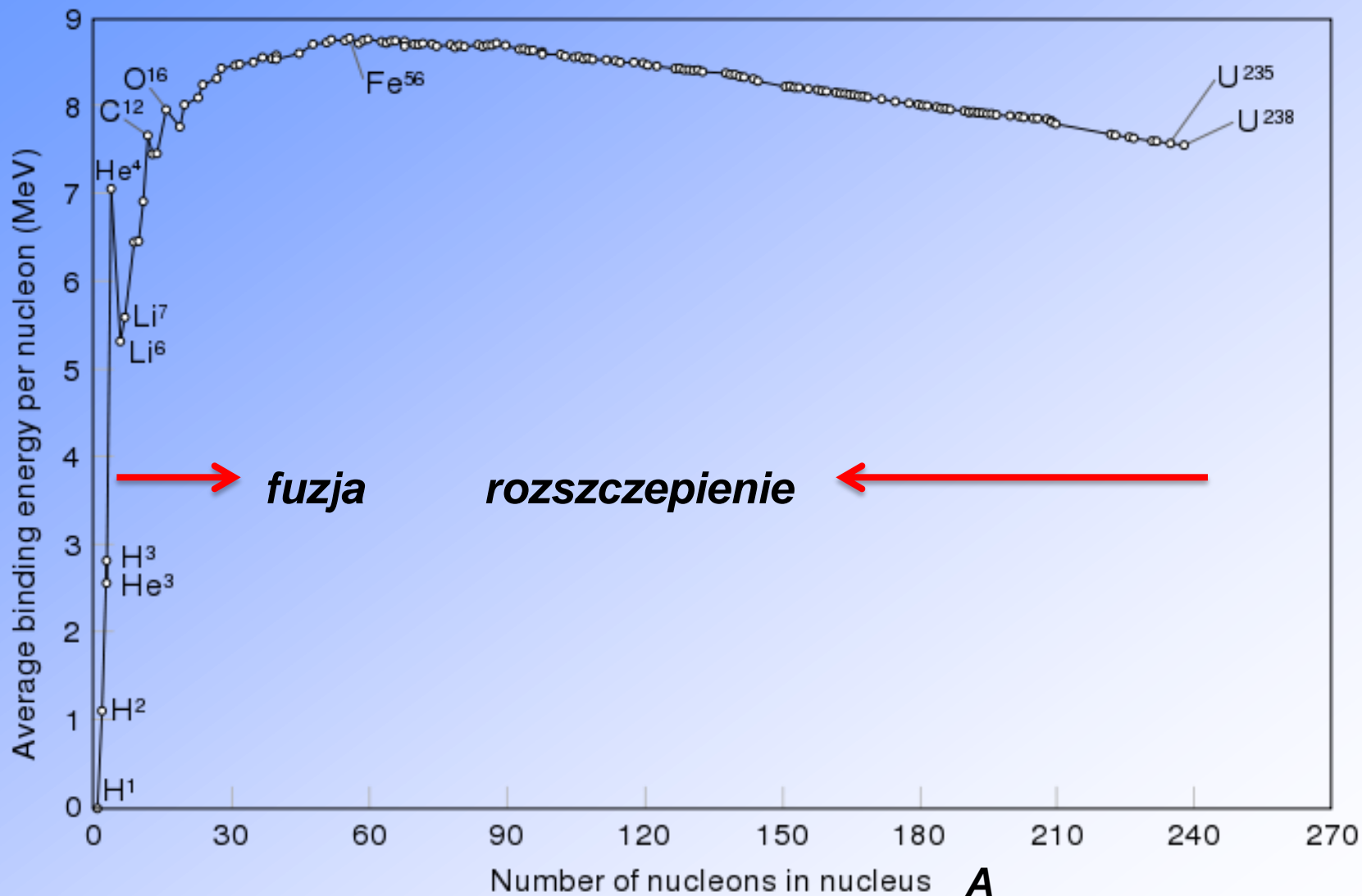


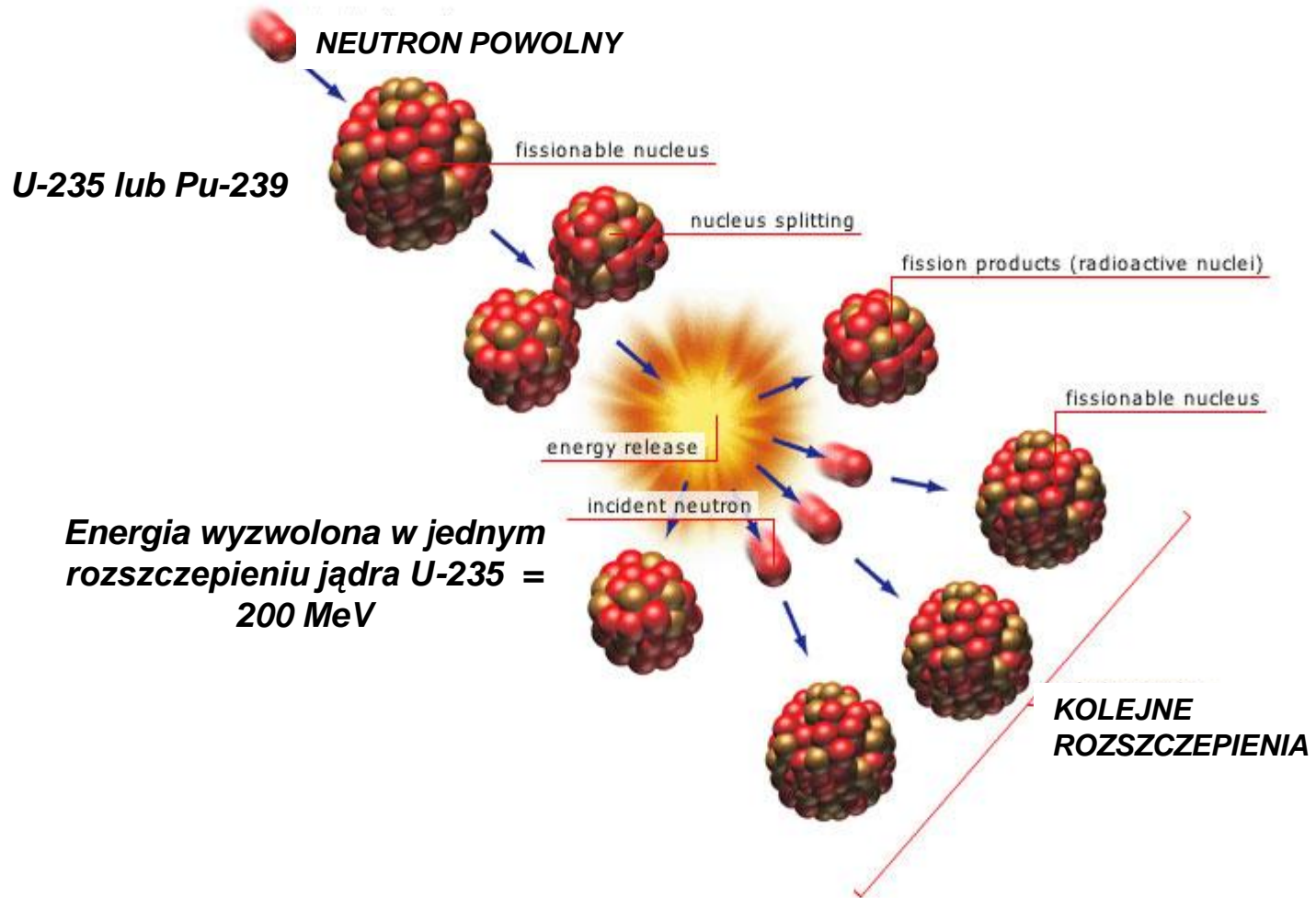
Aktualna sytuacja energetyki jądrowej na świecie

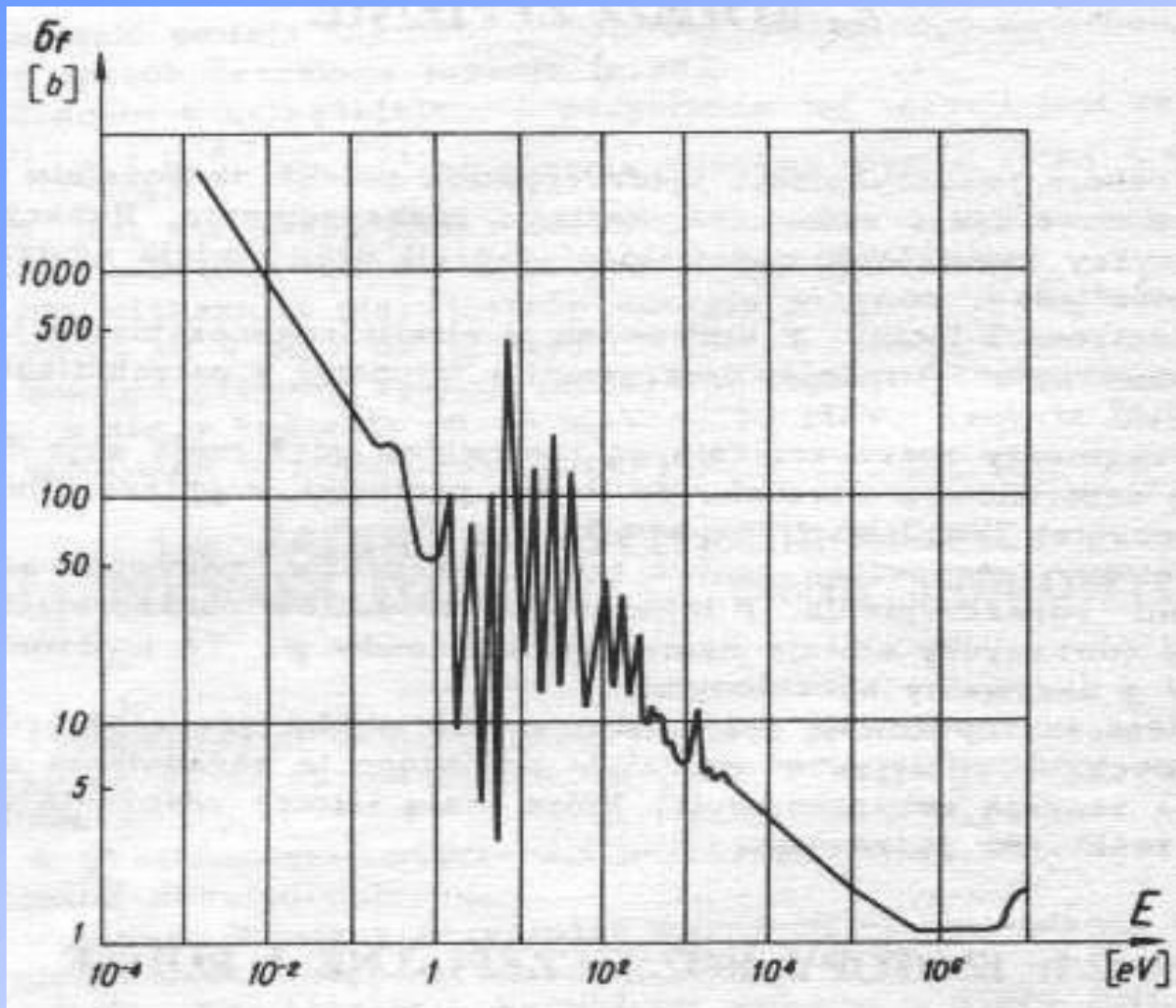
JERZY NIEWODNICZAŃSKI

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA



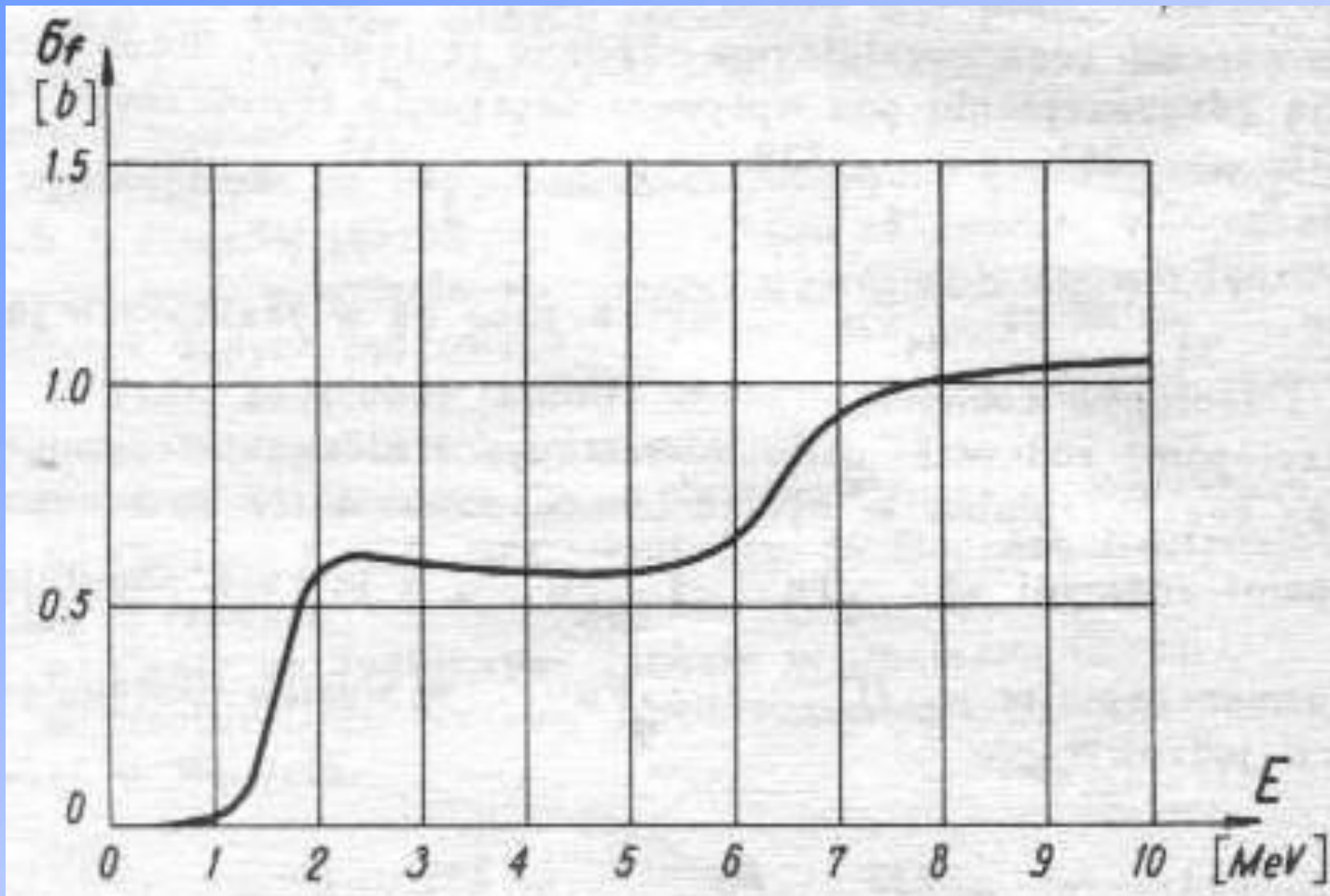
Energia wiązania nukleonu w jądrze na jeden nukleon



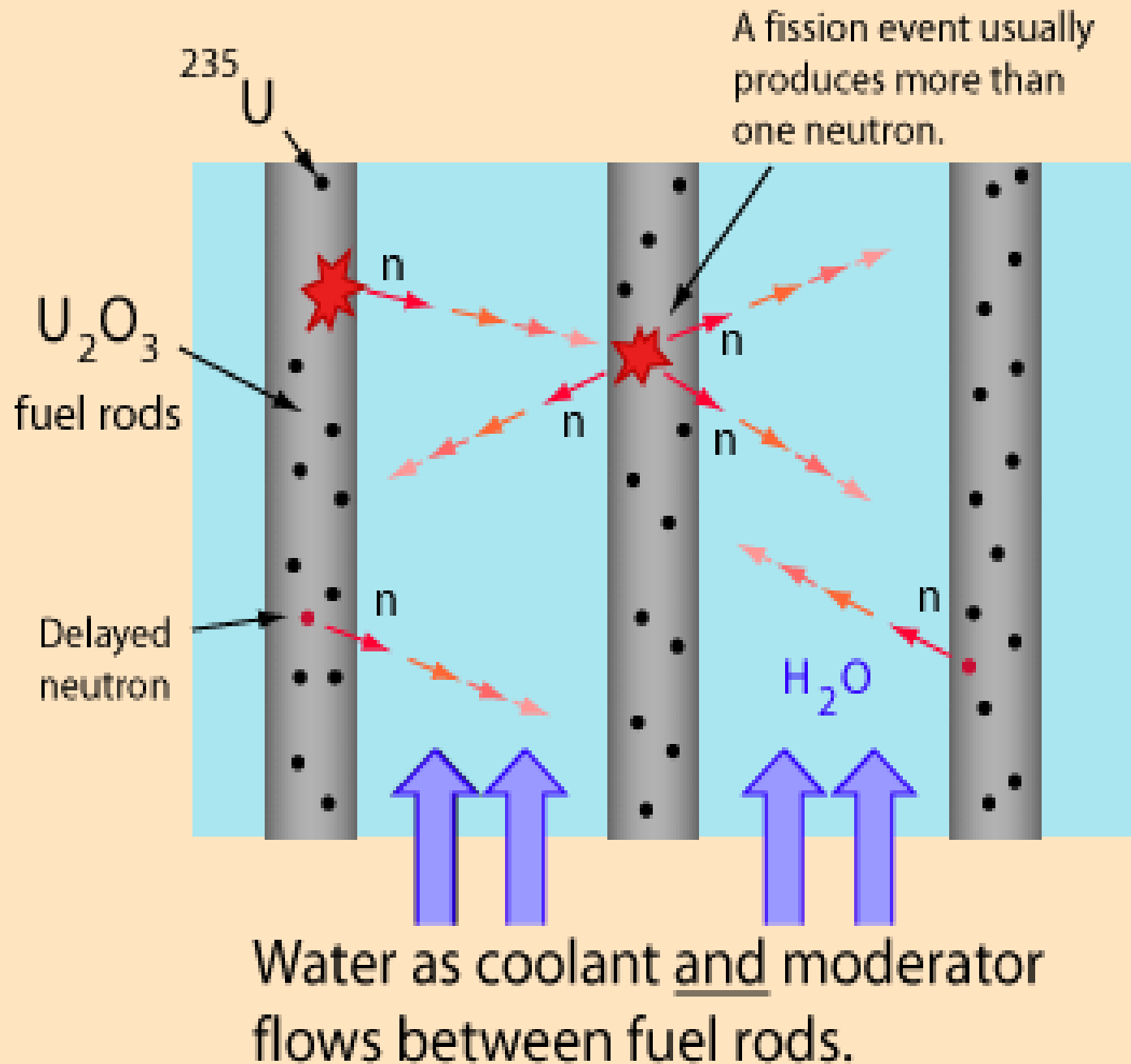


Przekrój czynny na rozszczepienie neutronami jąder dla U-235

Przekrój czynny na rozszczepienie neutronami termicznymi ($E=0.025$ eV) jąder U-235 $\sigma_f = 577\text{b}$, Pu-239 $\sigma_f = 748$ b



