

# Reaktory Wysokotemperaturowe - przesłanki wyboru

**Stefan Taczanowski**

Zakład Problemów Energetycznych  
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej  
Akademia Górniczo-Hutnicza

wybrane dane i uwagi

wnioski

# Przesłanki wyboru

## 1) *Strategiczno-polityczne*

*(bezpieczeństwo)*

Zmniejszenie zależności od monopolu dostawcy zagranicznego  
Złagodzenie skutków wzrostu cen paliw węglowodorowych

## 2) *Społeczne*

Wykorzystanie potencjału ludzkiego i infrastruktury sektora górniczego  
Tworzenie miejsc pracy w wielu branżach - głównie w regionie

## 3) *Ekonomiczne*

Umożliwienie:

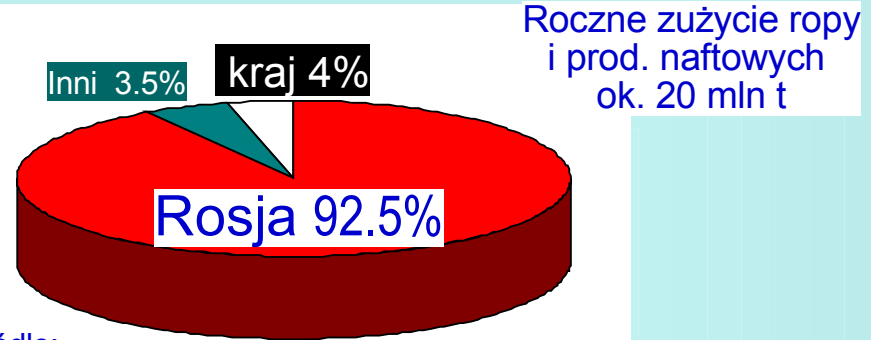
- a) opłacalności produkcji paliw węglowodorowych z węgla –
- b) sprostania wzrastającemu popytowi na energię elektryczną –  
drogą uniknięcia opłat 'carbon tax' skutkiem przekroczenia limitów emisji CO<sub>2</sub>

## 4) *Ekologiczne*

Wdrożenie czystej technologii węglowej praktycznie bezemisyjnej

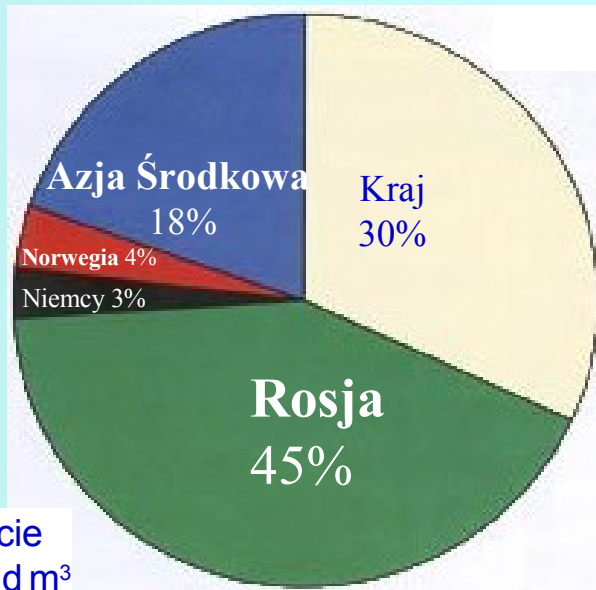
# Dywersyfikacja nośników energii pierwotnej (Ad 1. i 2.)

## Dostawy ropy naftowej



Źródło:  
Nafta Polska SA. 2004 r.

## Dostawy gazu ziemnego



Roczne zużycie gazu ok. 14 mld m<sup>3</sup>

## Zakontraktowane dostawy gazu z Rosji

Lata	Import [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]
2006 - 2007	7 100
2008 - 2009	7 300
2010 - 2014	8 000
2015 - 2022	9 000

Wykorzystanie węgla dla zmniejszenia zależności od monopolu dostawcy zagranicznego jest nieodzowne

(Ad 4.)

# Problem CO<sub>2</sub>

Bilans węgla w realnych procesach upłynniania węgla

Węgiel zawarty w produkcji finalnym stanowi tylko  $\frac{1}{4}$  -  $\frac{1}{45}$  wsadu

pozostała część  $> \frac{3}{4}$  przechodzi w CO<sub>2</sub>

tymczasem...

Uprawnienia do emisji CO<sub>2</sub> ( $717.3 \cdot 10^6$  t) na 2005-2007 (tj.  $239.1 \cdot 10^6$  t/r) rozdzielono /Rozp. Rady Min. (Dz.U. 30.12.2005) zgodnie z limitami Komisji Europejskiej/ Rezerwa (dla nowych źródeł) stanowi zaledwie  $2.47 \cdot 10^6$  t -  $\sim 0.3\%$  całości,

