

WSTĘP DO ENERGETYKI JĄDROWEJ

Adam Rajewski

Warszawa
Politechnika Warszawska

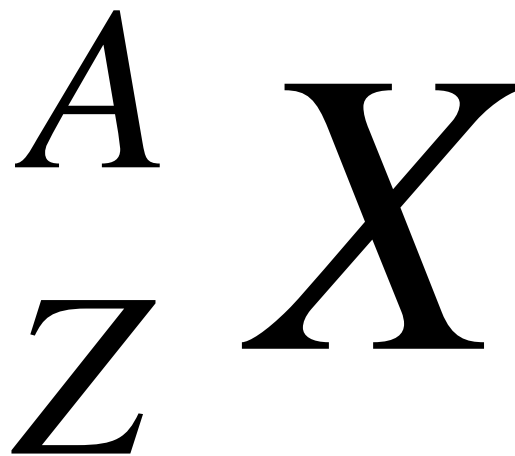


SKĄD TA ENERGIA?

$$E = mc^2$$

JĄDRO ATOMOWE

- Z protonów
- N neutronów
- $A = Z + N$



ILE WAŻY JĄDRO?

- Z protonów
- N neutronów

$$M = N \cdot m_n + Z \cdot m_p$$

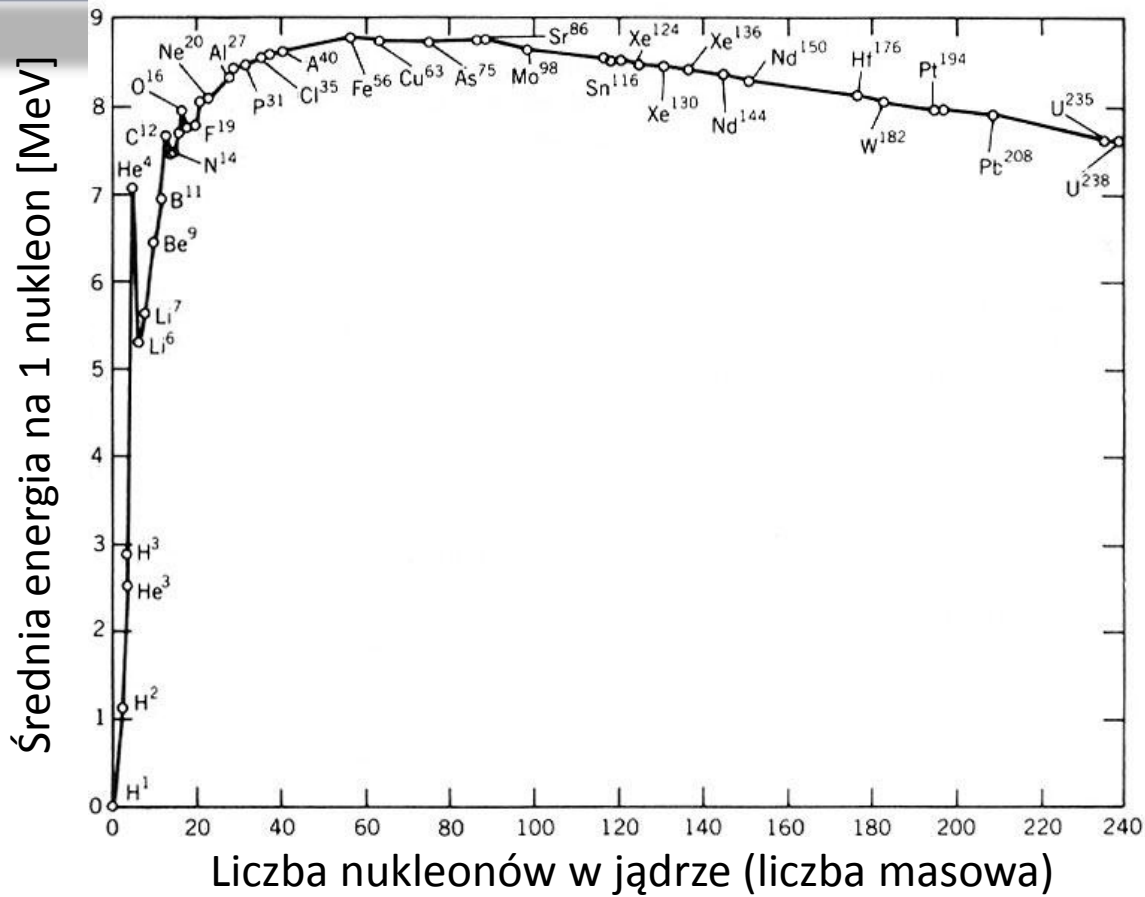
$$M < N \cdot m_n + Z \cdot m_p$$

**Defekt
masy**

$$\Delta m = \frac{E_w}{c^2}$$

**Energia
wiązania**

ENERGIA WIĄZANIA





IZOTOPY ROZSZCZEPIALNE

U-233

U-235

Pu-239

Pu-241



IZOTOPY RODNE

Th-232 → U-233

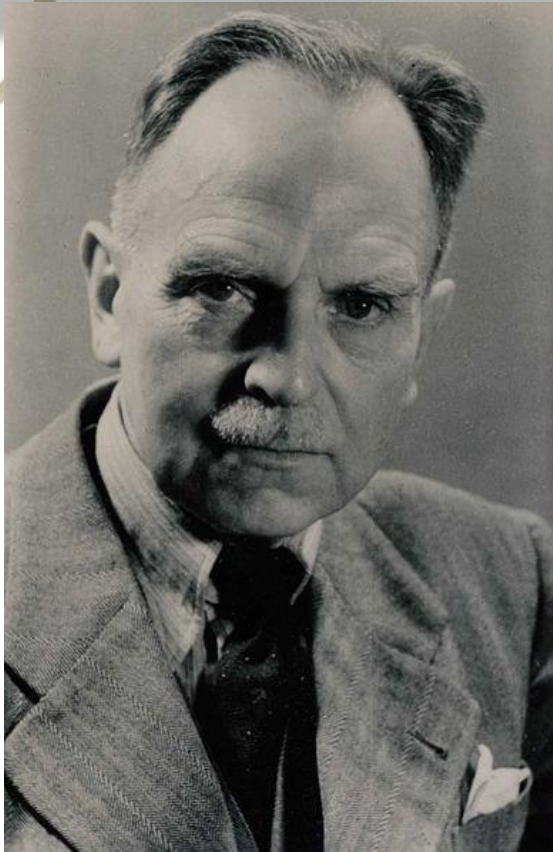
U-234 → U-235

U-238 → Pu-239


Pu-238 → Pu-239

Pu-240 → Pu-241

JAK ROZBIĆ JĄDRO ATOMOWE?



- Otto Hahn (1879-1968)
- 17 grudnia 1938 – pierwsze potwierdzone rozszczepienie jądra uranu
- 15 listopada 1945 – nagroda Nobla w dziedzinie chemii



REAKCJE JĄDROWE Z NEUTRONAMI (NAJWAŻNIEJSZE)

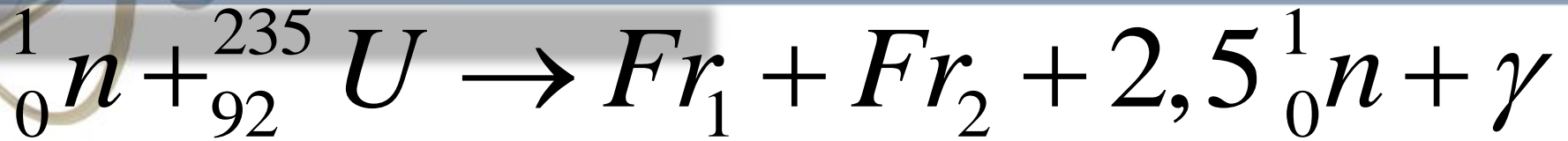
Pochłanianie

- Rozszczepienie (n,f)
- Wychwył radiacyjny (n, γ)

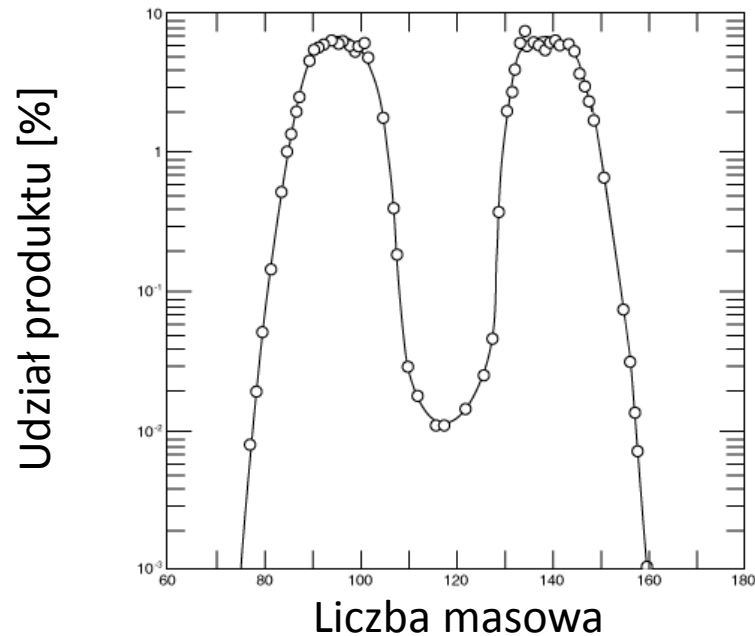
Rozproszenie

- Sprężyste (n,n)
- Niesprężyste (n,n')

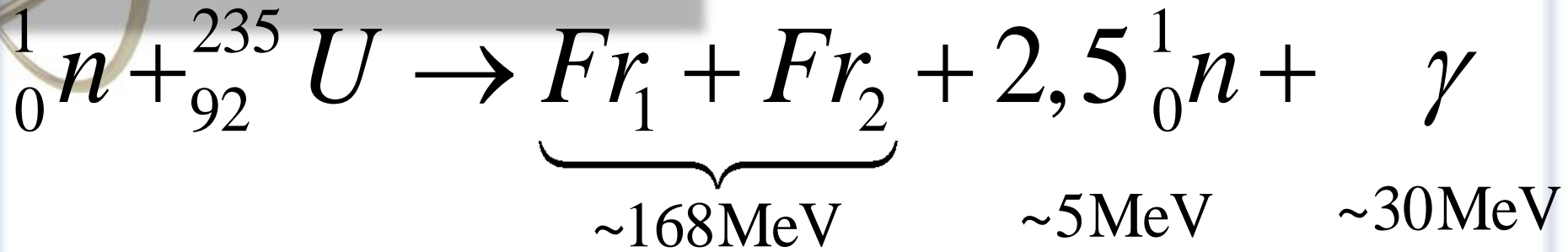
ROZSZCZEPIENIE URANU



Rozszczepienie U-235 neutronami termicznymi



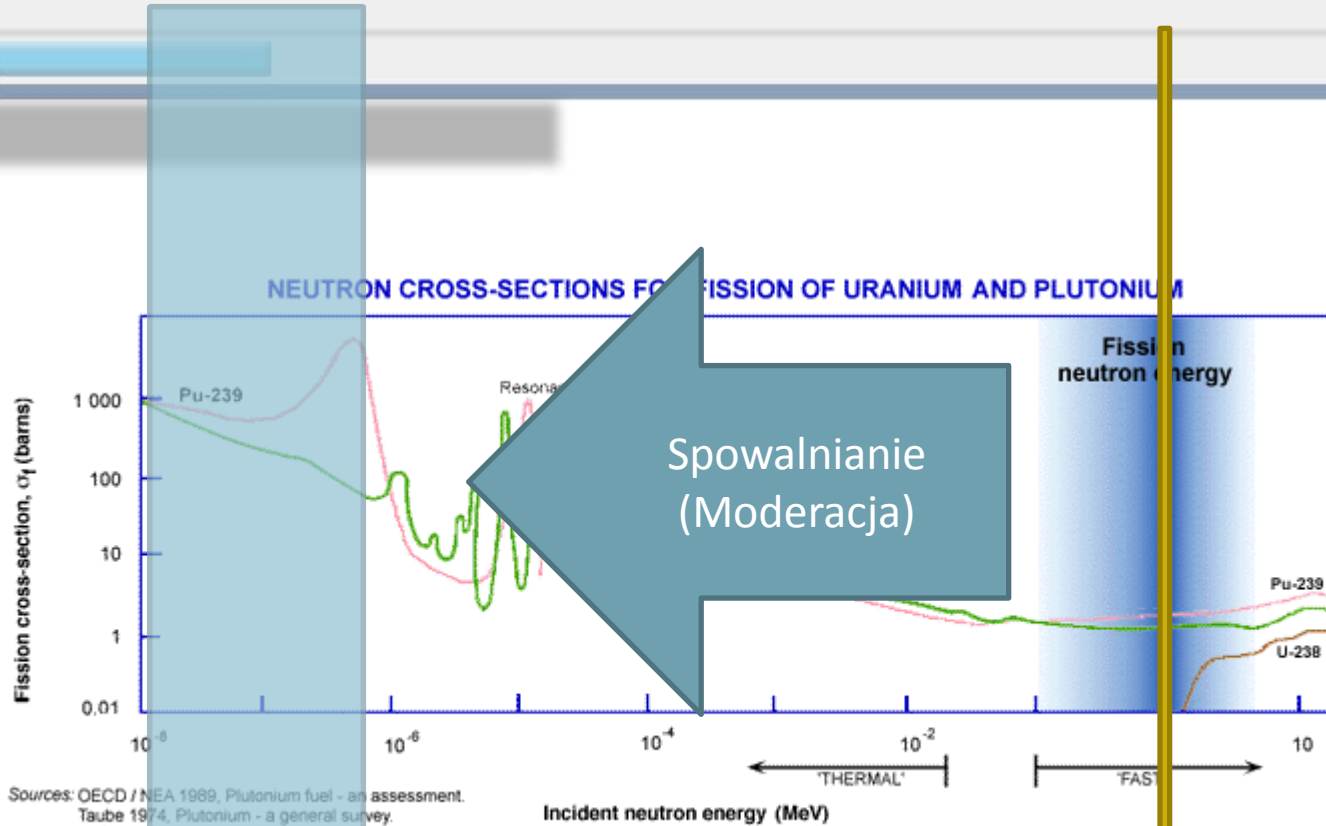
GDZIE TA ENERGIA?



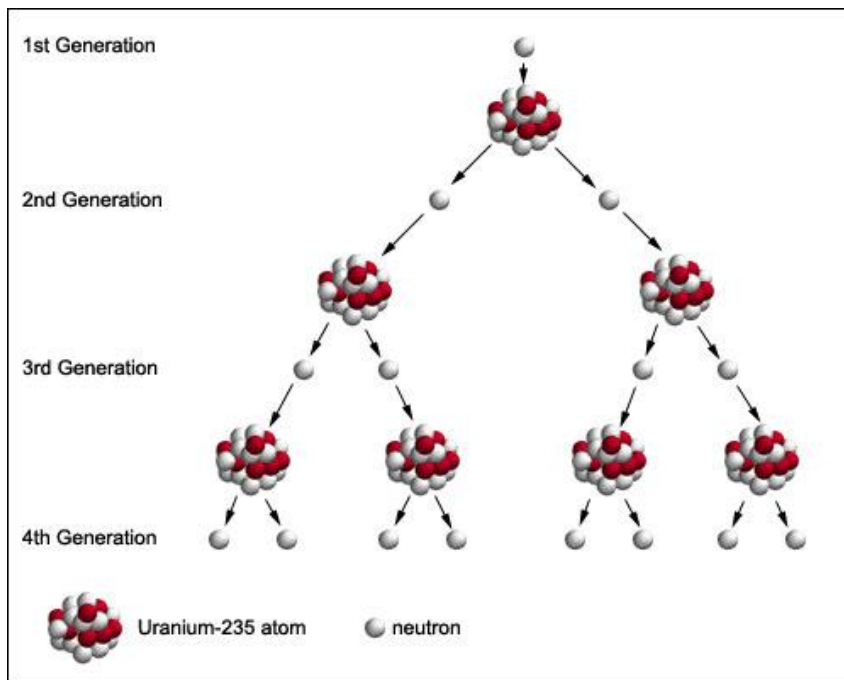
„A single atom is such a small thing that to talk about its energy in joules would be inconvenient. But instead of taking a definite unit in the same system, like 10^{-20} J, [physicists] have unfortunately chosen, arbitrarily, a funny unit called an electronvolt (eV) ... I am sorry that we do that, but that's the way it is for the physicists.”

R. Feynman (1961)

ENERGIA NEUTRONU



REAKCJA ŁAŃCUCHOWA



- Masa krytyczna
- „Gospodarka” neutronowa
 - Spowalnianie
 - Zawracanie



CZYM SPOWALNIAĆ?

- Moderacja = rozpraszanie sprężyste
- Moderator idealny:
 - Niska masa atomowa
 - Dobrze odbija neutrony
 - Nie pochłania neutronów



STOSOWANE MODERATORY

Wodór (prot – ^1H)

- W formie wody
- Pochłania sporo neutronów – wymaga wzbogacenia uranu

Deuter (^2H , ^2D)

- W formie ciężkiej wody
- Umożliwia stosowanie uranu naturalnego
- Drogi

Węgiel

- Na ogół w postaci grafitu
- Umożliwia (czasami) stosowanie uranu naturalnego

Beryl

- Drogi
- Toksyczny

Lit (^7Li)

- W formie fluorku litu



ODBIERANIE ENERGII

- W skali mikro – energia kinetyczna
- W skali makro – ciepło
- Odbieranie energii = chłodzenie reaktora
- Chłodziwo:
 - Duża pojemność cieplna
 - Nieagresywne chemicznie
 - Niepochłaniające neutronów



STEROWANIE REAKCJĄ

- Pręty regulacyjne
 - Wsuwane do rdzenia
 - Wykonane z materiału silnie pochłaniającego neutrony (np. bor)
- Dodatek kwasu borowego do chłodziwa
- Regulacja natężenia przepływu wody (moderatora) przez rdzeń (reaktory BWR)



WYKORZYSTYWANE PALIWA:

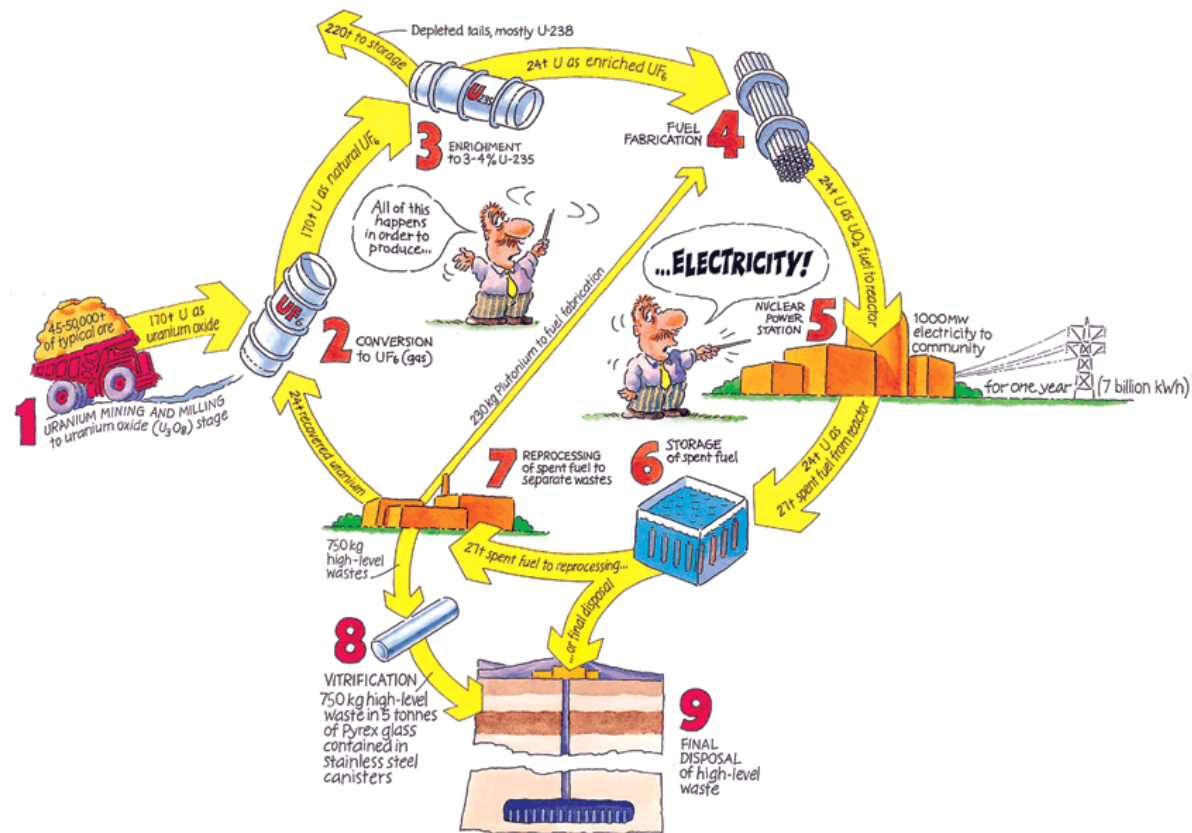
Uran-235

- Na ogół w postaci UO_2
- Wydobywany ze źródeł naturalnych
- Na ogół wzbogacony do 4-5% U-235

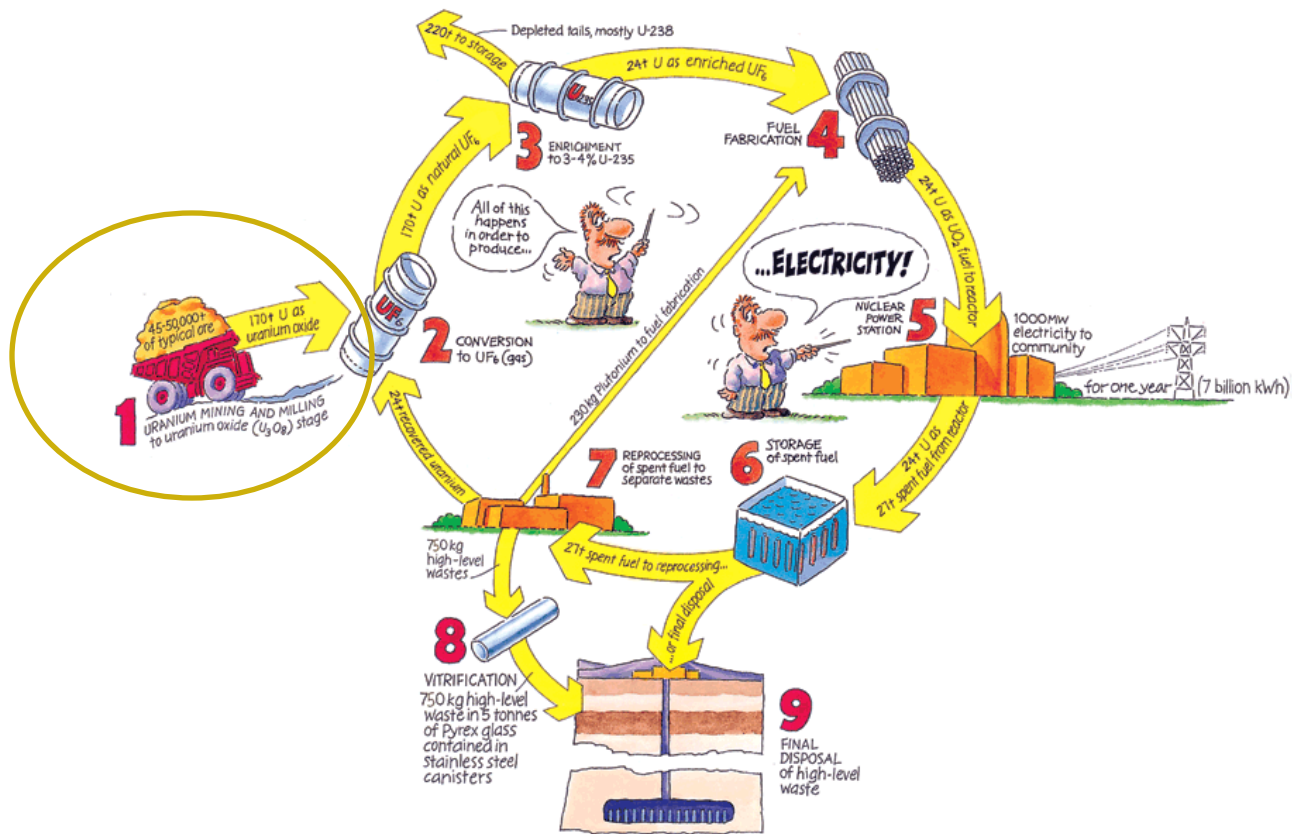
MOX – Mixed Oxide Fuel

- Mieszanka tlenków uranu i plutonu
- Pluton z recyklingu wypalonych elementów paliwowych
- Pluton z rozebranych głowic jądrowych

CYKL PALIWOWY



WYDOBYCIE RUDY URANU



WYDOBYCIE RUDY URANU



RUDY URANU



Uraninit – UO_2



Skłodowskit – $\text{Mg}(\text{UO}_2)_2(\text{HSiO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$



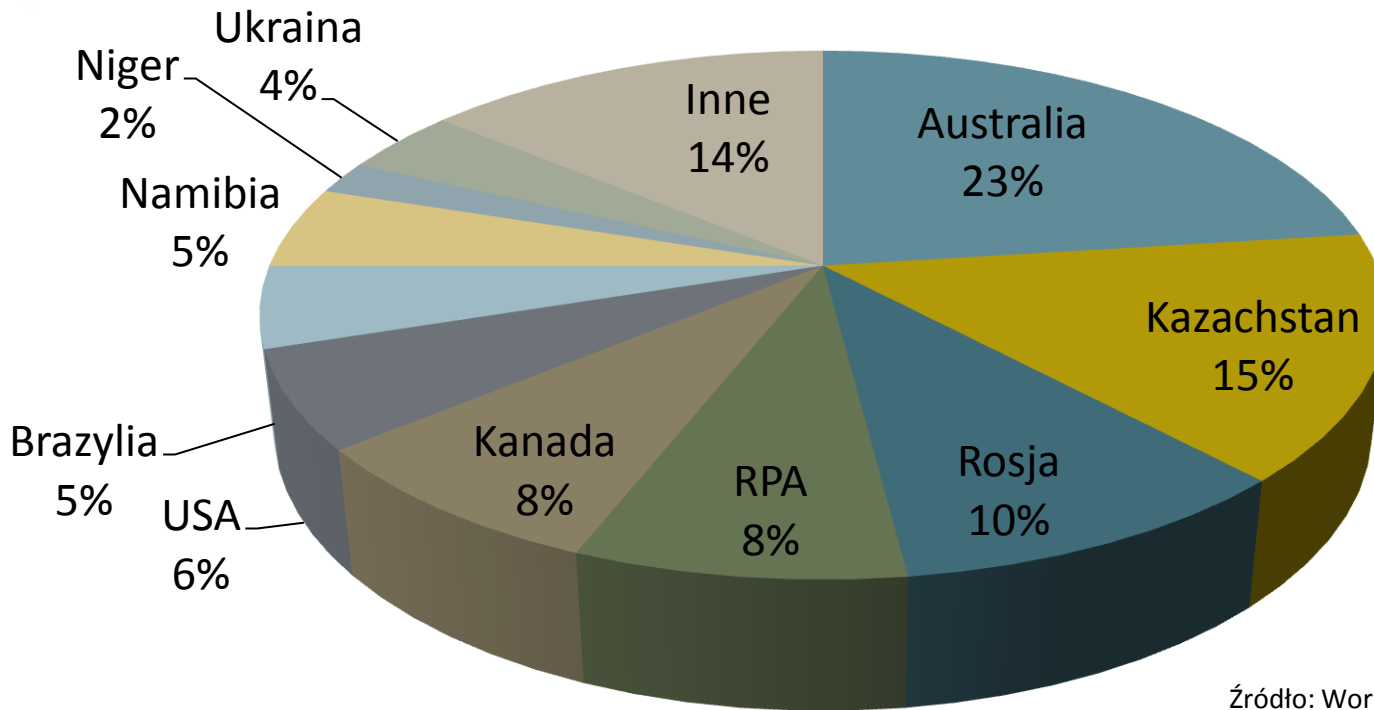
Karnotyt – $\text{K}_2(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$



Autunit- $\text{CaO}(\text{UO}_3)_2\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

Przykładowe minerały uranu

ŚWIATOWE ZASOBY URANU



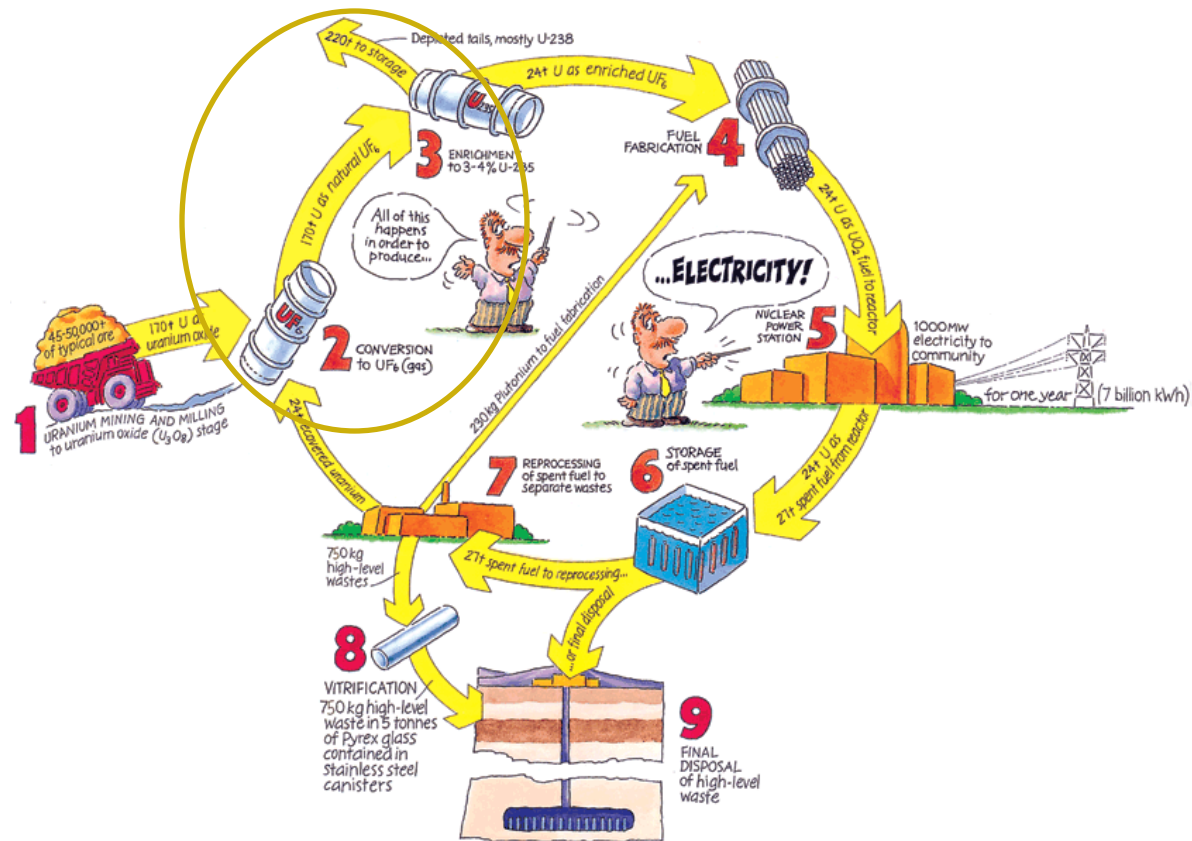
Źródło: World Nuclear Association

YELLOWCAKE



- Koncentrat uranowy
- ~80% U_3O_8
- Stabilny chemicznie

WZBOGACANIE URANU

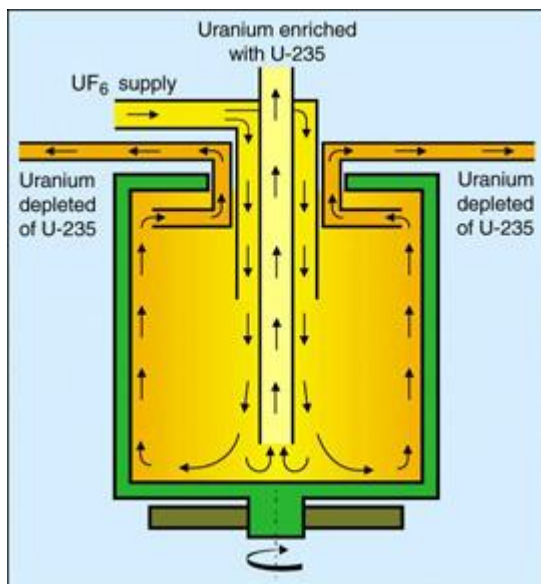




WZBOGACANIE URANU

- Uran naturalny zawiera tylko 0,72% U-235
- Dla większości reaktorów potrzeba 3-4% U-235
- Wzbogacanie = zwiększanie zawartości U-235 w ogólnej masie uranu
- Metody fizyczne – oparte o różnicę mas
- Wzbogacanie prowadzone w postaci gazowej UF₆

WIRÓWKI DO WZBOGACANIA URANU

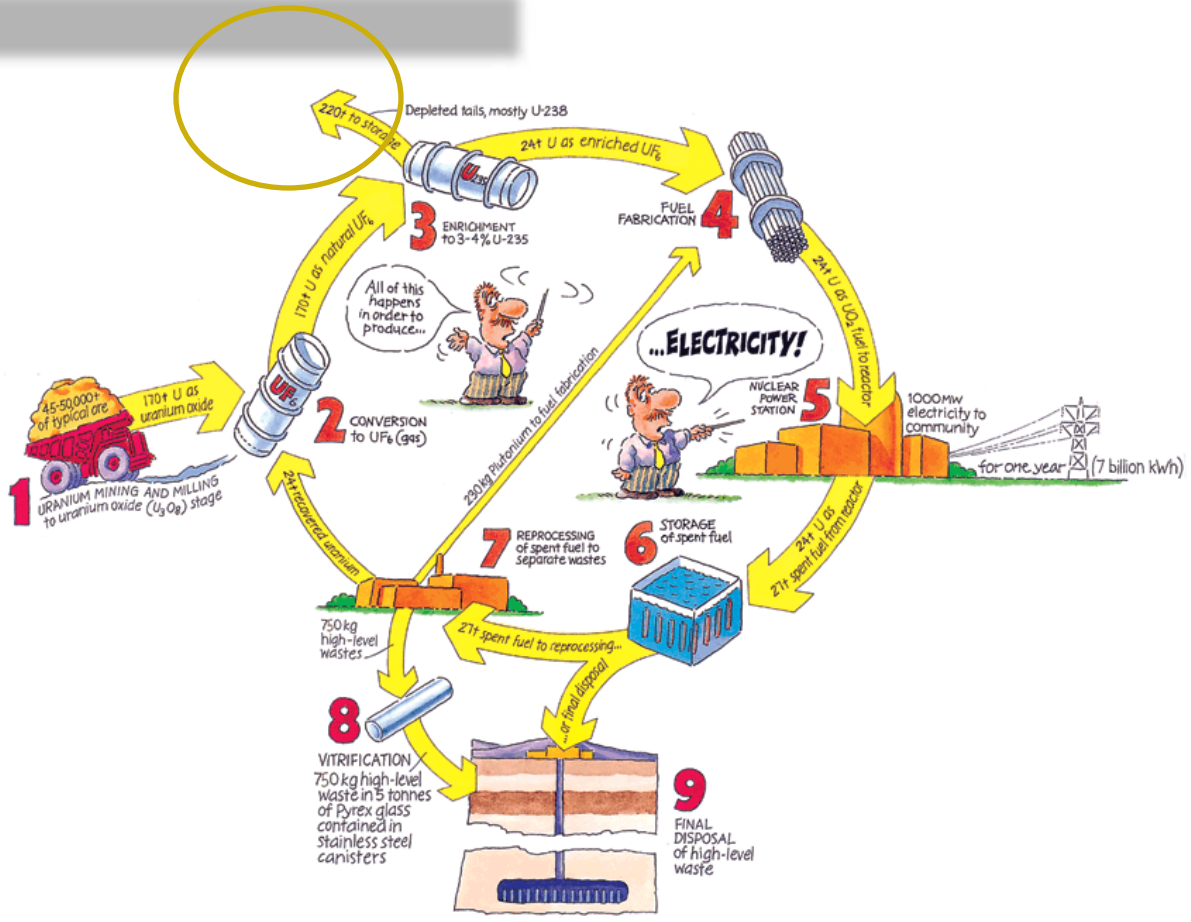


- Wykorzystanie różnicy mas izotopów (235 lżejszy od 238)
- Lżejszy U-235 koncentruje się w rejonie osi wirówki
- Dla wzbogacenia konieczne wielokrotne wirowanie – kaskada wirówek

KASKADA WIRÓWEK

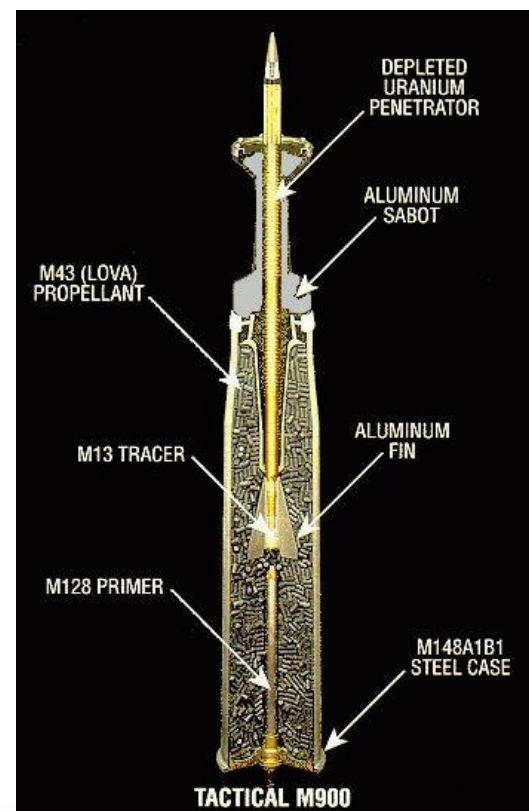


A CO Z RESZTĄ?

