



Przyszłościowe technologie energetyki jądrowej

prof. Mariusz P. Dąbrowski

Narodowe Centrum Badań Jądrowych



NARODOWE
CENTRUM
BADAŃ
JĄDROWYCH
ŚWIERK

Poznań, 6 - 7 czerwca 2024 roku

Program Polskiej Energetyki Jądrowej (PPEJ)

- 2008 - „Pakiet klimatyczny” ok. 50 mld euro na ograniczenie emisji dwutlenku węgla

- Uchwała Rady Ministrów Rzeczypospolitej Polskiej z 13.01.2009 r.

„W celu zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego kraju oraz uwzględniając rozwój gospodarczy, przygotowany i wdrożony zostanie program polskiej energetyki jądrowej. Pełnomocnik rządu do spraw polskiej energetyki jądrowej przygotowuje i przedstawi Radzie Ministrów projekt tego programu, który określać będzie liczbę, wielkość i możliwe lokalizacje elektrowni jądrowych. Rząd zobowiązuje także ministra skarbu państwa do zapewnienia współpracy PGE Polskiej Grupy Energetycznej SA przy przygotowaniu i realizacji programu.”






Komentarz: ...”zostaną wybudowane co najmniej dwie elektrownie jądrowe (moc 6-9 MW_e). Prace będą prowadzone równocześnie, a przynajmniej jedna z elektrowni powinna zacząć działać do 2020 roku.”

Działania w ramach PPEJ:

- 12.05.2009 - powołanie Pełnomocnika Rządu ds. EJ a potem Społecznego Zespołu Doradców
 - 2010 r. – opracowanie przez Ministerstwo Gospodarki projektu PPEJ i wykonanie przez MG prognozy oddziaływania na środowisko - konsultacje społeczne projektu PPEJ
 - 30.12.2010 – 31.03.2011 - konsultacje społeczne prognozy oddziaływania na środowisko projektu
 - 18.07.2011 – 31.05.2013 konsultacje transgraniczne Prognozy i Programu z Litwą, Szwecją, Danią, Niemcami, Austrią, Czechami, Słowacją i Finlandią.
 - 3.07.2013 – omówienie projektu PPEJ na posiedzeniu Międzyresortowego Zespołu ds. Realizacji Polityki Energetycznej Polski do roku 2030
 - 11.10.2013 - przyjęcie programu PPEJ przez kierownictwo ówczesnego Ministerstwa Gospodarki
 - 9.01.2014 - przyjęcie projektu PPEJ przez Komitet Stały Rady Ministrów
- 28.01.2014 - uchwała Rada Ministrów o przyjęciu PPEJ**



Legenda:

-  **Żarnowiec** lokalizacja wyznaczona
-  **Gościeradów** lokalizacja potencjalna
-  **Radoniów** miejsce występowania rud uranu
-  **Różan** istniejące składowisko odpadów promieniotwórczych
-  **Kłodawa** możliwe lokalizacje składowisk odpadów promieniotwórczych



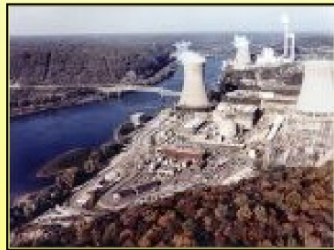
Mariusz P. Dąbrowski
Przyszłościowe technologie energetyki jądrowej

Generacje reaktorów jądrowych

Rozwój energetyki jądrowej

Generacja I

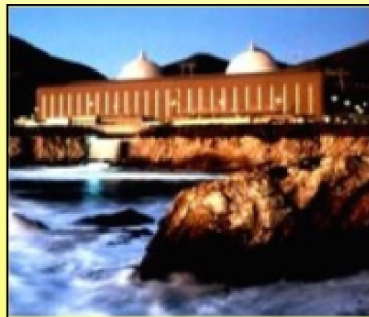
Wczesne prototypy reaktorów



- Shippingport
- Dresden, Fermi I
- Magnox

Generacja II

Reaktory budowane komercyjnie



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

Generacja III

Zaawansowane LWR-y



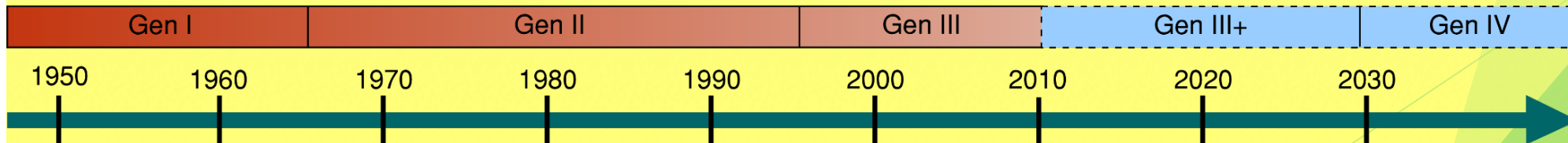
- ABWR
- System 80+
- AP600
- EPR

Reaktory obecnie budowane

Generacja III+
Ewolucyjny rozwój reaktorów
Bardziej ekonomiczne i bezpieczniejsze reaktory

Generacja IV

- Wysoka efektywność
- Zwiększone bezpieczeństwo
- Redukcja odpadów
- Niepodatne na rozprzestrzenianie



Ciepło niskotemperaturowe i wysokotemperaturowe z reaktorów jądrowych

Ciepło (para) wytwarzane w działających obecnie reaktorach jądrowych jest ciepłem o **niskiej temperaturze** (ok. 300 °C) i nie może być wykorzystywane w większości procesów przemysłu chemicznego i paliwowego, m. in dlatego, że **przemysł** chemiczny bądź paliwowy **potrzebuje pary o wysokiej temperaturze** (minimum 500 °C, a nawet do ok. 1000 °C).

Parę o wystarczająco wysokich temperaturach wytwarzają **reaktory mogące być zaliczone do IV generacji** – tzw. reaktory wysokotemperaturowe (z ang. High Temperature Reactors – HTR lub High Temperature Gas-cooled Reactors - HTGR, jeśli są chłodzone gazem).