## Zatem sekwestracja CO<sub>2</sub>?

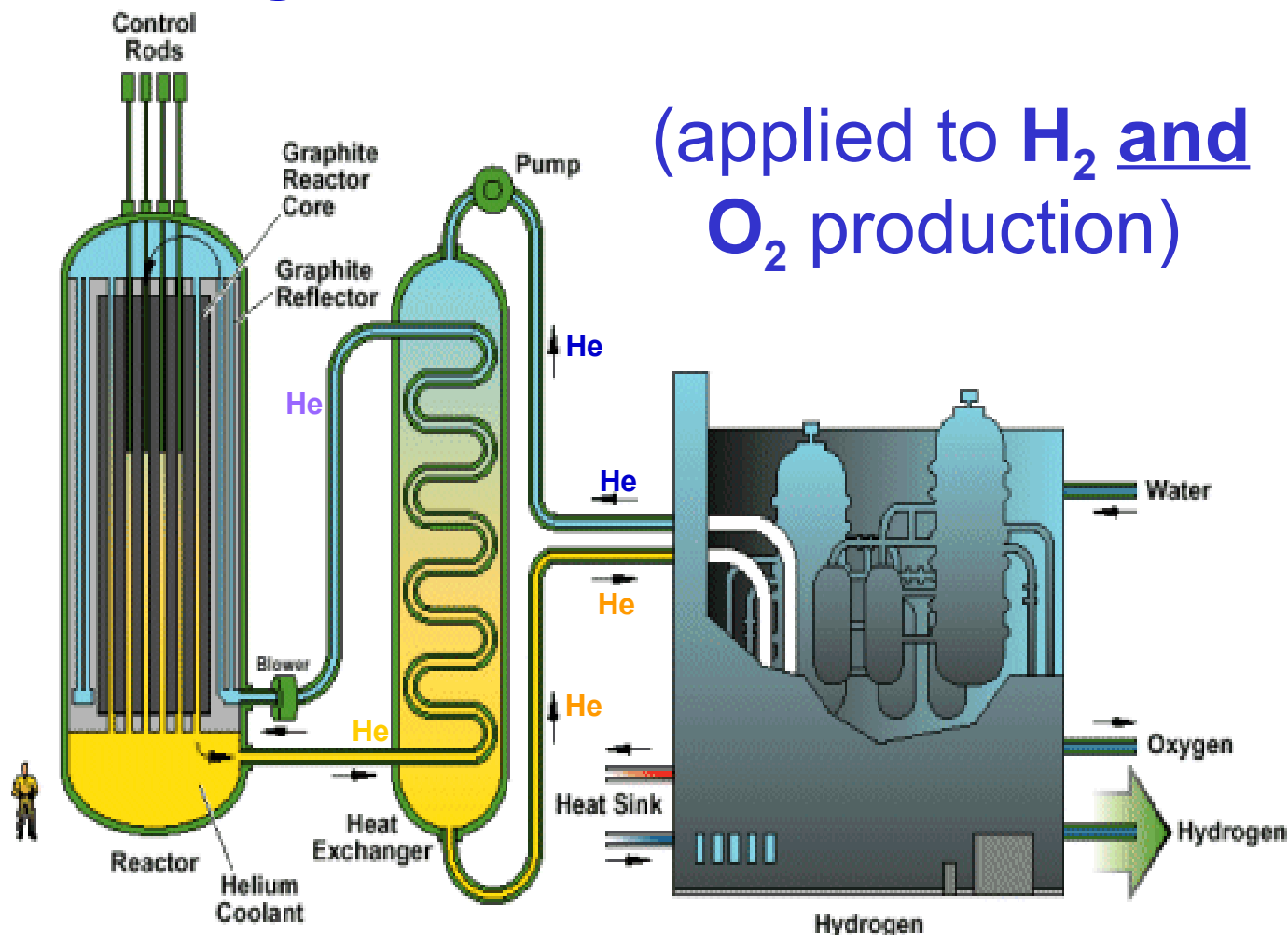
Ocena ilości produkowanego CO<sub>2</sub> przy produkcji paliw płynnych ( $\sim 20\%$  zapotrzebowania rocznego = 4 mln t/r do roku 2030)

$\sim 3 \cdot 4 \cdot 12/14 \cdot 44/12 \cdot 24 \approx 37.5 \text{ mln t} \cdot 24 \approx \underline{900 \text{ mln t CO}_2} \rightarrow \sim 450 \text{ mld m}^3$

zasoby gazu ziemnego  $\sim 150 \text{ mld m}^3$

# The answer – High Temperature Reactor

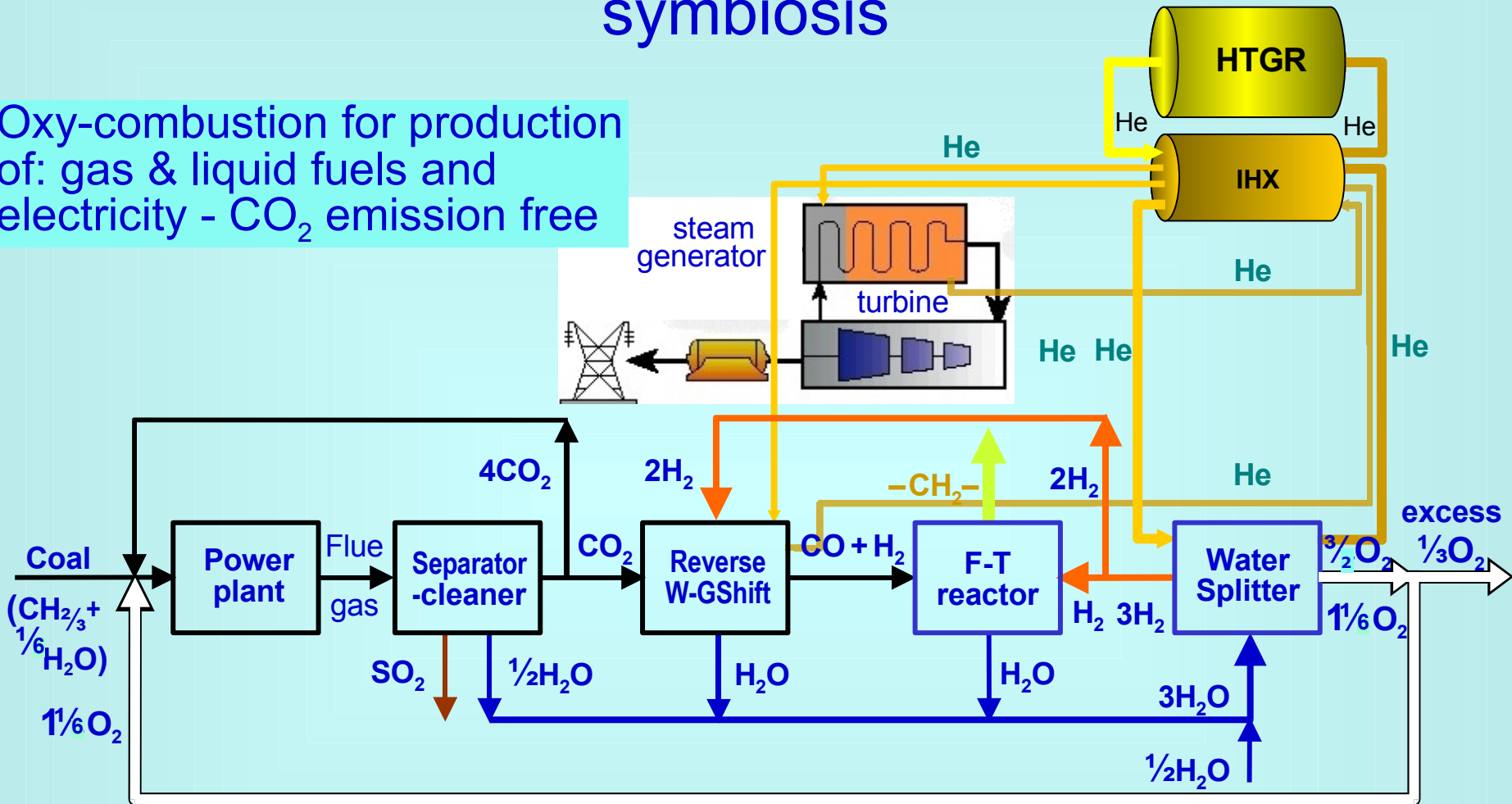
(applied to  $H_2$  and  $O_2$  production)



