



Studia Podyplomowe

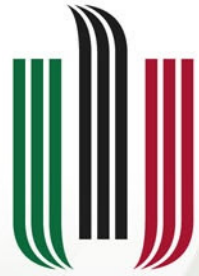
EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ

w ramach projektu

**Śląsko-Małopolskie Centrum Kompetencji
Zarządzania Energią**

Energetyka wodorowa, ogniwa paliwowe

dr hab. inż. Piotr Tomczyk, prof. AGH



AGH

**AGH UNIVERSITY OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY**

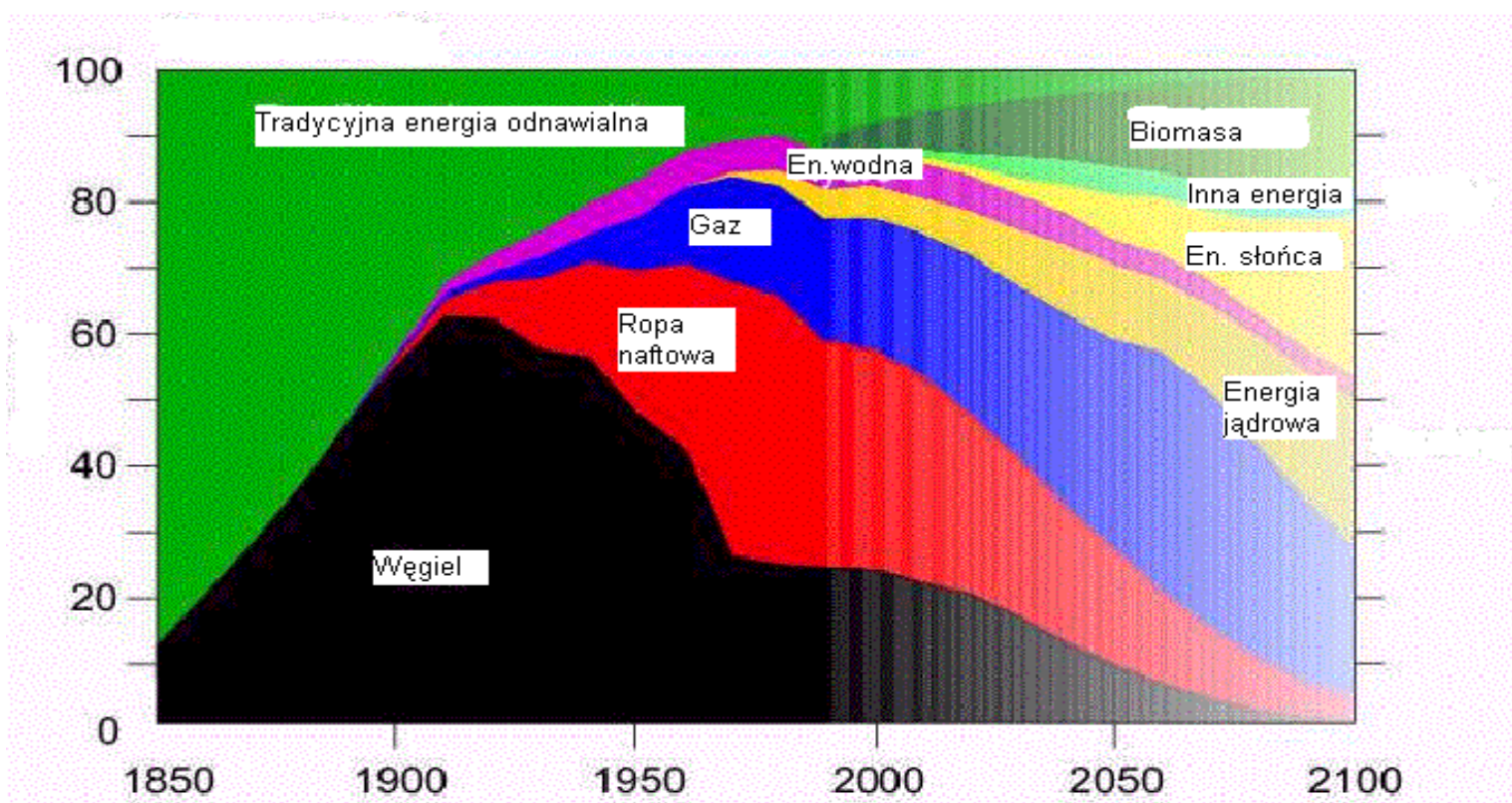
Energetyka wodorowa, ogniwa paliwowe

Piotr Tomczyk

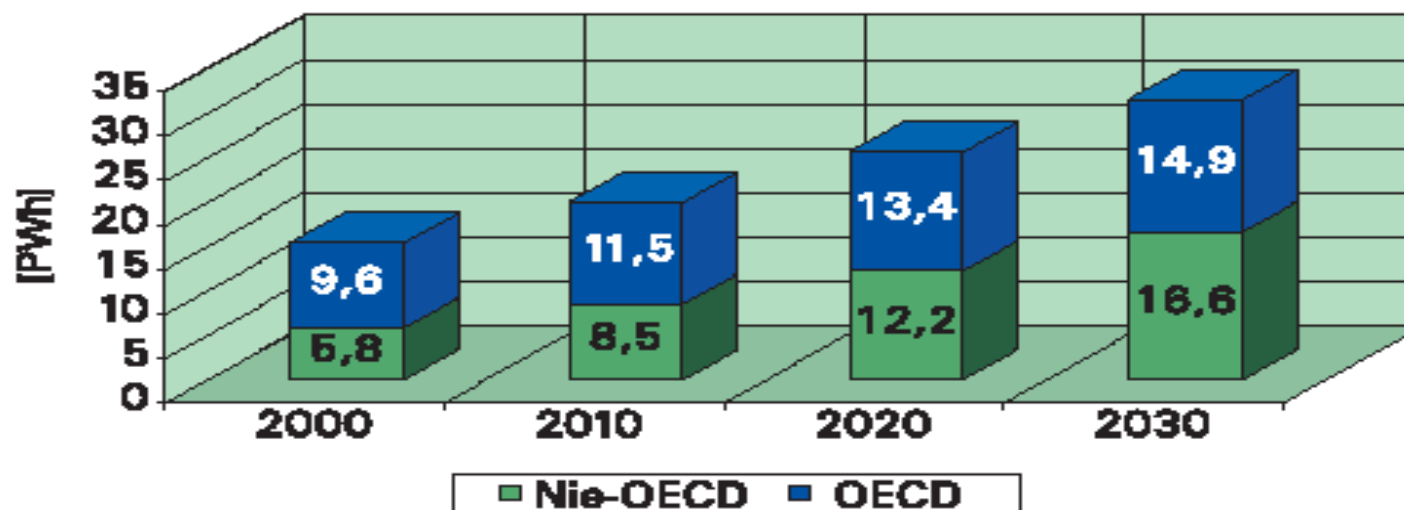
**Wydział Energetyki i
Paliw AGH**

Kraków, 28 września, 2013.

Struktura procentowa energii pierwotnej w stuletniej prognozie IIASA/WEC – scenariusz Dużego Rozwoju A1.

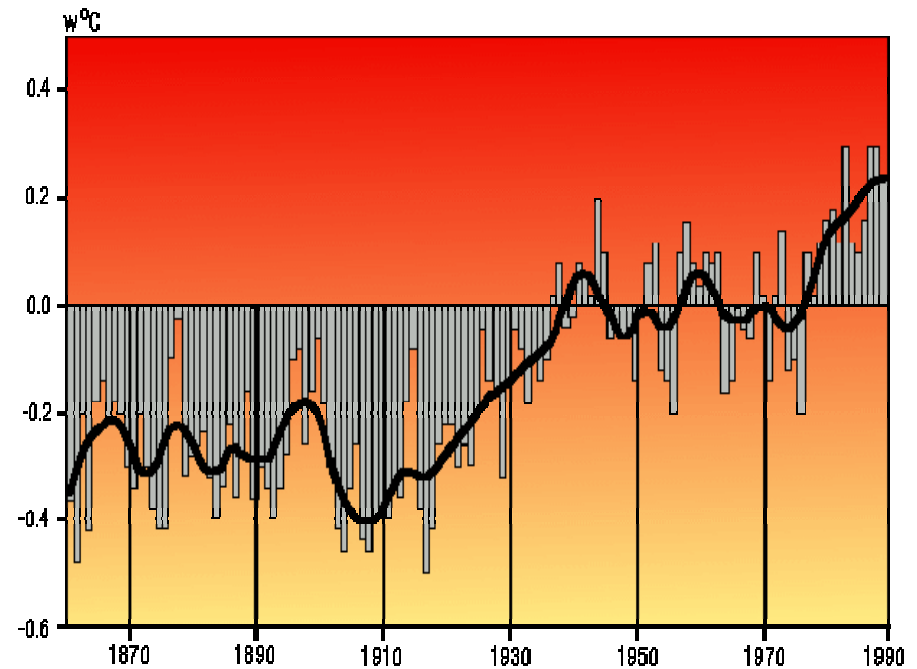


Prognoza światowego zapotrzebowania na energię elektryczną w latach 2000- 2030



Skutki efektu cieplarnianego

- **Wzrost średnich temperatur (globalne ocieplenie, lokalne ochłodzenie),**
- **Topnienie lodowców,**
- **Podnoszenie się poziomu wód w morzach i oceanach,**
- **Ekstremalne zjawiska pogodowe.**



Skutki efektu cieplarnianego?



Susza

Huragan - widok z satelity i z Ziemi.



Ekstremalne zjawiska pogodowe.

Nowy Orlean zalany przez huragan Katrina.





Dlaczego wodór?

Zalety wodoru jako wtórnego nośnika energii



(metan: 50 kWs/g, benzyna: 44.5 kWs/g)

- masowe występowanie w licznych związkach chemicznych na Ziemi
- możliwe spalanie w silnikach o spalaniu wewnętrznym i turbinach
- zagadnienia bezpieczeństwa opracowane





Czy wodór jest bezpieczny?



**Katastrofa „Hindenburga”,
Lakehurst, N.Y. 6. maja, 1937 r.**



Katastrofa „Hindenburga”, Lakehurst, N.Y. 6. maja, 1937 r.



- spłonęło 200 000 m³ wodoru
- zginęło 37 osób
- 2/3 pasażerów przeżyło
- pożar rozpoczął się od łatwopalnej powłoki sterowca
- większość ludzi zginęła na skutek poparzenia paliwem płynnym

Katastrofa „Columbii” 16. stycznia, 2003





**A może jednak mniej
niebezpieczny niż się wydaje?**



Doświadczenie przeprowadzone przez College of Engineering w Miami University



Czas: 0 min., 0 sek.



Czas: 0 min., 3 sek.



Czas: 1 min., 0 sek.



