



**AGH**

**AGH UNIVERSITY OF SCIENCE  
AND TECHNOLOGY**

# **Paliwo wodorowe**

**Piotr Tomczyk**

**Wydział Energetyki i Paliw**

Paliwo Gazowe CNG: Ekologia, Ekonomia, Bezpieczeństwo

Kraków 2009



# **Dlaczego wodór?**

## Zalety wodoru jako wtórnego nośnika energii



(metan: 50 kW s/g, benzyna: 44.5 kW s/g)

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





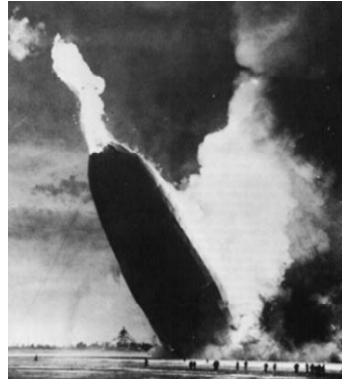
**Czy wodór jest bezpieczny?**



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



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



- spłonęło 200 000 m<sup>3</sup> 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.





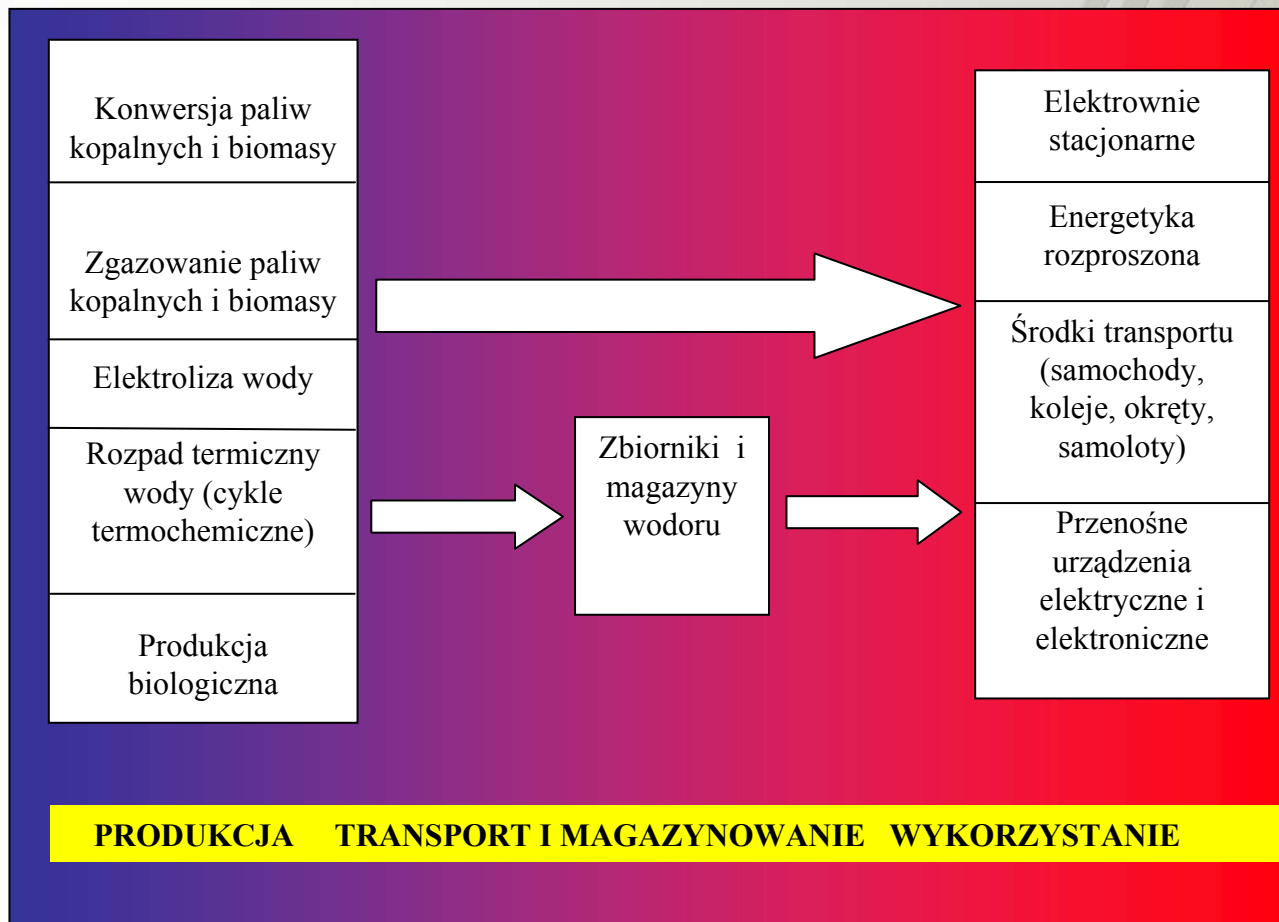
Czas: 1 min., 30 sek.