Ocena ilości zużytego paliwa jądrowego do produkcji paliw płynnych  
(~20% zapotrzebowania rocznego = 4 mln t/r) do roku 2030  $\sim 4 / (2 \cdot 10^8) \cdot 240 / 44 \cdot 10 \cdot 900 \cdot 10^6 \approx \mathbf{1000 \text{ t}} \rightarrow \sim \mathbf{200 \text{ m}^3}$

# Simplified example of coal – nuclear symbiosis

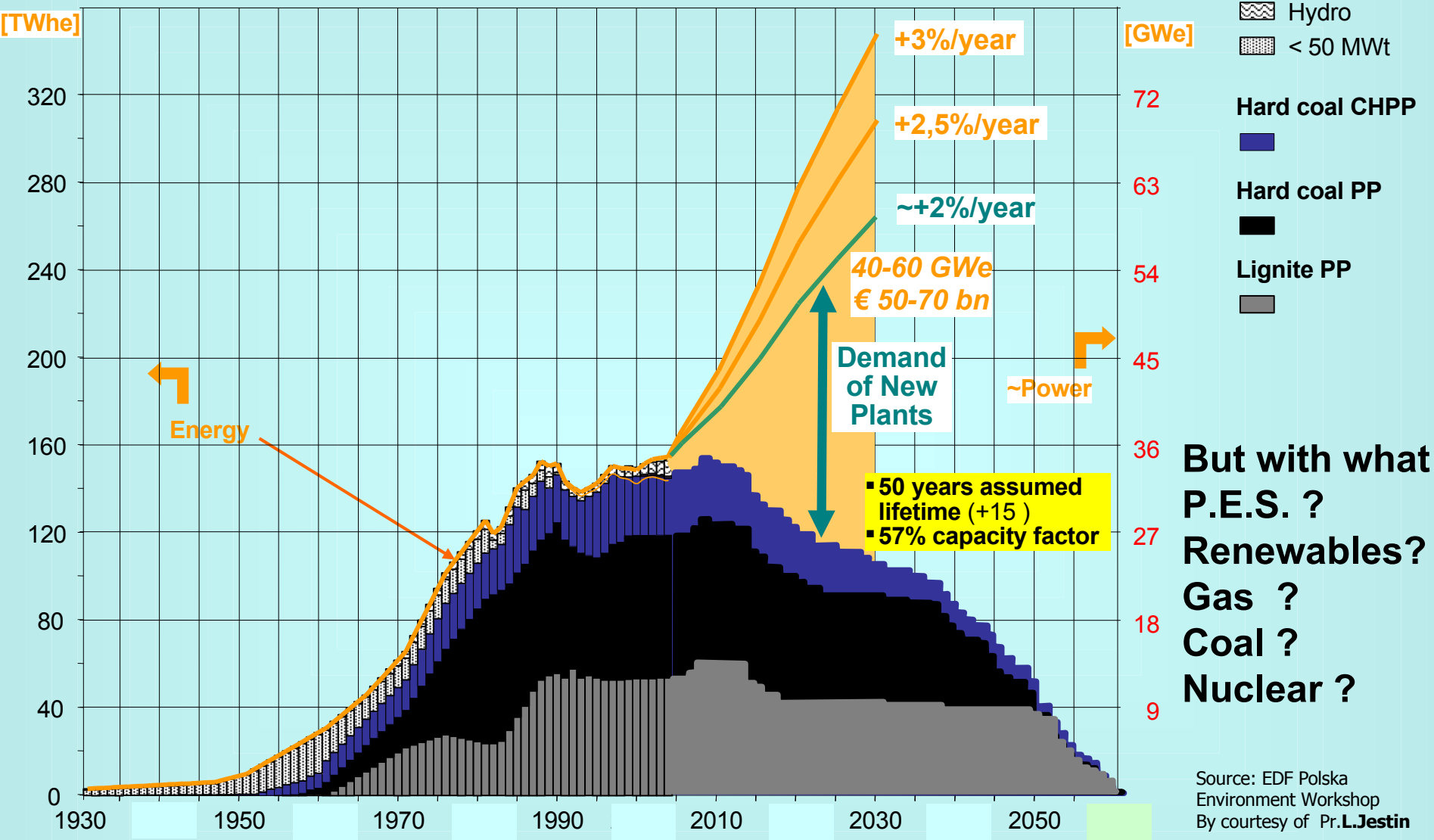
Oxy-combustion for production of: gas & liquid fuels and electricity - CO<sub>2</sub> emission free



All the carbon can be transferred to the fuel

(Ad 1.)

# Polish Power Sector



**Zapotrzebowanie na 25-40 GWe w perspektywie 25 lat podważa potrzebę ograniczania się do jednego typu reaktorów**

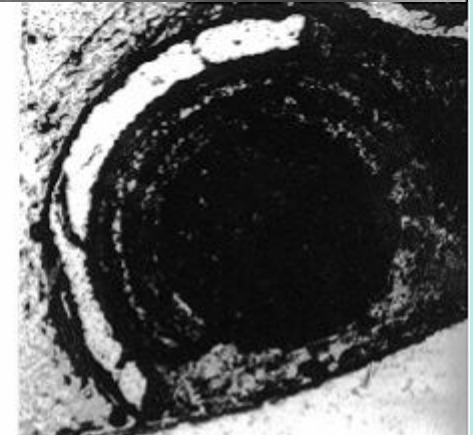
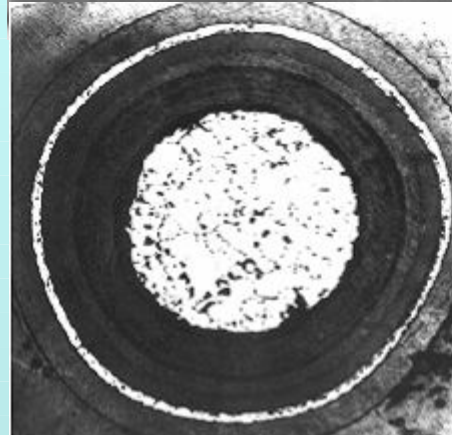
# Bezpieczeństwo Reaktorów Wysokotemperaturowych

Typowa moc odbierana z jednej kuli (pebble) jest rzędu 1kW

Moc 620 kW/pebble w ciągu 1s nie przyniosła obserwowalnych zniszczeń

Moc 46 kW w ciągu 30s skutkowała zniszczeniem kul i wielu microparticles (ziaren) paliwowych. Temperatura wnętrza kul osiągnęła 2500-2700°C

Jednak nawet w razie utraty chłodzenia temperatura nie przekracza 1600 °C



# PBMR

## Pebble Bed Modular Reactor

### PBMR S.A. South Africa

Projekt komercyjny najbliższy realizacji

Moc 400 MW, Temp. He 900 °C

Początek budowy            2007

Krytyczność                (2011/12)

