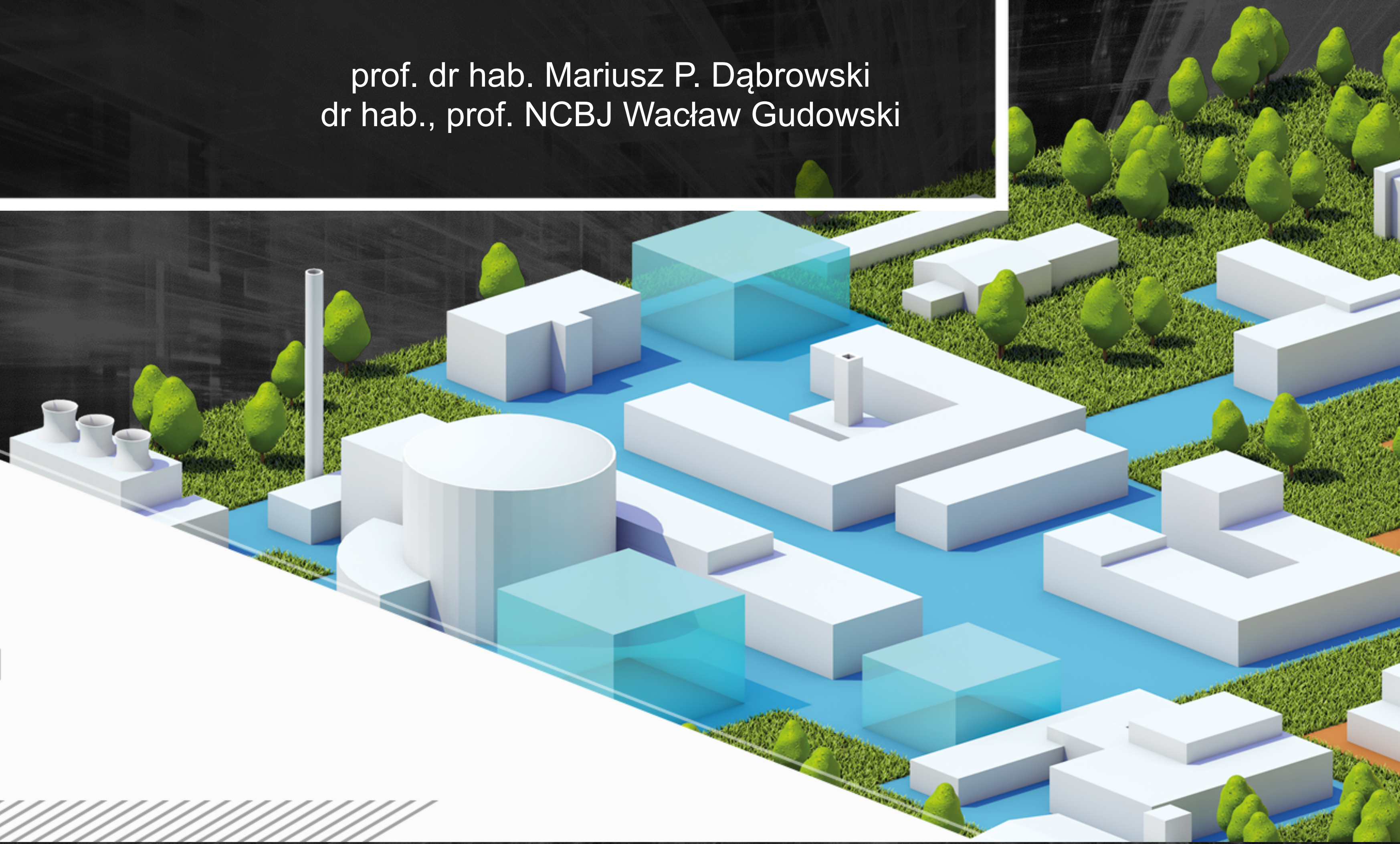


Podstawowe informacje na temat technologii reaktorów wysokotemperaturowych HTGR oraz ich zastosowań

prof. dr hab. Mariusz P. Dąbrowski
dr hab., prof. NCBJ Wacław Gudowski



**NARODOWE
CENTRUM
BADAŃ
JĄDROWYCH
ŚWIERK**



1. Reaktory wysokotemperaturowe - nie tylko produkcja prądu ale także wykorzystanie ciepła, czyli **kogeneracja jądrowa**

Współczesne 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

Ale reaktory jądrowe mogą też pracować w reżimie tzw. kogeneracji jądrowej - wykorzystuje się wtedy i ciepło, i prąd generowany w reaktorze, Czyli mamy bezemisyjną (brak CO₂) generacja zarówno ciepła jak i prądu elektrycznego. Ciepło może być użyte **dla procesów przemysłu chemicznego, paliwowego lub do celów komunalnych** (np. do ogrzewania mieszkań).

Ciepło wytwarzane w działających obecnie reaktorach jądrowych 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 500 °C, a nawet do ok. 1000 °C).

