



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Polski program energetyki jądrowej - potencjalne technologie i długoterminowe aspekty ich wyboru

dr inż. Paweł Gajda

**Katedra Zrównoważonego Rozwoju Energetycznego
Wydział Energetyki i Paliw AGH**



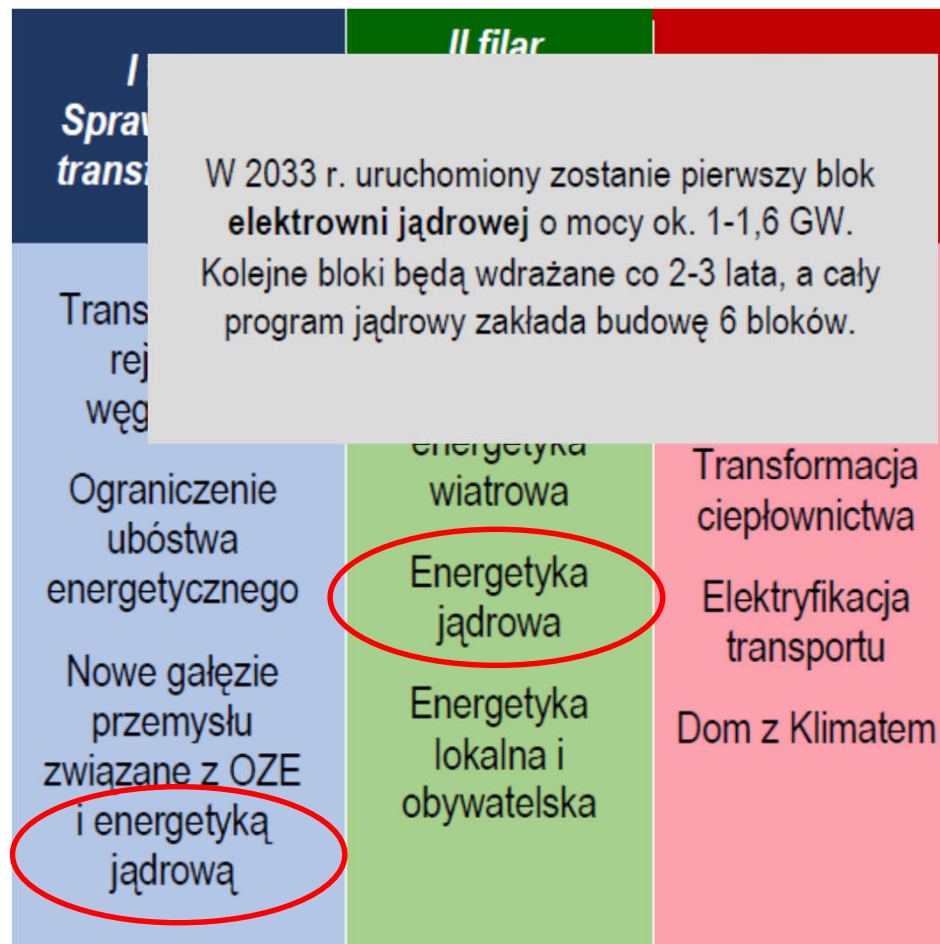
Polityka Energetyczna Polski 2040

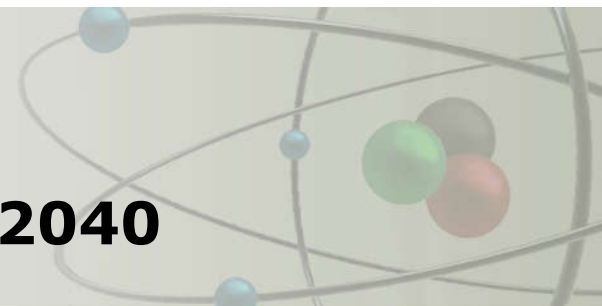
Załącznik
do uchwały nr 22/2021
Rady Ministrów
z dnia 2 lutego 2021 r.

Ministerstwo
Klimatu i Środowiska

**POLITYKA
ENERGETYCZNA
POLSKI
DO 2040 R.**

WARSZAWA
2021





Załącznik
do uchwały nr 22/2021
Rady Ministrów
z dnia 2 lutego 2021 r.

Ministerstwo
Klimatu i Środowiska



CEL SZCZEGÓŁOWY 5. Wdrożenie energetyki jądrowej

Budowa pierwszego bloku jądrowego powinna rozpocząć się nie później niż w 2026 roku, a do 2043 roku powinno zostać uruchomionych 6–9 GW mocy. Szczegółowy harmonogram i działania wykonawcze określa *Program polskiej energetyki jądrowej*.



POLITYKA
ENERGETYCZNA
POLSKI
DO 2040 R.