Komercjalizacja            (2013/15)  
(pierwszy nabywca: ESKOM)

Planowane: budowa dalszych modułów  
(czas budowy 24 mies.)  
pełna prywatyzacja  
/poszukiwanie inwestorów/

**Koeberg Power  
Plant**

**PBMR Site**



# Wniosek

**Symbioza węgla z energią jądrową dla produkcji paliw płynnych i gazowych jest pożądanym, długofalowym wariantem energetyki polskiej**

**Dziękuję Państwu  
za uwagę**

# PBMR History

- 1993 Option Identified under Eskom long term planning
- 1997 Initial Concept Design & Costing completed
- 1999 Eskom Letter of Intent for Demo + 10 Modules
- 2000 Cabinet Support for Detailed Feasibility Study  
Formal Nuclear Licence & EIA applications
- 2001 Fundamental Safety Case Philosophy Accepted
- 2002 Sept 2 - Business Case completed  
Oct 30 - Submittal of Final EIR
- 9 Mar 24 - NNR formal licensing statement  
May 16 - Eskom reaffirms decision to proceed

# Problem CO<sub>2</sub>

## Zatem sekwestracja CO<sub>2</sub>?

Costs of CO <sub>2</sub> sequestration (t (\$/t-CO <sub>2</sub> ))		
Japan	USA	EU
82	48	77

<http://eneken.iecej.or.jp/en/data/pdf/323.pdf>

## Geosequestration

It is currently difficult to quantify with confidence the likelihood of **unplanned releases of CO<sub>2</sub> from geosequestration sites.**

risk of...

- # seismic changes as a result of pressure changes or geochemical reactions;
- # asphyxiation or other harm caused by catastrophic leakage of CO<sub>2</sub>.

# Problem CO<sub>2</sub>

## Geosequestration cd.

**Toksyczność CO<sub>2</sub>** czas połowicznego rozpadu = ∞

stężenie < 0.15% - bezpieczne

stężenie < 0.5% - brak wykrywalnych efektów

stężenie 3.0% - przebywanie (max) przez 10 m /norma USA/

stężenie 8-10%, utrata przytomności, zagrożenie życia

stężenie ok. 15% utrata przytomności, śmierć

## **Nyos disaster** (Kamerun, 1986)

Estimated CO<sub>2</sub> released ~7·10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>

The gas killed **all living things** (~1800 human) within a 25km radius of the lake

Flowed into valleys at speeds of 72km/h

[www.geo.arizona.edu/geo5xx/geos577/projects/kayzar/html/lake\\_nyos\\_disaster.html](http://www.geo.arizona.edu/geo5xx/geos577/projects/kayzar/html/lake_nyos_disaster.html)

## **Co robić?**

### **The Oxy-Combustion Concept (spalanie w tlenie)**

O<sub>2</sub> production requires a considerable extra expense of capital and energy.

But is ideal for synergy with **Nuclear** Water Splitting

# The Oxy-Combustion Concept

- The combustion does not occur in air, but in the atmosphere of  $O_2$  concentration about 20%, the rest is mostly  $CO_2$  and water vapour from coal.
- In the oxy-combustion approach, the flue gas of power plant contains:  $H_2O$  vapour, the rest: nearly 100%  $CO_2$  + tracks  $O_2$
- The oxy-combustion approach leaves the fundamental design of an industrial plant unchanged.
- About 80% of the gas stream leaving the combustion chamber is recycled into the combustion chamber to limit the combustion temperature and prevent the equipment damage
- The  $CO_2$  rich off-gas is cleaned by condensing the water vapour and removing other impurities.
- $O_2$  production requires a considerable extra expense of capital and energy.
- But is Ideal for Synergy with Nuclear Water Splitting

# Obligations of Poland - as a member of EU cd.

## Question of CO<sub>2</sub> emissions

Licences to CO<sub>2</sub> emissions ( $717.3 \cdot 10^6$  tonnes,) for 2005-2007 (i.e.  $239.1 \cdot 10^6$  t/yr) has been distributed among >1000 subjects within the Decree of the Council of Ministers (Dz.U. 30.12.2005) according to the limits assigned by the European Commission

Only  $2.47 \cdot 10^6$  tonnes, i.e. ~0.3% of the total quota have been foreseen as a reserve e.g. for new instalations.

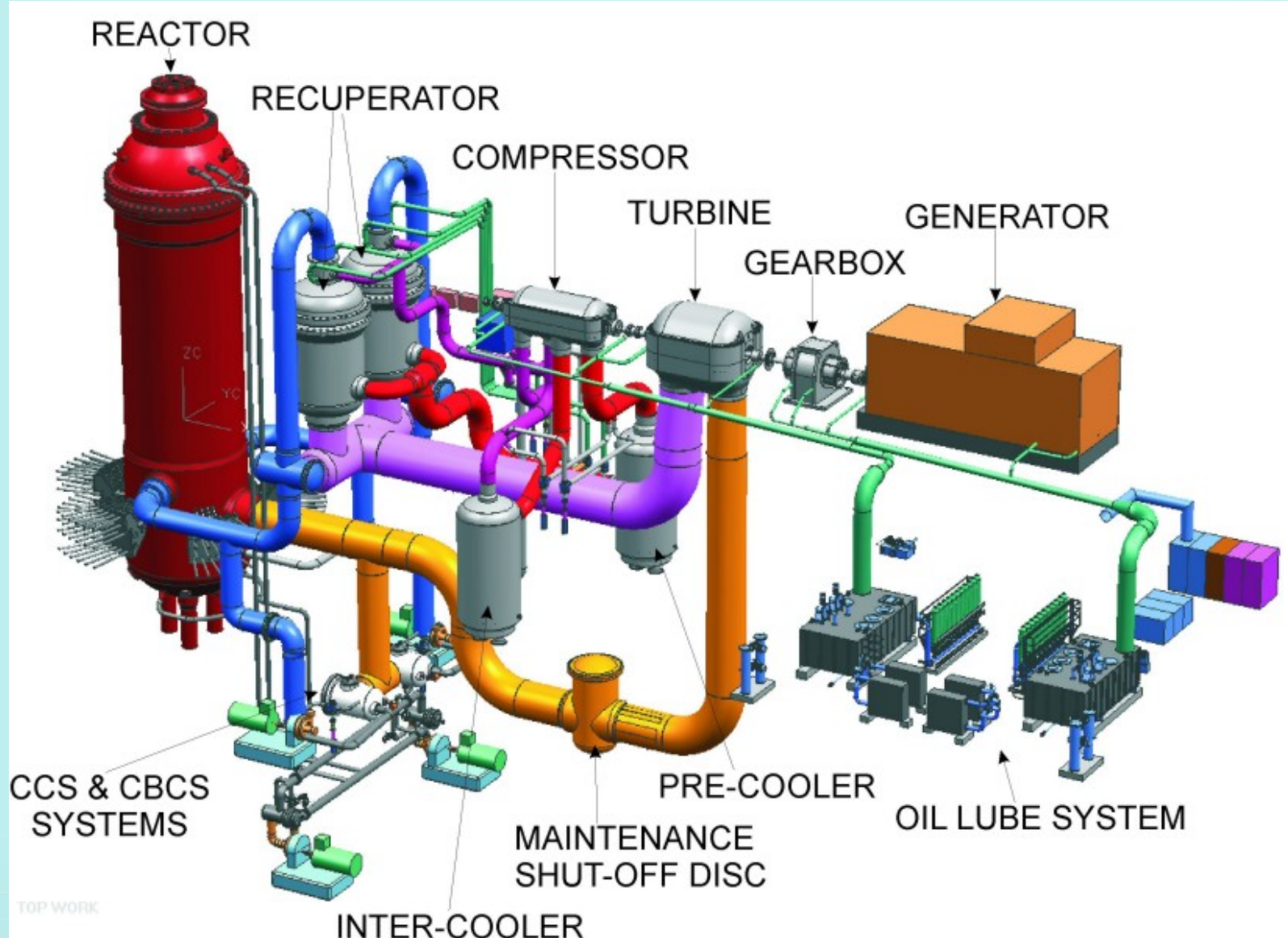
Meanwhile a demand of  **$263 \cdot 10^6$  t/yr** has been foreseen.

