

Plan budowy badawczego reaktora
wysokotemperaturowego HTGR-POLA
(POLski Atomowy) w Świerku

prof. Mariusz P. Dąbrowski, NCBJ

Seminarium WF UW, 11.01.2024



NARODOWE
CENTRUM
BADAŃ
JĄDROWYCH
ŚWIERK



Ministerstwo
Edukacji i Nauki



Ministerstwo
Klimatu i Środowiska

Czy reaktory jądrowe mogą być zastosowane w kogeneracji i gdzie?

Tak, reaktory jądrowe **mogą** pracować w tzw. kogeneracji jądrowej – wykorzystuje się wtedy **i ciepło, i prąd** generowany w turbozespołe. Ta kogeneracja jest bezemisyjna (brak emisji CO₂). Ciepło może być użyte **dla procesów przemysłu chemicznego, paliwowego lub do celów komunalnych** (np. do ogrzewania mieszkań).

Obecnie działające reaktory jądrowe (II i III generacja) **generują ciepło**, które dopiero później za pomocą pary wodnej jest **przetwarzane** na prąd elektryczny.

Zgodnie z prawami fizyki tylko część ciepła (t) można “przetworzyć” na prąd elektryczny (e). Zwykle tylko 1/3 mocy cieplnej przetwarza się na elektryczność np. **elektrownia 1200 MWt to tylko 400 MWe**

Ciepło wytwarzane w **działających obecnie** reaktorach jądrowych (generacja II i III) **jest ciepłem o niskiej temperaturze** (ok. 300 °C) i nie jest wykorzystywane praktycznie z kilku przyczyn, m. in dlatego, że **przemysł chemiczny** bądź paliwowy **potrzebuje ciepła o wyższej temperaturze** (minimum 400-550 °C, a nawet do ok. 1000 °C).

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

Potencjalne inwestycje w reaktory HTGR w Polsce (dobrze zdefiniowany rynek)

Kogeneracja:

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

- Zużycie 200 TJ / rok, równoważne spaleniu >5 mln t naturalnego gazu lub ropy

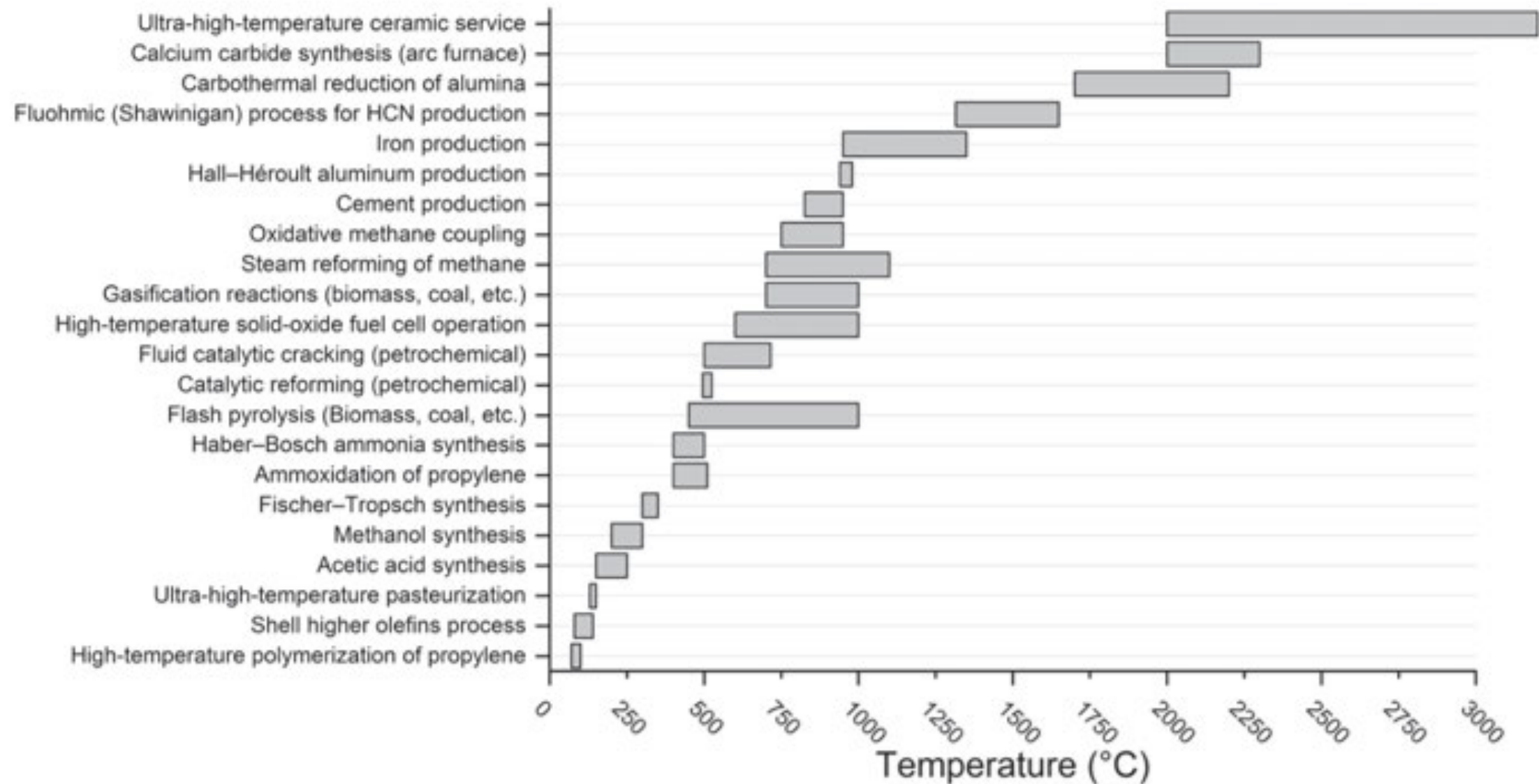
Produkcja prądu:

- ok. 50 jednostek 200 MW_e do wymiany 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

Procesy chemiczne wymagające wysokotemperaturowej pary:



Europa i Świat potrzebują pilnie niekopalnych/nieemisyjnych źródeł ciepła i prądu!

- ok. 100-200 potencjalnych instalacji w Europie
- ok. 1000-2000 potencjalnych instalacji na świecie. **OGROMNY RYNEK!**



Wsparcie dla projektu rozwoju przemysłu budowy reaktorów HTGR w Polsce

28.01.2014 - uchwała Rady Ministrów o przyjęciu
Programu Polskiej Energetyki Jądrowej
(budowa reaktorów dla produkcji prądu elektrycznego)

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

Cele:

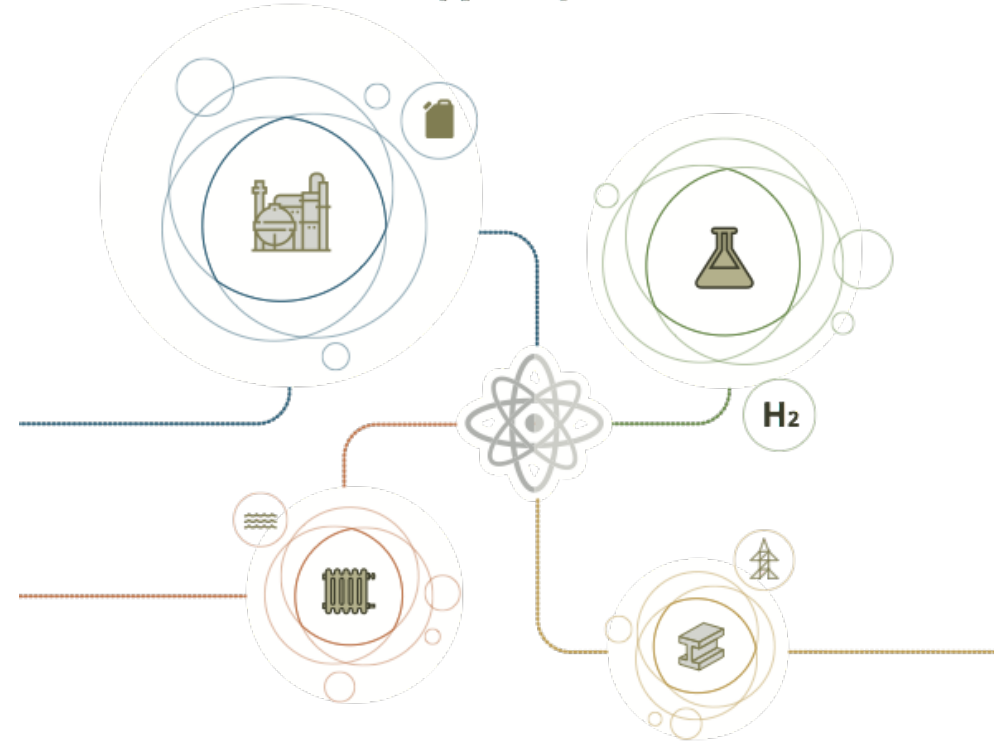
- Analiza potrzeb polskiego rynku i możliwości eksportowych
- oszacowanie kosztów, modelu biznesowego, możliwości finansowania, potencjału naukowego i przemysłowego
- Analiza uwarunkowań prawnych
- Analiza możliwości współpracy międzynarodowej

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

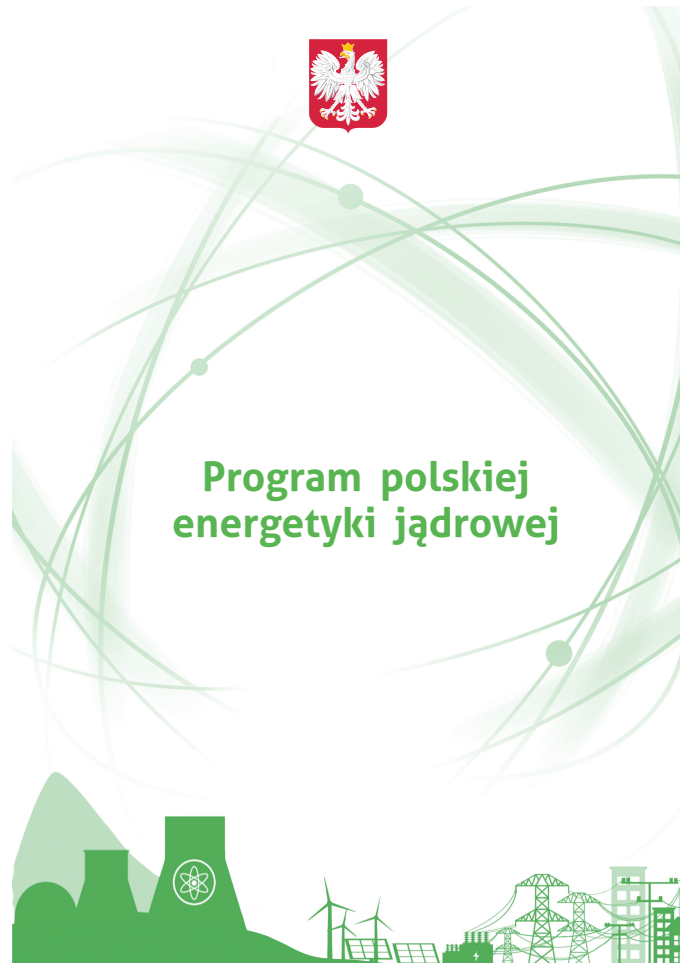


Możliwości wdrożenia wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych w Polsce

Raport: styczeń 2018



Raport Zespołu ds. analizy i przygotowania warunków
do wdrożenia wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych



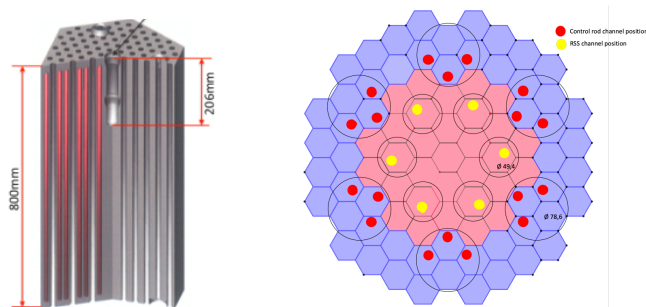
**5.10.2020 - uaktualnienie
PPEJ (lata 2020-2040;
pierwszy reaktor
energetyczny ok. roku 2033)**

**Kolejna ścieżka (biznes) -
małe reaktory modułarne
SMR do produkcji prądu i
ciepła Synthos Green
Energy itp. (2020-...)**