WARSZAWA
2021

*I filar. Sprawiedliwa
transformacja*

*II filar. Zeroemisyjny
system energetyczny*

finansowanie,
wybór technologii,
wykonawcy,
usprawnienia formalne

*II filar. Zeroemisyjny
system energetyczny*

zapewnienie
składowiska odpadów
promieniotwórczych

*I filar. Sprawiedliwa
transformacja*

techniczne wzmocnienie
dozoru

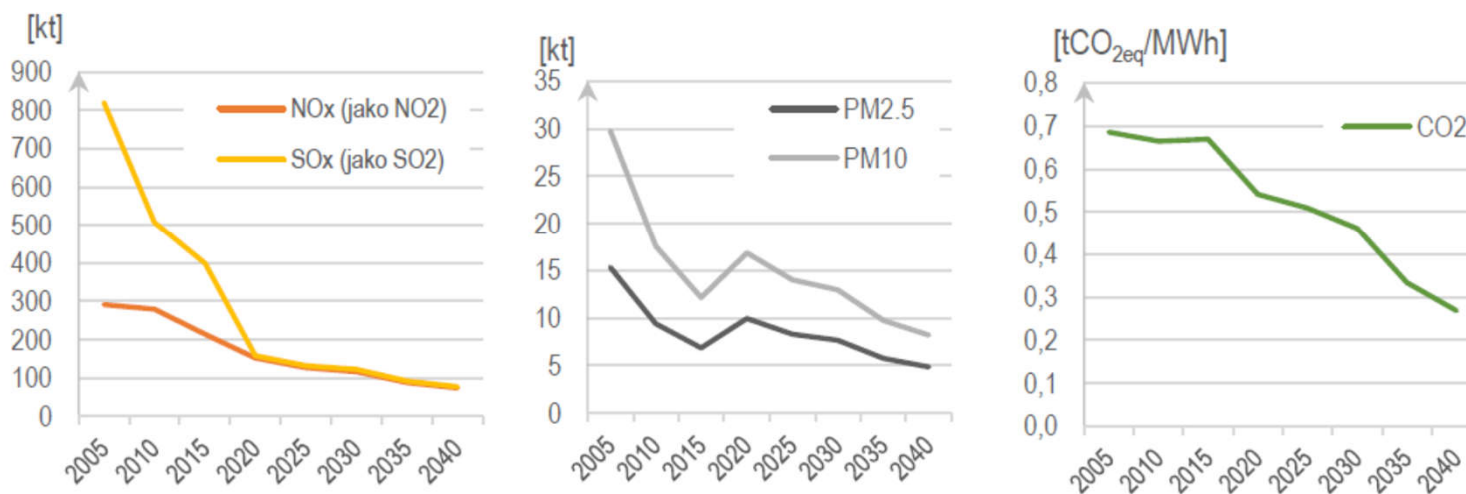
*I filar. Sprawiedliwa
transformacja*

zapewnienie zaplecza
kadrowego dla EJ

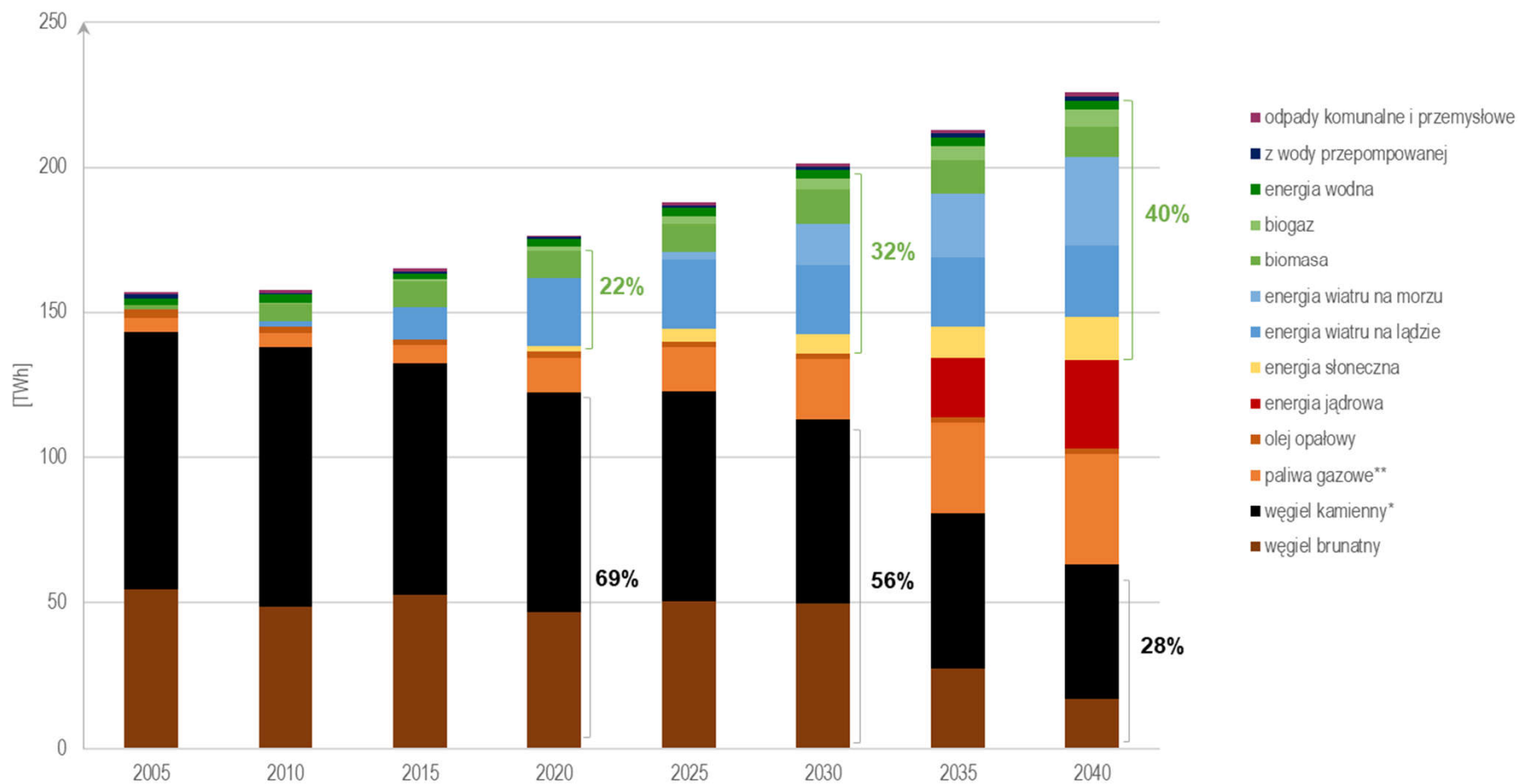
*I filar. Sprawiedliwa
transformacja*

Polityka Energetyczna Polski 2040

Prognoza emisji zanieczyszczeń i intensywności emisji CO₂ dla wytwarzania energii elektrycznej i ciepła



Polityka Energetyczna Polski 2040





Program polskiej energetyki jądrowej



CELEM PROGRAMU POLSKIEJ ENERGETYKI JĄDROWEJ
JEST BUDOWA 6 – 9 GWe MOCY ZAINSTALOWANEJ
W ENERGETYCE JĄDROWEJ W OPARCIU O DUŻE,
SPRAWDZONE REAKTORY PWR.

- 2021 r.** – wybór technologii dla EJ1 i EJ2
- 2022 r.** – uzyskanie decyzji środowiskowej i lokalizacyjnej dla EJ1
(zatwierdzenie wyboru lokalizacji EJ1)
– podpisanie umowy z dostawcą technologii i głównym wykonawcą EPC
- 2023 r.** – rozpoczęcie prac wstępnych i przygotowawczych w lokalizacji EJ1
– podpisanie umowy przyłączeniowej z OSP dla EJ1
– rozpoczęcie prac nad wyborem lokalizacji dla EJ2
- 2025 r.** – wydanie zezwolenia na budowę EJ1 przez Prezesa PAA
- 2026 r.** – uzyskanie pozwolenia na budowę i rozpoczęcie budowy EJ1
- 2028 r.** – uzyskanie decyzji środowiskowej i lokalizacyjnej dla EJ2
(zatwierdzenie wyboru lokalizacji EJ2)
- 2029 r.** – rozpoczęcie prac wstępnych i przygotowawczych w lokalizacji EJ2
– podpisanie umowy przyłączeniowej z OSP dla EJ2
- 2031 r.** – wydanie zezwolenia na budowę EJ2 przez Prezesa PAA
- 2032 r.** – wydanie zezwolenia na rozruch przez Prezesa PAA,
rozruch jądrowy i synchronizacja pierwszego bloku EJ1
– uzyskanie pozwolenia na budowę i rozpoczęcie budowy EJ2
- 2033 r.** – wydanie zezwolenia na eksploatację przez Prezesa PAA
i oddanie do eksploatacji pierwszego bloku EJ1



Potencjalni dostawcy





Framatome - EPR

framatome

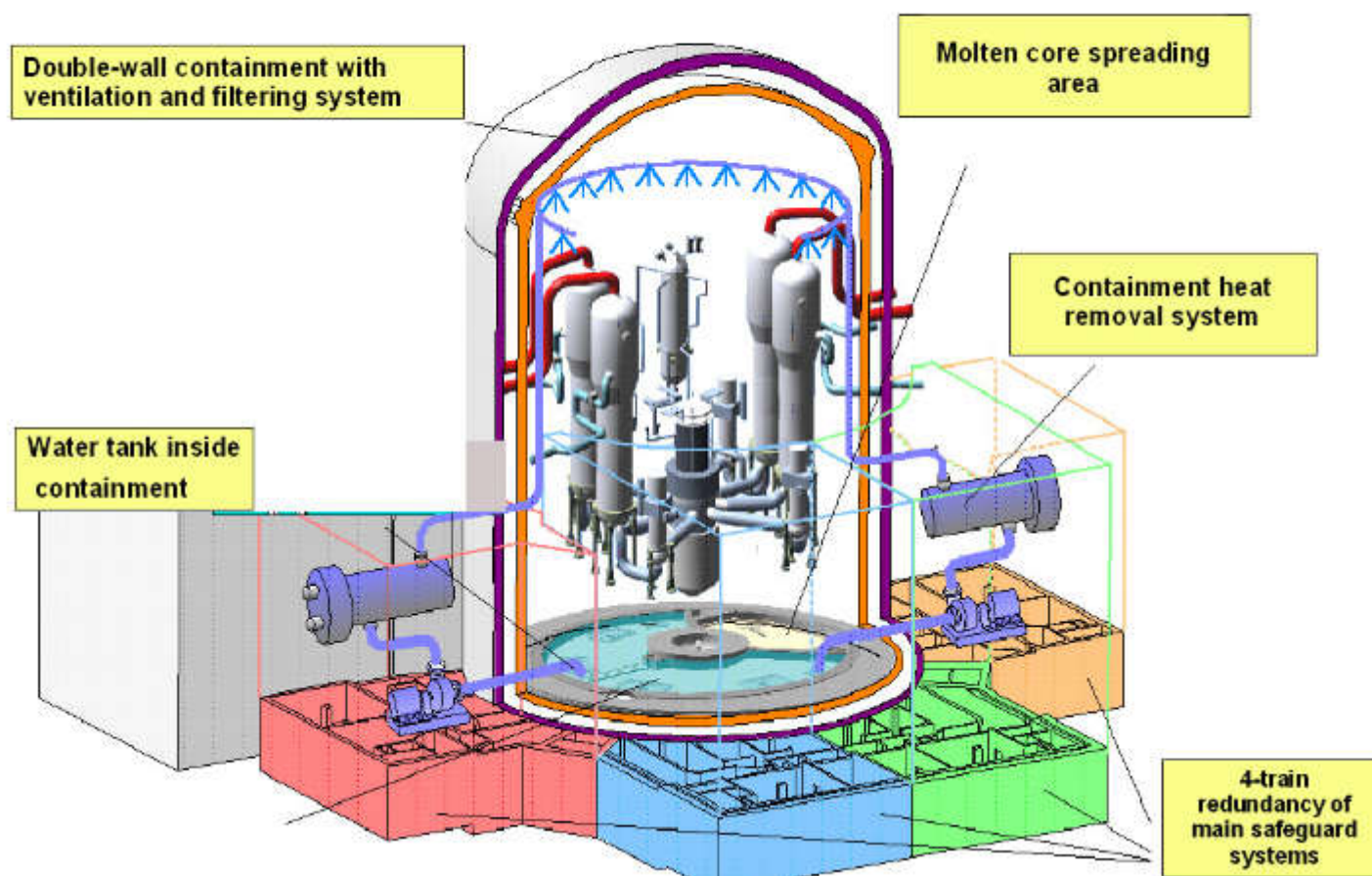
EPR – European Pressurised Reactor

Moc elektryczna: 1650 MW

Moc cieplna: 4500 MW

Liczba pętli: 4





CDF $7 \cdot 10^{-7} \text{ ry}^{-1}$

LRF $8 \cdot 10^{-8} \text{ ry}^{-1}$

Reaktor	Rozpoczęcie budowy	Koniec budowy (pierwsza krytyczność)	Status
Olkiluoto 3	08 2005		w budowie
Flamanville 3	12 2007		w budowie
Taishan 1	11 2009	06 2018	działający
Taishan 2	04 2010	05 2019	działający
Hinkley Point C 1	12 2018		w budowie
Hinkley Point C 2	12 2019		w budowie