(<http://www.wnp.pl/files/foto/1713.html>)

## Thus – sequestration of CO<sub>2</sub> ?

# Conclusion

energią jądrową dla produkcji paliw płynnych i gazowych jest pożądanym, długofalowym wariantem energetyki polskiej



# Szacunkowe koszty syntetycznego paliwa (General Atomics)

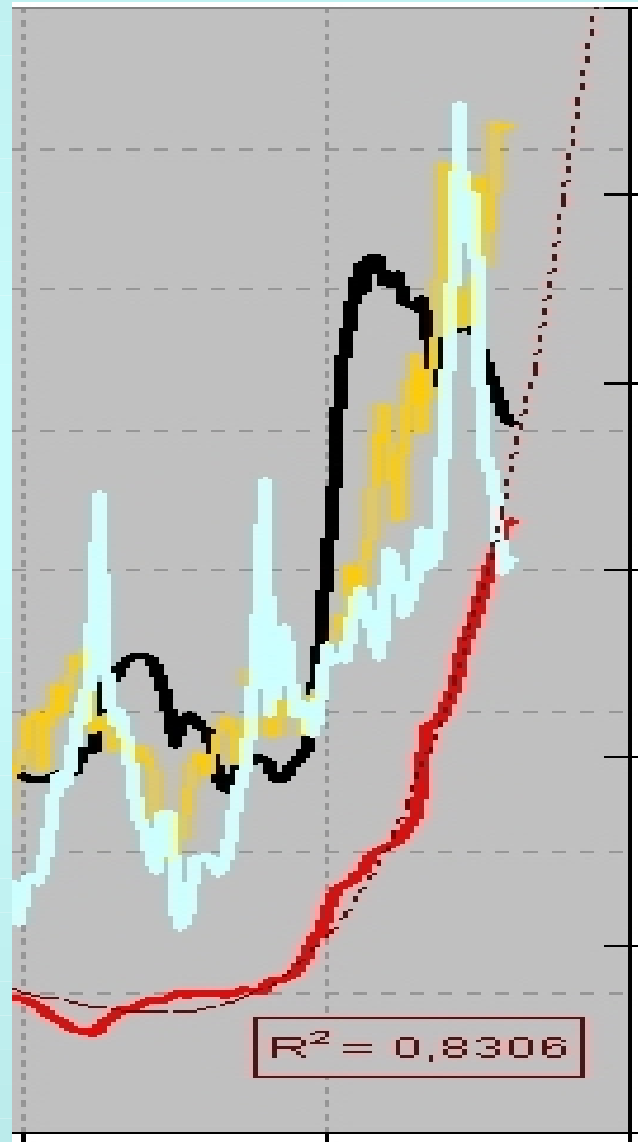
Table 1. Estimated Cost of Synfuel, \$/gallon  
(with/without \$30/ton CO<sub>2</sub> credit)

Process	External Hydrogen Source		
	None	Modular Helium Reactor + S-I Process	Light Water Reactor + Electrolysis
Coal gasification + F-T	1.85	-	-
Coal gasification + H <sub>2</sub> from water + F-T	-	1.32 / 2.06	1.61 / 2.36
CO <sub>2</sub> capture + H <sub>2</sub> from water + F-T	-	1.72 / 2.75	2.28 / 3.31

**Obecny koszt benzyny z ropy:**  
**w USA > 2.0\$US/gallon (~1.5zł/l)**  
**w Polsce (~ 4.5zł/l)**

# Symbioza węgla z energią jądrową długofalowym wariantem energetyki polskiej

rop 71.20  
gas 6/mft3  
u 43.5/p  
c 50/st

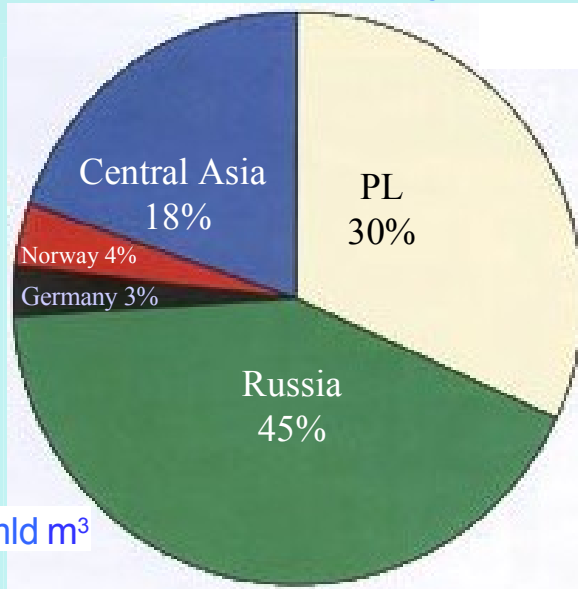


# Kierunki badawcze i wdrożeniowe

- Uptynianie węgla metodami pośrednimi (Fischer-Tropsch) bądź bezpośrednimi
- Spalanie węgla w atmosferze tlenu (oxycombustion)
- Wysokotemperaturowe reaktory jądrowe - źródło ciepła technologicznego i energii elektrycznej
- Termochemiczny rozkład wody
- Elektroliza, SOEC (Solid Oxide Electrolysis Cell)
- Mikroreaktory syntez chemicznych – RWGS, Sabatier, synteza metanolu
- Konwersja metanolu do benzyn – MTG
- Gospodarka wodorowa
- Wychwył dwutlenku węgla

