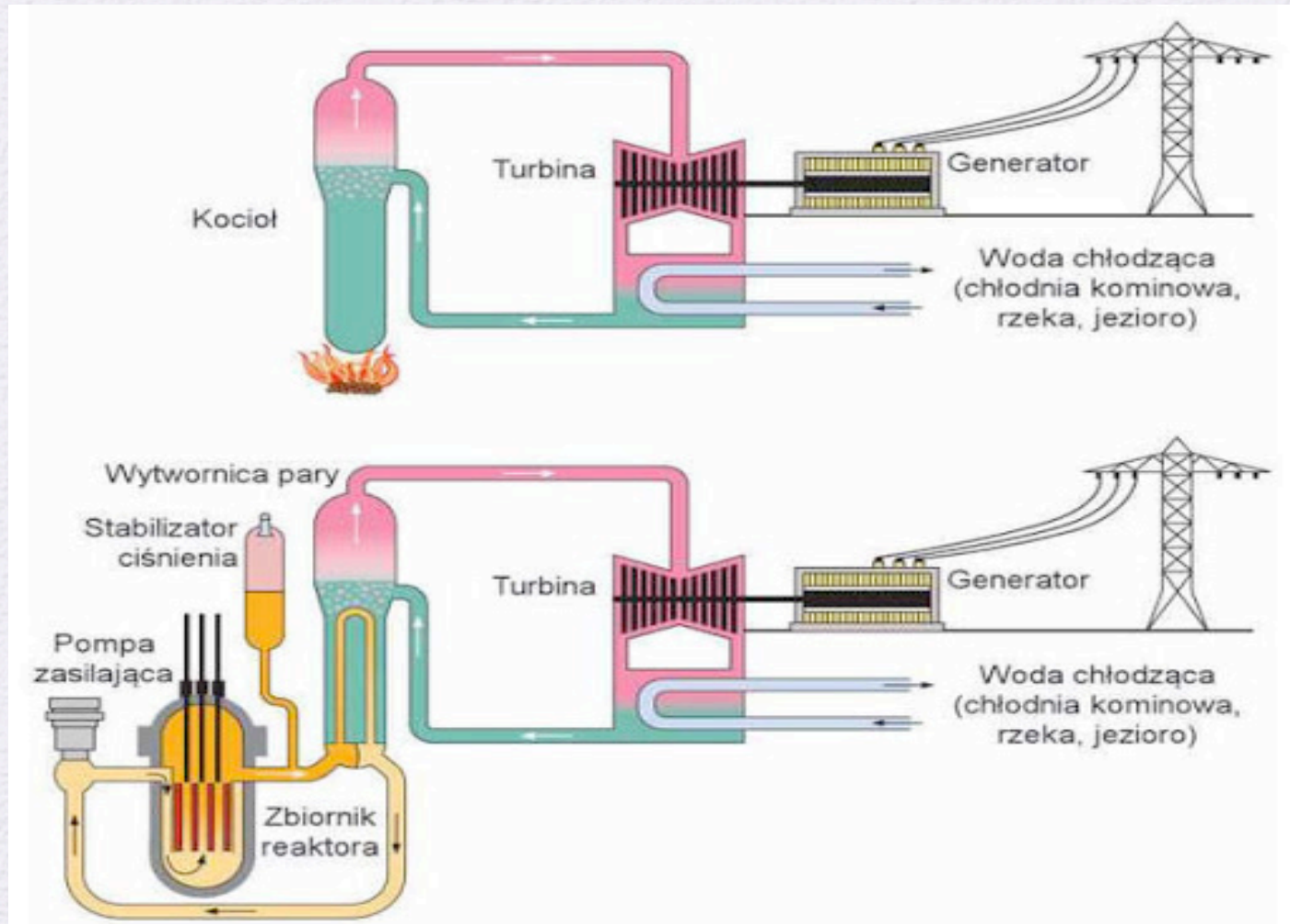


Elektrownia atomowa

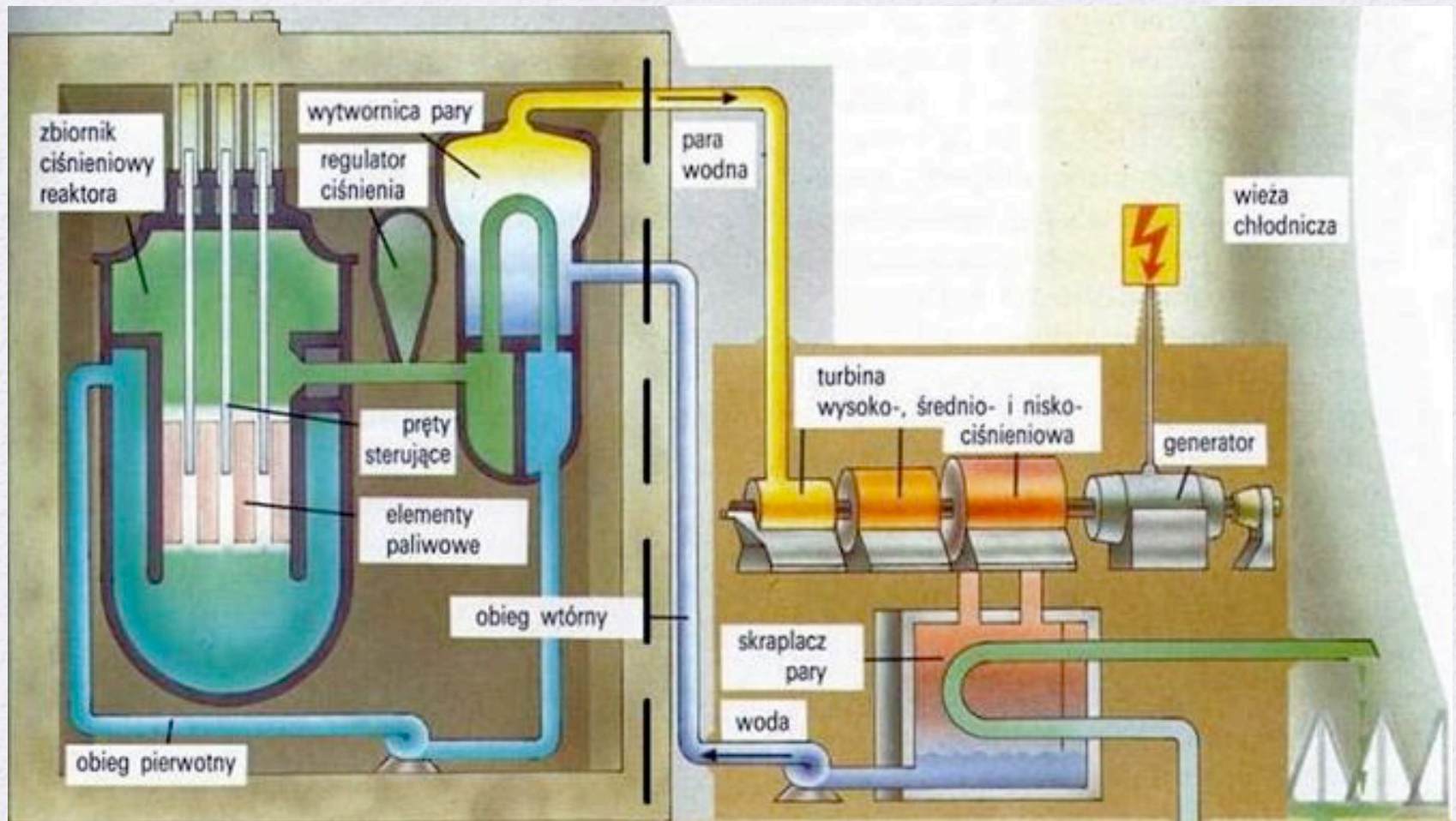
- **Elektrownia jądrowa, nazywana elektrownią atomową** – obiekt przemysłowo-energetyczny (elektrownia cieplna), wytwarzający energię elektryczną poprzez wykorzystanie energii pochodzącej z rozszczepienia jąder atomów.