KEPCO – APR-1400

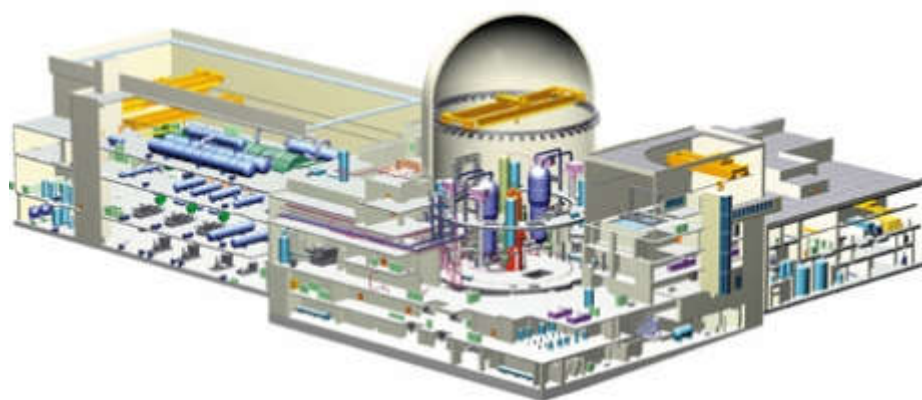


APR-1400 – Advanced Pressurised Reactor

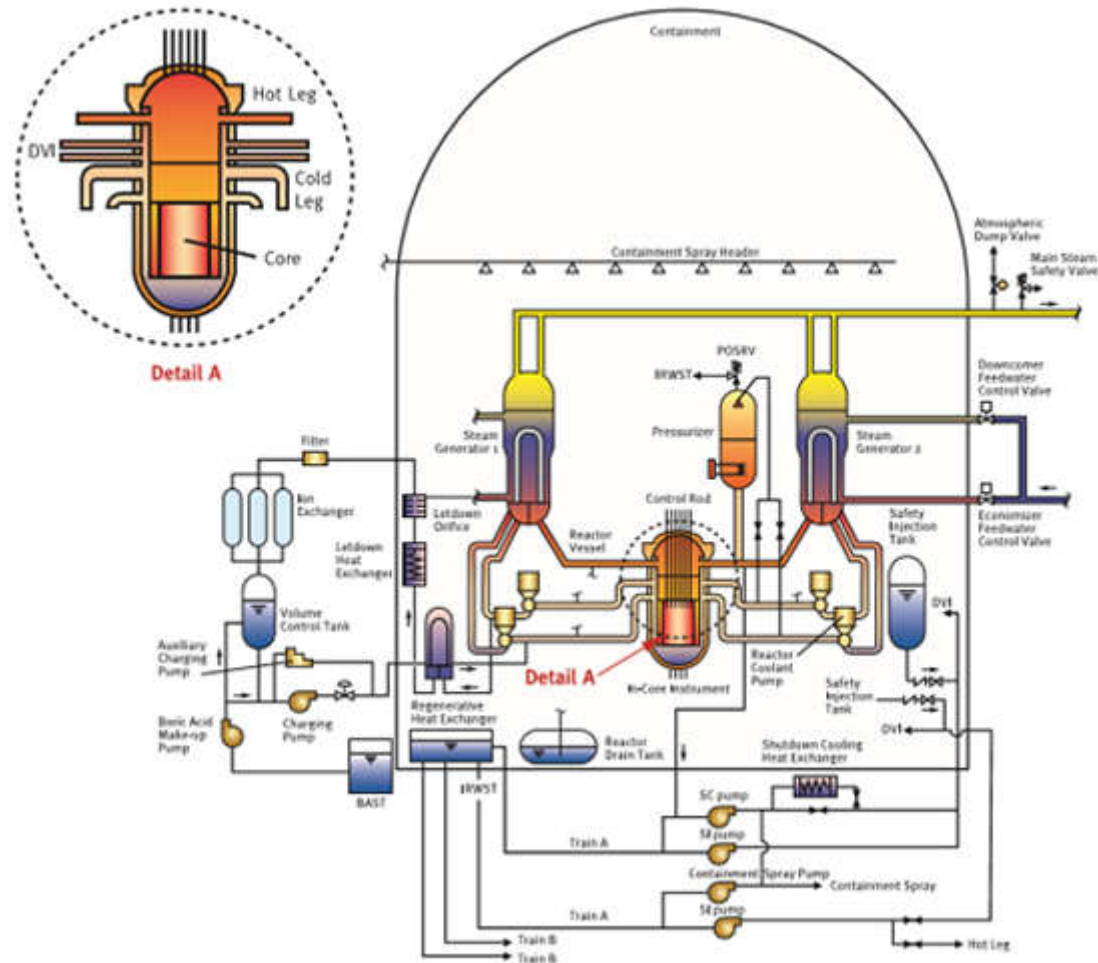
Moc elektryczna: 1400 MW

Moc cieplna: 4000 MW

Liczba pętli: 2



KEPCO – APR-1400



CDF $2 \cdot 10^{-6} \text{ ry}^{-1}$

LRF $1 \cdot 10^{-7} \text{ ry}^{-1}$

Reaktor	Rozpoczęcie budowy	Koniec budowy (pierwsza krytyczność)	Status
Shin Kori 3	10 2008	12 2015	działający
Shin Kori 4	08 2009	04 2019	działający
Shin Kori 5	04 2017		w budowie
Shin Kori 6	09 2018		w budowie
Shin Hanul 1	07 2012		w budowie
Shin Hanul 2	06 2019		w budowie
Barakah 1	07 2012	07 2020	działający
Barakah 2	04 2013		w budowie
Barakah 3	09 2014		w budowie
Barakah 4	07 2015		w budowie

● Comparison of APR1400 Series

Parameters		APR1400	EU-APR
Design Criteria Base		10CFR, NRC RG	IAEA, WENRA, EUR
Metrication		British	SI
Frequency		60 Hz	50 Hz
Codes & Stds	Mech.	ASME	ASME, EN
	Elec./I&C	IEEE	IEC
	QA	ASME NQA-1	IAEA GSR Part2, ISO
Acceptance Criterion for limiting DBC(LBLOCA)		250 mSv/2hr (TID-14844)	5 mSv (RST)
Redundancy of Safety Systems		Mech. 4-train Elec. 2-train	Mech. 4-train Elec. 4-train
Aircraft Crash Protection Design		Exclusion due to low APC Probability	Double Containment, Reinforced Aux. Bldg
Severe Accident Mitigation Systems		SAs Dedicated Sys. + DBC Mitigation Sys.	Dedicated Systems for SAs
I&C Architecture		2-platform	3-platform