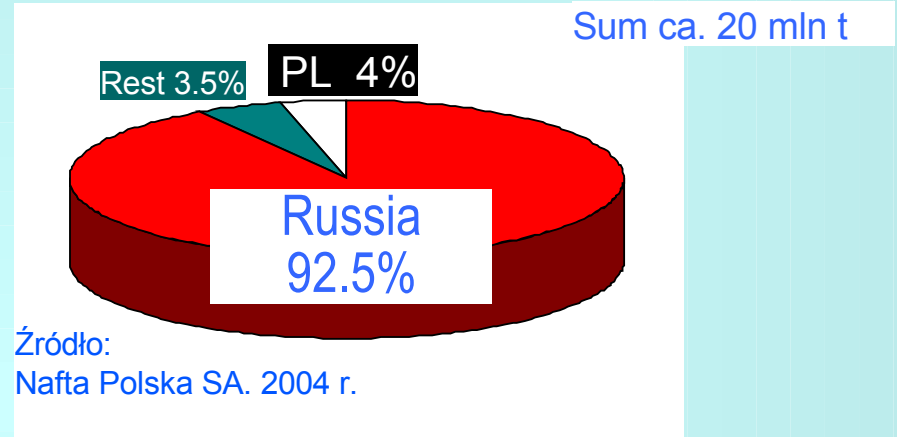
# Structure of hydrocarbons supply in Poland

Gas supply



Sum ca. 14 mld m<sup>3</sup>

Oil supply



Sum ca. 20 mln t

Źródło:  
Nafta Polska SA. 2004 r.

Gas contract  
from Russia

Years	Import [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]
2006 - 2007	7 100
2008 - 2009	7 300
2010 - 2014	8 000
2015 - 2022	9 000

For to assure the national security  
in view of the character of  
hydrocarbons supply  
the use of main domestic resource –  
coal is indispensable

# Problem of CO<sub>2</sub>

## Costs of CO<sub>2</sub> sequestration

Abatement Cost (\$/t-CO <sub>2</sub> )		
Japan	USA	EU
82	48	77

max 3.0% or for 10-min period)

<http://eneken.iej.or.jp/en/data/pdf/323.pdf>

seismic changes or cave-ins as a result of pressure changes or geochemical reactions;

Source: IEA, International Emission Trading - From Concept to Reality

asphyxiation or other harm caused by catastrophic leakage of CO<sub>2</sub>.13

stężenie 8-10% zagrożenie życia

stężenie ok. 15% śmierć,

# Costs of CO<sub>2</sub> sequestration Problem of CO<sub>2</sub>

## Cena rozliczeniowa kontraktów na uprawnienia do emisji CO<sub>2</sub>



Rynek Europejski - 12.000 instalacji objętych Europejskim Systemem Handlu Emisjami (ETS) z przysługującą ilością uprawnień do emisji w wysokości blisko 6 mld ton CO<sub>2</sub>

Okolo 900 instalacji w Polsce z liczbą uprawnień wysokości ponad 710 mln ton CO<sub>2</sub>

Brak funkcjonującego w Polsce Krajowego Rejestru opóźnia polskie instalacje w możliwości uczestnictwa w ETS

Młody rynek (Informacja od sześciu krajów uczestników ETS o posiadanej nadwyżce okolo 35 mln ton spowodował gwałtowny spadek ceny uprawnień z poziomu 31 EURO/tona do poziomu 11 EURO/tona)

Spodziewana nadwyżka Polski szacowana na 20 mln ton z pewnością negatywnie wpłynie na cenę uprawnień

Ekspersi zastanawiają się nad dalszym sensem istnienia rynku uprawnień\*

Ekspersi spodziewają się dalszego spadku cen do poziomu 2 – 5 EURO/tona\*

<http://www.co2.bostonig.com/fakty.html>

# Problem of CO<sub>2</sub>

## IETA

## Emissions Trade

<http://www.ieta.org/ieta/www/pages/index.php>

*INTERNATIONAL EMISSIONS TRADING ASSOCIATION*

*MARKET SOLUTIONS FOR GLOBAL ENVIRONMENTAL PROBLEMS*

### Carbon emissions - What price a pollution solution? March, 10

In **2005** [...] transacted a total of **230 Mt of CO<sub>2</sub>**. Since January this year, volumes and prices, which reached about **€27/t (CO<sub>2</sub>!)** at the beginning of March, have been rising steadily.

↓

[http://www.m-travel.com/news/2006/03/carbon\\_emission.html](http://www.m-travel.com/news/2006/03/carbon_emission.html)