Przekrój czynny na rozszczepienie neutronami jąder dla U-238



Number of delayed neutrons

| <i>Av. half-life [s]</i> | <i>U-233</i> | <i>U-235</i> | <i>Pu-239</i> | <i>Energy [MeV]</i> |
|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| 56 | 5.7×10^{-4} | 5.2×10^{-4} | 2.1×10^{-4} | 0.25 |
| 23 | $19,7 \times 10^{-4}$ | 34.6×10^{-4} | 18.2×10^{-4} | 0.46 |
| 6.2 | 16.6×10^{-4} | 31.0×10^{-4} | 12.9×10^{-4} | 0.41 |
| 2.3 | 18.4×10^{-4} | 62.4×10^{-4} | 19.9×10^{-4} | 0.45 |
| 0.61 | 3.4×10^{-4} | 18.2×10^{-4} | 5.2×10^{-4} | 0.41 |
| 0.23 | 2.2×10^{-4} | 6.6×10^{-4} | $2,7 \times 10^{-4}$ | 0.41 |
| <i>Total delayed neutrons</i> | 0.0066 | 0.0158 | 0.0061 | |
| <i>Total fission neutrons</i> | 2.50 | 2.43 | 2.90 | |
| <i>Delayed neutrons fraction</i> | 0.0026 | 0.0065 | 0.0021 | 7 |

Własności różnych materiałów jako moderatorów neutronów

| material | ξ | Number of collisions | MSDP | MR |
|------------------|-------|----------------------|--------------------|---------|
| H ₂ O | 0,927 | 19 | 1,425 | 62 |
| D ₂ O | 0,510 | 35 | 0,177 | 4830 |
| helium | 0,427 | 42 | 9x10 ⁻⁶ | 51 |
| beryllium | 0,207 | 86 | 0,154 | 126 |
| bor | 0,171 | 105 | 0,092 | 0,00086 |
| carbon | 0,158 | 114 | 0,083 | 216 |

$MSDP = \xi \Sigma_s$
Macroscopic slowing down power

$MR = \xi \Sigma_s / \Sigma_a$
Moderating ratio

$$\xi = \overline{\ln\left(\frac{E_0}{E'}\right)} \quad \xi \approx \frac{2}{A + 2/3}$$

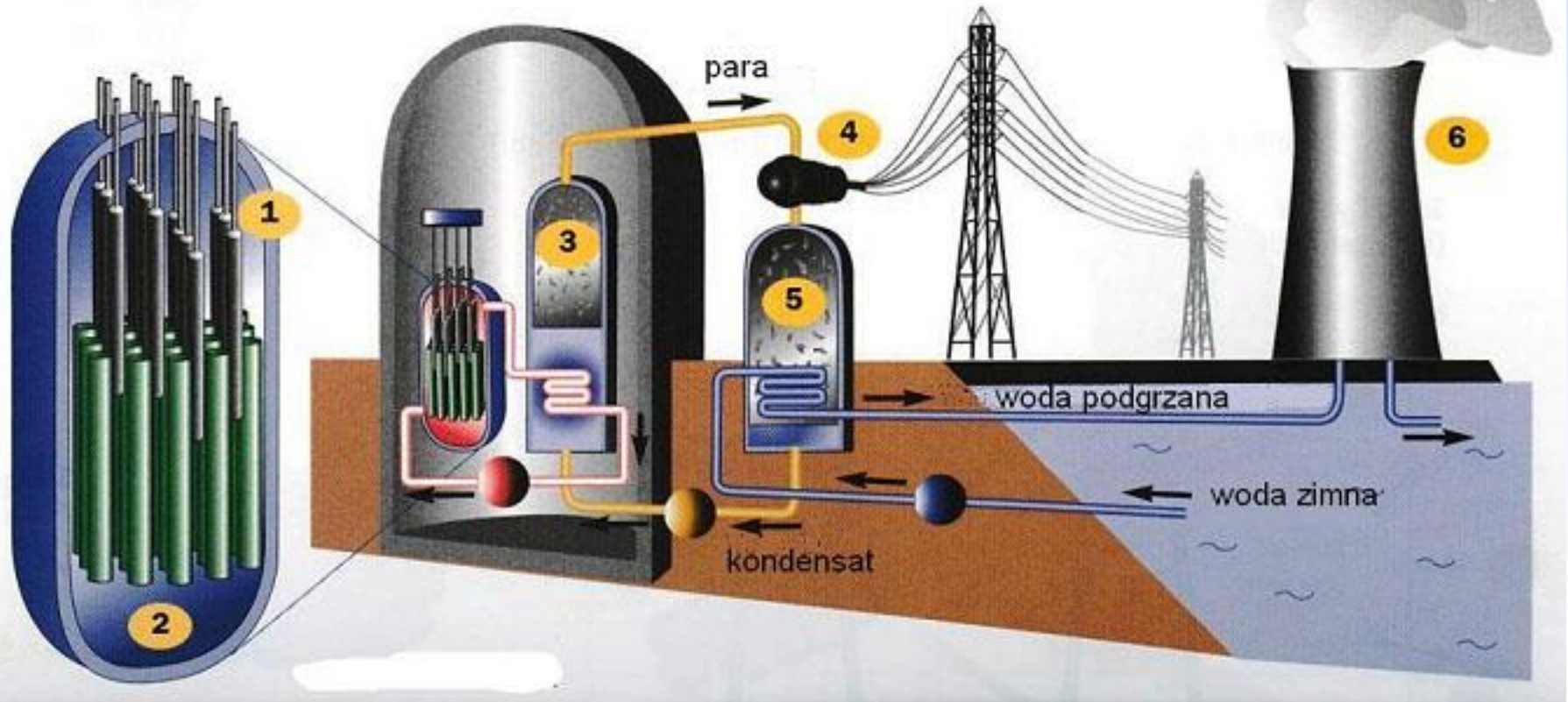
(wyższa wartość MR, bardziej efektywny moderator)

ELEKTROWNIA JĄDROWA - ZASADA DZIAŁANIA

1- pręty pochłaniające
2- pręty paliwowe

3- wytwornica pary
4-turbogenerator
5-skrapalacz pary

6 – wieża chłodnicza



Elektrownia jądrowa w Olkiluoto (Finlandia)



Blok 3 w budowie

ZALETY ENERGETYKI JĄDROWEJ?

- **BEZPIECZEŃSTWO ENERGETYCZNE** (*koncentracja energii w paliwie*)
(nieporównywalnie większe niż dla wszystkich innych opcji energetycznych)
Rozszczepienie jednego jądra uranu-235 wyzwala energię 200 MeV (spalenie jednego atomu węgla – energię 4,5 eV)
- **OCHRONA ŚRODOWISKA**
(bezemisyjna technologia „przyjazna środowisku” = *poza wypalonym paliwem i niewielką ilością innych odpadów promieniotwórczych oraz ciepłym odpadowym – brak innego wpływu na środowisko, również - niewielkie wykorzystanie terenu*)
- **WZGLĘDY EKONOMICZNE**
(już przy założeniu 50 lat eksploatacji i bez uwzględnienia „podatków emisyjnych” – najtańsza energia elektryczna, stabilna cena paliwa (cena uranu to 3-5% ceny energii elektrycznej) pozwala na przewidywalne rachunki ekonomiczne)
- **LOGISTYKA ZARZĄDZANIA** (*koncentracja energii w paliwie*)
(elektrownia jądrowa o mocy 1000 MWe zużywa 35 ton paliwa rocznie, „węglowa” o tej samej mocy - 7 000 ton węgla kamiennego dziennie)

CECHY NIEKORZYSTNE I ZAGROŻENIA?

- **KOSZTY INWESTYCJI (zamrożenie kapitałów)?**
bardzo wysokie
- **RADIACJA?** *mniejsza niż w przypadku elektrowni węglowej*
- **MOŻLIWOŚĆ AWARII?** *prawdopodobieństwo poniżej 10^{-5} na rok, chociaż...*
- **GENEROWANIE ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH**
trudniejszych w składowaniu niż odpady z elektrowni konwencjonalnych, ale...
- **MOŻLIWOŚĆ PROLIFERACJI** – *wymusza tworzenie międzynarodowego i krajowego systemu zabezpieczeń i kontroli*
- **terroryzm jądrowy** = *cztery rodzaje działalności:*
 - *kradzież i detonacja ładunku jądrowego,*
 - *kradzież lub inne pozyskanie materiału rozszczepialnego w celu sporządzenia ładunku jądrowego i jego detonacji,*
 - *atak na reaktory lub inne obiekty jądrowe w celu skażenia radiologicznego otoczenia (+ „brudna bomba” lub „radiological dispersal device” - RDD).*

Przeciwdziałanie rozprzestrzenianiu broni jądrowej:

- Zamrożenie liczby państw dysponujących bronią jądrową = układ NPT (Non-proliferation Treaty) z 1968 roku + międzynarodowy i krajowy system kontroli***
- Ustanowienie stref bezatomowych („atom-free zones”)***
- Ochrona fizyczna materiałów jądrowych = konwencja CPPNM (Convention on Physical Protection of Nuclear Materials) z 1980 roku z uzupełnieniem (amendment) z 2005 roku***
- Zakaz prób jądrowych = układ CTBT (Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty) z 1996 roku***

STREFY BEZATOMOWE/wejście w życie (traktat):

ANTARKTYDA/1961 (Antarctic Treaty)

AMERYKA ŁACIŃSKA I KARAIBY/1969

(Tlatelolco Treaty)

POŁUDNIOWY PACYFIK/1986 (Rarotonga Treaty)

AZJA POŁUDNIOWO-WSCHODNIA/1997

(Bangkok Treaty)

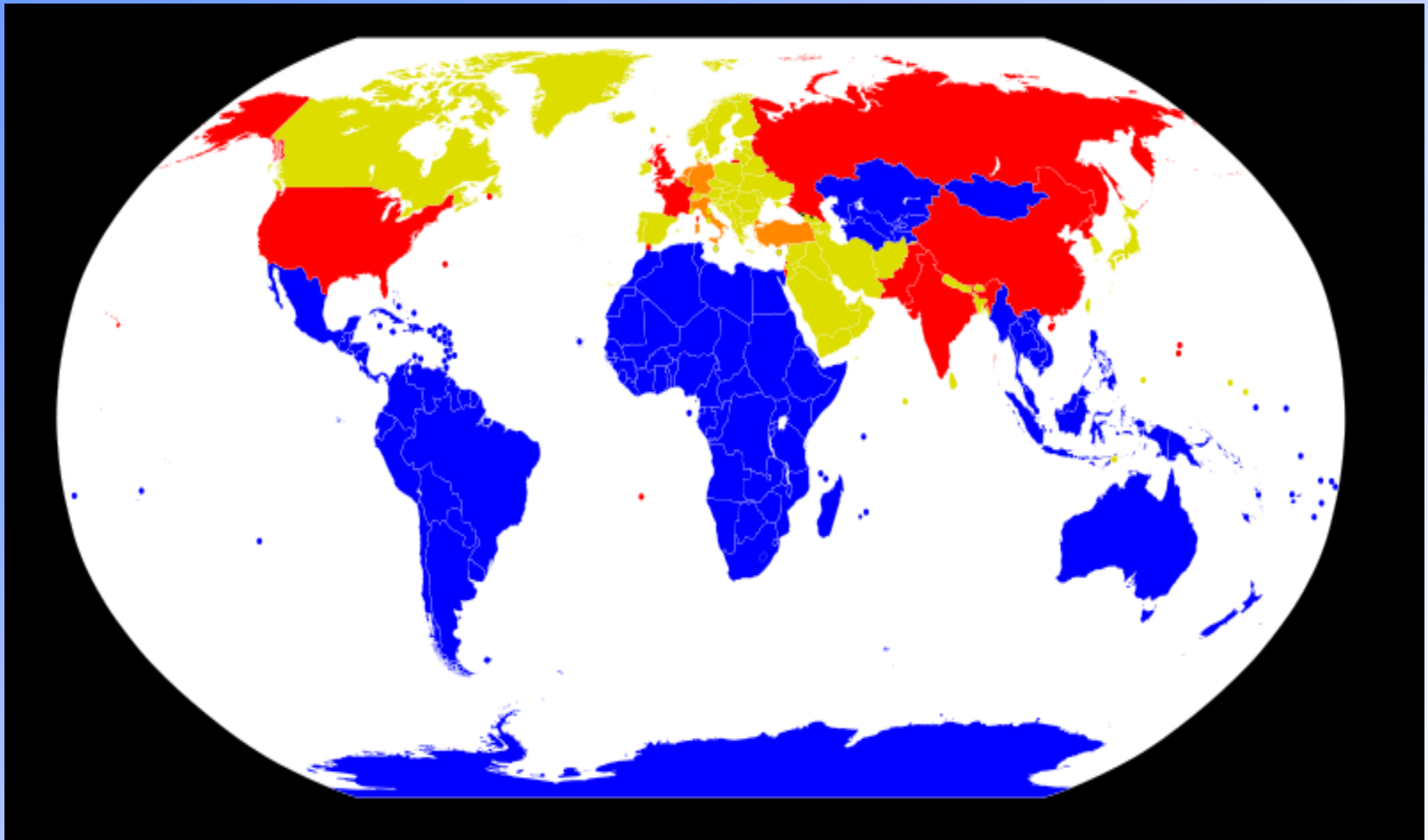
MONGOLIA/2000 (MNWFS Treaty)

AFRYKA/2009 (Pelindaba Treaty)

CENTRALNA AZJA/2009 (Semipalatinsk Treaty)

+ kosmos /1967 (Outer Space Treaty)

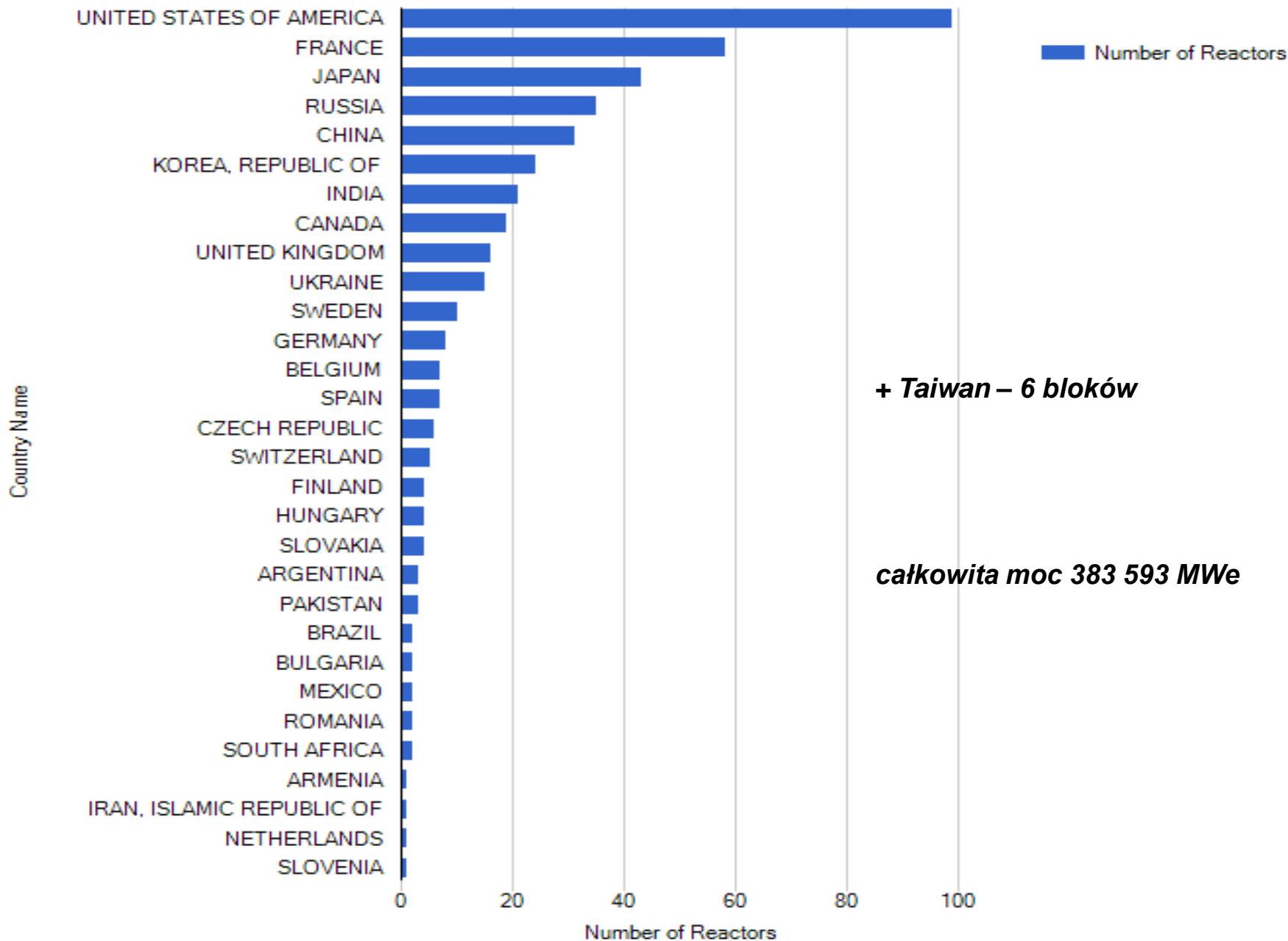
+ dno mórz /1972 (Seabed Treaty)