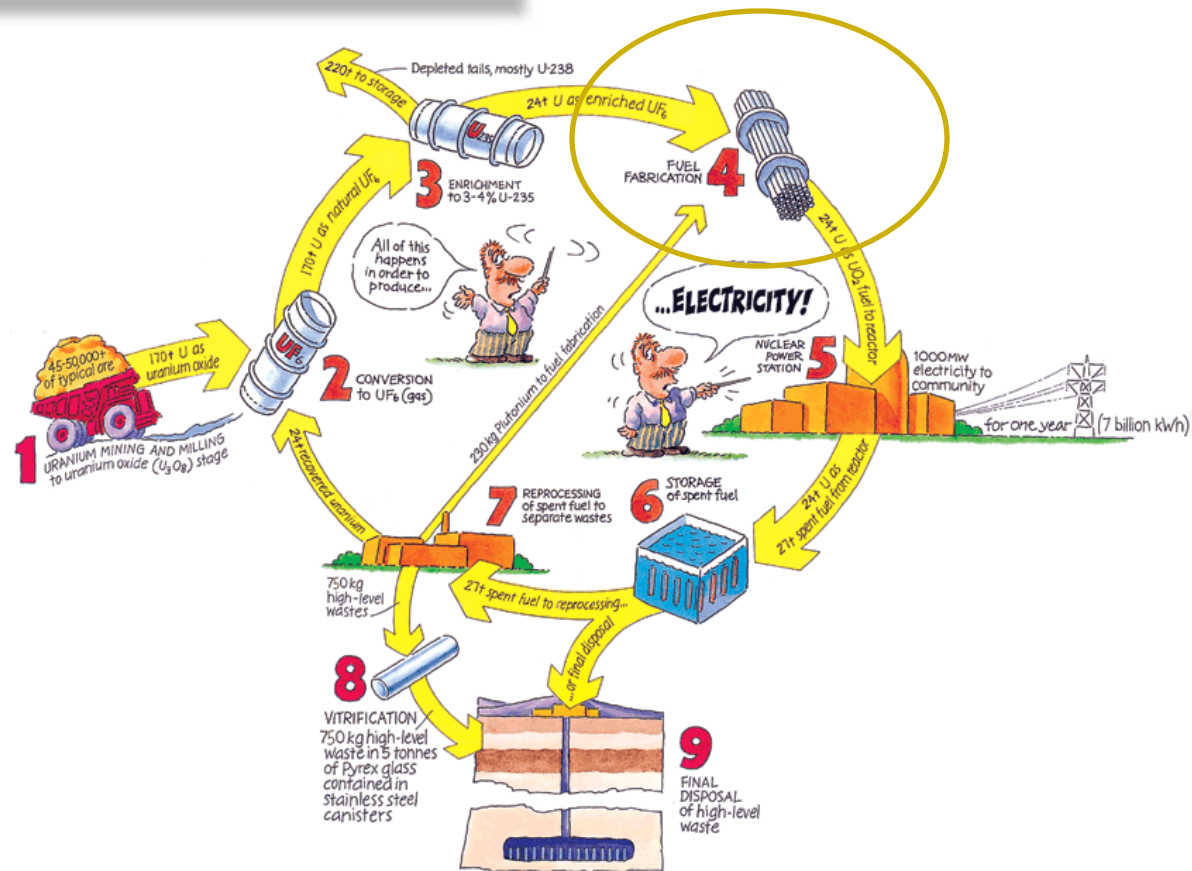


ZASTOSOWANIA URANU ZUBOŻONEGO

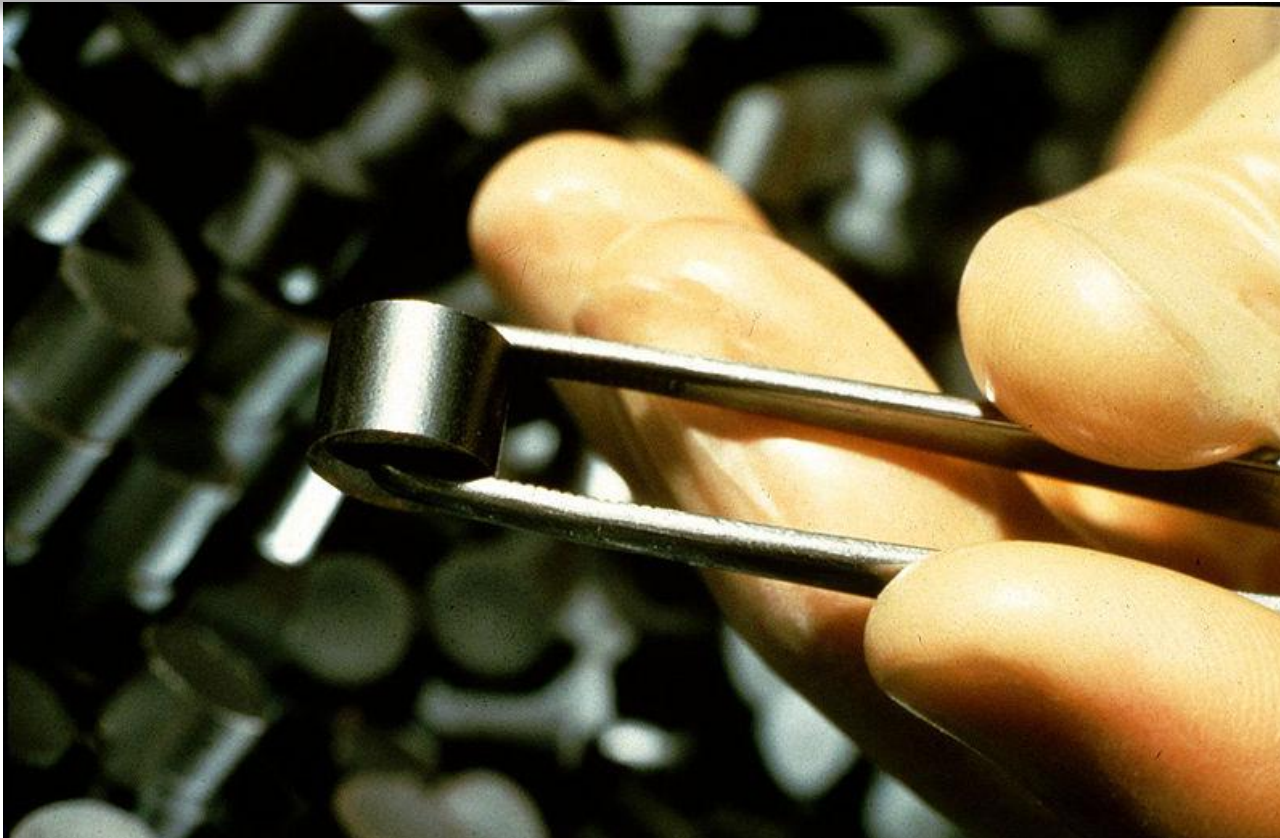
- Osłony przeciwradiacyjne (np. w medycynie)
- Barwnik
- Przeciwwagi w samolotach
- Pancerze
- Pociski przeciwpancerne



PRODUKCJA PALIWA

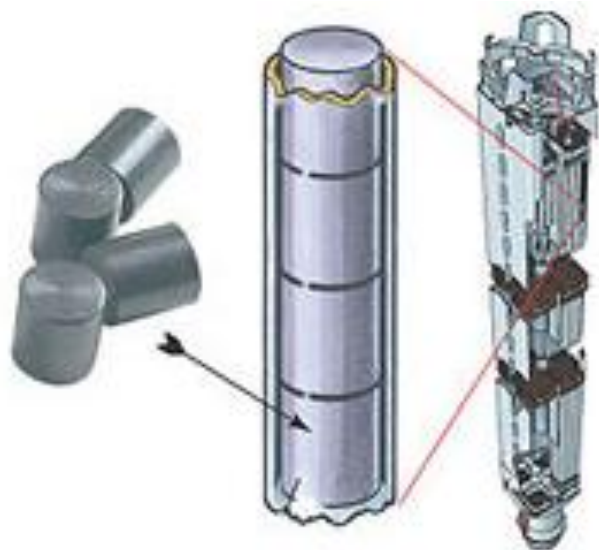


PALIWO JĄDROWE - PASTYLKI UO₂



Źródło: NRC

PALIWO JĄDROWE



Dwutlenek uranu



Pastyłki paliwowe



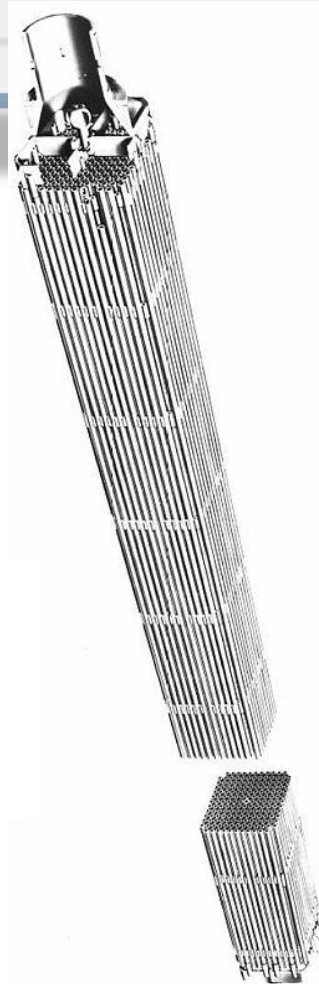
Pręty paliwowe



Kasety paliwowe



KASETA PALIWOWA



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

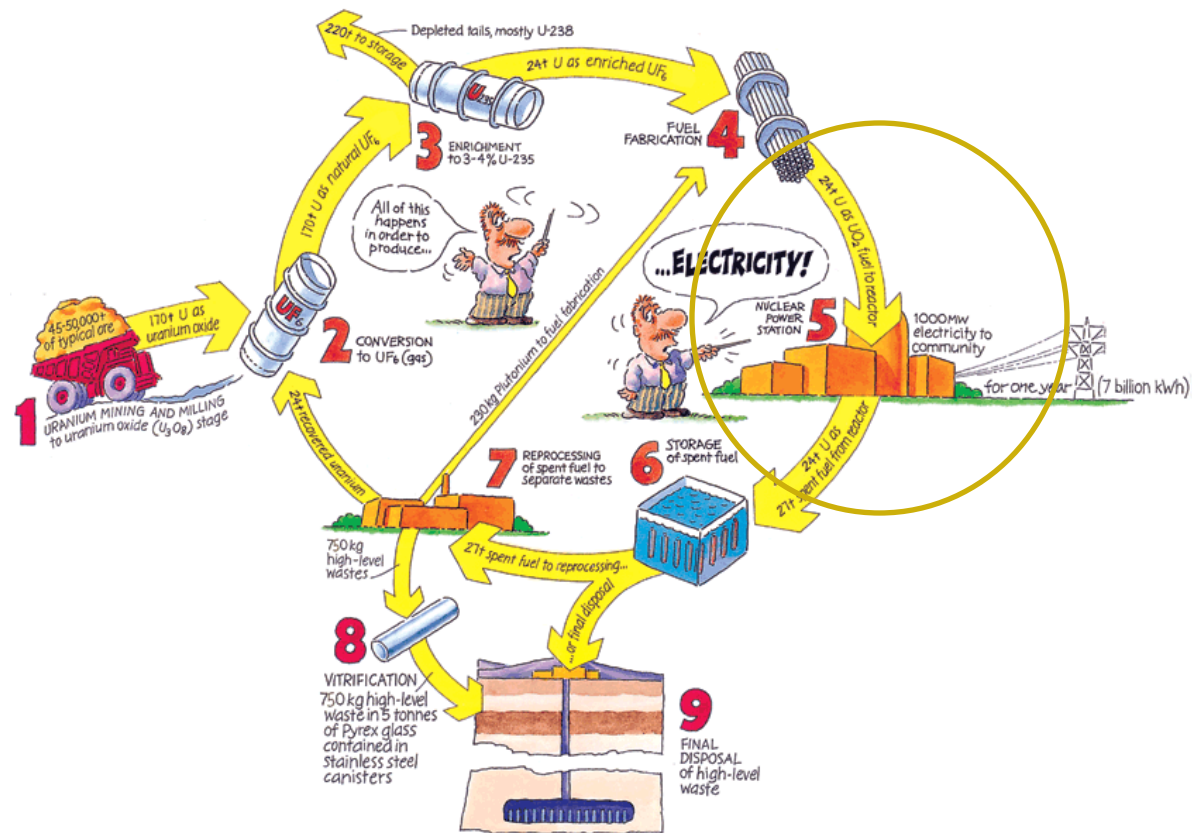


Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego
"Zwiększenie liczby absolwentów Politechniki Częstochowskiej na kierunkach technicznych, przyrodniczych i matematycznych"
Numer projektu: UDA - POKL.04.01.02-00-128/09-00

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

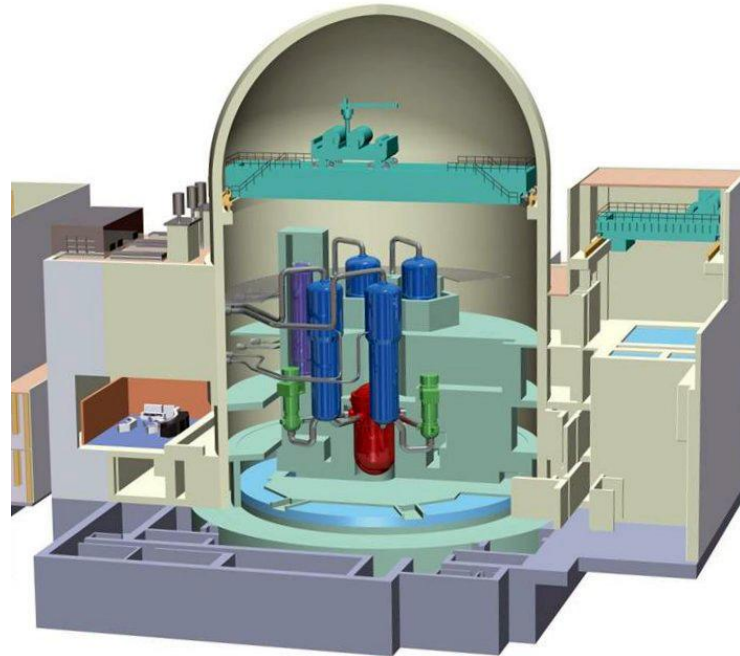


WYKORZYSTANIE PALIWA



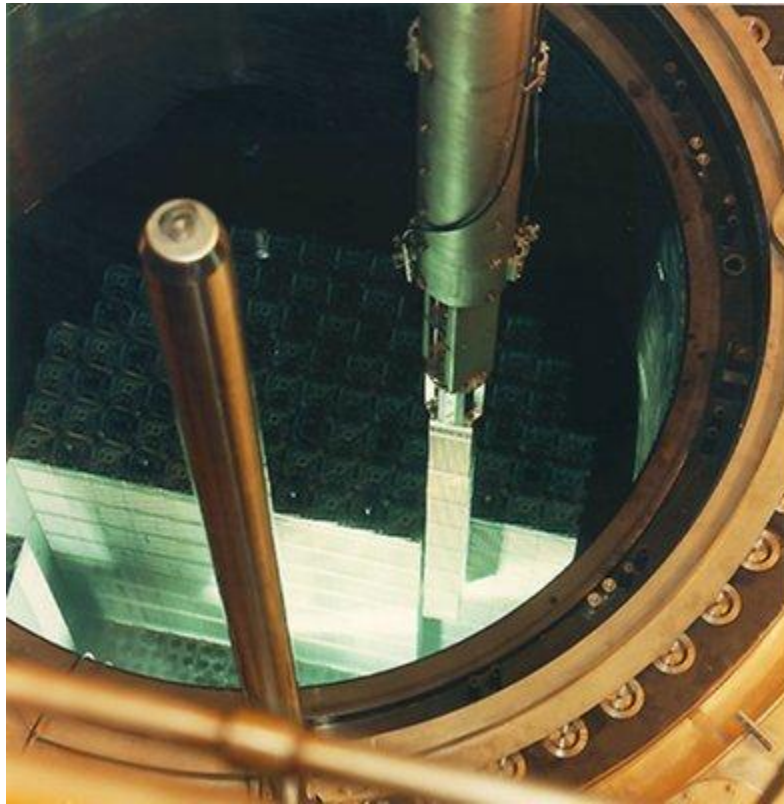
REAKTOR JĄDROWY

Typical Pressurized Water Reactor

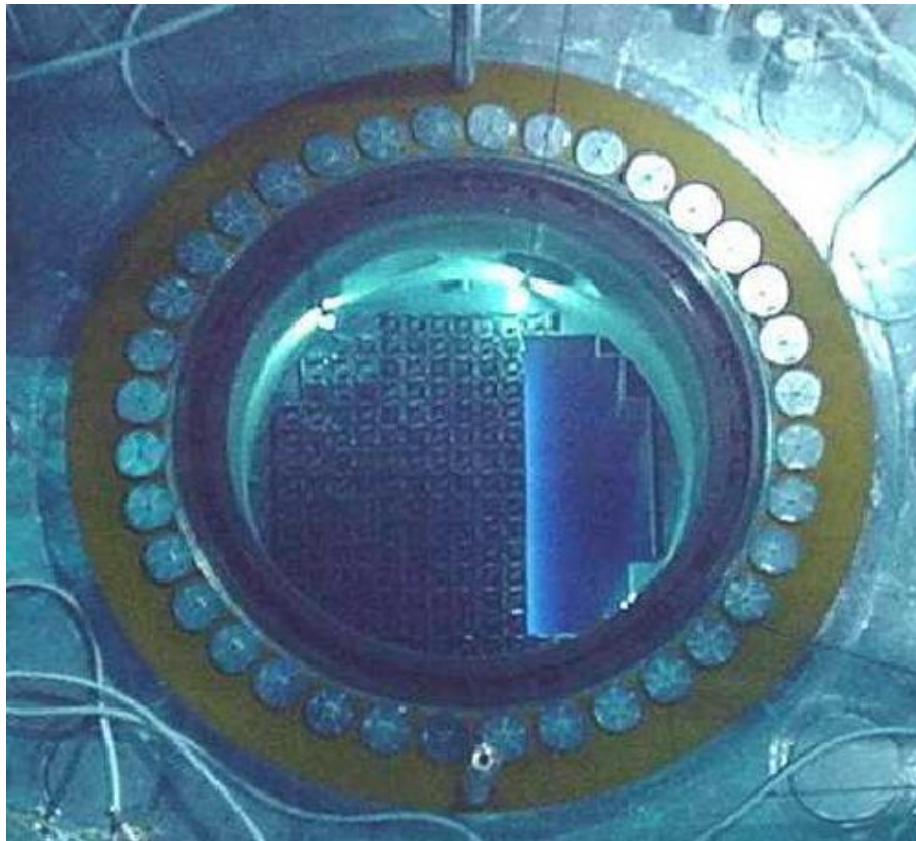


Source: U.S. Nuclear Regulatory Commission

REAKTOR JĄDROWY



REAKTOR JĄDROWY



REAKTOR JĄDROWY

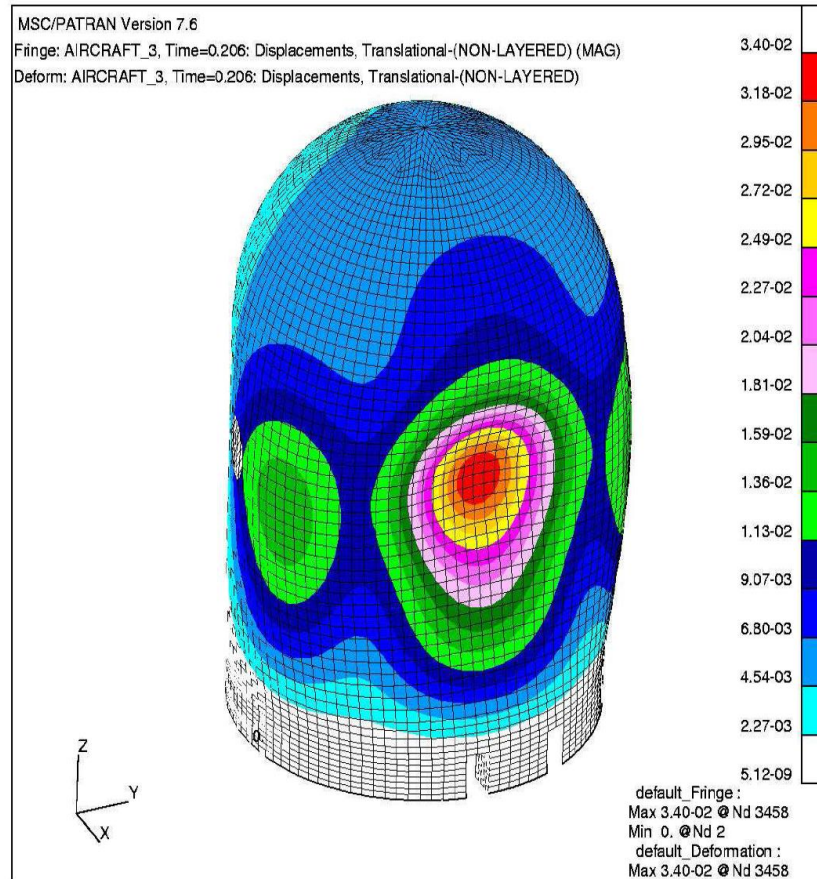
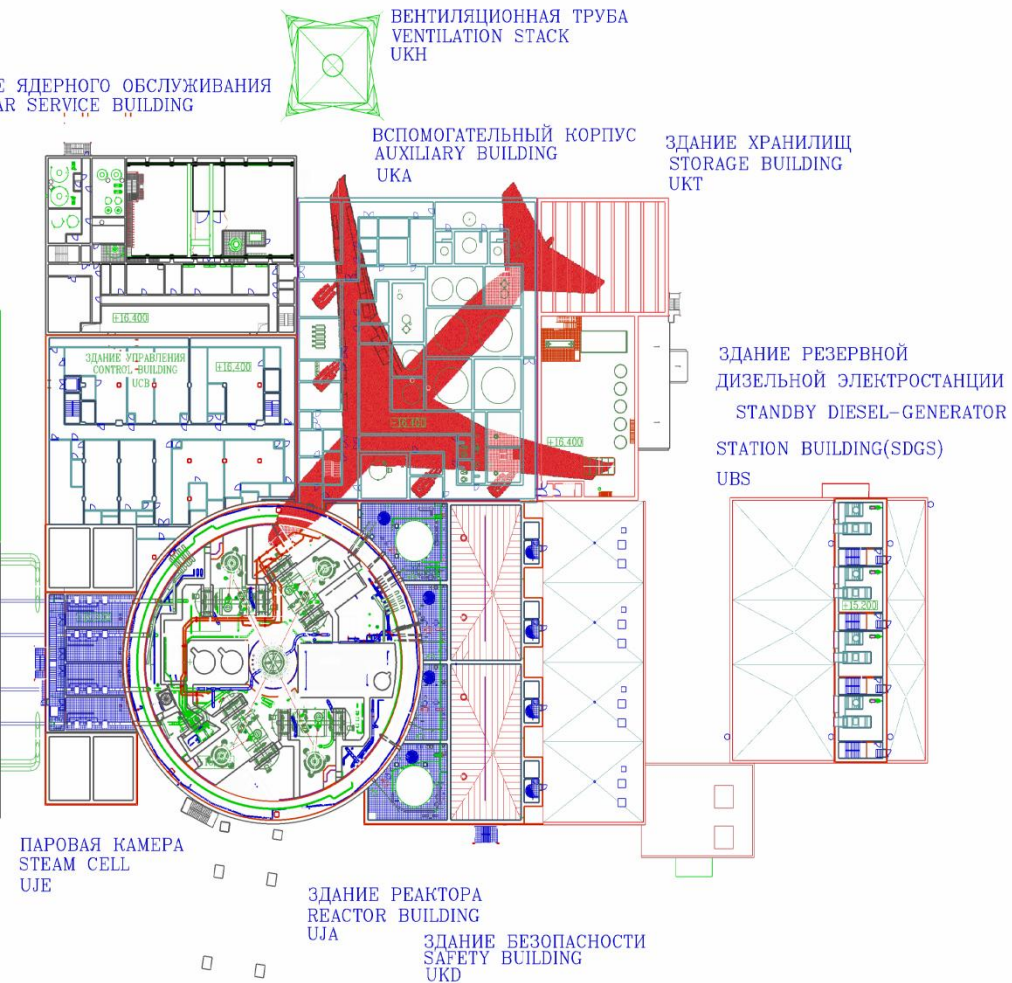




PRACA REAKTORA

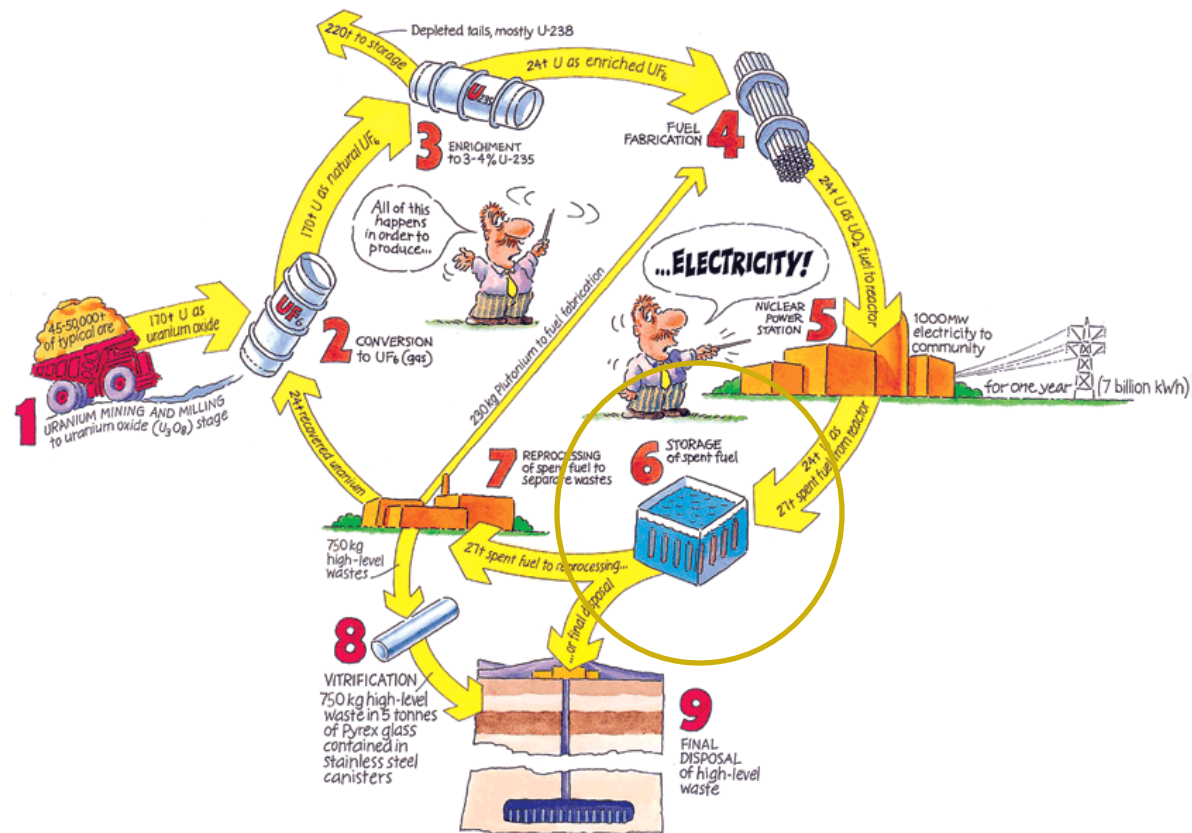
- Reakcja zachodzi wewnątrz pastylek
- Radioaktywne produkty są zatrzymywane wewnątrz pastylek
- Bariery bezpieczeństwa:
 - Struktura pastylki
 - Ścianka elementu paliwowego
 - Szczelny obieg wody chłodzącej (pierwotny)
 - Obudowa bezpieczeństwa (zbrojony sprężony beton)
- Ciepło jest odprowadzane przez ścianki elementów paliwowych do wody

OBUDOWA BEZPIECZEŃSTWA



*Hur hållbara är kraftstationerna, då?
Här är ett nytt test med ett F4 plan.*

WYPALONE PALIWO



WYPALONE PALIWO

- Zużyte elementy paliwowe zawierają krótko i średniożyciowe produkty rozpadu, które dalej rozpadają się samorzutnie
- Muszą być chłodzone aż ich aktywność odpowiednio opadnie
- Składowanie w basenie przy reaktorze

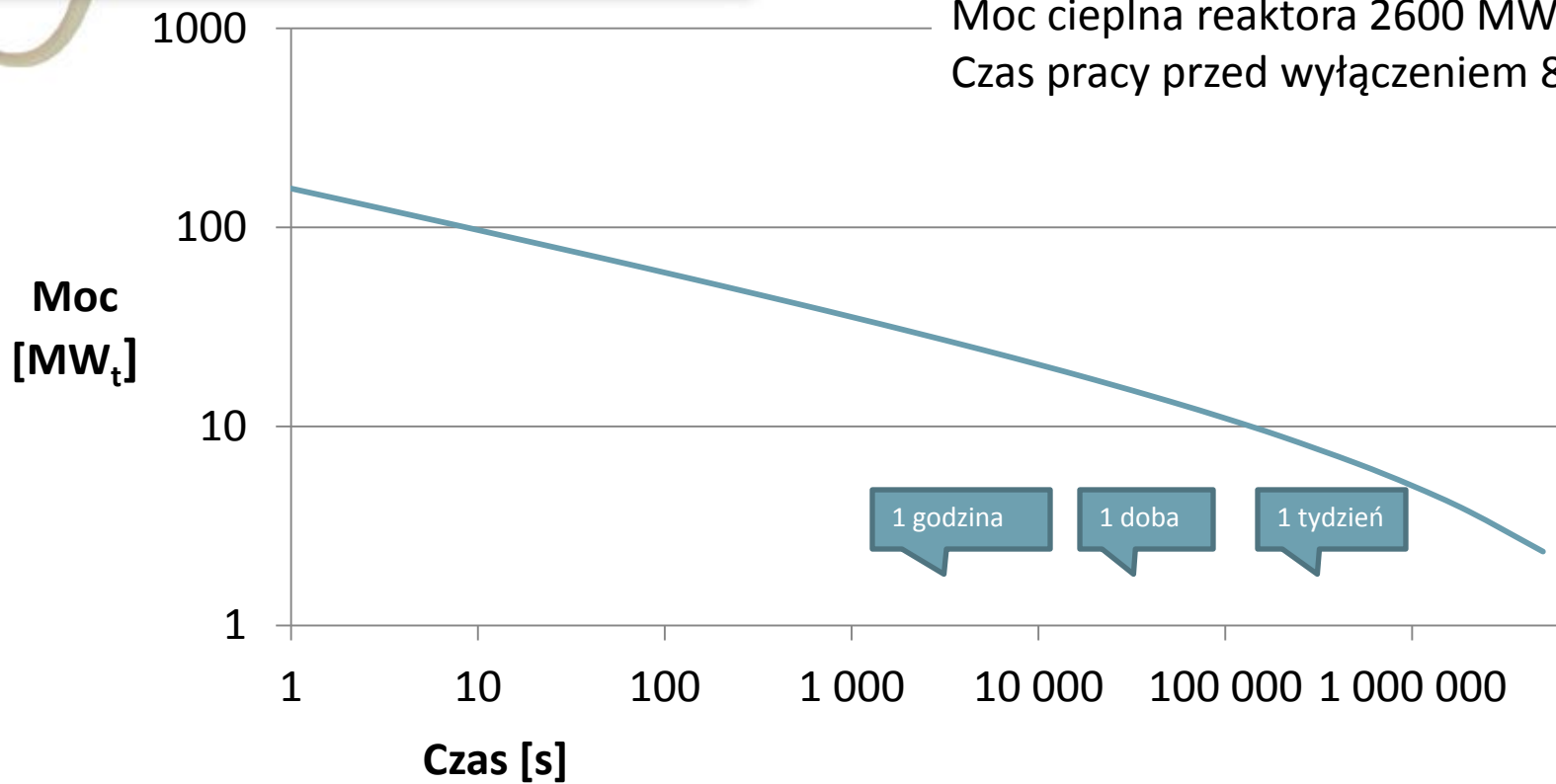


MOC POWYŁĄCZENIOWA

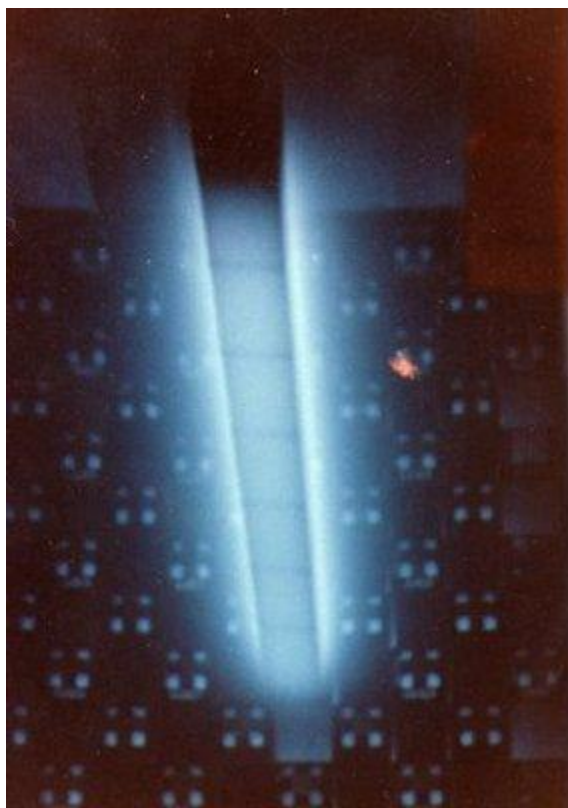
Założenia:

Moc cieplna reaktora 2600 MW_t

Czas pracy przed wyłączeniem 8000 h



WYPALONE PALIWO



TRANSPORT WYPALONEGO PALIWA



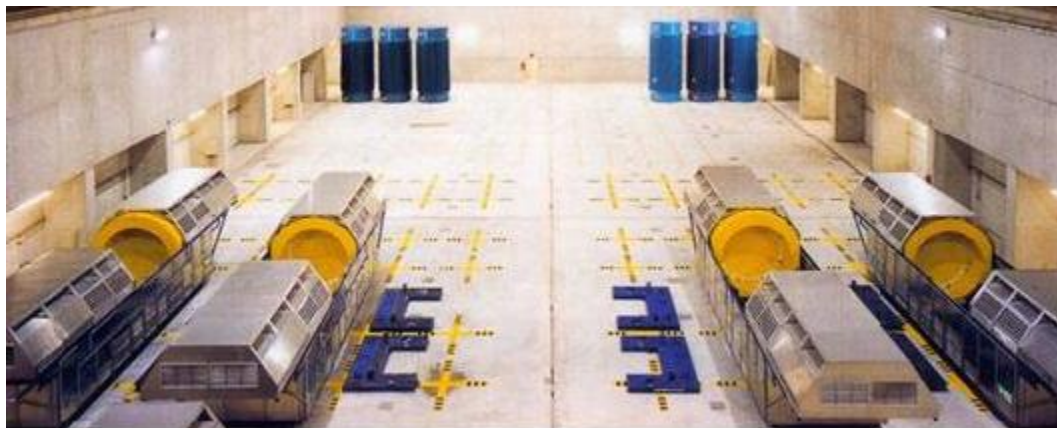
TRANSPORT WYPALONEGO PALIWA



TRANSPORT WYPALONEGO PALIWA



TRANSPORT WYPALONEGO PALIWA



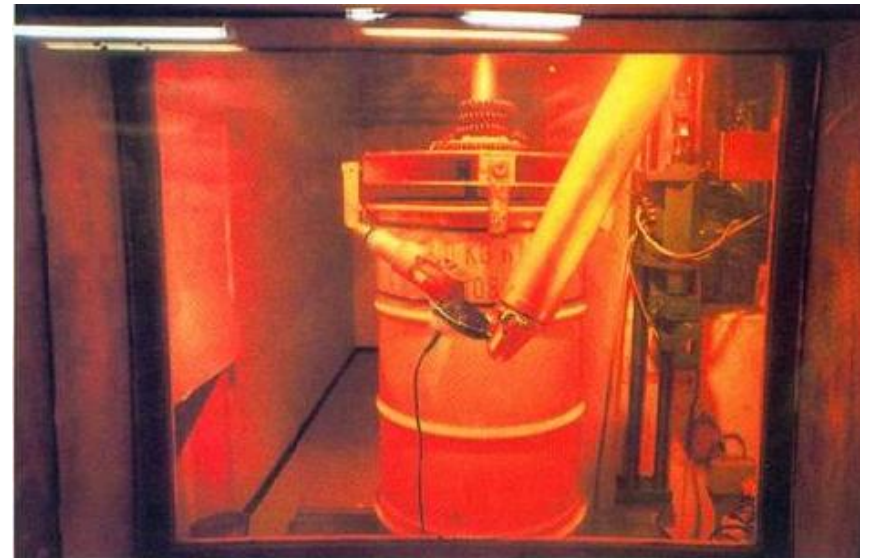
*„Spent nuclear fuel cask test” →
[youtube.com](https://www.youtube.com)*



PRZETWARZANIE WYPALONEGO PALIWA

- W elementach paliwowych pozostaje pewna ilość niewykorzystanego U-235.
- W elementach paliwowych tworzy się Pu-239.
- Izotopy te można odzyskać i ponownie wykorzystać w procesie produkcji świeżego paliwa.