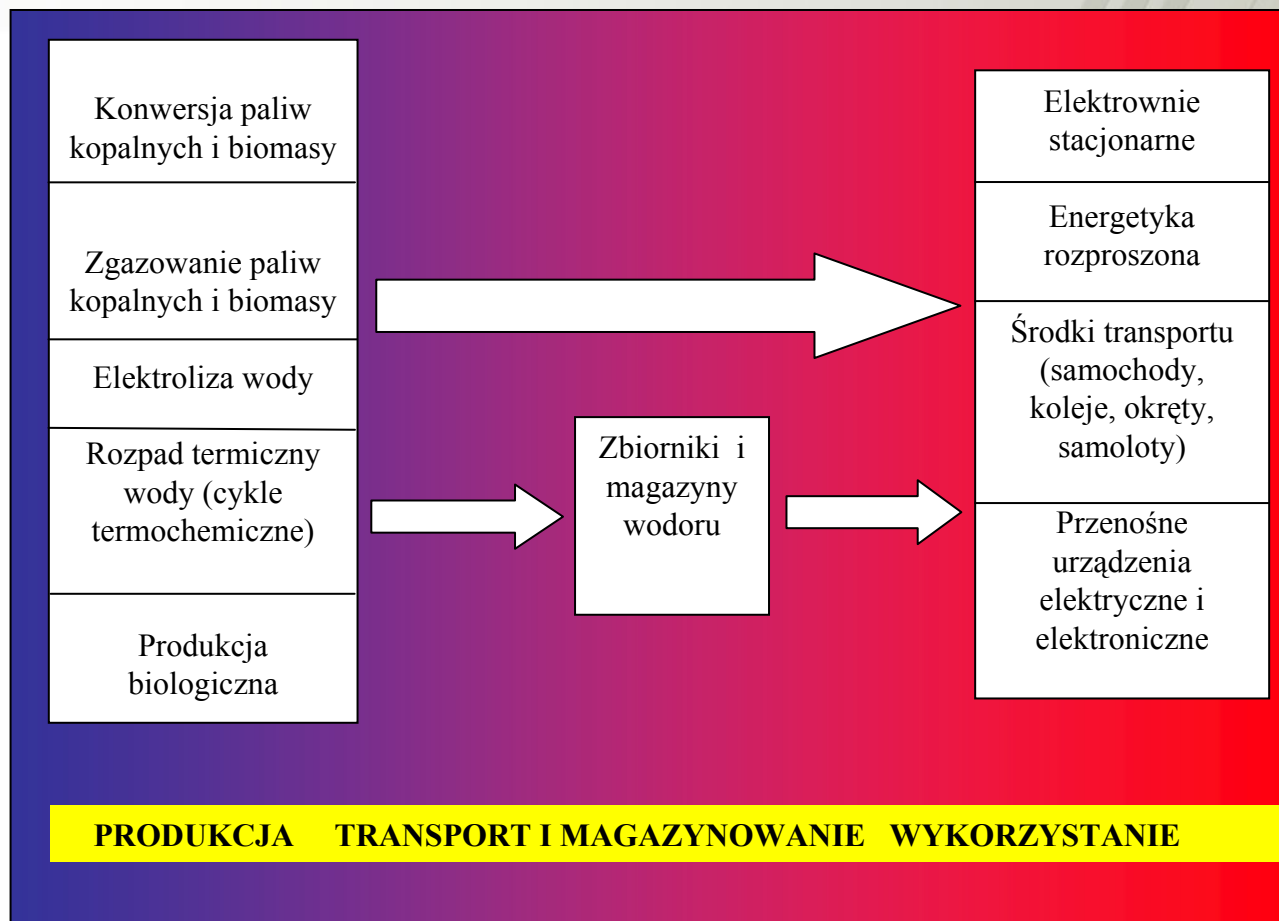
Czas: 1 min., 30 sek.



Rozwój gospodarki wodorowej wymaga akceptacji społecznej



Gospodarka wodorowa





Sposoby tradycyjne otrzymywania wodoru

- **zgazowanie paliw stałych**
- **zgazowanie paliw ciekłych**
- **konwersja lub rozdział paliw gazowych**
- **elektroliza wody**

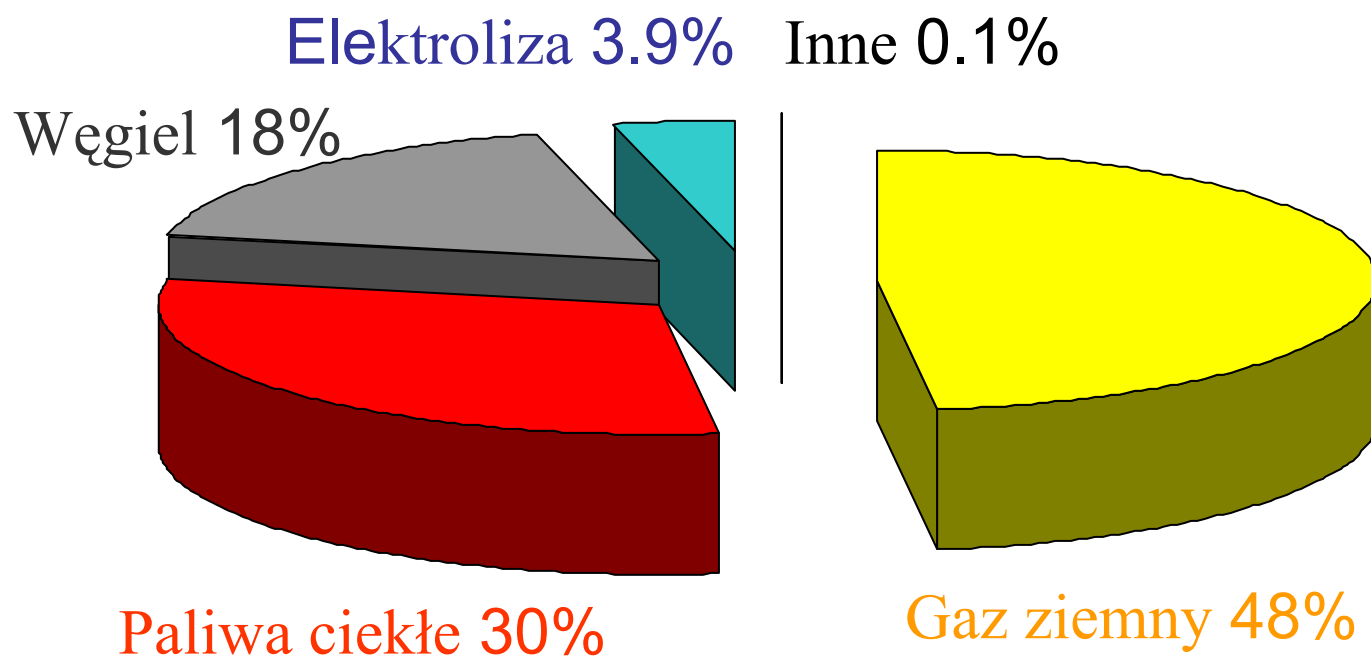


Produkcja wodoru – sposoby niekonwencjonalne

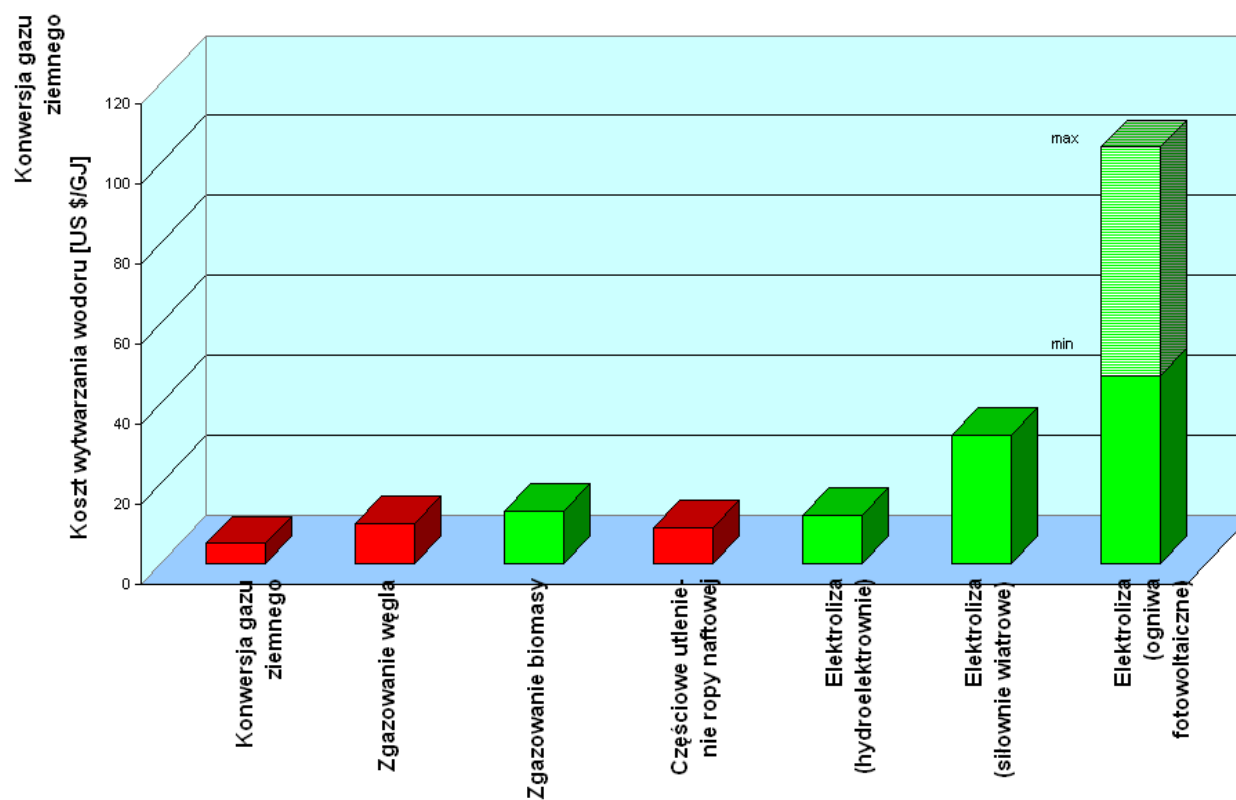
- termiczny rozkład wody (termoliza)
- wykorzystanie bakterii i enzymów
- przetwarzanie biomasy z alg na biogaz
- rozkład fotokatalityczny wody
- z hydratów (wodzianów) metanu
- pyroliza węgla (gaz koksowniczy)

Jak otrzymać wodór ?