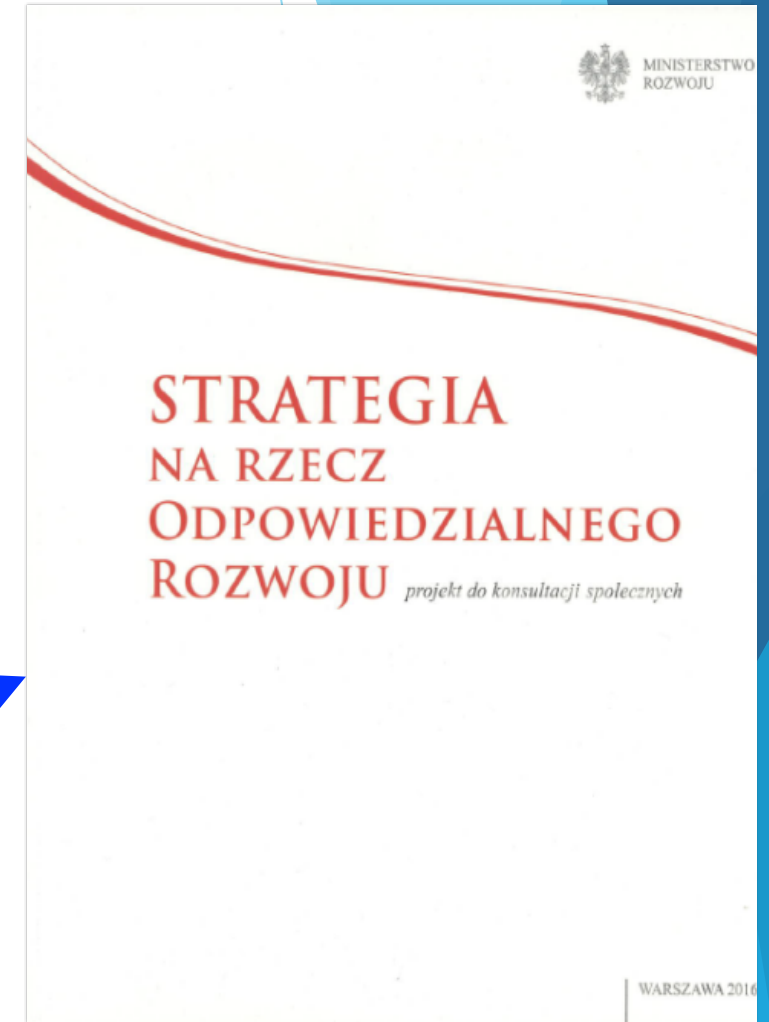
Czy Polska potrzebuje więcej energetyki jądrowej? Czy mamy dekarbonizować tylko produkcję prądu?

Utworzenie przez Ministra Energy (13.07.2016)
„Zespołu do spraw wdrożenia reaktorów wysokotemperaturowych (HTR)”.

Cele:

- Analiza potrzeb polskiego rynku i możliwości eksportowych
- oszacowanie kosztów, modelu biznesowego, możliwości finansowania, potencjału naukowego i przemysłowego
- Analiza uwarunkowań prawnych
- Analiza możliwości współpracy międzynarodowej

14.02.2017 - „Strategia na rzecz odpowiedzialnego rozwoju”
- plan rządu wzmocnienia polskiej gospodarki, włączenie produkcji ciepła



Raport komisji (2018) - zapotrzebowanie na ciepło wysokotemperaturowe w Polsce

Kogeneracja:

- 13 polskich zakładów chemicznych potrzebuje 6500 MW ciepła o temp. 400-550°C

Także tylko produkcja prądu:

- ok. 50 jednostek 200 MW_e przestanie działać po roku 2035



| Instalacja | kotły | MW |
|---|-------|------|
| ZE PKN Orlen S.A.Płock | 8 | 2140 |
| Arcelor Mittal Poland S.A. | 8 | 1273 |
| Zakłady Azotowe "Puławy" S.A. | 5 | 850 |
| Zakłady Azotowe ANWIL SA | 3 | 580 |
| Zakłady Chemiczne "Police" S.A. | 8 | 566 |
| Energetyka Dwory | 5 | 538 |
| International Paper - Kwidzyn | 5 | 538 |
| Grupa LOTOS S.A. Gdańsk | 4 | 518 |
| ZAK S.A. Kędzierzyn | 6 | 474 |
| Zakł. Azotowe w Tarnowie Moszczicach S.A. | 4 | 430 |
| MICHELIN POLSKA S.A. | 9 | 384 |
| PCC Rokita SA | 7 | 368 |
| MONDI ŚWIECIE S.A. | 3 | 313 |



Program polskiej energetyki jądrowej



5.10.2020 - uaktualnienie **PPEJ** (lata 2020-2040; pierwszy reaktor energetyczny ok. roku 2033)

Kolejna ścieżka (biznes) - małe reaktory modułowe SMR do produkcji prądu i ciepła o niskiej temperaturze Synthos Green Energy itp. (2020-...)

Inna ścieżka (biznes) - elektrownia PAK (Państwów-Adamów-Konin) z KHNP (Korea) APR1400 (2022)

Od 2022 inne propozycje: NuScale, USNC, LastEnergy, Rolls Royce etc.

Technologia wybrana dla Polski w PPEJ: Reaktor AP1000 firmy Westinghouse



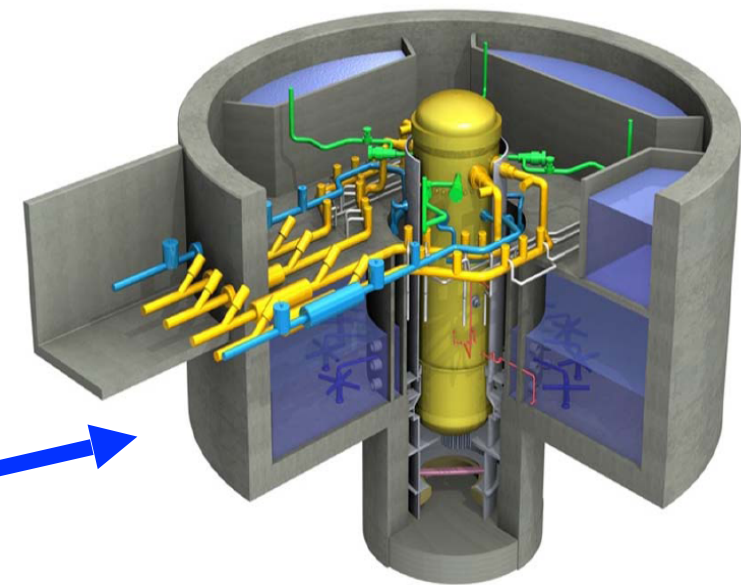
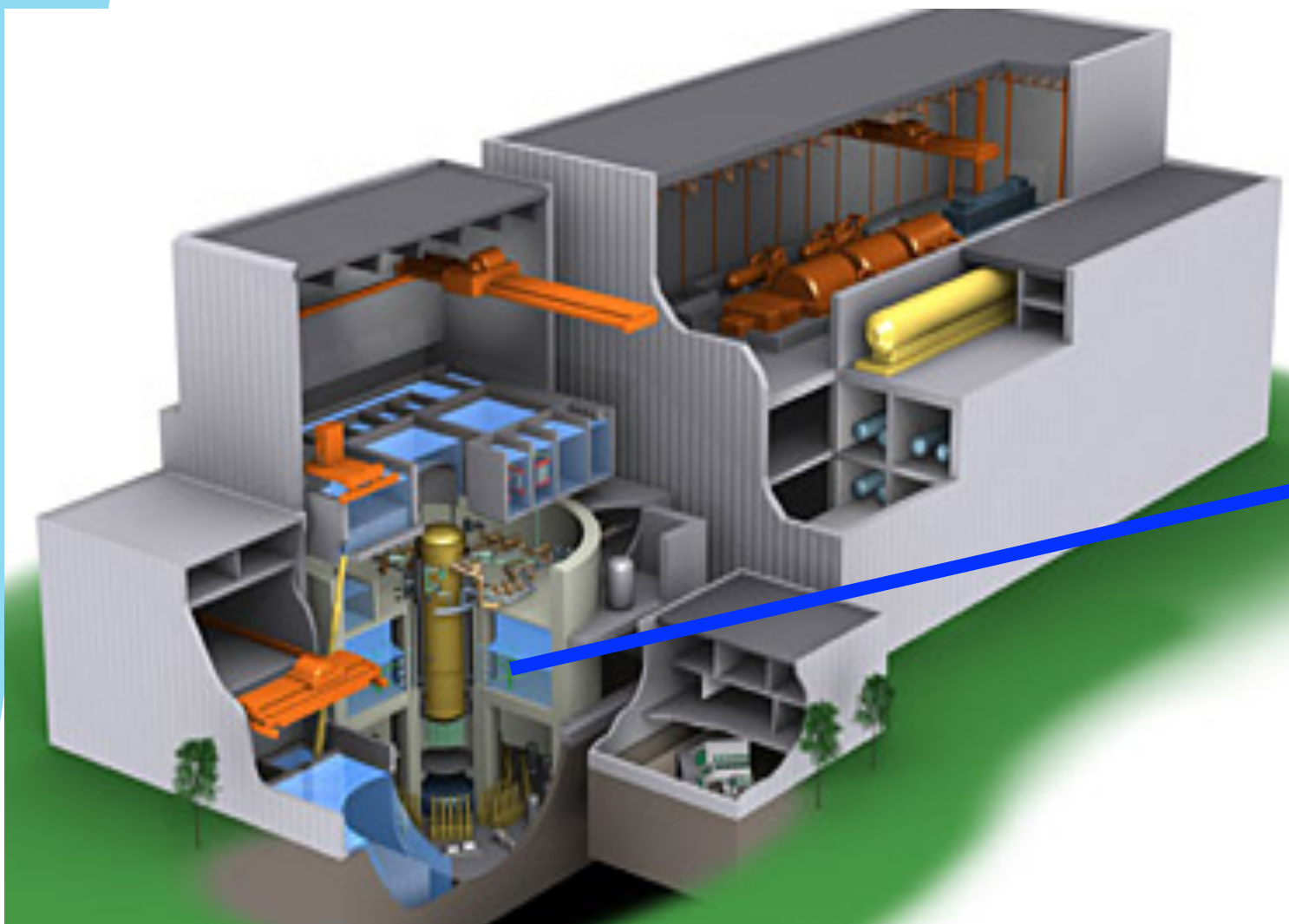
Małe Reaktory Modułowe (SMR) - reaktory gen. III i III+ (lekkowodne PWR i BWR) - temp. maks. 300 C