**Inna ścieżka (biznes) -
elektrownia PAK (Pątnów-
Adamów-Konin) z KHNP
(Korea). (2022)**

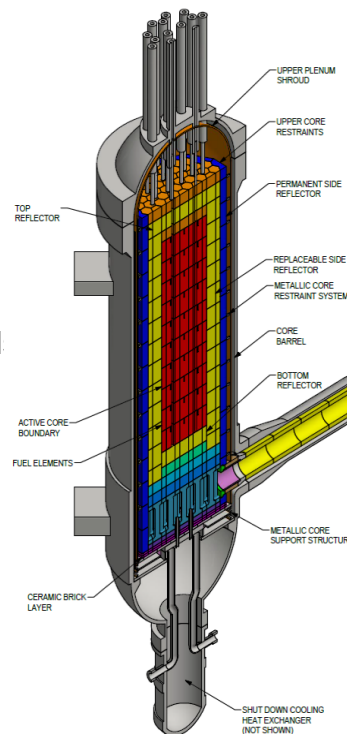
Polish, European and international context

- ❑ The strategy proposed by the Polish government on application of an HTGR system for providing process steam to industry
- ❑ The Nuclear Cogeneration Industrial Initiative (NC2I) is grouping at European level nuclear industry and R&D organisations supporting application of nuclear energy for industrial process heat supply
- ❑ International cooperation between NC2I, the US NGNP Industry Alliance, JAEA and KAERI
- ❑ The project GEMINI+, proposed by NC2I in Euratom H2020 programme, has been selected for funding
 - 3 years, 26 partners from EU (industry, R&D, TSO), US, Japan & Korea



Main results

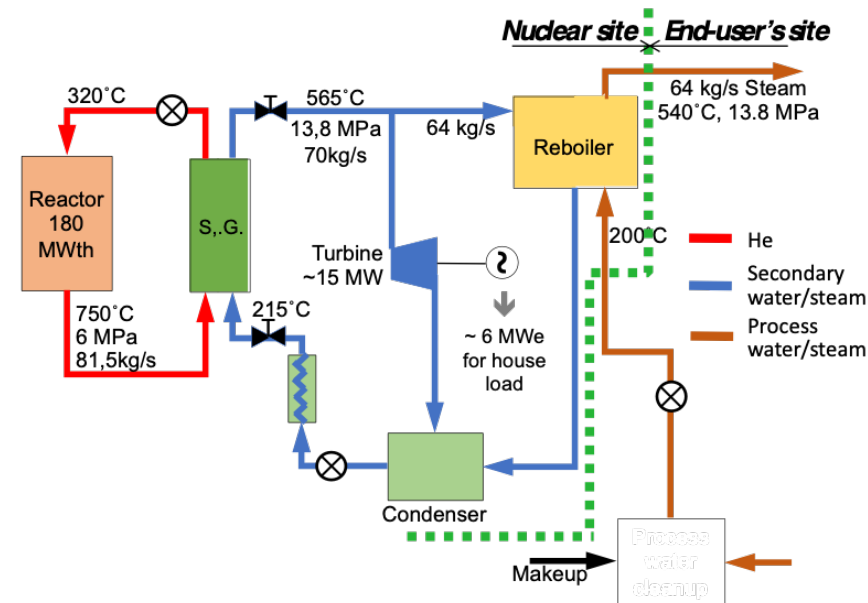
- ❑ A flexible standard design that can address versatile steam industry need
- ❑ A safety approach that fulfills present highest safety standards
- ❑ An identification of residual technology gaps
- ❑ A better understanding of industrial application needs, Importance of hydrogen for industrial applications
- ❑ An understanding of the integration of high temperature nuclear cogeneration systems in global or local energy systems



Objectives

GEMINI+ system has been designed to support an early demonstration of industrial nuclear cogeneration of electricity and steam in Poland using an inherently safe HTGR.

- ❑ To develop the design basis of a nuclear heat plant
 - for process heat needed by industry in Poland and Europe
 - that can become competitive with fossil fuel-fired plants
 - taking into account penalties on CO₂ emission
- ❑ To propose a licensing framework for such a nuclear system and its coupling with industrial process heat applications
- ❑ To prepare a full scale demonstration in Poland



**Projekt B+R GOSPOSTRATEG-HTR (GoHTR):
„Przygotowanie instrumentów prawnych, organizacyjnych i technicznych
do wdrażania reaktorów HTR ”
(Gospostateg1/385872/22/NCBR/2019)**



*Konsorcjum: Ministerstwo Klimatu i Środowiska,
NCBJ, Instytut Chemii i Techniki Jądrowej*

lata 2019-2022



NARODOWE
CENTRUM
BADAŃ
JĄDROWYCH
ŚWIERK



Ministerstwo
Klimatu i Środowiska



Finansowanie:



Narodowe Centrum
Badań i Rozwoju

Polski reaktor badawczy HTGR - motywacja do budowy.

- **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 powinien posiadać **jak najwięcej cech reaktora komercyjnego**, tak aby można było stosunkowo łatwo przeskalować go do wyższej mocy jednostki potrzebnej w przemyśle.

Skala inwestycji w reaktory HTGR w Polsce i na świecie

Poziom inwestycji	Typ reaktora (faza komercjalizacji)	Moc cieplna	Szacunkowa liczba bloków	Jednostkowy koszt budowy	Skala czasowa
I	Badawczy – NCBJ Świerk	10-30 MW	1	0,6-1,5 mld zł	2024 - 2028
IIPF	Prototyp FOAK (Nr 1)	180 MW	1	3,0 mld zł	2029 - 2033
IIF	FOAK (Nr 2,3,4,5,6) (First Of A Kind)	180 MW lub 2x180MW*	5	2,5 mld zł lub < 2,5 mld zł	2034 - 2040
IIN	NOAK (Nr 7, 8, 9, 10) (Next Of A Kind)	180 MW	4	1,8 mld zł	2040 - 2050
III	Seryjny – rynek polski	180-360 MW	10-20	1,8 – 3,0 mld zł	2040 - 2050
IV	Seryjny – rynek zewnętrzny	180-360 MW	Europa**	0,4 - 0,67 mld euro	2040 - 2050
			Świat**		

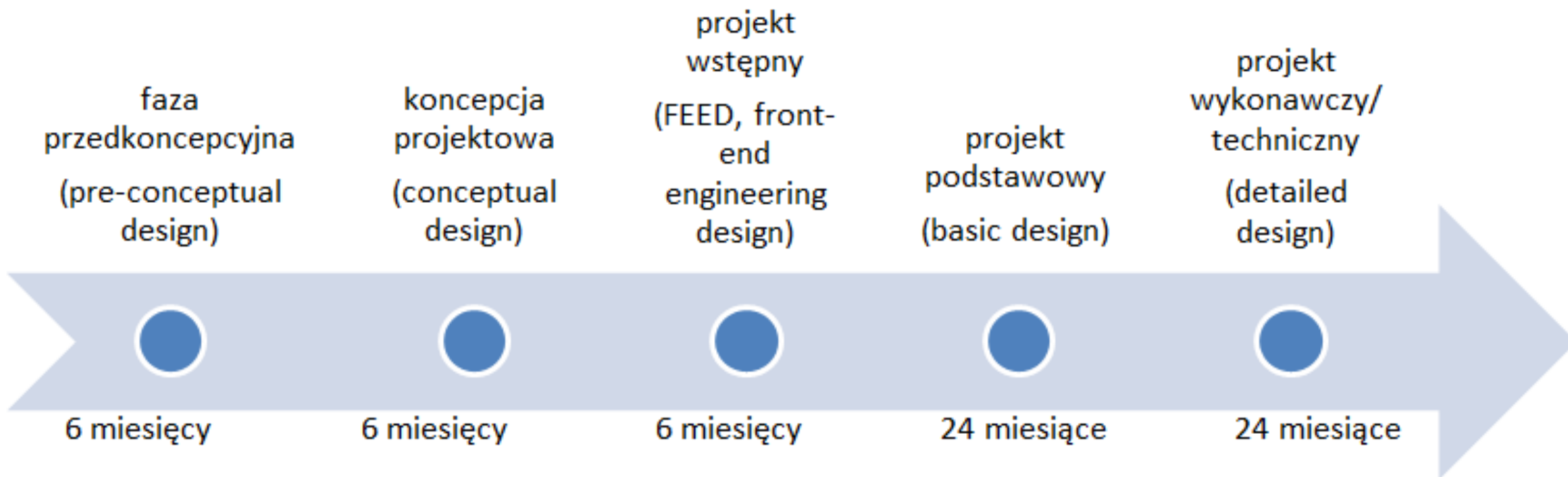
* możliwy “duo-blok”, czyli 2x180 MW w jednej lokalizacji, co obniży koszty

** przy szacowaniu ilości należy uwzględnić skalę konkurencji (liczby dotyczą potencjału istniejących instalacji wymagających ciepła procesowego)



- Dane w cenach lat 2020/21

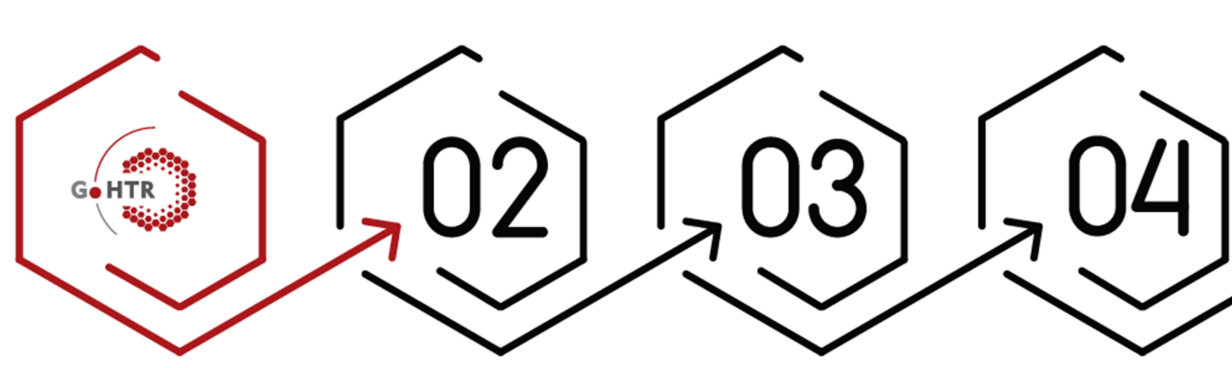
Fazy projektowania reaktora jądrowego



1. Fazy projektowania reaktora jądrowego (6+6+6+24+24=64m):
 - I. **wstępna koncepcja** projektu reaktora (pre-conceptual design) - zawiera podstawowe idee (6 m)
 - II. **koncepcja projektowa** (conceptual design) (6 m)
 - III. **projekt wstępny** (FEED, front-end engineering design) (6m),
 - IV. **projekt podstawowy** (basic design) (24 m),
 - IVa. **projekt budowlany** (building design) (równoległe, 24 m),
 - V. **projekt wykonawczy/techniczny** (detailed design) (24 m)
 - VI. **projekt powykonawczy** (as-built design) – do wykonania po zakończeniu robót budowlano-montażowych i niejądrowego etapu rozruchu (do dokumentacji odbiorowej).
2. Do uzyskania **pozwolenia na budowę** potrzebny jest projekt budowlany, a do uzyskania **zezwolenia Prezesa PAA** na budowę potrzebny jest projekt podstawowy oraz wstępny raport bezpieczeństwa (WRB). (najwcześniej po 36 miesiącach)

Projekt HTGR-POLA (projekt podstawowy reaktora)


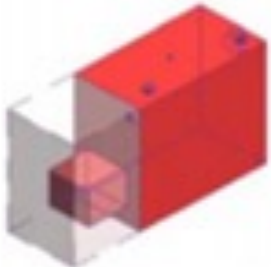



- **Kontrakt** Nr 1/HTGR/2021/14 pomiędzy NCBJ i Ministerstwem Edukacji i Nauki (MEiN) pt. “**Opis techniczny badawczego, wysokotemperaturowego reaktora jądrowego chłodzonego gazem HTGR**” podpisany 12 Maja 2021 w Świerku.
- Umowa przewiduje, że w ciągu trzech lat powstaną w Polsce warunki pod budowę 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



Cele projektu HTGR-POLA

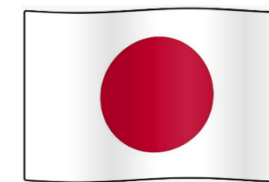
1. Przygotowanie **zaplecza laboratoryjnego** wraz z koniecznymi akredytacjami i systemem zarządzania jakością, niezbędnego do wykonywania prac badawczych **w procesie licencjonowania materiałów** dla technologii HTGR
2. **Wykonanie badań materiałów**, które mogą być wykorzystane do konstrukcji HTGR, pod kątem zgodności z wymogami technologii HTGR.
3. **Opracowanie projektu podstawowego reaktora HTGR** (podstawowy/koncepcyjny zgodnie z IAEA-TECDOC-881, Rys. 4.1, str. 36, LOD = Level Of Details zgodnie z BIM = Building Information Modeling; PN-EN ISO 19650 standard) – LOD minimum 200.
4. **Wykonanie symulacji** sprawdzających na potrzeby projektu i wstępnego raportu bezpieczeństwa HTGR zgodnie z wymaganiami Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 31 sierpnia 2012 r. (Dz. U. Poz. 1043).
5. **Przygotowanie wybranych elementów wstępnego raportu bezpieczeństwa (WRB)** dla HTGR zgodnych z Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 31 sierpnia 2012 r. w sprawie zakresu i sposobu przeprowadzania analiz bezpieczeństwa przeprowadzanych przed wystąpieniem z wnioskiem o wydanie zezwolenia na budowę obiektu jądrowego, oraz zakresu wstępnego raportu bezpieczeństwa dla obiektu jądrowego (Dz. U. poz. 1043).