Produkcja wodoru dzisiaj: 50 Mt



Koszty wytwarzania wodoru w zależności od stosowanych technologii (ceny z roku 1999)

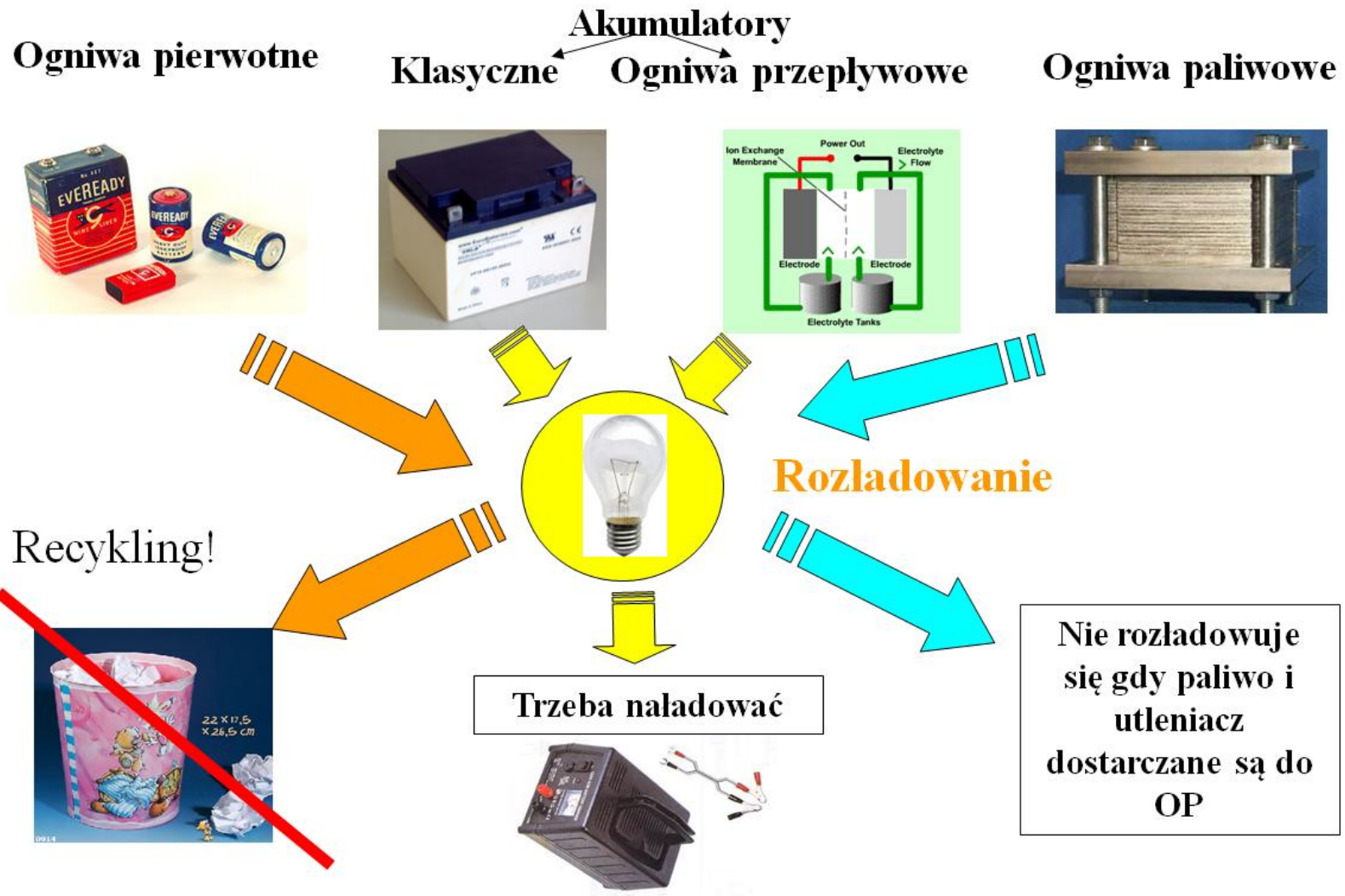




Jak najlepiej wykorzystywać wodór do produkcji energii elektrycznej?