Przykład (OSGE,
Polska):

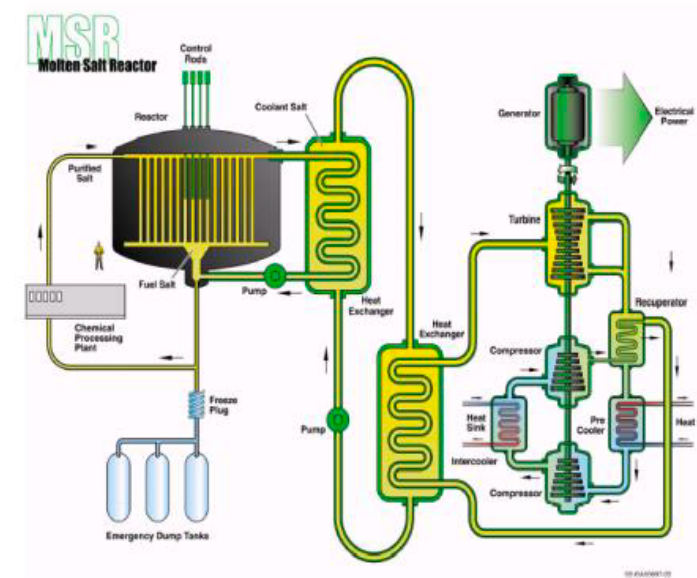
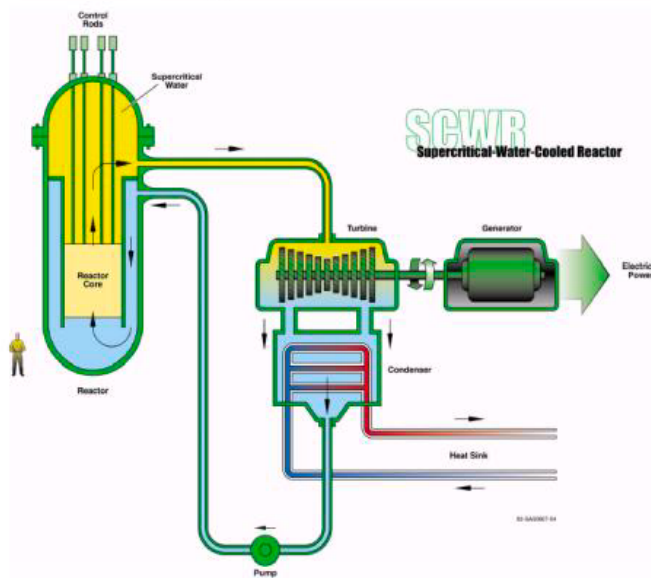
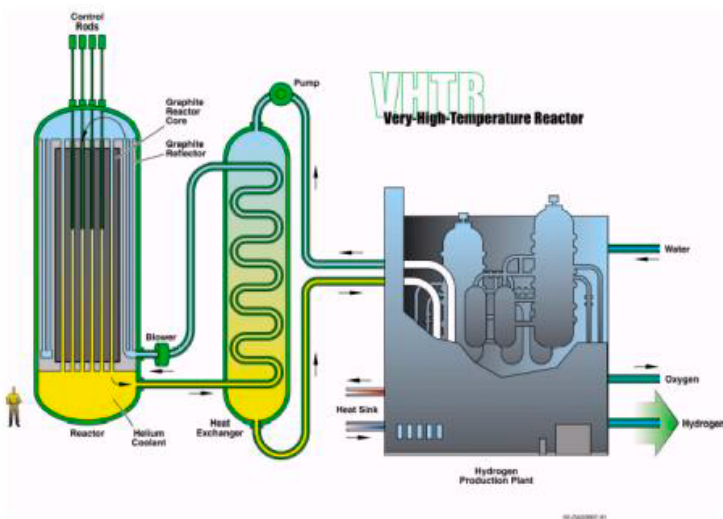
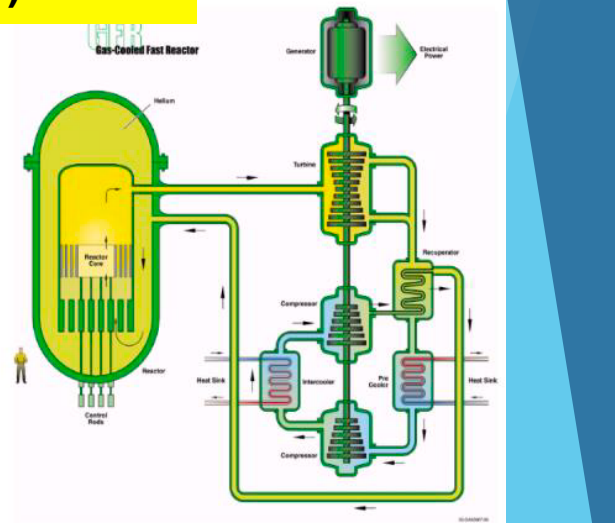
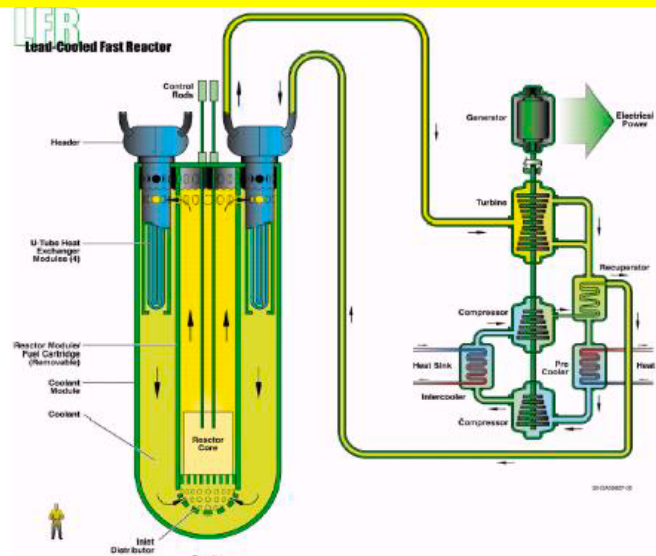
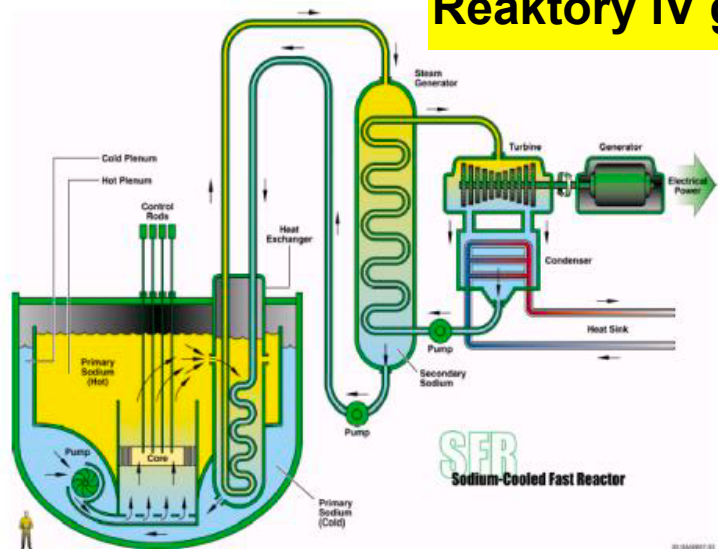
BWRX300 -
przeskalowany w
dół do mocy 300
 MW_{el} reaktor
wodny-wrzący
(ESBWR) firmy
GE HITACHI