LOD 100 Conceptual	LOD 200 Approximate geometry	LOD 300 Precise geometry	LOD 400 Fabrication	LOD 500 As-built
				
<p>The Model Element may be graphically represented in the Model with a symbol or other generic representation, but does not satisfy the requirements for LOD 200. Information related to the Model Element (i.e. cost per square metre, etc.) can be derived from other Model Elements.</p>	<p>The Model Element is graphically represented in the Model as a generic system, object, or assembly with approximate quantities, size, shape, location, and orientation.</p> <p>Non-graphic information may also be attached to the Model Element.</p>	<p>The Model Element is graphically represented in the Model as a specific system, object, or assembly accurate in terms of quantity, size, shape, location, and orientation.</p> <p>Non-graphic information may also be attached to the Model Element.</p>	<p>The Model Element is graphically represented in the Model as a specific system, object, or assembly that is accurate in terms of quantity, size, shape, location, and orientation with detailing, fabrication, assembly, and installation information.</p> <p>Non-graphic information may also be attached to the Model Element.</p>	<p>The Model Element is a field verified representation accurate in terms of size, shape, location, quantity, and orientation.</p> <p>Non-graphic information may also be attached to the Model Element.</p>



STRATEGICZNY PARTNER - JAEA, Japonia



Strategiczne Partnerstwo pomiędzy Rządem RP a Rządem Japonii na lata 2021-2025 umożliwia współpracę w obszarze HTGR pomiędzy **NCBJ a JAEA (Japońską Agencją Energii Atomowej)**.

Partnerstwo pozwala na **transfer wiedzy** i wsparcia do NCBJ zarówno na poziomie koncepcyjnym, jak i podstawowego projektu, w oparciu o doświadczenia japońskiego zespołu HTTR (High-Temperature Engineering Test Reactor).

Konsultacje propozycji projektowej JAEA z NCBJ w **poszukiwaniu najlepszej opcji** odpowiadającej wymaganiom polskiego rynku.

Reaktor wysokotemperaturowy HTTR w Japonii - pierwowzór polskiego reaktora badawczego w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Świerku



Moc reaktora	30 MWt
Temperatura - wyjście	950 C
Chłodziwo	hel
Uruchomienie	1998

Japoński Reaktor Eksperymentalny HTTR - przekrój

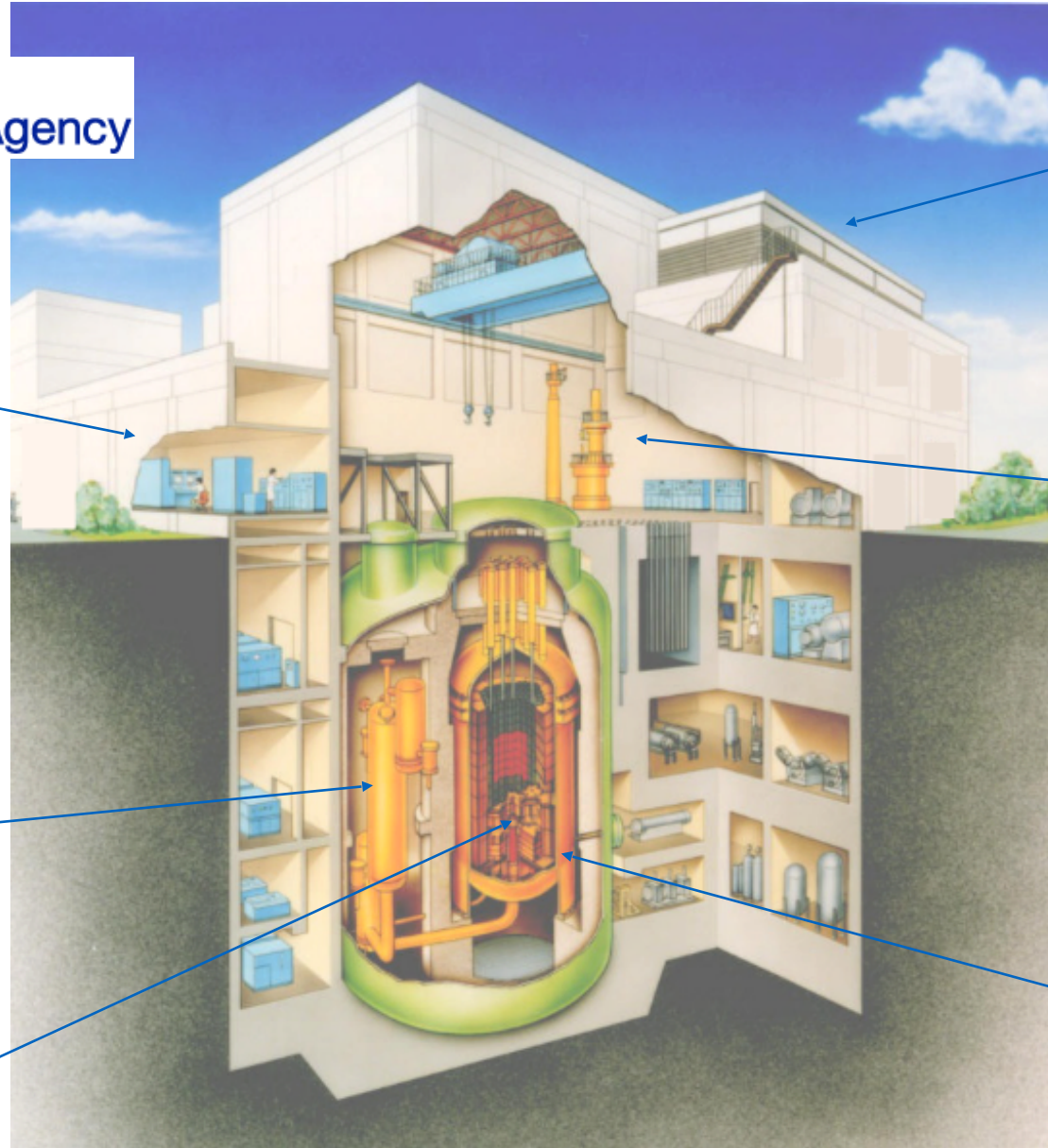


Japan Atomic
Energy Agency

Nastawnia

Wymiennik
ciepła

Rdzeń



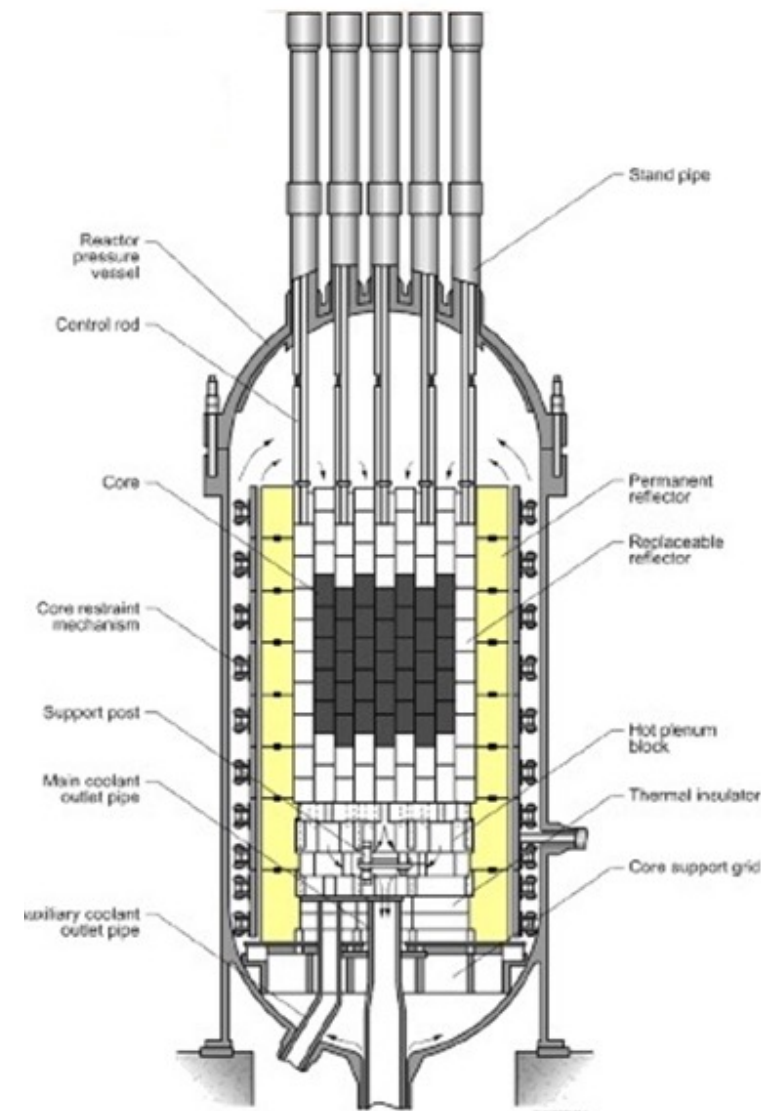
Chłodnia
sucha

Układ wymiany
paliwa

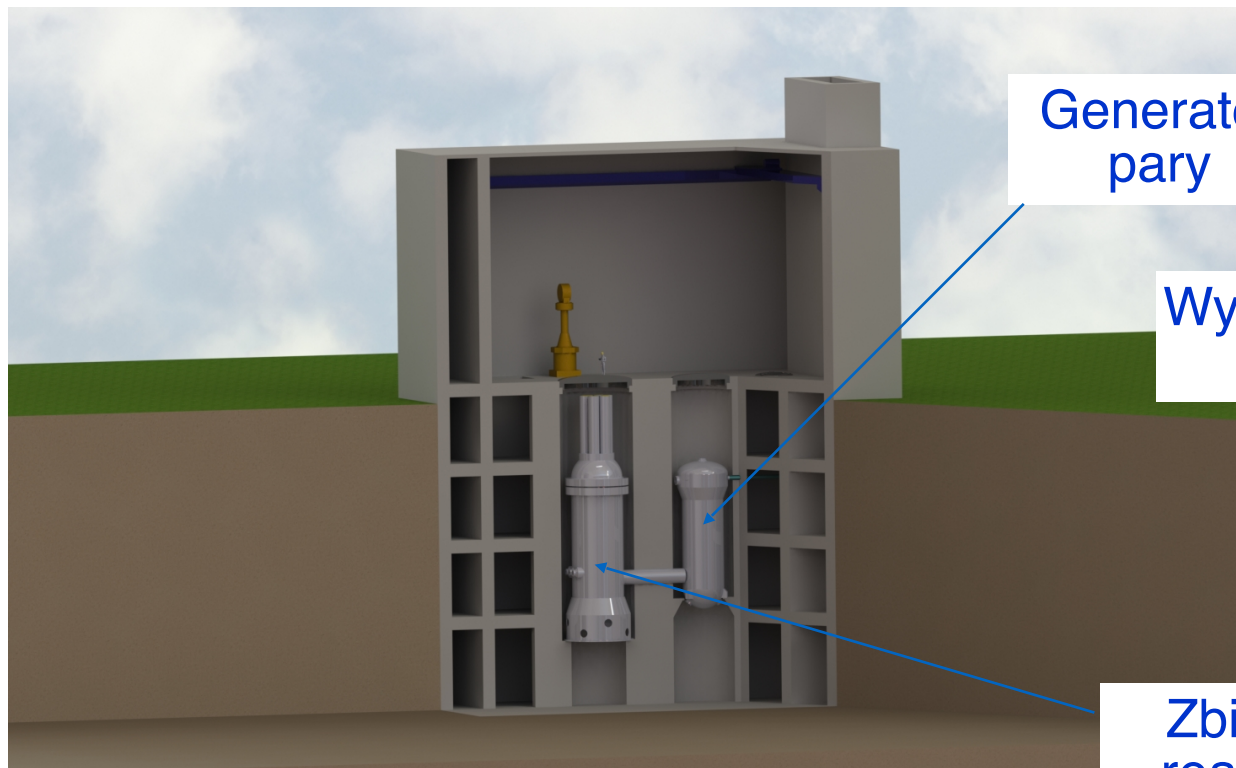
RPV - obudowa
reaktora

Schemat zbiornika reaktora HTTR

Moc reaktora	30 MWt
Moderator/reflektor	Grafit
Średnica rdzenia	2.3 m
Wysokość rdzenia	2.9 m
Chłodziwo	Hel
Ilość bloków paliwa	150
Ilość kolumn paliwowych (5 bloków paliwa w każdej kolumnie)	30