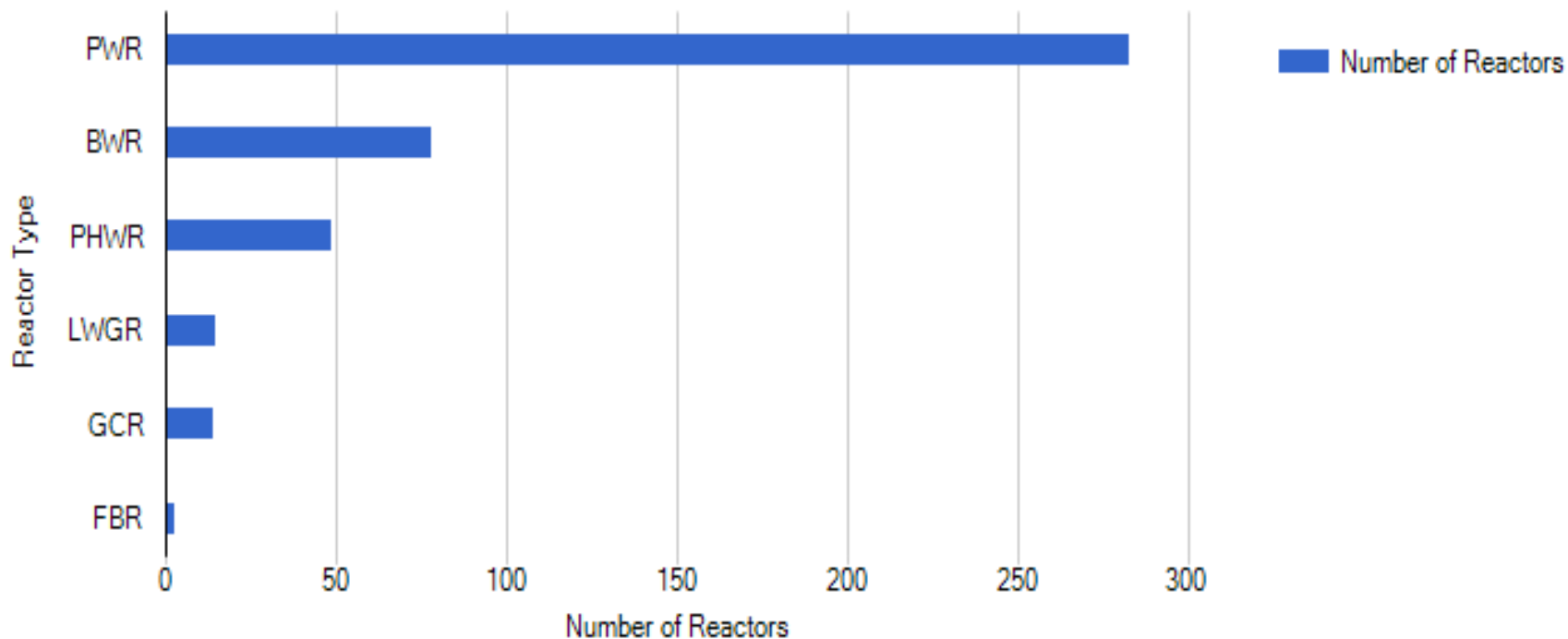
państwa jądrowe *strefy bezatomowe* *państwa „udostępniające”* *inne*

ENERGETYKA JĄDROWA NA ŚWIECIE?

Reaktory eksploatowane (442) wg kraju



Reaktory eksploatowane (442) wg typu



| <i>typ</i> | <i>liczba bloków</i> | <i>moc ogółem [MWe]</i> |
|---|----------------------|-------------------------|
| <i>PWR (Pressurized Light-Water-Moderated and Cooled Reactor)</i> | 283 | 264 907 |
| <i>BWR (Boiling Light-Water-Cooled and Moderated Reactor)</i> | 78 | 74 862 |
| <i>PHWR (Pressurized Heavy-Water-Moderated and Cooled Reactor)</i> | 49 | 24 551 |
| <i>GCR (Gas-Cooled, Graphite-Moderated Reactor)</i> | 14 | 7 685 |
| <i>LWGR (Light-Water-Cooled, Graphite-Moderator Reactor)</i> | 15 | 10 219 |
| <i>FBR (Fast Breeder Reactor)</i> | 3 | 1 369 |
| <i>Łącznie</i> | 442 | 385 593 |

W 2015 roku:

Podłączono do sieci:

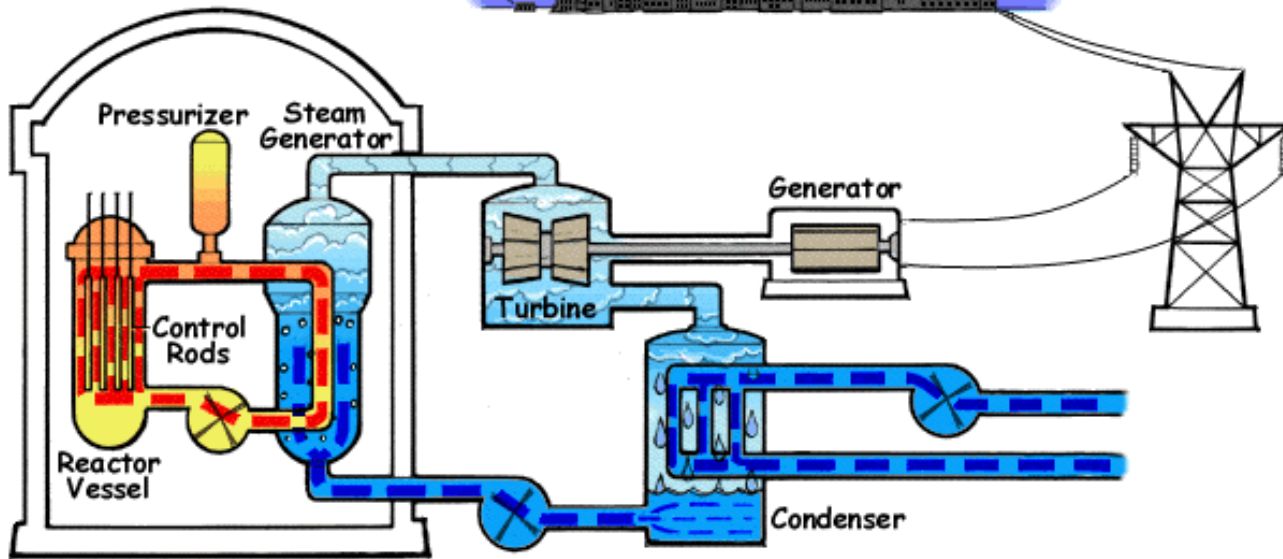
| | | |
|------------------------|------------------------------------|------------------------|
| FANGJIASHAN-2 | (1000 MW(e), PWR, CHINY) | 12 stycznia |
| SHIN-WOLSONG-2 | (960 MW(e), PWR, KOREA Pd.) | 26 lutego |
| YANGJIANG-2 | (1000 MW(e), PWR, CHINY) | 10 marca |
| NINGDE-3 | (1018 MW(e), PWR, CHINY) | 21 marca |
| HONGYANHE-3 | (1000 MW(e), PWR, CHINY) | 23 marca |
| FUQING-2 | (1000 MW(e), PWR, CHINY) | 6 sierpnia |
| YANGJIANG-3 | (1000 MW(e), PWR, CHINY) | 18 października |
| FANGCHENGGANG-1 | (1000 MW(e), PWR, CHINY) | 25 października |
| CHANGJIANG-1 | (610 MW(e), PWR, CHINY) | 7 listopada |
| BELOYARSK-4 | (789 MW(e), FBR, ROSJA) | 10 grudnia |

SHIN-KORI-3 (1340 MW(e), PWR, KOREA Pd.) 15 stycznia 2016

Zakończono eksploatację:

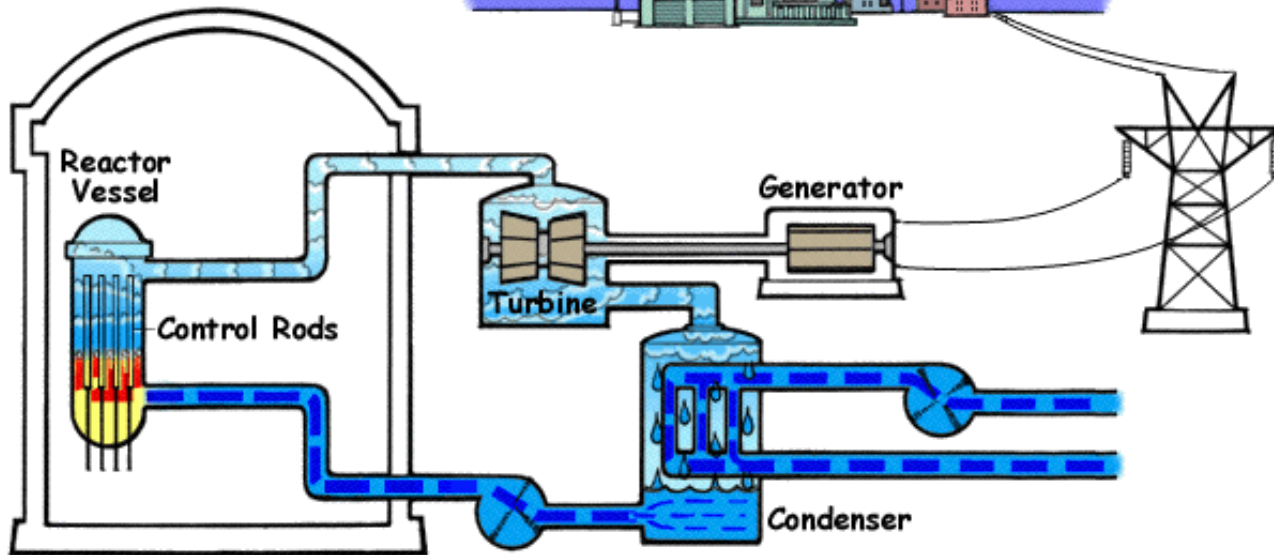
| | | | <i>eksploatowany od:</i> |
|------------------------|--------------------------------------|--------------------|--------------------------|
| GENKAI-1 | (529 MW(e), PWR, JAPONIA) | 27 kwietnia | 1975 |
| MIHAMA-1 | (320 MW(e), PWR, JAPONIA) | 27 kwietnia | 1970 |
| MIHAMA-2 | (470 MW(e), PWR, JAPONIA) | 27 kwietnia | 1972 |
| TSURUGA-1 | (340 MW(e), BWR, JAPONIA) | 27 kwietnia | 1969 |
| SHIMANE-1 | (439 MW(e), BWR, JAPONIA) | 30 kwietnia | 1973 |
| GRAFENRHEINFELD | (1275 MW(e), PWR, NIEMCY) | 27 czerwca | 1981 |
| WYLFA-1 | (490 MW(e), GCR, W. Brytania) | 30 grudnia | 1971 |

Containment Structure



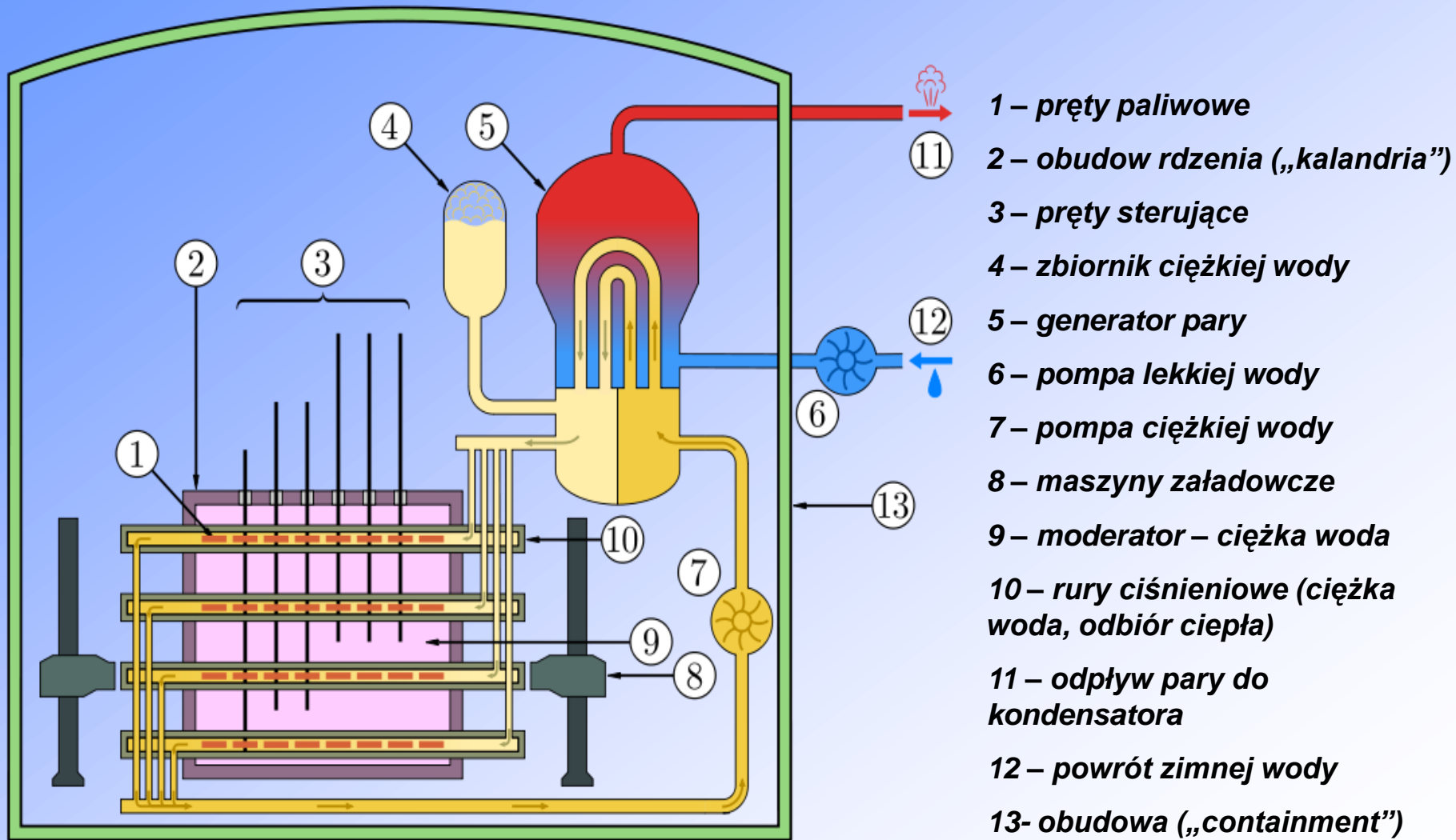
PWR

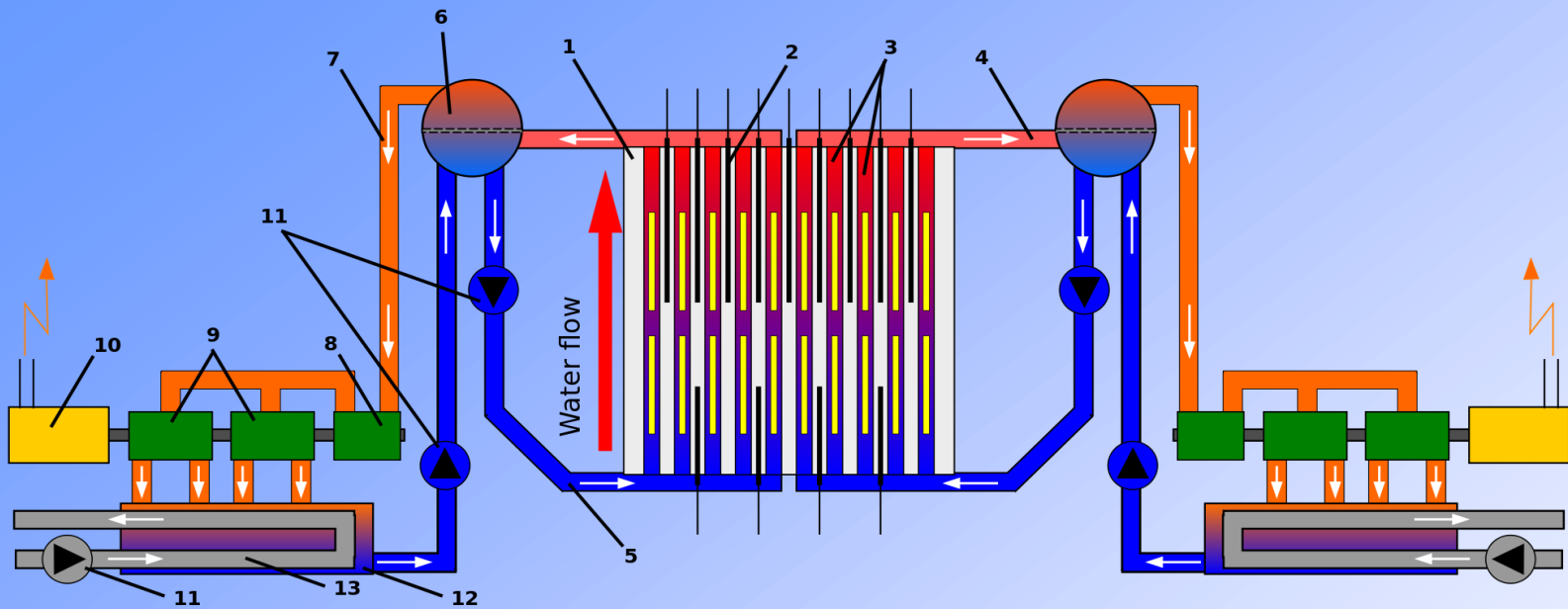
Containment Structure



BWR

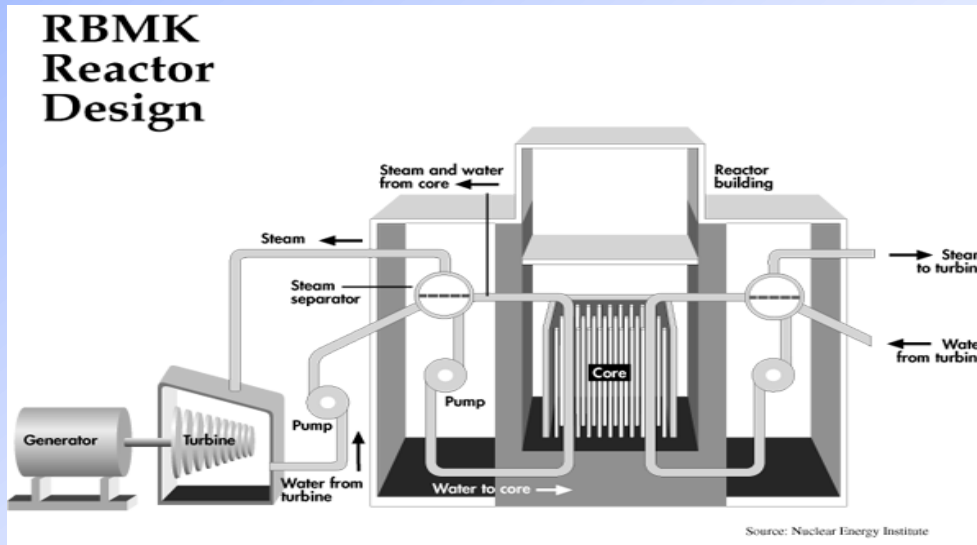
Reaktor typu PHWR (CANDU)