# *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**



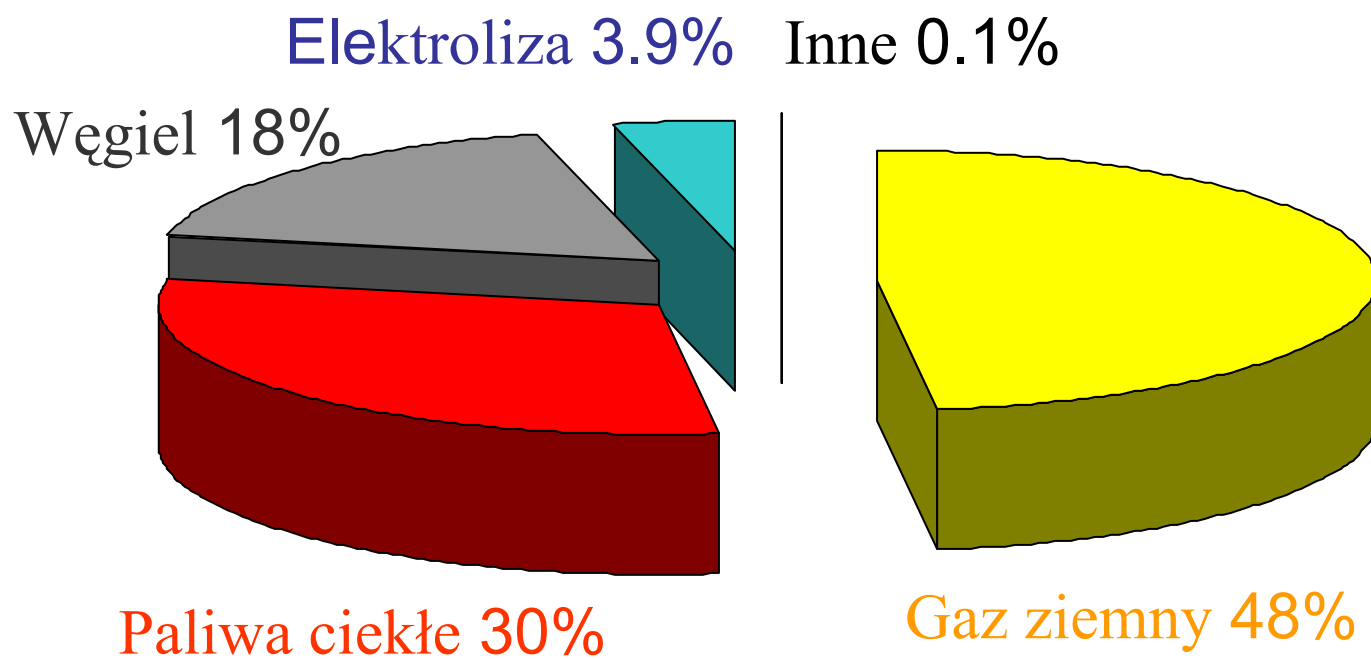


# Produkcja wodoru – sposoby niekonwencjonalne

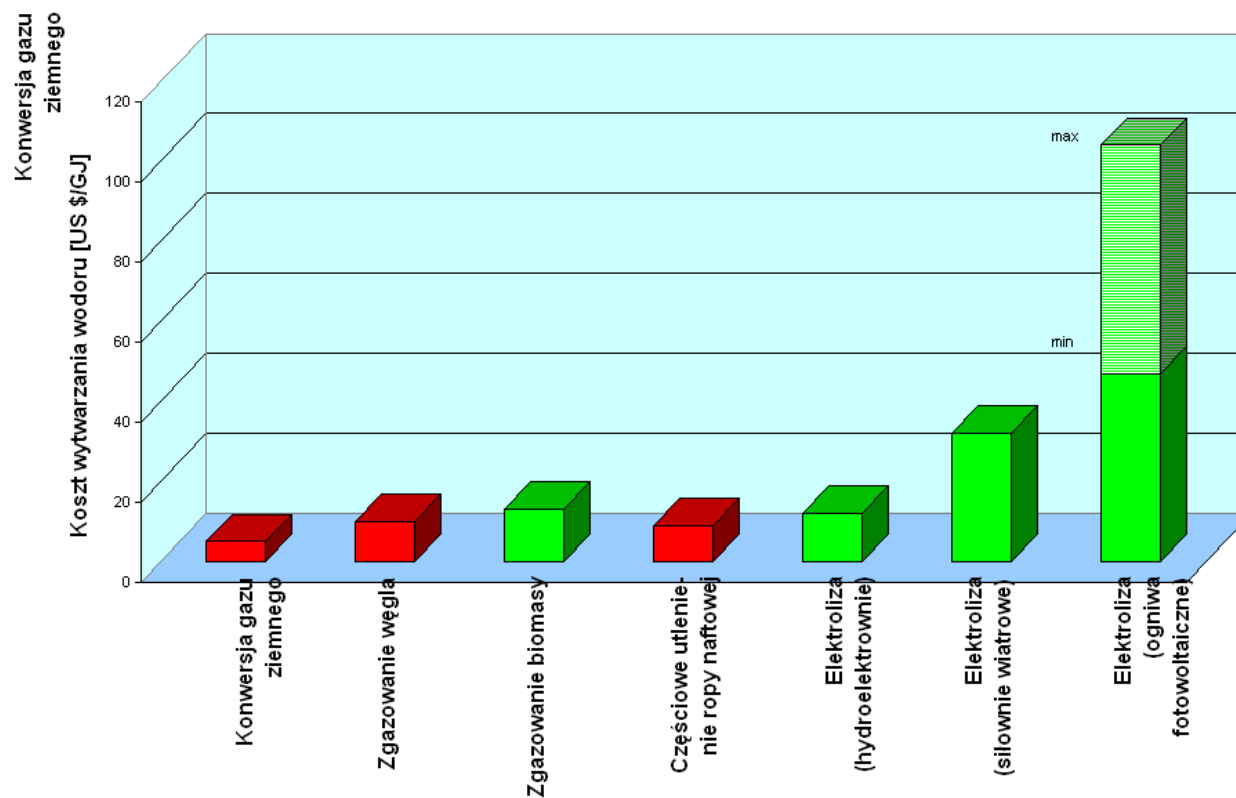
- termiczny rozkład wody (termoliza)
- wykorzystanie bakterii i enzymów
- przetwarzanie biomasy z alg na biogaz
- rozkład fotokatalityczny wody
- z hydratów (wodzianów) metanu
- pyroliza węgla (gaz koksowniczy)