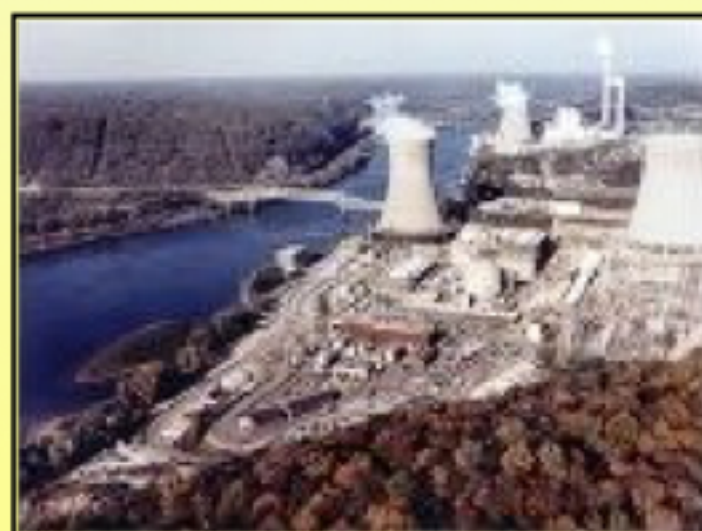
Ciepło o wystarczająco wysokich temperaturach wytwarzają **reaktory nowej IV generacji** – tzw. reaktory wysokotemperaturowe (z ang. High Temperature Reactors – HTR lub High Temperature Gas-cooled Reactors - HTGR, jeśli są chłodzone gazem).

Generacje I-IV reaktorów jądrowych

Rozwój energetyki jądrowej

Generacja I

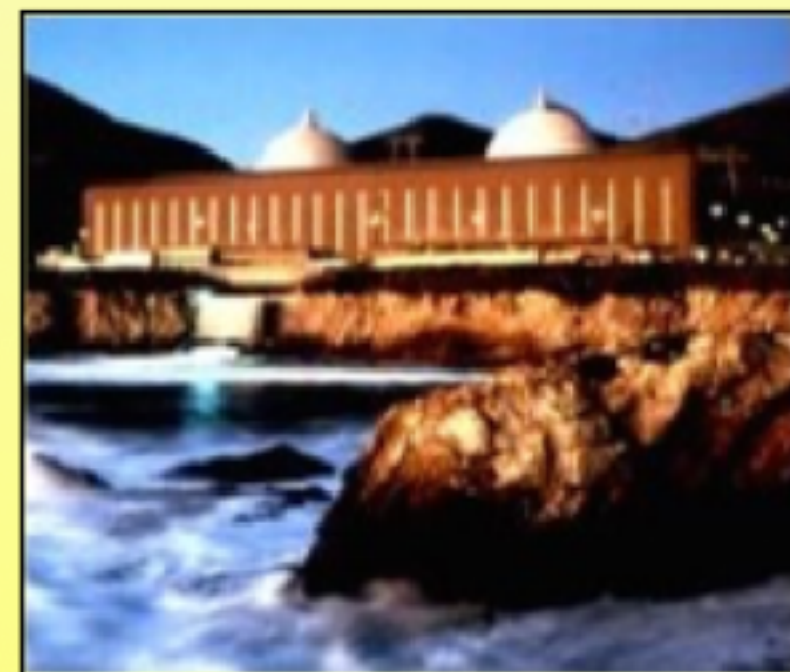
Wczesne prototypy reaktorów



- Shippingport
- Dresden, Fermi I
- Magnox

Generacja II

Reaktory budowane komercyjnie



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

Generacja III

Zaawansowane LWR-y



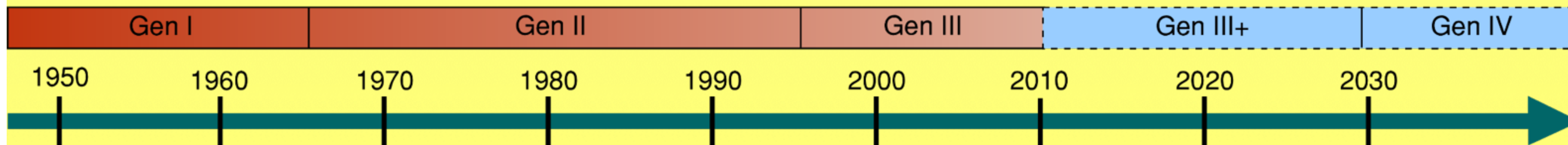
- ABWR
- System 80+
- AP600
- EPR

Reaktory obecnie budowane

Generacja III+
Ewolucyjny rozwój reaktorów
Bardziej ekonomiczne i bezpieczniejsze reaktory