ESBWR - reaktor gen. III+ (1600 MW_{el})



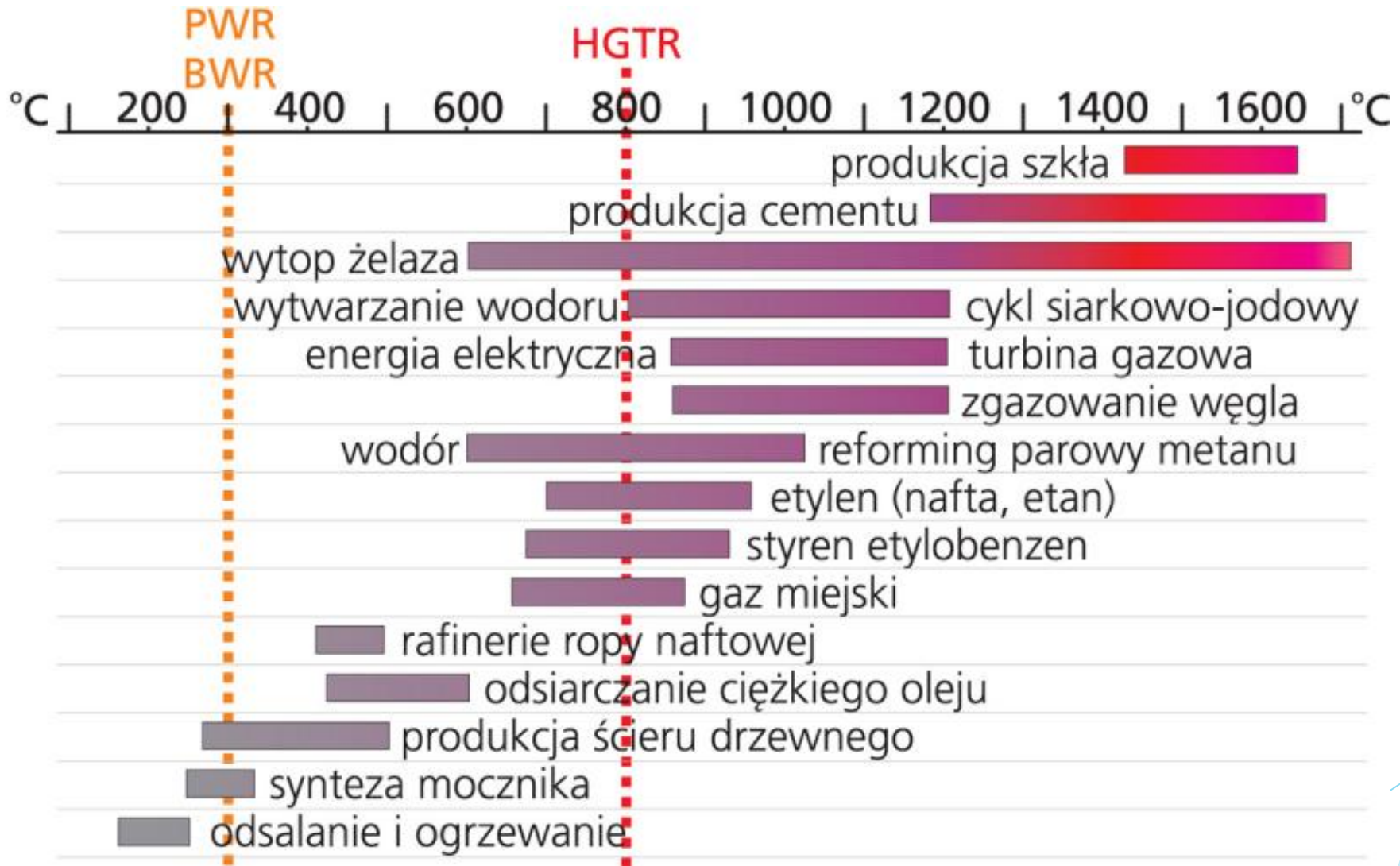
Pasywne bezpieczeństwo.
Woda sływa w dół przez 72
godziny bezobsługowo.