PRZETWARZANIE WYPALONEGO PALIWA





ODPADY RADIOAKTYWNE

Niskoaktywne

- Ściskane, stężane lub spalane
- Zacementowane w beczkach

Średnioaktywne

- Rozdrabniane
- Zacementowane w beczkach

Wysokoaktywne

- Stopione w bloki szklane



ILE ODPADÓW?

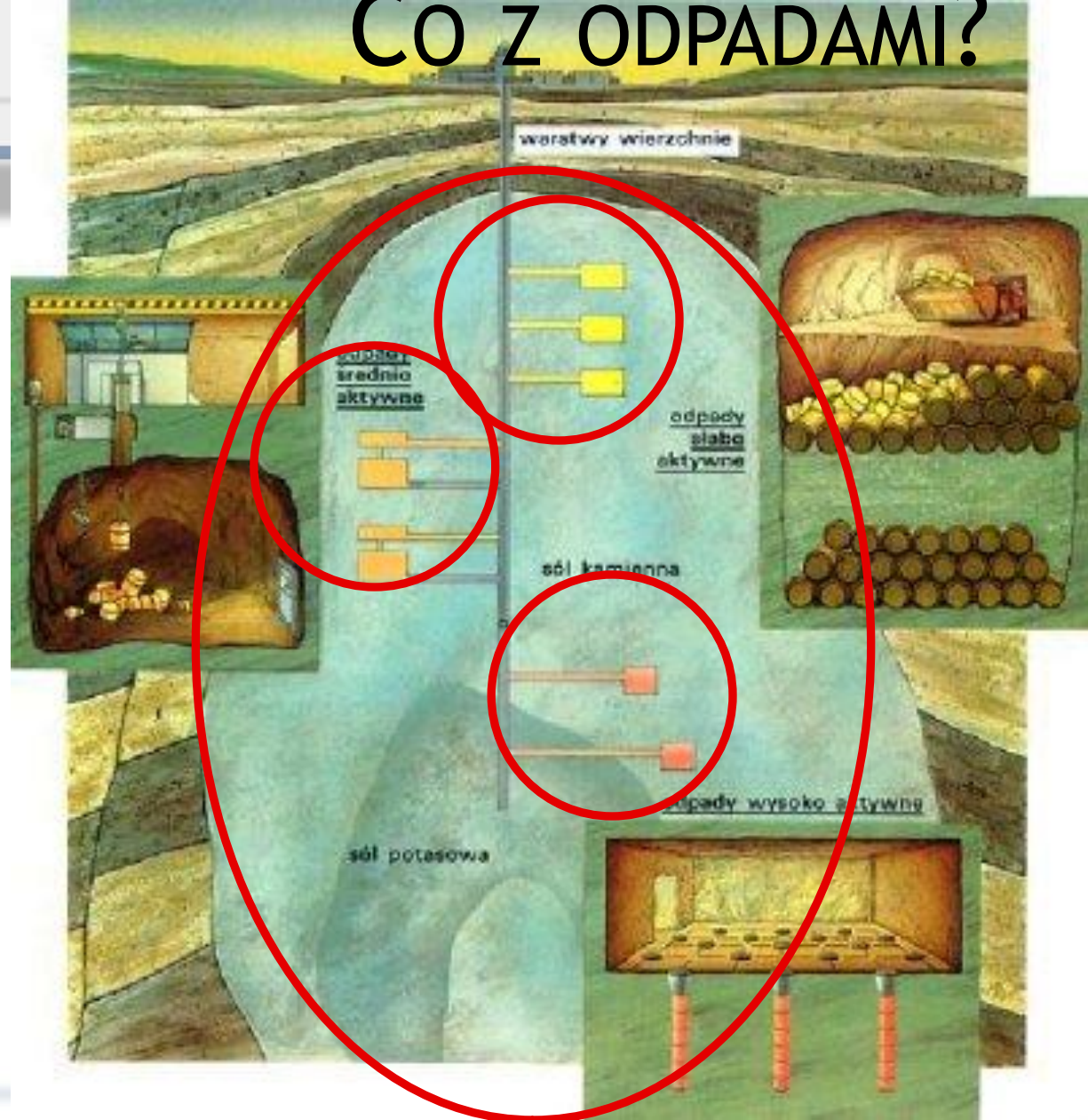
Elektrownia na węgiel brunatny

- 290 kg/s węgla
1040 ton na godzinę
25 000 ton na dzień
9 mln ton na rok
- > 1 mln ton popiołu na rok

Elektrownia jądrowa 1300 MW

- 30 ton paliwa na rok
- 55 tysięcy ton rudy na rok
- 30 ton zużytego paliwa na rok
- 4 m³ odpadu wysokoaktywnego
- 60 m³ odp. średnioaktywnego
- 180 m³ odp. niskoaktywnego

Co z ODPADAMI?





BEZPIECZEŃSTWO

Ekstremalne wymogi projektowe

- Projekt musi uwzględniać środki zapobiegawcze dla najpoważniejszej fizycznie możliwej awarii
- Zabezpieczenia przed upadkami samolotów, dostępem osób niepowołanych itd..

Wybuch jądrowy jest fizycznie niemożliwy

- Zbyt małe wzbogacenie paliwa
- Zbyt mała energia neutronów (za wolny rozwój reakcji)

„Idiotoodporność”

- Systemy bezpieczeństwa niezależne od operatorów
- Systemy bezpieczeństwa oparte o zjawiska fizyczne, a nie o zawodną automatykę

EJ A ŚRODOWISKO

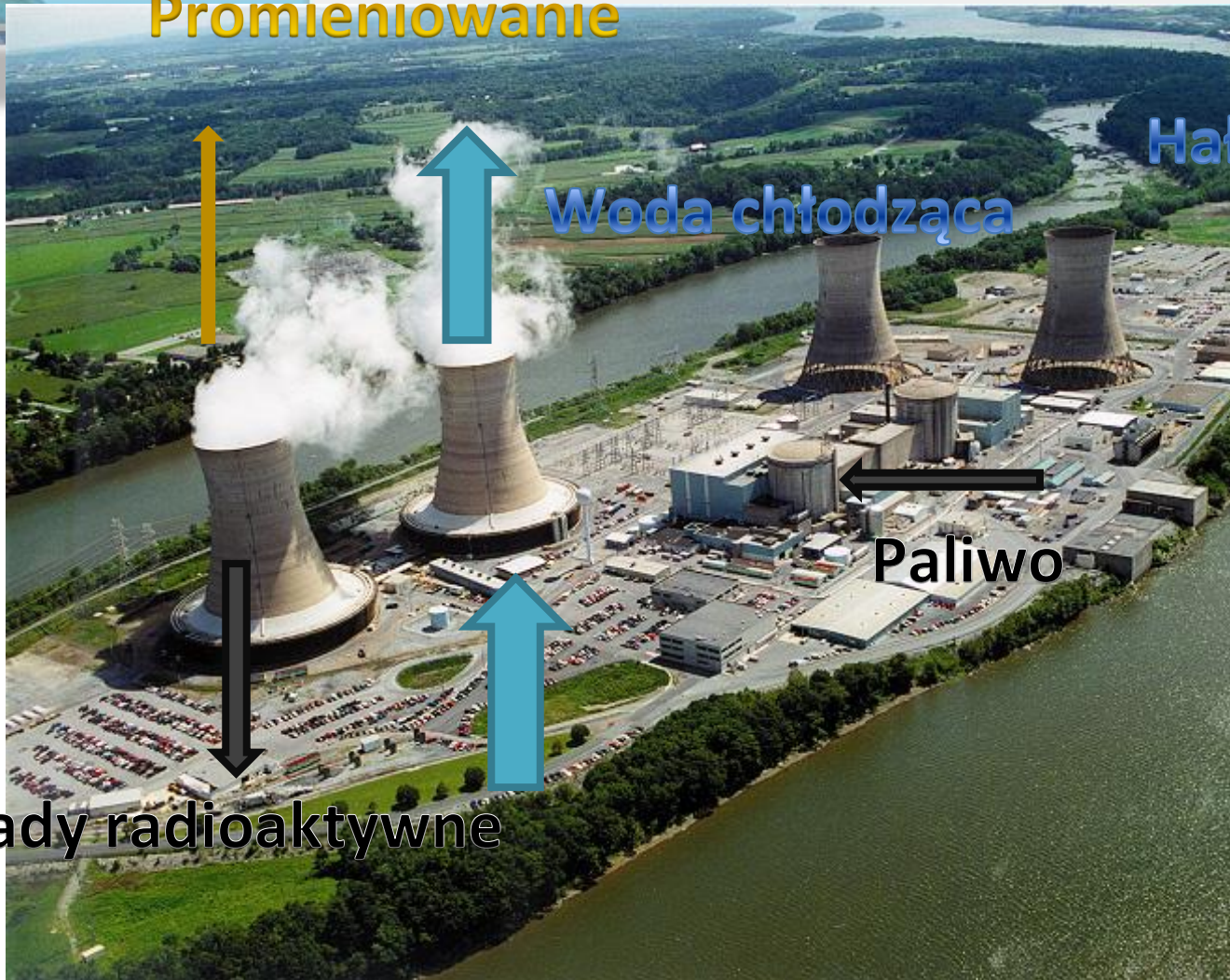
Promieniowanie

Hłas

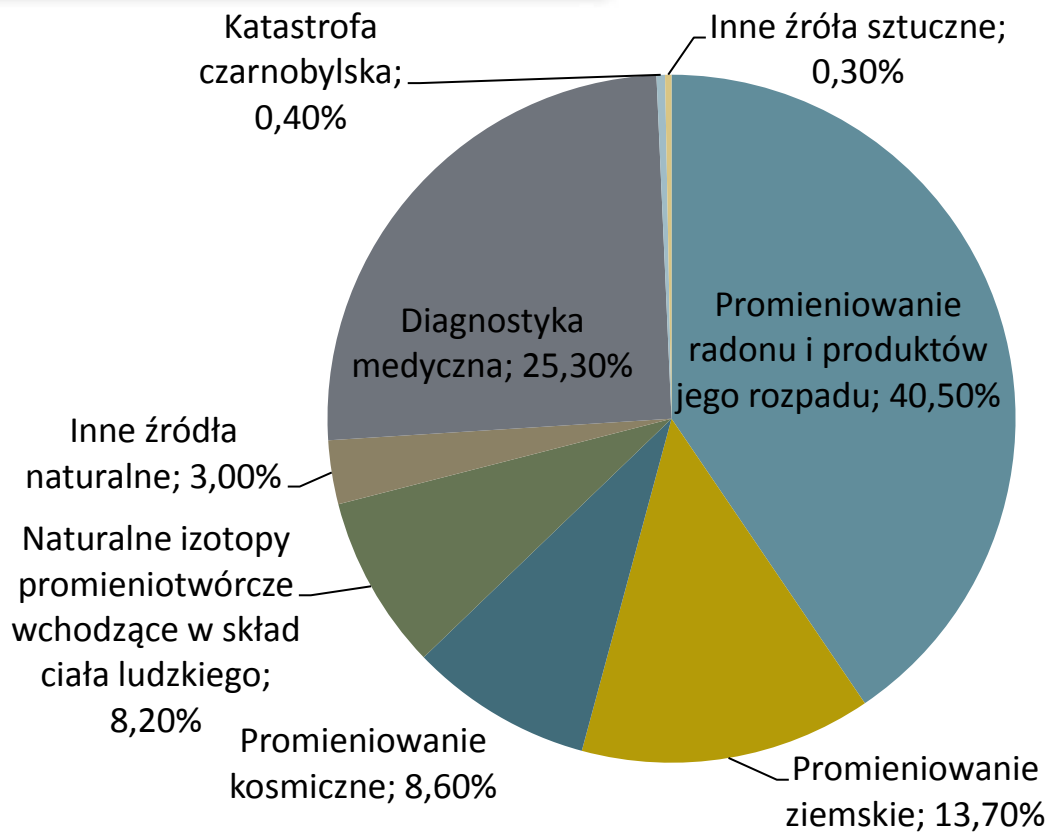
Woda chłodząca

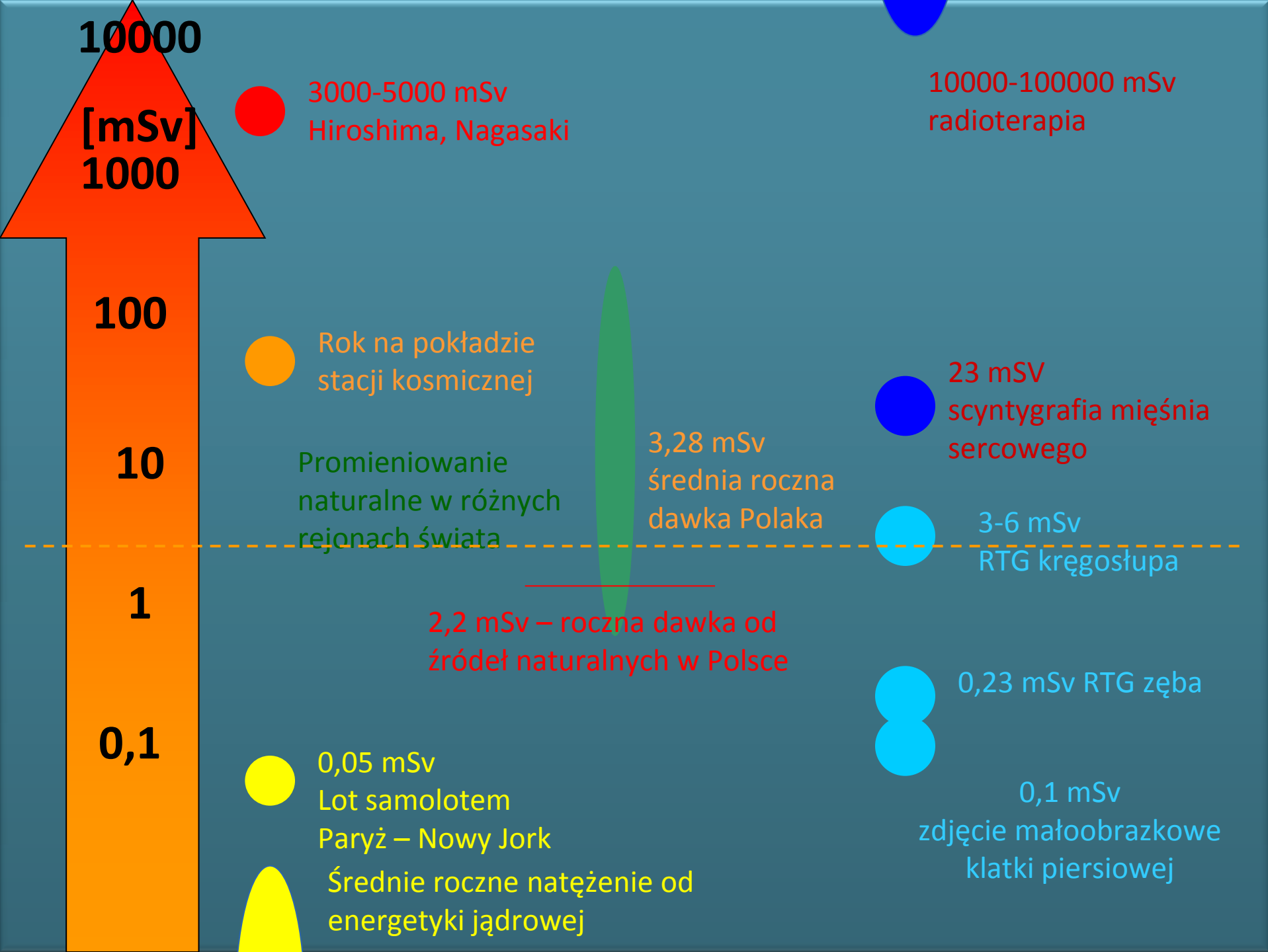
Paliwo

Odpady radioaktywne



ROCZNA DAWKA PROMIENIOWANIA







PODSUMOWANIE - ZALETY I WADY EJ



Zalety:

- Niski udział kosztów zmiennych (mała wrażliwość na ceny paliwa)
- Bardzo ograniczony wpływ na środowisko naturalne, brak emisji gazów szkodliwych
- Paliwo pozyskiwane z krajów stabilnych
- Wysoka niezawodność
- Niskie koszty zmienne w czasie eksploatacji



Wady:

- Wysoki koszt inwestycyjny
- Skomplikowana „utylicacja” zamkniętej EJ
- Problematyczna społecznie
- Mało elastyczna (niemożliwe szybkie zmiany mocy)
- Nie w pełni rozwiązany problem odpadów



TECHNOLOGIE



KLASYFIKACJA REAKTORÓW JĄDROWYCH


Przeznaczenie

Energia neutronów

Moderator

Chłodziwo

Konstrukcja



KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA PRZEZNACZENIE

Reaktory doświadczalne i badawcze

- Badania nad fizyką i chemią jądrową, wytwarzanie wiązek promieniowania dla celów badawczych
- Rozwój nowych typów reaktorów
- Produkcja radioizotopów

Reaktory energetyczne

- Wytwarzanie ciepła dla procesu produkcji energii elektrycznej
- Wytwarzanie ciepła dla innego procesu technologicznego

Reaktory napędowe

- Duże nawodne okręty wojenne (krążowniki, lotniskowce)
- Okręty podwodne
- Wielkie lodołamacze

Reaktory „wojskowe”

- Produkcja materiałów rozszczepialnych dla głowic jądrowych



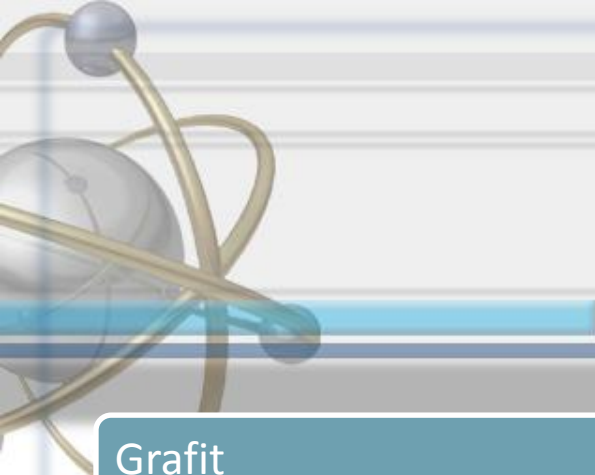
KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA ENERGIĘ NEUTRONÓW

Reaktory na neutrony termiczne

- Energia neutronu poniżej 0,1 eV
- Konieczne stosowanie moderatora

Reaktory na neutrony prężkie

- Energia neutronu powyżej 0,1 MeV
- Konieczność stosowania ciężkich chłodziw
- Zdolność powielania paliwa



KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA MODERATOR: STOSOWANE MODERATORY

Grafit

- GCR/AGR (GBR, FRA)
- RBMK (SUN)
- GT-MHR (RUS/USA), HTGR (DEU/ZAF/CHN)

Woda ciężka (D₂O)

- PHWR/CANDU (CAN, IND)
- ACR (CAN)

Woda lekka (H₂O)

- BWR (USA, DEU, FRA, JPN, SWE)
- PWR (USA, DEU, FRA, KOR, JPN, CHN, SWE)
- WWER (SUN/RUS)

Inne

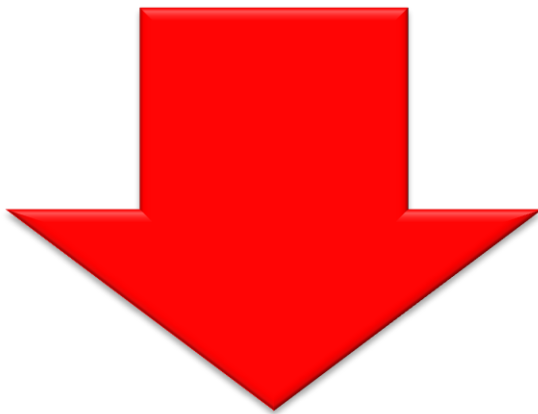
- Reaktory badawcze z różnymi moderatorami (np. woda+beryl – reaktor MARIA)



MODERATOR GRAFITOWY



Łatwy do pozyskania i obróbki
Odporny na wysoką temperaturę
(możliwy wzrost sprawności bloku)



Palny
Względnie wysoka masa atomowa
(wzrost objętości rdzenia)



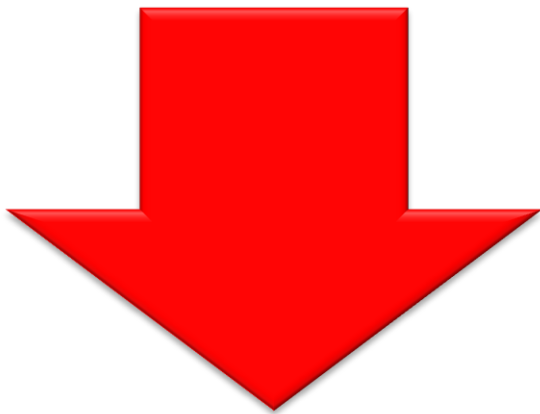
MODERATOR CIĘŻKOWODNY



Umożliwia wykorzystanie uranu naturalnego

Niski przekrój czynny na pochłanianie neutronów

Niepalny



Masa atomowa D większa od H (większe wymiary rdzenia)

Kłopotliwy technologicznie



MODERATOR LEKKOWODNY

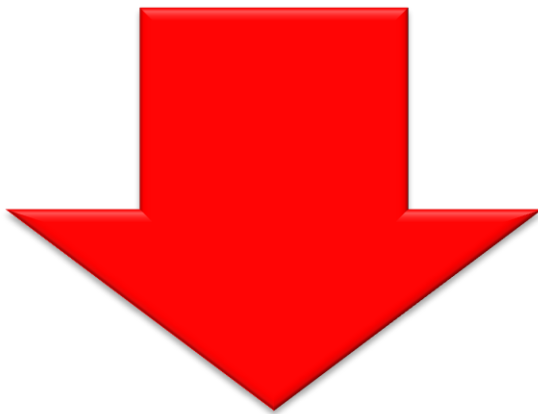


Łatwo dostępny

Najniższa możliwa masa atomowa H – mała objętość rdzenia

Umożliwia wykorzystanie tej samej masy wody jako moderatora i chłodziwa (wzrost bezpieczeństwa)

Niska aktywność chemiczna



Pochłanianie neutrony (wymaga wzbogacenia uranu)

Niska temperatura wrzenia przy umiarkowanych ciśnieniach (ogranicza temperaturę pracy reaktorów zbiornikowych)



KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA CHŁODZIWO: STOSOWANE CHŁODZIWA

Powietrze

- Pierwsze reaktory badawcze i wojskowe

Dwutlenek węgla

- AGR, GCR

Hel

- GT-MHR, HTGR

Woda ciężka

- PHWR/CANDU

Woda lekka

- PWR
- BWR
- WWER
- RBMK
- ACR

Ciekły metal

- FBR

CHŁODZENIE POWIETRZEM

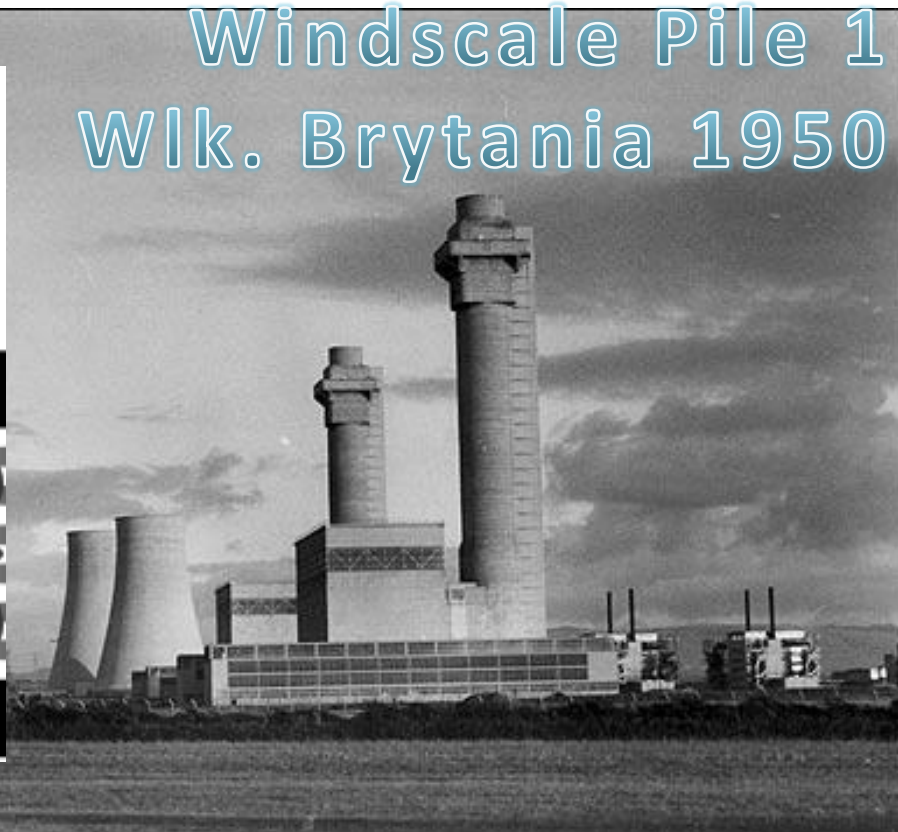
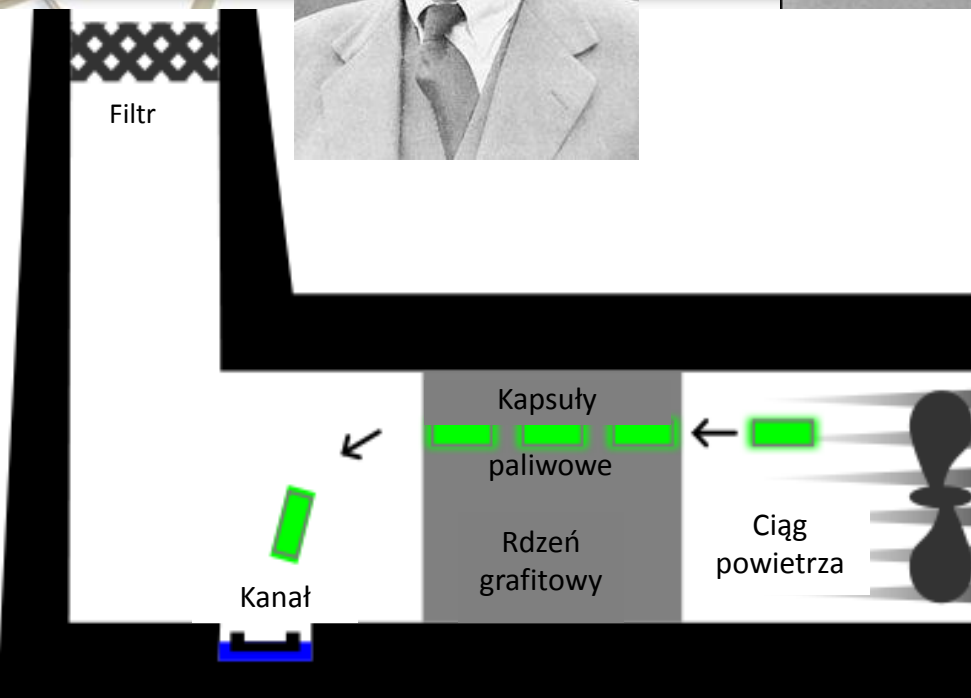
Stos CP-1, USA 1942



CHŁODZENIE POWIETRZEM



Windscale Pile 1
Wlk. Brytania 1950



STOSOWANE KOMBINACJE

Moderator Chłodziwo	Grafit	D2O	H2O	Brak
CO ₂	GCR, AGR	–	–	–
He	THTR GT-MHR, PBMR	–	–	–
H2O	RBMK	ACR	PWR, WWER BWR	–
D2O	–	CANDU PHWR	–	–
Ciekły metal	–	–	–	FBR



KLASYFIKACJA ZE WZGLĘDU NA KONSTRUKCJĘ

Zbiornikowe

- PWR, WWER
- BWR
- GCR, AGR
- GT-MHR, PBMR

Kanałowe

- RBMK
- CANDU

Basenowe

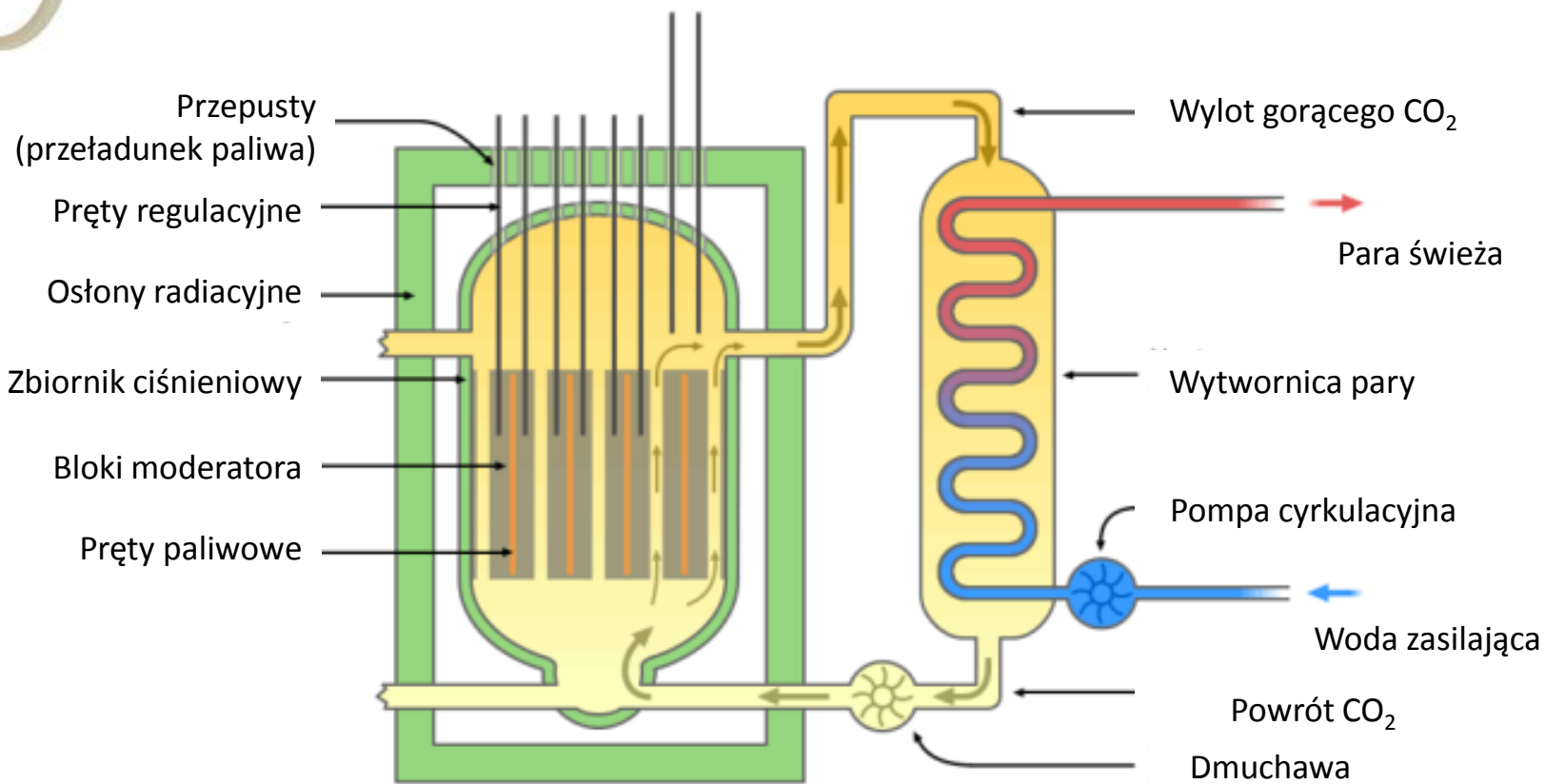
- FBR



REAKTOR CHŁODZONY GAZEM GAS-COOLED REACTOR (GCR)

- Reaktor zbiornikowy (zbiornik stalowy lub betonowy)
- Chłodziwo: CO₂
- Moderator: grafit
- Paliwo: uran naturalny, koszulki Magnox lub Mg-Zr
- Układ dwuobiegowy
 - Obieg pierwotny gazowy, ok. 400°C, 7-27 bar
 - Obieg wtórny wodno-parowy z turbiną parową
- Sprawność bloku:
- Producenci: GBR (Magnox), FRA (UNGG)
- Użytkownicy: GBR, ITA, JPN, FRA, ESP, PRK
- Bloki 60-550 MWe

REAKTOR CHŁODZONY GAZEM GAS-COOLED REACTOR (GCR)



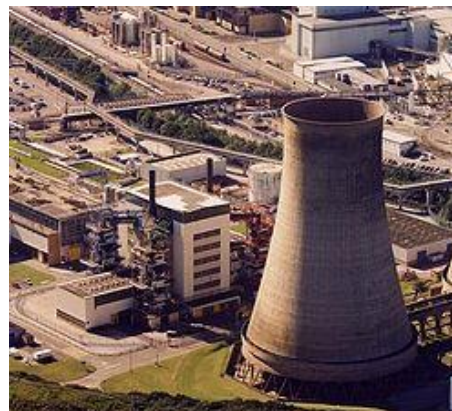
GCR - MAGNOX (GBR)



Element paliwowy
typu Magnox



Sizewell A (GBR)
2 × 245 MWe brutto
2 × 210 MWe netto
1966-2006



Calder Hall (GBR)
4 × 60 MWe brutto
4 × 50 MWe netto
1956-2003

GCR - UNGG (FRA)



Saint-Laurent A (FRA)
500+530 MWe brutto
480+515 MWe netto
1969-1992



NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

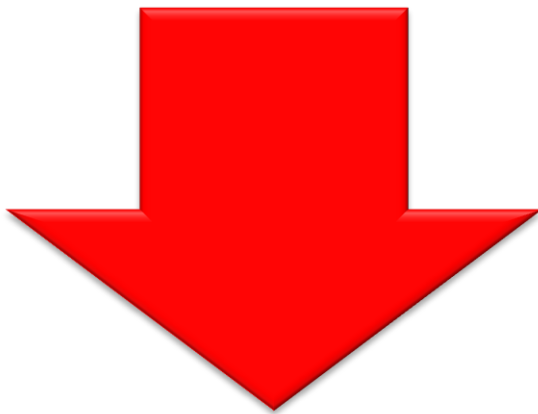




REAKTOR CHŁODZONY GAZEM GAS-COOLED REACTOR (GCR)