# Jak otrzymać wodór ?

Produkcja wodoru dzisiaj: 50 Mt



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





# Zgazowanie węgla

- w reaktorach zewnętrznych
- **podziemne**

# Reakcje zgazowania węgla

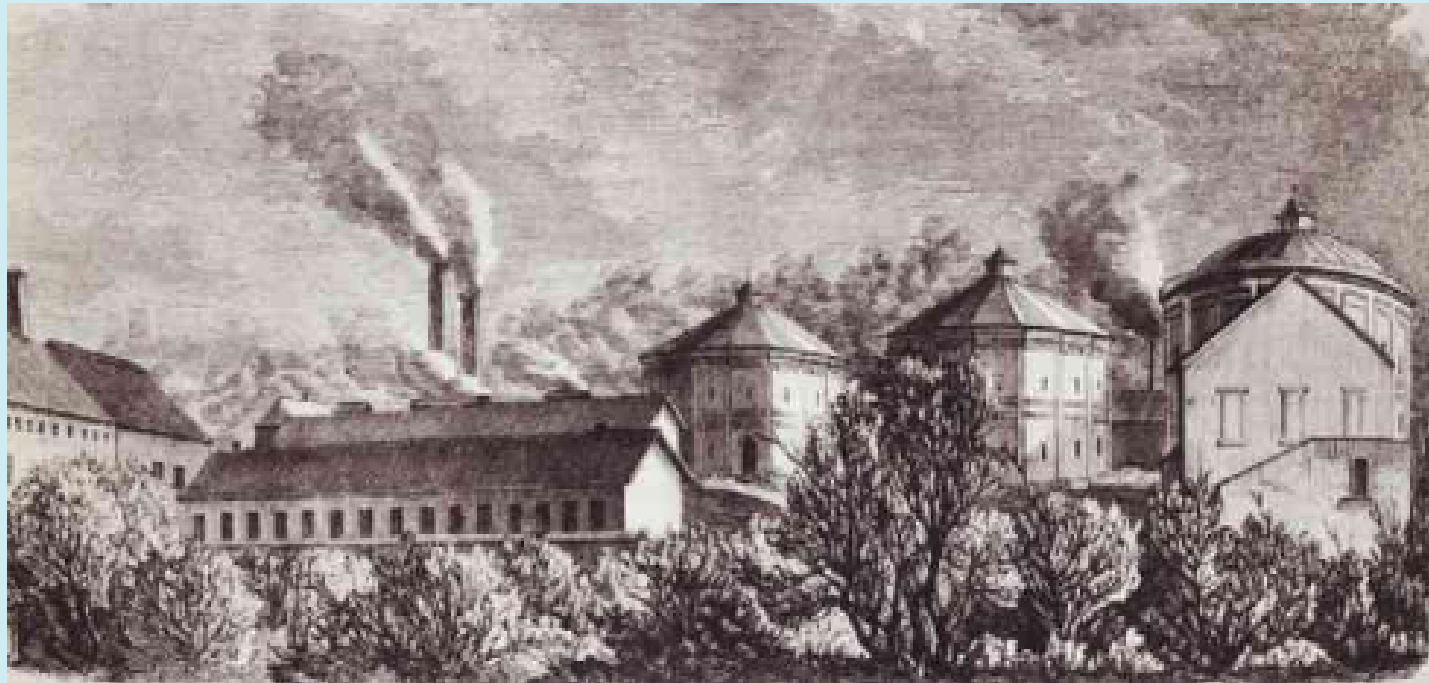
## REAKCJE EGZOTERMICZNE:

- **Spalanie**  $(C) + O_2 \rightarrow CO_2$
- **Częściowe utlenienie**  $(C) + O_2 \rightarrow CO$
- **Metanizacja**  $(C) + H_2 \rightarrow CH_4$
  
- **Konwersja CO**  $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$
  
- **Metanizacja CO**  $CO + 3H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$

## REAKCJE ENDOTERMICZNE:

- **Reakcja z parą wodną**  $(C) + H_2O \rightarrow CO + H_2$
- **Reakcja Boudouard'a**  $(C) + CO_2 \rightarrow 2CO$

## Zgazowywanie węgla nie jest nową technologią:



Gazownia Warszawska na Solcu (drzeworyt J. Sosińskiego) – ok. 1856 r.  
Drugi zakład na Woli powstał w 1888 r.  
Gaz stosowano najpierw do oświetlania ulic (latarnie gazowe, latarnicy),  
pierwsze oświetlane mieszkania w Warszawie w 1857 r.



# **Jak najlepiej wykorzystywać wodór do produkcji energii elektrycznej?**

**OGNIWA PALIWOWE**

# Ogniwa GALWANICZNE

Ogniwa pierwotne  
(jednorazowe)