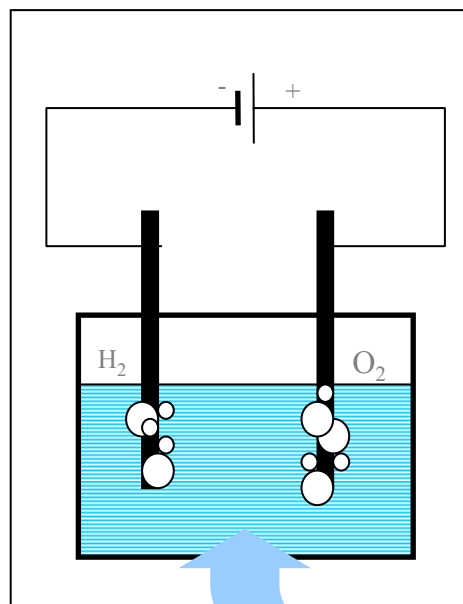
OGNIWA PALIWOWE

Ogniwa GALWANICZNE



Elektroliza wody

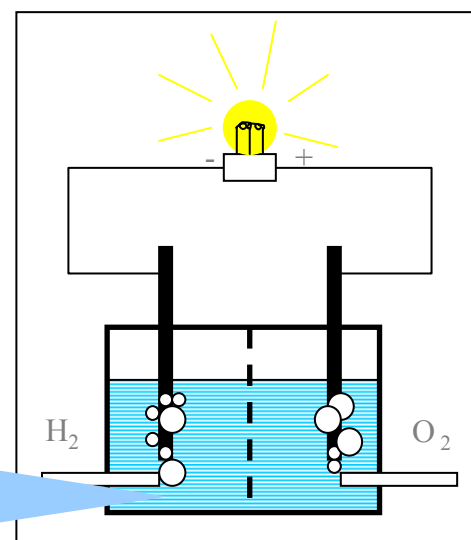
Woda + En. elektryczna → Wodór + Tlen



Elektrolit

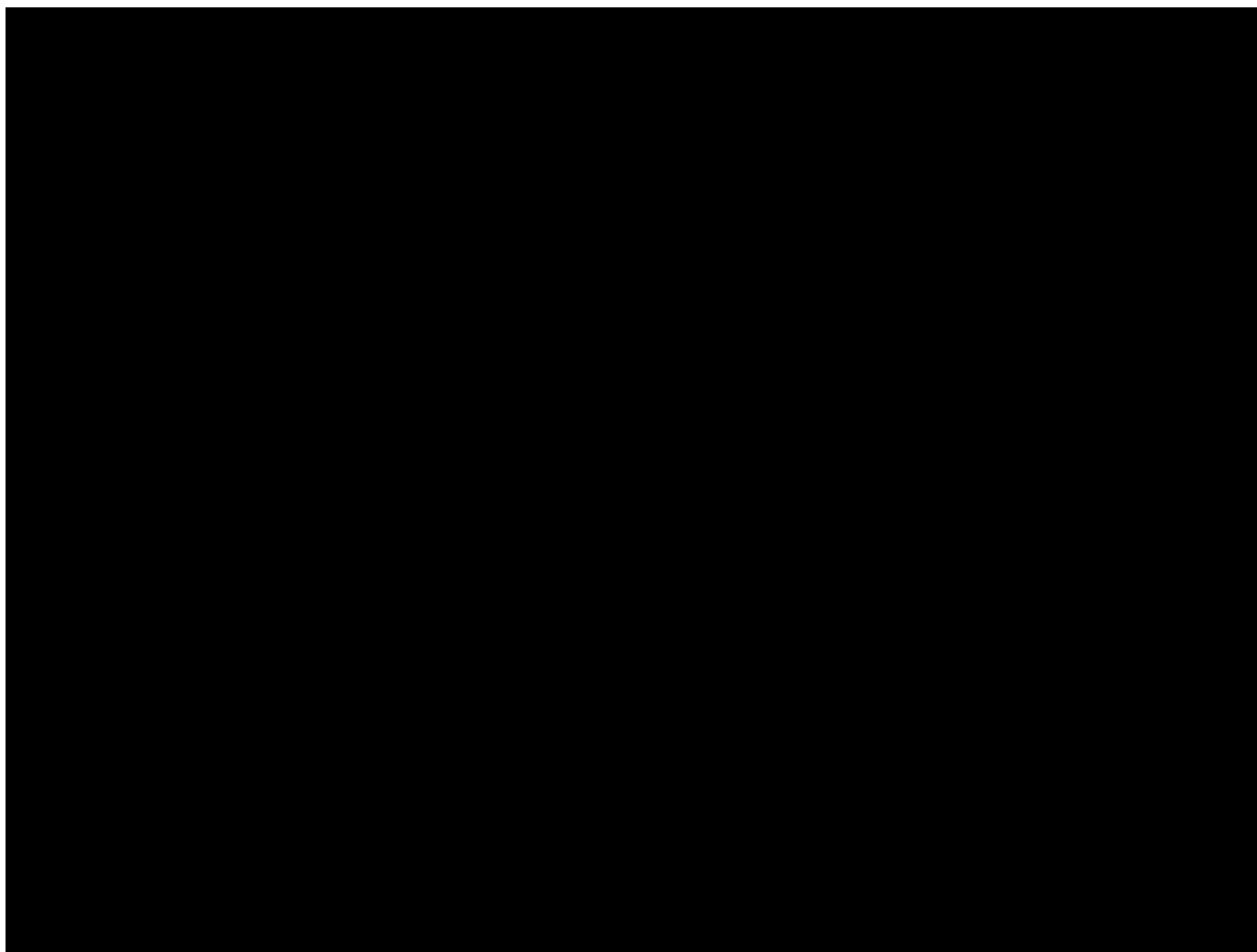
Ogniwo paliwowe

Wodór + Tlen (pow.) → Woda + En. elektryczna

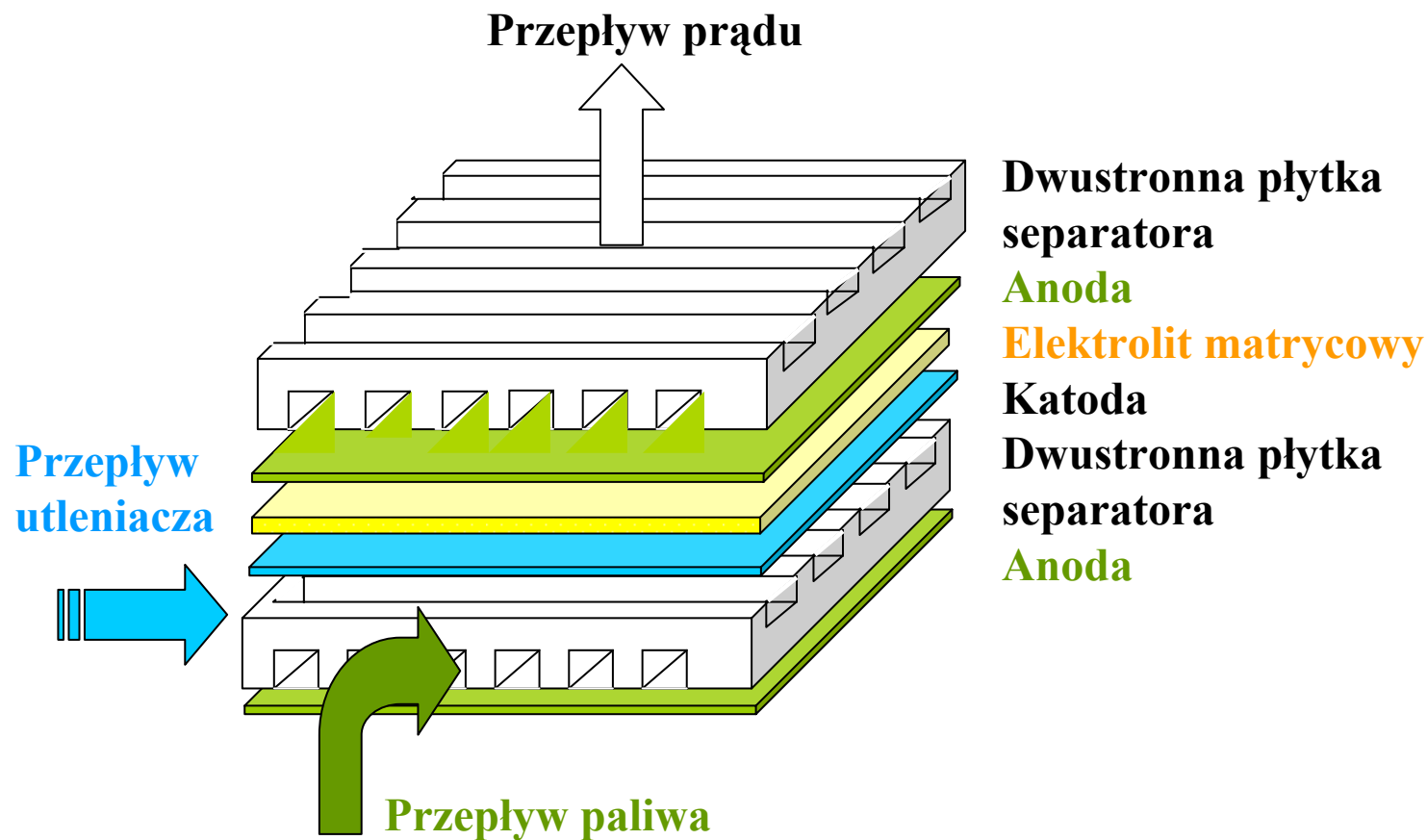




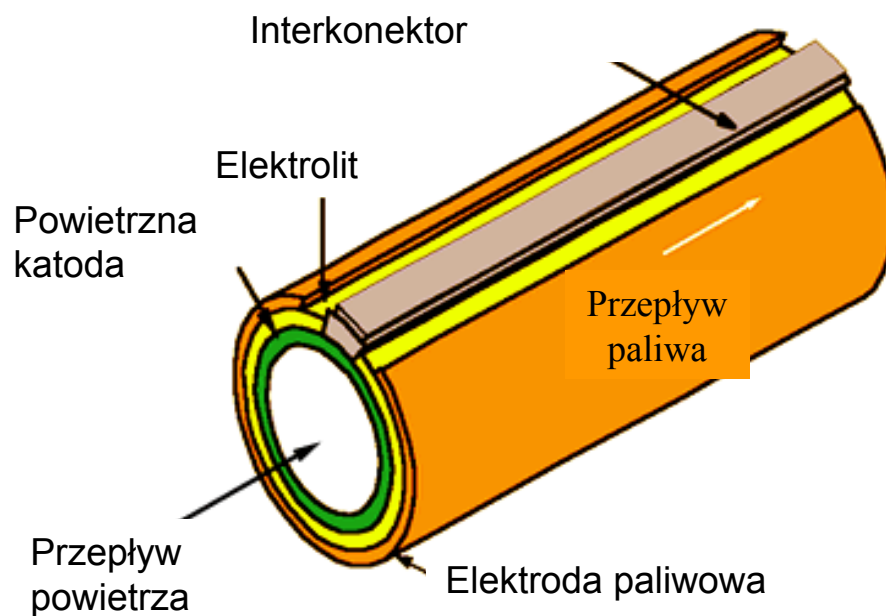
Jak działa ogniwo paliwowe?



Budowa ogniwa paliwowego płaskiego



Ogniwo paliwowe o geometrii cylindrycznej

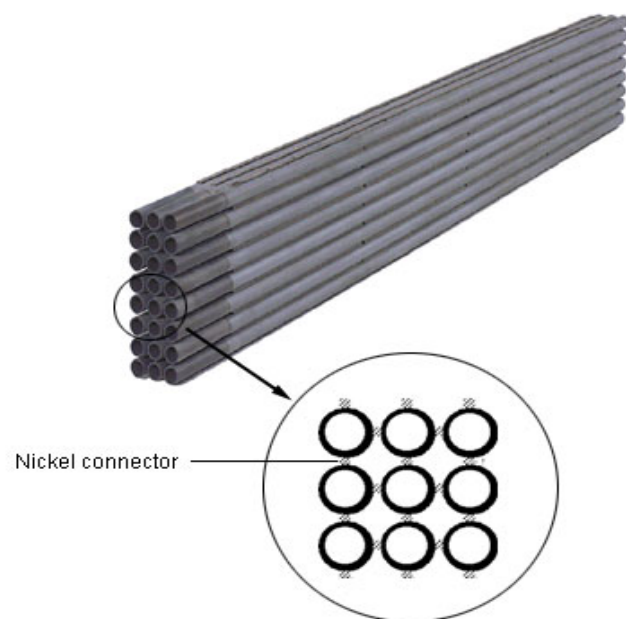


Ogniwo firmy Siemens-Westinghouse

anoda	100 - 150 μm
elektrolit	40 μm
katoda	„nośna”

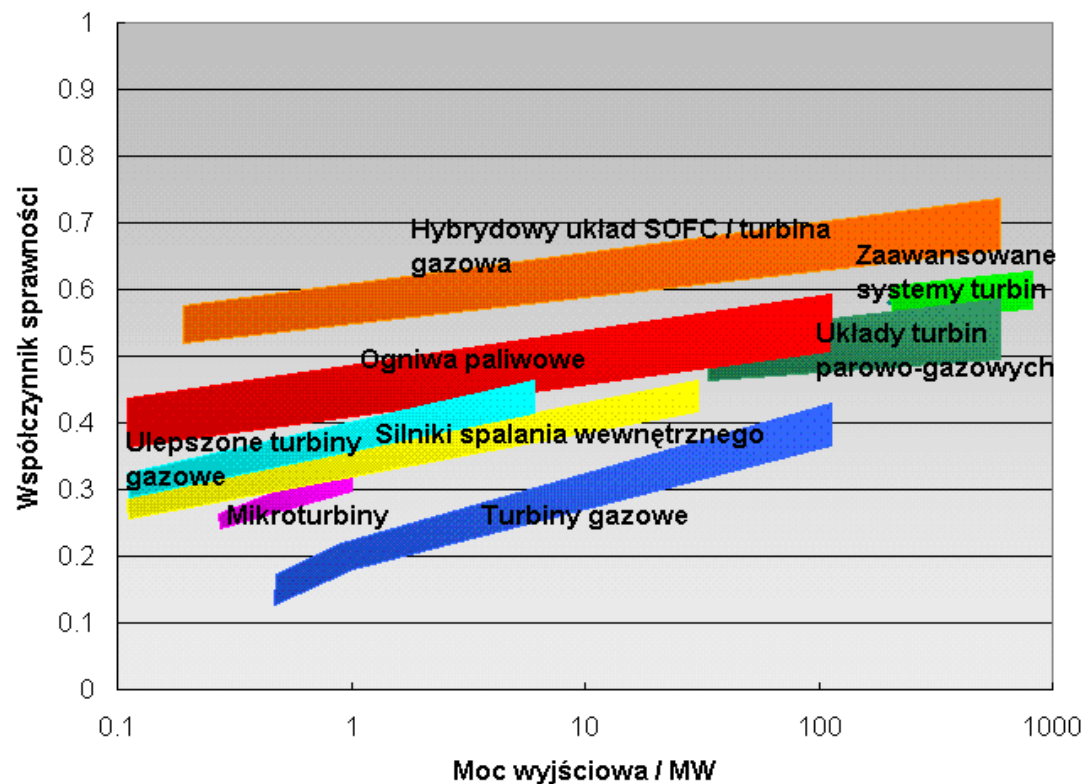
średnica	2,2 cm
długość	150 cm

Schemat połączenia ogniw rurowych w wiązki



Oznaczenia: Nickel connector – łącznik (interkonektor) niklowy

Efektywność wytwarzania energii elektrycznej





Podstawą kwalifikacji ogniw paliwowych jest:

•rodzaj elektrolitu

OP z elektrolitem zasadowym (Alkaline Fuel Cell = AFC)

OP z elektrolitem polimerowym (Polymer Electrolyte FC = PEFC, Proton Exchange Membrane FC = PEMFC)

OP z kwasem fosforowym (Phosphoric Acid FC = PAFC)

OP ze stopionymi węglanami (Molten Carbonate FC = MCFC)

OP stałotlenkowe (rurowe, płaskie, o obniżonej temperaturze pracy) = Solid Oxide FC = SOFC, Tubular and Planar SOFC = TSOFC, PSOFC; Intermediate Temperature SOFC = ITSOFC)

•temperatura pracy

niskotemperaturowe (do ok. 100 °C): AFC, PEFC

średniotemperaturowe (od ok. 100 do 300 °C): AFC, PAFC

wysokotemperaturowe (powyżej 500 °C): MCFC, SOFC

•specjalne OP

z bezpośrednim utlenianiem metanolu (Direct Methanol FC = DMFC)

regeneracyjne OP (Regenerative FC = RFC)

Podstawowym paliwem wszystkich wymienionych ogniw paliwowych jest WODÓR

Im wyższa temperatura pracy ogniw paliwowych tym większa tolerancja na CO w paliwie