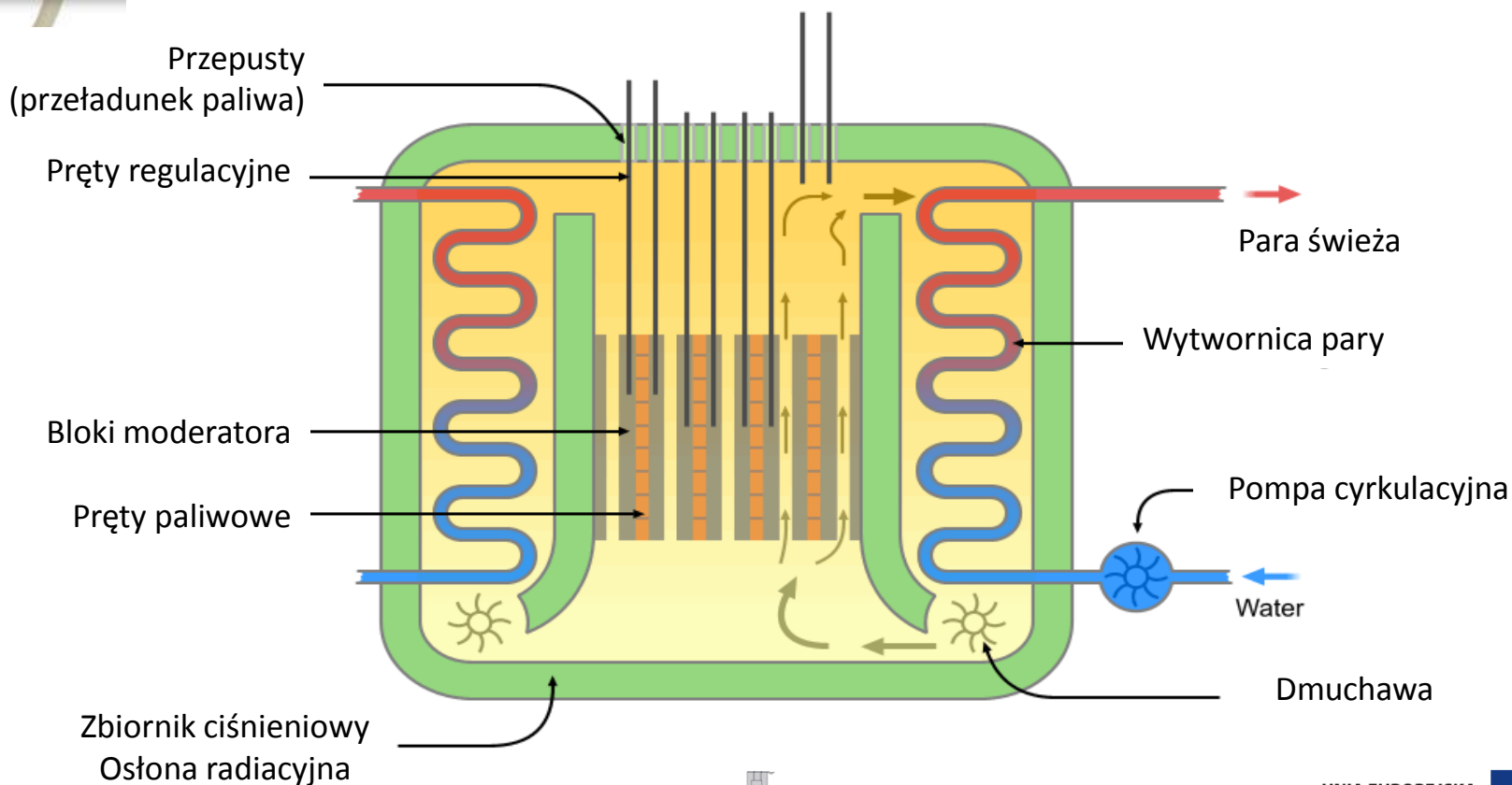


- Prosta konstrukcja
- Możliwość chłodzenia konwekcją naturalną
- Możliwość przeładunku paliwa w czasie pracy



- Duży pobór mocy w dmuchawach
- Ograniczenie temperatury z uwagi na koszulki elementów paliwowych
- Brak obudów bezpieczeństwa
- Małe wypalenie paliwa

REAKTOR CHŁODZONY GAZEM ADVANCED GAS-COOLED REACTOR (AGR)



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego
"Zwiększenie liczby absolwentów Politechniki Częstochowskiej na kierunkach technicznych, przyrodniczych i matematycznych"
Numer projektu: UDA - POKL.04.01.02-00-128/09-00

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



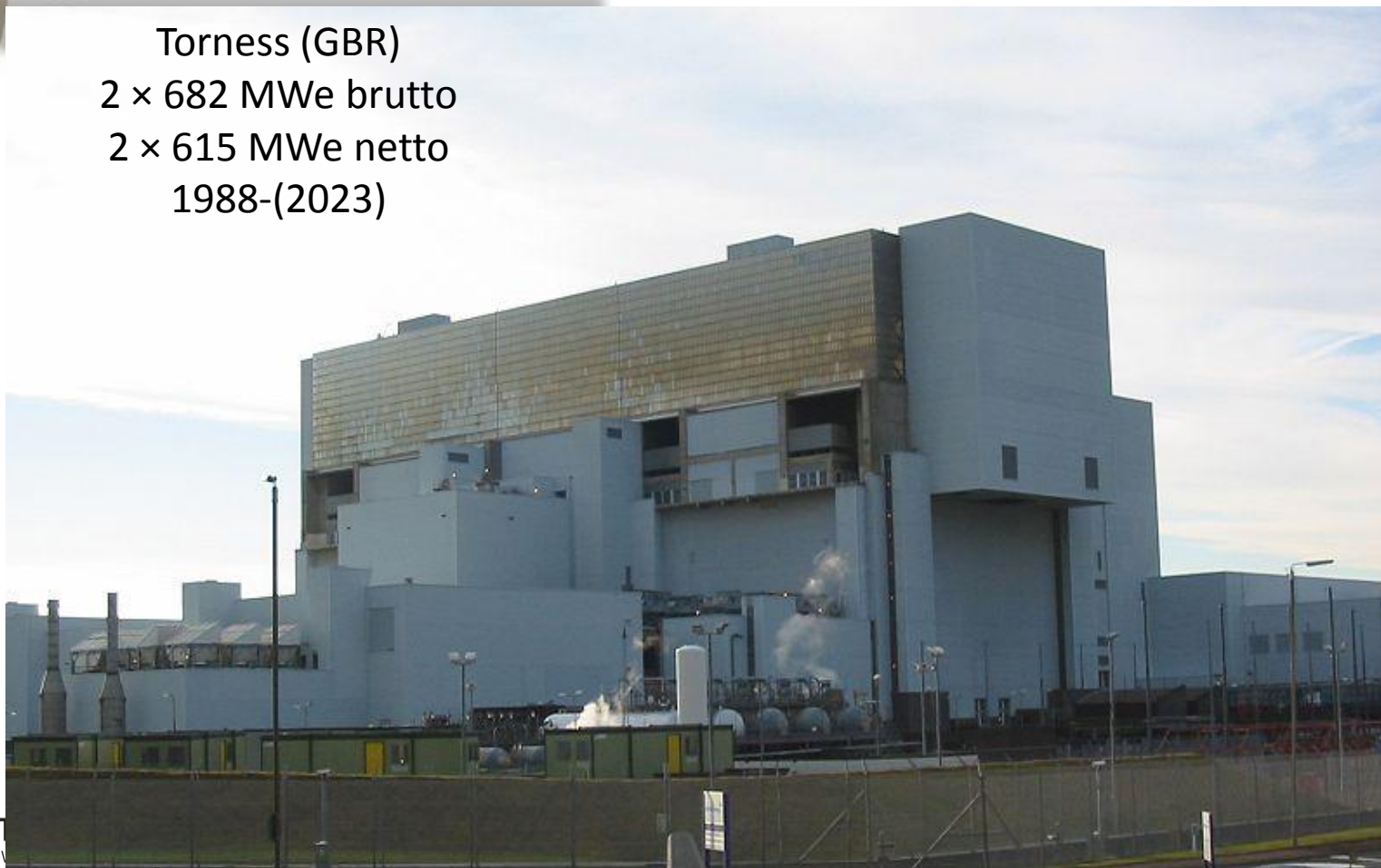


REAKTOR CHŁODZONY GAZEM ADVANCED GAS-COOLED REACTOR (AGR)

- Reaktor zbiornikowy (zbiornik betonowy z wykładziną stalową)
- Chłodziwo: CO₂
- Moderator: grafit
- Paliwo: uran lekko wzbogacony (2÷3%), koszulki stalowe
- Układ dwuobiegowy
 - Obieg pierwotny gazowy, ok. 650/300°C, 40 bar
 - Obieg wtórny wodno-parowy z turbiną parową, 196 bar, 543°C
- Gęstość mocy w rdzeniu ok. 1 MW/m³
- Sprawność bloku: 41% brutto
- Producenci: GBR
- Użytkownicy: GBR
- Bloki 550-620 MWe

REAKTORY CHŁODZONE GAZEM ADVANCED GAS-COOLED REACTOR (AGR)

Torness (GBR)
2 × 682 MWe brutto
2 × 615 MWe netto
1988-(2023)



KAPITANARODOWY

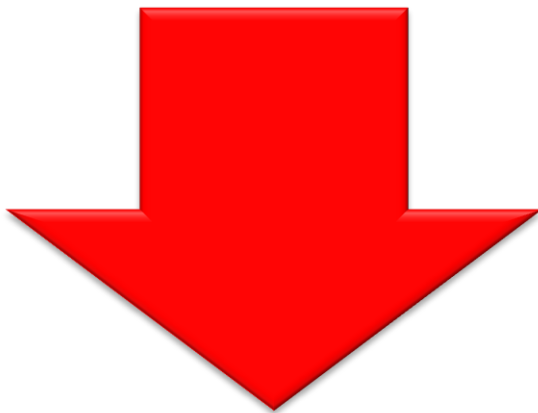




REAKTORY CHŁODZONE GAZEM ADVANCED GAS-COOLED REACTOR (AGR)

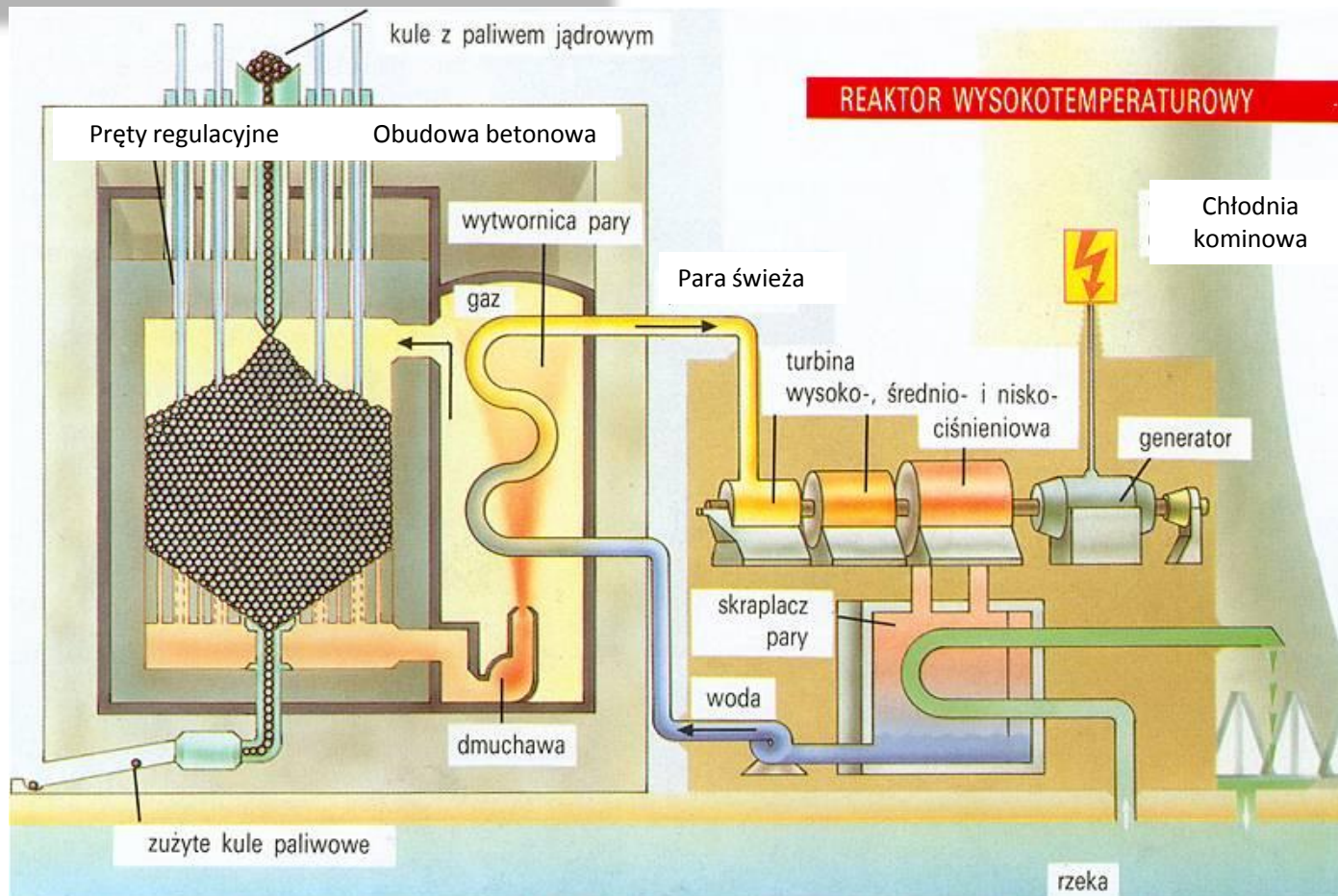


Możliwość chłodzenia konwekcją naturalną
Możliwość przeładunku paliwa w czasie pracy
Wysokie parametry pary świeżej (przegrzana)
Wysoka sprawność



Skomplikowana budowa
Duży pobór mocy w dmuchawach
Małe wypalenie paliwa

REAKTOR WYSOKOTEMPERATUROWY HIGH-TEMPERATURE REACTOR (HTR)

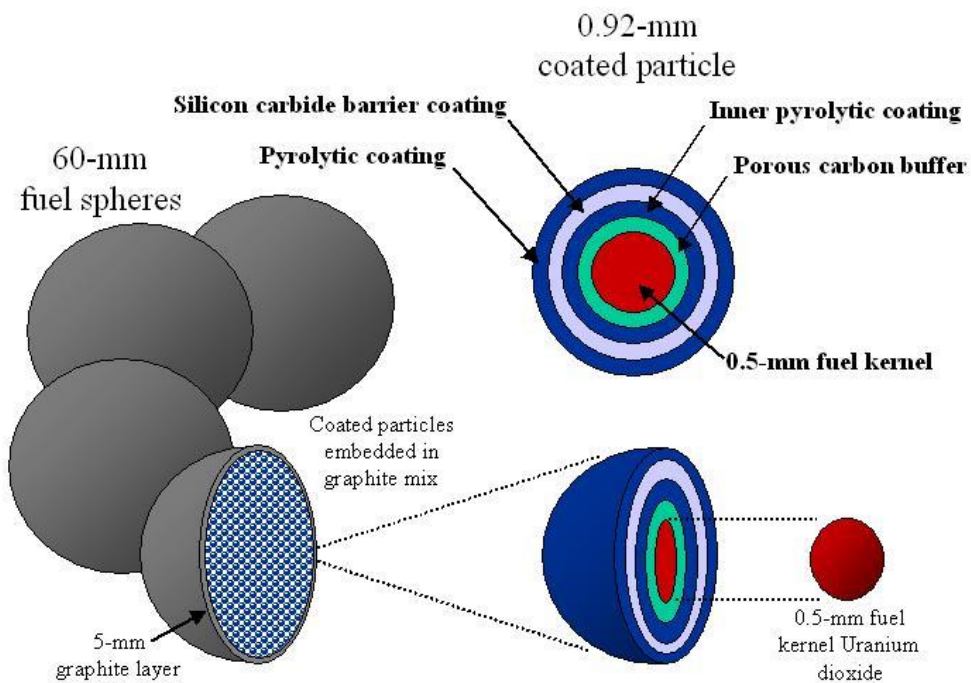
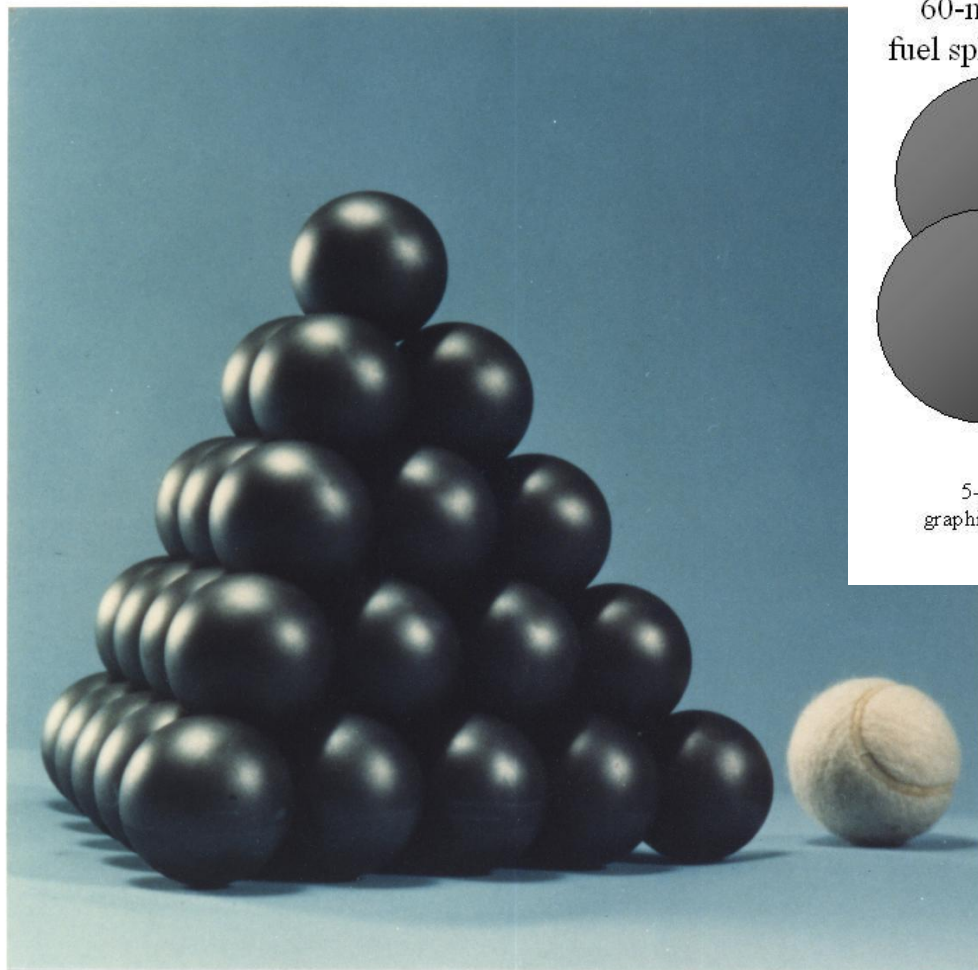




REAKTOR WYSOKOTEMPERATUROWY HIGH-TEMPERATURE REACTOR (HTR)

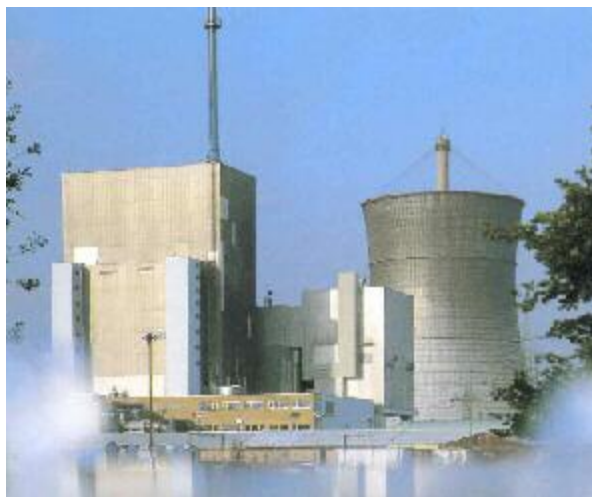
- Reaktor zbiornikowy (zbiornik betonowy lub stalowy)
- Chłodziwo: He
- Moderator: grafit
- Paliwo: uran lub tor w kulach paliwowych (złóże usypane lub kule w struktruze grafitowej)
- Układ dwuobiegowy
 - Obieg pierwotny gazowy, ok. 750°C
 - Obieg wtórny wodno-parowy z turbiną parową, >500°C
- Producenci: USA, DEU
- Użytkownicy: USA, DEU
- 40 MWe, 300 MWe, 330 MWe

ZŁOŻE USYPANE - PALIWO KULOWE

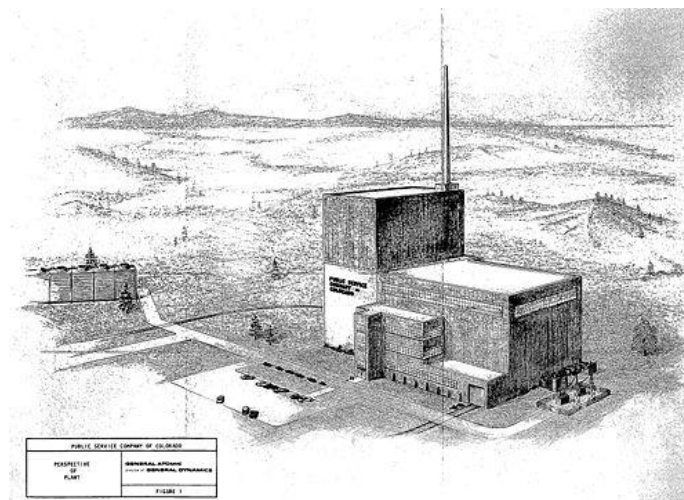


REAKTOR WYSOKOTEMPERATUROWY HIGH-TEMPERATURE REACTOR (HTR)

THTR-300
308 MWe brutto
296 MWe netto
1985-1987



Fort St. Vrain
342MWe brutto
330MWe netto
1976-1989



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

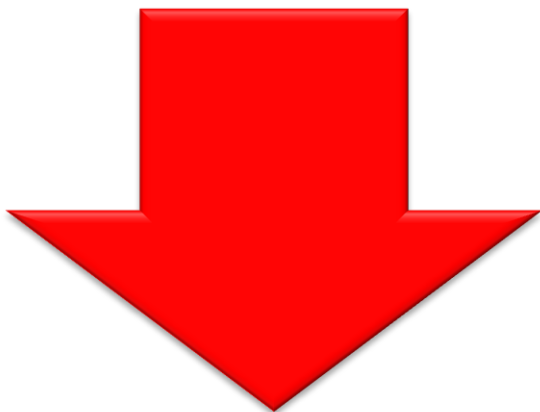




HIGH-TEMPERATURE REACTOR (HTR)

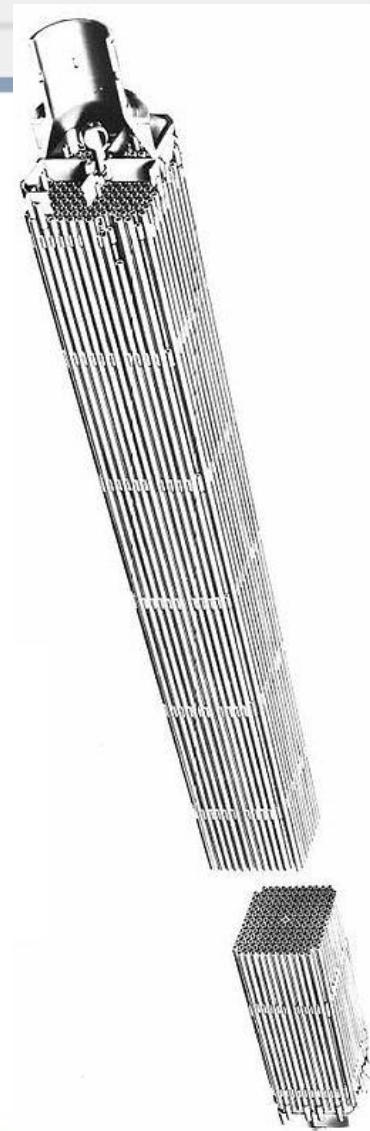
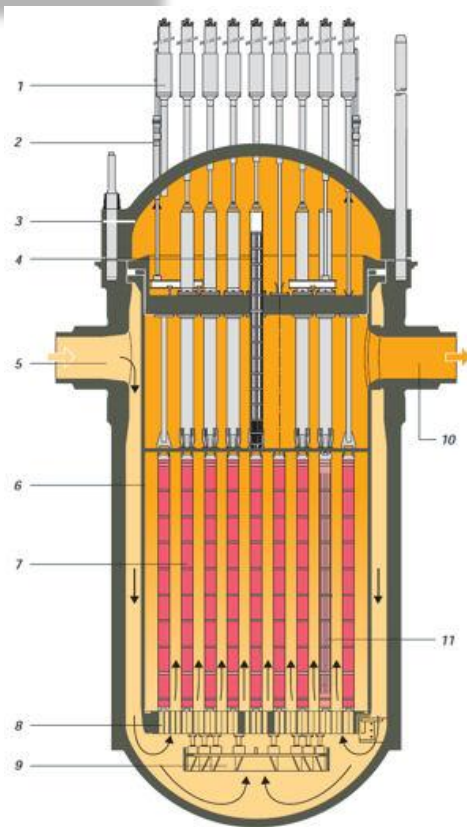



Możliwość przeładunku paliwa w czasie pracy
Stabilna charakterystyka neutronowa rdzenia
Wysoka sprawność
Wysokie parametry pary świeżej (para przegrzana)



Problemy eksploatacyjne: przecieki, korozja, złoża usypane
Niedostateczne badania (przerwane na przełomie lat 80./90.)

PWR

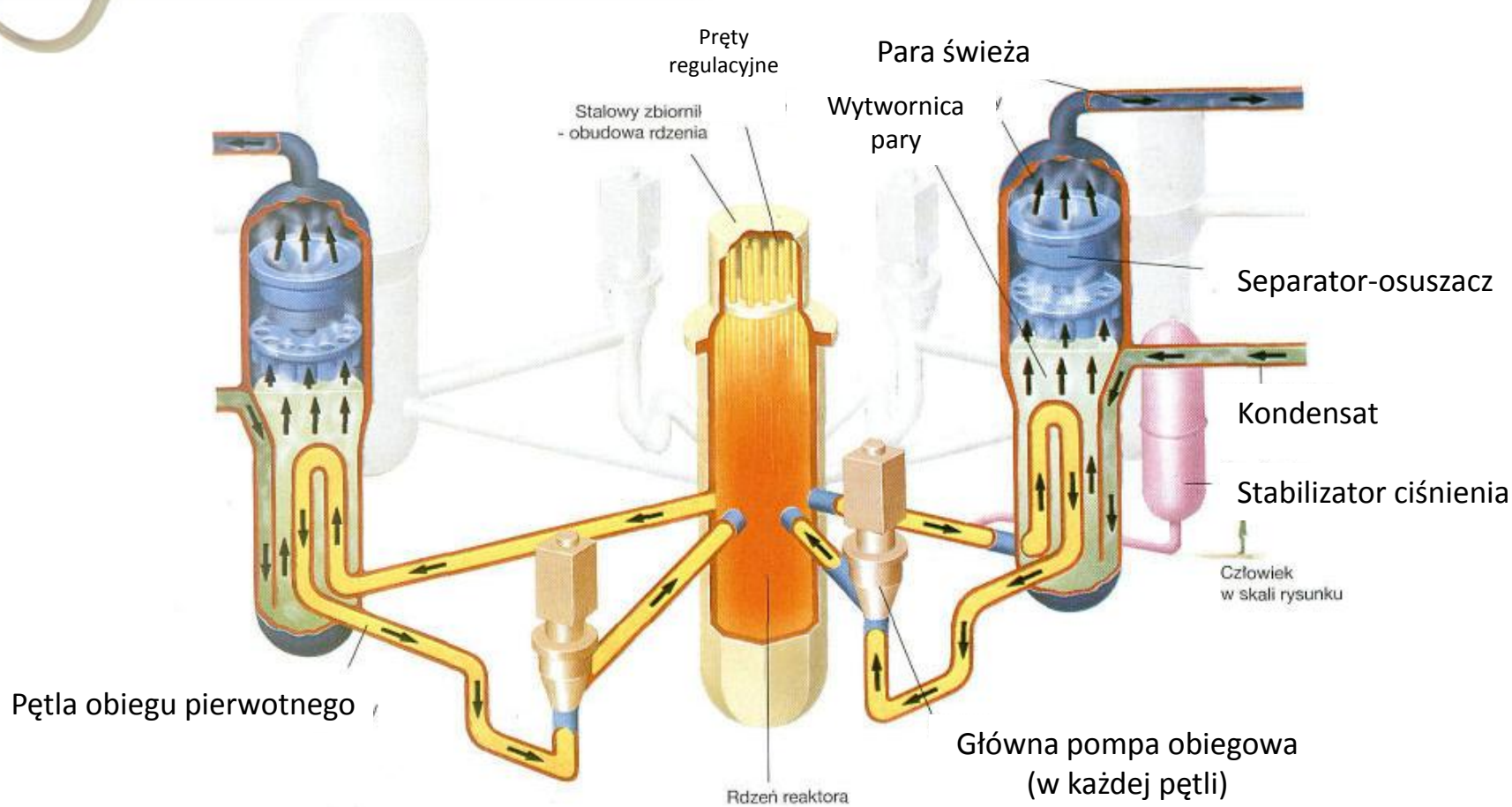




REAKTOR WODNY CIŚNIENIOWY PRESSURIZED WATER REACTOR (PWR)

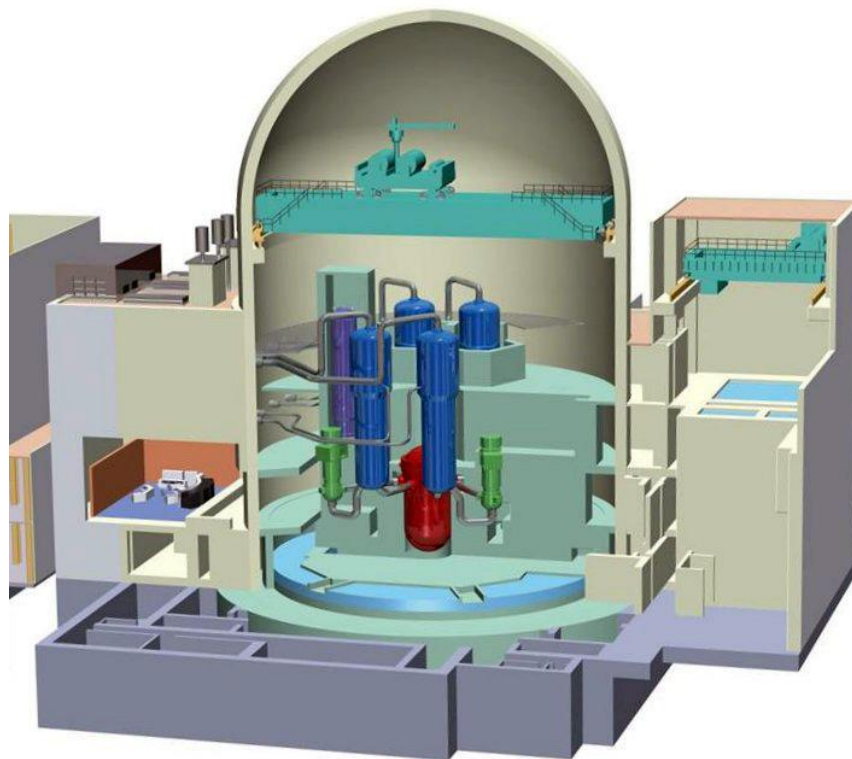
- Reaktor zbiornikowy (zbiornik stalowy)
- Chłodziwo: H₂O
- Moderator: H₂O (ta sama masa, co chłodziwo)
- Paliwo: uran wzbogacony (4÷5%)
- Układ dwuobiegowy
 - Obieg pierwotny wodny, 150÷200 bar, 300÷350°C
 - Obieg wtórny wodno-parowy, para świeża nasycona ok. 320°C
- Sprawność: ok. 32%
- Regulacja mocy: pręty regulacyjne
- Regulacja reaktywności w czasie kampanii: dodatek kwasu borowego do wody w obiegu pierwotnym
- Producenci: USA, DEU, FRA, KOR, JPN, SWE
- Użytkownicy: ...
- do 1600 MWe

REAKTOR WODNY CIŚNIENIOWY PRESSURIZED WATER REACTOR (PWR)



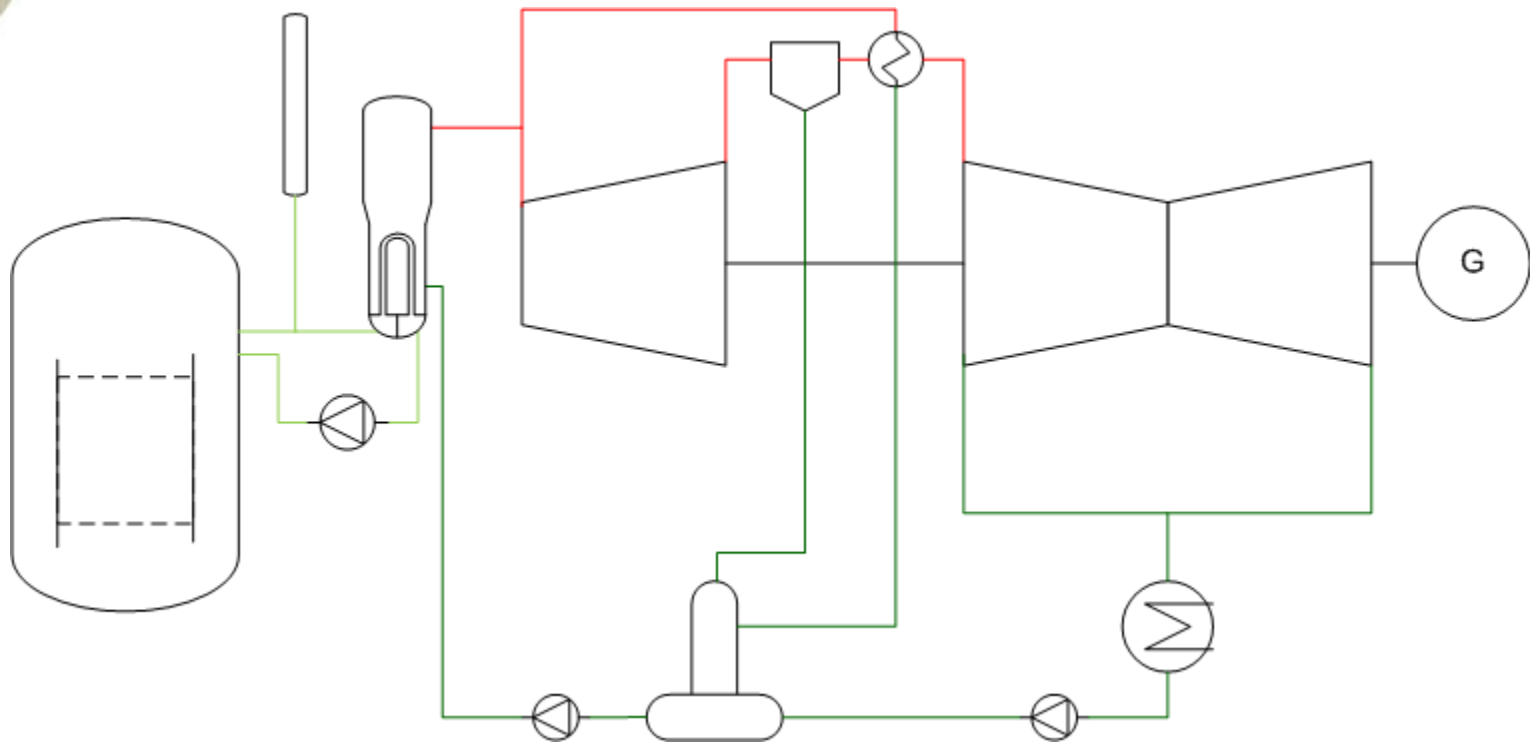
REAKTOR WODNY CIŚNIENIOWY PRESSURIZED WATER REACTOR (PWR)