**27 €/t(CO<sub>2</sub>) → 99 €/t C → 75 €/t of coal containing ~75% C**

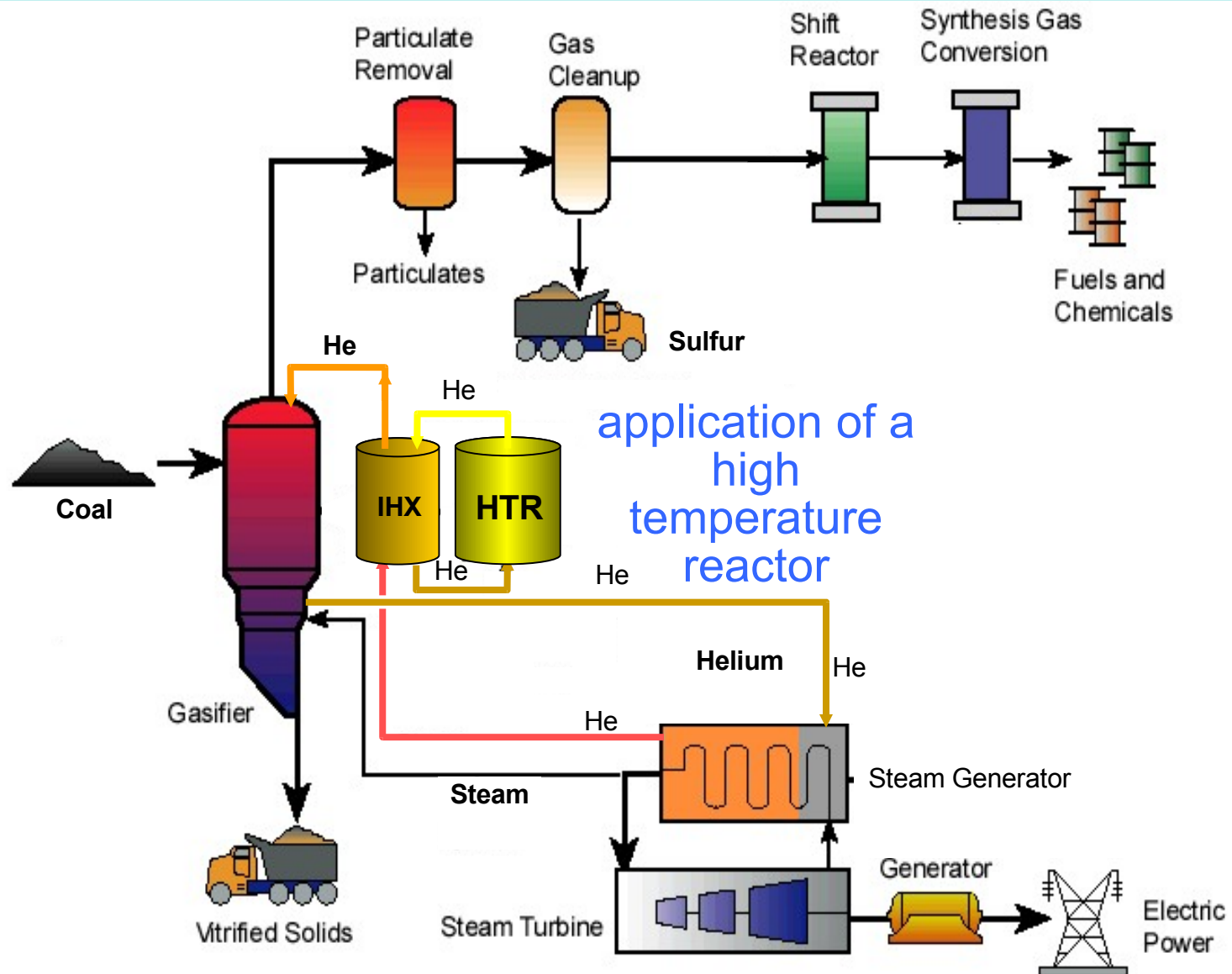
### Carbon Emissions Market Comes of Age, March, 31

In Europe **5.4 G€** of trade was done [...] last year, while global trading of greenhouse gas credits totalled more than **9 G€**, **25 times** the value of deals recorded **in 2004**.

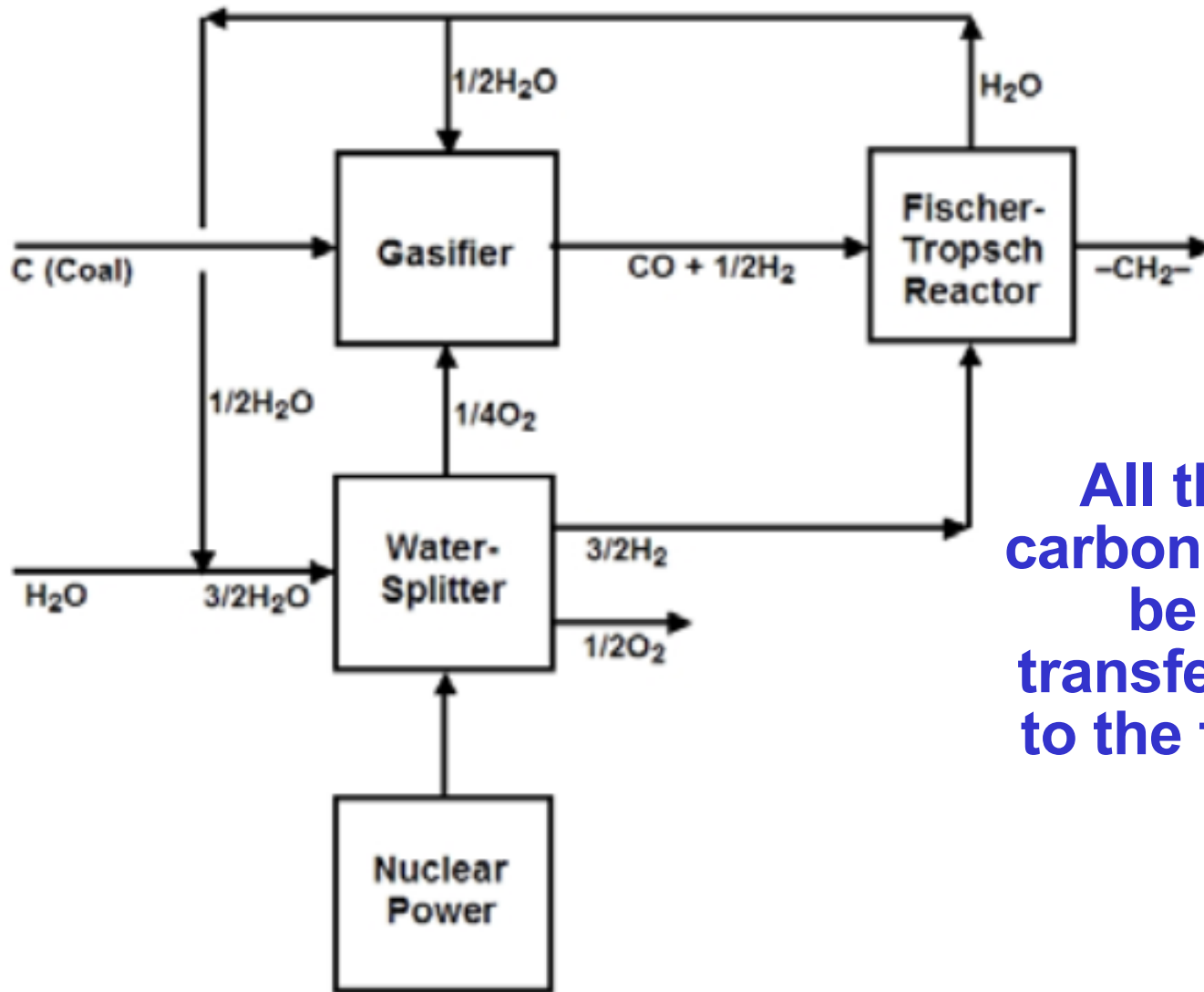
<http://www.planetark.com/dailynewsstory.cfm/newsid/35848/story.htm>