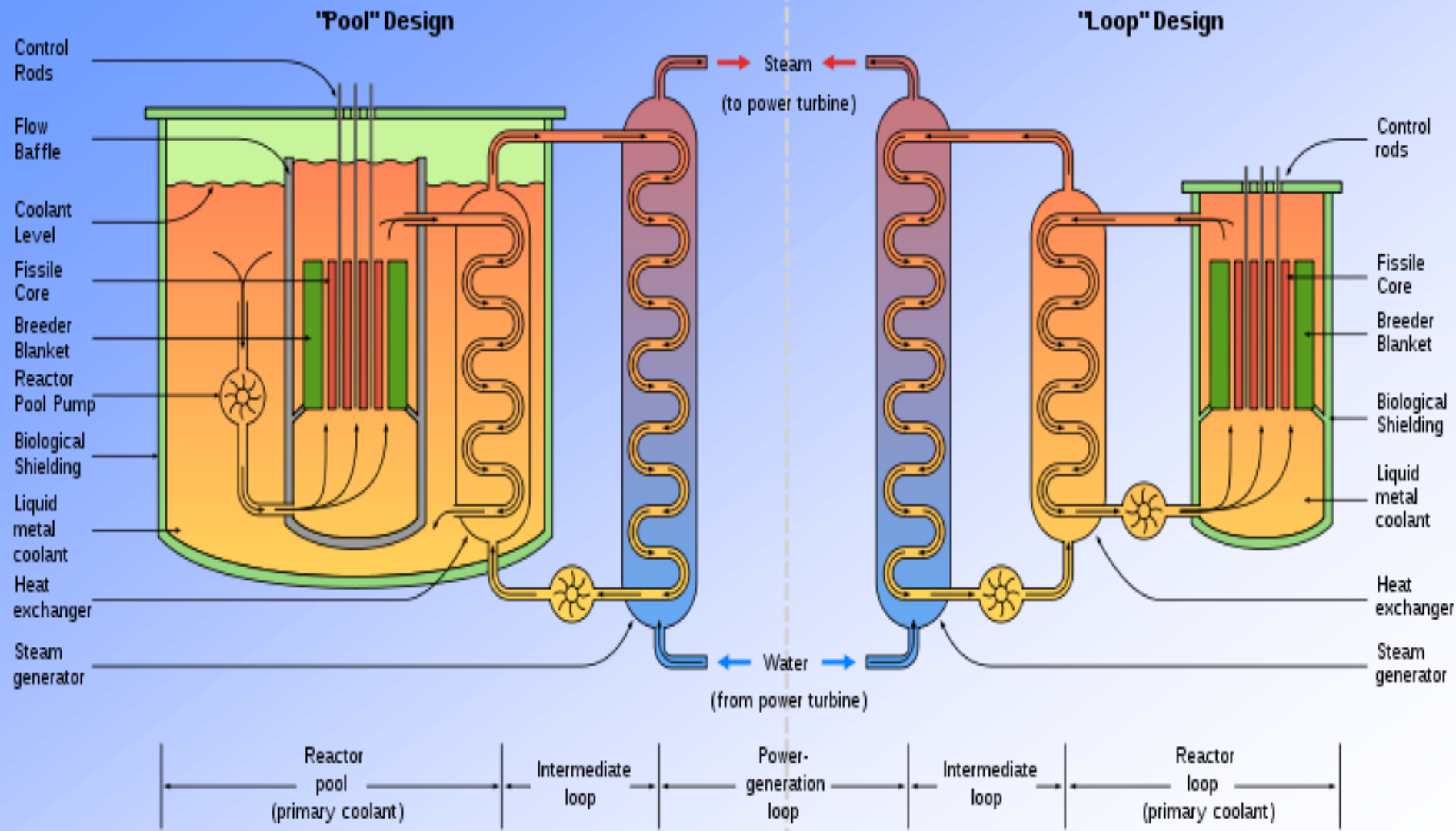


Legend :

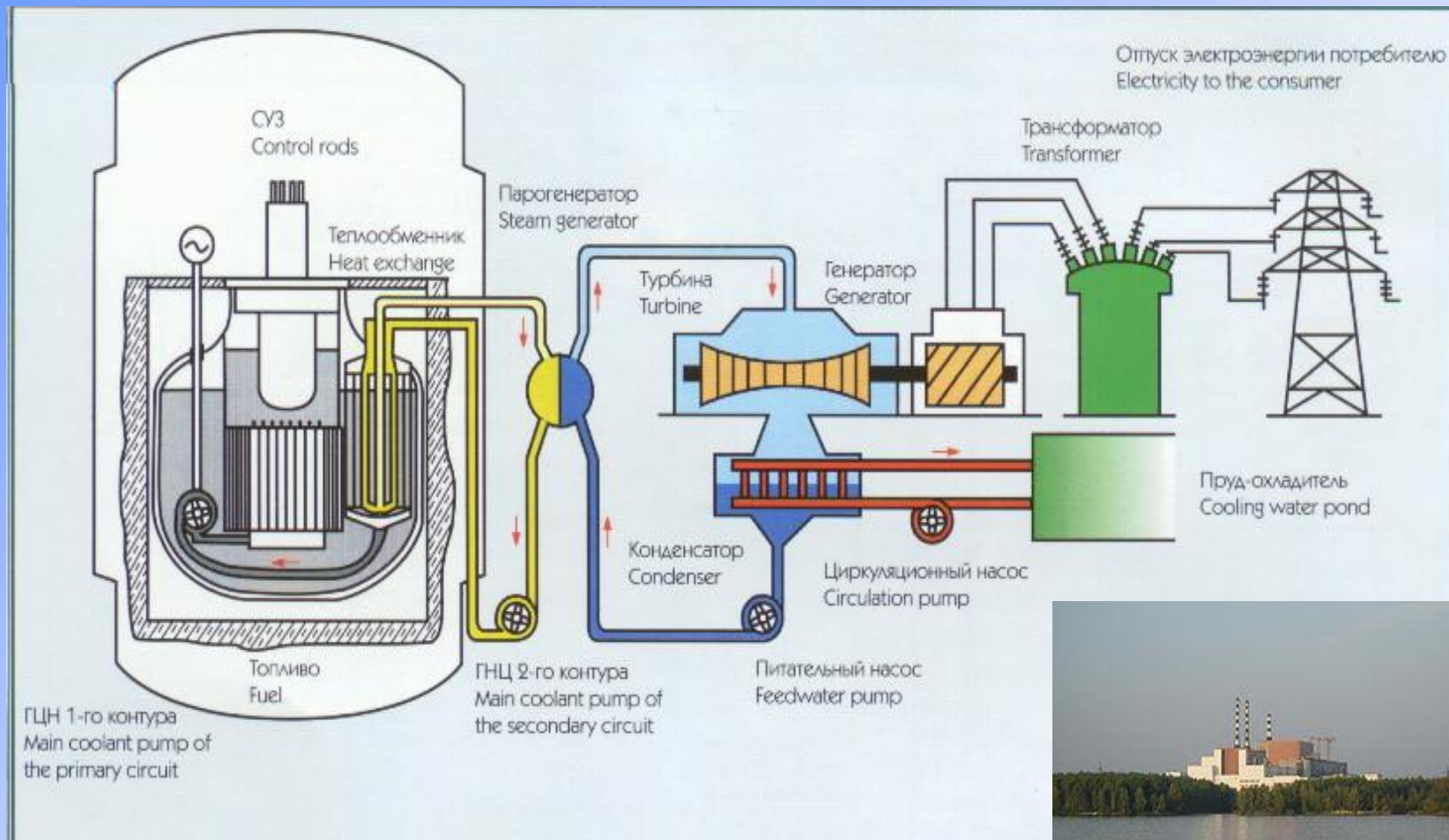
- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1. Graphite moderated reactor core | 8. High-pressure steam turbine |
| 2. Control rods | 9. Low-pressure steam turbine |
| 3. Pressure channels with fuel rods | 10. Generator |
| 4. Water/steam mixture | 11. Pump |
| 5. Water | 12. Steam condenser |
| 6. Water/steam separator | 13. Cooling water (from river, sea, etc.) |
| 7. Steam inlet | |



Prędkie reaktory powielające chłodzone ciekłym metalem (LMFBR)

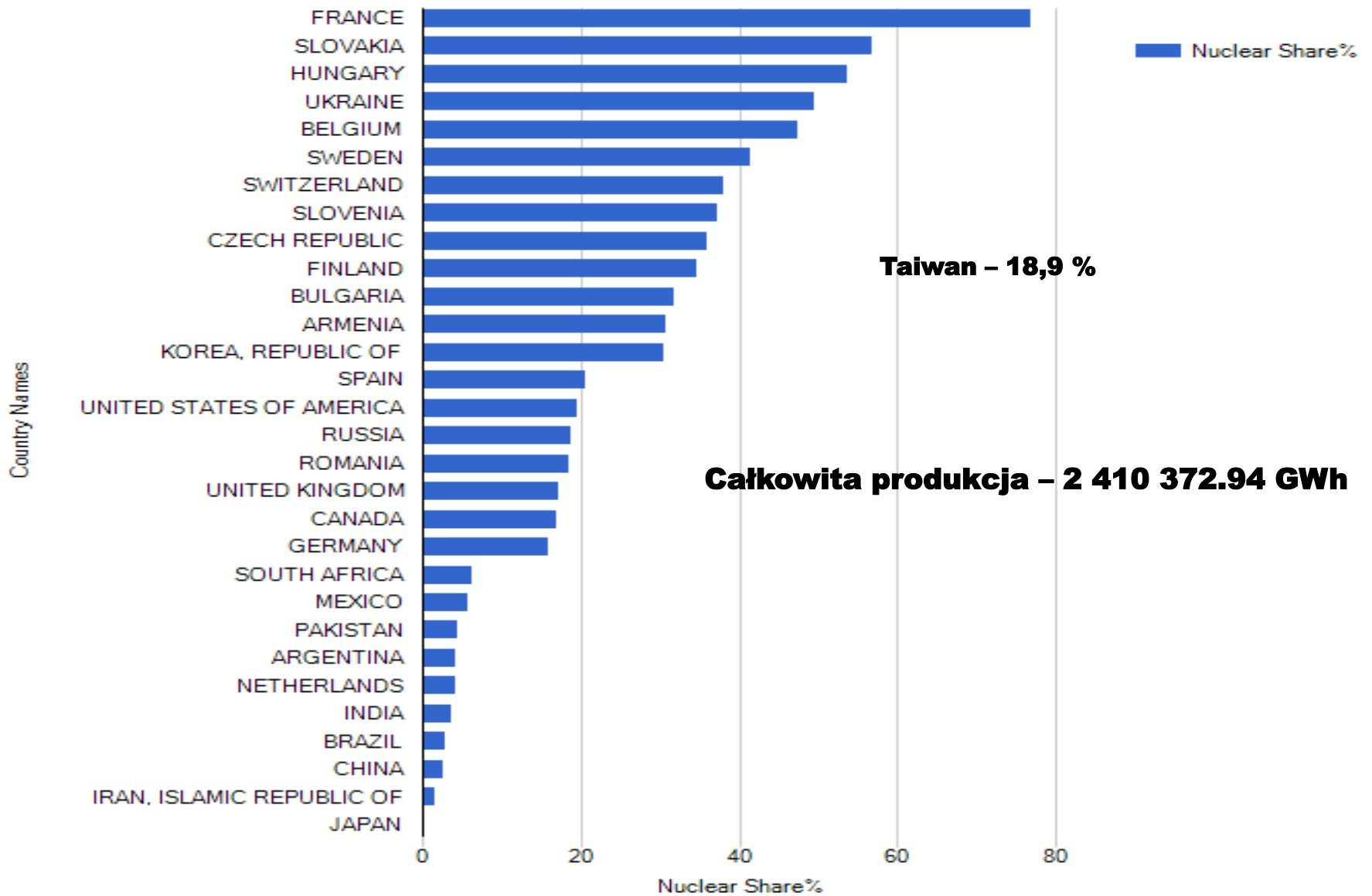


Реактор прѐдки



**Белоярская атомная электростанция
им. И. В. Курчатова ВМ-600**

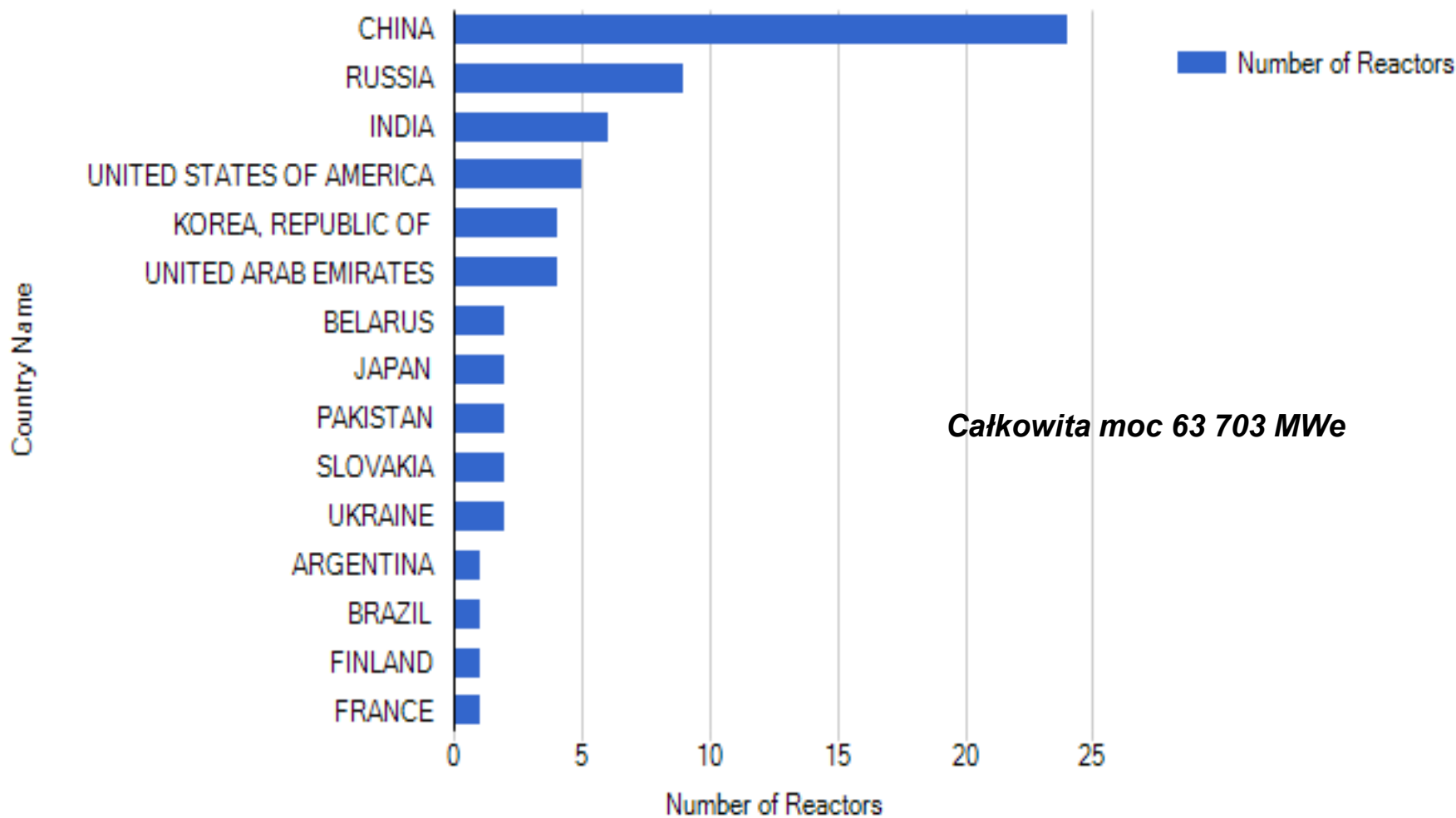
Udział energii jądrowej w systemie elektroenergetycznym kraju (2014) (439 bloków)