Polski projekt HTGR-POLA

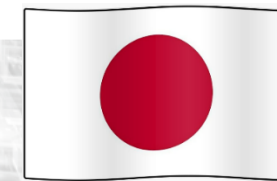
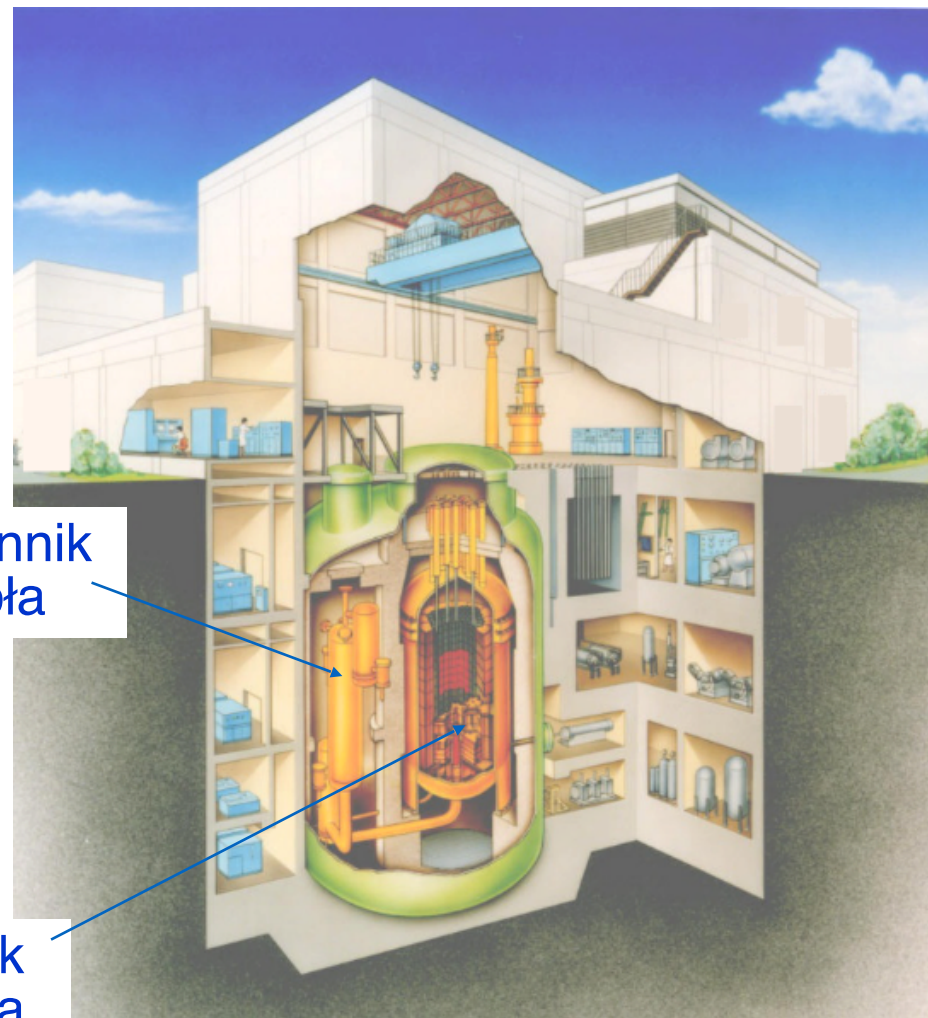


Generator pary

Wymiennik ciepła

Zbiornik reaktora

Japoński reaktor HTTR



www.ncbj.gov.pl

HTGR-POLA

Reaktor MARIA:
30 MW_{th}

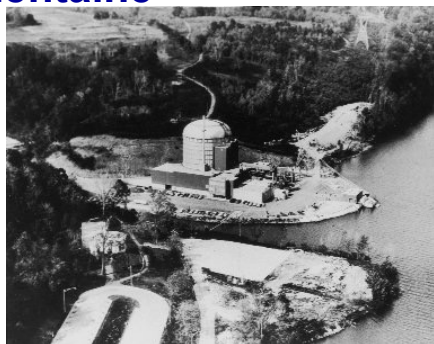
Kampus - Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Świerk

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

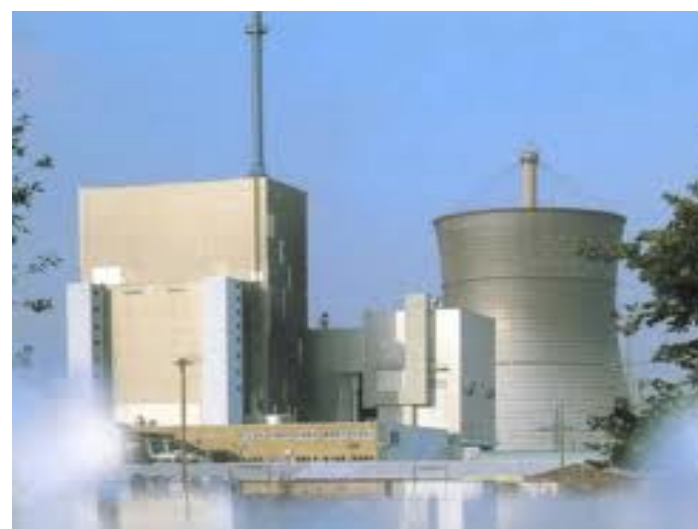


HTTR, Japonia
30 MWt
1998 - dzisiaj

▶ Prototypy przemysłowe



Fort Saint-Vrain, USA
300 MWe
1976-89



THTR, Niemcy
300 MWe
1986-89



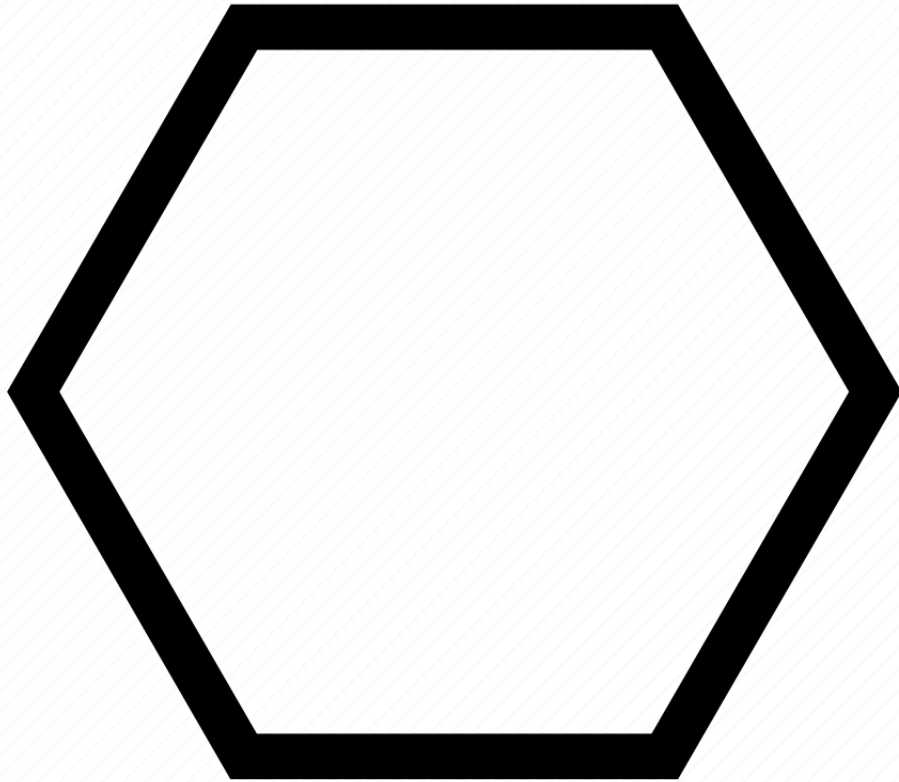
HTR-PM, Chiny
2 x 106 MWe
09/2021; w sieci od
6.12.2023