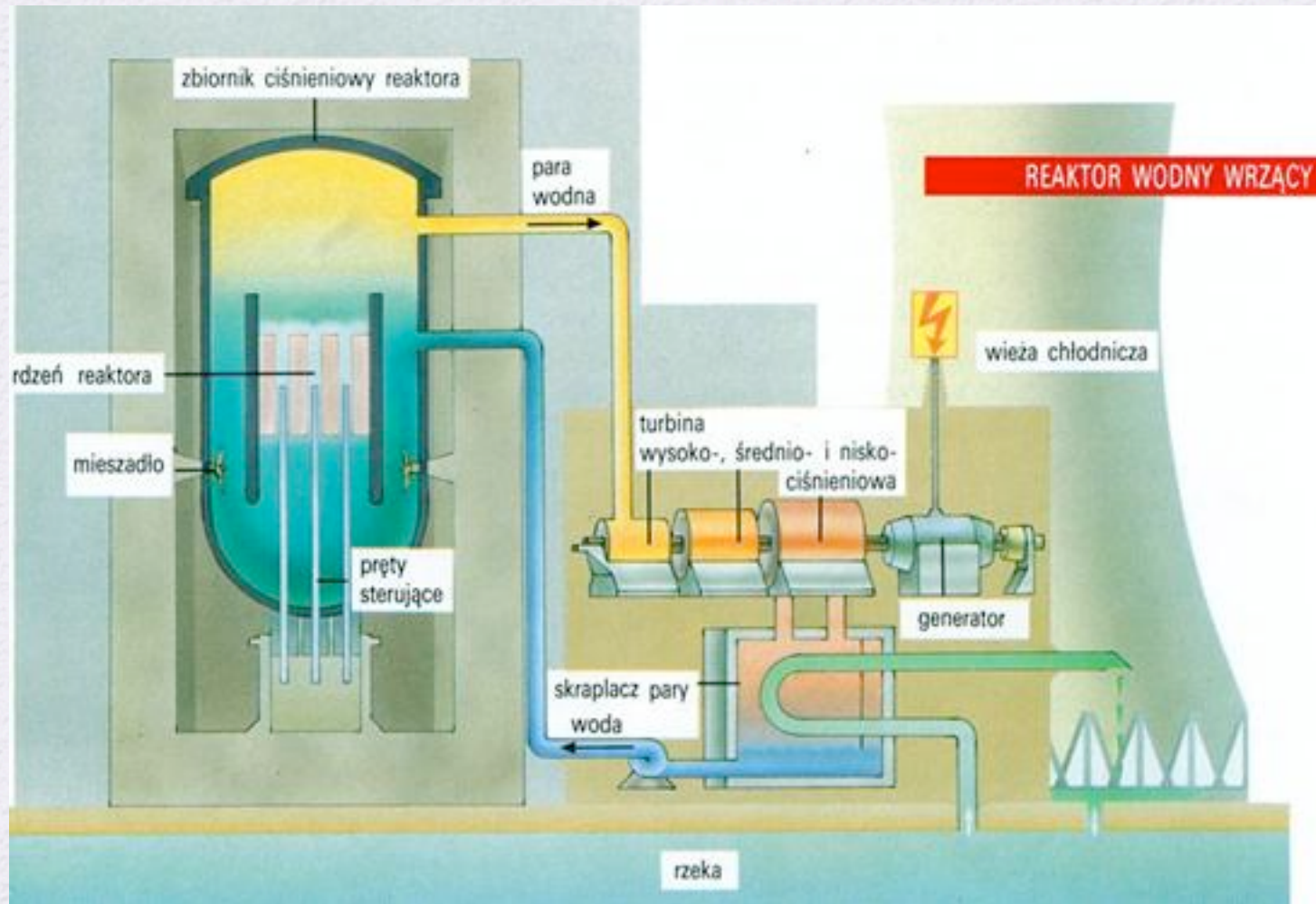
Elektrownia konwencjonalna a jądrowa