Generacja IV

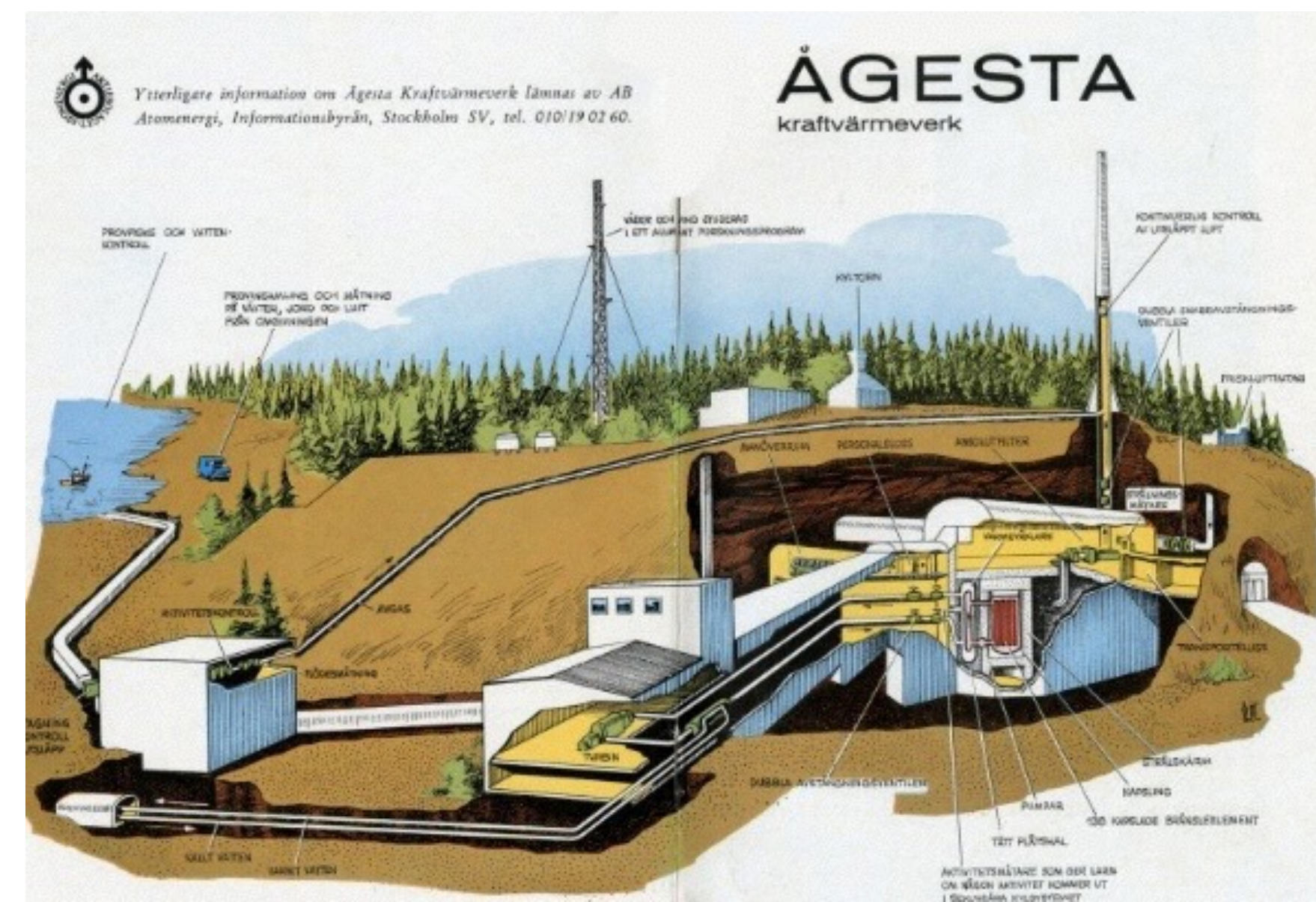
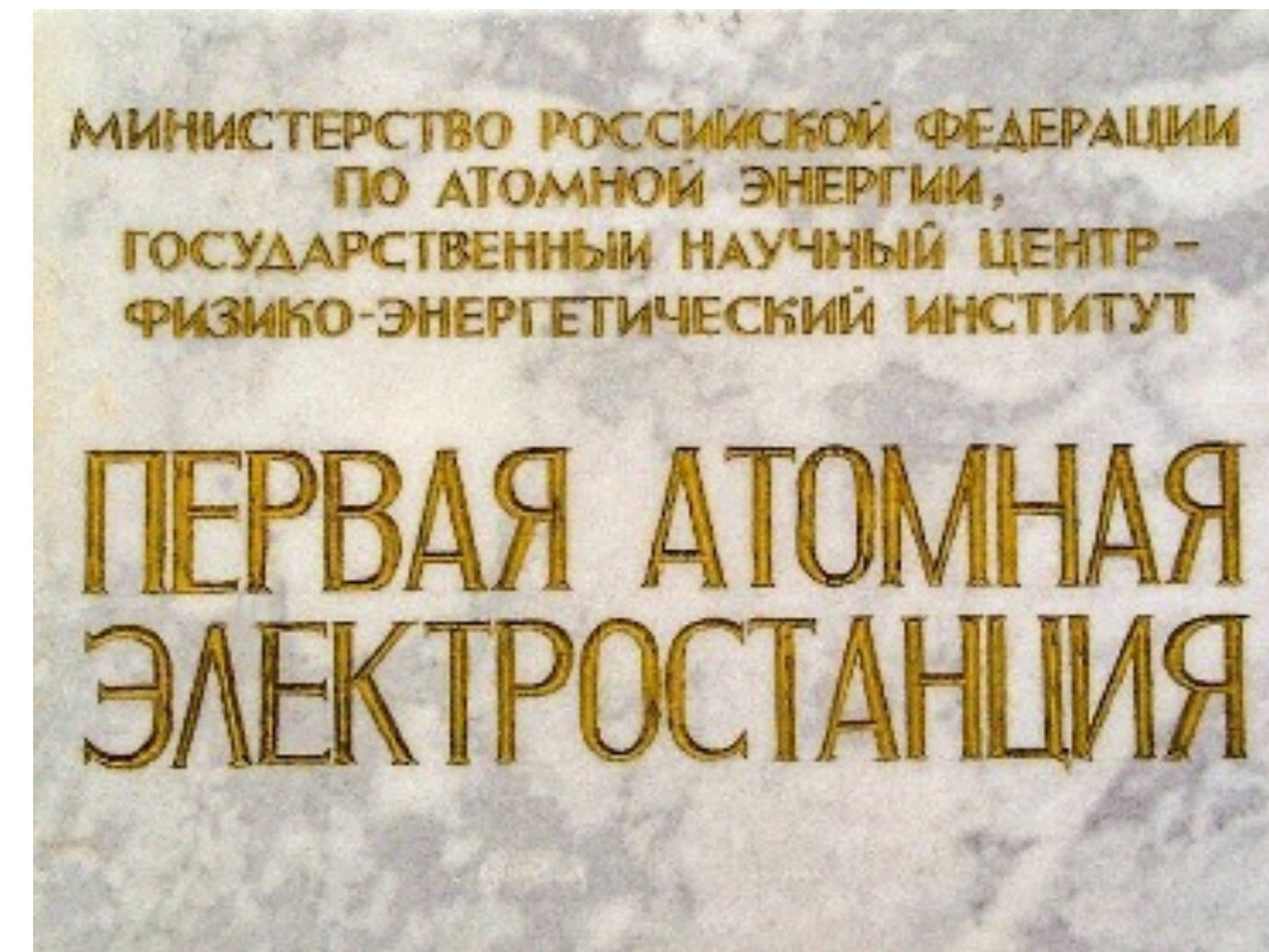
- Wysoka efektywność
- Zwiększone bezpieczeństwo
- Redukcja odpadów
- Niepodatne na rozprzestrzenianie