Niskotemperaturowe: < 100 ppm

Średniotemperaturowe: < 1%

Wysokotemperaturowe: CO jest paliwem

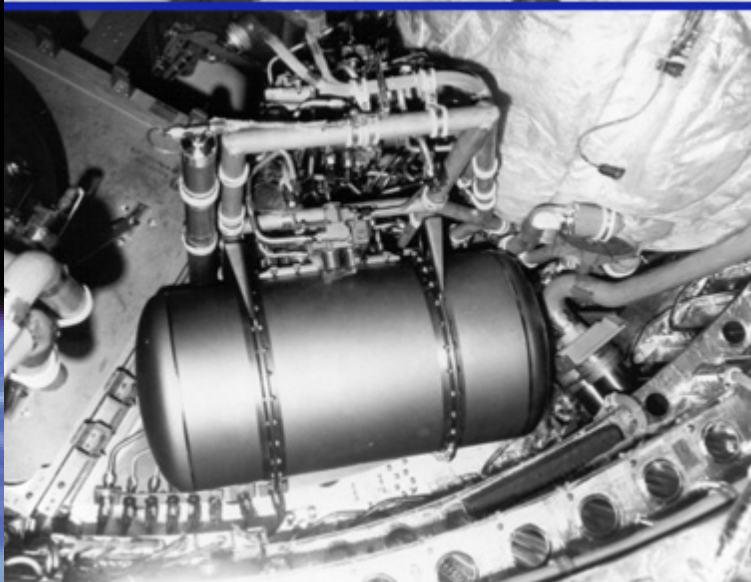
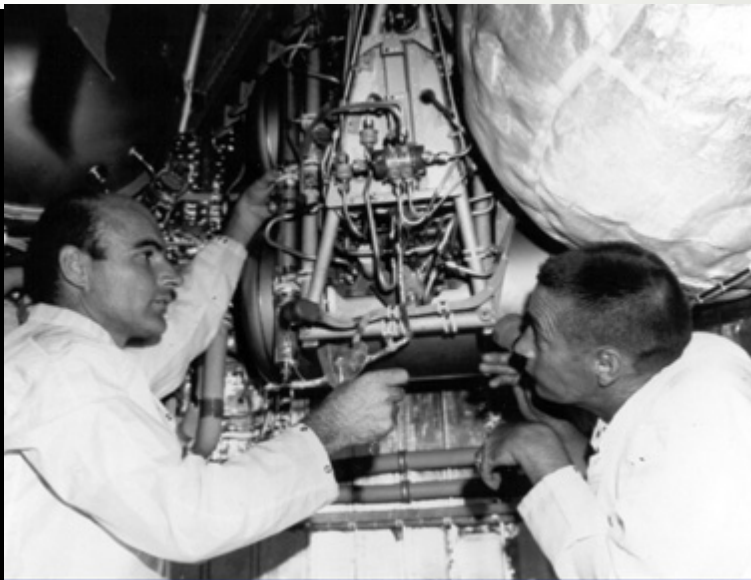


Pierwsze zastosowania



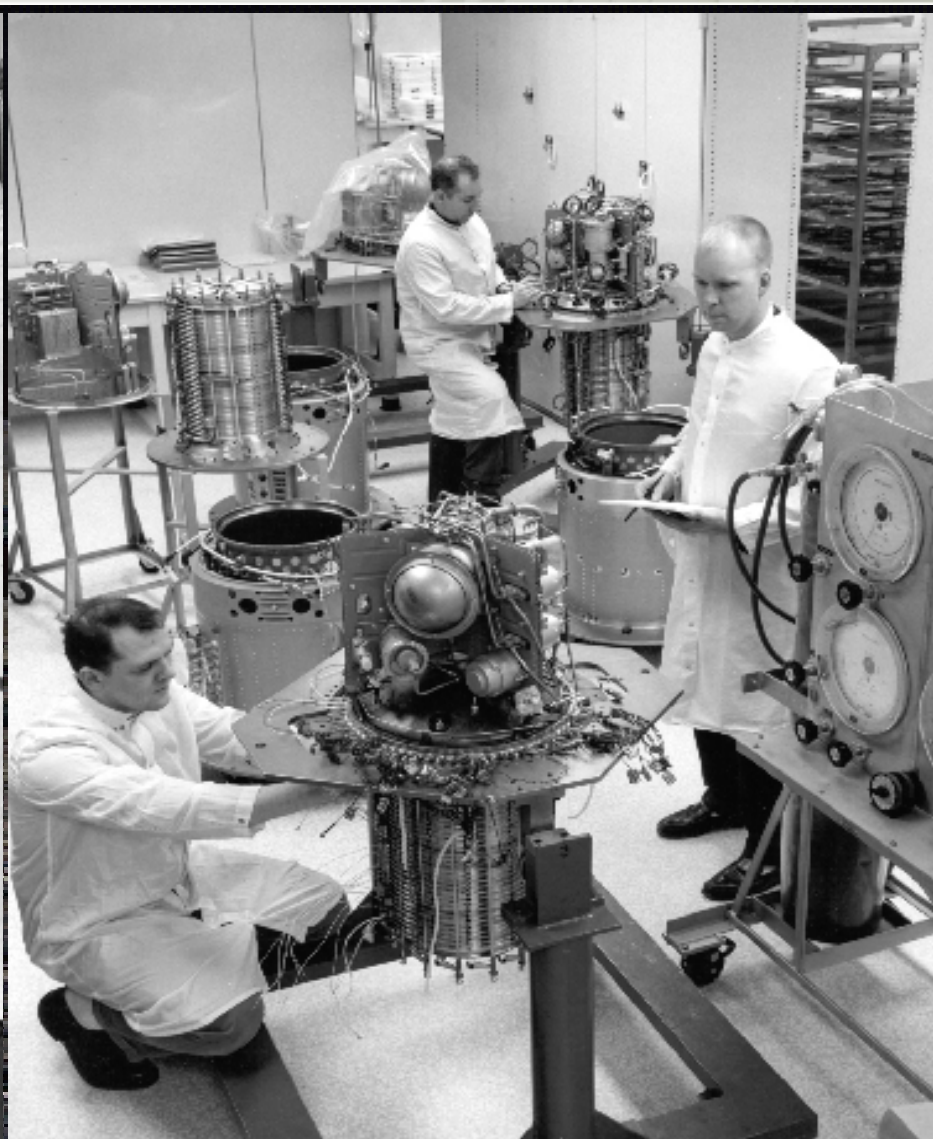


Misja Gemini





Misja Apollo





Generatory stacjonarne z ogniwami paliwowymi

Wczesne zastosowania ogniw paliwowych

Lata 1972-2000

Generatory stacjonarne
PAFC

Tanie materiały węglowe jako podstawowe materiały stosowane w ogniwach paliwowych z kwasem fosforowym (PAFC)

1977 – 1MW (UTC, South Windsor, USA)

1983-5 – 4.5 MW (TEPCO, Goi, Japonia)

1991 – 11 MW (TEPCO, Goi, Japonia)

Przykład zastosowania (nie do końca udany)



2 x PC 25

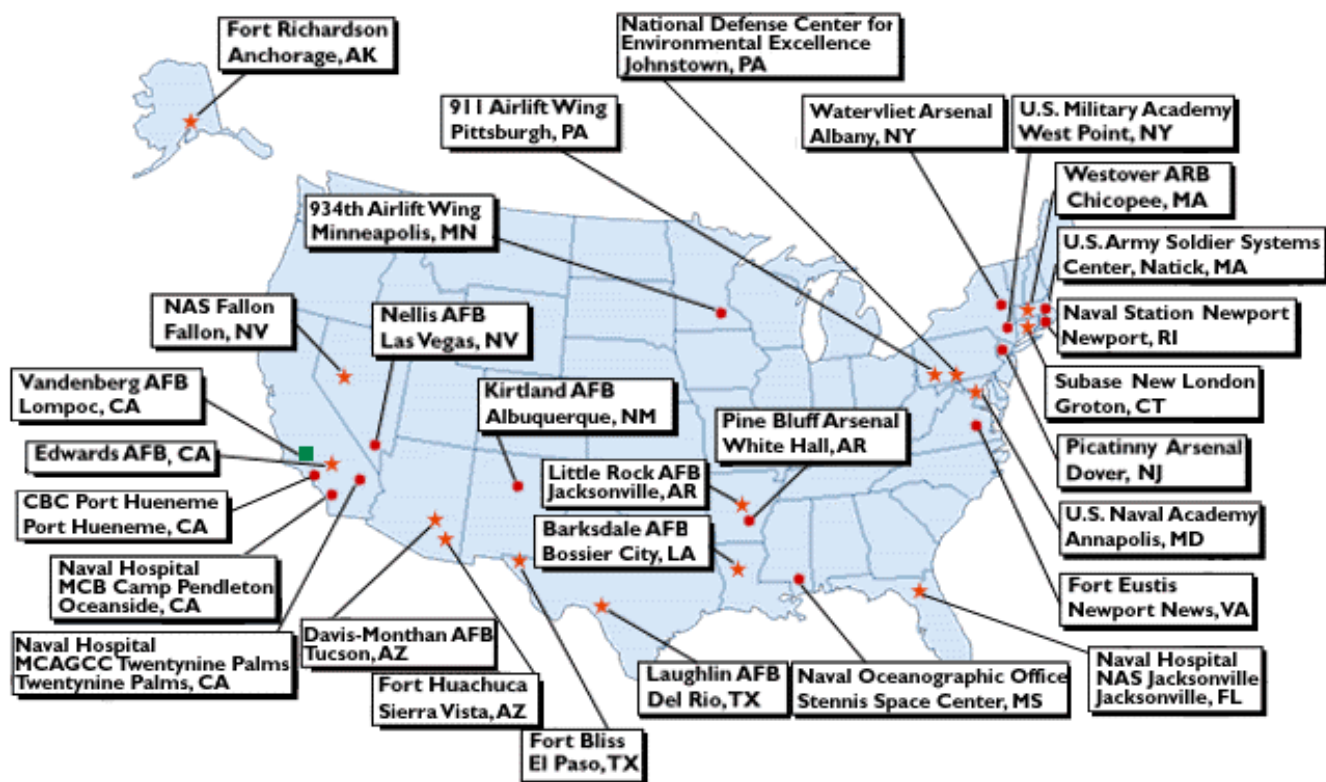
moc elektryczna	200 kW
moc cieplna	220 kW
zużycie gazu ziemnego,max	54 Nm ³ /h
wydajność elektryczna	40 %
wydajność całkowita	80 %

Pierwszy komercyjny stacjonarny generator energii z OP- PC 25, cena: ok. 900 000 USD



- ∞ paliwo: metan
- ∞ P: 200 kW
- ∞ $h_{el.}$: 40 % ; h_c : 60 % (40%)
- ∞ t: 36 246 h w tym t_c : 9 477 h
- ∞ poziom hałasu: ok. 60 dB
- ∞ producent: ONSI (Toshiba)
- ∞ emisja NO_x < 10 ppm

Rozmieszczenie generatorów PC 25 testowanych przez Ministerstwo Obrony Stanów Zjednoczonych





Zespół generatorów PC 25 o mocy 1 MW w Anchorage (Alaska) zasilający miejskowy urząd pocztowy



∞ Liczba godzin przepracowanych przez wszystkie instalacje: 614 658
(średnio 2.4 roku/instalacje)