Reaktory IV generacji - Advanced Modular Reactors (AMR)



Mariusz P. Dąbrowski
Przyszłościowe technologie energetyki jądrowej

Procesy chemiczne wymagające wysokotemperaturowej pary:

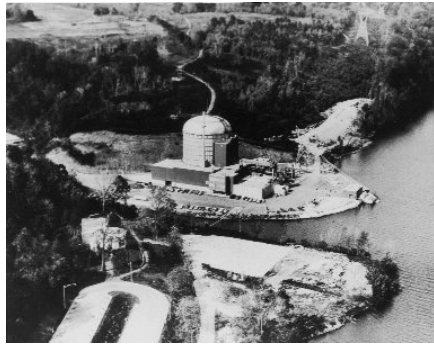


Wybudowane i przetestowane reaktory HTGR na świecie

▶ Reaktory eksperymentalne



DRAGON, U.K.
20 MW
1963-76



Peach Bottom, USA
200 MWt
1967-74



AVR, Niemcy
15 MWe
1967-88



HTR-10, Chiny
10 MWt
2000 - dzisiaj



HTTR, Japonia
30 MWt
1998 - dzisiaj

▶ Prototypy przemysłowe



Fort Saint-Vrain, USA
300 MWe
1976-89



THTR, Niemcy
300 MWe
1986-89



HTR-PM, Chiny
2 x 106 MWe
09/2021; w sieci od
6.12.2023

Plan budowy polskiego reaktora badawczego HTGR-POLA pracującego w kogeneracji.

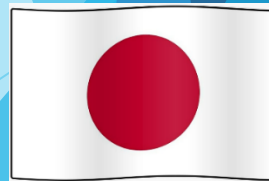
- **Nie ma dostępnego komercyjnie HTGRa** (“z półki”) na rynku globalnym (z wyjątkiem Chin).
- W celu zbudowania reaktora komercyjnego, wskazana jest najpierw budowa **reaktora badawczego o odpowiednio mniejszej mocy jako demonstratora technologii** po to aby przekonać regulatora (PAA) oraz przemysł o jego bezpieczeństwie, ekonomice oraz zastosowaniach praktycznych w kogeneracji (brak w Polsce doświadczenia z reaktorami komercyjnymi)
- Reaktor badawczy 30 MWt powinien posiadać **jak najwięcej cech reaktora komercyjnego 180 MWt**, tak aby można było stosunkowo łatwo przeskalować go do wyższej mocy jednostki potrzebnej w przemyśle.

Projekt HTGR-POLA (POLski Atomowy)

- **Kontrakt** Nr 1/HTGR/2021/14 pomiędzy NCBJ i Ministerstwem Edukacji i Nauki (MEiN) pt. “**Opis techniczny badawczego, wysokotemperaturowego reaktora jądrowego chłodzonego gazem HTGR**” podpisany 12 Maja 2021 w Świerku.
- Umowa przewiduje, że w ciągu trzech lat powstaną w Polsce warunki pod budowę wysokotemperaturowego reaktora badawczego oraz **zostanie przygotowany projekt koncepcyjny, a następnie większość projektu podstawowego takiego urządzenia**. Reaktor będzie typu pryzmatycznego HTGR na paliwo TRISO o mocy 30-40 MWt przy temperaturze wylotowej chłodziwa 750 °C.
-
- **Okres:** 1.06.2021 – 31.05.2024.
- **Kwota:** 60.000.000 PLN

STRATEGICZNY PARTNER

- JAEA, Japonia



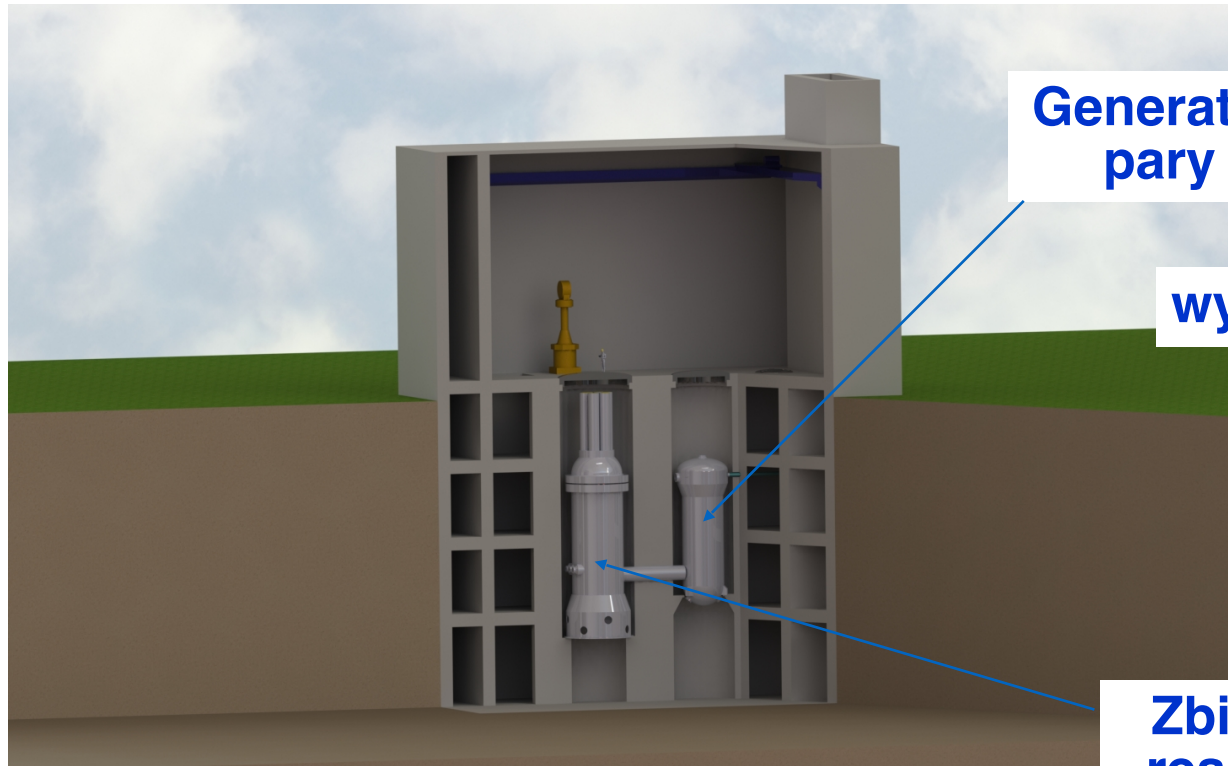
Jako rezultat partnerstwa
Rządów RP i Japonii (2021-2025)



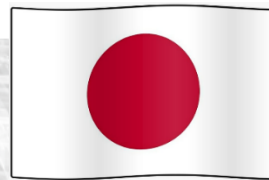
Mariusz P. Dąbrowski
Przyszłościowe technologie energetyki jądrowej