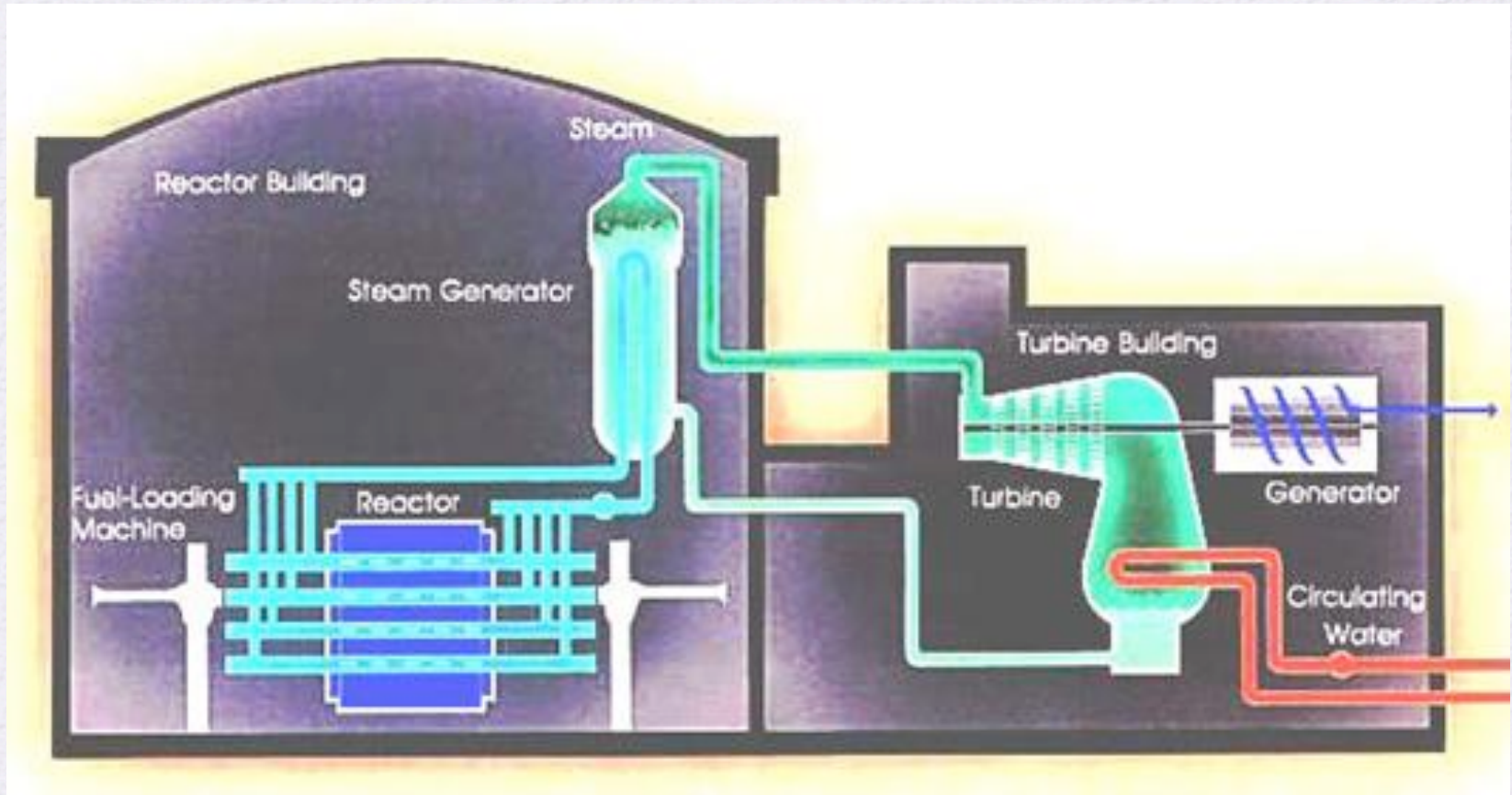
Budowa elektrowni jądrowej- reaktor wodny ciśnieniowy