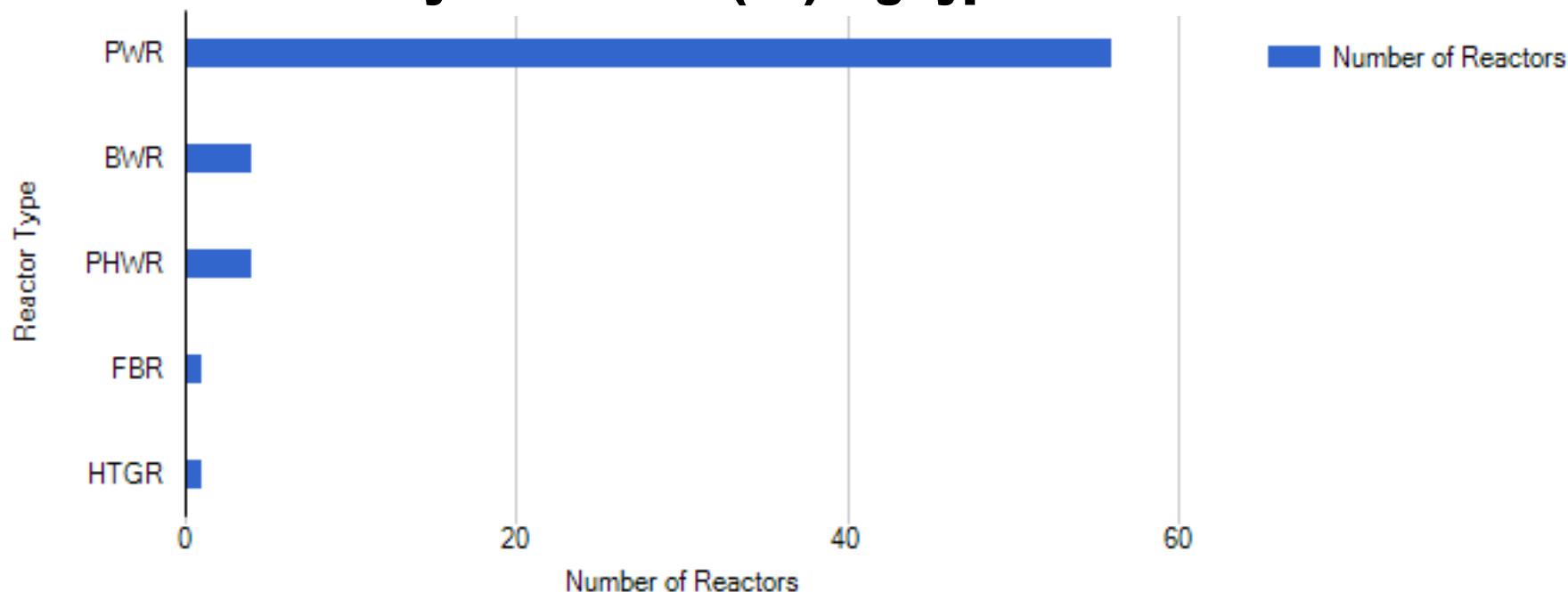
Elektrownia jądrowa w Temelinie, Czechy (2 x 1000 MWe)

Reaktory (66) w budowie wg kraju



*Łączna liczba bloków i łączna moc uwzględniają
Taiwan - w budowie 2 reaktory o łącznej mocy
2600 MWe*

Reaktory w budowie (66) wg typu



| typ | liczba | moc [Mwe] |
|---|---------------|------------------|
| <i>PWR</i> | 56 | 55 588 |
| <i>BWR</i> | 4 | 3 925 |
| <i>PHWR</i> | 4 | 2 520 |
| <i>FBR</i> | 1 | 470 |
| <i>HTGR (High-Temperature Gas-Cooled Reactor)</i> | 1 | 200 |
| Łącznie | 66 | 63 703 |

W 2015 roku oficjalnie rozpoczęto budowę:

| | | |
|------------------------|---------------------------------|-------------------|
| HONGYANHE-5 | (1000 MW(e), PWR, CHINY) | 29 marca |
| FUQING-5 | (1000 MW(e), PWR, CHINY) | 7 maja |
| HONGYANHE-6 | (1000 MW(e), PWR, CHINY) | 24 lipca |
| BARAKAH-4 | (1345 MW(e), PWR, UAE) | 30 lipca |
| FUQING-6 | (1000 MW(e), PWR, CHINY) | 22 grudnia |
| FENGCHENGGANG-3 | (1000 MW(e), PWR, CHINY) | 24 grudnia |
| TIANWAN-5 | (1000 MW(e), PWR, CHINY) | 27 grudnia |

Rozpoczęte budowy lub decyzje (czasem – wstępne) o budowie kolejnych/nowych elektrowni jądrowych w krajach europejskich:
Białoruś, Bułgaria, Czechy, Francja, Grecja, Litwa, Polska, Rosja, Rumunia, Słowacja, Słowenia, Szwecja, Ukraina, Węgry, Wielka Brytania

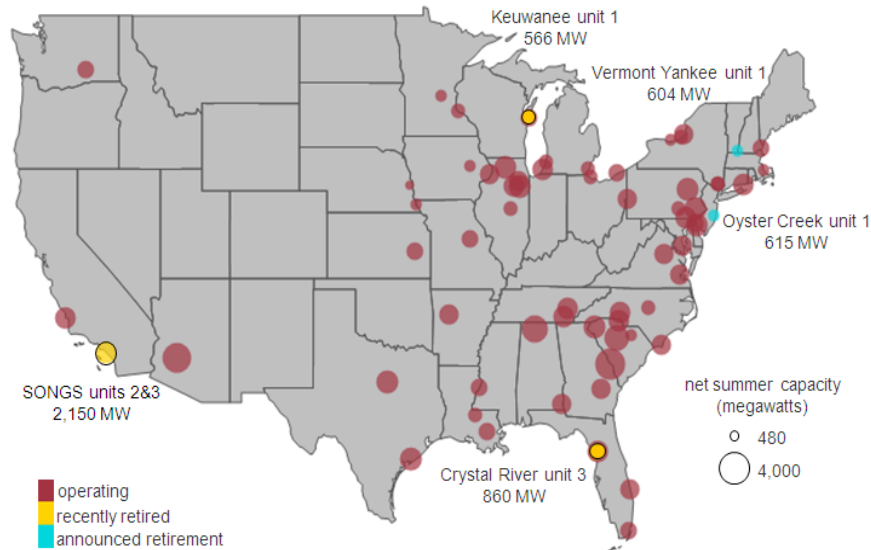
oraz w krajach pozaeuropejskich:
Afryka Pd., Arabia Saudyjska, Argentyna, Brazylia, Chiny, Egipt, Emiraty Arabskie, Indie, Indonezja, Iran, Izrael, Jordania, Korea Pd., Malezja, Maroko, Nigeria, Pakistan, Syria, Tunezja, Wietnam, USA...

Wieści ze świata z ostatniej chwili (luty 2016):

- **Rząd RPA zatwierdził „Wniosek” („Request for Proposal”, RFP) zwiększenia projektowej mocy elektrowni jądrowych kraju o 9,6 GW, umożliwiający Ministerstwu Energii zebranie propozycji przetargowych dotyczących nowych inwestycji od wiodących światowych firm energetyki jądrowej. Rosatom, państwowa rosyjska firma jądrowa, zamierza zaoferować swoje lekko-wodne reaktory ciśnieniowe VVER generacji III+. Rosatom od 1995 roku dostarcza paliwo jądrowe dla elektrowni Koeberg koło Cape Town.**
- **Chiny planują eksploatować w 2030 roku 110 bloków jądrowych o łącznej mocy 88 GW. Dane te ogłosiła firma Power Construction Corp. of China, bazując na projekcie trzynastego chińskiego Planu Pięcioletniego (2016-2020) dla przemysłu energetycznego. Chiny mają przeznaczyć 500 miliardów yuanów (78 miliardów dolarów) na budowę po 2016 roku przez kolejnych 5 lat rocznie sześciu do ośmiu reaktorów opartych na technologii chińskiej.**

- **Amerykański Departament Energii (DoE) zorganizował 20 stycznia pierwsze przesłuchanie publiczne dotyczące proponowanych lokalizacji czasowych i ostatecznych składowisk wypalonego paliwa jądrowego. Firmy prywatne zaproponowały dwie lokalizacje dla składowisk czasowych (interim storage facilities): Andrews County, Texas, oraz 12 mil od Waste Isolation Pilot Plant (WIPP), New Mexico**
- **Energetyka jądrowa w USA to obecnie 99 komercyjnych bloków jądrowych (65 PWR i 34 BWR) o mocy netto (net summer capacity) 98,621 MWe, produkujących rocznie ok. 800 TWh (19,47% elektroenergetyki kraju (budowanych jest obecnie 5 bloków). Jedyne ostateczne składowisko odpadów wysokoaktywnych obecnie eksploatowane to WIPP, ale przeznaczone tylko na odpady militarne. W 2015 roku współczynnik wykorzystania mocy osiągnął poziom 91,9% , bijąc dotychczasowy rekord (91.8%) z roku 2007.**

U.S. Nuclear Power Plant Status



- **29 lutego minister finansów Indii Arun Jaitley oświadczył, że jego rząd przeznaczy ekstra 30 miliardów rupii (442 miliony USD) w budżecie na rok 2016 na wzmocnienie (to boost) programów dotyczących rozwoju energetyki jądrowej w następnych 15 – 20 latach.**

ENERGETYKA JĄDROWA W EUROPIE?

w Europie

- w eksploatacji 183 W bloki (w 17 państwach), całkowita moc 161 354 MWe (43% mocy elektrowni jądrowych świata), w tym w 14 państwach Unii Europejskiej 130 bloków, całkowita moc 120 750 MWe (32% mocy e.j. świata)

(udział energetyki jądrowej w ogólnym bilansie elektroenergetyki: ponad 75% - **Francja, ponad 50% - **Słowacja i Węgry**, ponad 40% - **Belgia, Ukraina i Szwecja**, ponad 30% - **Szwajcaria, Słowenia, Czechy, Finlandia i Bułgaria**)**

- w budowie – 17 bloków (w państwach Unii 4), całkowita moc 15 599 MWe (w Unii 4 110 MWe).

Tradycyjne stanowisko UE w sprawie energetyki jądrowej: decyzja w sprawie EJ należy wyłącznie do państw członkowskich, niezależnie od obowiązującego wszystkich członków UE Traktatu EURATOM (z 25 marca 1957) i wynikających z niego zasad wspólnej polityki w odniesieniu do zagadnień jądrowych, np. gospodarki paliwem jądrowym w UE (kompetencje Europejskiej Agencji Dostaw = European Supply Agency) czy zabezpieczeniem i ochroną fizyczną materiałów i obiektów jądrowych. W UE niektóre państwa członkowskie są „ideologicznie” przeciwne energetyce jądrowej: Austria, Dania, Irlandia +?

Zmiana stanowiska?

15 grudnia 2015 r. Parlament Europejski uchwalił rezolucję wzywającą Komisję Europejską do stworzenia warunków do budowy nowych elektrowni jądrowych w Unii Europejskiej, jako jednego z ważnych źródeł niskoemisyjnych, obok odnawialnych źródeł energii, gazu i węgla z CCS, podtrzymując stanowisko przyjęte w październiku 2007 r. uznające „energetykę jądrową za niezbędną”... „bez niej nie można osiągnąć celów jakie w zakresie energetyki stawia sobie Unia” i przywołując opinię Komitetu Ekonomiczno-Społecznego UE, że „energia jądrowa w pełni odpowiada celom polityki energetycznej UE oraz jest wyraźnie konkurencyjna pod względem kosztów.”

Jednocześnie... Parlament Europejski zwraca uwagę krajom planującym odejście od energii jądrowej, że „powinny wprowadzać do swych systemów nowe źródła energii dobrane tak, by w wymierny sposób przyczyniały się do dostaw energii i do stabilizacji międzynarodowego systemu produkcji i dystrybucji energii elektrycznej”.

W NIEMCZECH?

W 2015 roku produkcja energii el. wzrosła o 3% do 647.1 TWh, w tym ze źródeł odnawialnych aż o 19% do 194,1 TWh (ich udział wzrósł z 26% w 2014 r. do prawie 30% w 2015 r.). Udział elektrowni spalających węgiel (kamienny i brunatny) w całkowitej produkcji energii el. w 2015 r. wynosił 42,2%, licząc rok do roku oznacza to spadek o 1,5%.

Udział elektrowni jądrowych w produkcji energii elektrycznej w Niemczech w 2015 roku wyniósł 14,1% (o 1,4% mniej niż w roku 2014 – bo wyłączono EJ Grafenrheinfeld w Bawarii).

W Niemczech działa obecnie osiem energetycznych bloków jądrowych; zgodnie z rządowym planem do 2022 roku powinny one zaprzestać funkcjonowania.

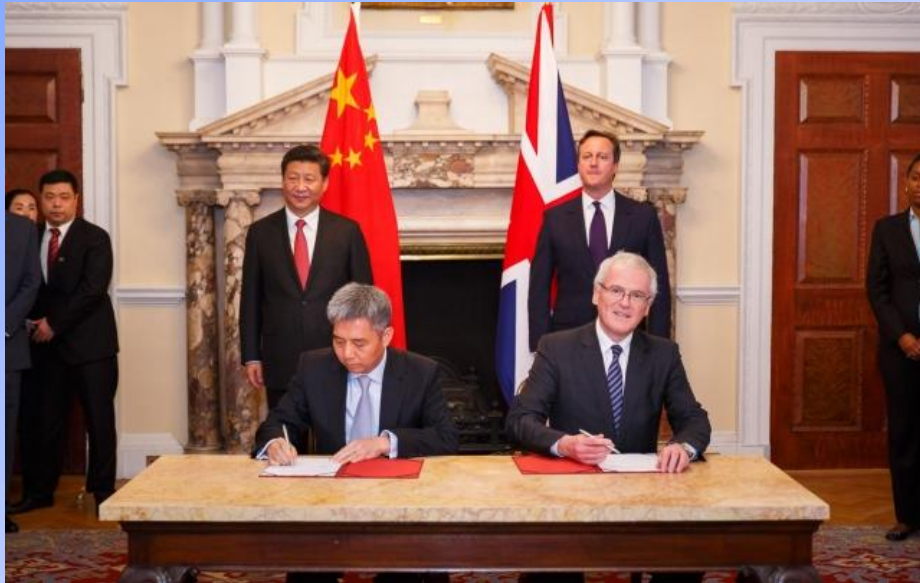
WE FRANCJI?

- 58 bloków jądrowych (wszystkie – EDF) dostarcza ponad 75% energii elektrycznej zużywanej we Francji. Nowe prawo energetyczne przewiduje obniżenie tego udziału do ok. 50% przed 2025 rokiem. Niezależnie od tych planów EDF przewiduje wydanie przed 2025 rokiem ok. 55 miliardów euro na przedłużenie okresu eksploatacji reaktorów do (i powyżej) 40 lat i polepszenie ich parametrów bezpieczeństwa (do 2030 roku EDF planuje wydanie 100 miliardów euro na ten cel).

• EDF poinformowało, że jego francuskie elektrownie jądrowe wyprodukowały w 2015 roku 416,8 TWh, o 0,9 TWh więcej niż w roku 2014, pomimo koniecznych wyłączeń niektórych bloków. W bieżącym roku spodziewanych jest więcej wyłączeń, związanych z okresową co-dziesięcioletnią inspekcją (w sześciu blokach), wymianą generatorów pary (w dwóch blokach) oraz wynikającą z decyzji po katastrofie w Fukushima stopniową instalacją generatorów prądotwórczych na olej napędowy. EDF planuje jednak osiągnąć w 2016 roku produkcję z elektrowni jądrowych na poziomie 410-415 TWh. (Całkowita produkcja EDF energii elektrycznej we Francji wynosiła w 2015 roku 455,7 TWh, o 4,6 TWh mniej niż w roku 2014. Produkcja elektrowni jądrowych EDF w Wielkiej Brytanii w 2015 roku wynosiła 60,6 TWh, o 4,4 TWh więcej niż w roku 2014).

W WIELKIEJ BRYTANII?

- **Wielka Brytania zamierza do 2030 roku zwiększyć moc swoich elektrowni jądrowych o 16 GWe. Osiągnięcie tego celu wymaga silnego zaangażowania inwestorów prywatnych.**
- **16 lutego - EDF Energy (spółka w UK podległa EDF) ma przedłużyć okres eksploatacji czterech bloków jądrowych w Wielkiej Brytanii: bloków Heysham 1 i Hartlepool o 5 lat do 2024 roku, a bloków Heysham 2 i Torness o 7 lat do 2030 roku (łącznie moc tych bloków – 4 700 MWe).**



- **„Strategiczna Umowa Inwestycyjna” pomiędzy EdF i CGN (China General Nuclear Power Corporation) dotyczyła nie tylko udziału w budowie dwóch reaktorów w Hinkley Point C (66,5% i 33,5%), ale również dostaw związanych z budową nowych elektrowni jądrowych w Sizewell (Suffolk) i Bradwell (Essex).**

Styczeń 2016: Litwini apelują do Polski (Łotwy i Estonii) żeby nie kupować energii elektrycznej z elektrowni jądrowych nie spełniających norm bezpieczeństwa. Litwinów szczególnie niepokoi kwestia budowy siłowni na Białorusi (w Ostrowcu, 50 km od Wilna). Zdaniem Wilna nie przeprowadzono odpowiednich badań, a wiele kwestii nie zostało wyjaśnionych, a Mińsk naruszył przepisy prawa międzynarodowego nakazujące konsultowanie się z krajami sąsiednimi kwestii bezpieczeństwa obiektów. Do chwili obecnej brak jest informacji na temat stosowanych rozwiązań zabezpieczających pracę elektrowni. To samo dotyczy elektrowni budowanej w Rosji w obwodzie kaliningradzkim.