Nieco historii kogeneracji na cele komunalne:

Na świecie funkcjonowały już (choć na mniejszą skalę) takie rozwiązania:

- ZSRR/Rosja (Obninsk, 1954)
- Wielka Brytania (Calder Hall - 1956)
- Szwecja (Ågesta - lata 1964-74)
- Finlandia
- Kanada
- Chiny
- Węgry
- Indie
- Japonia ...

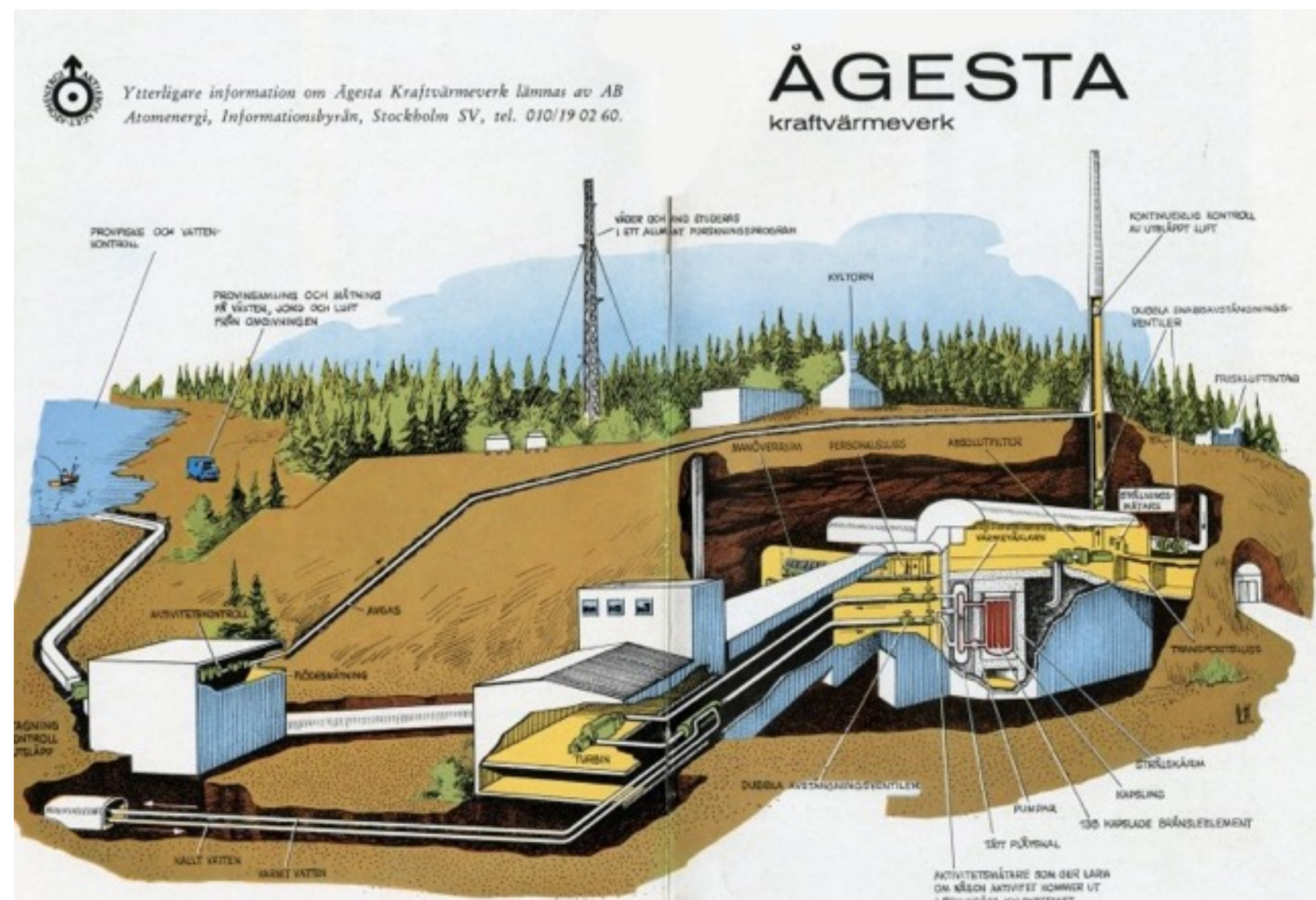


Calder Hall (UK - 1956) - ciepło dla fabryki paliwa



Elektrownia ÅGESTA (Szwecja) 1964-1974

Produkowała 68 MW ciepła
dla dzielnicy Sztokholmu FARSTA
oraz 12 MW energii elektrycznej