Westinghouse – AP1000

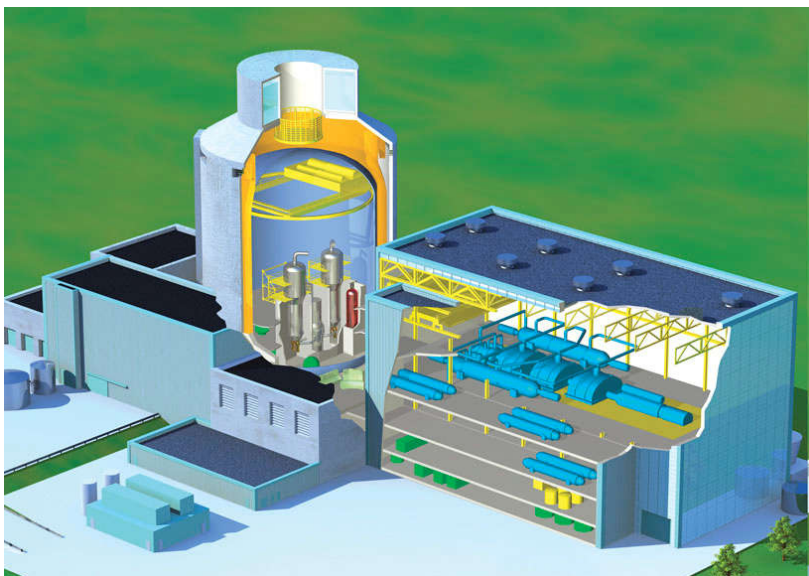


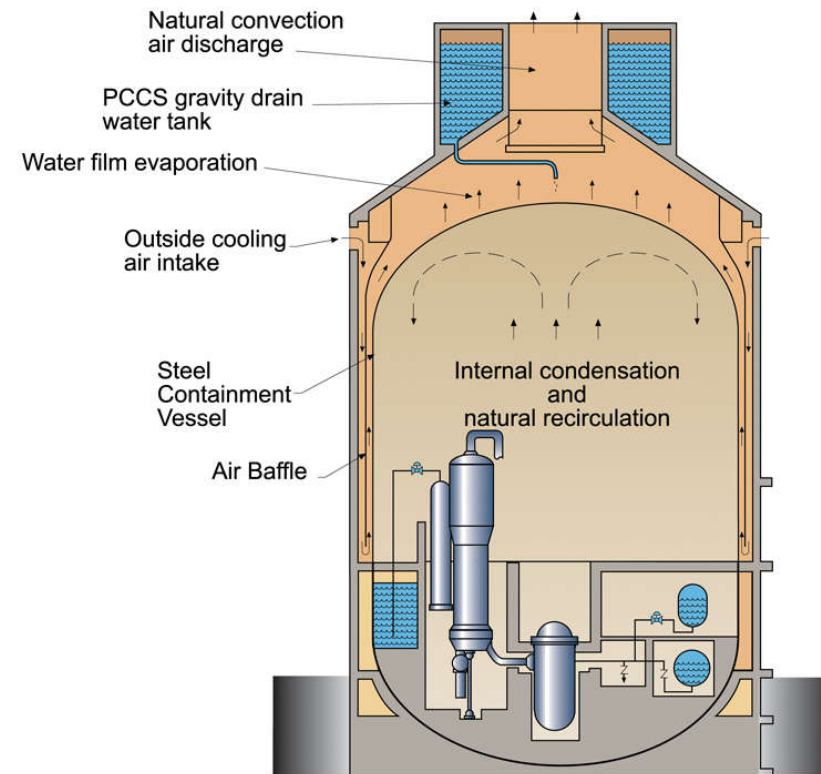
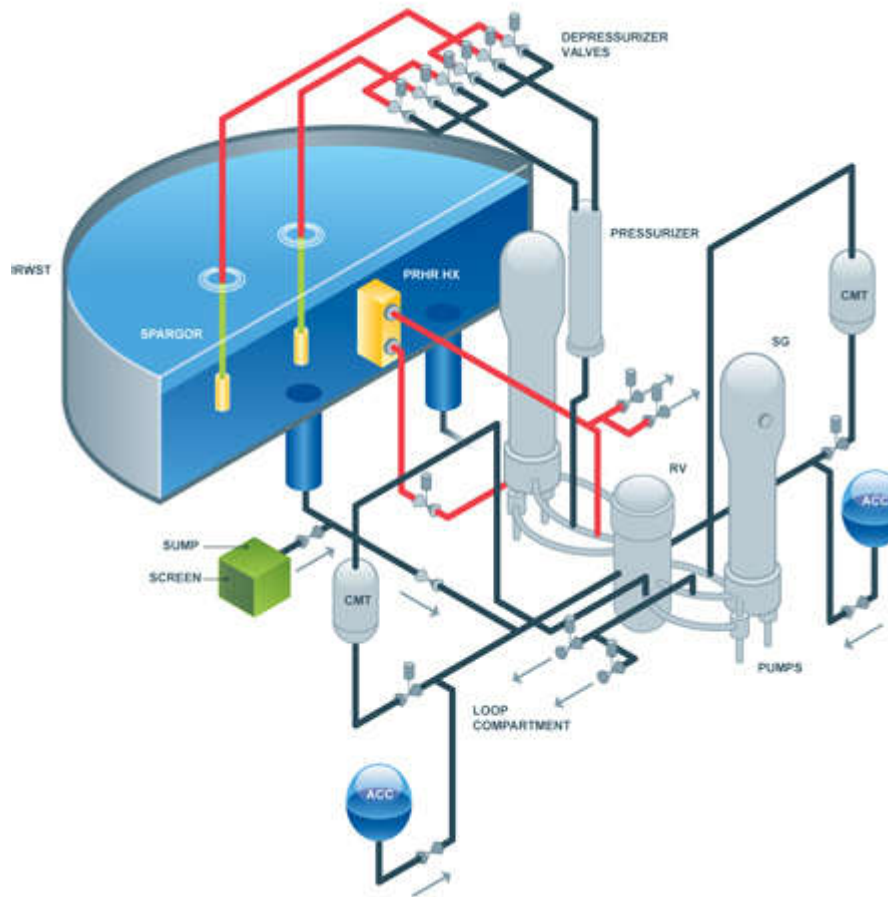
AP1000 – Advanced Passive

Moc elektryczna: 1110 MW

Moc cieplna: 3415 MW

Liczba pętli: 2





AP1000 Passive Containment Cooling System

CDF $5 \cdot 10^{-5} \text{ ry}^{-1}$

LRF $6 \cdot 10^{-8} \text{ ry}^{-1}$

Reaktor	Rozpoczęcie budowy	Koniec budowy (pierwsza krytyczność)	Status
Vogtle 3	03 2013		w budowie
Vogtle 4	11 2013		w budowie
VC Summer	03 2013	(07 2017)	przerwano
VC Summer	11 2013	(07 2017)	przerwano
Sanmen 1	04 2009	06 2018	działający
Sanmen 2	12 2009	08 2018	działający
Haiyang 1	09 2009	08 2018	działający
Haiyang 2	06 2010	09 2018	działający



CGN/CNNC – Hualong One/HRP1000



Hualong One (HRP1000)