Elektrownia z reaktorem wodnym wrzącym



Reaktor chłodzony ciężką wodą



Reaktor jądrowy

- Reaktor jądrowy – urządzenie, w którym przeprowadza się z kontrolowaną szybkością reakcje jądrowe; na obecnym etapie rozwoju nauki i techniki są to przede wszystkim reakcje rozszczepienia jąder atomowych. Reakcje te mają charakter łańcuchowy – produkty reakcji (w tym głównie neutrony) mogą zainicjować kilka następnych. Aby uniknąć lawinowego wzrostu szybkości reakcji, reaktor dzieli się na strefy wypełnione na przemian paliwem, chłodziwem oraz moderatorem, czyli substancją spowalniającą neutrony. Szybkość reakcji kontrolowana jest m.in. przez zmianę wzajemnego położenia lub proporcji tych składników, a także przez wprowadzanie dodatkowych substancji pochłaniających lub spowalniających neutrony, zawartych 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 m.in. bor i kadm, natomiast jako moderatorów używa się m.in. berylu, grafitu, a także wody, pełniącej równocześnie funkcję chłodziwa.

Rodzaje reaktorów

- **Reaktory termiczne (reaktory na neutronach termicznych)** – w reaktorach tych rozszczepienie jest wywoływane głównie przez neutrony o niewielkiej energii, zwane neutronami termicznymi. Większość obecnie funkcjonujących reaktorów jest reaktorami tego typu. Neutrony powstające w wyniku rozszczepienia jąder mają dużą energię kinetyczną (2–5 MeV) i w reaktorach tego typu są spowalniane do energii kinetycznej ruchu cieplnego (mniej niż 0,1 eV).
- **Reaktory termiczne klasyfikuje się ze względu na główny czynnik spowalniający neutrony na:**
 - moderowane grafitem,
 - moderowane i chłodzone ciężką wodą,
 - moderowane i chłodzone wodą (lekkowodne),
 - moderowane i chłodzone stopionymi solami,
 - moderowane i chłodzone stopionymi metalami.
- **Reaktory epitermiczne** – neutrony są spowalniane tylko częściowo.
- **Reaktory prędkie (reaktory na prędkich neutronach)** – wykorzystują neutrony prędkie, o energii takiej jaką mają po rozszczepieniu. Reaktory te nie mają moderatora spowalniającego neutrony, ale wymagają paliwa o większym wzbogaceniu (co najmniej 20% ^{235}U). Mogą jednak lepiej wykorzystać paliwo i wytwarzać izotopy łatwo rozszczepialne.

Rodzaje reaktorów

- **reaktory wodne, ciśnieniowe (tzw. PWR i WWER)**, w których chłodziwem i moderatorem jest zwykła woda pod ciśnieniem (na tyle wysokim by woda nie zaczęła wrzeć podczas normalnej pracy reaktora).
- **reaktory wodne, wrzące (BWR)**, w których chłodziwem i moderatorem jest również zwykła woda, ale wrząca,
 - wyjątkowymi reaktorami wodnymi, wrzącymi są **reaktory kanałowe wielkiej mocy (RBMK) (tego typu reaktory były między innymi w Czarnobylu oraz w innych elektrowniach na terenie byłego ZSRR)**, chłodzone są wodą wrzącą w kanałach paliwowych, a moderowane grafitem.
- **reaktory ciężkowodne (PHWR np. Reaktor jądrowy ciężkowodny (CANDU))**, chłodziwem i moderatorem jest ciężka woda,
- **reaktory gazowe (GCR, AGR, HTGR)**, w których chłodziwem jest gaz (dwutlenek węgla lub hel), a moderatorem grafit,
- **chłodzone stopionym metalem**, zazwyczaj są to reaktory prędkie w tym i powielające (LMFR). Chłodziwem są najczęściej stopione metale: sód, rzadziej ołów.
- **reaktory solne (MSR)**, gdzie chłodziwem są stopione sole, najczęściej fluoru.