Polski projekt HTGR-POLA*

Japoński reaktor HTTR



***POL**ski **A**tomowy



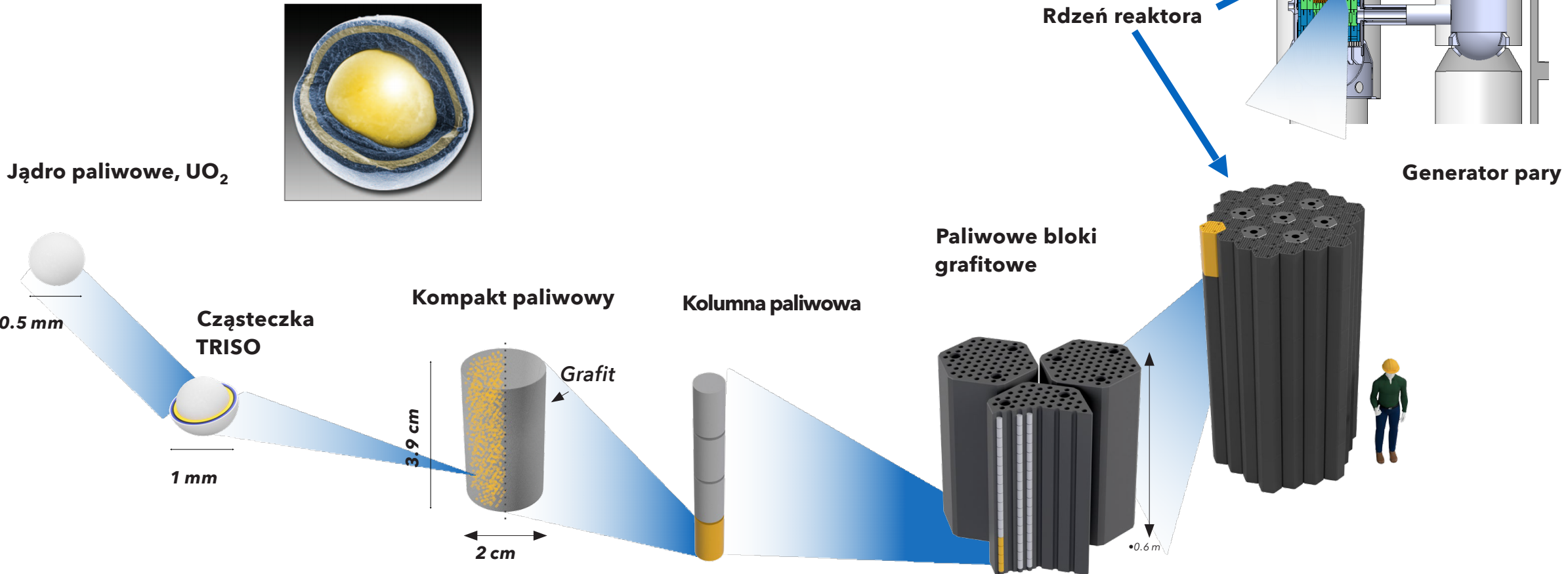
www.ncbj.gov.pl

HTGR-POLA

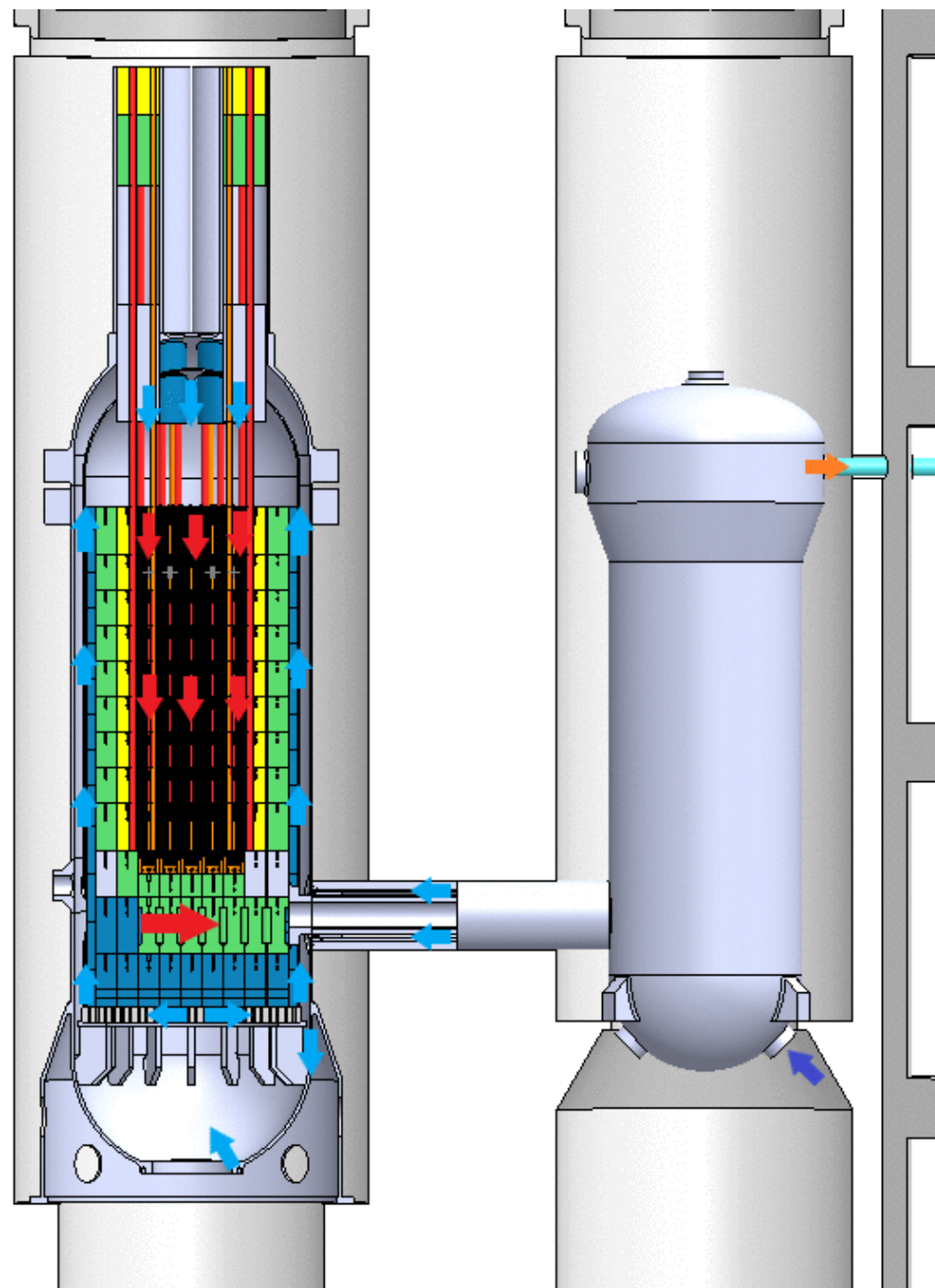
Reaktor MARIA:
30 MW_{th}

Kampus - Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Świerk

Główne elementy reaktora badawczego HTGR-POLA

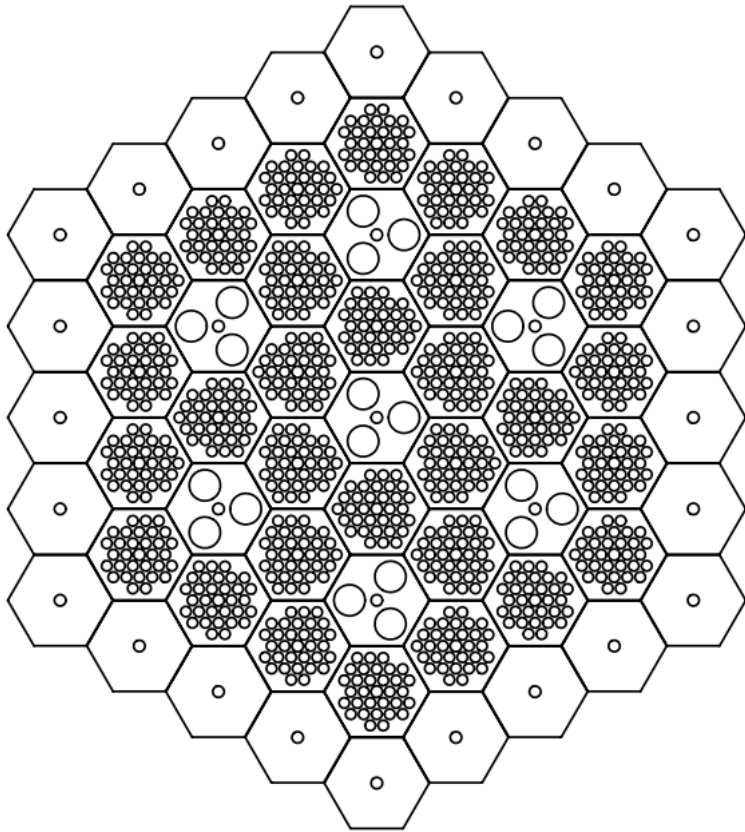


**HTGR-POLA:
Przepływ
chłodziwa
(hel) przez