∞ Typ PC 25B:

bezobsługowe działanie: **54 %** czasu całkowitego

okres między wyłączeniami: **1518 h**

sprawność elektryczna: **33-40 %**

spadek napięcia **7%/1000 h**

∞ Typ PC 25C:

bezobsługowe działanie: **77 %** czasu całkowitego

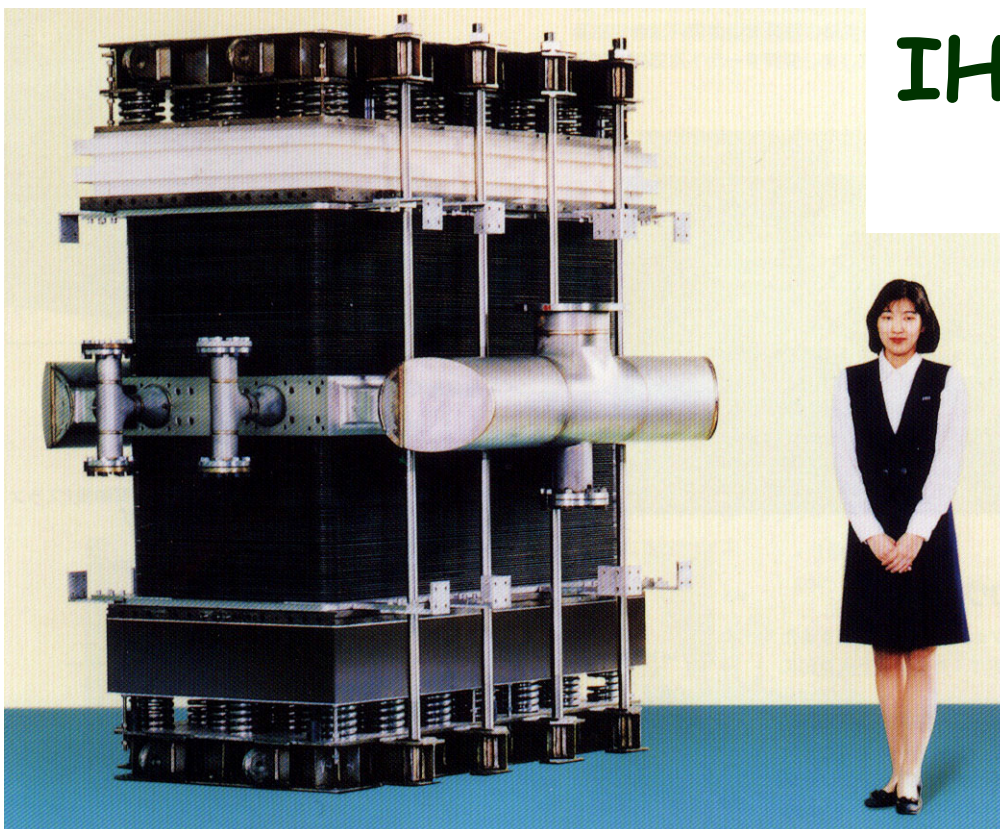
okres między wyłączeniami: **1541 h**

sprawność elektryczna: **32-38%**

spadek napięcia **5%/1000 h**

Wysokotemperaturowe węglanowe ogniwo paliwowe:

Gaz syntezowy ze zgazowania węgla paliwem



IHI (Japonia)
250 kW



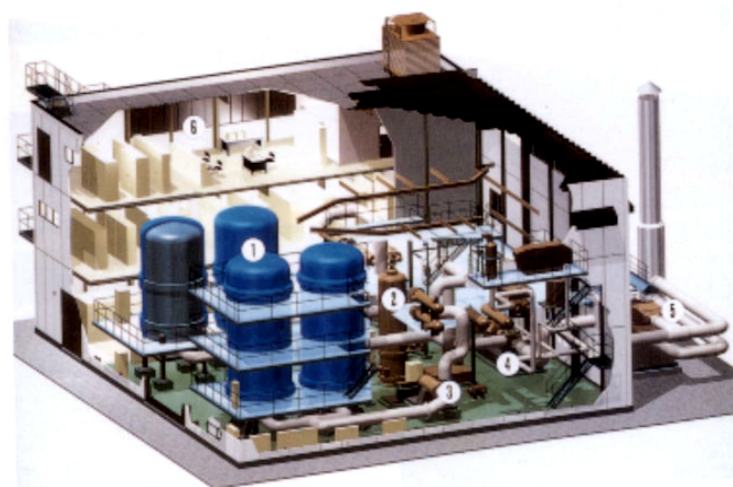
Test w Santa Clara. Generator 2 MW (Energy Research Corporation). 04. 1996 – 02. 1997



- ∞ Zasilanie: Gaz ziemny
- ∞ 2 MW = 720 h
- ∞ 1 MW = 4570 h
- ∞ Energia wytworzona: 2500 MWh
- ∞ Sprawność elektryczna: 43.6 %
- ∞ Koszt: 46 mln US dol

Test w Kawagoe. Generator 1 MW (IHI i Hitachi).

08. 1999 – 01. 2000.



① 250kW スタック	① 250kW Class Stack
② 改良器	② Refomer
③ 高温ブロウ	③ High Temperature Blower
④ タービン圧縮機	④ Turbine Compressor
⑤ 排熱回収熱交換器	⑤ Heat Recovery Steam Generator
⑥ 制御室	⑥ Control Room

- ⌚ Zasilanie: Gaz ziemny
- ⌚ 1 MW = 4916/2669 h
- ⌚ Energia wytworzona: 2103 MWh
- ⌚ Sprawność elektryczna: 45 %
- ⌚ Spadek napięcia: 0.5-0.7%/1000 h
- ⌚ Napięcie pracy poj. ogn. 0.763 - 0.786 V
- ⌚ Gęstość prądu: 92-120 mA/cm²
- ⌚ Utylizacja paliwa: 76 %
- ⌚ Ciśnienie pracy: 0.49 MPa



Moduł MCFC w Guericke University Medical Institute w Magdeburgu w Niemczech o mocy 250 kW zainstalowany w 2003r. Koszt 3.5 mln EUR



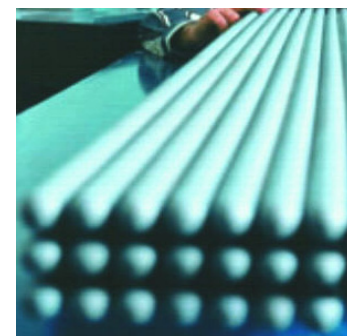
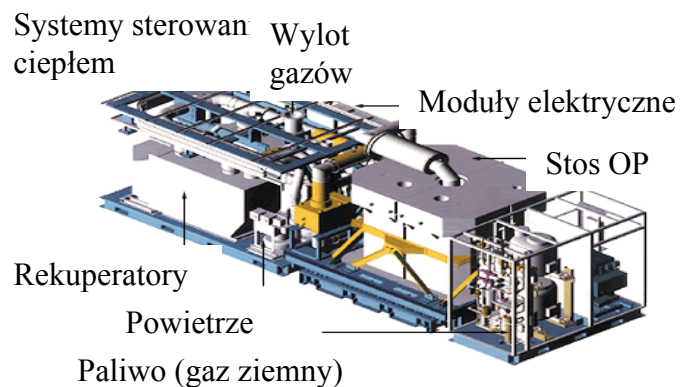
Moduł MCFC o mocy skalowalnej 250 kW do 2MW z wewnętrznym reformingiem gazu ziemnego

Test OP typu SOFC - Westervoort

I. kw.1998 -12. 2000.



- ∞ zasilanie: gaz ziemny
(konwersja wewnętrzna do H₂ i CO)
- ∞ Siemens Westinghouse
- ∞ P_t / P_{rz} -110 / 100 kW
- ∞ t: 16 612 h (w tym t_c: 12 600 h)
- ∞ przerwa remontowa po t: 3700 h
- ∞ h_{el}: 46 %
- ∞ h_{el+c}: 75 %
- ∞ liczba ogniw : 1152