Generacje reaktorów jądrowych

- I– reaktory prototypowe i doświadczalne reaktory różnej konstrukcji energia przez nie wytwarzana nie jest wykorzystywana w celach komercyjnych lub wykorzystywane w niewielkim stopniu. Konstruowane głównie w latach 1942–1954.
- II– reaktory wykorzystywane do celów komercyjnych, skonstruowane przed katastrofą elektrowni jądrowej w Czarnobylu (1986 rok), większość współcześnie funkcjonujących reaktorów komercyjnych.
- III– ulepszone reaktory II generacji. W latach 80. XX w. spadek cen prądu elektrycznego, niższe koszty produkcji energii ze źródeł konwencjonalnych oraz mniejsze zaangażowanie państw w dotacje do energetyki atomowej wymusiło zmiany mające na celu poprawę efektywności elektrowni jądrowych. Katastrofa w Czarnobylu wymusiła zwiększenie zabezpieczeń przed skażeniem[4].
- IV– najnowsze, w fazie projektów, gdzie kładziony jest nacisk na zmniejszenie oddziaływania na środowisko, zwiększenie bezpieczeństwa i niezawodności, a także ograniczenie możliwości wykorzystania materiałów i urządzeń do produkcji broni jądrowej. Konieczność ograniczenia spalania paliw kopalnych wymusza szukanie nowych bezpiecznych, wydajnych i tanich źródeł energii w tym energii jądrowej. Nowe konstrukcje reaktorów energetycznych, muszą spełniać surowe wymagania dotyczące bezpieczeństwa, zużycia paliwa jądrowego, wytwarzania i gospodarowania odpadami promieniotwórczymi. Wymusza to szukanie nowych konstrukcji nad którymi prowadzone są prace badawczo rozwojowe.

Generacje reaktorów

The Evolution of Nuclear Power

Generation I

Early Prototype Reactors



- Shippingport
- Dresden, Fermi I
- Magnox

Generation II

Commercial Power Reactors



- LWR-PWR, BWR
- CANDU
- VVER/RBMK
- AGR

Generation III

Advanced LWRs



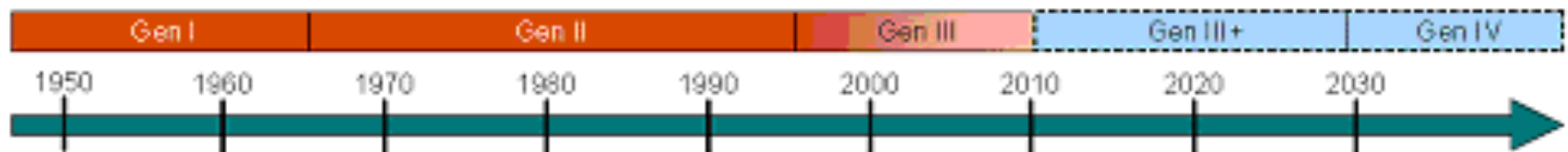
- ABWR
- System 80+
- AP600
- EPR

Generation III+

Generation III Evolutionary Designs Offering Improved Economics

Generation IV

- Highly Economical
- Enhanced Safety
- Minimize Wastes
- Proliferation Resistant



Reaktor na stopionych solach

Reaktor torowy na ciekłych fluorkach (akronim LFTR, wym. lifter; z ang. Liquid Fluoride Thorium Reactor) – koncepcja termicznego reaktora powielającego, pracującego w cyklu paliwowym toru, w którym ciekłe sole fluorków osiągają wysokie temperatury, przy ciśnieniu atmosferycznym.