Sterownia elektrowni Ågesta

Polska też posiadała plany kogeneracyjne:
“Energoprojekt Warszawa”
opracował w latach 1980-90 plany budowy **Elektrociepłowni Jądrowych (ECJ)**
dla Warszawy

Idea:

2 elektrownie o mocy 1000 MWe (3000 MWt)

wzdłuż Wisły “przed” i “za” Warszawą w odległości 20-40 km

**Rurociągi poprzez istniejące elektrociepłownie EC Żerań, EC Kawęczyn, EC
Siekierki**

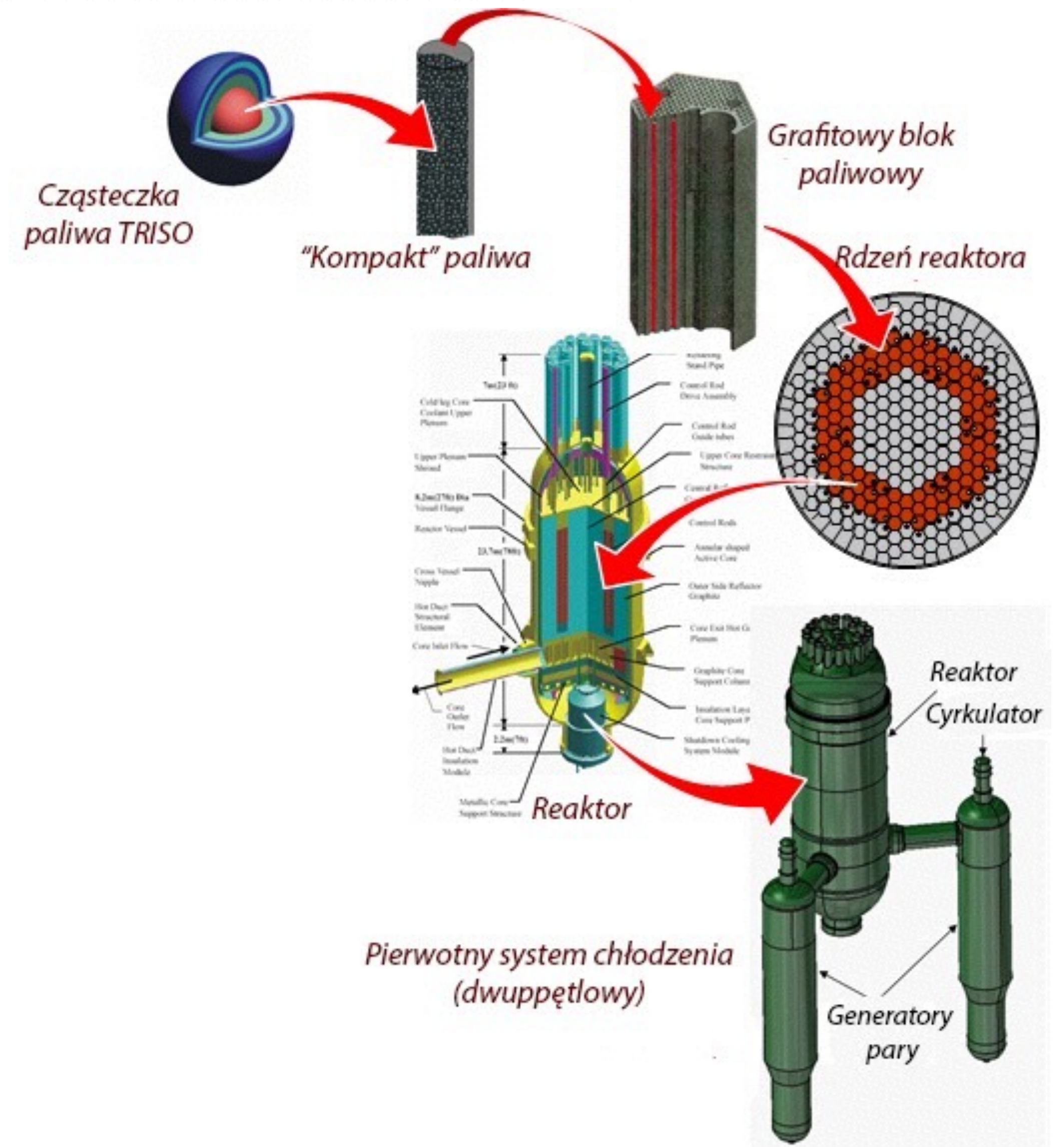
(w kogeneracji - produkcja zarówno ciepła jak i prądu)