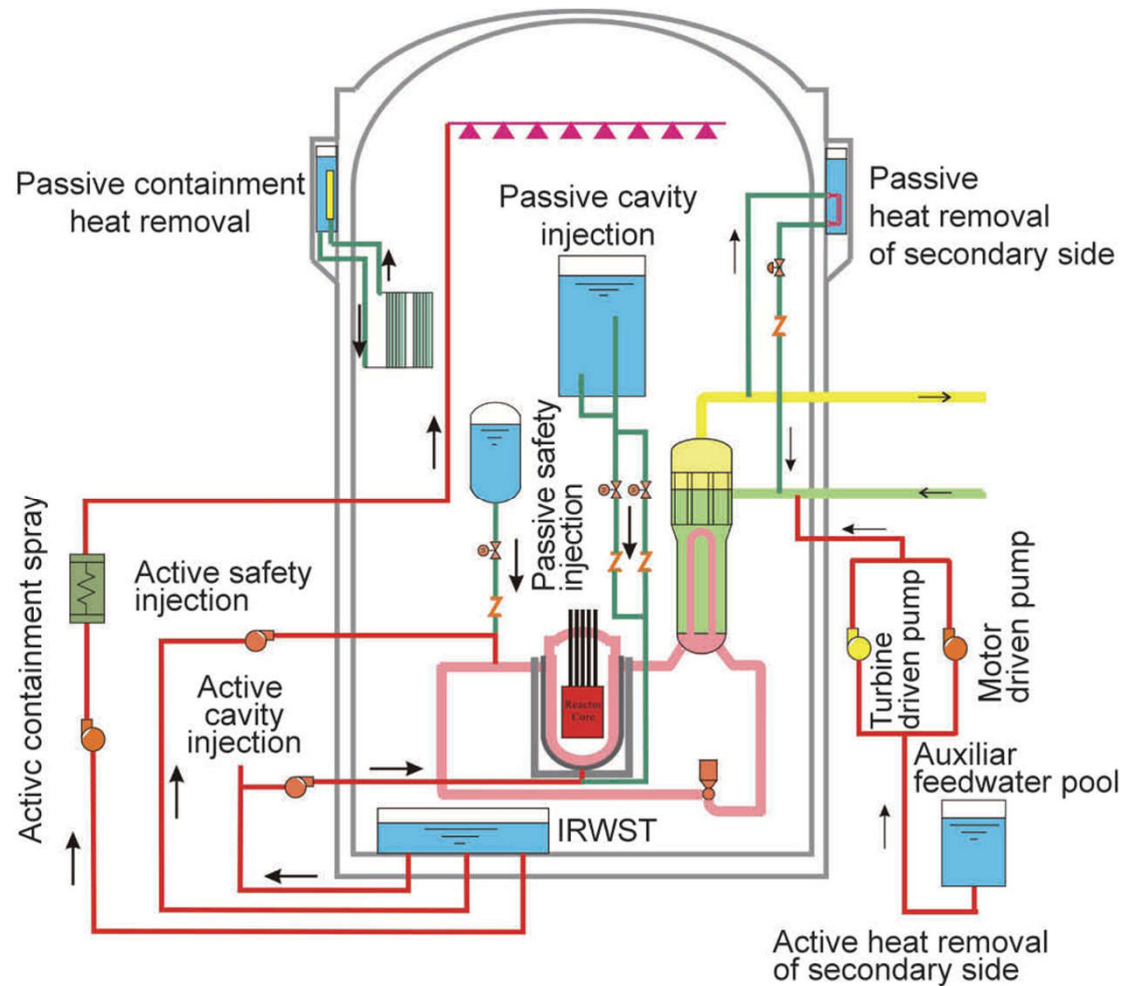
Moc elektryczna: 1000 MW

Moc cieplna: 3060 MW

Liczba pętli: 3



CGN/CNNC – Hualong One/HPR1000



Reaktor	Rozpoczęcie budowy	Koniec budowy (pierwsza krytyczność)	Status
Fuqing 5	05 2015	10 2020	działający
Fuqing 6	12 2015		w budowie
Fangchenggang 3	12 2015		w budowie
Fangchenggang 4	12 2016		w budowie
Zhangzhou 1	10 2019		w budowie
Zhangzhou 2	09 2020		w budowie
Taipingling 1	12 2019		w budowie
Taipingling 1	10 2020		w budowie
Sanaocun 1	12 2020		w budowie



Rosatom – WWER



ROSATOM

WWER 1200 (AES2006)

Moc elektryczna: 1100 MW

Moc cieplna: 3200 MW

Liczba pętli: 4

WWER 1300 TOI

Moc elektryczna: 1170 MW

Moc cieplna: 3300 MW

Liczba pętli: 4

Reaktor	Rozpoczęcie budowy	Koniec budowy (pierwsza krytyczność)	Status
Nowoworoneska 2 1	06 2008	05 2016	działający
Nowoworoneska 2 1	07 2009	03 2019	działający
Leningradzka 2 1	10 2008	02 2018	działający
Leningradzka 2 1	04 2010	08 2020	działający
Kurska 2 1 (TOI)	04 2018		w budowie
Kurska 2 2 (TOI)	04 2019		w budowie
Rooppur 1 & 2	2017, 2018		w budowie
Akkuyu 1, 2 & 3	2018, 2020, 2021		w budowie