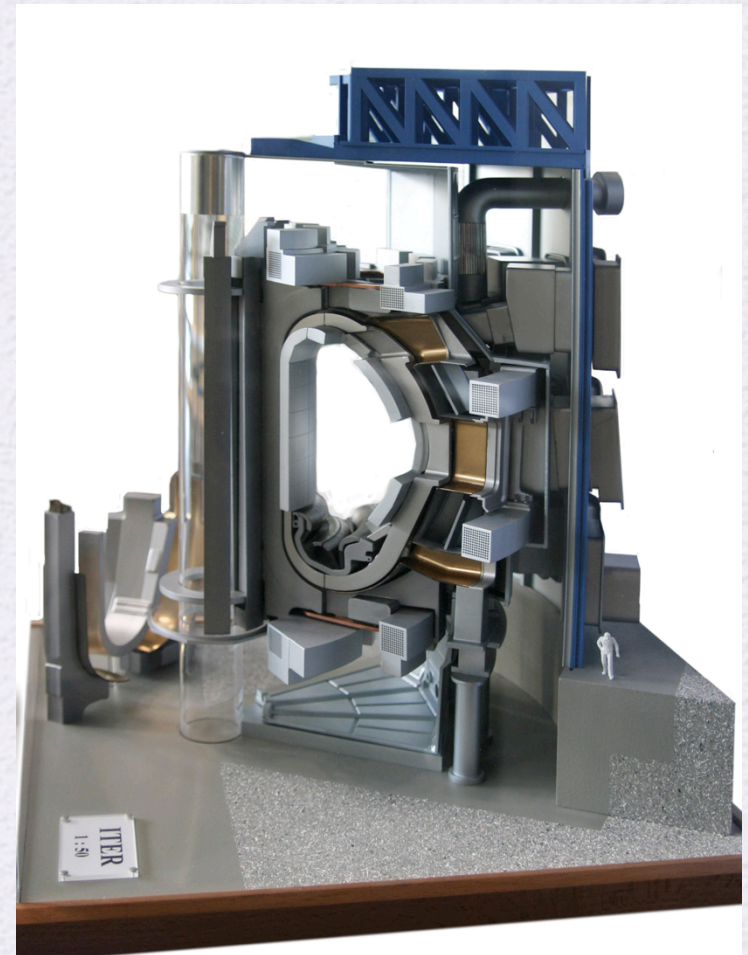
LFTR stanowi odmianę torowego reaktora na stopionych solach (Thorium Molten Salt Reactor, TMSR). Ta zasadniczo odmienna koncepcja przyszłościowych reaktorów ciekłosolnych (Molten Salt Reactors, MSR), znamienna jest tym, że paliwo jądrowe, jak i materiał paliworodny są rozpuszczone w chłodziwie i występują w postaci ciekłych, stopionych soli. Nie należy mylić tych ciekłosolnych i jednocześnie ciekłopaliwowych konstrukcji z odmiennymi typami reaktorów wysokotemperaturowych (Fluoride High-temperature Reactors, FHR), których paliwo występuje w postaci stałej i w których proponuje się jedynie zastosować chłodzenie ciekłymi solami[1].

Przyszłość – reakcja termojądrowa

- Tokamak - „toroidalna komora z cewką magnetyczną”) – urządzenie do przeprowadzania kontrolowanej reakcji termojądrowej. Główna komora ma kształt torusa. Dzięki elektromagnesom tworzony jest pierścień plazmy. Komora wypełniona jest zjonizowanym gazem (deuterem albo mieszaniną deuteru i trytu). Zmienne pole magnetyczne pochodzące z transformatora indukuje prąd elektryczny w pierścieniu gazu. Prąd ten powoduje wyładowania w gazie. Zachodzi jeszcze większa jego jonizacja i ogrzewanie. W końcu tworzy się gorąca plazma. Gorąca plazma jest utrzymywana w zwartym słupie wewnątrz pierścienia dzięki silnemu polu magnetycznemu.

ITER

- ITER (ang. International Thermonuclear Experimental Reactor – Międzynarodowy Eksperymentalny Reaktor Termonuklearny) – reaktor termonuklearny, jak również międzynarodowy program badawczy z nim związany, którego celem jest zbadanie możliwości produkowania na wielką skalę energii z kontrolowanej fuzji jądrowej.



Energetyka jądrowa w Europie

- 1 HOLLANDIA
- 1 SŁOWENIA
- 2 BUŁGARIA
- 2 RUMUNIA
- 4 WĘGRY
- 4 SŁOWACJA
- 5 FINLANDIA
- 6 CZECHY
- 7 BELGIA
- 7 HISZPANIA
- 8 NIEMCY
- 10 SZWECJA
- 15 UKRAINA
- 15 WIELKA BRYTANIA
- 36 ROSJA
- 58 FRANCJA

REAKTORY JĄDROWE W EUROPIE



Elektrownie atomowe wokół Polski



Elektrownie jądrowe na świecie

POTENCIAL PRODUKCJI URANU ORAZ ENERGII JĄDROWEJ