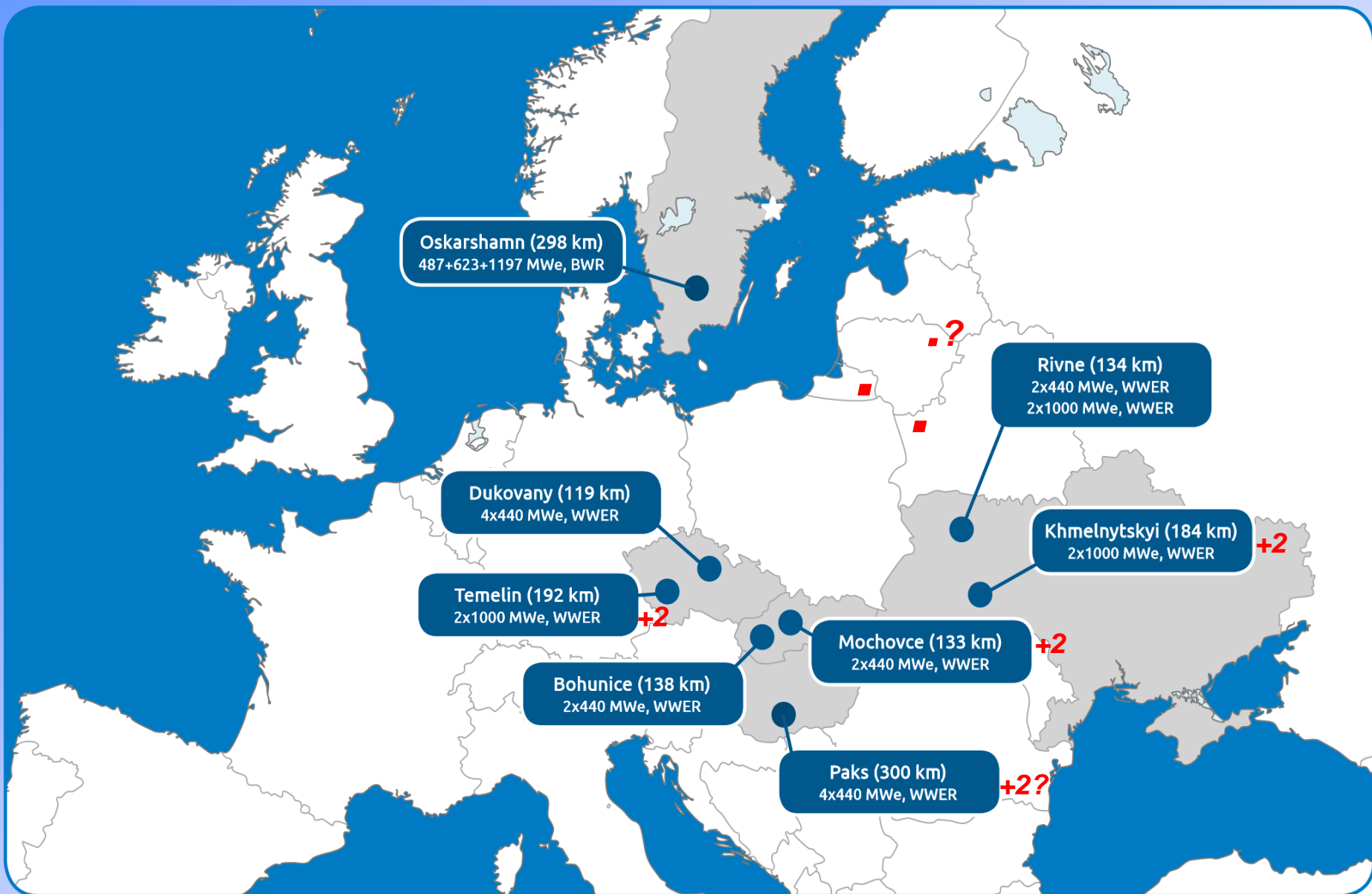
(Na Białorusi budowane są obecnie w Ostrowcu dwa bloki Białoruś 1 i 2, a w Okręgu Królewieckim w Nieman – jeden, wszystkie typu WWER W- 491 o mocy 1194 MWe).

ENERGETYKA JĄDROWA W POLSCE?

Moc zainstalowana w Polsce (stan w dniu 31.12.2014 r.)

| Wyszczególnienie | Moc elektryczna zainstalowana [MW] | |
|-------------------------------|------------------------------------|---|
| OGÓŁEM | 39353,0 | |
| Elektrownie zawodowe ciepłe | 31086,7 | |
| z tego: | | |
| - na węglu brunatnym | 9220,5 | Łącznie 31086,7 MWe = 94,93% |
| - na węglu kamiennym | 20291,1 | |
| - gazowe | 927,2 | |
| Elektrownie zawodowe wodne | 2207,7 | |
| - w tym: szczytowo - pompowe | 1330,0 | |
| Elektrociepłownie przemysłowe | 1871,5 | |
| Elektrownie niezależne OZE | 4187,2 | |
| - w tym: elektrownie wiatrowe | 3866,0 | |

ELEKTROWNIE JĄDROWE ZLOKALIZOWANE BLIŻEJ NIŻ 300 KM OD GRANIC POLSKI



28/01/2014 – Przyjęcie przez Radę Ministrów
Programu polskiej energetyki jądrowej (PPEJ)

Etap I - 1.01.2014 - 31.12.2016:

Ustalenie lokalizacji i zawarcie kontraktu na wybraną technologię pierwszej elektrowni jądrowej;

Etap II - 1.01.2017 - 31.12.2019:

Wykonanie projektu technicznego i uzyskanie wymaganych prawem decyzji i opinii;

Etap III - 1/01/2020 - 31.12.2025:

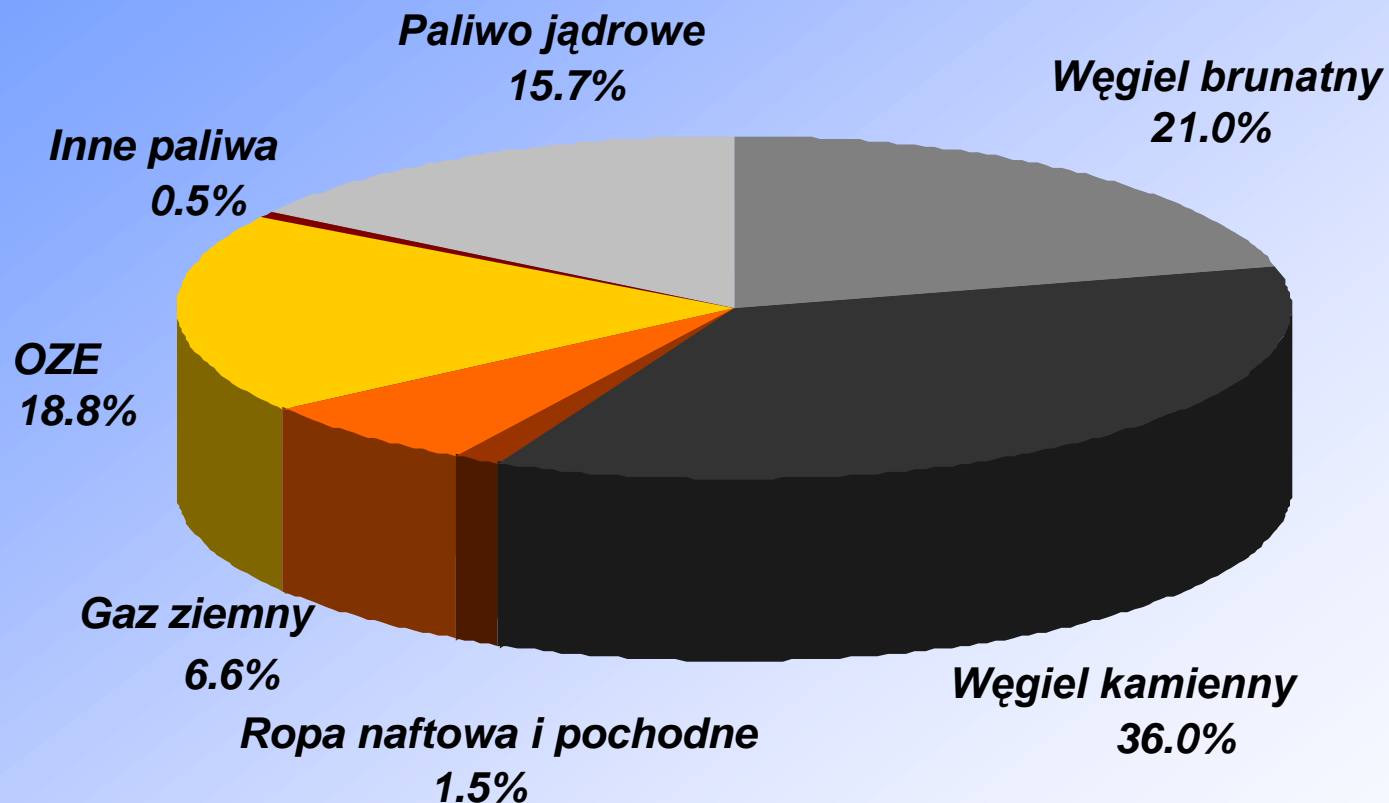
Pozwolenie na budowę, budowa i podłączenie do sieci pierwszego bloku pierwszej elektrowni jądrowej, rozpoczęcie budowy kolejnych bloków elektrowni jądrowych;

Etap IV - 1.01.2025 - 31.12.2030:

Kontynuacja i rozpoczęcie budowy kolejnych bloków , rozpoczęcie budowy drugiej elektrowni jądrowej.

Zakończenie budowy drugiej elektrowni jądrowej przewidywane jest na 2035 rok (6 GWe łącznie)

Źródła energii elektrycznej w Polsce w 2035 roku



(obecnie prognozę tę z 2012 r. trzeba traktować jako jeden z wariantów...)

Inwestor - Polska Grupa Energetyczna (PGE), a właściwie spółka PGE EJ1 (wg decyzji Rządu)

3 września 2014 roku przedstawiciele zarządów PGE, Taurona, Enei i KGHM podpisali porozumienie ws. kupna udziałów w spółce PGE EJ1, przy czym Tauron, Enea i KGHM kupią po 10 proc. udziałów w spółce, a 70 proc. pozostanie w rękach PGE.

Ile to będzie kosztować?

Pierwsza siłownia o mocy 3000 MWe - to koszt ok. 60 mld PLN, czyli ok. 4,5 tys. euro za 1 kWe.

Do końca 2016 roku powinno nastąpić rozstrzygnięcie postępowania w sprawie wyłonienia partnera strategicznego (który zapewni operowanie elektrownią, paliwo, usługi serwisowe oraz pozyskanie finansowania).

Istotnym czynnikiem winno być finansowanie ze strony dostawców technologii. Jednocześnie państwo musi zagwarantować odbiór energii z elektrowni jądrowej i jej cenę, inaczej nikt nie zainwestuje w taką budowę.

Gdzie stanie pierwsza polska EJ?

Wieloetapowy proces wyboru lokalizacji wytypował (spośród 102, później 28 analizowanych) trzy lokalizacje: Choczewo, Gąski (gmina Mielno) oraz Żarnowiec (gminy Gniewino i Krokowa).

Ostatecznie badania lokalizacyjne prowadzone są dla dwóch lokalizacji: Choczewo i Żarnowiec.

Na podstawie wyników przeprowadzonych prac badawczych PGE EJ 1 wybierze ostateczną lokalizację dla pierwszej polskiej elektrowni jądrowej.



| Lp | Lokalizacja | Województwo | Lp | Lokalizacja | Województwo |
|----|--------------------|--------------------|----------------|----------------|---------------------|
| 1 | Chelmino | Kujawsko-Pomorskie | 16 | Połaniec | Świętokrzyskie |
| 2 | Nieszawa | Pomorskie | 17 | Pątnów | Wielkopolskie |
| 3 | Gościeradów | Lubelskie | 18 | Warta-Klempicz | Zachodnio-Pomorskie |
| 4 | Belchatów | Łódzkie | 19 | Dębogóra | |
| 5 | Chotcza | Mazowieckie | 20 | Kopań | |
| 6 | Karolewo | | 21 | Krzyków | |
| 7 | Kozienice | | 22 | Krzywiec | |
| 8 | Malkinia | | 23 | Lisowo | |
| 9 | Nowe Miasto | | 24 | Pniewo | |
| 10 | Wyszaków | 25 | Pniewo-Krajnik | | |
| 11 | Brak wskazania | Podlaskie | 26 | Stepnica-1 | Pomorskie |
| 12 | Choczewo | Pomorskie | 27 | Stepnica-2 | |
| 13 | Lubiatowo-Kopalino | | 28 | Wiechowo | |
| 14 | Tczew | | | | |
| 15 | Żarnowiec | | | | |

Jaka technologia pierwszych bloków jądrowych?

Na 66 reaktorów obecnie budowanych na świecie, 60 to reaktory ciśnieniowe typu PWR (w tym 4 z ciężką wodą jako moderatorem), 4 bloki – to reaktory z wodą wrzącą typu BWR. Może jeden z poniższych?

- AP1000: reaktor ciśnieniowy o mocy 1100 MWe; Westinghouse;
- APR-1400: reaktor ciśnieniowy o mocy 1450 MWe, południowokoreański koncern KHNP na bazie projektu System 80+ stworzonego przez Westinghouse;
- APWR: reaktor ciśnieniowy o mocy 1540-1700 MWe, Mitsubishi Heavy Industries;
- EPR: reaktor ciśnieniowy o mocy 1600-1750 MWe, Areva; reaktory tego typu są budowane obecnie m. in. w Finlandii (Olkiluoto) i we Francji (Flamanville);
- ABWR: reaktor z wodą wrzącą o mocy 1350-1600 MWe; General Electric/Hitachi;
- ESBWR: reaktor z wodą wrzącą o mocy 1390-1560 MWe, General Electric/Hitachi, projekt na bazie reaktora ABWR;

Czy społeczeństwo zaakceptuje tę technologię?

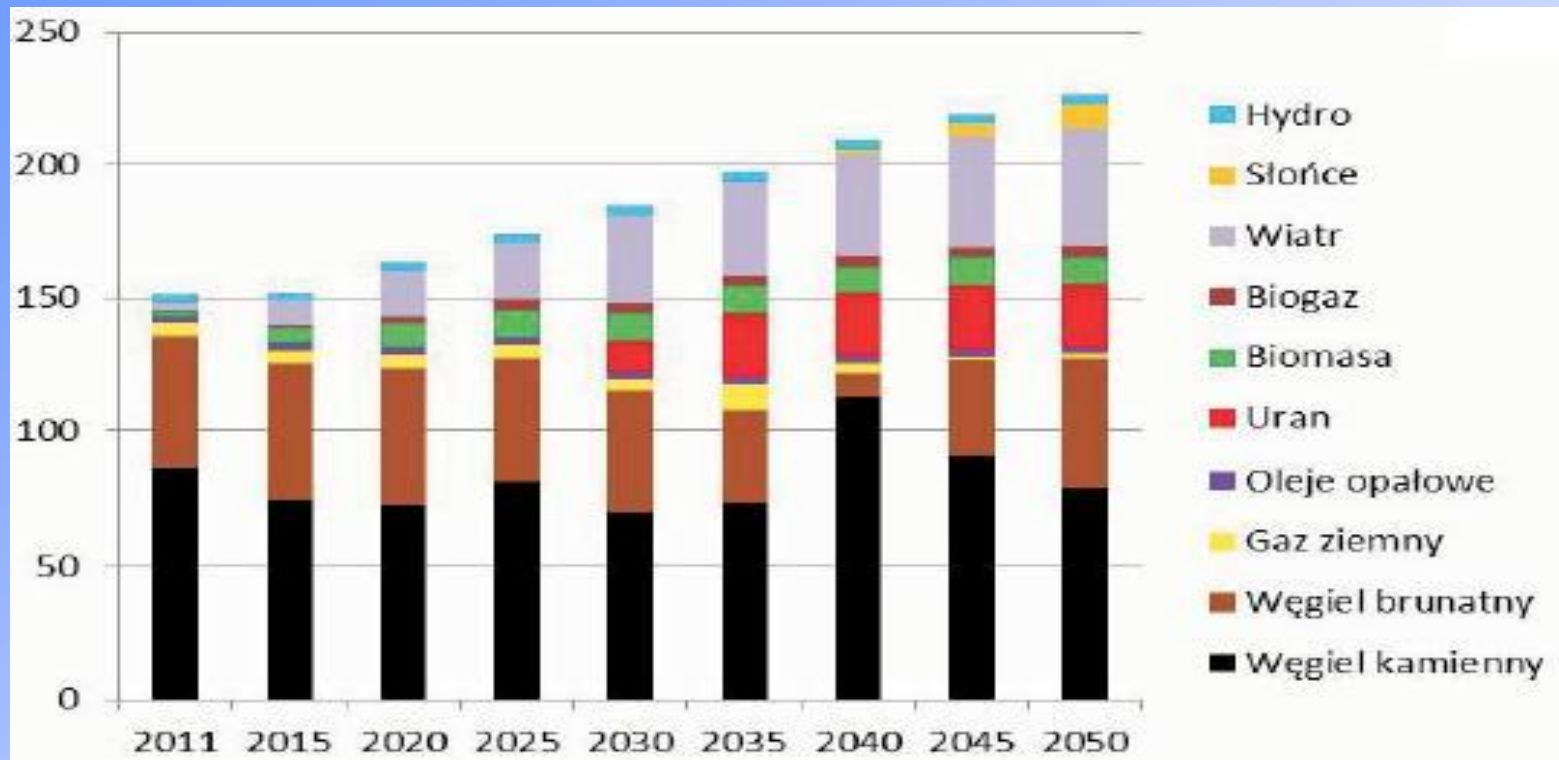


Blokada drogi do Olkiluoto



7 sierpnia 2015 roku Ministerstwo Gospodarki skierowało do konsultacji społecznych i międzyresortowych projekt „Polityki energetycznej Polski do 2050 r.” (miały potrwać do 18 września 2015 r.), w którym znalazły się trzy scenariusze rozwoju krajowego sektora energetycznego:

- scenariusz wiodący - zrównoważony - zakładający kontynuację dotychczasowych trendów i realizacji podjętych decyzji (**EJ 20 %**)**
- scenariusz jądrowy - przewidujący dominującą rolę energii jądrowej w bilansie energetycznym Polski (**EJ 40 – 60%**)**
- scenariusz gaz plus OZE - oparty na założeniu uruchomienia w Polsce na dużą skalę eksploatacji gazu ziemnego ze złóż niekonwencjonalnych oraz rozwoju i upowszechniania technologii produkcji energii ze źródeł odnawialnych (**EJ 10%**).**



Prognoza produkcji energii elektrycznej netto w podziale na paliwa wg scenariusza referencyjnego („zrównoważonego”) z wysokimi cenami uprawnień do emisji CO₂ (TWh)

***CZY RZECZYWIŚCIE BĘDZIE
ENERGETYKA JĄDROWA W POLSCE?***

Decyzje na temat energetyki jądrowej w Polsce podejmował poprzedni rząd...

**Krzysztof Tchórzewski, minister energii, 27.01:
„Rolą państwa jest gwarantowanie długookresowej stabilności i rozwoju w sektorze energetycznym oraz zapewnianie gospodarstwom domowym i podmiotom gospodarczym dostępności energii po niewygórowanej cenie”.**

... „zużycie energii elektrycznej w Polsce będzie rosło, dlatego nie ma możliwości rezygnacji z wydobywania węgla. Nie oznacza to rezygnacji z innych źródeł; ... program atomowy prawdopodobnie będzie kontynuowany ze względu na jego potencjał rozwojowy i naukowo-badawczy”.