**Ta sama idea była rozważana dla Gdańska oraz Poznania. Mogłaby być
zastosowana dla Krakowa**

2. Reaktory HTGR jako źródła ciepła dla przemysłu chemicznego i paliwowego

HTGR - reaktor wysokotemperaturowy chłodzony gazem (helem)

- produkuje **parę o temp. 550 °C** (drugi obieg) typową dla potrzeb instalacji chemicznych
- **chłodzenie helem** o temp. 700 °C
- bezpieczne paliwo TRISO
- **samoczynne bezpieczeństwo**
- w wypadku awarii chłodzenie za pomocą procesów naturalnych (przewodzenie i wypromieniowanie ciepła)
- brak możliwości uszkodzenia rdzenia, nie wymaga strefy wykluczenia wokół reaktora
- konstrukcja modułowa elektrociepłowni



Wybudowane i przetestowane reaktory HTGR na świecie

▶ Reaktory eksperymentalne



DRAGON, U.K.
20 MWe
1963-76



Peach Bottom, USA
200 MWt
1967-74



AVR, Niemcy
15 MWe
1967-88



HTR-10, Chiny
10 MWt
2000 - dzisiaj

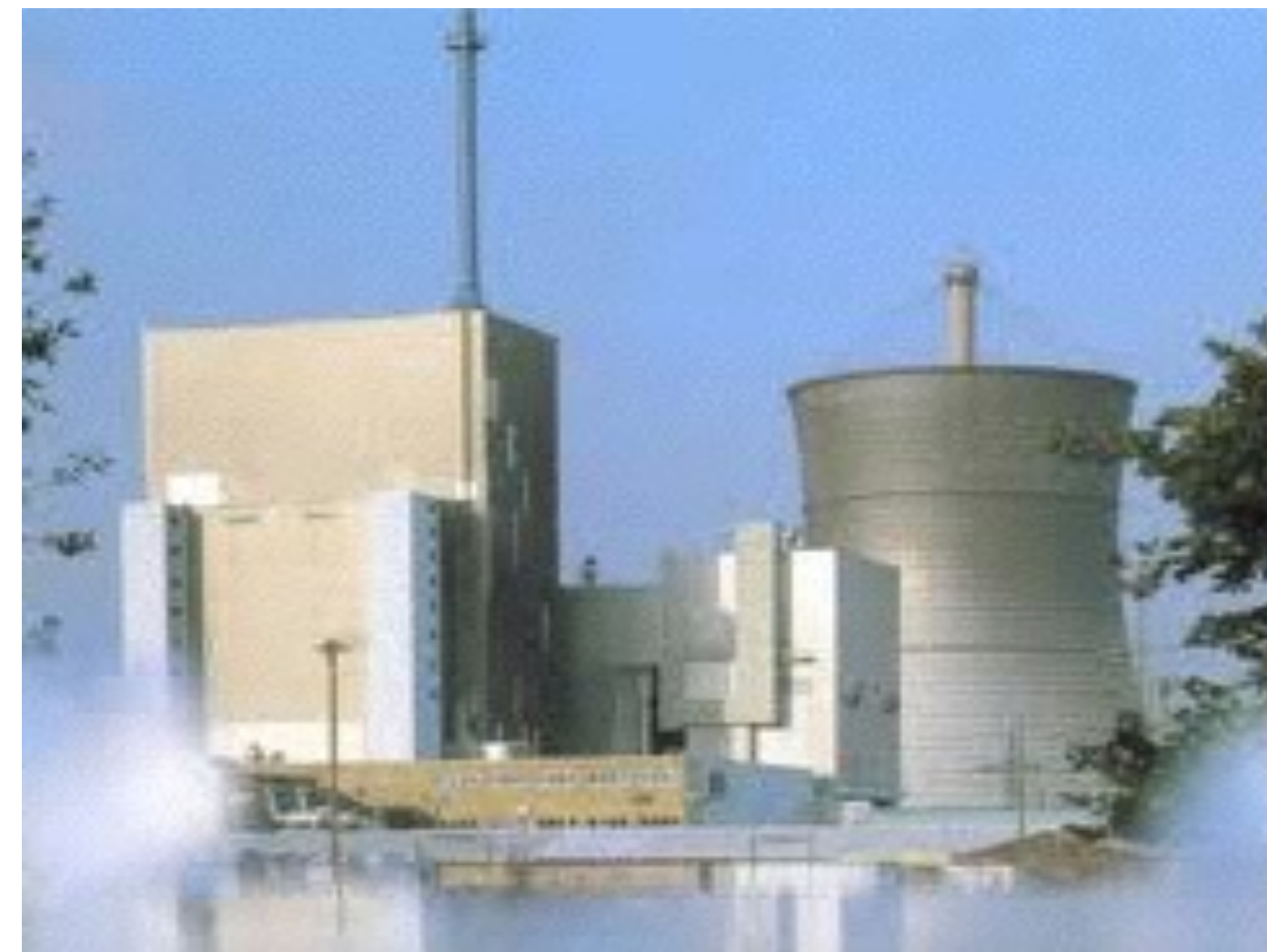


HTTR, Japonia
30 MWt
1998 - dzisiaj

▶ Prototypy przemysłowe



Fort Saint-Vrain, USA
300 MWe
1976-89



THTR, Niemcy
300 MWe
1986-89



HTR-PM, Chiny
2 x 106 MWe
2020?