Typical Pressurized Water Reactor



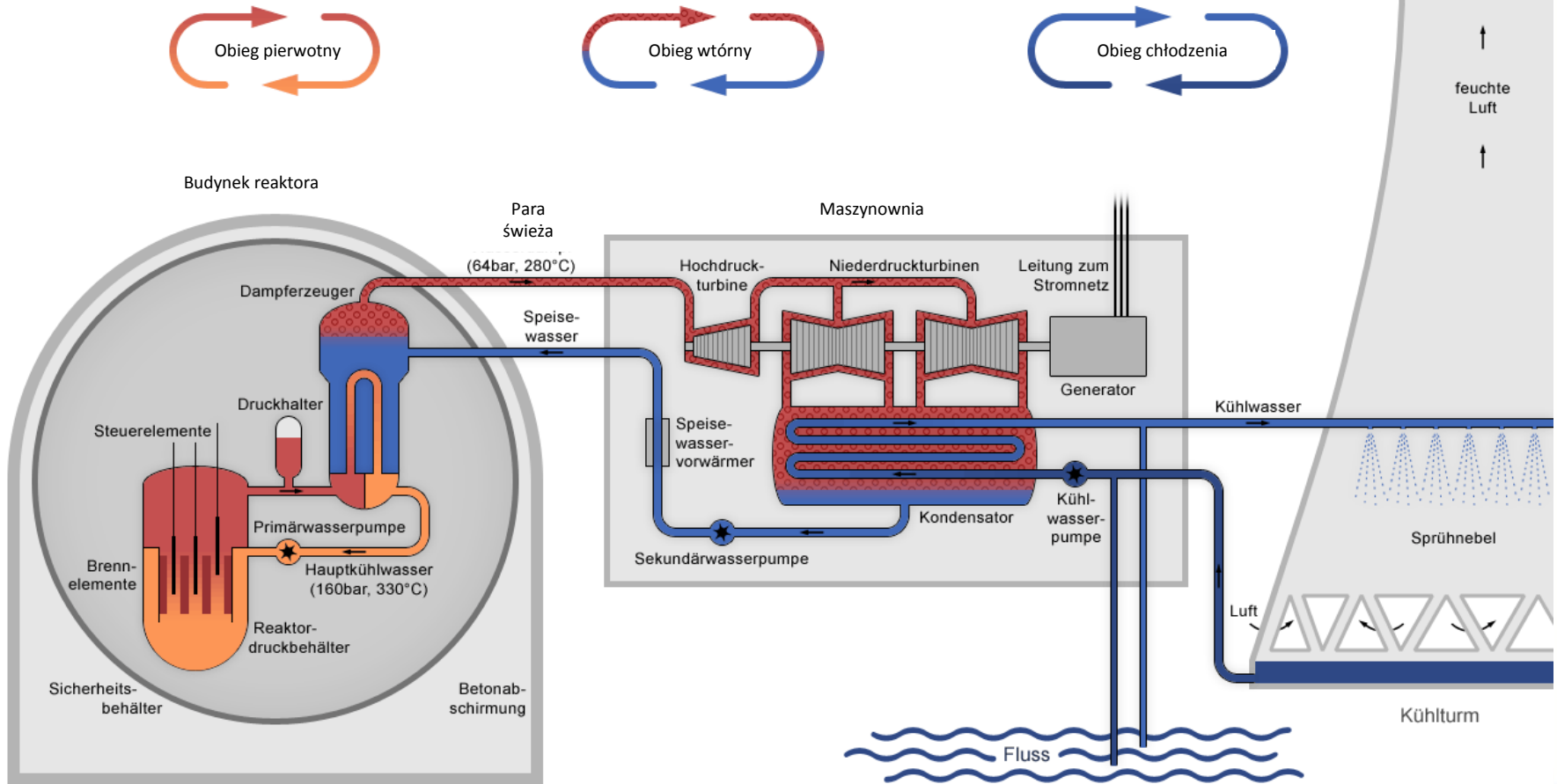
Source: U.S. Nuclear Regulatory Commission

BLOK Z REAKTOREM PWR



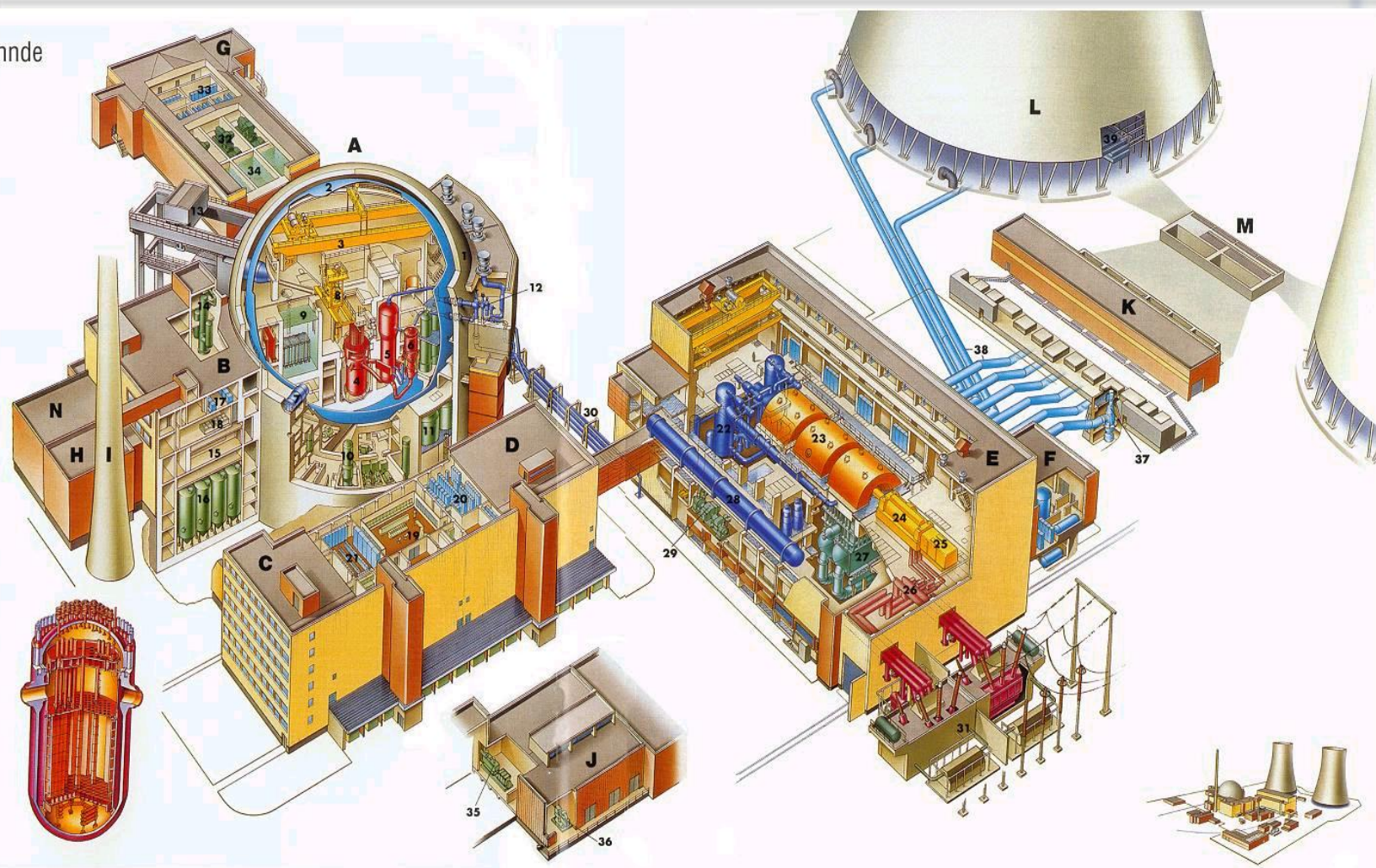
BLOK Z REAKTOREM PWR

Kernkraftwerk mit Druckwasserreaktor



Das Kernkraftwerk Grohnde

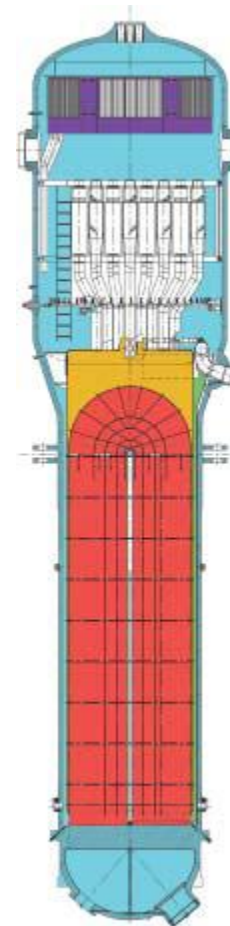
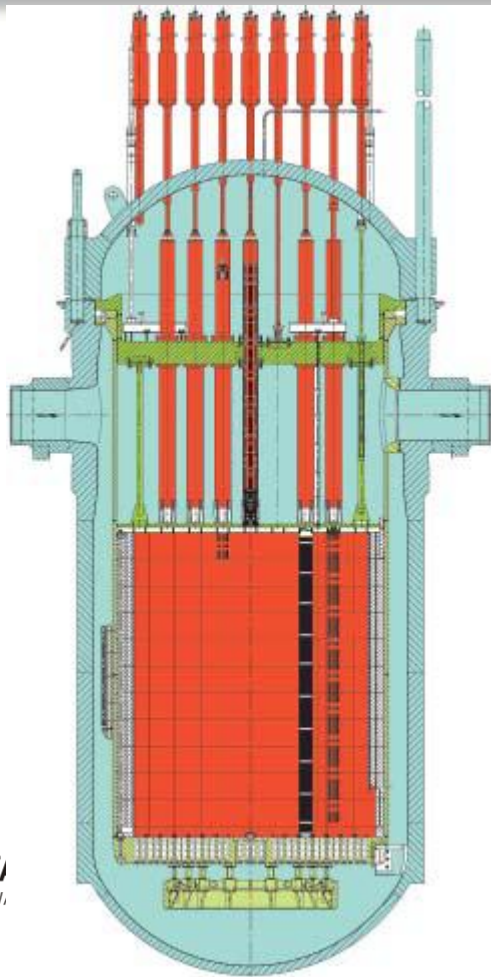
- A Reaktorgebäude**
 - 1 Betonkappe
 - 2 Reaktorsicherheitsbehälter
 - 3 Rundlaufkran
 - 4 Reaktordruckgefäß
 - 5 Dampferzeuger
 - 6 Hauptkühlmittelpumpe
 - 7 Personenschleuse
 - 8 Lademaschine
 - 9 Wasserbecken für gebrauchte Brennelemente
 - 10 Nuklearer Zwischenkühler
 - 11 Flutbehälter
 - 12 Frischdampf-Armatur
 - 13 Halbportalgerüst
- B Hilfsanlagengebäude**
 - 14 Abwasserndampfer
 - 15 Zufuflrnlge
 - 16 Kontrollbehälter für radioaktive Abwässer
 - 17 Wäscherie
 - 18 Duschräume
- C Büro- und Sozialgebäude**
- D Schaltanlagengebäude**
 - 19 Kraftwerkskvarnte
 - 20 Rechneraum
 - 21 Warten-Nebenraum
- E Maschinenhaus**
 - 22 Wasserabscheider/Zwischenüberhitzer
 - 23 Turbine
 - 24 Generator
 - 25 Erregermaschine
 - 26 Generatorableitung
 - 27 Kondensator
 - 28 Speisewasserbehälter
 - 29 Speisewasserpumpe
 - 30 Rohrbrücke
 - 31 Maschintrallo-Anlage
- F Kondensatreinigungsanlage**
- G Notspesegebäude**
 - 32 Notspesediesel
 - 33 Schaltanlage
 - 34 Deonatbecken
- H Bedarfsfilteranlage**
- I Abluftkamin**
- J Notstromdiesel- und Kaltwasserzentrale**
 - 35 Notstromdiesel
 - 36 Kältemaschine
- K Kühlwasserpumpenbauwerk**
 - 37 Hauptkühlwasserpumpe
 - 38 Hauptkühlwasserleitungen
- L Kühlturm**
 - 39 Kühlturmeinbauten
- M Kühlwassermischbauwerk**
- N Abfallbehandlung**



AREVA EPR



AREVA EPR



KAPIT/
NARODOW.

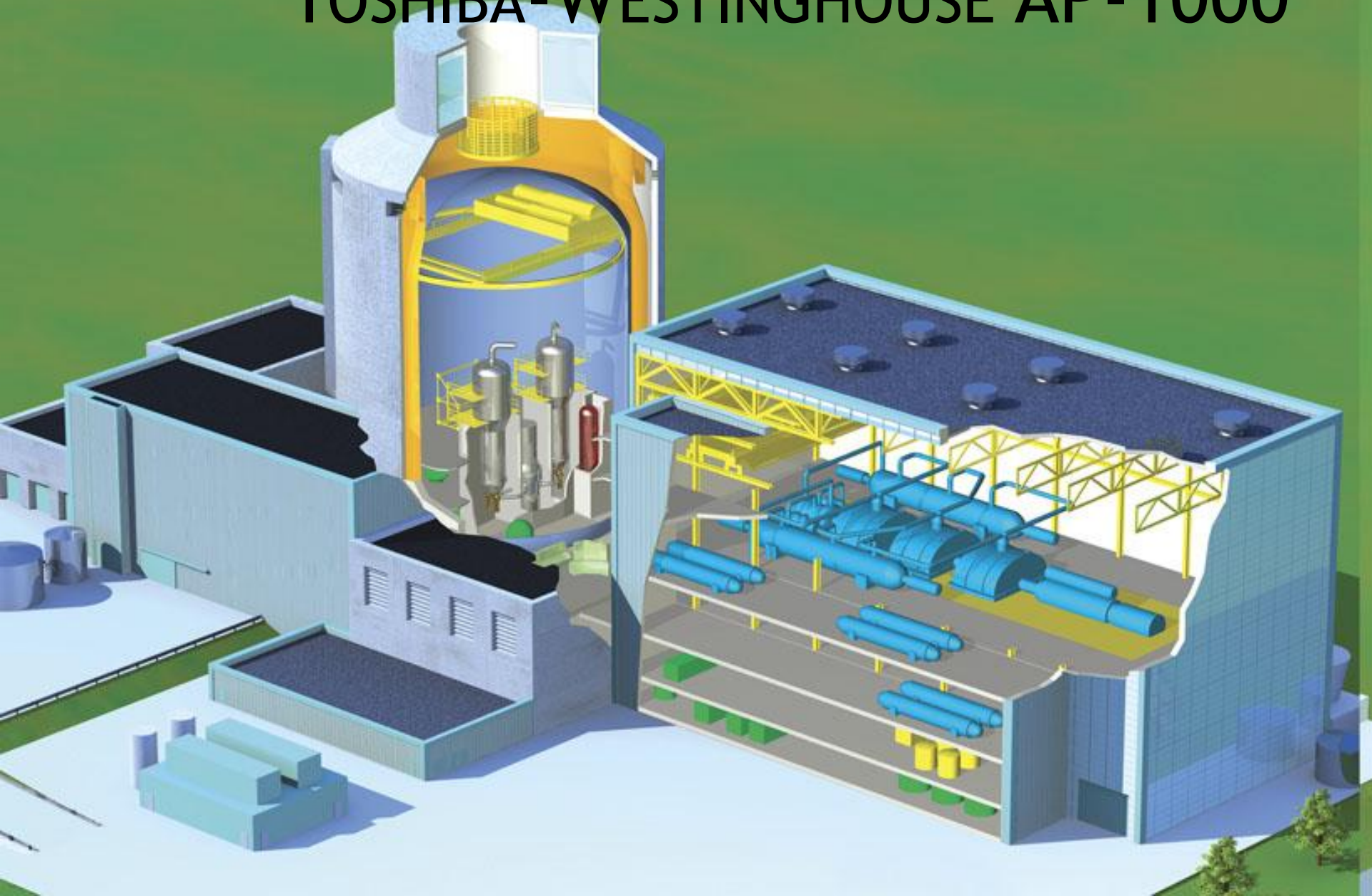



finansowane ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego
Instytut Techniczny Politechniki Częstochowskiej na kierunkach technicznych, przyrodniczych i matematycznych*
Numer projektu: UDA - POKL.04.01.02-00-128/09-00

EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
ISZ SPOŁECZNY



TOSHIBA-WESTINGHOUSE AP-1000

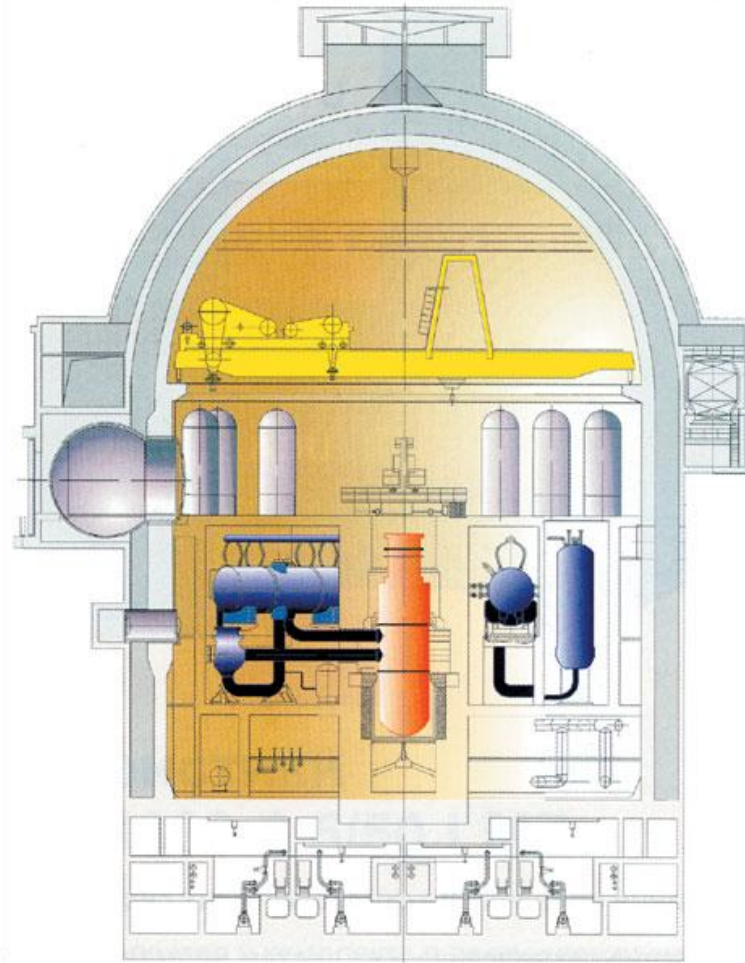
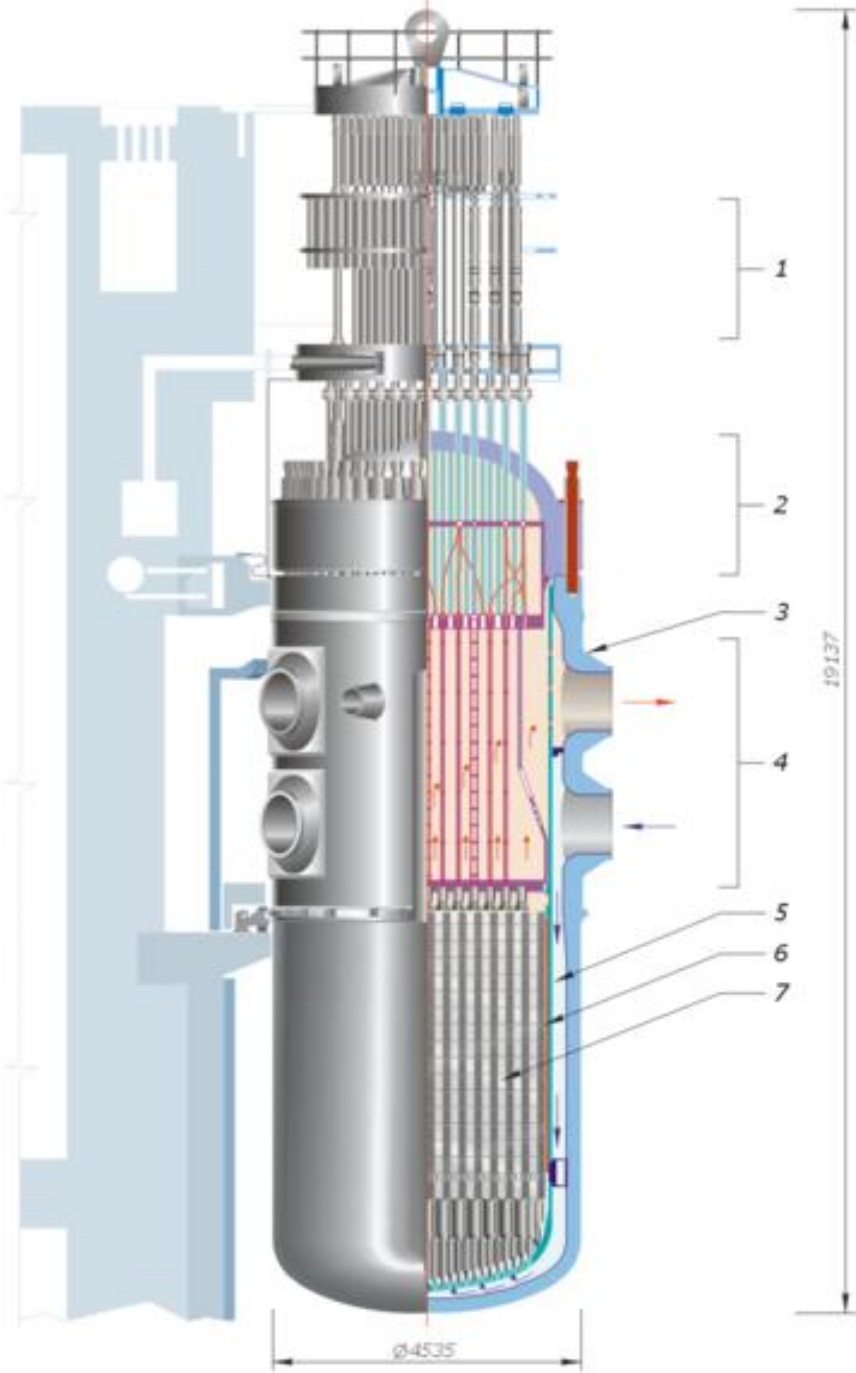




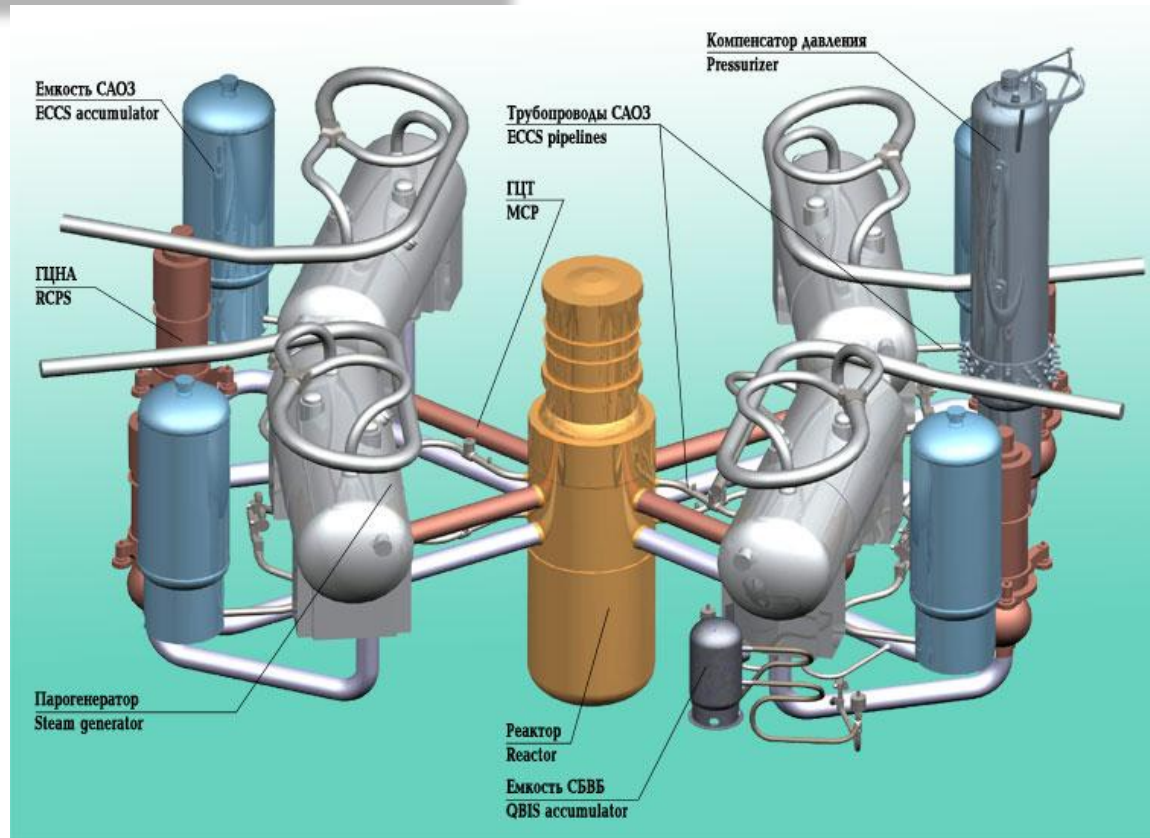
ВОДО-ВОДЯНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ РЕАКТОР (WWER)


- Rosyjski odpowiednik reaktora PWR
 - Poziome wytwornice pary (PWR pionowe)
- Producenci: SUN/RUS
- Użytkownicy: RUS, UKR, BGR, HUN, SVK, CZE, DDR, IRN, FIN, IND, CHN
- Modele:
 - WWER-440, 440 MWe
 - WWER-1000, 1000 MWe
 - projektowane WWER-1200, WWER-1500

WWER



WWER-1500

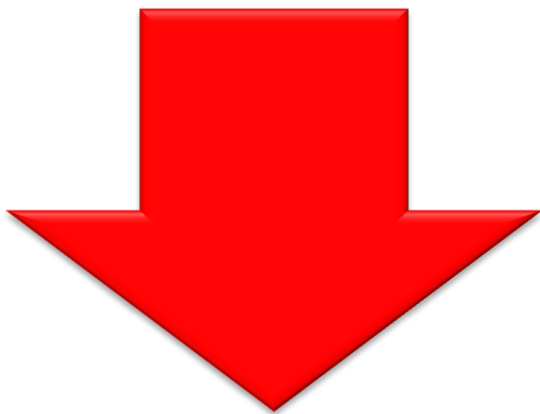




REAKTORY WODNE CIŚNIENIOWE PWR/WWER



Wysoka niezawodność
Rozpowszechnienie technologii
Samoczynne wygaszanie reakcji
przy utracie chłodziwa



Niska sprawność
Zagrożenie korozją wskutek
stosowania kwasu borowego



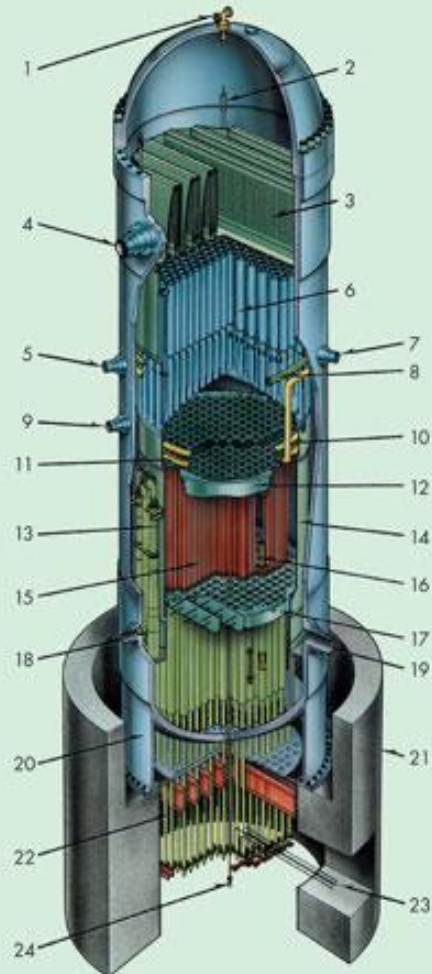
REAKTOR WODNY WRZĄCY BOILING WATER REACTOR (BWR)

- Reaktor zbiornikowy (zbiornik stalowy)
- Chłodziwo: H₂O
- Moderator: H₂O (ta sama masa, co chłodziwo)
- Paliwo: uran wzbogacony (4÷5%)
- Układ jednoobiegowy – wrzenie w rdzeniu
 - Produkcja pary nasyconej
- Sprawność: ok. 33%
- Uruchomienie i wyłączenie: pręty regulacyjne
- Regulacja mocy w zakresie powyżej 70%: pompy recyrkulacyjne
- Regulacja reaktywności w czasie kampanii: pręty regulacyjne
- Producenci: USA, DEU, SWE
- Użytkownicy: USA, DEU, SWE, FIN, CHE, JPN, ESP, ITA, MEX
- do 1600 MWe

BWR - GENERAL ELECTRIC

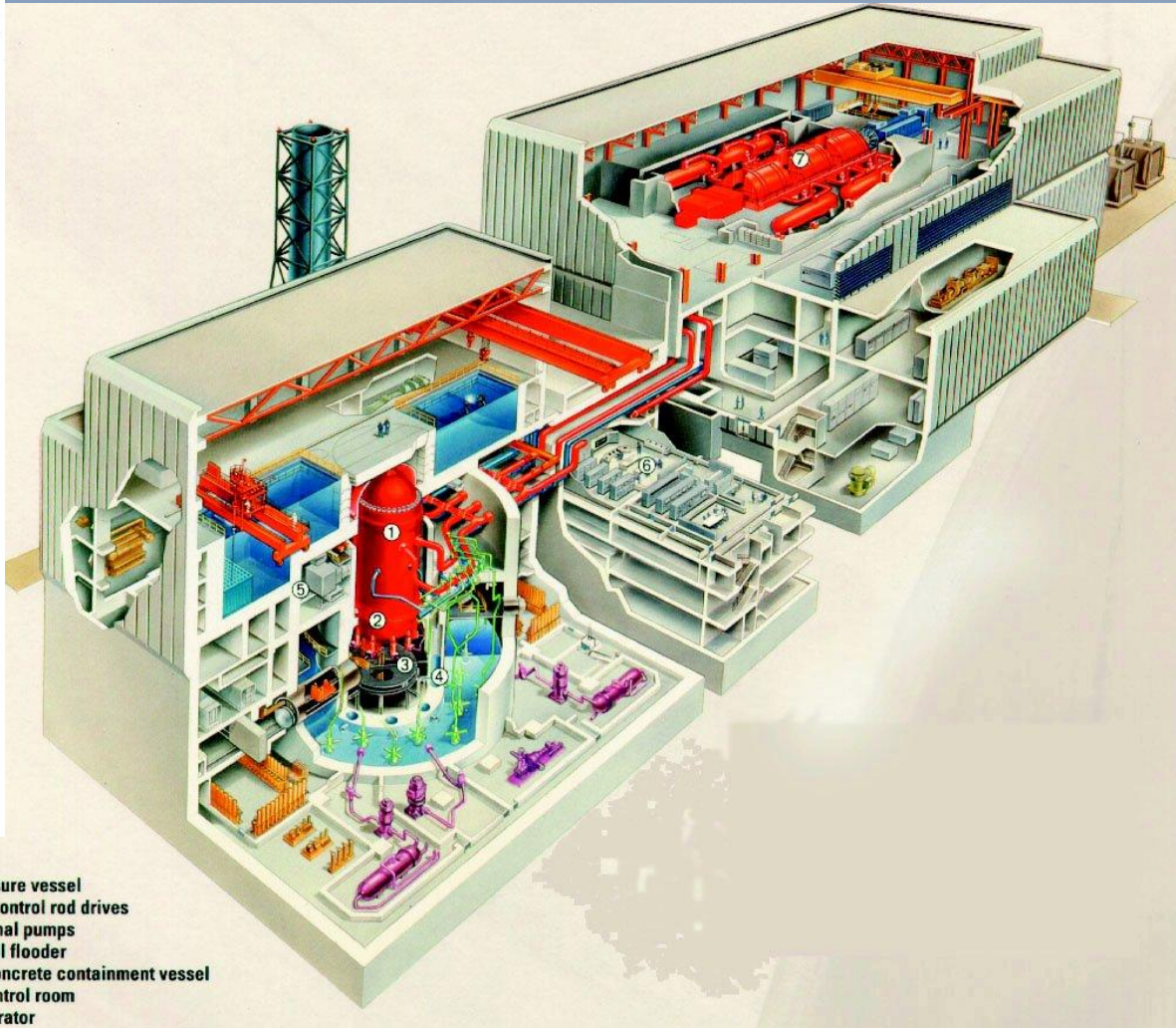
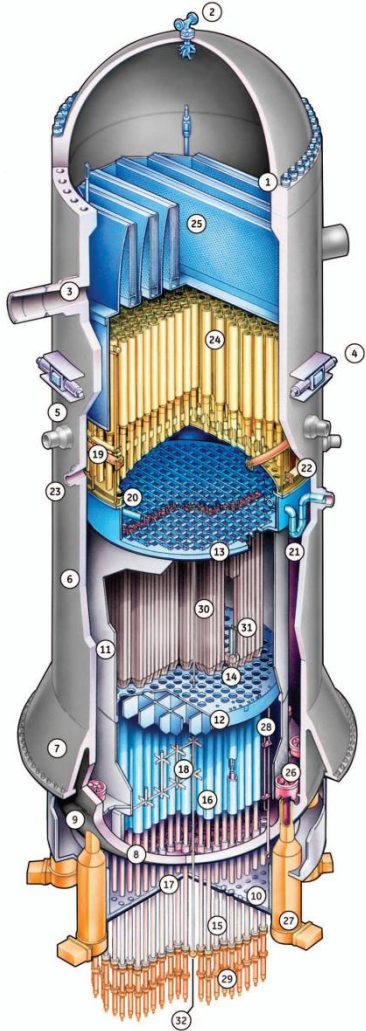
(KERNKRAFTWERK LEIBSTADT, CHF)

Reaktoraufbau



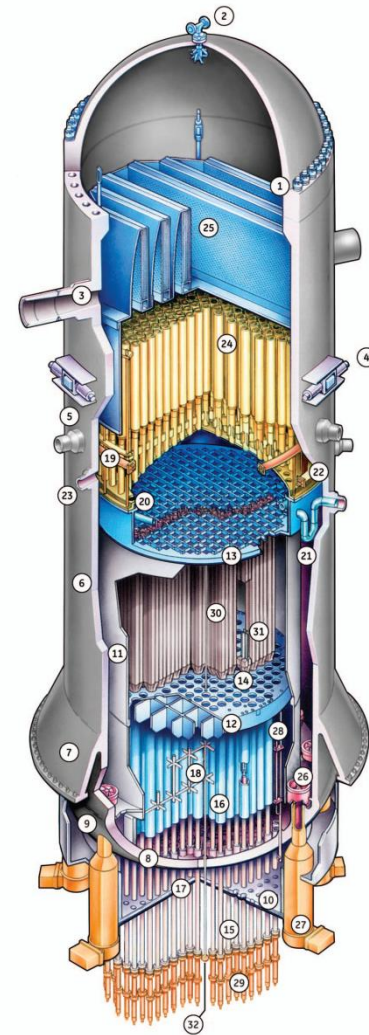
- 1 Entlüftung und Sprühleitung
- 2 Kranhaken für Dampftrockner
- 3 Dampftrockner
- 4 Frischdampfaustritt
- 5 Kernsprüheinheit
- 6 Wasserabscheider
- 7 Speisewassereintritt
- 8 Speisewasserverteilerling
- 9 Niederdruckeinspeisung
- 10 Kernsprühverteilung
- 11 Kernsprühdüsenring
- 12 Oberes Kernführungsgitter
- 13 Wasserstrahlpumpen
- 14 Kernmantel
- 15 Brennelemente
- 16 Steuerstab
- 17 Untere Kernplatte
- 18 Umwälzsystemeinspeisung
- 19 Umwälzsystemansaugung
- 20 Druckgefäßabstützung
- 21 Abschirmwand
- 22 Steuerstabantriebe
- 23 Steuerstabantriebsleitung
- 24 Neutronenflussinstrumentierung

GE-HITACHI ABWR

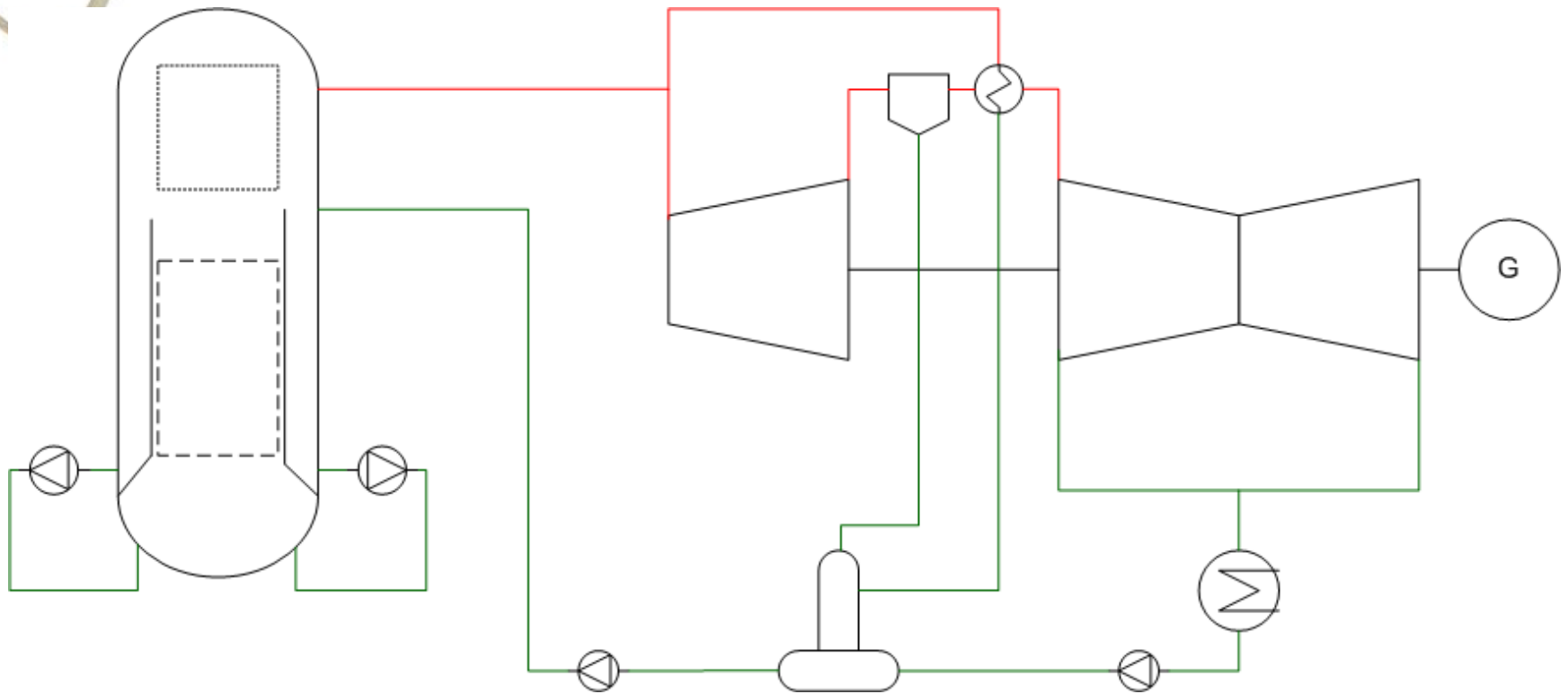


1. Reactor pressure vessel
2. Fine-motion control rod drives
3. Reactor internal pumps
4. Lower drywell flooder
5. Reinforced concrete containment vessel
6. Advanced control room
7. Turbine-generator