Premier Beata Szydło na placu budowy elektrowni w Jaworznie 22 lutego swoją konferencję prasową poświęciła pochvale węgla jako gwarancji bezpieczeństwa energetycznego Polski. Dała też do zrozumienia, że rząd nie ma planów budowy elektrowni atomowej. Zganiła poprzednią ekipę za forsowanie projektu atomowego i stworzenie spółki PGE EJ1, która zdaniem Szydło służyła wypłacaniu "apanaży" dla prezesów. Pytana o projekt energetyki atomowej Szydło odpowiedziała, że "polska energetyka jest oparta na węglu i jeszcze przez dziesiątki lat będzie oparta na węglu".

- **23 Feb (NucNet): The Polish Energy Ministry has refuted claims in local media that the country's plans to build its first nuclear station are to be cancelled. The project to build a nuclear power station is subject to “ongoing detailed analysis concerning methodological, organisational, conceptual and technical matters” and there are “no indications or reasons for abandoning it”, the statement said. According to the ministry, although initial investment costs may be high, nuclear is a reliable source of energy with low future generation costs**

- **24 LUTEGO - Minister energii Krzysztof Tchórzewski spotkał się z ambasadorem Wielkiej Brytanii w Polsce Robinem Barnettem z którym rozmawiał o współpracy obu państw w sektorze energetycznym. Za perspektywiczne obszary współpracy uznano m.in. energetykę jądrową oraz zwiększanie innowacyjności sektora energetycznego.**

- **29 LUTEGO - w Ministerstwie Energii odbyło się spotkanie grupy roboczej projektu BRILLIANT (Baltic Region Initiative for Long Lasting InnovActive Nuclear Technologies). Eksperci z Litwy, Łotwy, Estonii, Szwecji i Polski dążą do utworzenia wspólnej platformy naukowo-technicznej pozwalającej na regionalne podejście do rozwoju technologii jądrowych w rejonie Bałtyku.**

- **3 marca: Ambasador Stanów Zjednoczonych w Polsce Paul W. Jones na spotkaniu z min. Tchórzewskim: „Liczymy na intensyfikację współpracy Polski i Stanów Zjednoczonych w zakresie energetyki, zarówno na szczeblu politycznym, jak i inwestorskim. Jednym z jej aspektów mogłyby być technologie jądrowe”.**

????????????????

Planując budowę kolejnych elektrowni jądrowych w Polsce należy pamiętać o:

-reaktorach typu SMR (lub „mikro-reaktorach”), w tym z kogeneracją

-technologiach zapewniających możliwość recyklingu paliwa jądrowego

-reaktorach generacji IV

-innych opcjach energetyki jądrowej

Ewolucja reaktorów energetycznych

1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030



| Generacja I | Generacja II | Generacja III | Generacja III+ | Generacja IV |
|---|---|---|--|--|
| <p>Wcześniejsze prototypy reaktorów</p> <p>Shippingport Dresden, Fermi I Magnox</p> | <p>Komercyjne reaktory energetyczne</p> <p>LWR-PWR, BWR CANDU VVER/RBMK</p> | <p>LWR „zaawansowane”: ABWR System 80+ AP-600 EPR</p> | <p>Jak G III oraz zwiększone bezpieczeństwo i lepsze wskaźniki ekonomiczne</p> | <ul style="list-style-type: none"> • zwiększone bezpieczeństwo • mniej odpadów • odporność proliferacyjna |

Ewolucja reaktorów energetycznych

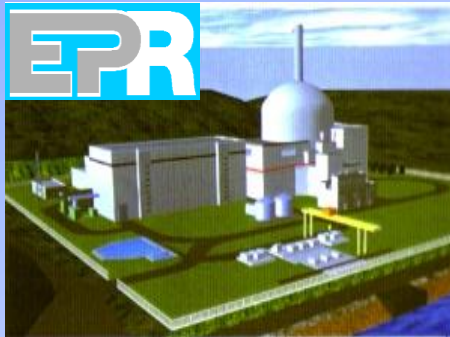
Pierwsze reaktory



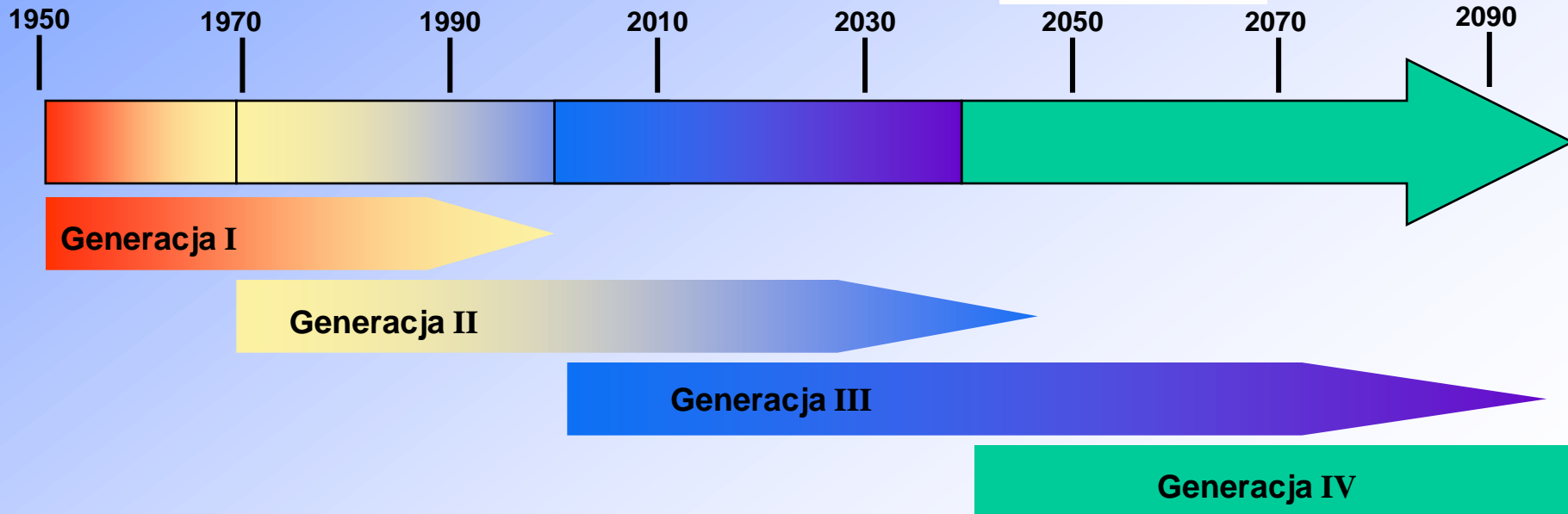
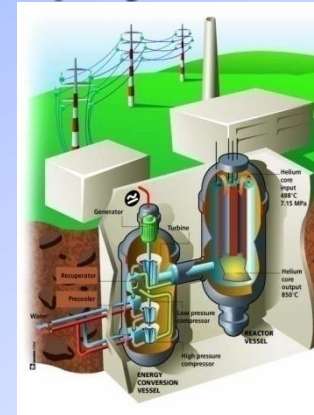
Współczesne reaktory

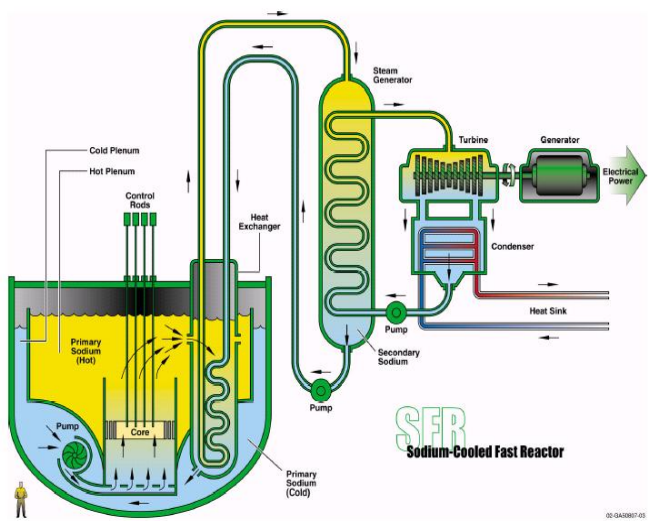


Zaawansowane reaktory

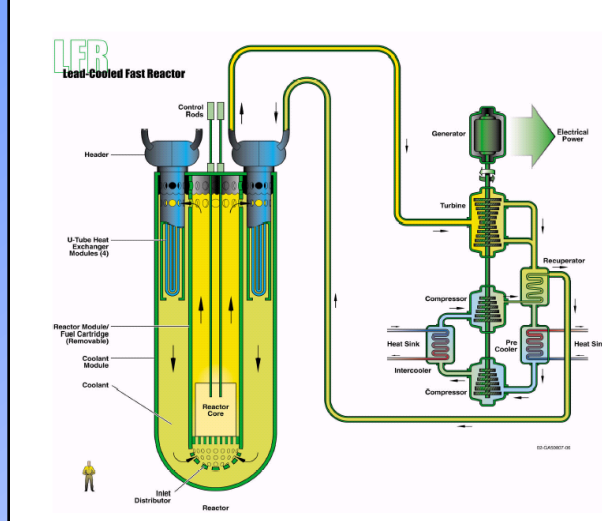


Systemy przyszłości

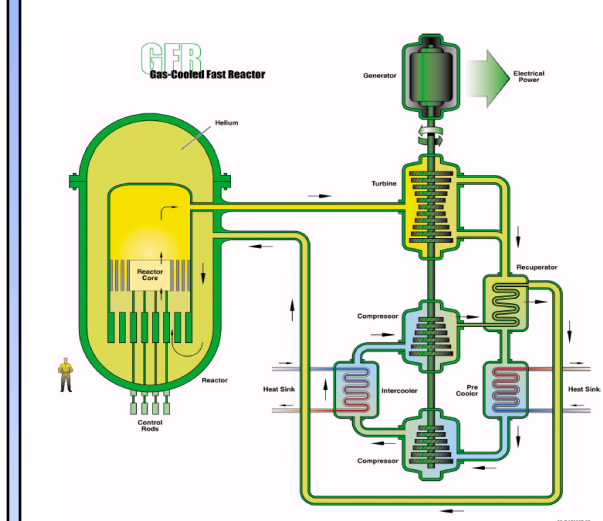




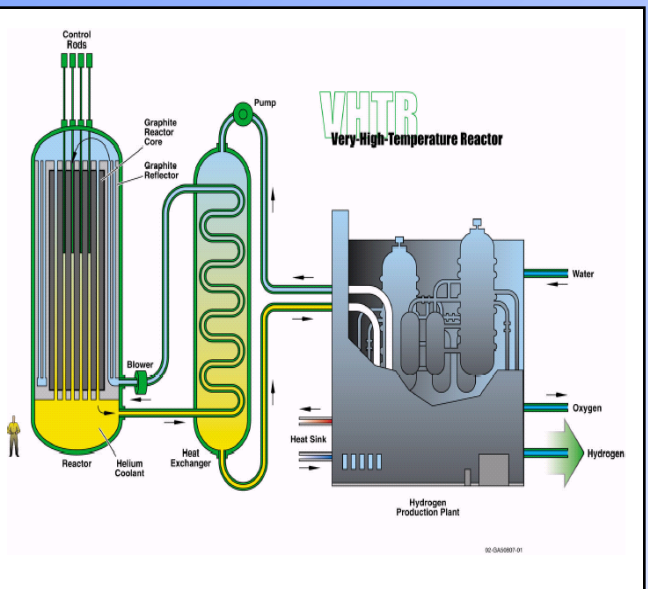
Reaktor prędko chłodzony ciekłym Sodem SFR



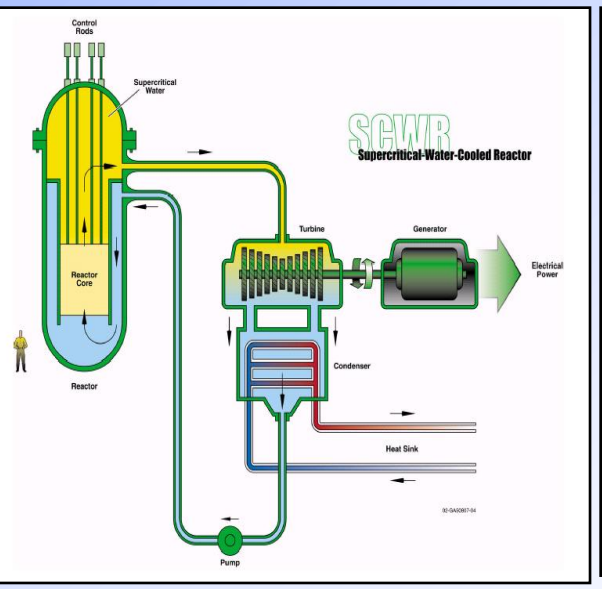
Reaktor prędko chłodzony ciekłym metalem LFR



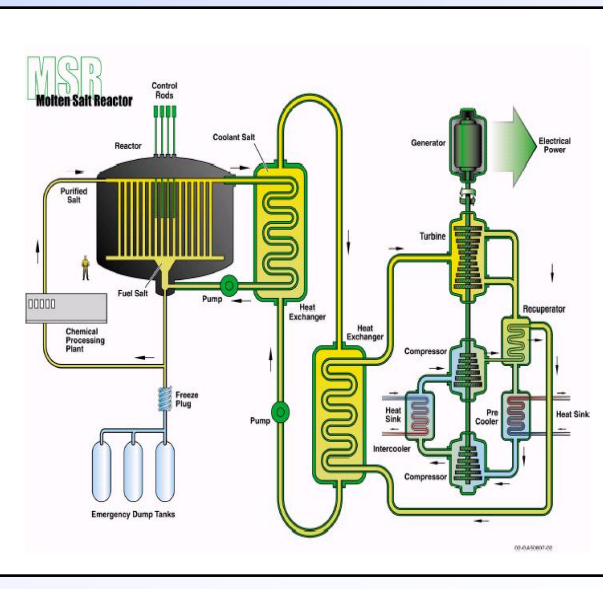
Reaktor prędko chłodzony gazem GFR



Reaktor bardzo wysoko temperaturowy (chłodzony helem) VHTR



Reaktor chłodzony wodą o parametrach nadkrytycznych SCWR



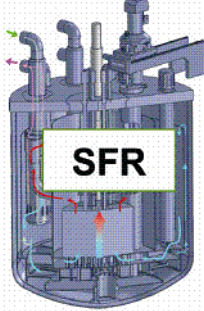
Reaktor chłodzony stopionymi solami MSR

2010

2015

2020

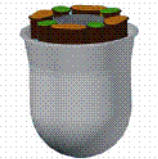
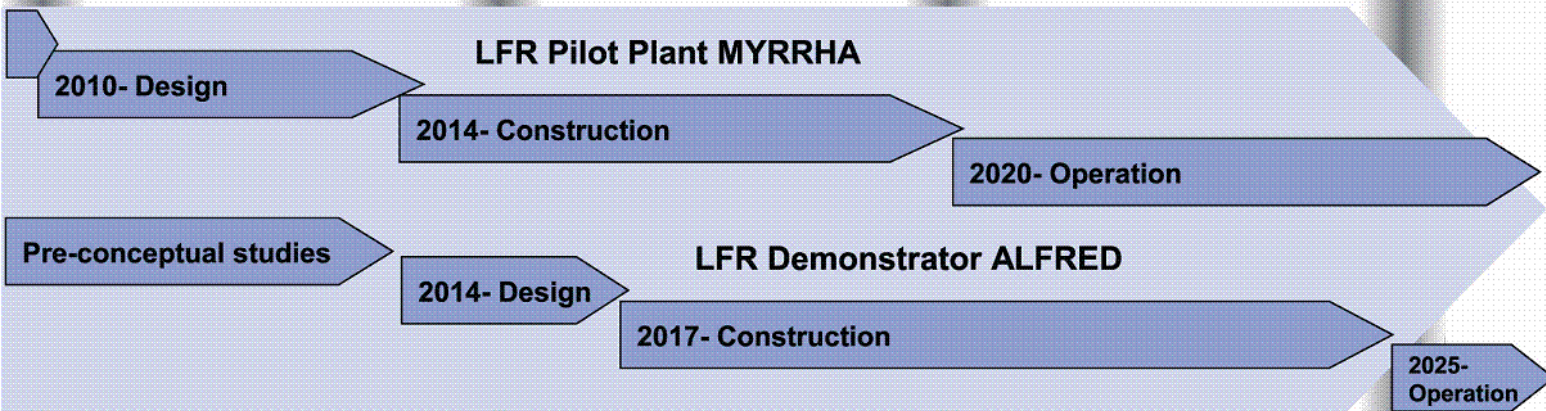
2025