GE Hitachi – ABWR/ESBWR

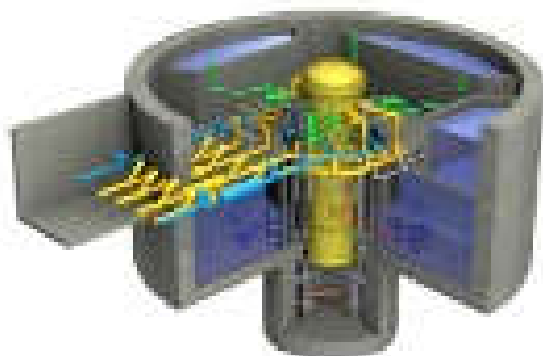


HITACHI

ABWR Advanced Boiling Water Reactor

Moc elektryczna: 1300 MW

Moc cieplna: 3900 MW

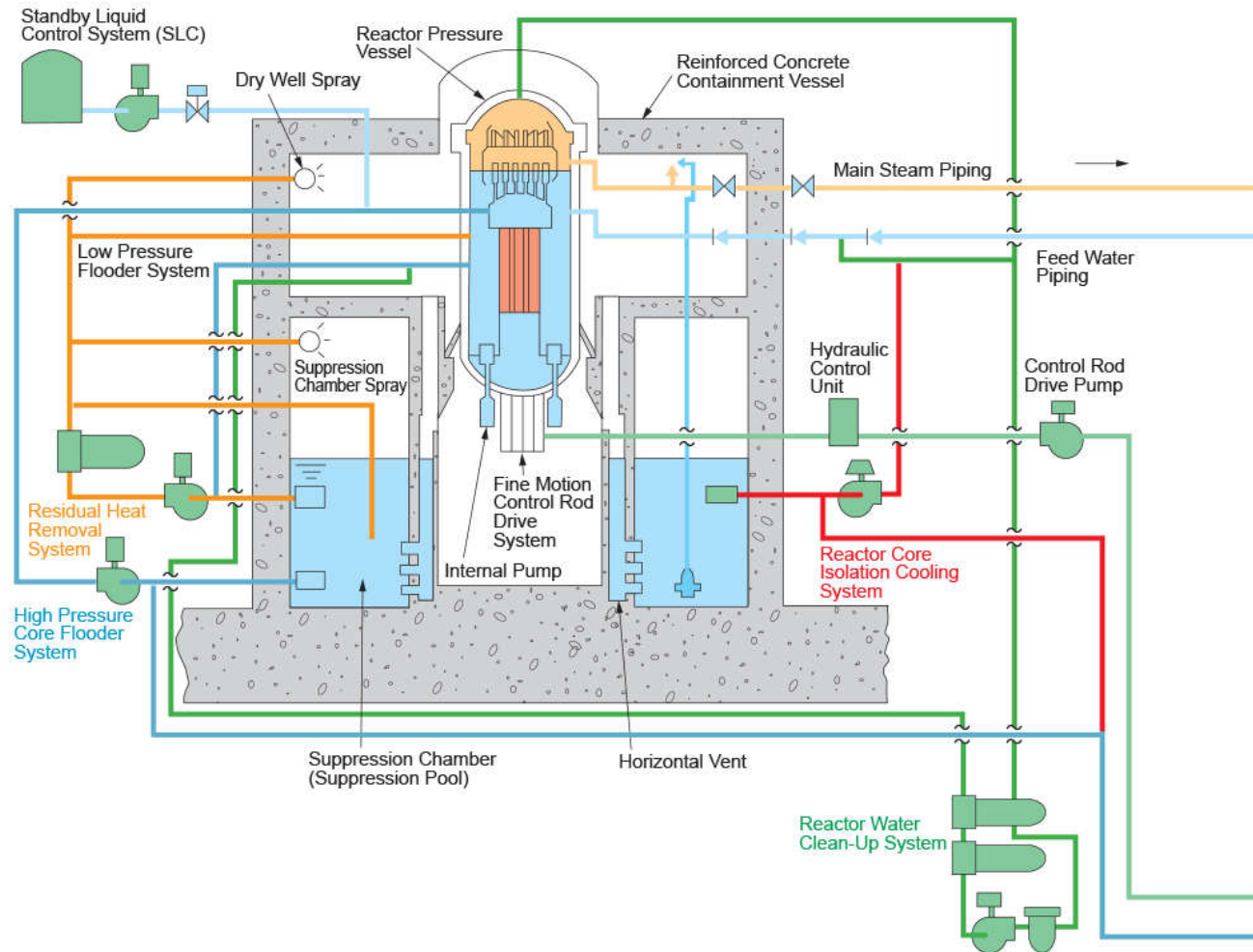


EBSWR - Economic Simplified Boiling Water Reactor

Moc elektryczna: 1500 MW

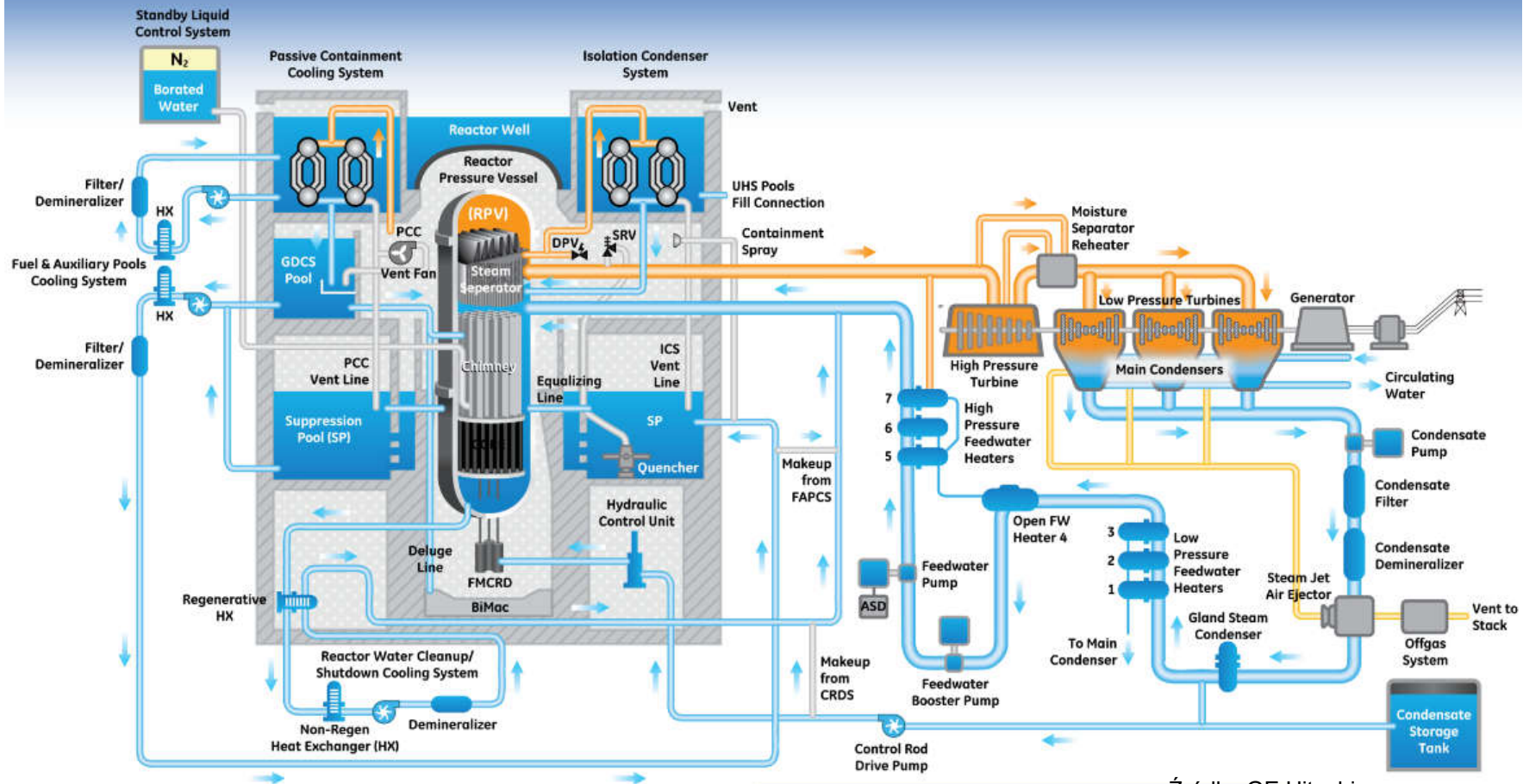
Moc cieplna: 4500 MW

GE Hitachi – ABWR/ESBWR



Źródło: GE Hitachi

ESBWR Overall Flowchart



Źródło: GE Hitachi

Reaktor	Rozpoczęcie budowy	Koniec budowy (pierwsza krytyczność)	Status
Kashiwazaki Kariwa 6	11 1992	12 1995	nie działa od 2011
Kashiwazaki Kariwa 7	07 1993	11 1996	nie działa od 2011
Hamaoka 5	07 2000	03 2004	nie działa od 2011
Shika 2	08 2001	05 2005	nie działa od 2011
Ohma	05 2010		w budowie (?)
Shimane 3	10 2006		w budowie (?)
Lungmen 1&2	1999		anulowano