GE-HITACHI ABWR

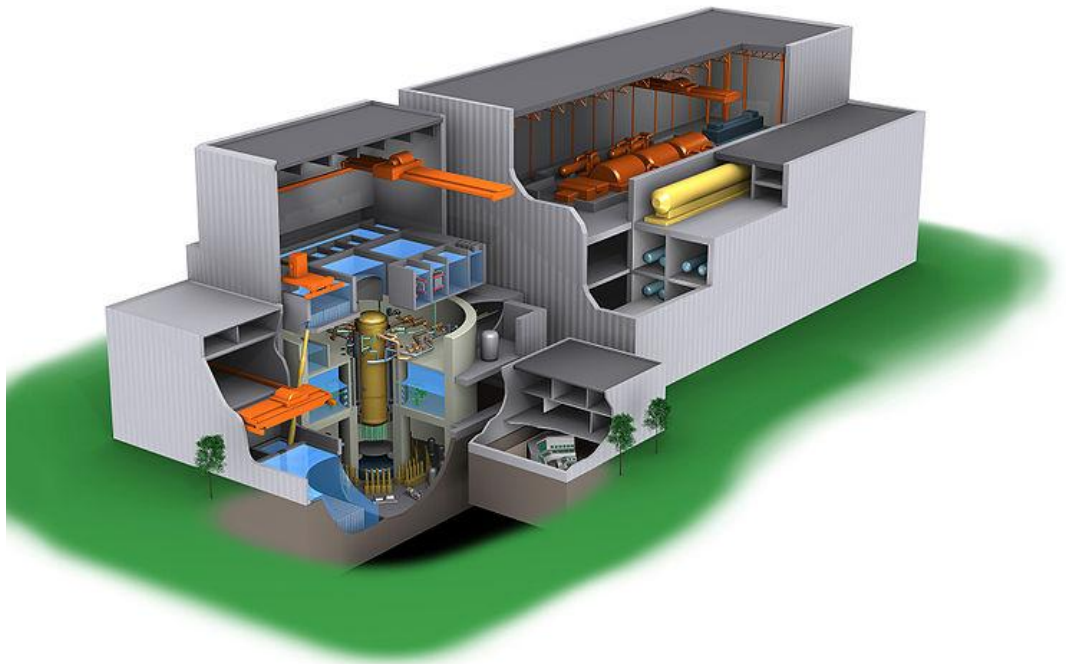
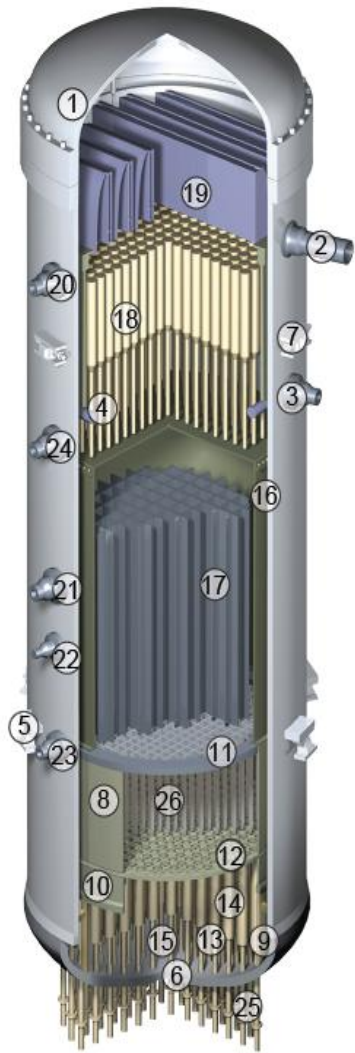



BLOK Z REAKTOREM BWR





GE-HITACHI ESBWR





REAKTORY WODNE WRZĄCE BWR

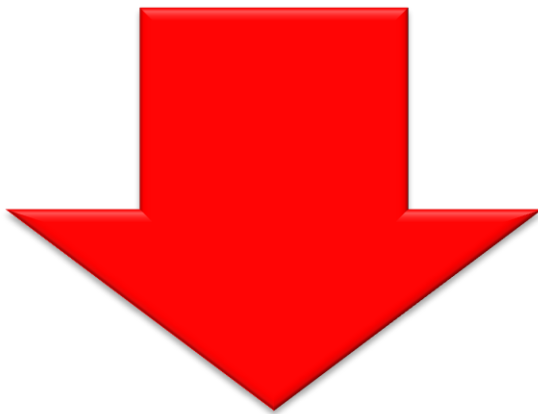


Wysoka niezawodność

Rozpowszechnienie technologii

Samoczynne wygaszanie reakcji przy utracie chłodziwa

Ciśnienie w reaktorze niższe niż dla PWR

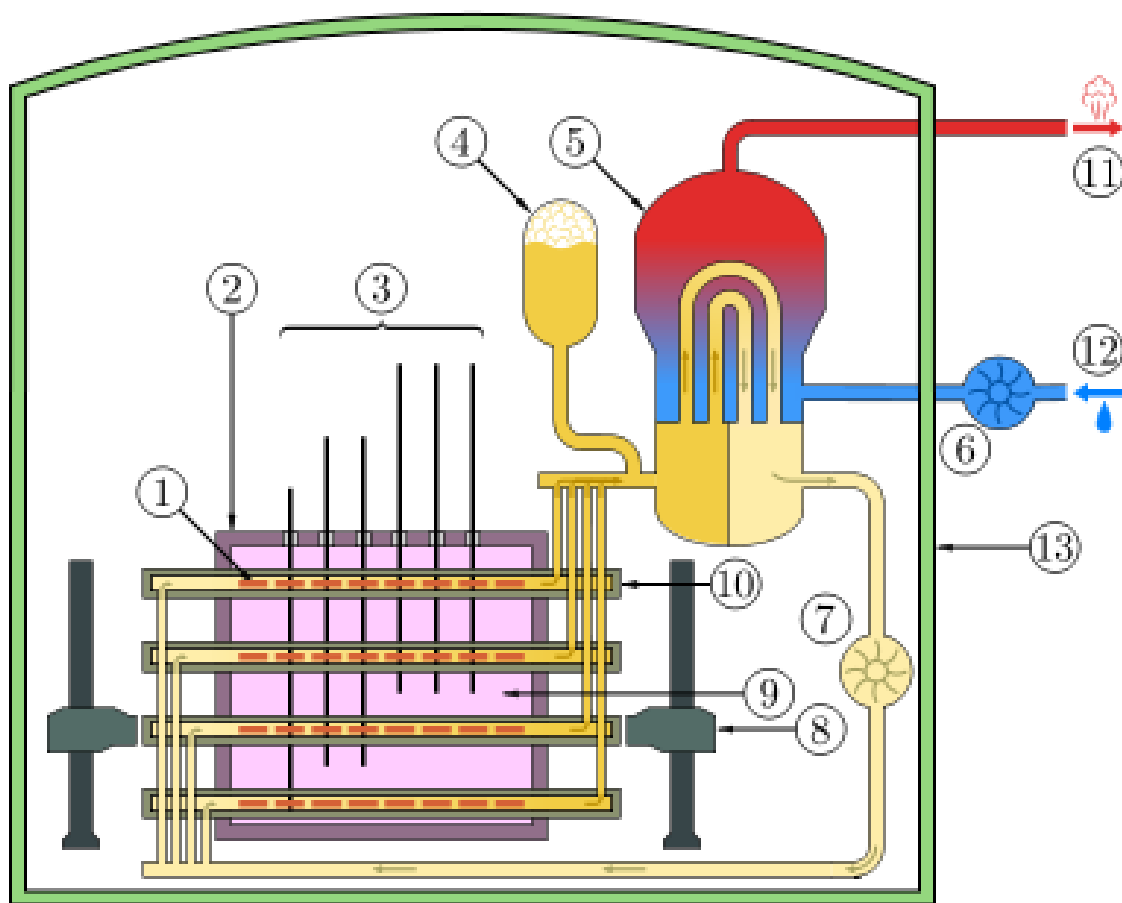


Niska sprawność

Radioaktywny czynnik roboczy w turbinie

Mniejsza niż dla PWR gęstość mocy w rdzeniu – większy zbiornik

REAKTOR CIŚNIENIOWY CIĘŻKOWODNY CANDU (CANADIAN DEUTERIUM URANIUM)



1. Wiązka elementów paliwowych
2. Kalandria
3. Pręty regulacyjne
4. Stabilizator ciśnienia
5. Wytwornica pary
6. Pompa wody zasilającej
7. Pompa cyrkulacyjna
8. Maszyna załadownicza paliwa
9. Moderator ciężkowodny
10. Kanał ciśnieniowy
11. Rurociąg pary świeżej
12. Rurociąg wody zasilającej

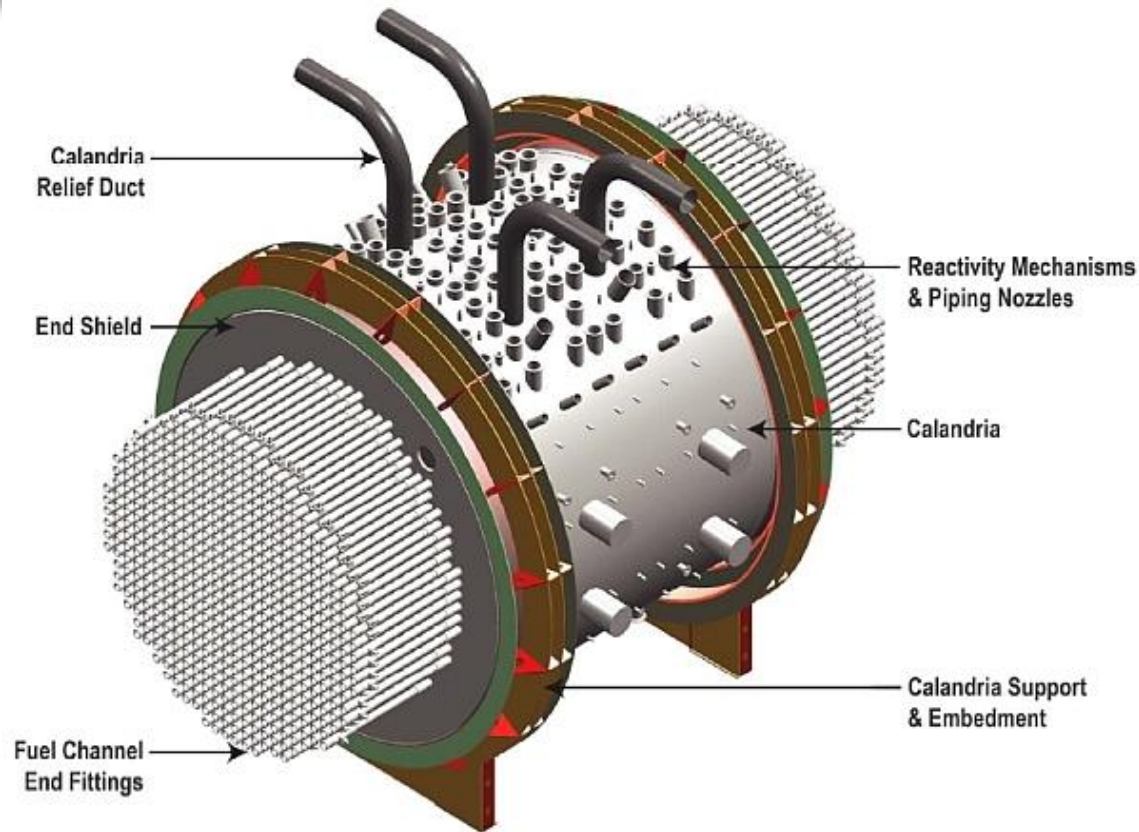




REAKTOR CIŚNIENIOWY CIĘŻKOWODNY CANDU, PHWR, ACL

- Reaktor zbiornikowo-kanałowy (zbiornik stalowy)
- Chłodziwo: D₂O (H₂O w ACL)
- Moderator: D₂O
- Paliwo: uran naturalny lub lekko wzbogacony (0,9÷1,2%)
- Układ dwuobiegowy
 - Obieg pierwotny ciężkowodny, ok. 100 bar (130 bar dla ACL)
 - Obieg wtórny wodno-parowy z turbiną parową, 50 bar, 260°C (70 bar dla ACL)
- Sprawność: ok. 30%
- Producenci: CAN, IND
- Użytkownicy: CAN, IND, ARG, KOR, PAK, ROU, CHN
- do 935 MWe (1200 MWe dla ACL-1200)

ACR - ADVANCED CANDU REACTOR



REAKTOR CIŚNIENIOWY CIĘŻKOWODNY CANDU



Centrala Nucleară de la Cernavodă (ROU)
2 × 706 MWe brutto
2 × 650 MWe netto
1996-/2007-



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego
"Zwiększenie liczby absolwentów Politechniki Częstochowskiej na kierunkach technicznych, przyrodniczych i matematycznych"
Numer projektu: UDA - POKL.04.01.02-00-128/09-00

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

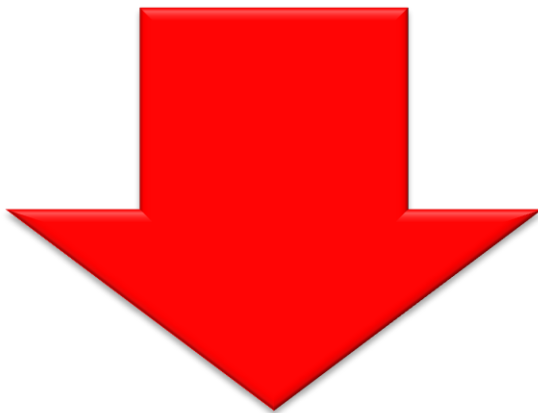




REAKTOR CIŚNIENIOWY CIĘŻKOWODNY

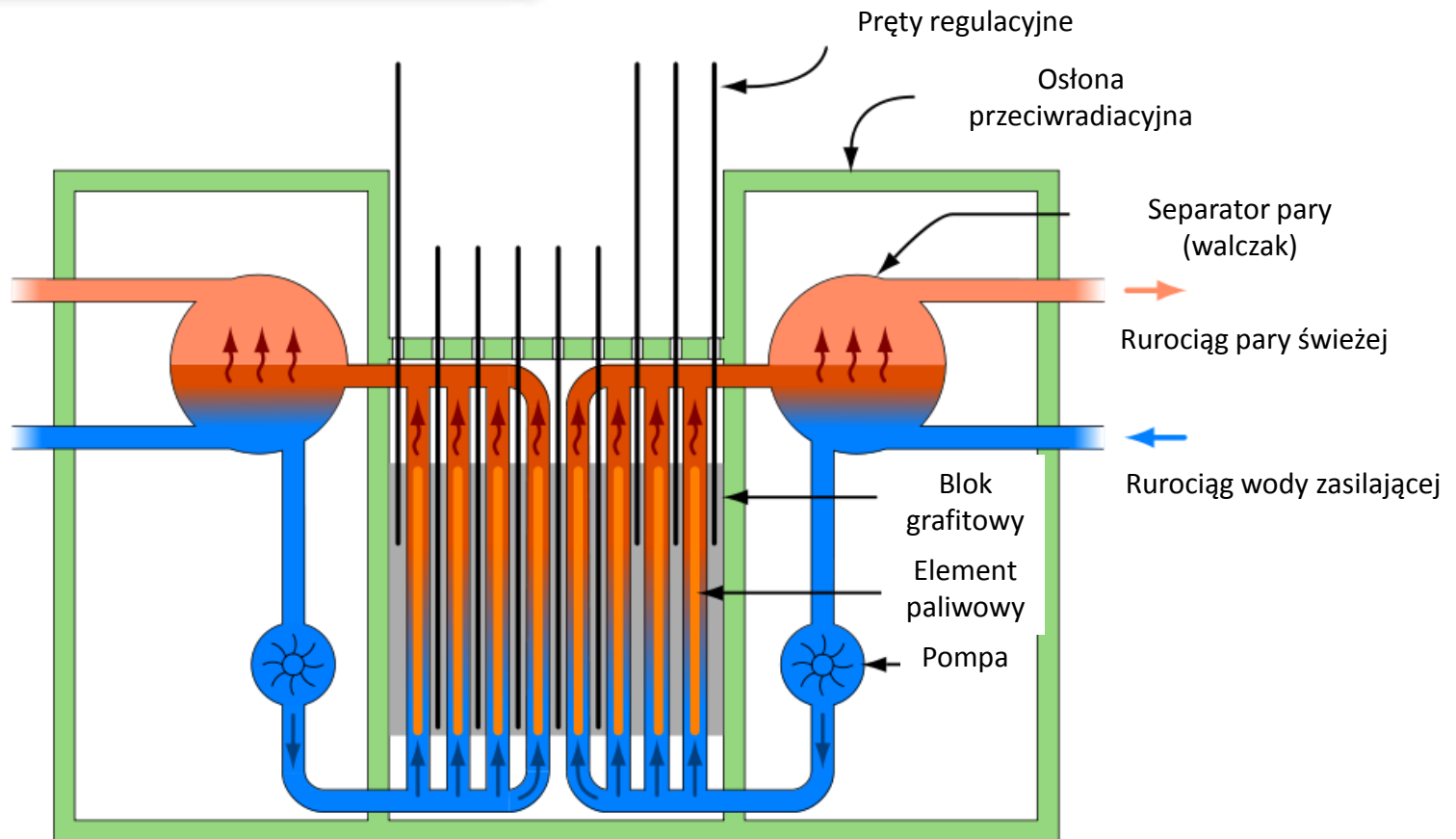



- Niskie ciśnienie w kalandrii
- Możliwość produkcji izotopów promieniotwórczych
- Możliwość przeładunku paliwa w czasie pracy
- Niskie wymagane wzbogacenie paliwa



- Niska sprawność
- Duża objętość rdzenia
- Duża liczba połączeń hydraulicznych
- Konieczność wytwarzania ciężkiej wody

REAKTOR WODNO-GRAFITOWY KANAŁOWY РЕАКТОР БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ КАНАЛЬНЫЙ (РВМК)





REAKTOR WODNO-GRAFITOWY KANAŁOWY (LWGR) РЕАКТОР БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ КАНАЛЬНЫЙ (РВМК)

- Reaktor kanałowy
- Chłodziwo: H₂O
- Moderator: Grafit
- Paliwo: uran wzbogacony, 2%
- Układ jednoobiegowy (z wyj. pierwszego reaktora w Obnińsku)
 - Parametry pary świeżej: 70 bar, 285°C
- Sprawność: ok. 32%
- Producenci: SUN
- Użytkownicy: SUN, LTU
- Bloki 1000 lub 1500 MWe



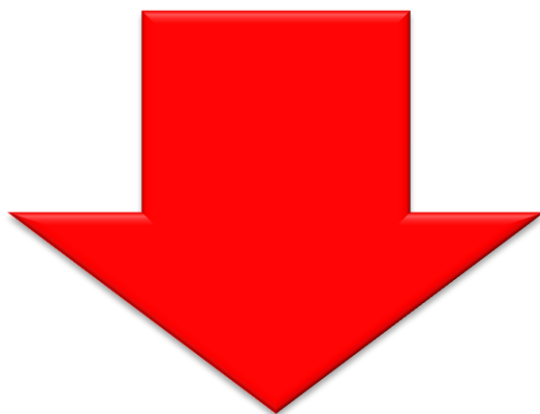
REAKTOR WODNO-GRAFITOWY KANAŁOWY РЕАКТОР БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ КАНАЛЬНЫЙ (РВМК)



Łatwa konstrukcja

Teoretyczna możliwość uzyskania pary przegrzanej (nigdy nie wdrożona)

Możliwość przeładunku paliwa w czasie pracy



Dodatni współczynnik temperaturowy reaktywności!!!

Temperatura pracy grafitu powyżej temperatury jego zapłonu w powietrzu

Niska sprawność

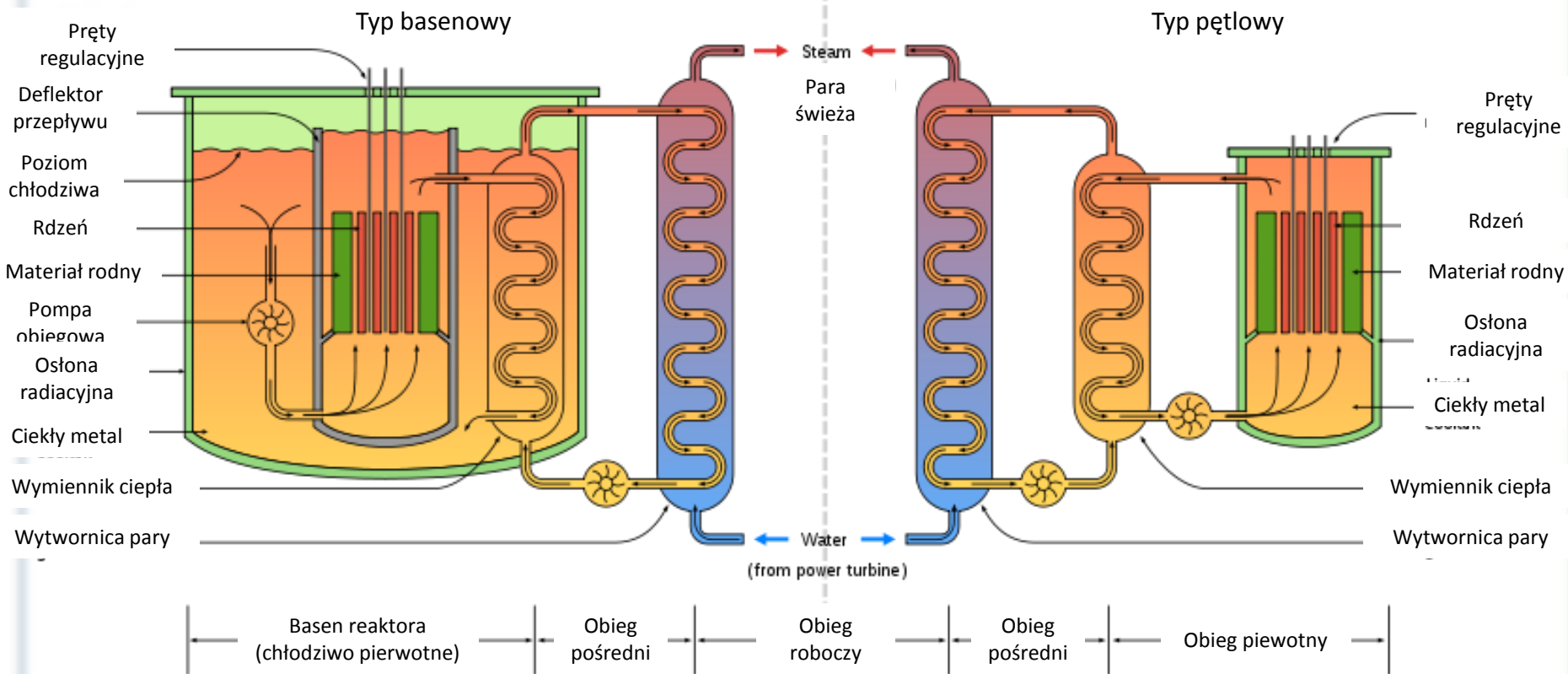
Duża objętość rdzenia

Brak obudowy bezpieczeństwa

(Niedostateczne systemy bezpieczeństwa)

REAKTOR PRĘDKI POWIELAJĄCY FAST BREEDER REACTOR (FBR)

Liquid Metal cooled Fast Breeder Reactors (LMFBR)





REAKTOR PRĘDKI POWIELAJĄCY FAST BREEDER REACTOR (FBR)

- Reaktor basenowy lub zbiornikowy
- Chłodziwo: ciekły Na (ew. Bi-Pb)
- Moderator: brak
- Paliwo: MOX – PuO₂ + UO₂
- Układ trójbiegowy
 - Obieg pierwotny, ciekły metal, aktywny, 400÷600°C
 - Obieg pośredni, ciekły metal, nieaktywny
 - Obieg wtórny, wodno-parowy, turbina parowa, 550°C, 160 bar
- Bardzo wysoka gęstość mocy w rdzeniu
- Pomnażanie paliwa (konwersja materiału rodniego w rozszczepialny)

REAKTOR PRĘDKI POWIELAJĄCY FAST BREEDER REACTOR (FBR)

Biełojarsk-3 – BN-600
600 MWe brutto
560 MWe netto
1980-



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego
"Zwiększenie liczby absolwentów Politechniki Częstochowskiej na kierunkach technicznych, przyrodniczych i matematycznych"
Numer projektu: UDA - POKL.04.01.02-00-128/09-00

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



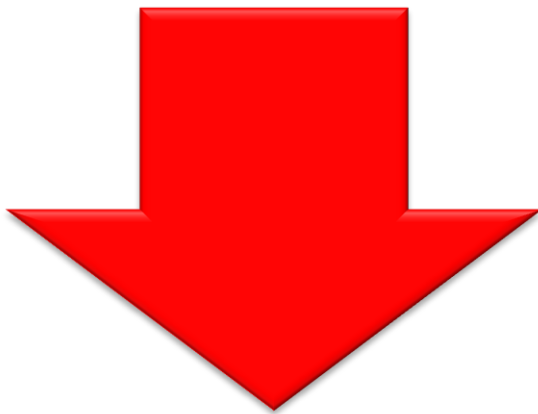


REAKTOR PRĘDKI POWIELAJĄCY FAST BREEDER REACTOR (FBR)

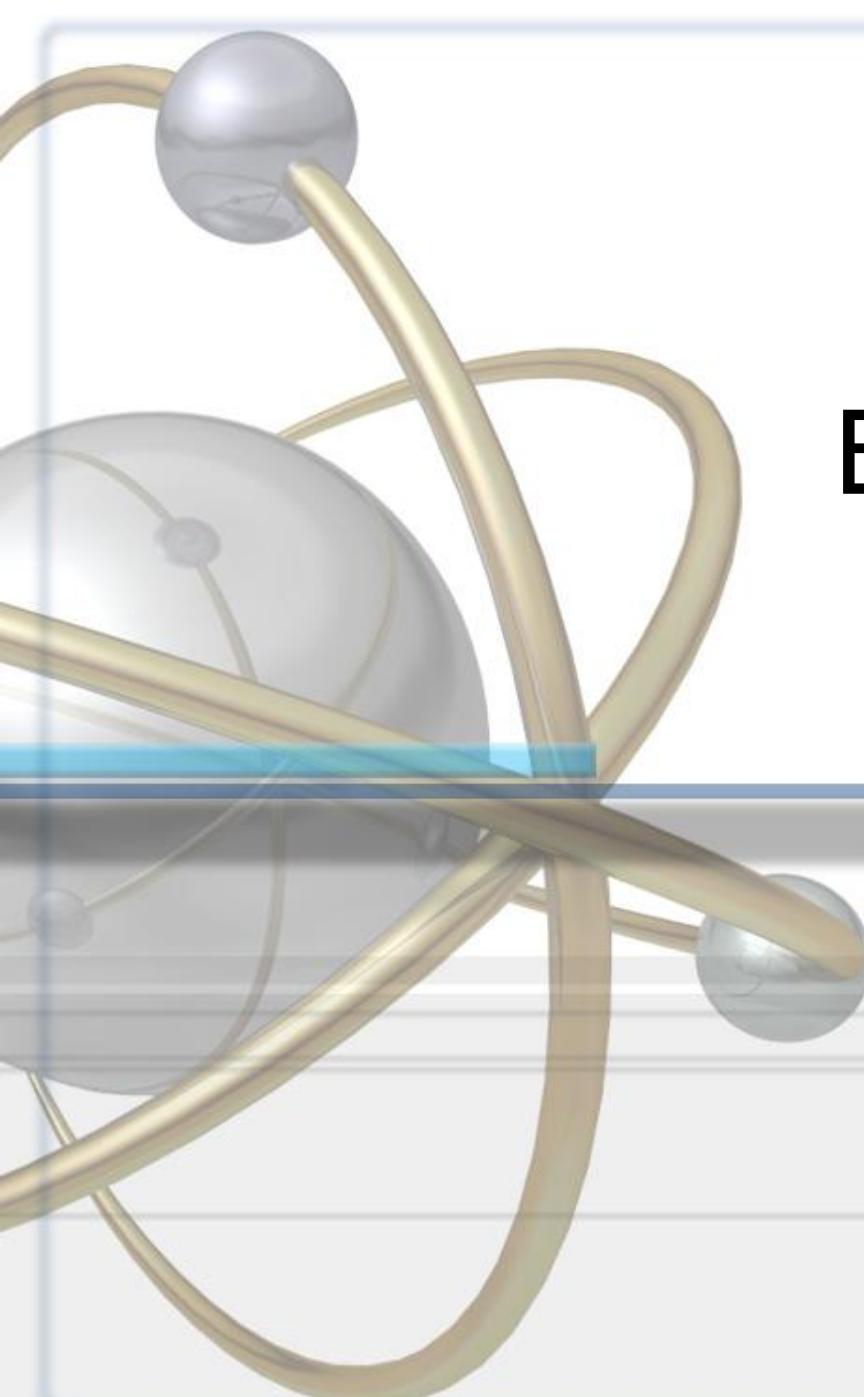


Możliwość powielania paliwa

Wysokie parametry pary –
wysoka sprawność



Problemy technologiczne
wynikające z zastosowanego
chłodziwa



ENERGETYKA JĄDROWA DZIŚ I JUTRO

Adam Jerzy Rajewski
Zakład Termodynamiki
Instytut Techniki Ciepłej
Politechnika Warszawska

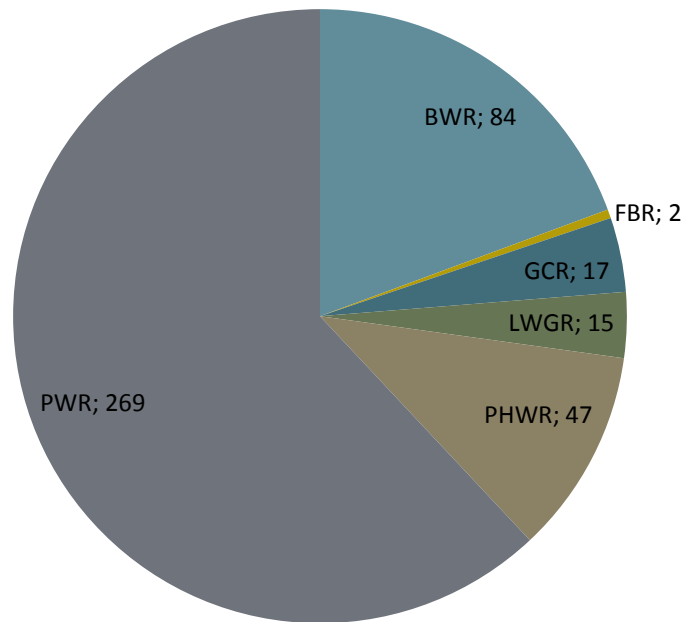


ENERGETYKA JĄDROWA DZIŚ

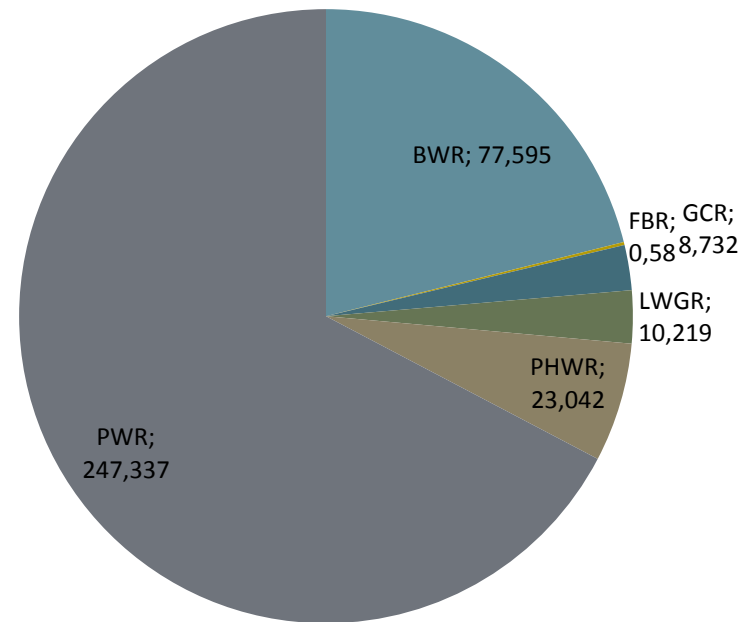
- 434 pracujące bloki jądrowe w 31 krajach
- łączna moc zainstalowana 367,5 GW_e
- 5 bloków długoterminowo wyłączonych
- 64 bloki w budowie

ENERGETYKA JĄDROWA DZIŚ

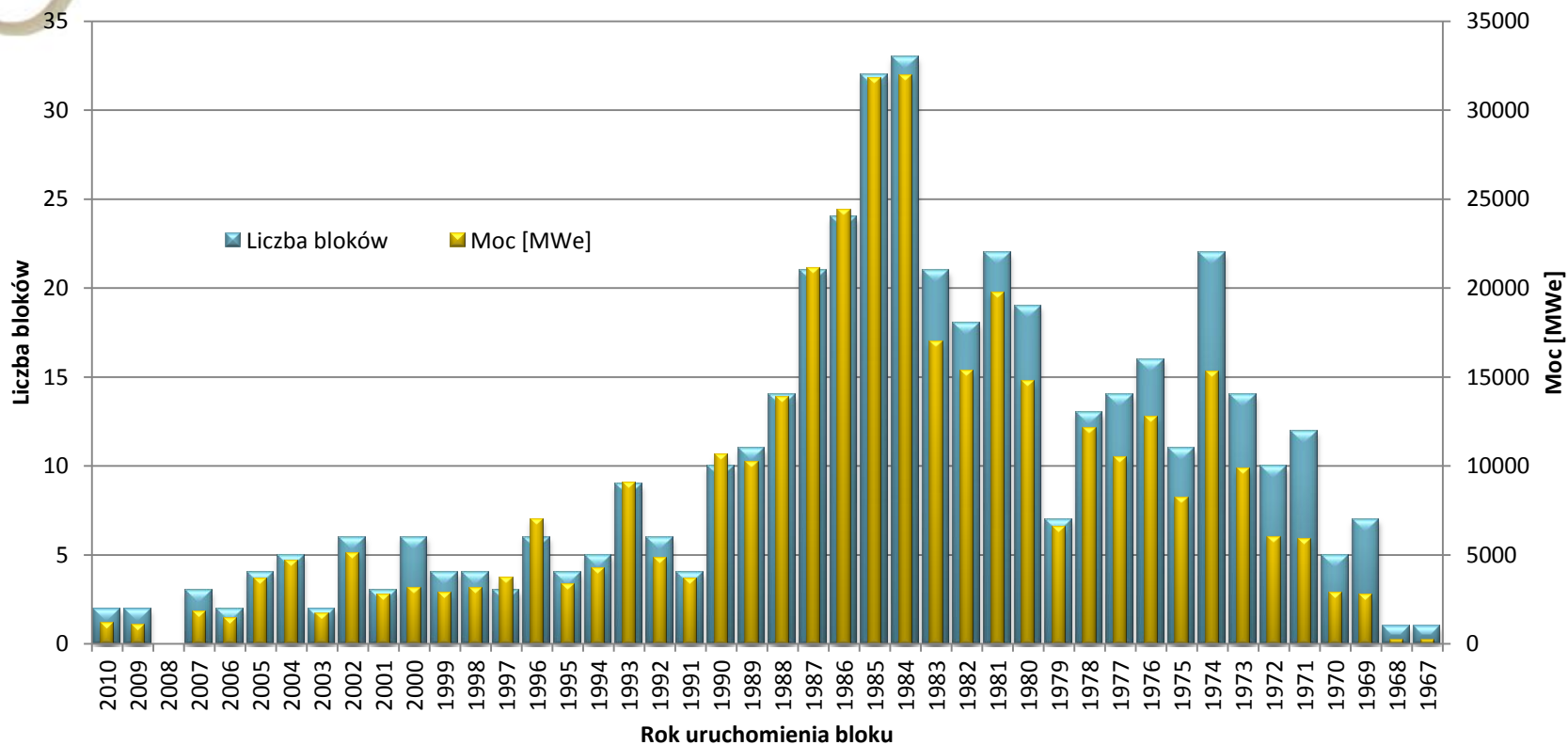
Liczba bloków



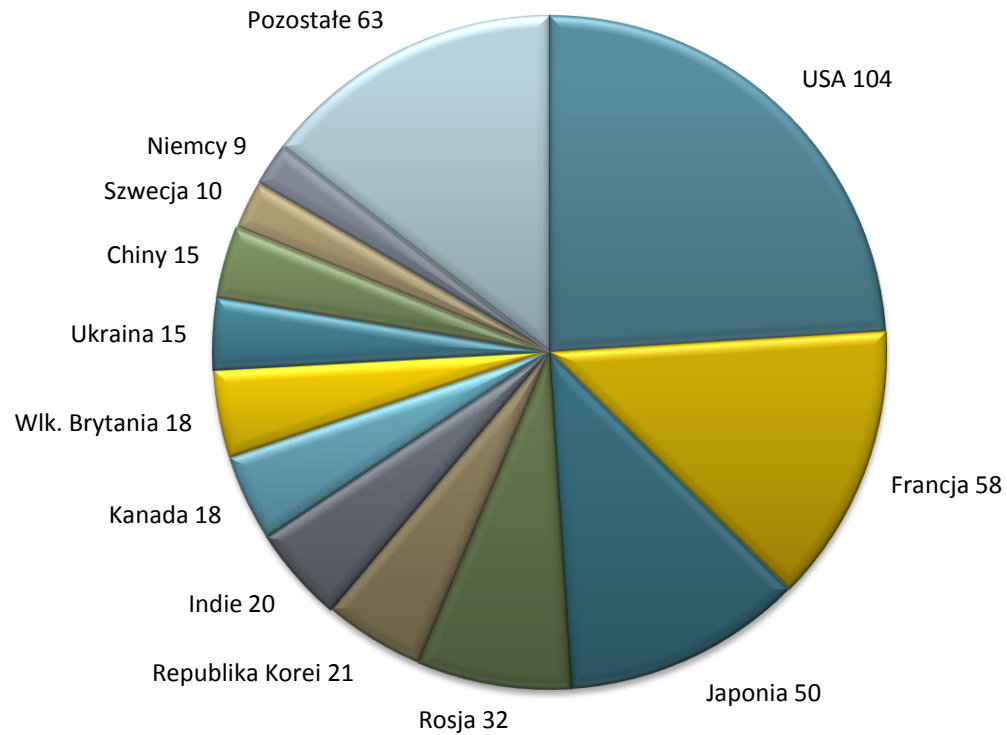
Moc zainstalowana [GWe]