rdzeń reaktora
(z lewej) oraz
wody/pary w
generatorze
pary (z
prawej)**

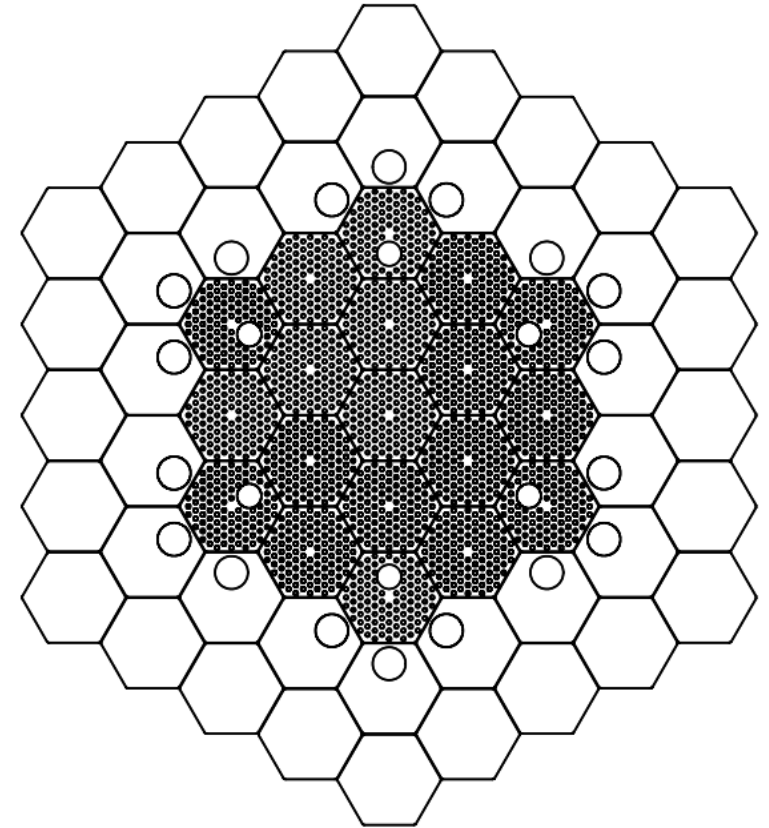


Rdzeń reaktora HTGR-POLA

Propozycja JAEA (oparta o HTTR)

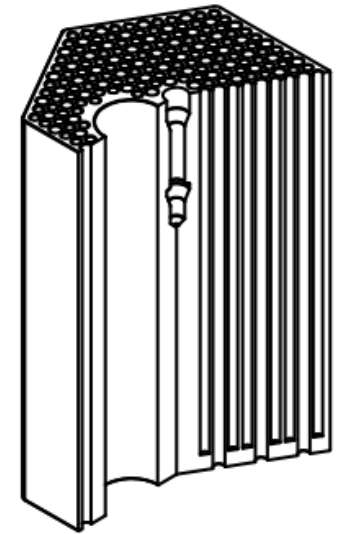
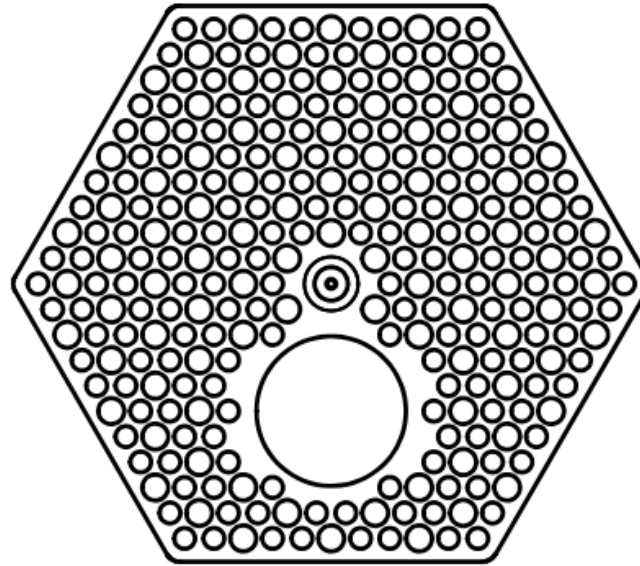
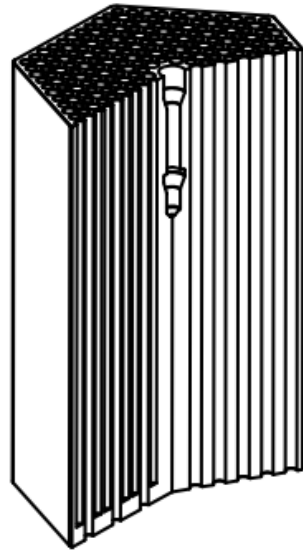
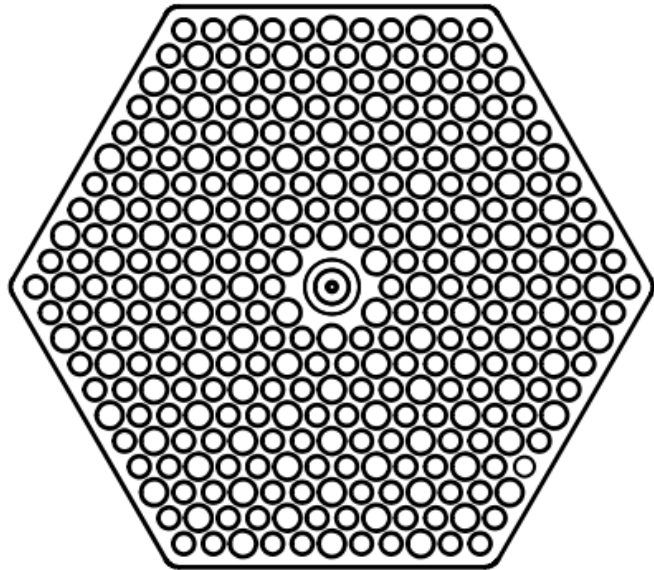


HTGR-POLA - koncepcja własna NCBJ



HTGR-POLA (pryzmatyczne/heksagonalne) bloki:

Bok = 20,78 cm



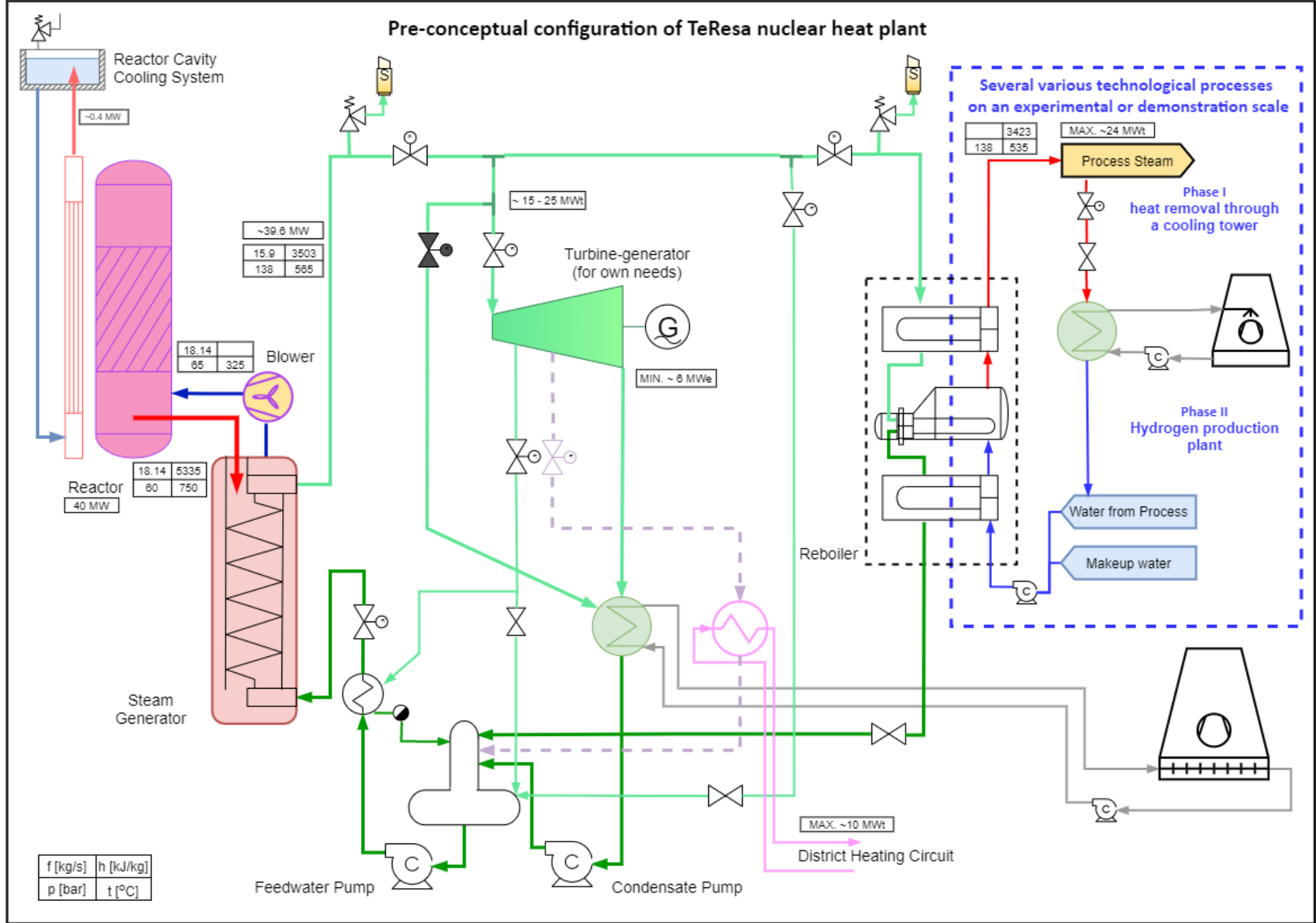
Blok paliwowy

Blok z prętem kontrolnym

Reaktor HTGR-POLA - charakterystyka

| Cecha | Opis |
|--|---|
| Opracowanie projektu | Narodowe Centrum Badań Jądrowych (National Centre for Nuclear Research, NCBJ), Poland |
| Typ reaktora | High-temperature gas-cooled reactor (HTGR) |
| Rdzeń reaktora | Pryzmatyczny (rdzeń z bloków sześciokątnych) |
| Moc termiczna | 30 MW |
| Wzbogacenie paliwa | Niskowzbogacony (8-12%) dwutlenek uranu UO ₂ , HALEU |
| Typ paliwa | Cząstki paliwa TRISO w macierzy grafitowej (kompakty paliwowe) |
| Cykla paliwowy | Otwarty, paliwo przechowywane na terenie reaktora |
| Moderator | Grafit |
| Chłodziwo/cyrkulacja | Hel / cyrkulacja wymuszona |
| Ciśnienie chłodziwa | 6 MPa |
| Temperatura chłodziwa na wejściu do reaktora | 325°C |
| Temperatura chłodziwa na wyjściu z reaktora | 750°C |
| Obieg wtórny | Woda / para |
| Ciśnienie w obiegu wtórnym | 13.8 MPa |
| Układy bezpieczeństwa | Pasywne i aktywne |
| Kontrola reaktywności | Pręty kontrolne, wypalające się trucizny, absorbery rezerwowe |
| Budynek reaktora | Konstrukcja żelbetowa, nadciśnienie obliczeniowe do 0,1 MPa, budynek wentylowany |
| Wyproqwadzenie mocy | Praca w kogeneracji: <ul style="list-style-type: none">- moc elektryczna maks. 10 MW brutto,- ciepło wysokotemperaturowe w parze max. 25 t/h,- niskotemperaturowa moc cieplna w wodzie max. 16,5 MW |
| Czas eksploatacji (przewidywany) | 60 lat |

Wstępny plan instalacji konwersji energii (IKE)



*E. Skrzypek et al. Pre-Conceptual Design of the Research High-Temperature Gas-Cooled Reactor TeResa for Non-Electrical Applications Energies, 15, 2084 (2022)

Podsumowanie: fazy realizacji budowy reaktora HTGR-POLA:

| Faza realizacji | Okres | Status | Komentarz |
|---|---------|--|--|
| Projektowanie - przedkoncepcja* | 6 mies. | zakończony 30.03.2022 | W ramach funduszy NCBR  |
| Projektowanie - koncepcja**  | 1 rok | zakończony 31.12.2022 | W ramach funduszy MEiN - współpraca z JAEA   |
| Projekt podstawowy | 2 lata | <u>w przygotowaniu</u> <u>do 31.10.2024</u> | Także Wstępny Raport Bezpieczeństwa (WRB) |
| Projekt techniczny/ wykonawczy | 2 lata | 2025-26 |  |
| Licencjonowanie | 1 rok | 2027 | |
| Konstrukcja | 4 lata | 2028-2031 | |

*E. Skrzypek et al. Pre-Conceptual Design of the Research High-Temperature Gas-Cooled Reactor TeResa for Non-Electrical Applications [Energies, 15, 2084 \(2022\)](#)

** Po ocenie eksperckiej Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (IAEA) w Wiedniu (grudzień 2023); M.P. Dąbrowski et al. Concept of the Polish High Temperature Gas-cooled Reactor HTGR-POLA, Nuclear Engineering and Design 424, 113197 (2024)



Dziękuję za uwagę