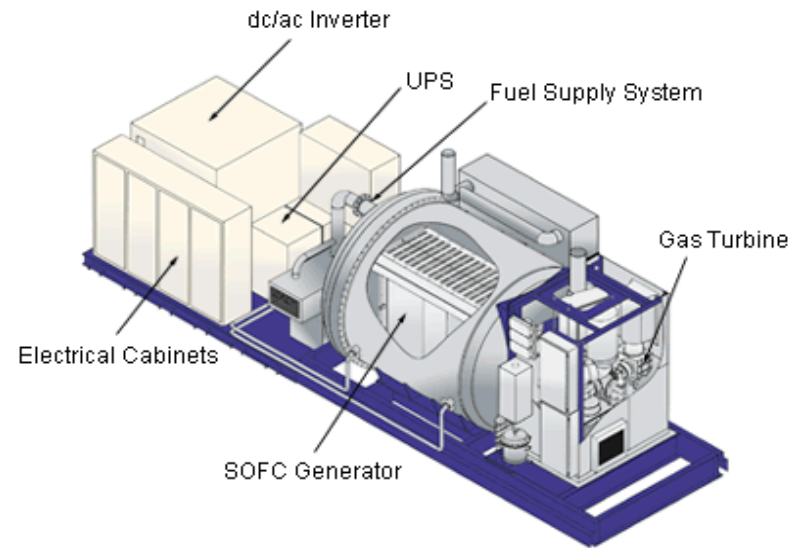




Siemens-Westinghouse: SOFC + Mikroturbina

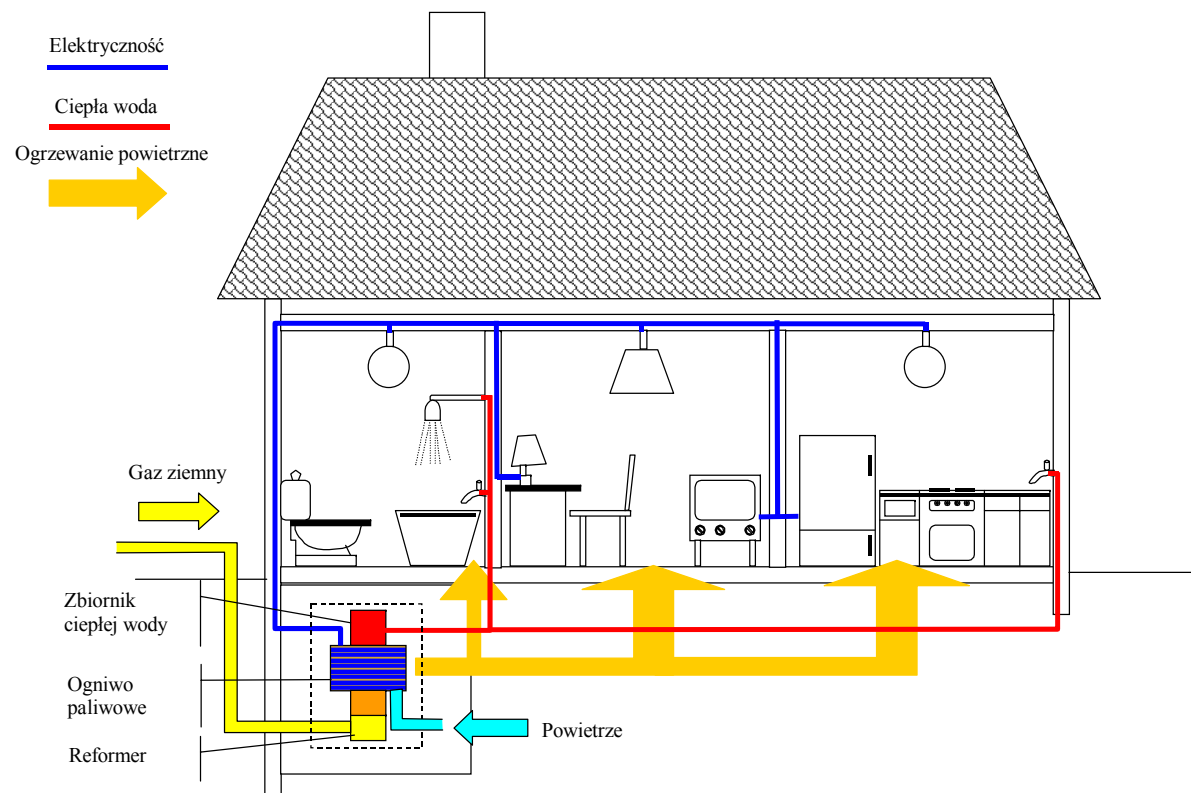


220kW

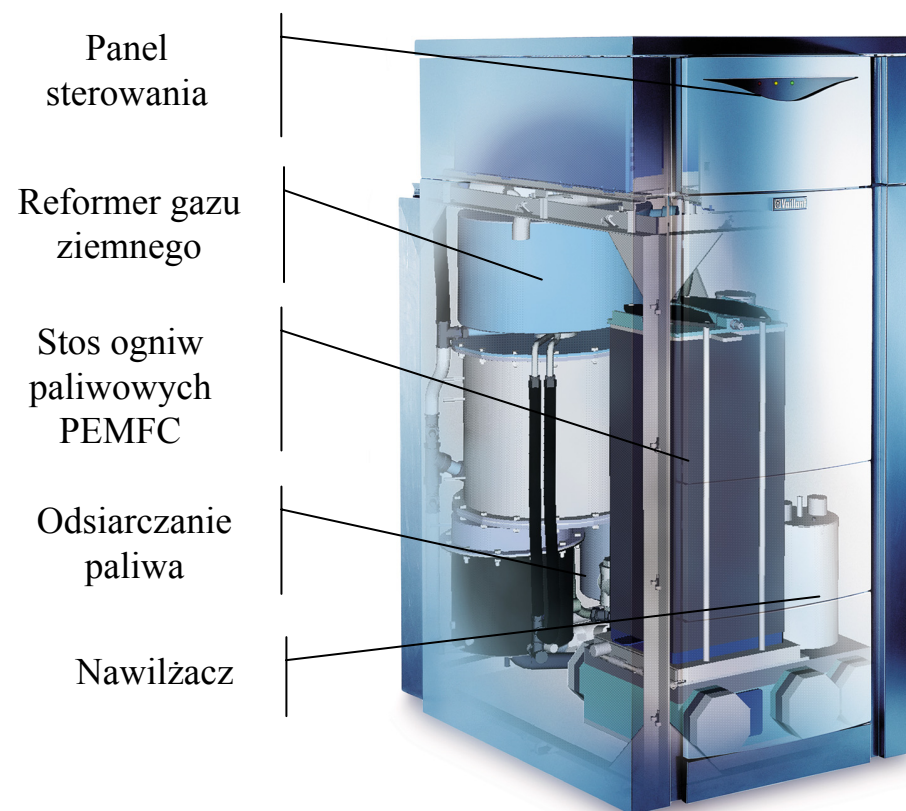


300 kW

Energetyka rozproszona

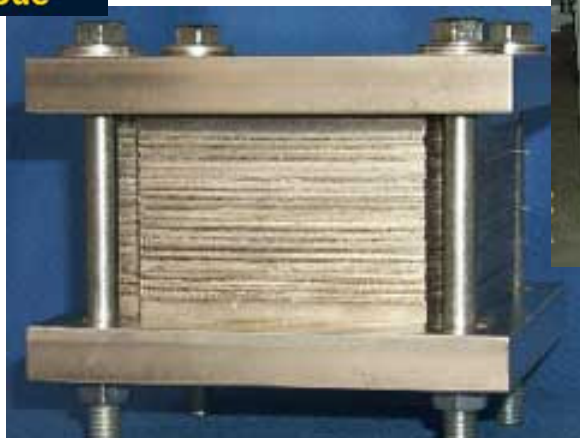
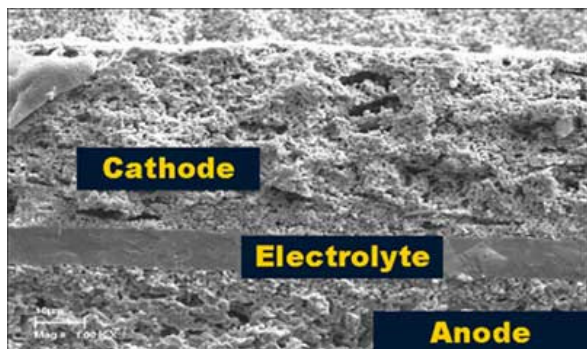


„Grzewcze ogniwo paliwowe” f-my Vaillant + Plug Power





Ogniwo paliwowe z elektrolitem ze stałych tlenków
Elektrolit: ZrO_2 dotowany Y_2O_3 (lub CaO).
Temperatura pracy: 800-1000°C (wysokotemperaturowe)



**Global
Thermoelectric**
(ostatnio zakupiony
przez FCE)



1.35 kW

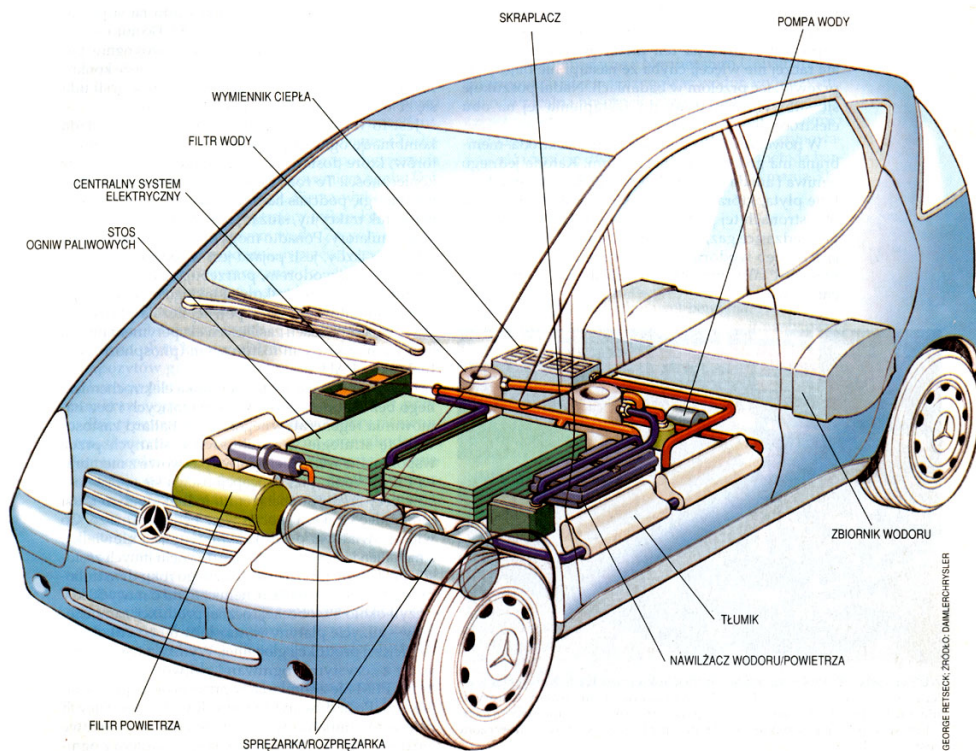
Ogniwo tlenkowe HXS 1000 Premiere firmy Sulzer-Hexis



Ogniwo do użytku domowego
(przedkomercyjne)

- Moc elektryczna 1 kW
- Moc cieplna 2,5 kW
(z dodatkowym palnikiem do 22 kW)
- Sprawność elektryczna dla gazu ziemnego 25-30 %, docelowo > 30 %
- Sprawność całkowita ok. 85 %

Samochody elektryczne





Pierwszy samochód napędzany OP

Data
1966

Wytwórnia
Karl Kordesch

Model
Austin A40
sedan

Technologia
Union Carbide
6 kW, AFC

Paliwo
Sprężony wodór
320 km



Samochody z OP r. 2001



- ⌚ **Toyota FCHV 4**
- ⌚ **Rok 2001**
- ⌚ **P: 90 kW**
- ⌚ **czas rozruchu: 10 s**
- ⌚ **v_{\max} : 150 km/h**
- ⌚ **zasięg: 350 km**



- ⌚ **Honda FCX-V3**
- ⌚ **Rok 2001**
- ⌚ **P: 78 kW**
- ⌚ **czas rozruchu: 10 s**
- ⌚ **v_{\max} : 140 km/h**
- ⌚ **zasięg: 330 km**



Honda Clarity

Samochody obecnie:

Dostępna na zasadzie leasingu, 600 USD/miesiąc

Zasięg: 430 km

Moc: 136 KM

Szybkość maksymalna: 160 km/h

Baterie szczytowe: Li-ion, 288 V

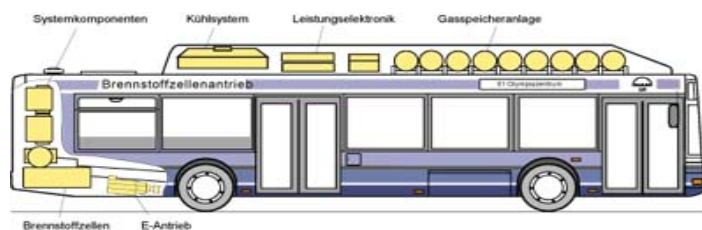


Autobusy z ogniwami paliwowymi



Autobus Man 2001

P: 120 kW; l:300 km; v_{\max} :75 m/h



Mercedes Citaro

- ⌚ 2001
- ⌚ P-250 KW
- ⌚ zasięg: 300 km
- ⌚ v_{\max} : 80 km/h

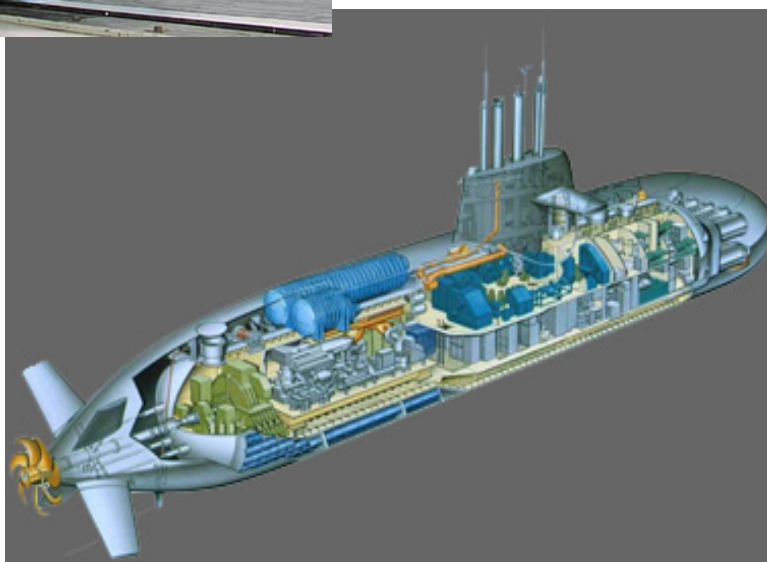




Zastosowania wojskowe i niszowe

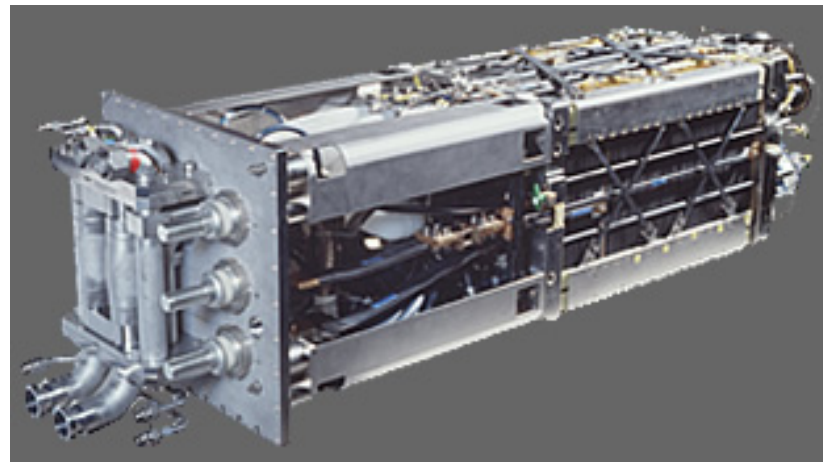


Okręt podwodny typu 212A



Okręt podwodny typu 212A

- okręt zaopatrzony w ogniwa których sercem są polimerowe membrany elektrolityczne PEM (Proton Exchange Membrane lub Polymer Electrolyte Membrane)
- Dziewięć zespołów ogniw Siemens, z których każde rozwija moc 34 kW
- siła elektromotoryczna pojedynczego ogniwa wynosi około 0,7 V, a natężenie prądu elektrycznego w obwodzie 650A
- ogniwa w trakcie pracy wytwarzają temperaturę około 80°C i osiągają sprawność w granicach 65%,



Możliwość przebywania
z zanurzeniu przy
zasilaniu z ogniw – ok. 2
tygodnie



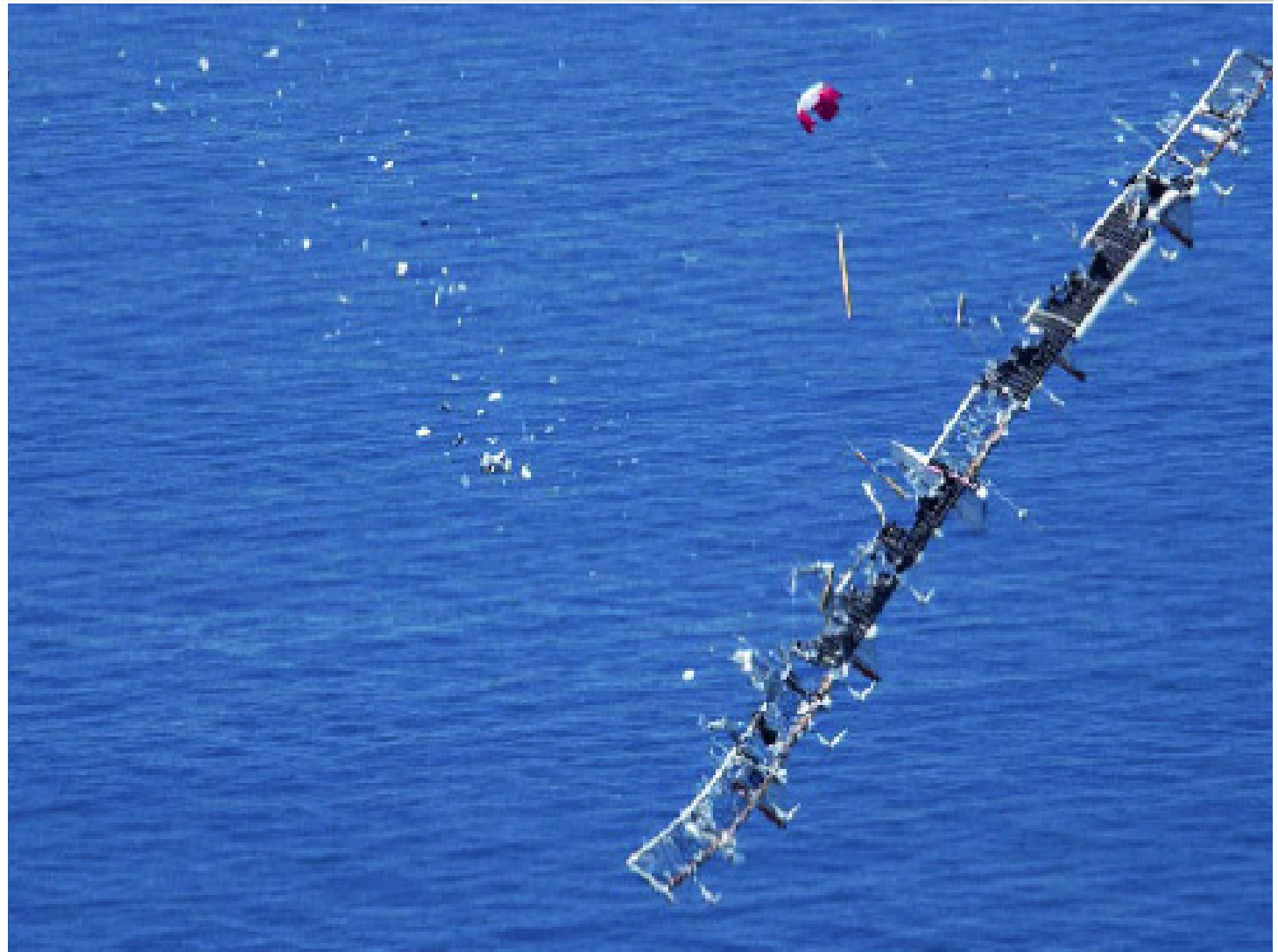
AGH

Helios

- **Rozpiętość skrzydeł: 75,3 m**
Długość: 3,6 m
Grubość skrzydeł: 0.3 m
Masa: 600 kg
Napęd: 14 silników DC (1,5 kW każdy)
- **Źródło energii: moduły baterii fotowoltaicznych, pracujące w dzień, umieszczone na przezroczystych skrzydłach; w nocy: ogniwa paliwowe(PEM)**
- **Prędkość: 30-40 km/h (maks.270 km/h)**
- **Wysokość lotu: maks. 30000 m**
Materiały: głównie włókna węglowe i styrofoam. Skrzydła pokryte specjalną plastikową tkaniną



26 czerwca 2003 roku podczas lotu testowego Helios zanotował problemy ze sterowaniem. W następstwie doznał uszkodzeń struktury płatu, co doprowadziło do katastrofy.



Program Land Warrior



Nowy system broni
strzeleckiej:

**karabin M16 lub M4,
wyrzutnika granatów
M203**

**dalmierz laserowy z
oświetlaczem celu**

cyfrowa kamery

**system identyfikacji
bojowej**

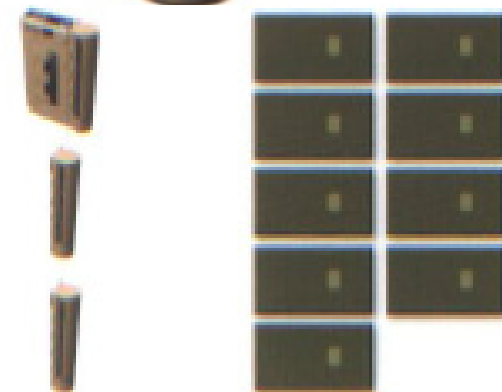
**termalny układ kontroli
ognia**

Dla 72-godzinnej: średnia moc 20 W.

12,25 kg baterii wielokrotnego użytku lub 8,16 kg baterii pierwotnych

Urządzenie z OP (RMFC) firmy UltraCell

- Dane techniczne XX25:
- Moc na wyjściu: 25 W
- Nominalna wartość napięcia dla stosu: 7,2 V
- Napięcie dla prądu zmiennego na wyjściu: 6 - 30 V
- Moc zmagazynowana w jednym naboju: 490 Wh
- Czas pracy na jednym naboju: 24 h przy stałej mocy: 20 W
- Zakres temperatur stabilnej pracy: od -20 do +49 °C
- Wilgotność względna: 0% - 100%





Metanolowe ogniwo paliwowe (polimerowe)



Telefon Toshiba-

zasilacz - O.P.- DMFC

$W = 1$ W dla $t = 20$ h

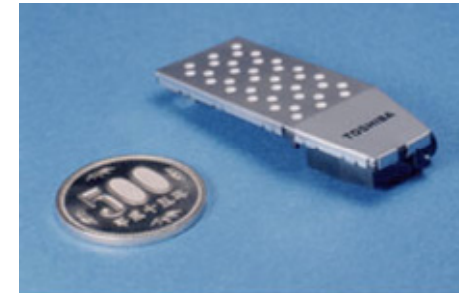
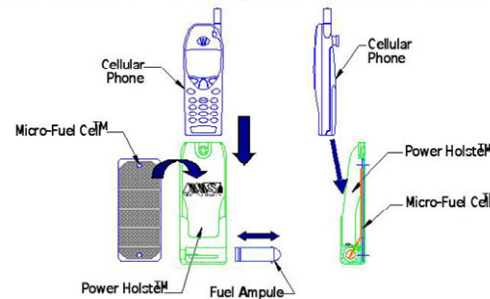
100 x 60 x 30 mm

30 x 60 x 20 mm



Energy Related Devices

Power Holster™ Concept For Cellular Phones

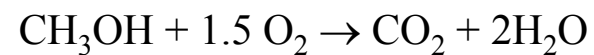
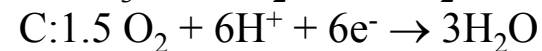
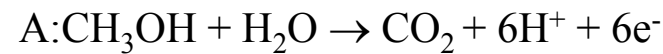


1/22/99 Lucerne 16

WADY:

metanol = trucizna

moc PEMFC ok. **150 razy**
większa niż DMFC



WNIOSKI

- Węgiel będzie potencjalnie jednym z najbardziej perspektywicznych źródeł wodoru (ogniwa fotowoltaiczne?)
- Technologie wodorowe osiągnęły stan przedkomercyjny i w zastosowaniach niszowych, wczesny komercyjny
- Generatory stacjonarne z ogniwami paliwowymi będą użyteczne w energetyce rozproszonej
- Kiedy nastąpi szerokie wdrożenie technologii wodorowych?
 - częściowo już (IGCC)
 - z wykorzystaniem ogniw paliwowych ??? Za 15-20 lat???