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

Reaktor HTGR-POLA - sześciokątne bloki jak tzw. trylinka

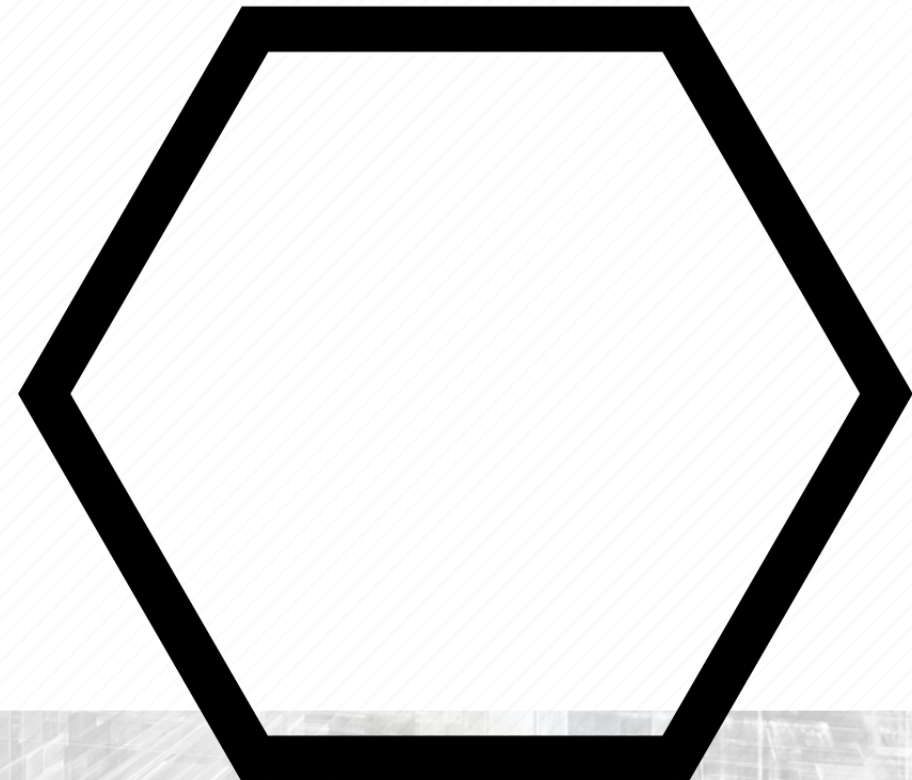
HTGR - 20,78 cm



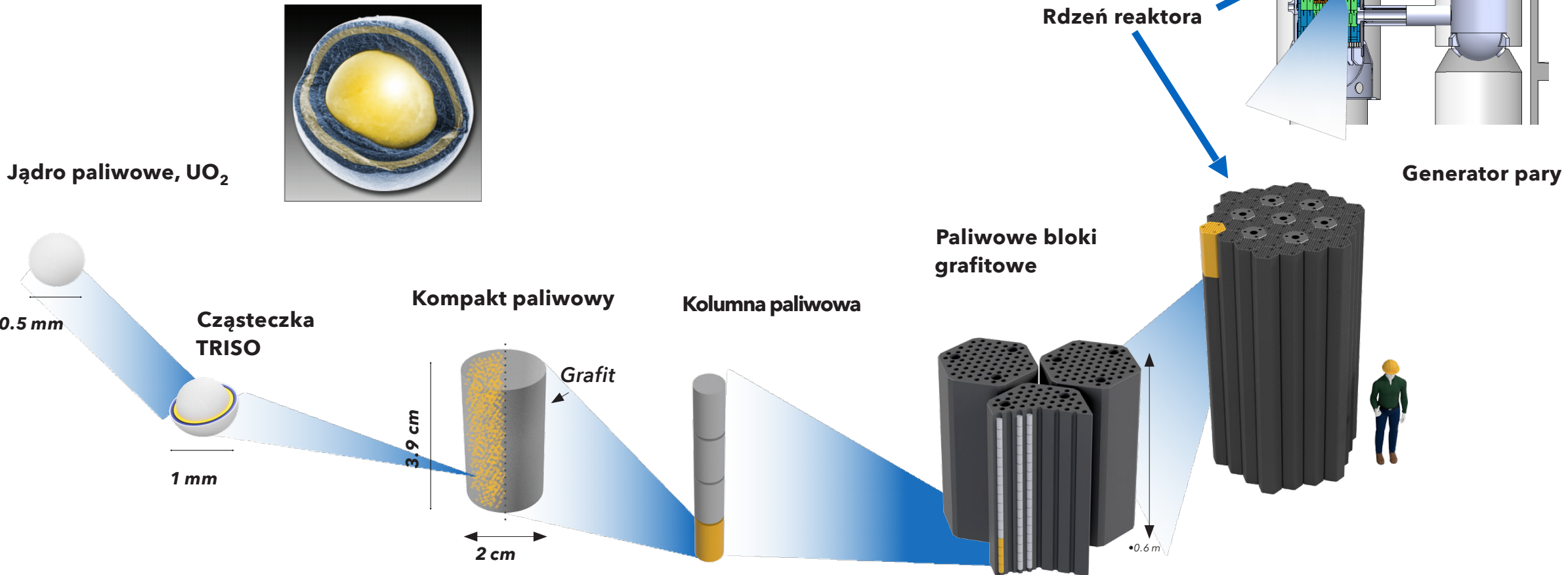
**Patent nawierzchni dróg:
inż. Władysław Tryliński (1933)**

https://pl.wikipedia.org/wiki/W%C5%82adys%C5%82aw_Tryli%C5%84ski

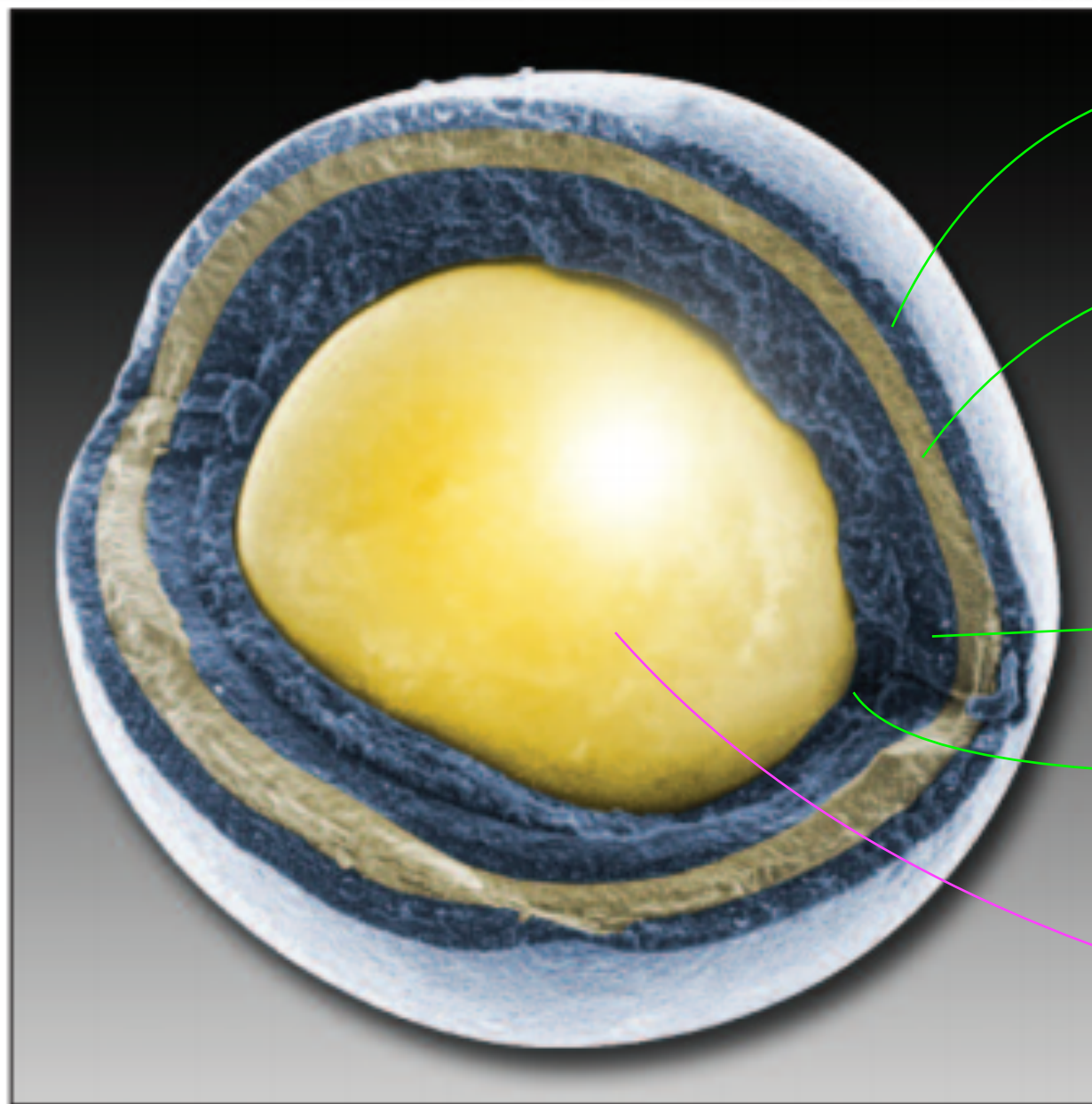
Trylinka - 20,00 cm



Główne elementy reaktora badawczego HTGR-POLA



Cząsteczka paliwa TRISO - pierwsza bariera bezpieczeństwa reaktora HTGR-POLA



Zewnętrzna powłoka
pyrolitycznego węgla
(grafitu) PyC (0,045 mm)

Wewnętrzna warstwa
węglika krzemu SiC
(karborundu) (0,025 mm)

Wewnętrzna warstwa
pyrolitycznego węgla
(grafitu) PyC (0,06 mm)

Warstwa porowatego
węgla pyrolitycznego
(grafitu) PyC (0,03 mm)

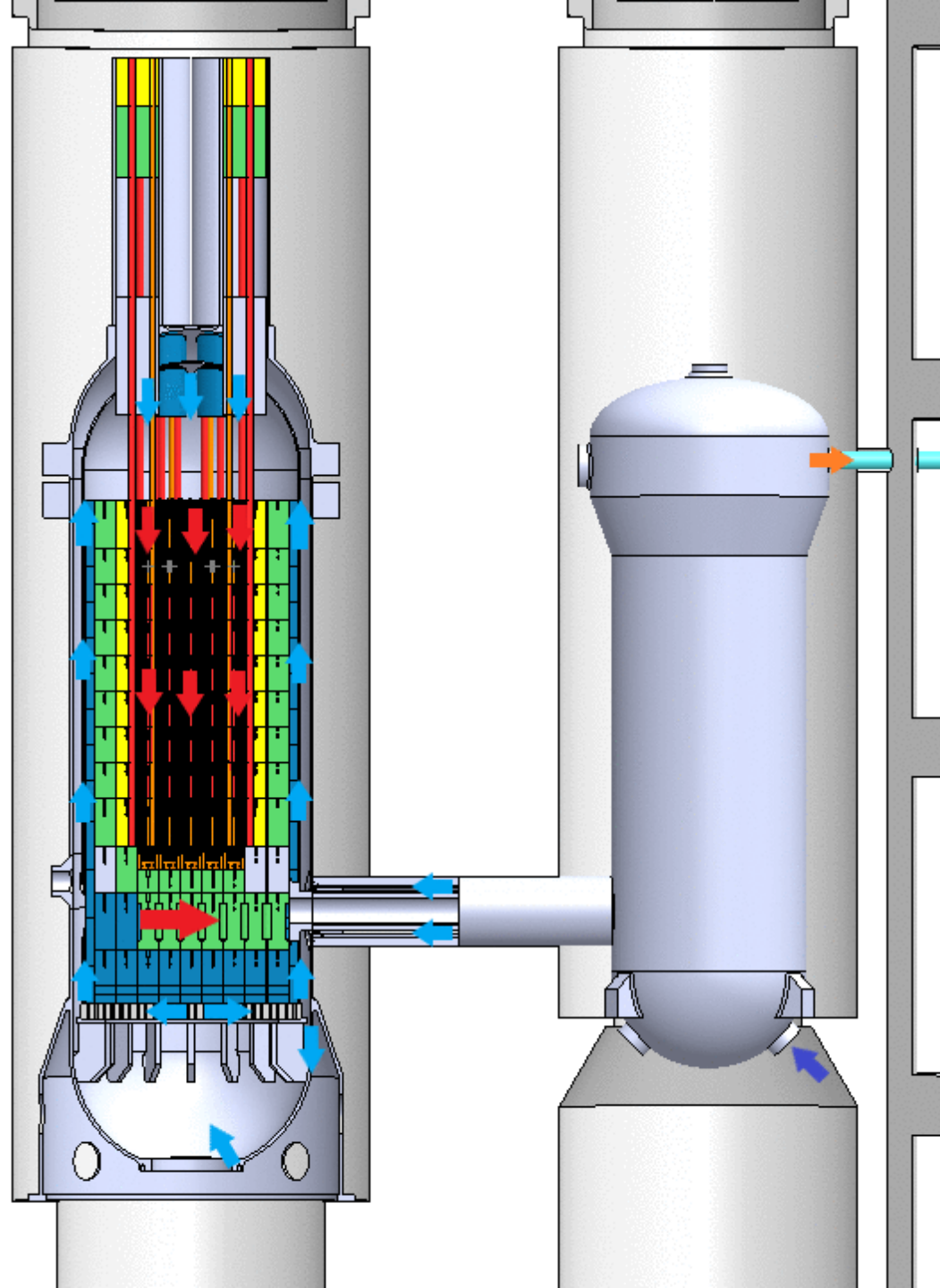
Jądro cząstki TRISO,
wzbogacony uran w
postaci UO₂ lub UCO
($r = 0,3$ mm)