**Unfortunately, there is nothing in Poland to be sold  
on the carbon emission market**

# Example of coal-nuclear symbiosis



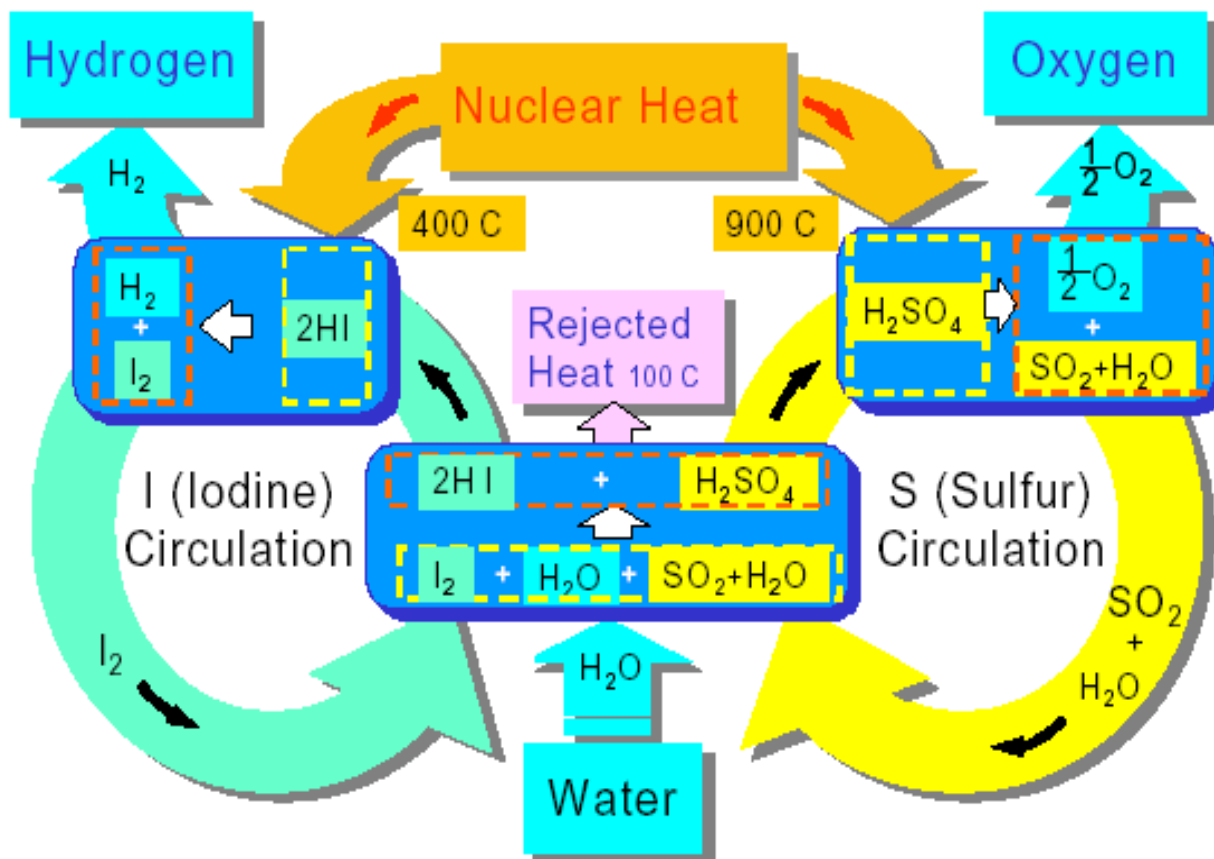
# Scheme of nuclear – coal symbiosis for liquefaction of latter



**All the carbon can be transferred to the fuel**

# Przykład hydrolizy

## IS Process for Hydrogen Production

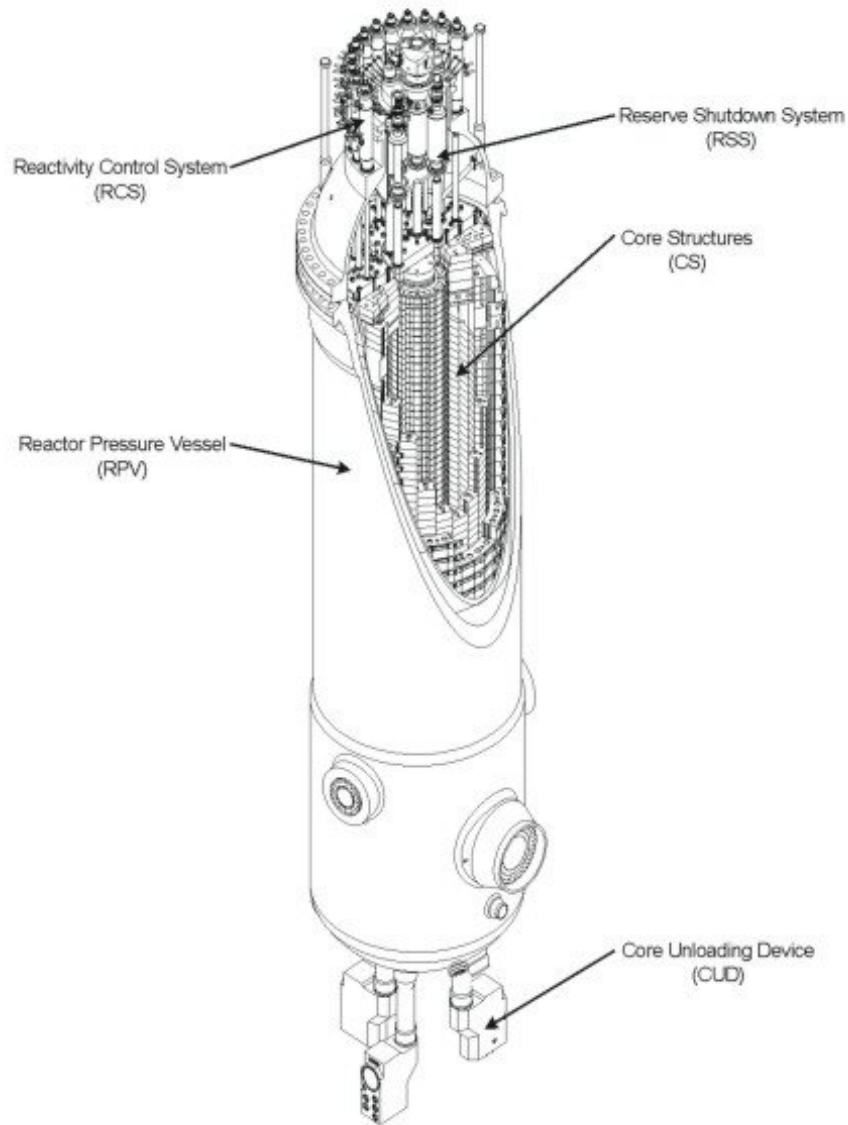


# Conclusion

**Symbioza węgla z energią jądrową dla produkcji paliw płynnych i gazowych jest pożądanym, długofalowym wariantem energetyki polskiej**

# Symbioza węgla z energią jądrową dla produkcji paliw płynnych i gazowych

jest pożądanym, długofalowym wariantem energetyki polskiej



# Simplified scheme of nuclear – coal symbiosis with oxy-combustion for the coal liquefaction