GE Hitachi – BWRX-300

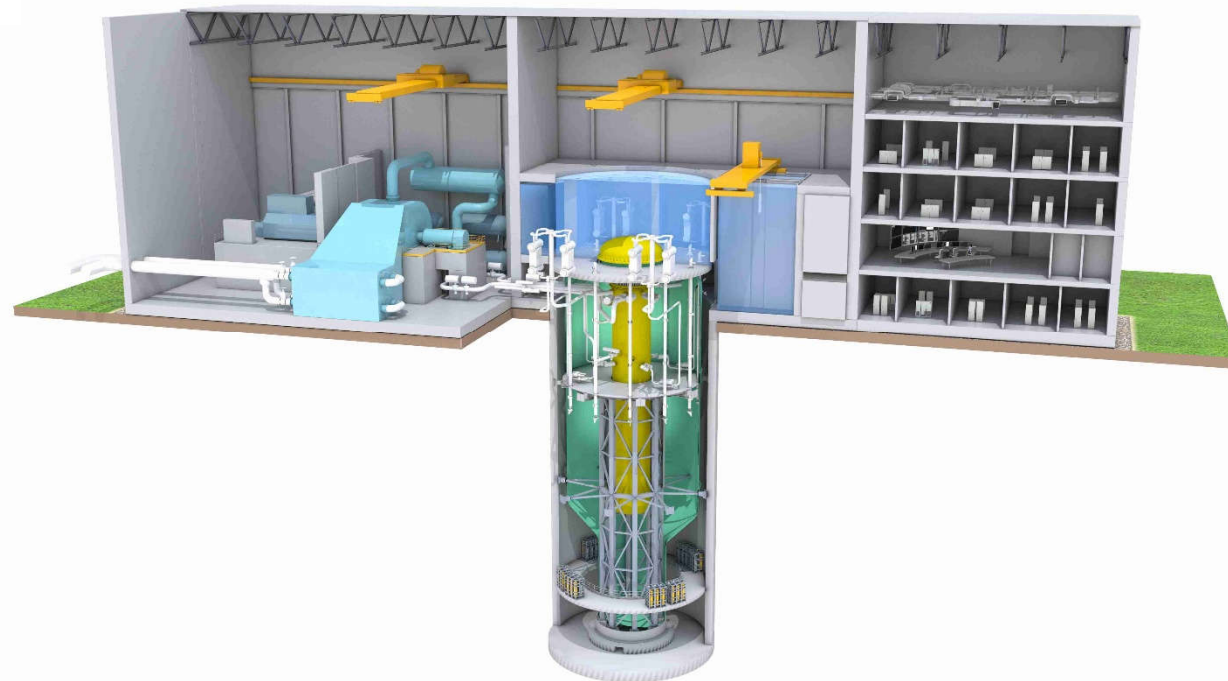


HITACHI

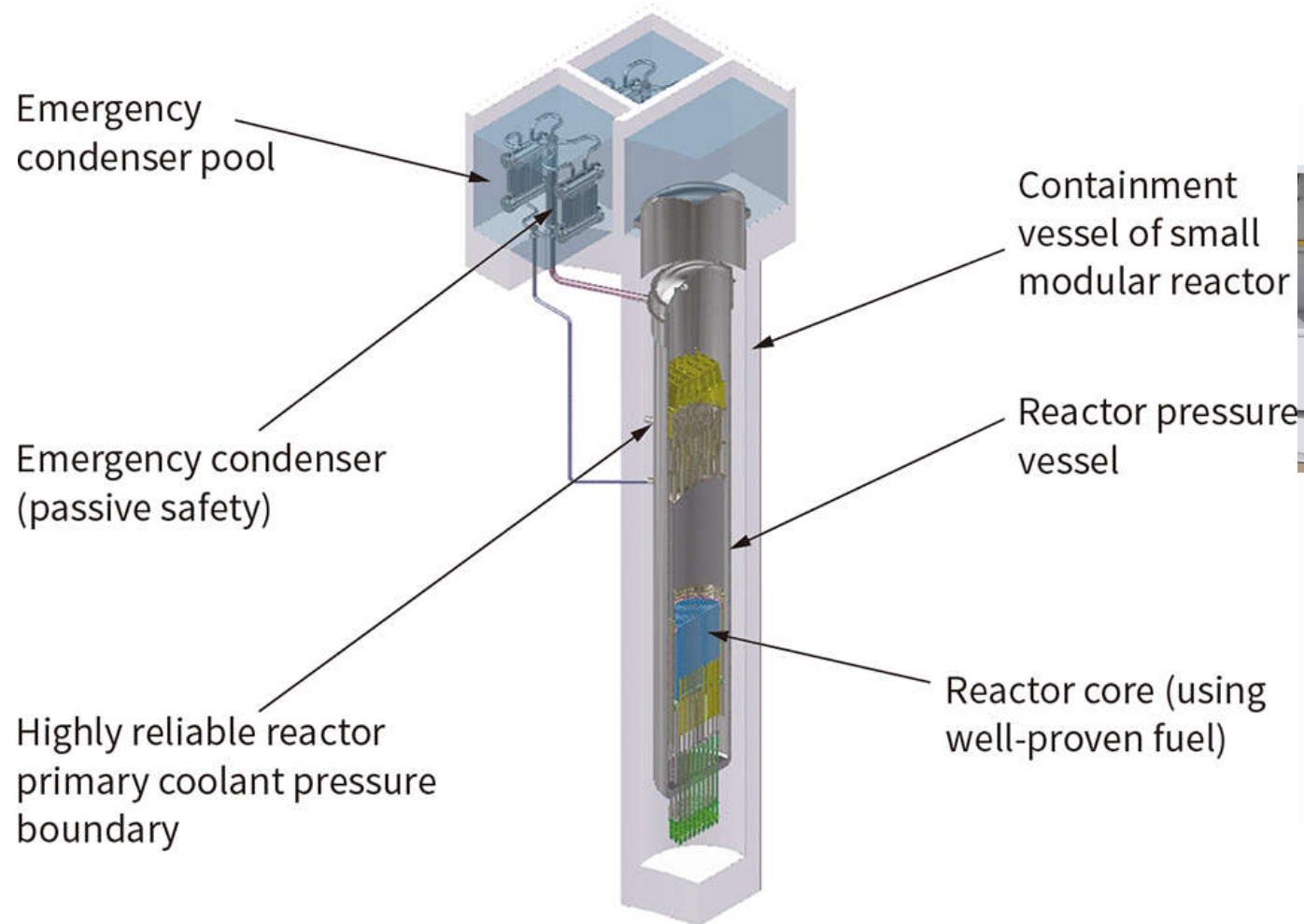
BWRX-300

Moc elektryczna: 300 MW

Moc cieplna: 870 MW



Źródło: GE Hitachi



Źródło: GE Hitachi



NuScale Power



NuScale

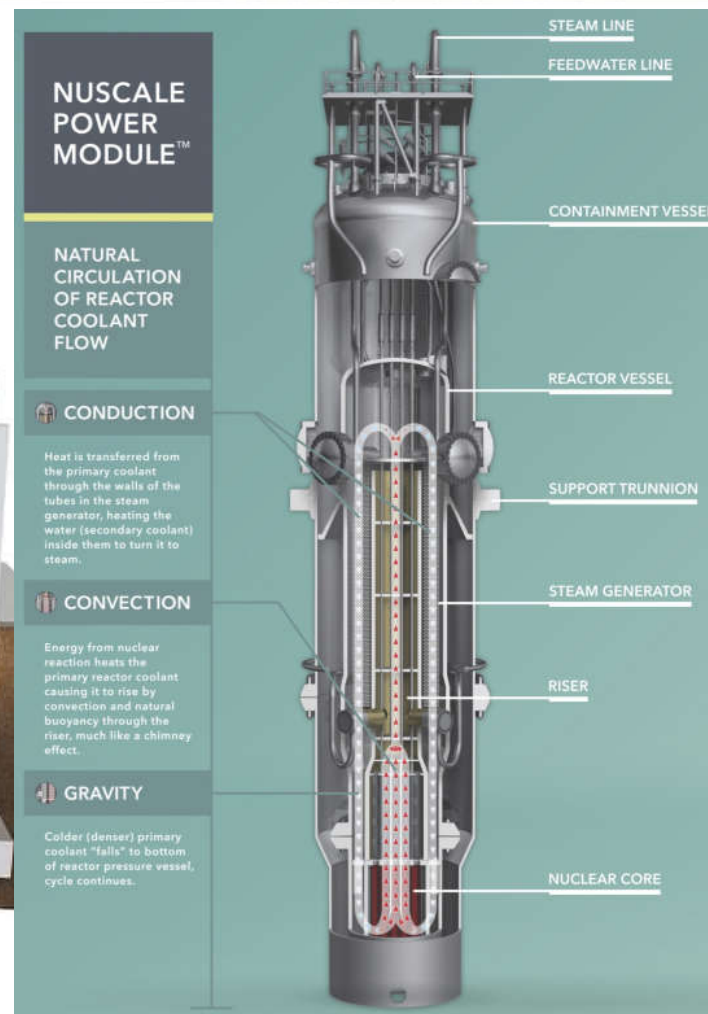
Moc elektryczna: 50 60 77 MW

Moc cieplna: 250 MW





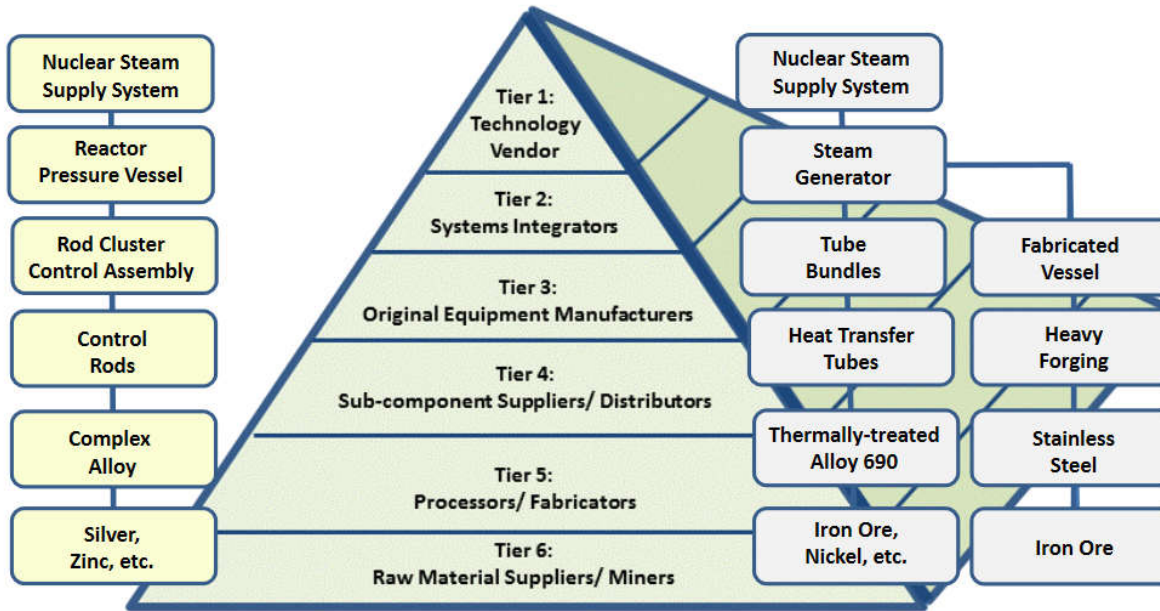
NuScale Power



Źródło: NuScale Power

- Na świecie jest obecnie 5 dostawców spełniających założenia PPEJ.
- Udział dwóch z nich jest w zasadzie wykluczony z przyczyn geopolitycznych.
- Nowi dostawcy nie pojawią się na tyle szybko by móc przyczynić się do dekarbonizacji energetyki w wymaganej perspektywie czasowej.
- Kluczowe dla wyboru technologii będzie nie sama technologia, ale finansowanie, wybór generalnego wykonawcy i elementy towarzyszące umowie.
- Wybór technologii będzie miał kluczowe znaczenie dla takich elementów programu jak rozwój kadr, łańcuchy dostaw i serwis, dostawy paliwa czy gospodarka odpadami.