średnica cząstki 0,92 mm

Budynek reaktora HTGR-POLA



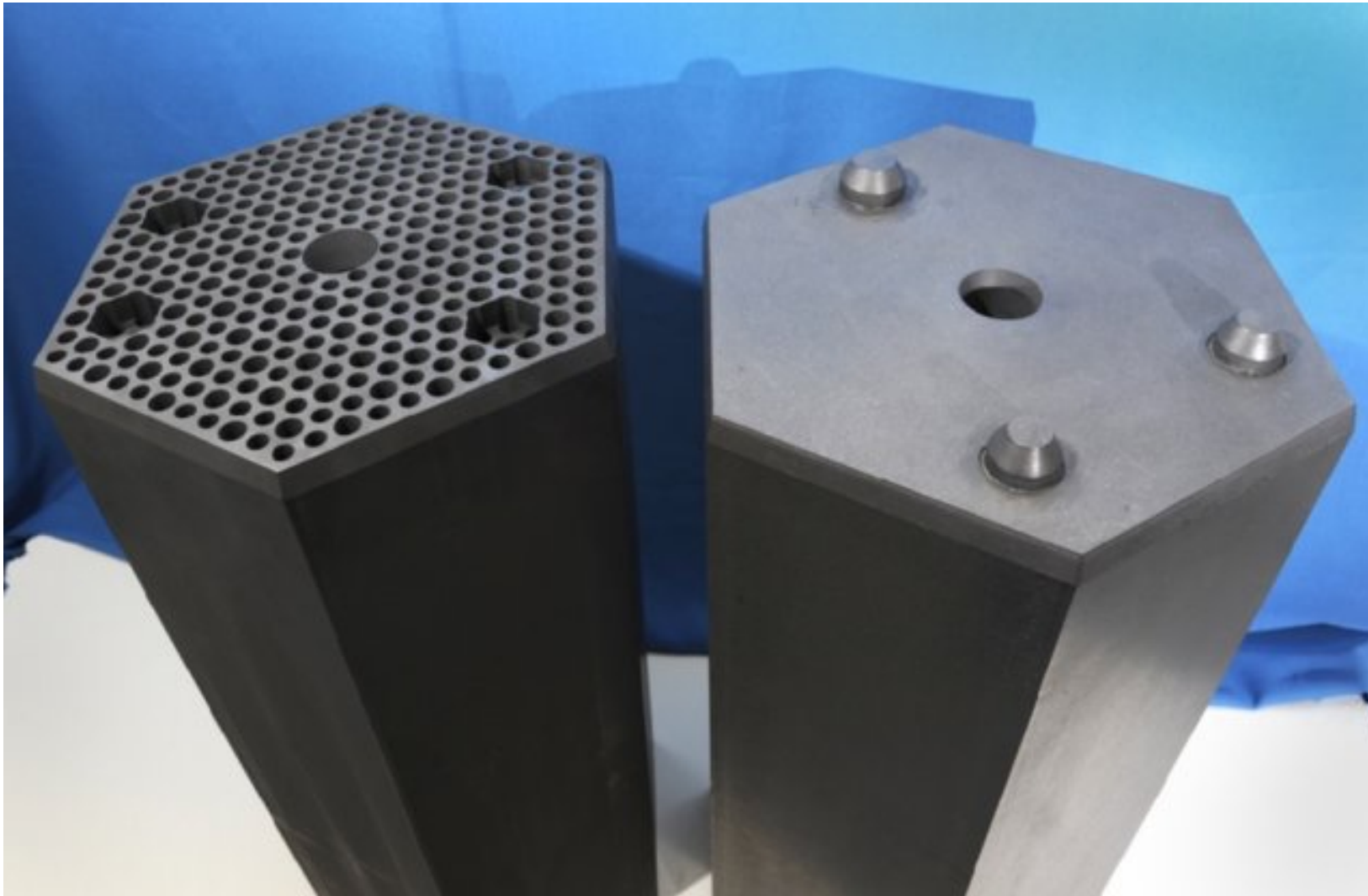
HTGR-POLA:
Przepływ
chłodziwa
(hel) przez
rdzeń
reaktora (z
lewej) oraz
wody/pary w
generatorze
pary (z
prawej)



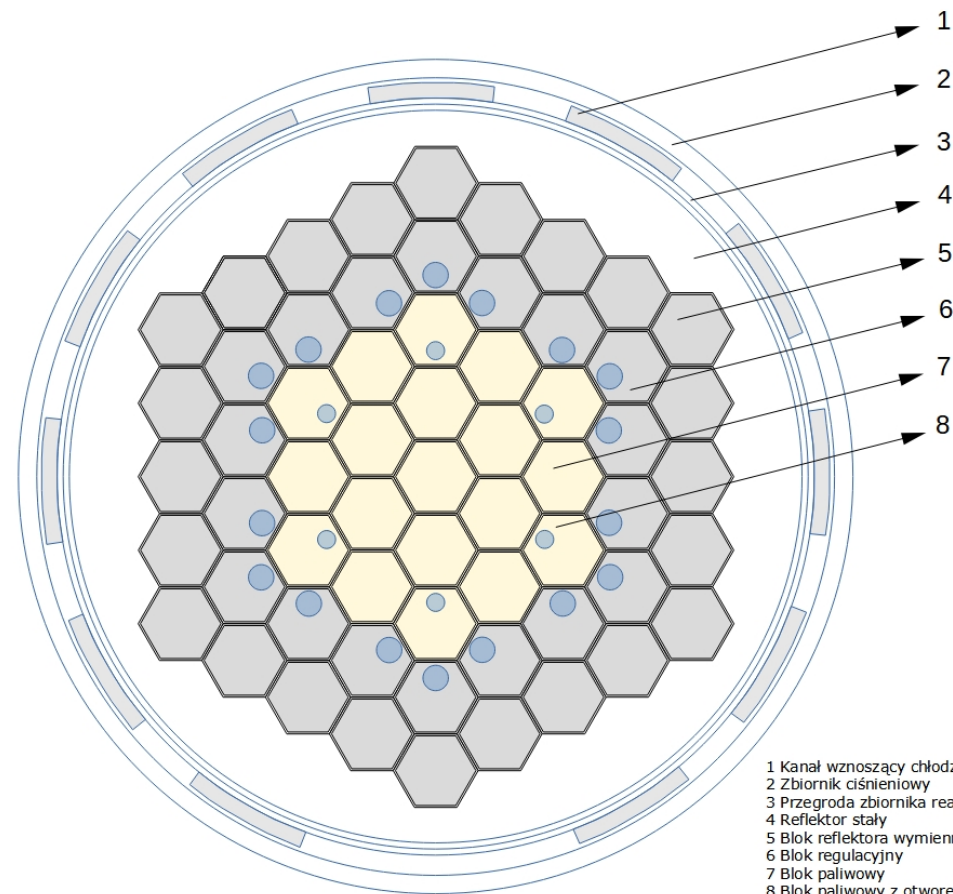
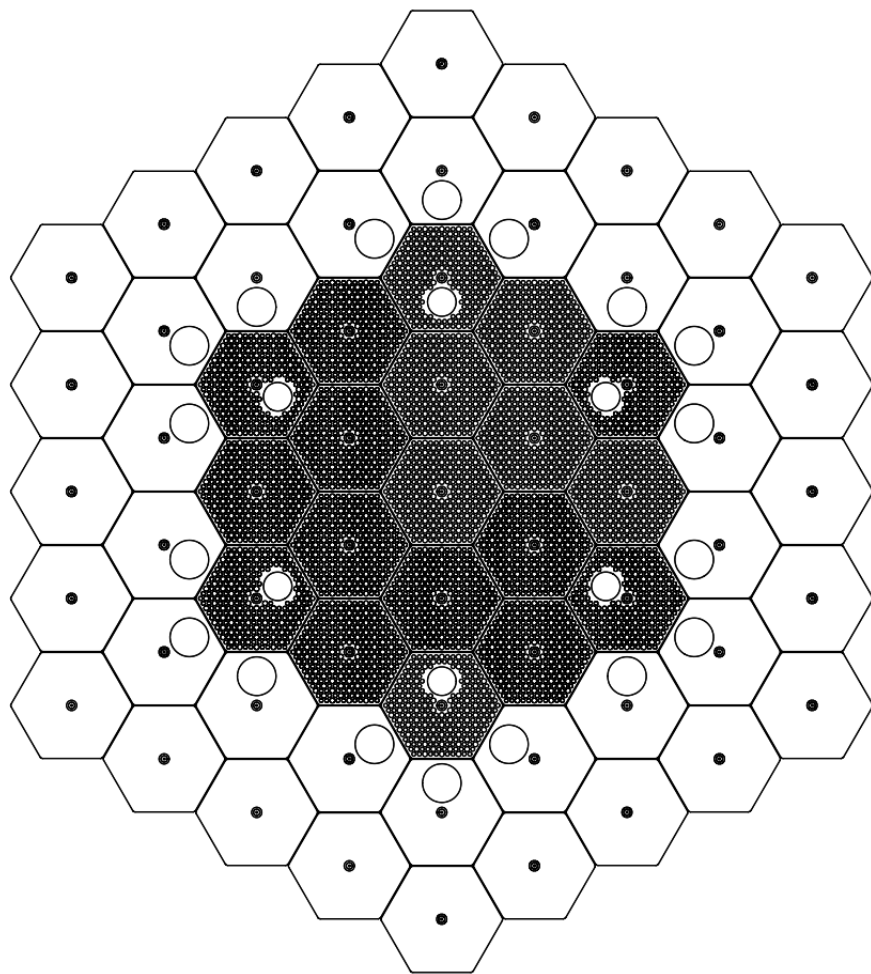
HTGR-POLA:

Blok paliwowy

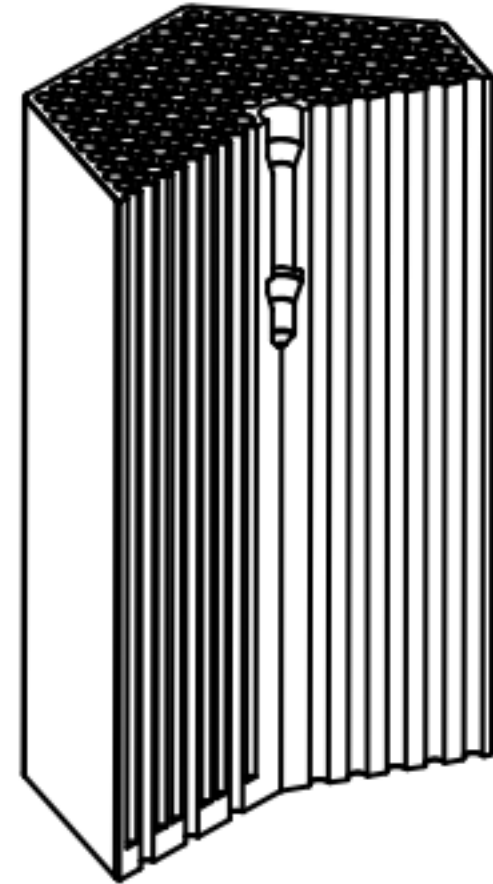
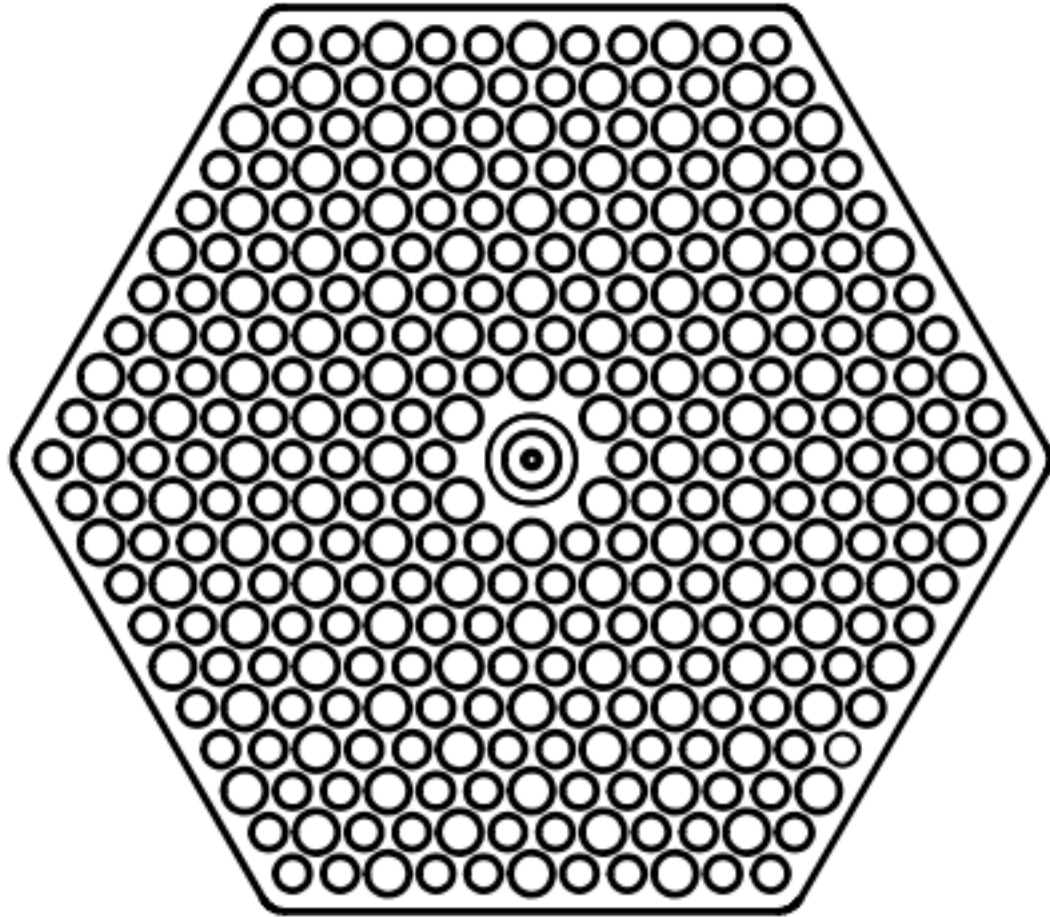
Blok reflektora