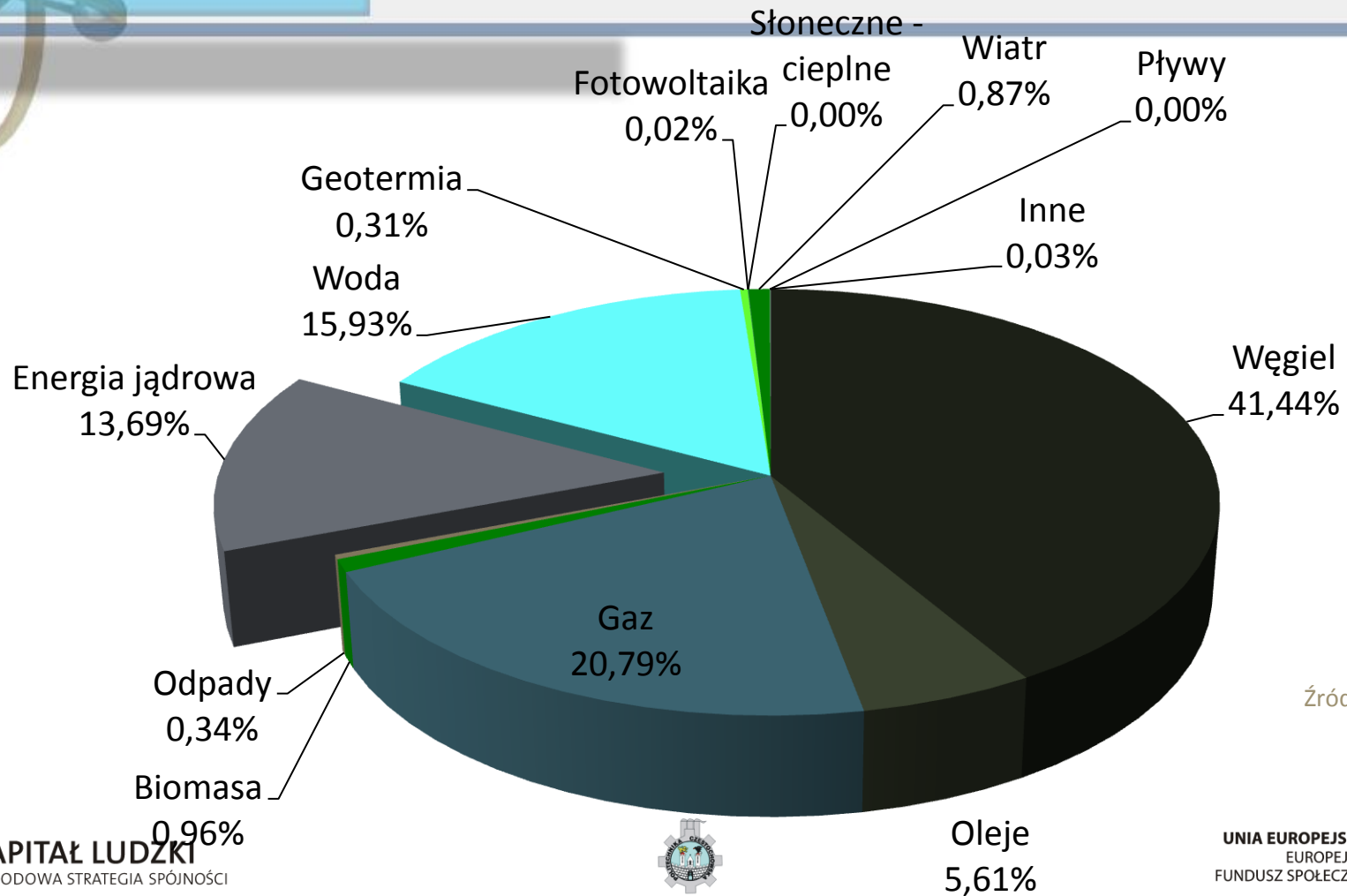
WIEK PRACUJĄCYCH BLOKÓW JĄDROWYCH (STAN NA 2010)



BLOKI JĄDROWE NA ŚWIECIE



Produkcja energii elektrycznej na świecie (2007)



Źródło: IEA, 2010



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

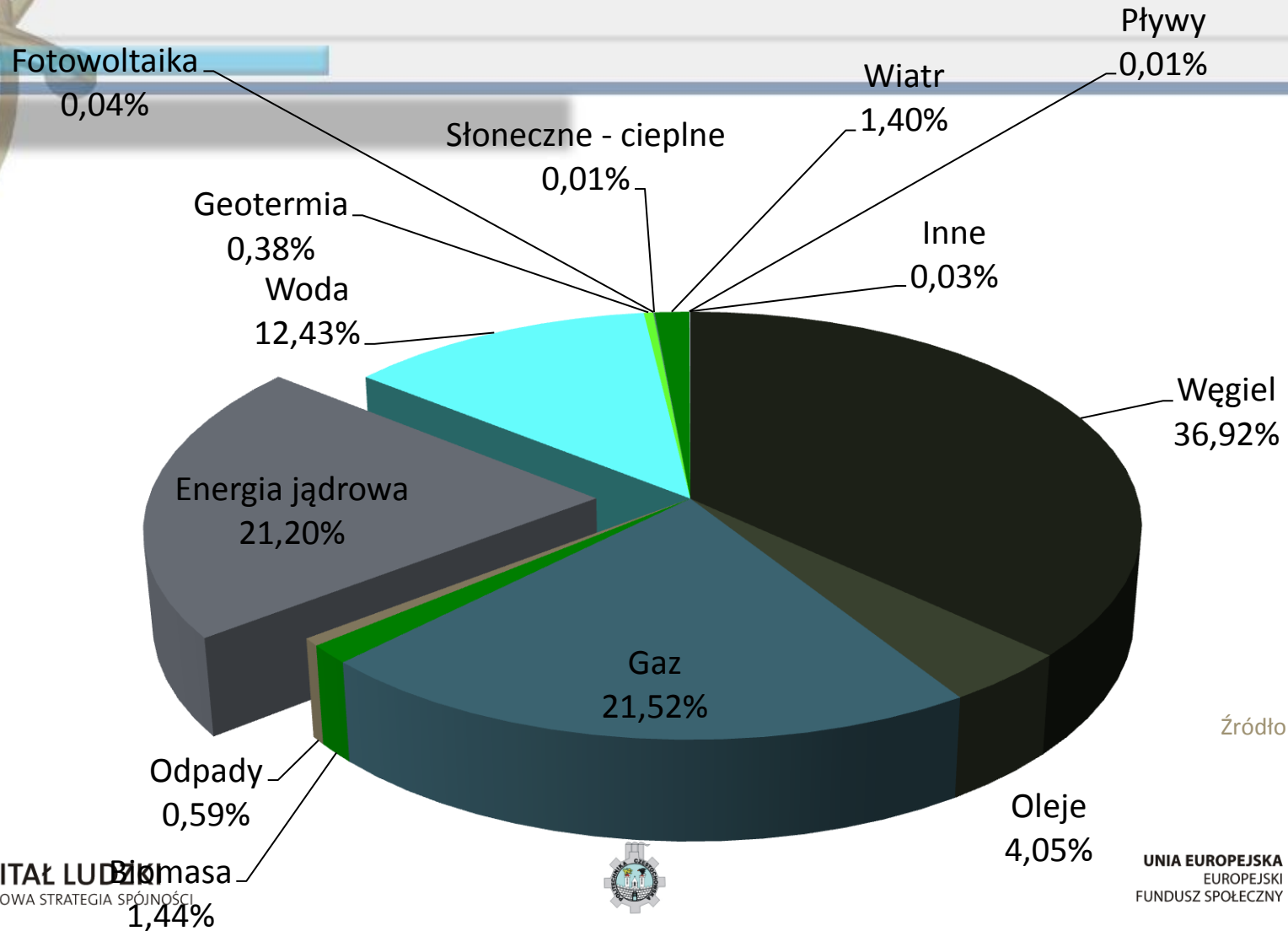


Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego
"Zwiększenie liczby absolwentów Politechniki Częstochowskiej na kierunkach technicznych, przyrodniczych i matematycznych"
Numer projektu: UDA - POKL.04.01.02-00-128/09-00

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Produkcja energii elektrycznej w krajach OECD (2007)



Źródło: IEA, 2010



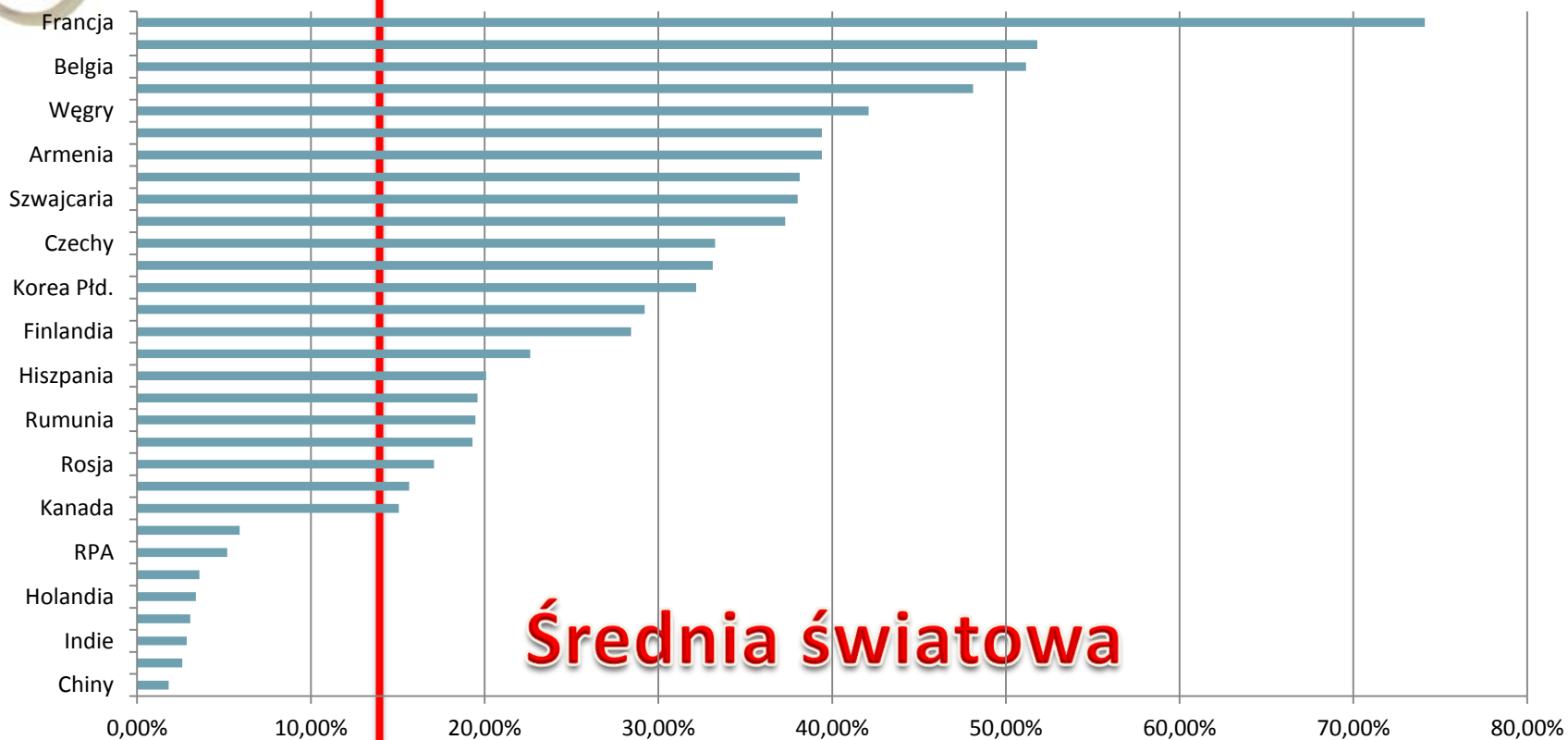
KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



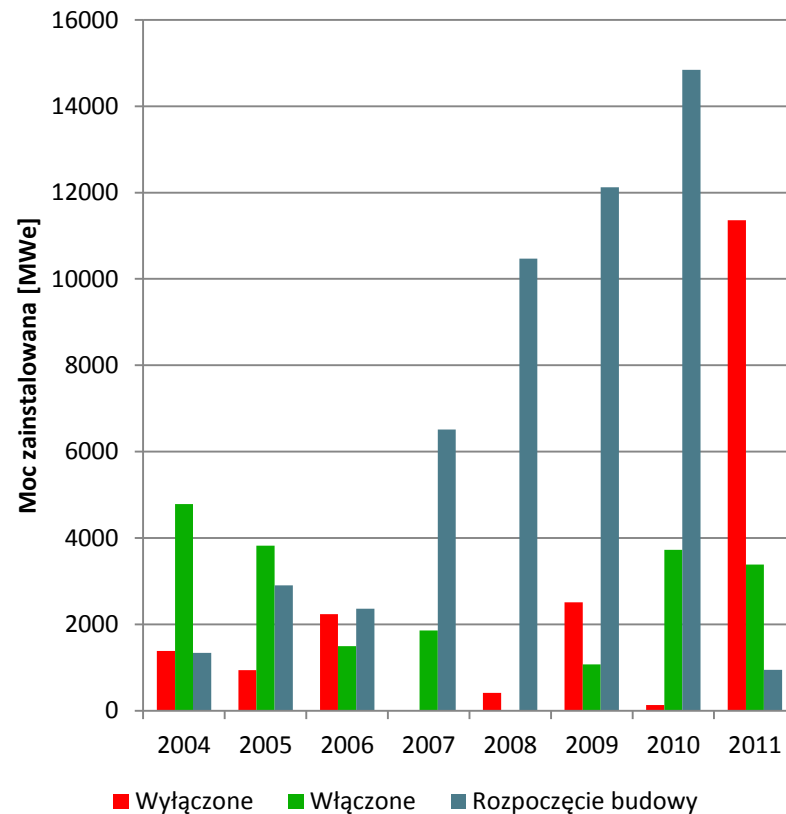
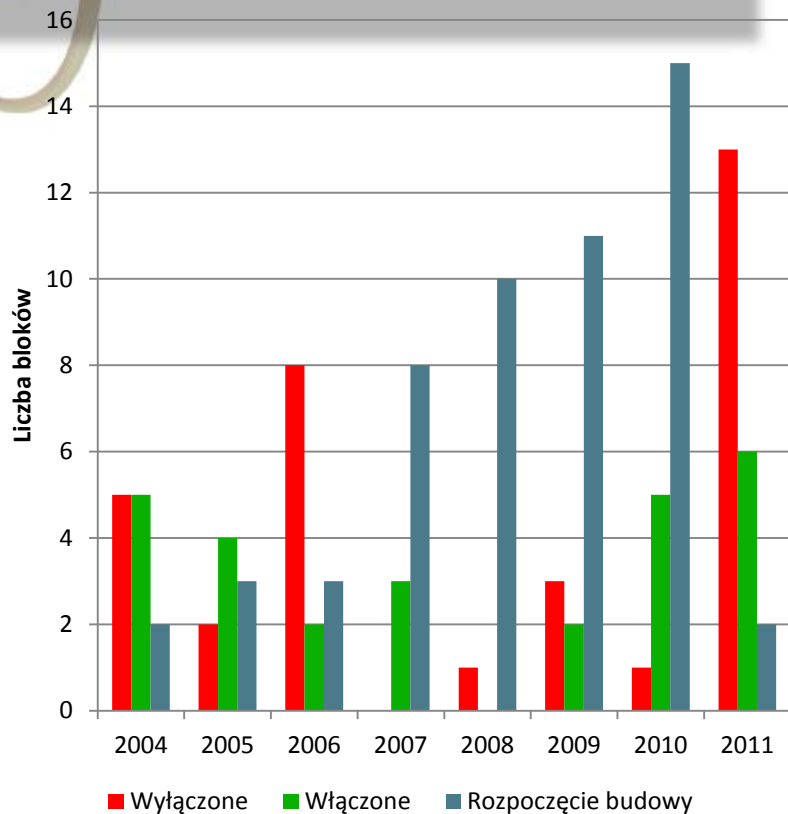
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



ENERGETYKA JĄDROWA W KRAJOWYM SYSTEMIE ENERGETYCZNYM (2010)



WŁĄCZENIA I WYŁĄCZENIA

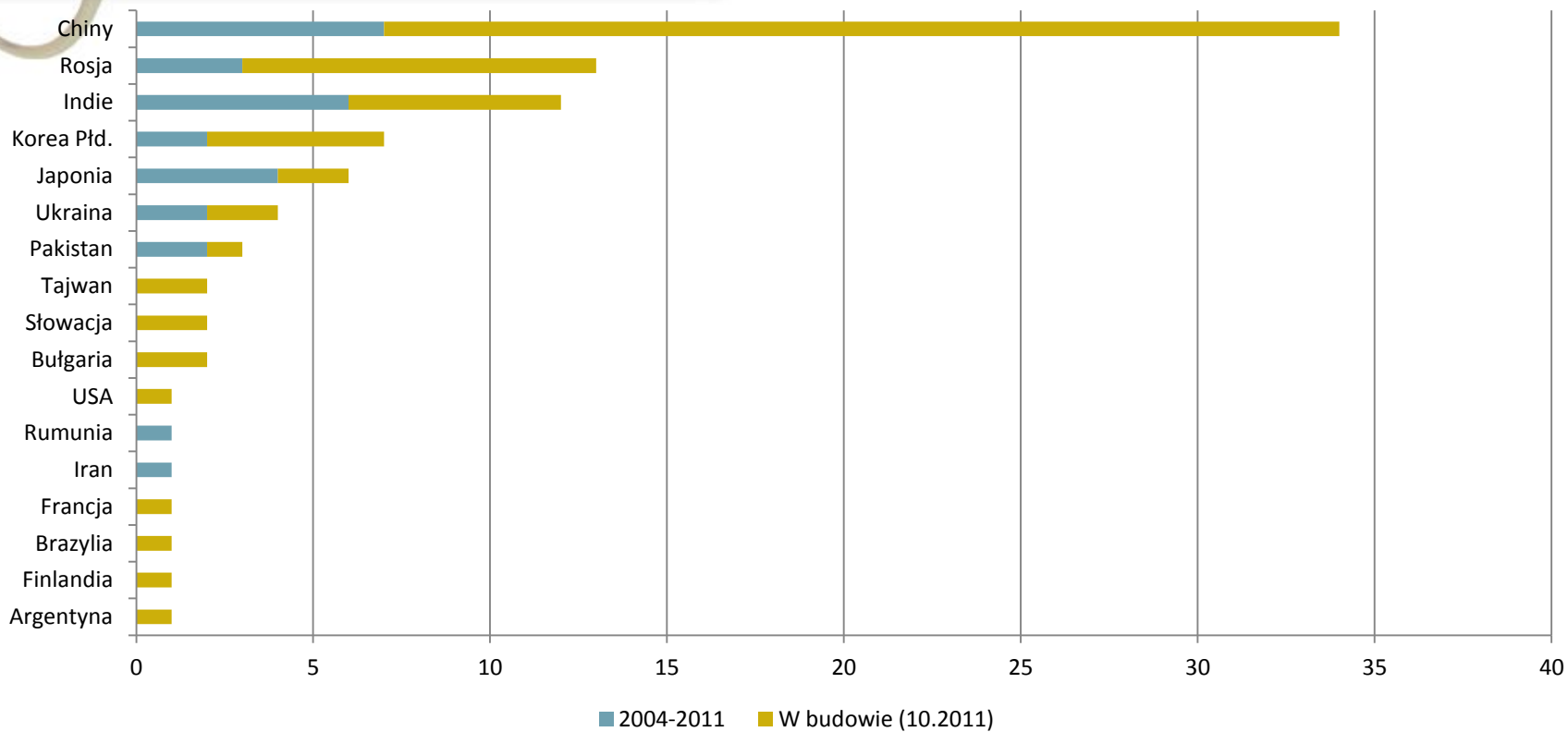




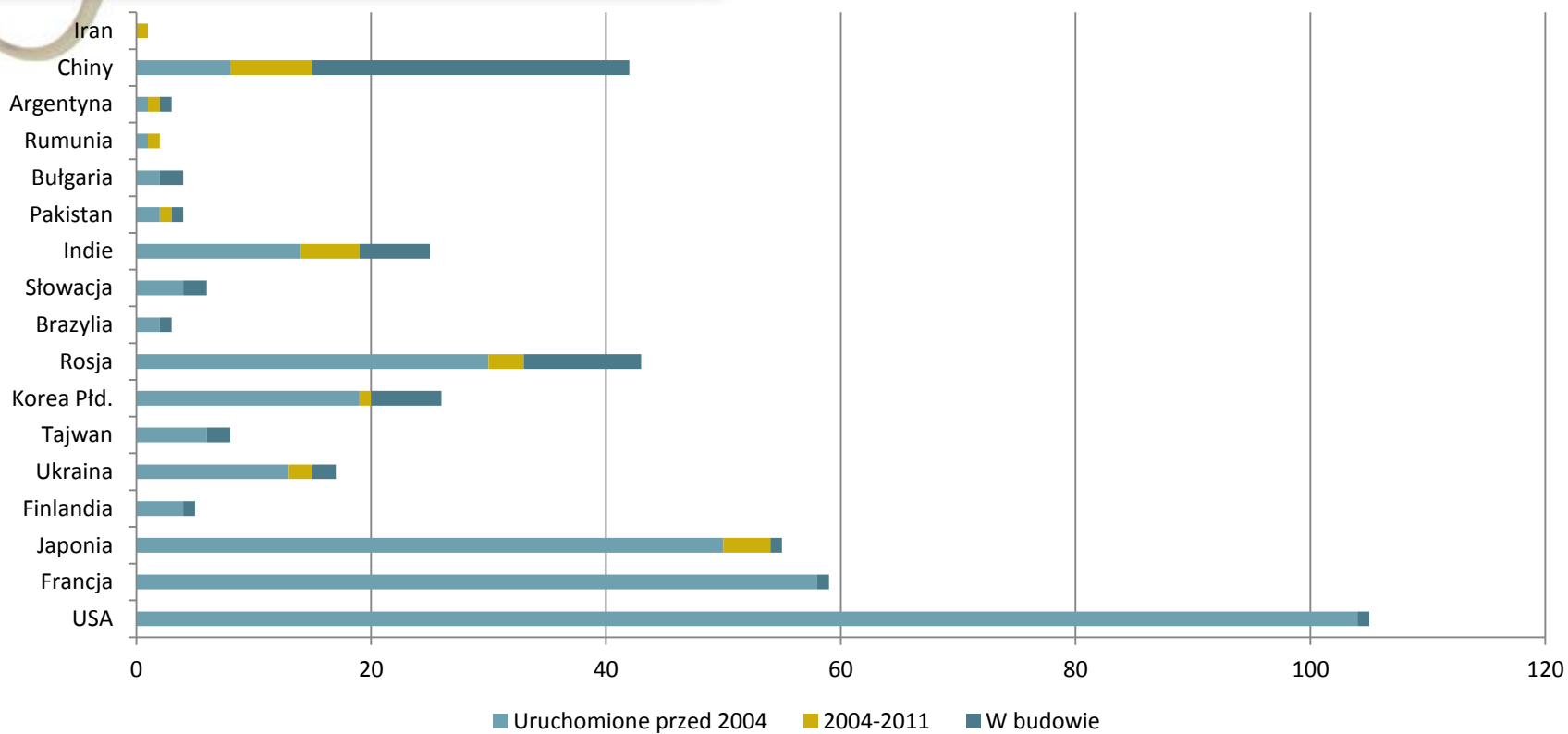
BLOKI JĄDROWE W BUDOWIE

- 4 × BWR (ABWR)
- 2 × FBR
- 1 × LWGR (RBMK-1000) – teoretycznie
- 4 × PHWR
- 53 × PWR (w tym 2 w elektrowni pływającej)

NOWE BLOKI 2004-2011



NOWE BLOKI 2004-2011



PWR

AREVA
(EPR,
Atmea)

Gidropress
(WWER-1000,
1200)

Toshiba-
Westinghouse
(AP-1000)

KHNP
(APR-1400)

Mitsubishi
(APWR,
Atmea)

BWR

GE-Hitachi
(ABWR,
ESBWR)

Toshiba
(ABWR)

Areva
(Kerena /
SWR-1000)

Atomenergo-
projekt
(**WK-300**)

PHWR

AECL
(CANDU-6,
ACR)

NPCIL, Bhavini
(**AHWR**)

FBR

OKBM
(BN-800,
BREST)

Bhavini

ChRL



KIERUNKI ROZWOJU SIŁOWNI JĄDROWYCH

Moc bloku

- Wzrost mocy jednostek dużych (APR-1400, EPR, WWER-1500...)
- Projekty małych reaktorów (HTGR, GT-MHR, KŁT-40, WK-300)

Zwiększanie bezpieczeństwa

- Generacja III+, III++?

Zwiększanie sprawności konwersji energii

- Nowe rozwiązania tradycyjnych bloków PWR, BWR
- Nowe typy reaktorów (HTGR)
- Kogeneracja?

Zwiększenie stopnia wypalenia paliwa



ENERGETYKA JĄDROWA W POLSCE

Plany rozwoju

- 1 × 1600 MW w 2020
- Ostatecznie 2 × 2 × 1600 MW
- 10% udział w produkcji energii elektrycznej 2030

Motywacja

- Ograniczenia emisji
- Utrzymanie wysokiego bezpieczeństwa energetycznego
- Ekonomia

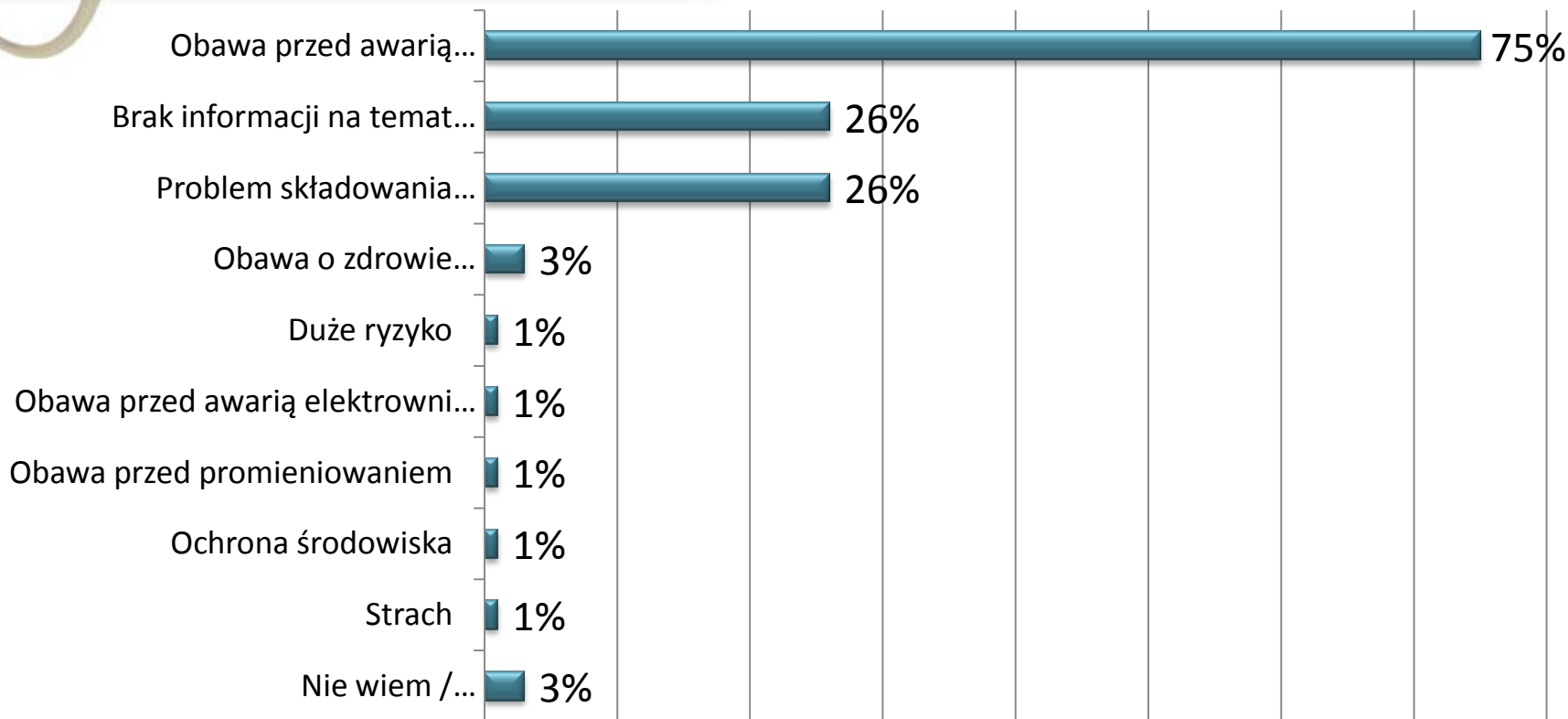
Lokalizacje

- Choszczewo, Gąski, Żarnowiec – woj. Pomorskie

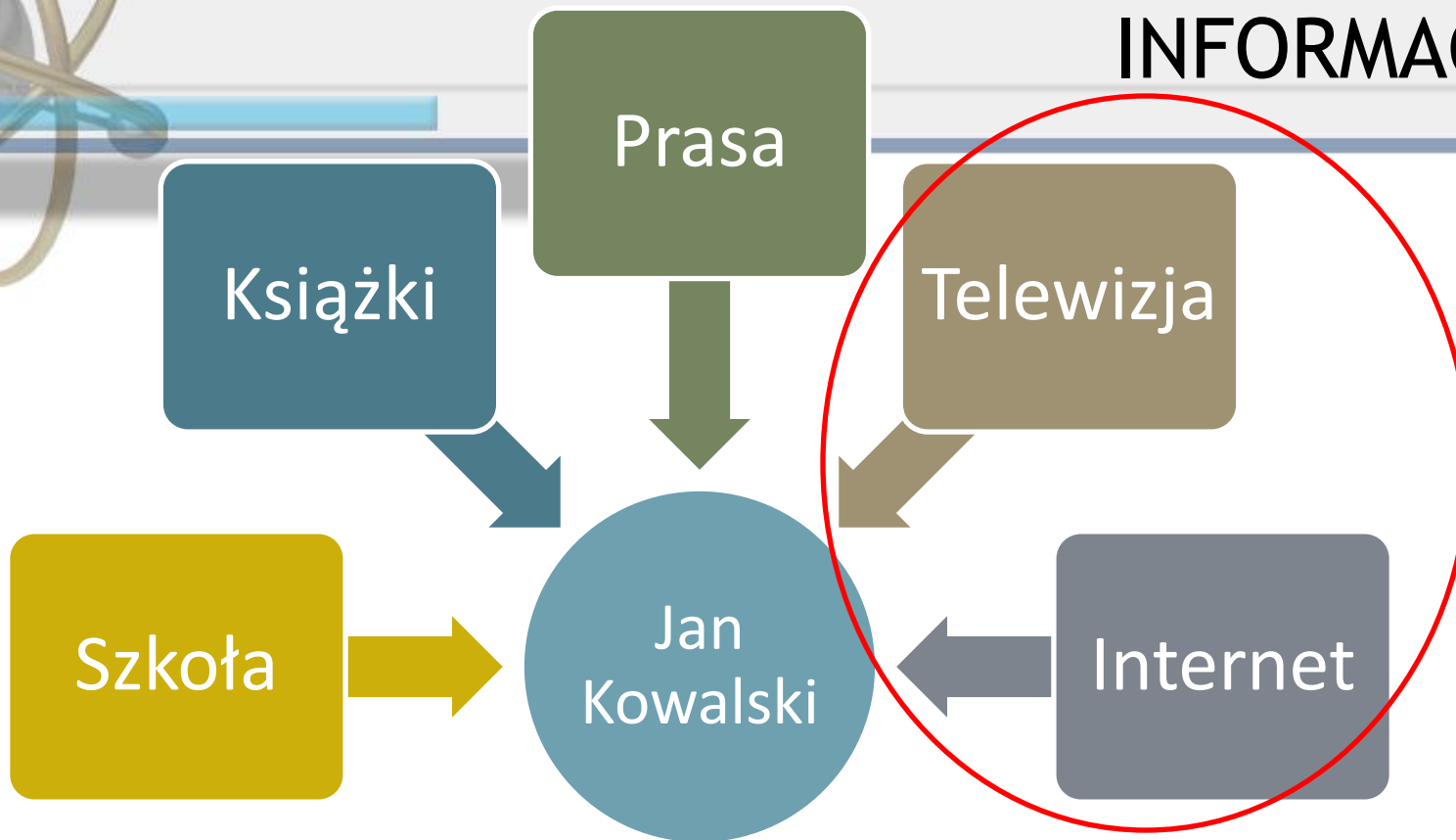


BEZPIECZEŃSTWO JĄDROWE

CO SPRAWIA, ŻE CZĘŚĆ SPOŁECZEŃSTWA SPRZECIWI SIĘ BUDOWIE ELEKTROWNI JĄDROWYCH W POLSCE?



SKĄD OBYWATEL CZERPIE INFORMACJE?