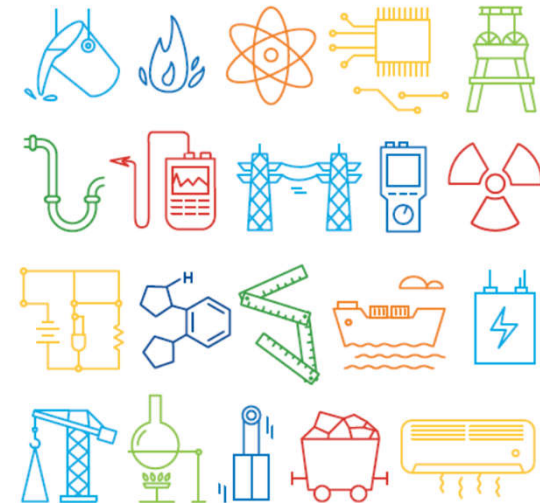
Łańcuchy dostaw



Źródło: WNA

Polish Industry for Nuclear Energy

Edition 2019





AGH

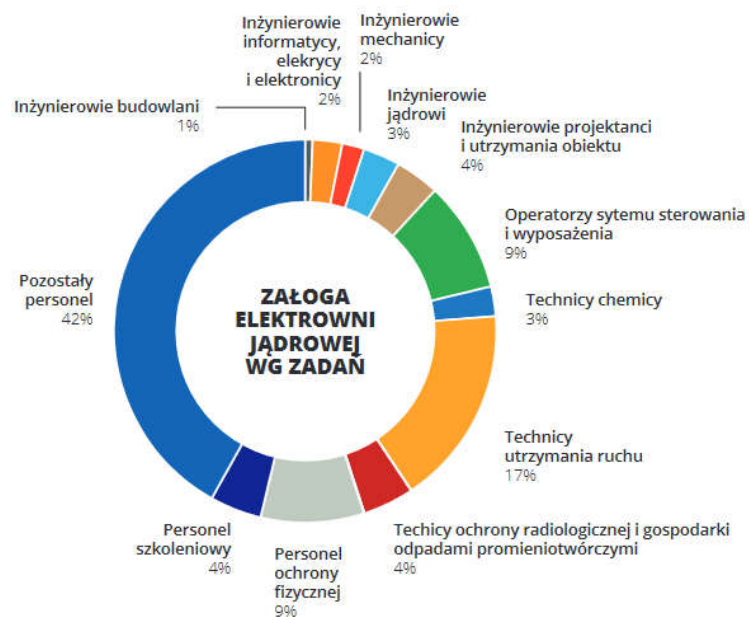
Dostawy paliwa

Złóża rud uranowych w Polsce



Producenci paliwa do LWR

Producent	Kraj	Miejsce	Produkcja [t/rok]
INB	Brazylia	Resende	400
CJNF Jianzhong CBNF CNNFC	Chiny	Yibin Baotou Baotou	1400
Framatome FBFC	Francja	Romans	1400
Framatome ANF	Niemcy	Lingen	650
DAE NFC	Indie	Hyderabad	48
NFI Mitsubishi Nucl. Fuel Global Nucl. Fuel	Japonia	Kumatori Tokai-mura Kurihama	1600
KNFC	Korea	Daejeon	700
TVEL	Rosja	Elektrostal, Nowosybirsk	2760
ENUSA	Hiszpania	Juzbado	500
Westinghouse AB	Szwecja	Vasteras	600
Westinghouse Framatome Inc.	UK	Springfields Richland	2060
Global Nucl. Fuel Westinghouse	USA	Wilmington Columbia	3150



- Inżynierowie jądrowi stanowią niewielki odsetek załogi elektrowni.
- Większe zapotrzebowanie na specjalistów ma regulator oraz TSO.
- Istotną część załogi stanowią „ujądrowieni” inżynierowie innych branż.
- EJ może być szansą przebranżowienia dla większości specjalistów klasycznej energetyki.
- W Polsce istnieje załóżek kadr jądrowych. Dla ich rozwoju konieczne jest między innymi wprowadzenie odpowiednich programów badawczych.



KRAJOWY PLAN POSTĘPOWANIA Z ODPADAMI
PROMIENIOTWÓRCZYMI I WYPALONYM PALIWEM
JĄDROWYM
Aktualizacja

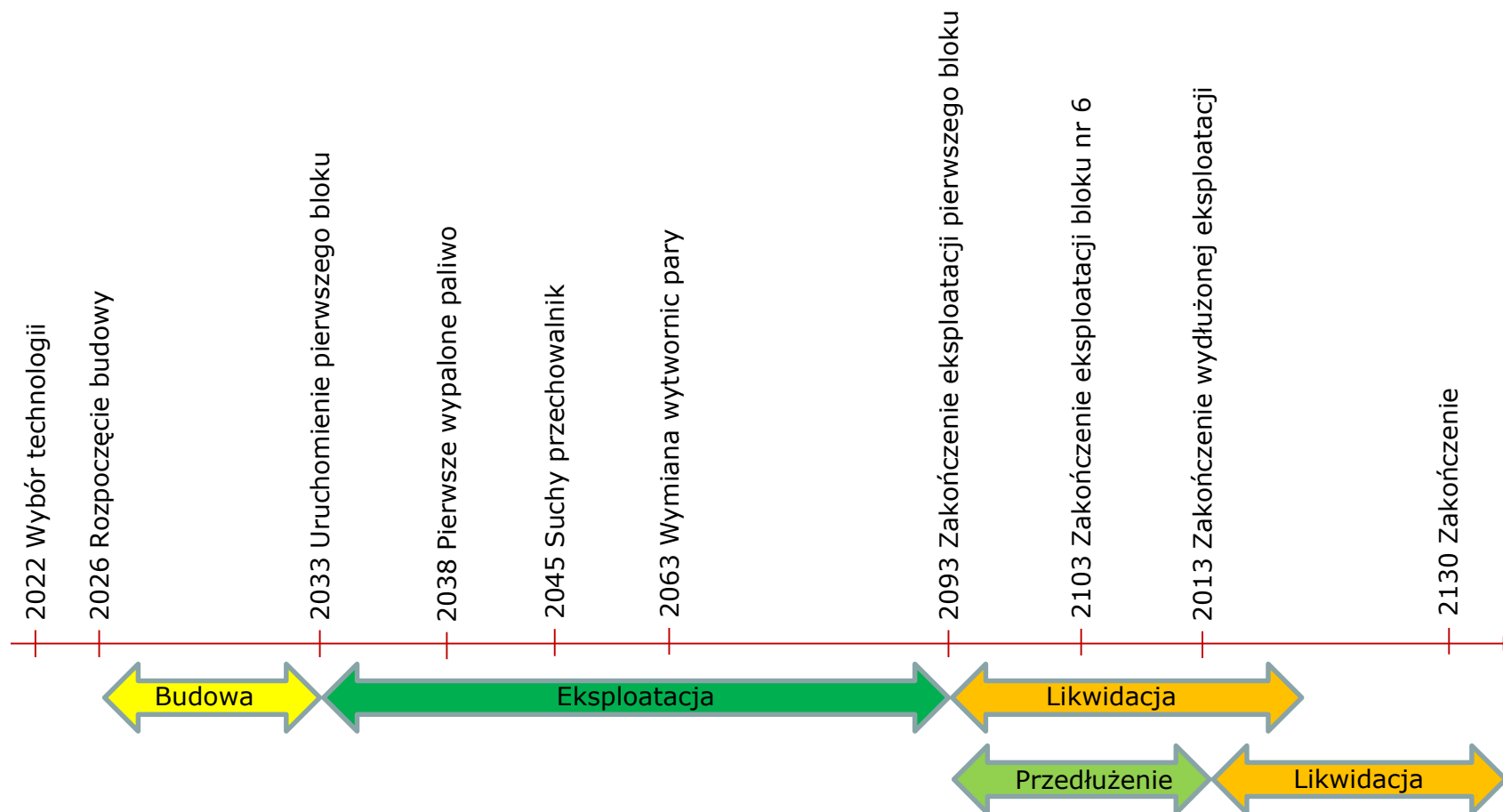
- Nawet przy braku realizacji PPEJ konieczna będzie budowa nowego składowiska powierzchniowego oraz składowiska geologicznego.
- Przed uruchomieniem składowiska geologicznego paliwo przechowywane będzie w przechowalnikach (suchych lub mokrych). Rozważana jest budowa przechowalnika w każdej elektrowni lub wspólnego.
- Wstępne badania pod kątem ewentualnej lokalizacji SGOP zostały przeprowadzone. Zidentyfikowano 44 potencjalne lokalizacje.
- Preferowana opcja jest składowanie wypalonego paliwa, ale nie wyklucza się przerobu paliwa.



KRAJOWY PLAN POSTĘPOWANIA Z ODPADAMI
PROMIENIOTWÓRCZYMI I WYPALONYM PALIWEM
JĄDROWYM
Aktualizacja

- Nawet przy braku realizacji PPEJ konieczna będzie budowa nowego składowiska powierzchniowego oraz składowiska geologicznego.
- Przed uruchomieniem składowiska geologicznego paliwo przechowywane będzie w przechowalnikach (suchych lub mokrych). Rozważana jest budowa przechowalnika w każdej elektrowni lub wspólnego.
- Wstępne badania pod kątem ewentualnej lokalizacji SGOP zostały przeprowadzone. Zidentyfikowano 44 potencjalne lokalizacje.
- Preferowana opcja jest składowanie wypalonego paliwa, ale nie wyklucza się przerobu paliwa.

Skala czasowa programu jądrowego



- Istnieje realny wybór spośród 3 potencjalnych dostawców technologii
- Wybór technologii wpływa na pozostałe aspekty implementacji programu jądrowego
- Program energetyki jądrowej ma charakter długoterminowy, a pewne działania podejmowane będą za kilkadziesiąt lat
- Konieczne jest podjęcie odpowiednich działań, aby na każdym etapie programu udział lokalnych firm był możliwie jak największy



Dziękuję za uwagę!