Rozwój reaktorów wysokotemperaturowych

Reaktory energetyczne

Reaktory badawcze



	Peach Bottom 1 1966-1974	Fort St Vrain 1976-1989	THTR 1986-1989	Dragon 1966-1975	AVR 1967-1988	HTTR 2000-	HTR-10 2003-
Power Level:							
MW(t)	115	842	750	20	46	30	10
MW(e)	40	330	300	-	15		--
Coolant:							
Pressure, Mpa	2.5	4.8	4	2	1.1	4	3
Inlet Temp, °C	344°C	406°C	250°C	350°C	270°C	395°C	250°C/300°C
Outlet Temp, °C	750°C	785°C	750°C	750°C	950°C	850°C/950°C	700°C/900°C
Fuel type	(U-Th)C ₂	(U-Th)C ₂	(U-Th)O ₂	(U-Th)C ₂	(U-Th)O ₂	(U-Th)O ₂	(U-Th)O ₂
Peak fuel temp, °C	~1000°C	1260°C	1350°C	~1000°C	1350°C	~1250°C	
Fuel form	Graphite compacts in hollow rods	Graphite Compacts in Hex blocks	Graphite Pebbles	Graphite Hex blocks	Graphite Pebbles	Graphite compacts in Hex blocks	Graphite Pebbles

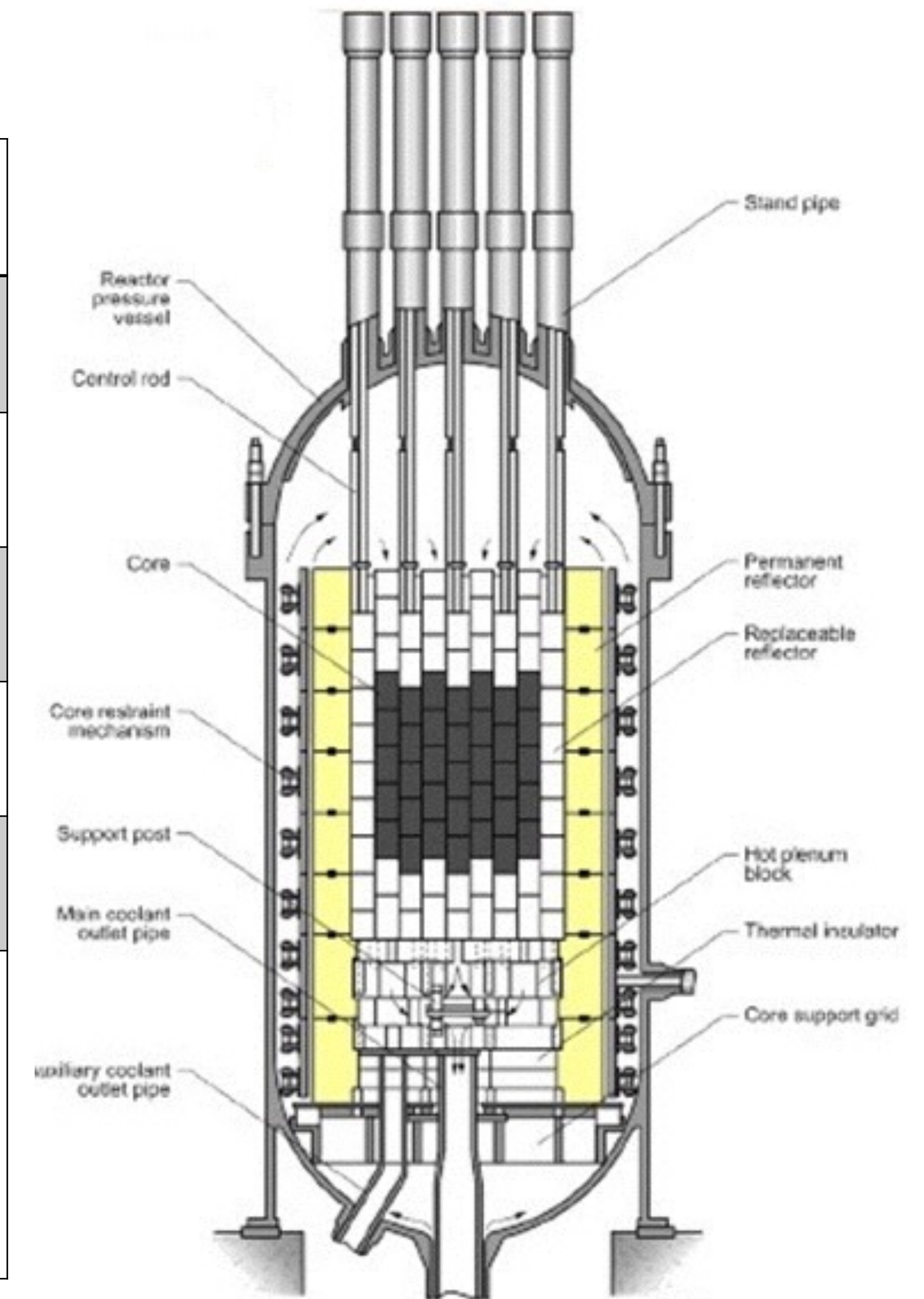



Reaktor wysokotemperaturowy HTTR w Japonii jako możliwy pierwowzór polskiego reaktora badawczego w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Świerku