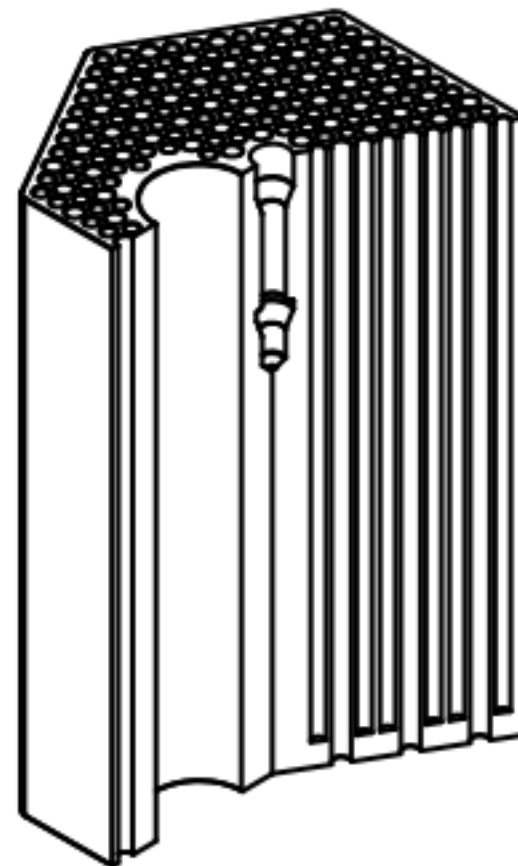
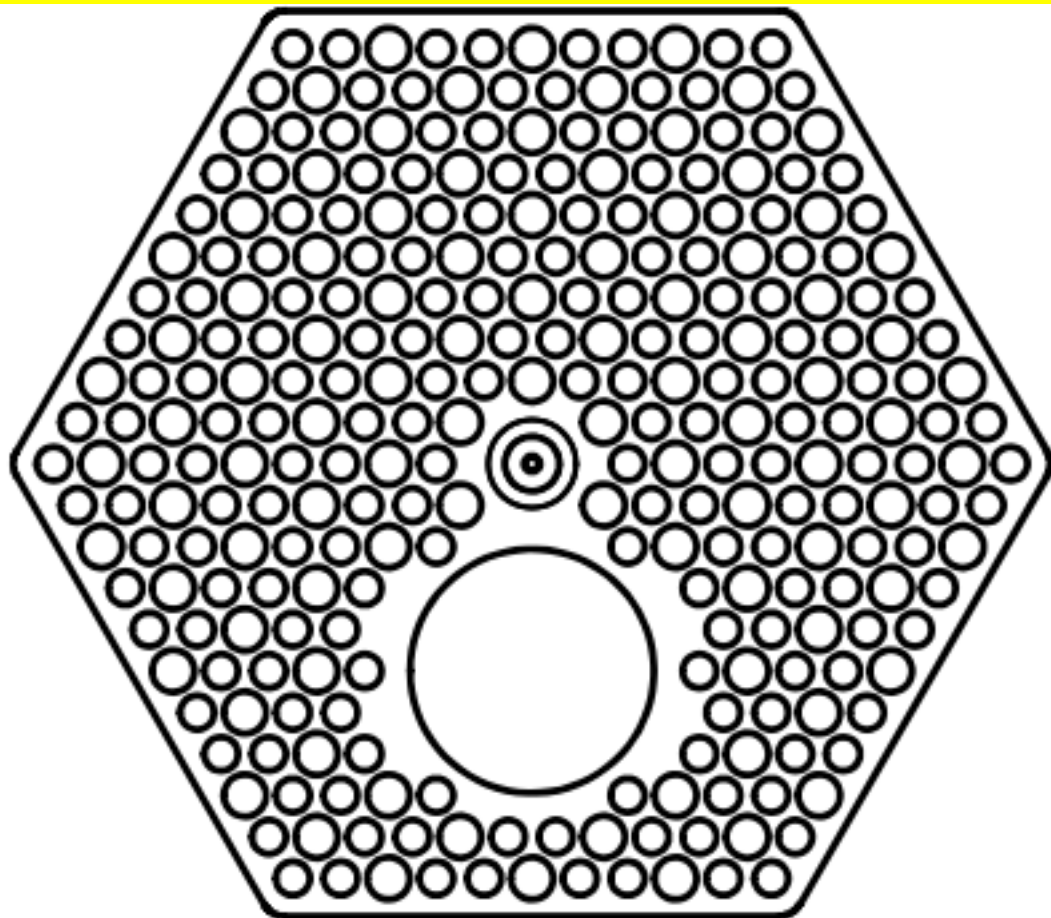
HTGR-POLA: przekrój poprzeczny rdzenia



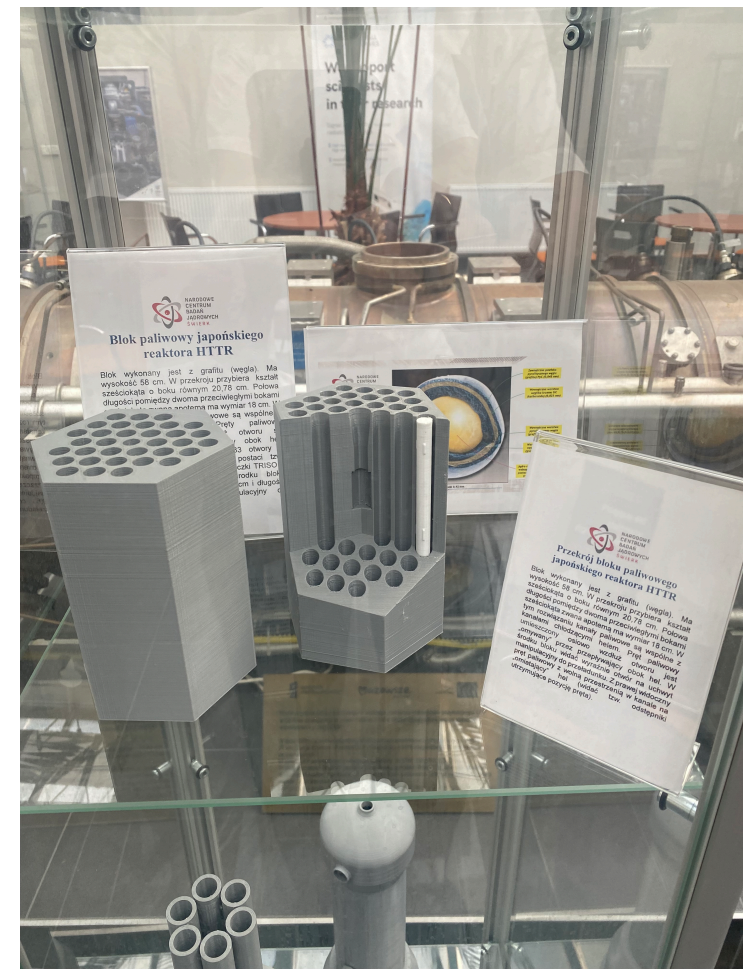
HTGR-POLA: grafitowy blok paliwowy



HTGR-POLA: grafitowy blok paliwowy z prętem kontrolnym



Wystawa modeli 3-D, HTGR-POLA: 10.10-30.11.2023, Świerk



Pomysł i nadzór nad przygotowaniem modeli: mgr inż. Maciej Skrzypek
Wykonanie modeli, wydruk 3D: mgr inż. Michał Latuszek, mgr inż. Daniel Więcek
Opis modeli i komentarze: prof. Mariusz Dąbrowski, mgr inż. Maciej Skrzypek

Misja reaktora:

1. Testowanie zastosowań przemysłowych;
2. Badania materiałowe (materiały konstrukcyjne i grafit);
3. Monitorowanie i doskonalenie funkcji bezpieczeństwa (walidacja kodów, wsparcie dla regulatora (PAA) itp.);
4. Badania i testy paliw TRISO;
5. Budowanie kompetencji (projektowanie, licencjonowanie, zarządzanie łańcuchem dostaw, budowa, eksploatacja – szkolenie personelu, inspekcja itp.);
6. Poszukiwanie nowych metod wytwarzania radiofarmaceutyków.

Funkcja eksperymentalna:

1. Testy instalacji przemysłowych w małej i mikroskali (próby podłączenia do reboilera);
2. Badania efektywności magazynowania i odzysku ciepła w specjalnym buforze;
3. Potencjalne podłączenie do instalacji produkcji wodoru lub innego procesu użytkowego;
4. Opracowanie koncepcji i eksperymenty związane z integracją reaktora z OZE.

Podstawowe założenia koncepcyjne HTGR-POLA (30 MWt)

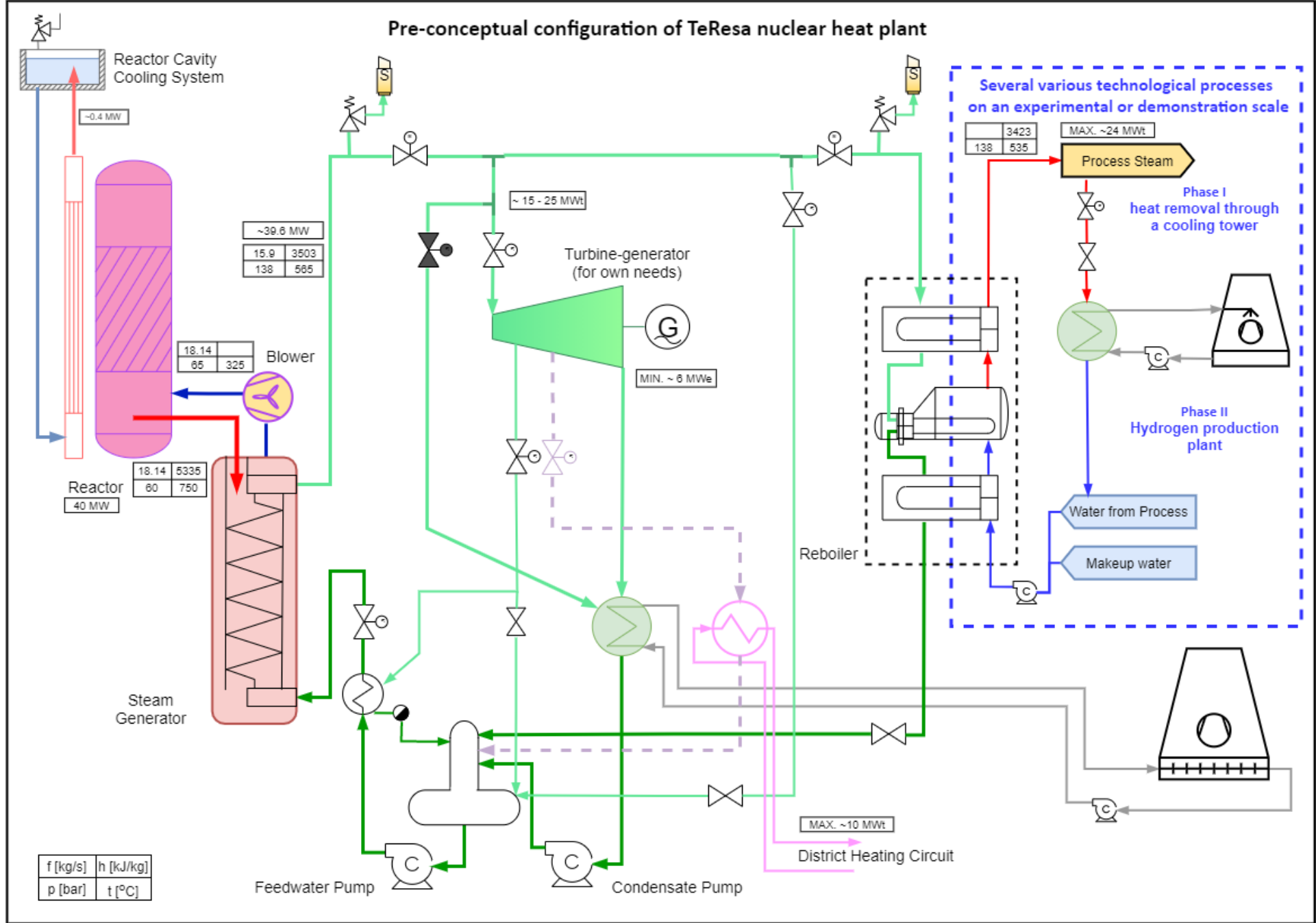
Funkcja badawcza:

1. Testy pasywnego bezpieczeństwa;
2. Badania bezpieczeństwa eksploatacji w normalnych i symulowanych warunkach awaryjnych;
3. Badania materiałów i komponentów w wysokiej temperaturze i silnym strumieniu neutronów;
4. Walidacja kodów specyficznych dla HTGR;
5. Wsparcie polskiego regulatora (PAA) w zakresie przyszłego licencjonowania projektu reaktora komercyjnego;
6. Badania paliwa TRISO w całym cyklu życia;
7. Poszukiwanie nowych metod produkcji radiofarmaceutyków w HTGR.