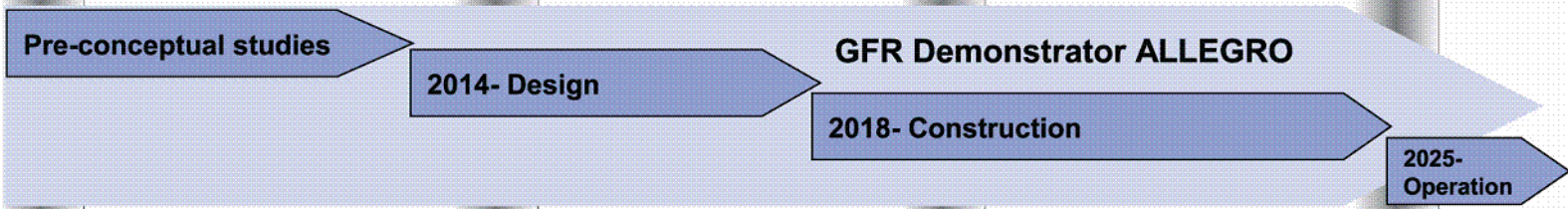
SFR



LFR

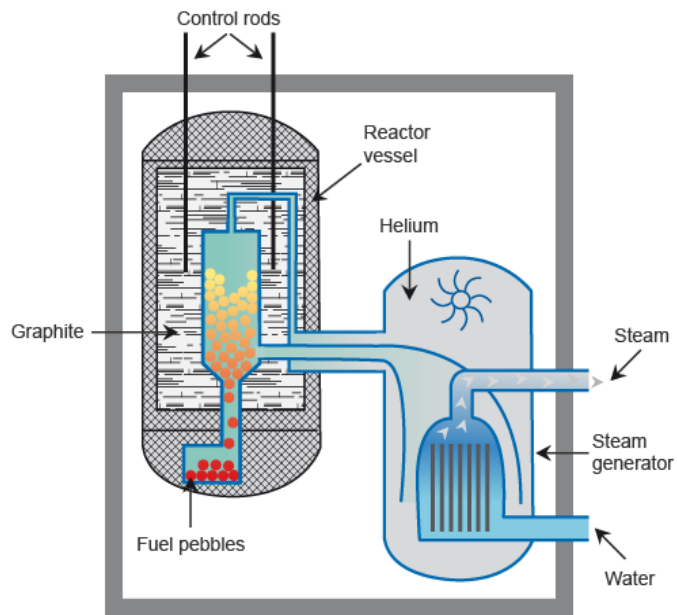


GFR



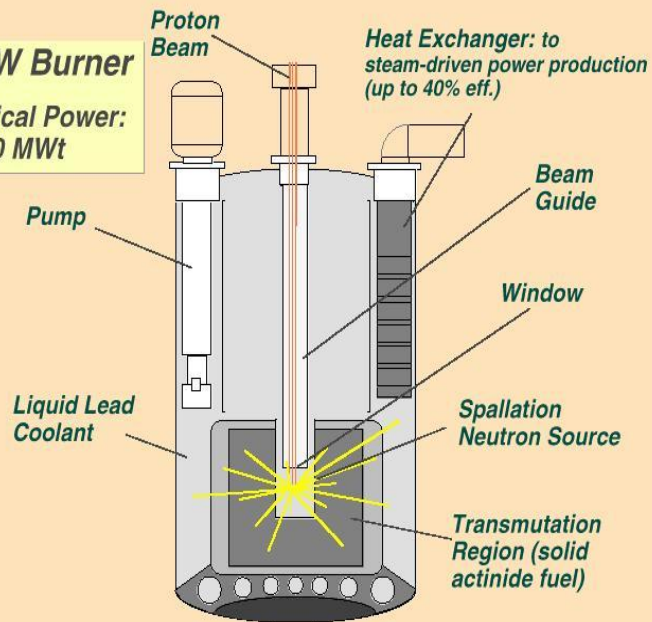
Innowacyjne technologie reaktorowe wspierane przez UE

A High-Temperature Reactor (HTR)



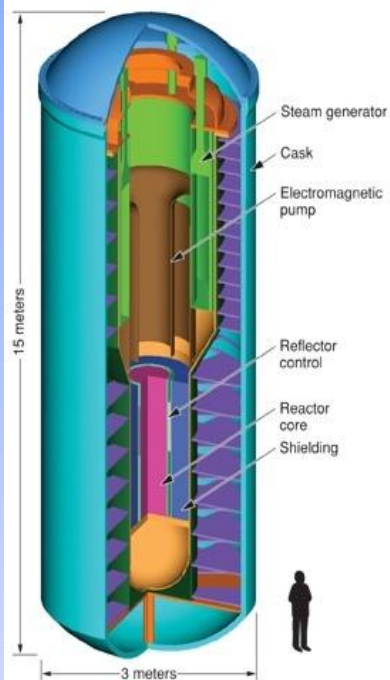
ATW Burner

Typical Power: 2000 MWt

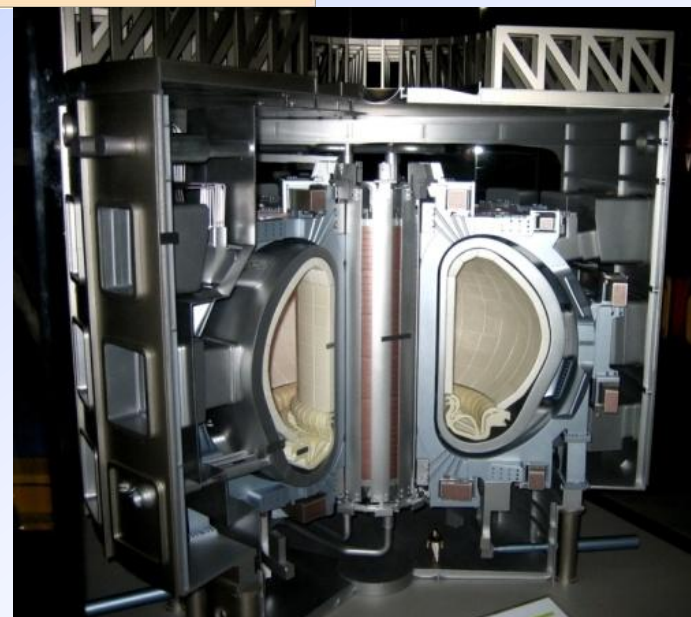


Reaktor podkrytyczny z akceleratorowym źródłem neutronów

Reaktor wysokotemperaturowy



„Mikroreaktor”



Reaktor termojądrowy⁶⁵

NuScale (USA)

Elektrownia ma zawierać 12 reaktorów o wymiarach

25 m – wysokość,

4,6 m – średnica,

masa – 450 ton,

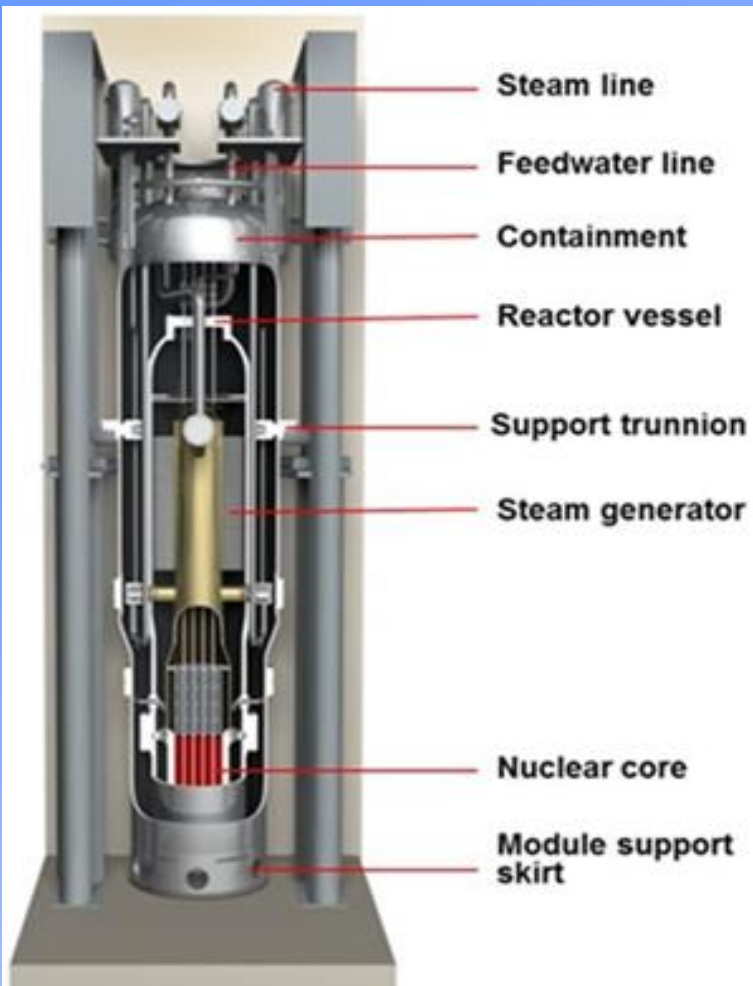
moc cieplna – 160 MWt

moc elektryczna – 50 MWe

(umieszczonych w jednym budynku),

całkowita moc elektrowni 600 MWe

Reaktory transportowane wagonami kolejowymi z fabryki do elektrowni



Reaktory poniżej poziomu gruntu, brak wymuszenia cyrkulacji wody chłodzącej (obieg wody chłodzącej powodowany konwekcją) paliwo – uran o wzbogaceniu 4,95%, wymiana paliwa co 24 miesiące

Reaktory małej i średniej mocy – zaawansowane rozwiązania („with development well advanced”)

| Nazwa | Moc | Typ | Firma |
|-----------------|--------------------|------------|--|
| KLT-40S | 35 MWe | PWR | OKBM, Russia |
| VK-300 | 300 MWe | PWR | Atomenergoproekt, Russia |
| CAREM | 27 MWe | PWR | CNEA & INVAP, Argentina |
| NHR-200 | 200 MWt | PWR | INET, China |
| IRIS | 100-335 MWe | PWR | Westinghouse-led, internat. |
| mPower | 125 MWe | PWR | Babcock & Wilcox, USA |
| SMART | 330 MWt | PWR | KAERI, South Korea |
| NuScale | 45 MWe | PWR | NuScale Power, USA |
| MRX | 30-100 MWe | PWR | JAERI, Japan |
| HTR-PM | 2x250 MWt | HTR | INET & Huaneng, China |
| PBMR | 200 MWt | HTR | Eskom, South Africa |
| GT-MHR | 285 MWe | HTR | General Atomics (USA), Minatom (Russia) |
| BREST | 300 MWe | LMR | RDIPE, Russia |
| SVBR-100 | 100 MWe | LMR | Rosatom/En+, Russia |
| FUJI | 100 MWe | MSR | ITHMSO, Japan-Russia-USA |

Więści na temat SMR z ostatniej chwili:

- **Rząd brytyjski zainwestuje co najmniej 250 milionów funtów (377 milionów dolarów) w badania i rozwój w dziedzinie jądrowej w ciągu następnych 5 lat; na początku 2016 roku zainicjuje przetarg pozwalający na wybór najlepszego projektu reaktora typu SMR i jego budowę w końcu lat 2020.**
- **Francuska Areva podpisała kontrakt z amerykańskim NuScale dotyczący produkcji elementów paliwa dla technologii reaktorów SMR. Paliwo Arewy do reaktorów wysokociśnieniowych jest specjalnie przygotowane do pracy w reaktorach SMR. NuScale planuje budowę pierwszego w USA reaktora SMR przed 2023 rokiem, planuje też budowę takiego reaktora w Wielkiej Brytanii (jeżeli – patrz wyżej).**
- **„Sprzedawcy” (vendors) reaktorów SMR: NuScale, BWX Technologies i Holtec oraz firmy eksploatujące (utilities) : Duke Energy, Energy Northwest, PSEG Nuclear, Southern Company, SCANA i Tennessee Valley Authority, utworzyli konsorcjum mające na celu wspólne przygotowanie projektów SMR (zagadnienia polityczne, licencjonowanie, sfinansowanie) przed wejściem tych technologii na wolny rynek. Szef NuScale zapowiedział wzmocnienie grupy na kolejnych etapach przeglądu projektów w procesie licencjonowania.**

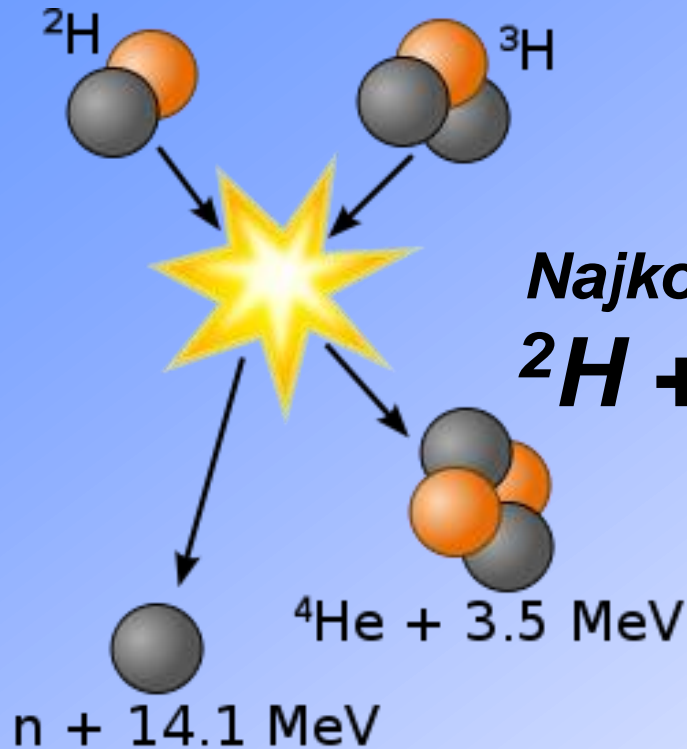
| Design | Application Type | Applicant |
|--|---|---|
| NuScale | Design Certification | NuScale Power, LLC |
| BWXT mPower | Design Certification | BWXT mPower, Inc. |
| SMR-160 | Construction Permit/ Operating License | SMR Inventec, LLC, a Holtec International Company |
| Clinch River Site. Roane County, Tennessee | Early Site Permit | Tennessee Valley Authority (TVA) |

***US SMR pre-application
license activities to date
(Feb. 8, 2016)***

In his Keynote Address at the CNA Conference, Parliamentary Secretary Kim Rudd, on behalf of the Hon. Jim Carr, Minister of Natural Resources, said "I am impressed by.. how this industry is driving innovation ..in prospects for small, modular reactors — I have started calling them mini-nukes — to serve Canada's North"

Energetyka jądrowa przyszłości (XXII wiek?)

Fuzja (synteza) jądrowa



Najkorzystniejsza reakcja



Dla zajścia tej reakcji potrzebne są:

Temperatura „zapłonu” $\geq 4,5 \times 10^7 \text{ K}$

Wykorzystanie reakcji możliwe gdy gęstość i czas trwania plazmy (kryterium Lawsona)

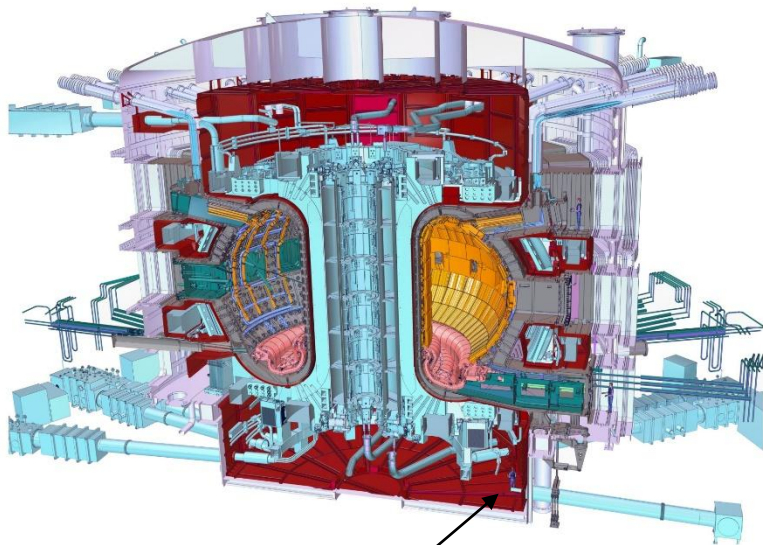
$n\tau \geq 10^{14} \text{ s/cm}^3$



Pocztówka sprzedawana w wojsku amerykańskim - próbna eksplozja bomby termojądrowej („Ivy Mike”, 10,4 megaton TNT) w atolu Enewetak, 1 listopada 1952 roku

TOKAMAK

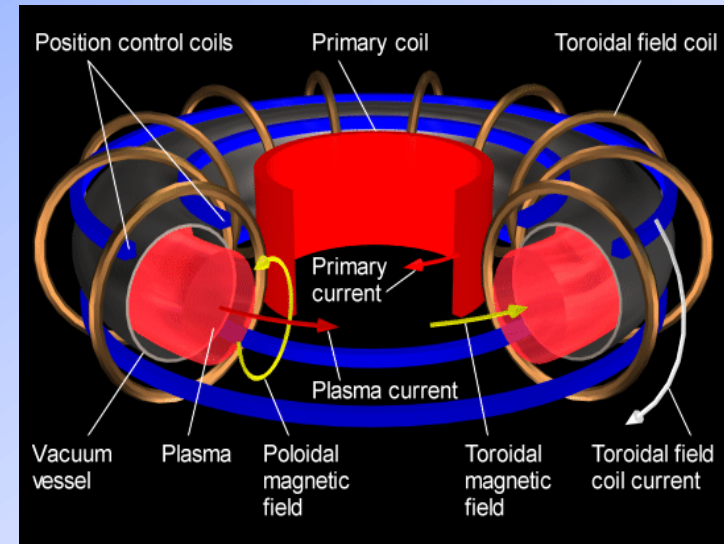
International Thermonuclear Experimental Reactor ITER Cadarache, Francja



człowiek

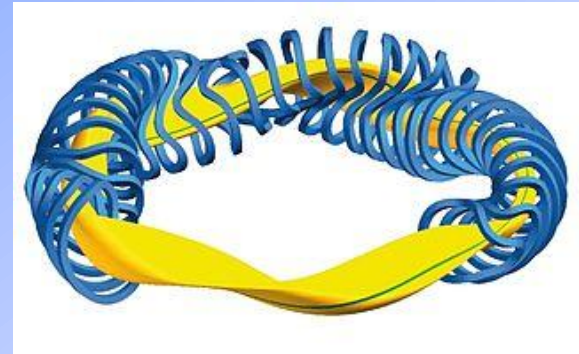


Cadarache – plac budowy instalacji ITER
(wrzesień 2015)



| | |
|---|--------------------------|
| Objętość plazmy | 830 m³ |
| Promień zewnętrzny plazmy | 6,2 m |
| Promień wewnętrzny plazmy | 2,0 m |
| Pionowy wymiar plazmy | 1,7/1,85 m |
| Prąd plazmy | 15 MA |
| Pole magnet. (na prom. 6,2 m) | 5,3 T |
| Dodatkowe grzanie | 73 MW |
| Moc syntezy | 500 MW |
| Współczynnik wzmocnienia (400 s) | ≥10 |
| Współczynnik wzmocn. (stan stały?) | ≥5₇₂ |

STELLARATOR



**Wendelstein 7-X (W7-X)
(Greifswald, Niemcy)**

Dane:

| | |
|---------------------------------|-------------------------|
| Promień zewnętrzny | 5,5 m |
| Promień wewnętrzny | 0,53 m |
| Objętość plazmy | 30 m³ |
| Pole magnetyczne (w osi) | 3 T |
| Moc grzania plazmy | 14 MW |
| Długość impulsu | 30 min |
| Energia cyklu | 18 GJ |

Pierwsza plazma

10 grudnia 2015