← Wiarygodność informacji



KAPITA
NARODOWA



Szybkość reakcji na wydarzenia

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJOWY



NUKLEARNA ELEKTRARNA KRŠKO

4 CZERWCA 2008

„Alarm atomowy w Europie”



KAPITAŁ LUDSKI
NARODOWA STRATEGIA

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



NUKLEARNA ELEKTRARNA KRŠKO

4 CZERWCA 2008

15:07 – Ubytek chłodziwa, 3 m³/h

15:56 – Alarm najniższego stopnia dla bloku

16:38 Powiadomienie o awarii w ramach systemu ECURIE

16:39 – Przygotowania do odstawienia bloku

19:30 – Odłączenie generatora

19:50 – Stan podkrytyczny reaktora



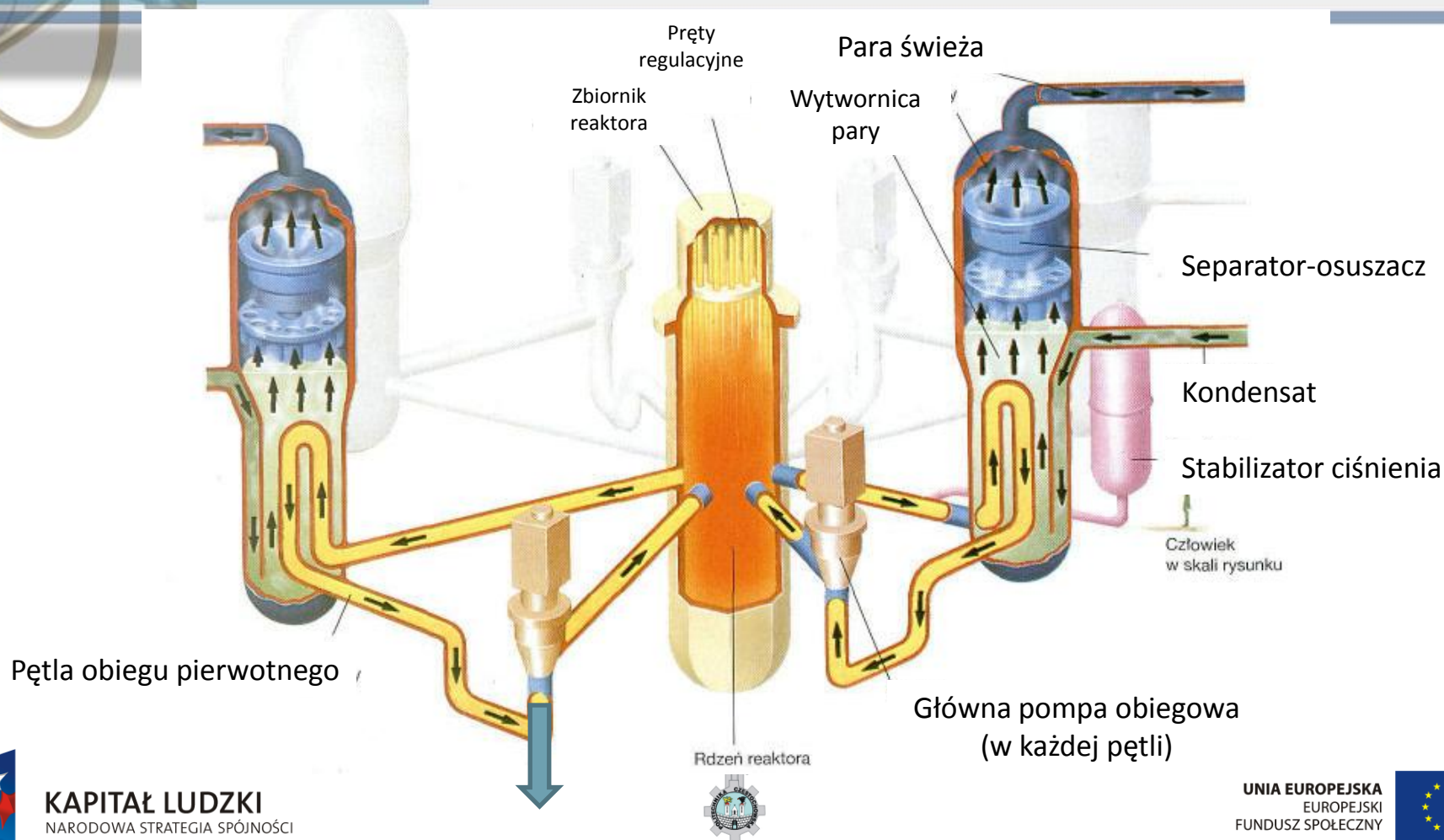
KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

FUNDUSZ SPOŁECZNY



NUKLEARNA ELEKTRARNA KRŠKO

4 CZERWCA 2008



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego
"Zwiększenie liczby absolwentów Politechniki Częstochowskiej na kierunkach technicznych, przyrodniczych i matematycznych"
Numer projektu: UDA - POKL.04.01.02-00-128/09-00

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY





Z PORTALU INTERNETOWEGO:

„Północna Korea wysadziła wieżę do wzbogacania plutonu”

Po wcześniejszych zapowiedziach rezygnacji z programu zbrojeń atomowych, Korea Północna przeszła do czynów. Wysadzono wzbudzającą kontrowersje wieżę będącą elementem zabudowań fabryki plutonu. Opublikowane niedawno zdjęcia satelitarne pokazywały unoszący się z niej dym, miało to być dowodem, że fabryka nadal pracuje. Odpierając ten argument Koreańczycy postanowili ją zniszczyć.”

WG AGENCJI PRASOWEJ:



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego
"Zwiększenie liczby absolwentów Politechniki Częstochowskiej na kierunkach technicznych, przyrodniczych i matematycznych"
Numer projektu: UDA - POKL.04.01.02-00-128/09-00

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY





BŁĘDY

- Plutonu się nie wzbogaca.
- Wysadzony obiekt to chłodnia kominowa. Służy do chłodzenia wody.
- Z pracującej chłodni nie wydobywa się dym tylko para wodna.
- Od Pjongjangu do Jongbjon jest 60 mil a nie kilometrów.



...Z DRUGIEJ STRONY

„ W czasie jednej z akcji protestacyjnych zorganizowanych przez Greenpeace rzecznik tej organizacji Jacek Winiarski przekonywał między innymi, że „prawdopodobieństwo wystąpienia wielkiej awarii w elektrowni atomowej wynosi aż 16 proc.” Jest to liczba **całkowicie wyssana z palca**, tak jak i większość argumentów wysuwanych przez Greenpeace.”

Marcin Rotkiewicz., *Elektrownie jądrowe. Atom w dom.* [w:] *Polityka* nr 2 (2537), 14 stycznia 2006 r., s. 90



INTERNATIONAL NUCLEAR EVENT SCALE

0 – Odstępstwo (Poniżej skali)

1 - Anomalia

2 - Incydent

3 – Poważny incydent

4 – Awaria bez znacznego zagrożenia poza obiektem

5 – Awaria z zagrożeniem poza obiektem

6 – Poważna awaria

7 – Wielka awaria



INTERNATIONAL NUCLEAR EVENT SCALE

0 – Odstępstwo (Poniżej skali)

1 - Anomalia

2 - Incydent

3 – Poważny incydent

4 – Awaria bez znacznego zagrożenia poza obiektem

5 – Awaria z zagrożeniem poza obiektem

6 – Poważna awaria

7 – Wielka awaria

0 – Deviation (below scale)

1 - Anomaly

2 - Incident

3 – Serious Incident

4 – Accident With Local Consequences

5 – Accident With Wider Consequences

6 – Serious Accident

7 – Major Accident

Awaria ≠ Accident!

INES 7 - WIELKA AWARIA



Czarnobyl 1986

- Pożar reaktora



Fukushima Dai-ichi 2011

- Stopienie rdzeni trzech bloków wskutek utraty zasilania

INES 6 - POWAŻNA AWARIA



Kysztym 1957

- Eksplozja zbiornika z ciekłymi odpadami wysokoaktywnymi

INES 5 - AWARIA Z ZAGROŻENIEM POZA OBIEKTEM



Windscale 1957

- Pożar stosu jądrowego do produkcji plutonu



Three Mile Island 1979

- Częściowe stopnienie rdzenia reaktora PWR

INES 4 - AWARIA BEZ ZNACZNEGO ZAGROŻENIA POZA OBIEKTEM



Jaslovské Bohunice (A1), 1977

- Przegrzanie i uszkodzenie elementów paliwowych reaktora KS-150



Saint-Laurant 1969, 1980

- Stopienie niewielkiej ilości uranu (1969)
- Niekontrolowany skok mocy (1980)



Tokaimura 1999

- Przekroczenie masy krytycznej

26 04 1086

С ЗАПОВИ

7СRR





KATASTROFA CZARNOBYLSKA

- Próba pracy z zasilaniem z turbogeneratorsa na wybiegu
- Próba prowadzona przy zredukowanej mocy



CZARNOBYL-4, 25 KWIETNIA 1986

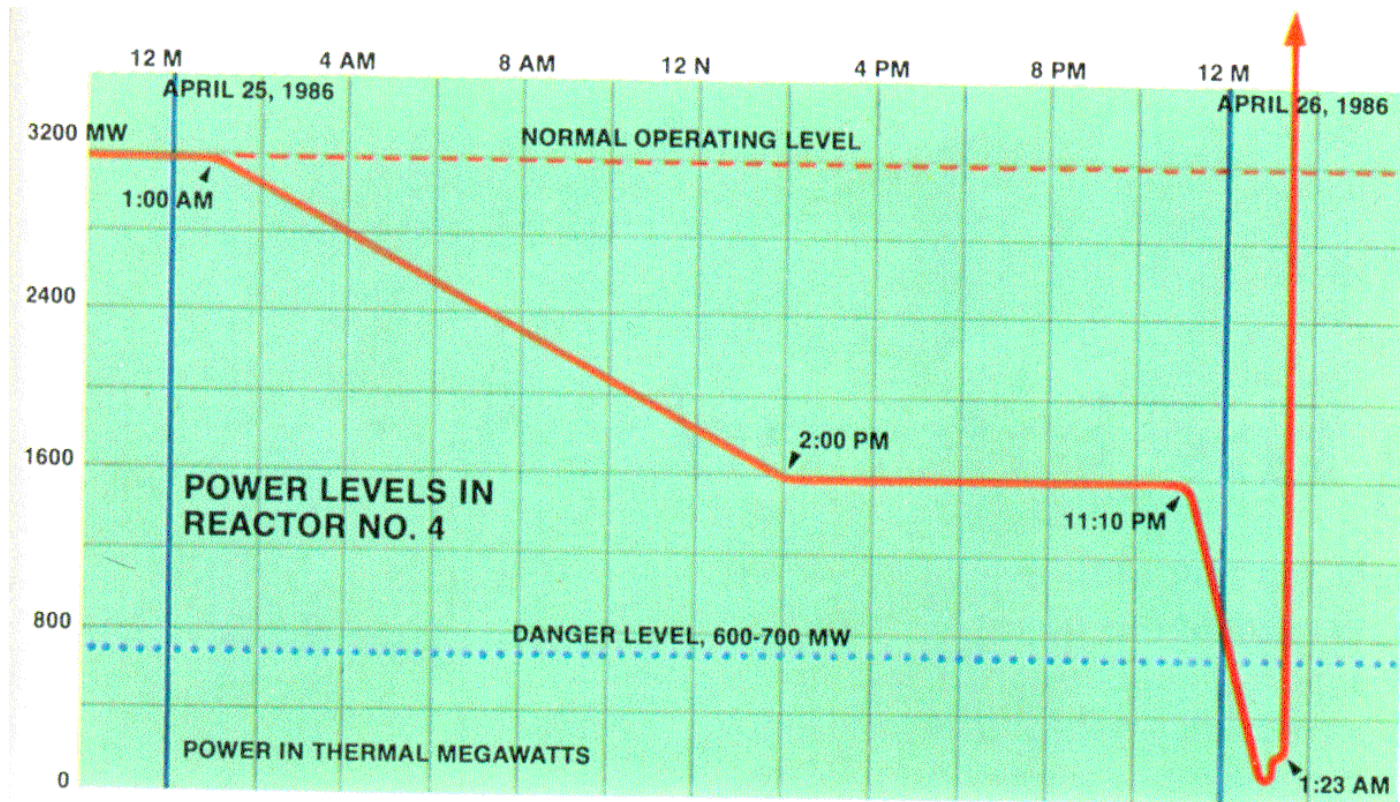
- 01:06 – Rozpoczęto obniżanie mocy
- 03:47 – Stabilizacja mocy na poziomie 1600 MWt, jeden turbozespół odstawiony
- 14:00 – Odłączony układ chłodzenia awaryjnego
- 14:00 – Protest operatora sieci przesyłowej z Kijowa, odłożenie próby
- 23:10 – Rozpoczęcie obniżania mocy
- 00:28 – Obniżenie mocy do 500 MWt, nieoczekiwany spadek do 30 MWt
- 00:32 – Podniesienie mocy poprzez wyciągnięcie prętów sterujących
- 01:00 – Wzrost mocy do 200 MWt
- 01:03 – Załączenie dodatkowej pompy chłodziwa
- 01:07 – Załączenie kolejnej pompy chłodziwa
- 01:19 – Dalsze wysunięcie prętów sterujących dla stabilizacji pracy
- 01:22 – Operator uznaje reaktor za gotów do próby



CZARNOBYL-4, 25 KWIETNIA 1986

- 01:23:04 – Zamknięcie zaworów parowych
- 01:23:10 – Automatyczne wysunięcie prętów sterujących na 10 sekund
- 01:23:21 – Wzmożona produkcja pary – wzrost mocy
- 01:23:44 – Przekroczenie mocy znamionowej o 100 razy
- 01:24:00 – Dwie eksplozje, zerwanie dachu bloku reaktora

CZARNOBYL-4, MOC REAKTORA

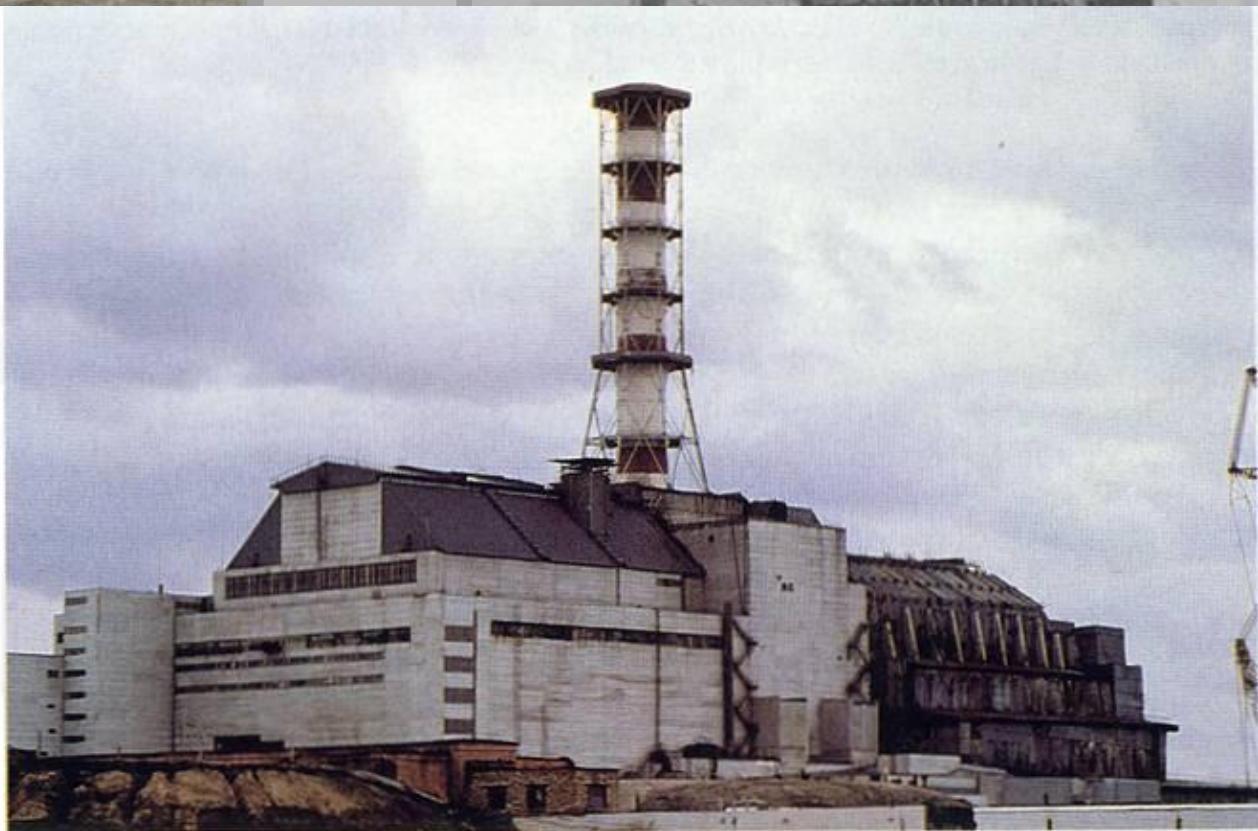




GŁÓWNE POWODY KATASTROFY

- Plan eksperymentu naruszający regulamin bezpieczeństwa w dwunastu punktach
- Dodatni temperaturowy współczynnik reaktywności oryginalnych reaktorów RBMK
- Moderator grafitowy – wytwarzanie gazu wodnego w temperaturach powyżej 1000°C
- Wytwarzanie wodoru z reakcji cyrkonu z wodą
- Brak obudowy bezpieczeństwa
- Palna konstrukcja

CZARNOBYL-4 PO WYBUCHU



PAP/CAF

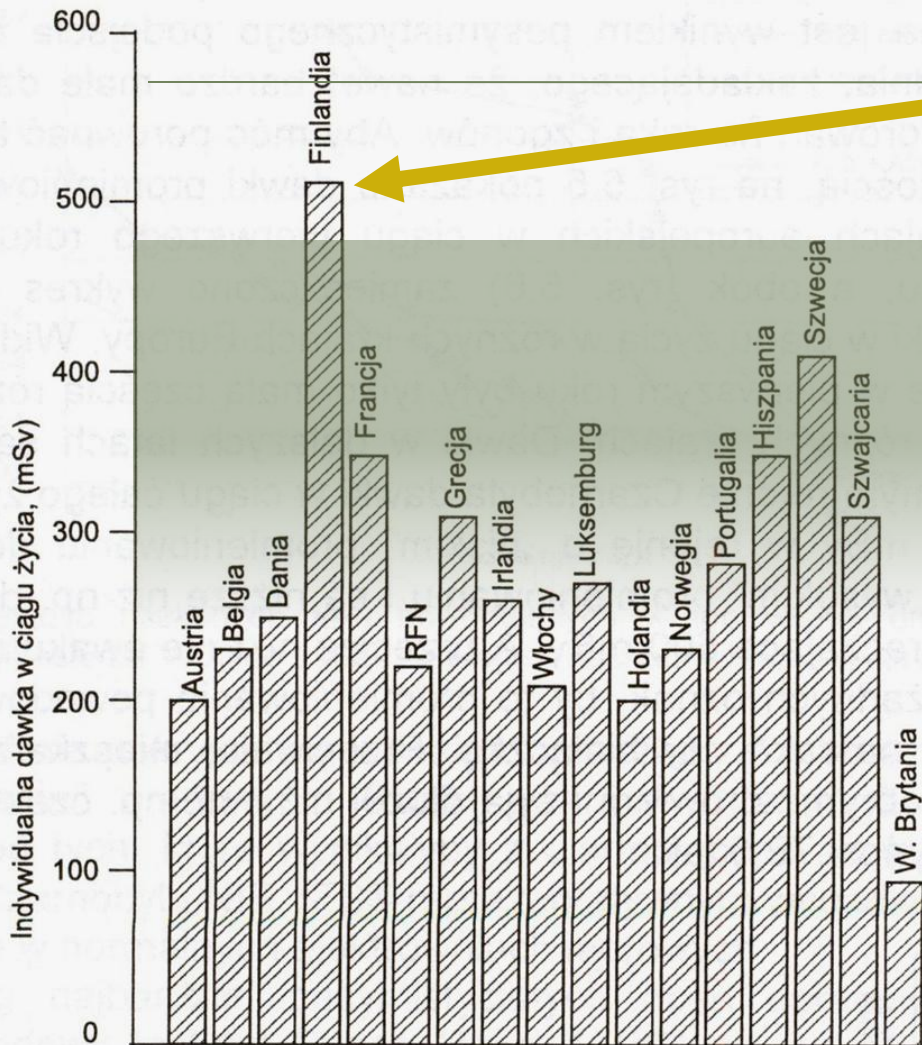


REAKCJA WŁADZ



MIASTO WIDMO: Prypeć, niegdyś ruchliwe skupisko ludzkie (45 tys. mieszkańców, w tym wielu pracowników elektrowni czarnobylskiej). Po katastrofie reaktora ewakuowano całą ludność; dziś nikt tu już nie mieszka.

PROMIENIOWANIE Z CZARNOBYLA



Finlandia – dawka w ciągu życia
PONAD 500 mSv

Dawki życiowe mieszkańców
okolic Czarnobyla
do 480 mSv



CZARNOBYL - SKUTKI ZDROWOTNE

31 bezpośrednich ofiar katastrofy (28+3)

19 kolejnych ratowników zmarło

Ok. 4 tysiące przypadków raka tarczycy – poniżej 10 śmiertelnych!

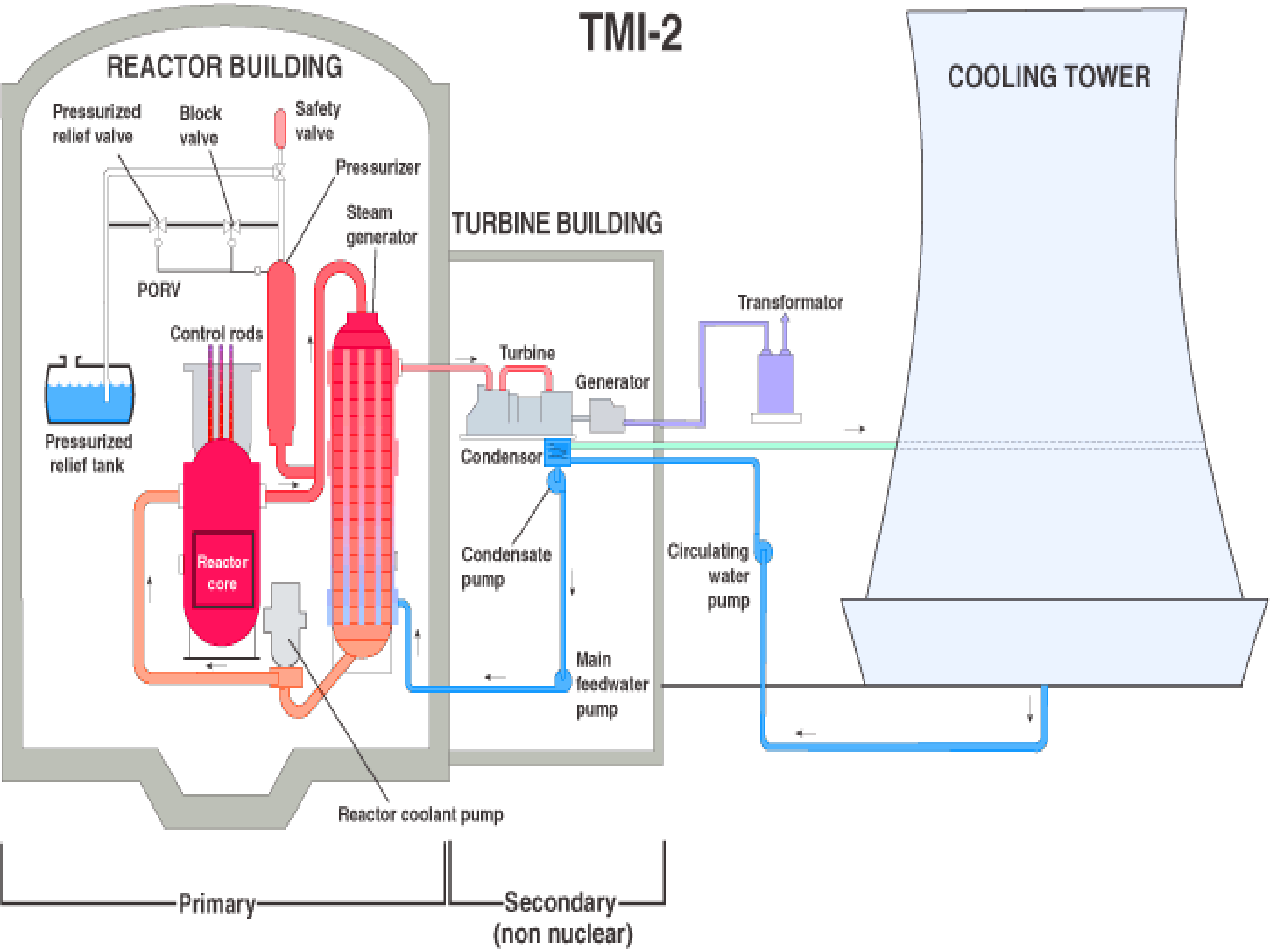
Szacunki (dyskusyjne) – maksymalnie do 4 tysięcy ofiar

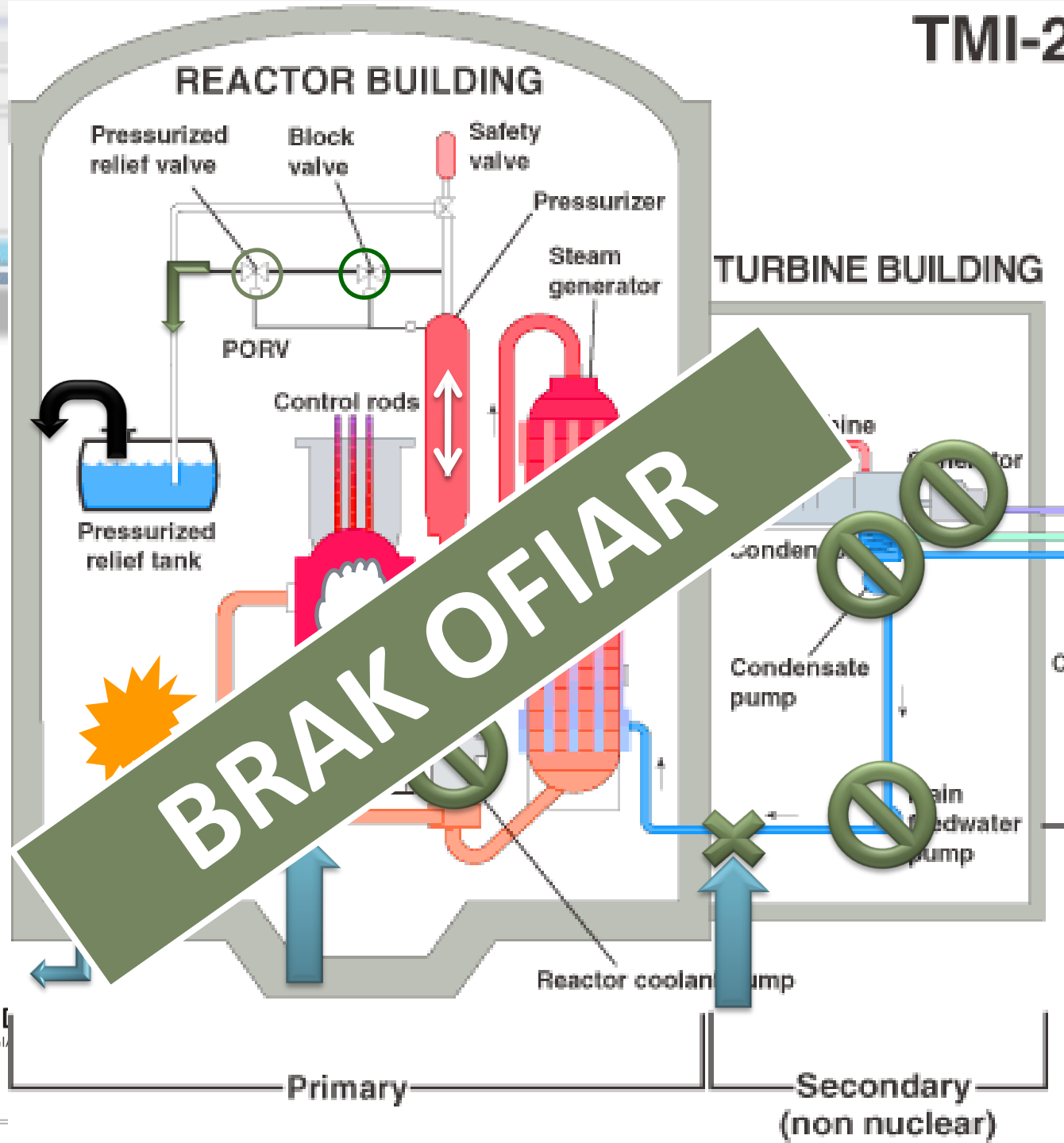
Jednoznaczne ustalenie niemożliwe

THREE MILE ISLAND, HARRISBURG, PENNSYLVANIA, USA, 28.03.1979.



TMI-2





BRAK OFIAR



AWARIE W TECHNICE





WYPADKI W GÓRNICTWIE

10.03.1906. – Courrieres, Pas de Calais, Francja, eksplozja pyłu węglowego, 1099 ofiar

12.02.1931. – Fushun, Mandżuria, 3000 ofiar

26.04.1942. – Honkeiko, Mandżuria, Zatrucie CO, pożar pyłu węglowego i metanu, 1527 ofiar

07.02.1962. – Luisenthal, Zagłębie Saary, RFN, Zapłon metanu, 299 ofiar

09.11.1963. – Mikawa, Japonia, Zatrucie CO i pożar pyłu węglowego, 458 ofiar

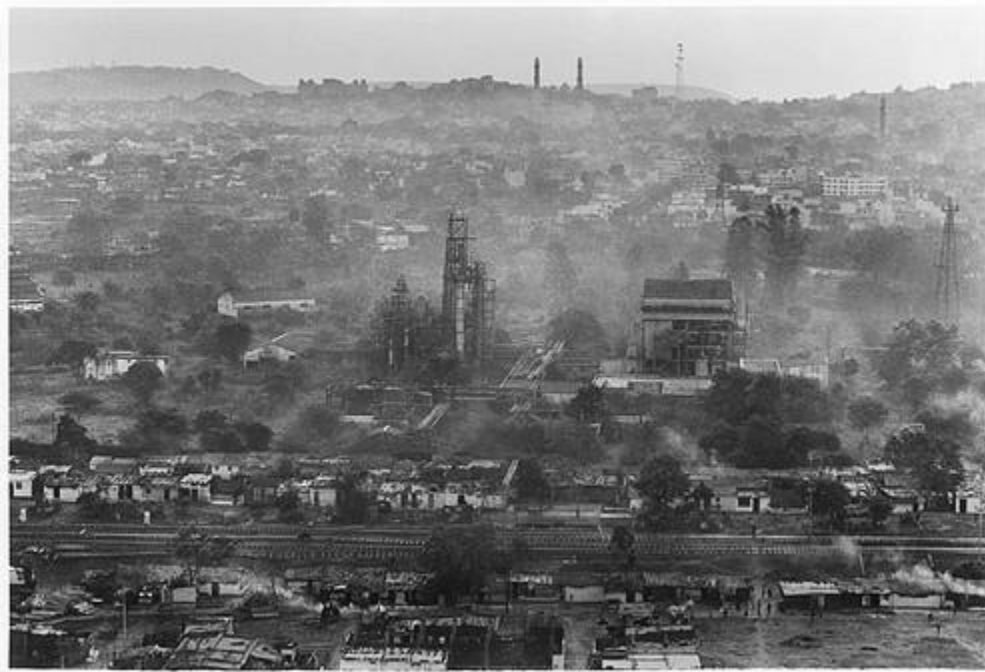
06.06.1972. – Wankie Colliery, Rodezja, trzy wybuchy gazu, 427 ofiar

16.07.1984. – Mei Shan, Tajwan, pożar, 121 ofiar

03.03.1992. – Incirharman, Turcja, wybuch metanu, 265 ofiar

BHOPAL, INDIE, 1984

3787 OFIAR



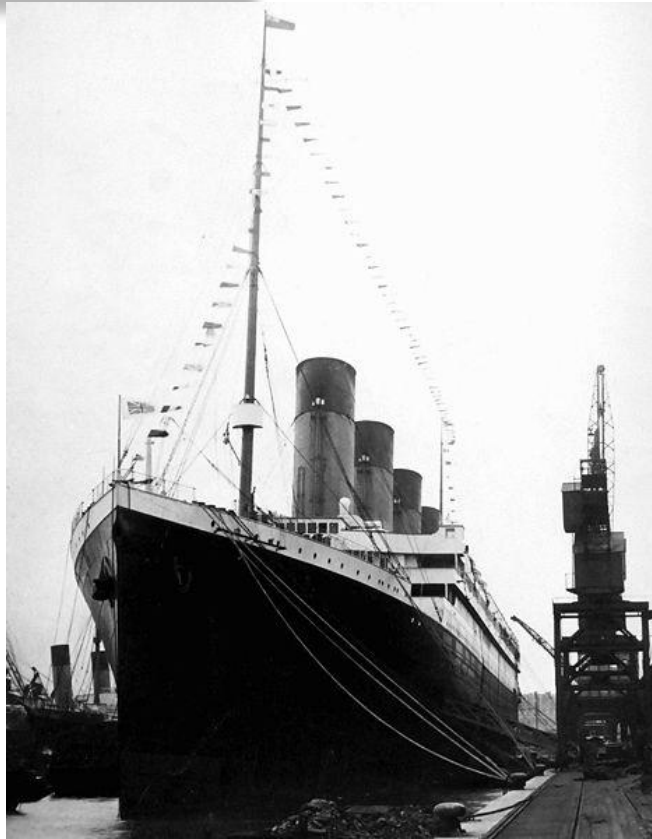
ZAPORA SOUTH FORK, USA, 1889

2200 OFIAR



RMS TITANIC, 1912

1517 OFIAR

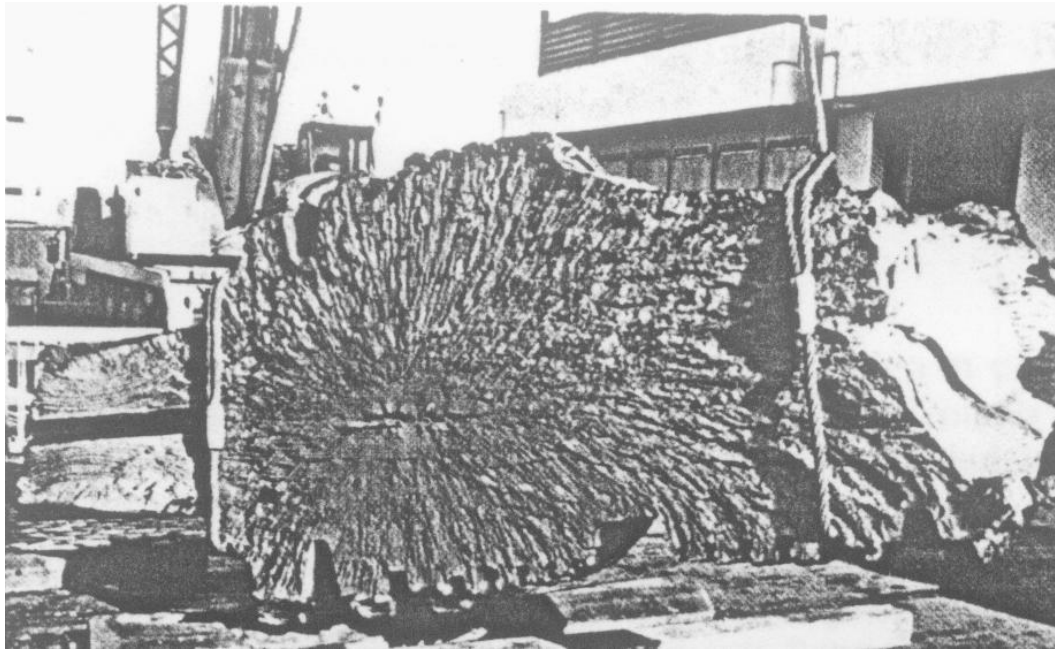


M/S PRESTIGE, 2002

77 000 T MAZUTU



1978 - KRAFTWERK IRSCHING



DROGI RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ 2009 - 4572 OFIARY





BEZPIECZEŃSTWO PRACY

LEKCJE Z PRZESZŁOŚCI

Wielopoziomowe układy bezpieczeństwa

- Zabezpieczenie przed uwolnieniem substancji radioaktywnych
- Niezależne układy na wypadek wszelkich możliwych awarii

„Idiotoodporność”

- Niezależność systemów bezpieczeństwa od operatorów
- Niezależność systemów bezpieczeństwa od automatyki

Monitoring

- Międzynarodowa współpraca operatorów
- Zgłaszanie i wyjaśnianie najdrobniejszych zdarzeń

Izolacja od warunków zewnętrznych

- Bariery oddzielające produkty rozszczepienia od otoczenia: element paliwowy, obieg pierwotny, obudowa bezpieczeństwa
- Obudowa bezpieczeństwa zabezpieczająca reaktor od zdarzeń zewnętrznych



WNIOSKI

Awaria – zjawisko w technice normalne

Ekstremalne wymogi projektowe dla instalacji jądrowych

Awaria w elektrowni jądrowej nie musi być groźna

Nie każde zdarzenie nietypowe jest „awarią”

Wyższy poziom monitoringu sprzyja nagłaśnianiu drobnych zdarzeń



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Dziękuję za uwagę

adam.rajewski@gmail.com

**Wykład zrealizowano w ramach projektu „Zwiększenie liczby absolwentów Politechniki
Częstochowskiej na kierunkach technicznych, przyrodniczych i matematycznych“**

© 2011 Adam Rajewski
UDA-POKL.04.01.02-00-128/09-00