Funkcja użytkowa (najważniejsza dla kogeneracji w przemyśle):

1. Wytwarzanie ciepła wysokotemperaturowego w postaci pary dla technologii demonstracyjnej zakładów przemysłowych poprzez sprzęgnięcie z reboilerem/wymiennikiem ciepła stanowiącym fizyczną barierę pomiędzy HTGR a instalacją przemysłową;
2. Produkcja energii elektrycznej na potrzeby własne HTGR oraz NCBJ (np. zapotrzebowanie dla superkomputera CIŚ i reaktora „Maria” itp.);
3. Produkcja ciepła na potrzeby komunalne NCBJ (ciepła woda użytkowa, ciepła woda w sieci ciepłowniczej) na różne cele technologiczne instalacji badawczo-produkcyjnych NCBJ (np. produkcja wody lodowej w instalacjach adsorpcyjnych kompresyjnych).

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)

Reaktory HTGR - własności i zalety

- produkcja pary o temp. 550°C (drugi obieg) typowej dla potrzeb instalacji chemicznych (np. synteza amoniaku)
- chłodzenie (obojętnym chemicznie i radiacyjnie) helem o temp. na wyjściu z reaktora 750°C
- zastosowanie odpornego na wysoką temperaturę paliwo TRISO
- inherentne/pasywne/samoczynne/naturalne bezpieczeństwo
- w wypadku awarii chłodzenie za pomocą procesów naturalnych (przewodzenie i wypromieniowanie ciepła)
- brak możliwości uszkodzenia (stopienia) rdzenia, nie wymaga strefy wykluczenia wokół reaktora
- możliwa konstrukcja modułowa (typu SMR) reaktora i instalacji konwersji energii

Kluczowy element samoczynnego bezpieczeństwa HTGR - **ujemny** współczynnik temperaturowy reaktywności

$$\text{HTGR: } \alpha = \Delta\rho/\Delta T < 0$$

Wzrost temperatury w reaktorze ($\Delta T > 0$) → **Spadek reaktywności** ($\Delta\rho < 0$) → Natychmiastowa stabilizacja mocy (czyli stabilna praca reaktora) i spadek temperatury → **Stabilizacja mocy reaktora** na poprzednim poziomie

W przypadku RBMK (Czarnobyl) inny scenariusz: $\alpha = \Delta\rho/\Delta T > 0$

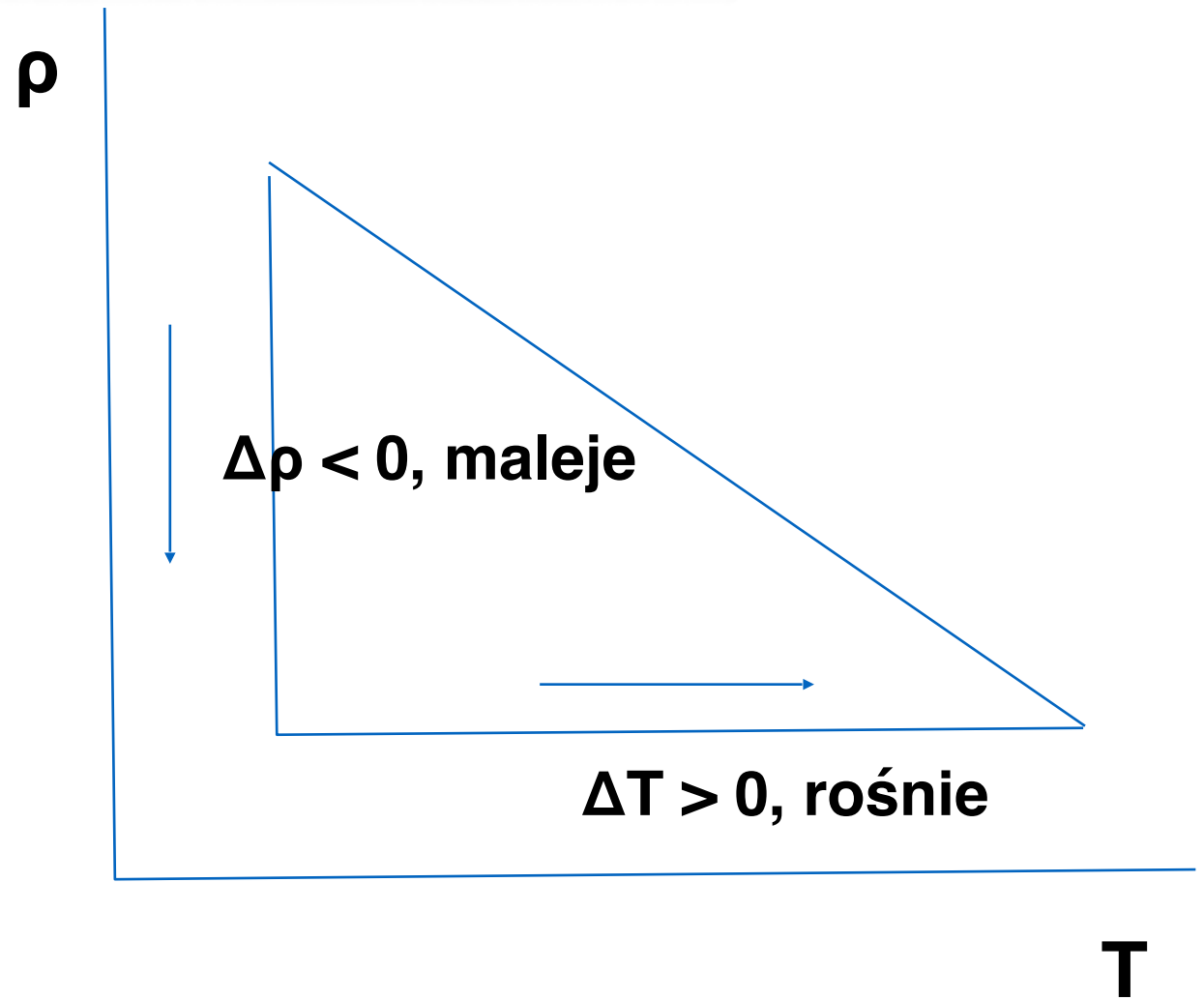
Wzrost temperatury ($\Delta T > 0$) → **Wzrost reaktywności** ($\Delta\rho > 0$) → Wzrost mocy → Dalszy wzrost temperatury → **Destabilizacja reaktora**

Wykonane obliczenia wykazały, iż dla HTGR-POLA $\alpha < 0$, zawsze.

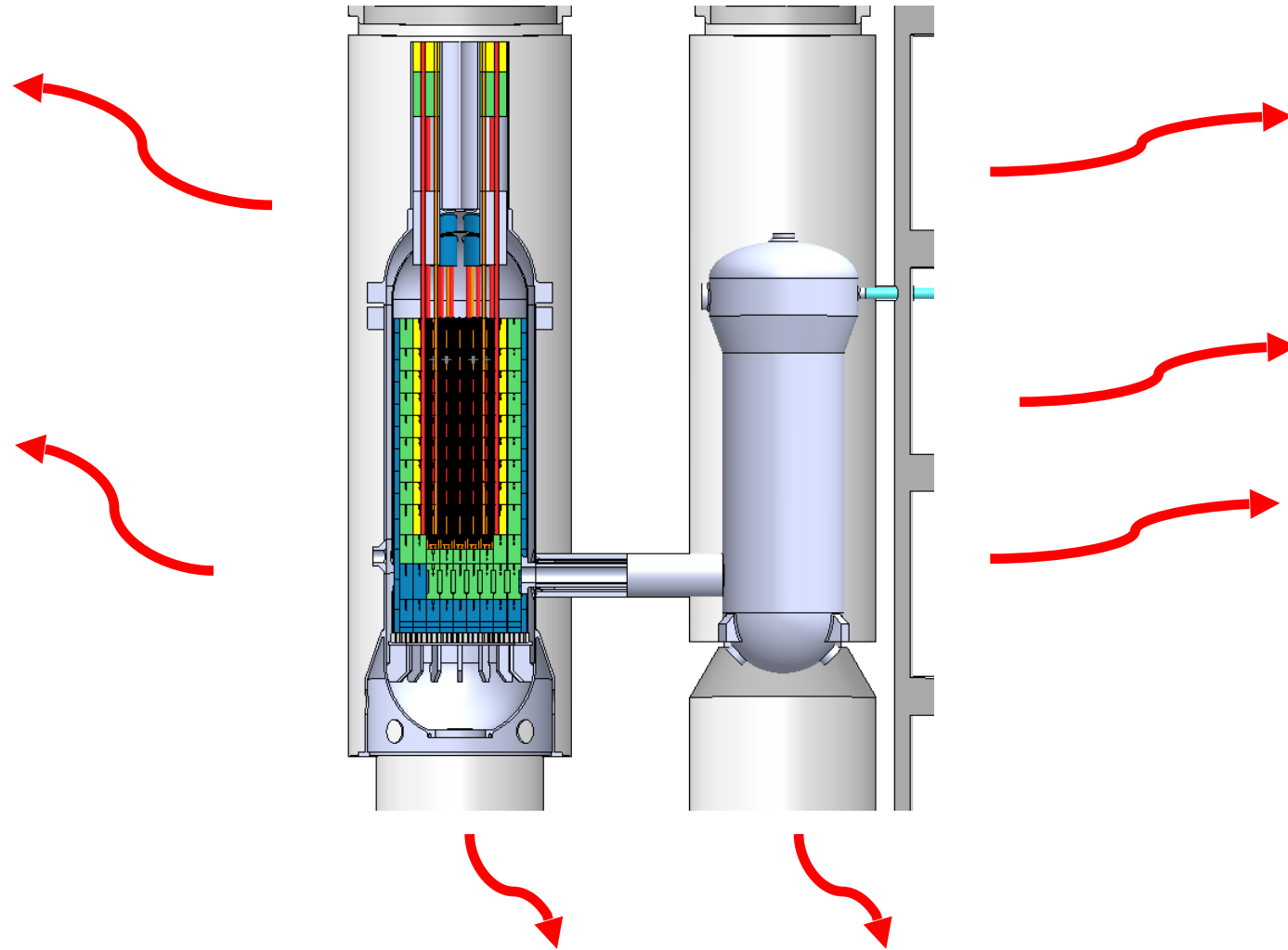
Zastosowanie PRAW FIZYKI.

Przy niekontrolowanym wzroście temperatury - ustaje samopodtrzymująca się reakcja łańcuchowych rozszczepień.

1. Zmniejszanie się przekrojów czynnych na rozszczepienie;
2. Efekt Dopplera, większe pochłanianie neutronów przez materiały reaktora przy wzroście temperatury;
3. Rozszerzające się pod wpływem temperatury materiały (TRISO i grafit) pochłaniają mniej neutronów - spada reaktywność.
4. Następuje wygaszenie reaktora.



Kluczowy element bezpieczeństwa HTGR - samoczynne/pasywne/ naturalne wypromieniowanie ciepła do otoczenia



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 31.05.2024</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 \(2022\)](#)

** Obecnie w ocenie eksperckiej Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (IAEA) w Wiedniu

Dziękuję za uwagę!

Kontakt:
mariusz.dabrowski@ncbj.gov.pl



NARODOWE
CENTRUM
BADAŃ
JĄDROWYCH
ŚWIERK

www.ncbj.gov.pl

Finansowanie:



Ministerstwo
Edukacji i Nauki

Nadzór merytoryczny:



Ministerstwo
Klimatu i Środowiska