Schemat 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





Badawczy
HTGR 30-40 MWt
(plany budowy)

Reaktor MARIA
30-40 MWt

Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Świerk

Potencjalne inwestycje w reaktory HTGR w Polsce

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**

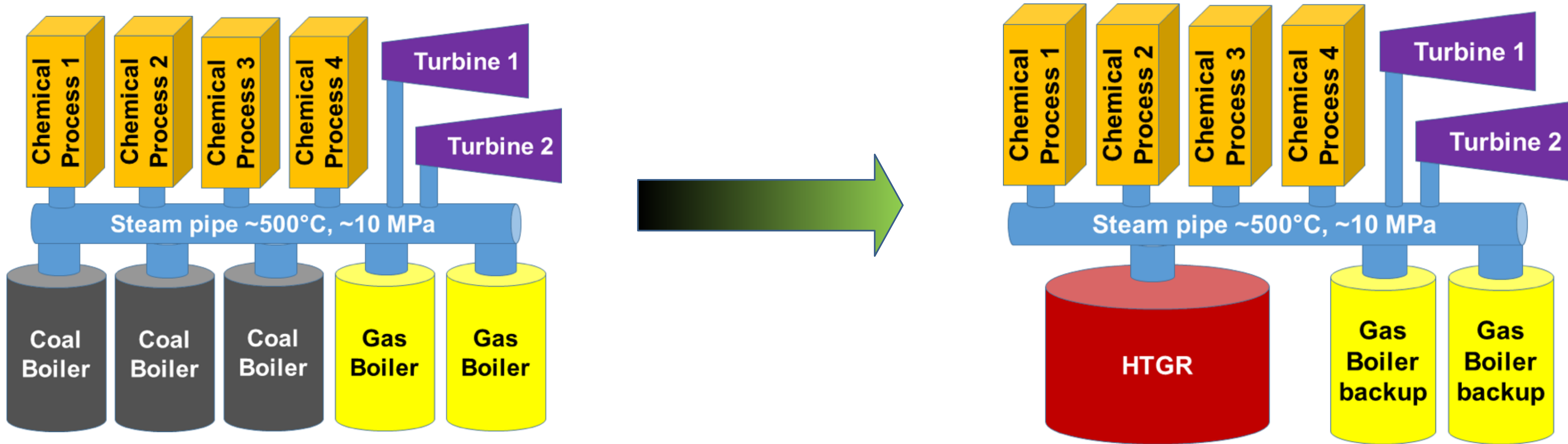
Produkcja prądu:

- **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

“ZIELONA” ŚCIEŻKA ENERGETYCZNEJ TRANSFORMACJI PRZEMYSŁU CHEMICZNEGO



Wiele zakładów wykorzystuje sieć parową ~500C

Potrzeba wymiany starych, zużytych kotłów

- Dekarbonizacja i degazyfikacja polskiego przemysłu jest

konieczna i NIEUNIKNIONA

- HTGR to dobry krok w kierunku radykalnej redukcji emisji CO₂

Parametry HTGR-ów spełniają wymagania klasycznych kotłów:

540°C, 13.4 MPa, 165 MW_{th}, 230 t/h

4. Podsumowanie

Co nowego i unikalnego oferują reaktory HTGR?

Możliwości kolokacji z zakładami przemysłowymi i z lokalnymi sieciami:

- produkcja pary o temp. 550°C pod ciśnieniem ~13.4 MPa dla potrzeb instalacji chemicznych,
- produkcja elektryczności na potrzeby lokalne, uniezależnienie się od centralnych dostaw energii elektrycznej,
- produkcja ciepła w celach grzewczych lub klimatyzacyjnych,
- możliwości ekonomicznej produkcji wodoru,
- stabilne i przewidywalne ceny energii w bardzo długiej perspektywie czasowej (10-20 lat)

Reaktory HTGR charakteryzują się bardzo dobrymi parametrami bezpieczeństwa:

- **samoczynne bezpieczeństwo, samoczynne mechanizmy wygaszające reaktor w sytuacjach awaryjnych,**
- paliwo TRISO gwarantujące bezpieczne zachowanie w sytuacjach awaryjnych,
- brak możliwości uszkodzenia rdzenia, nie wymaga strefy wykluczenia wokół reaktora,
- modułarna koncepcja elektrociepłowni obniżająca koszty inwestycyjne i gwarantująca niskie koszty modernizacji w przyszłości oraz niskie, przewidywalne, koszty produkcji energii

HTGR-y to najbardziej efektywna droga do dekarbonizacji lub degazyfikacji polskiego energochłonnego przemysłu

Zadanie realizowane w ramach projektu pt. „Przygotowanie instrumentów prawnych, organizacyjnych i technicznych do wdrażania reaktorów HTR” w ramach Strategicznego Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych - GOSPOSTRATEG

Konsorcjum:



MINISTERSTWO
KLIMATU



Finansowanie:





Dziękujemy za uwagę



**NARODOWE
CENTRUM
BADAŃ
JĄDROWYCH
ŚWIERK**