Akumulatory



Ogniwa paliwowe



Po rozładowaniu



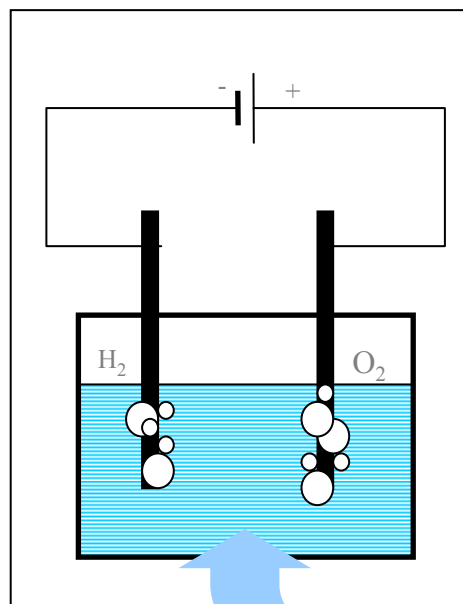
Trzeba naładować

Nie rozładowuje się gdy paliwo i utleniacz dostarczane są do OP



## Elektroliza wody

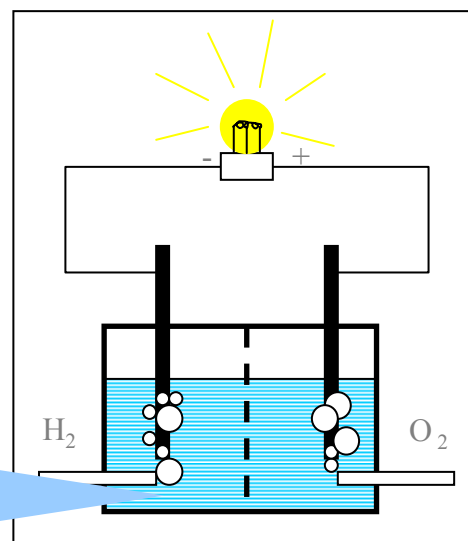
Woda + En. elektryczna → Wodór + Tlen



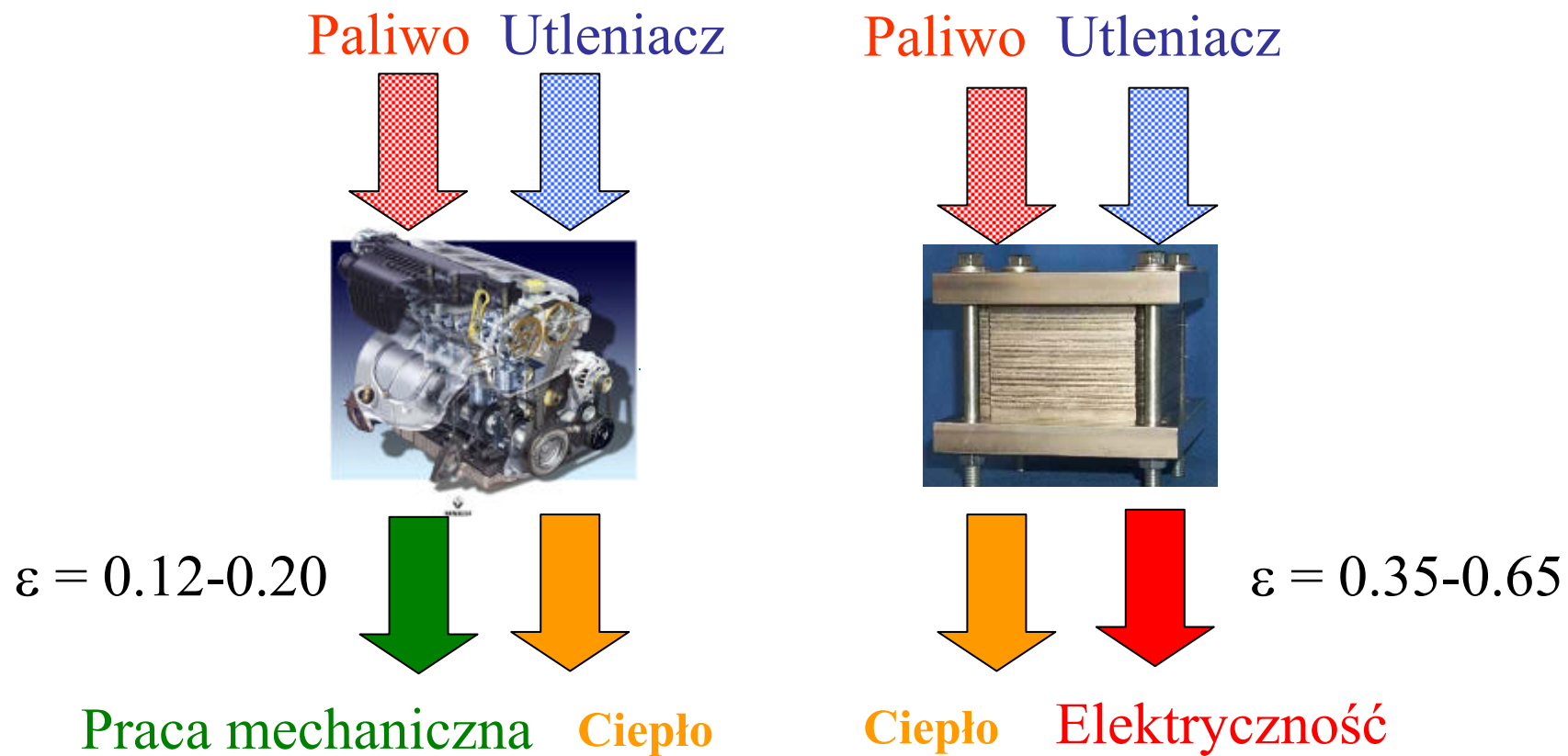
Elektrolit

## Ogniwo paliwowe

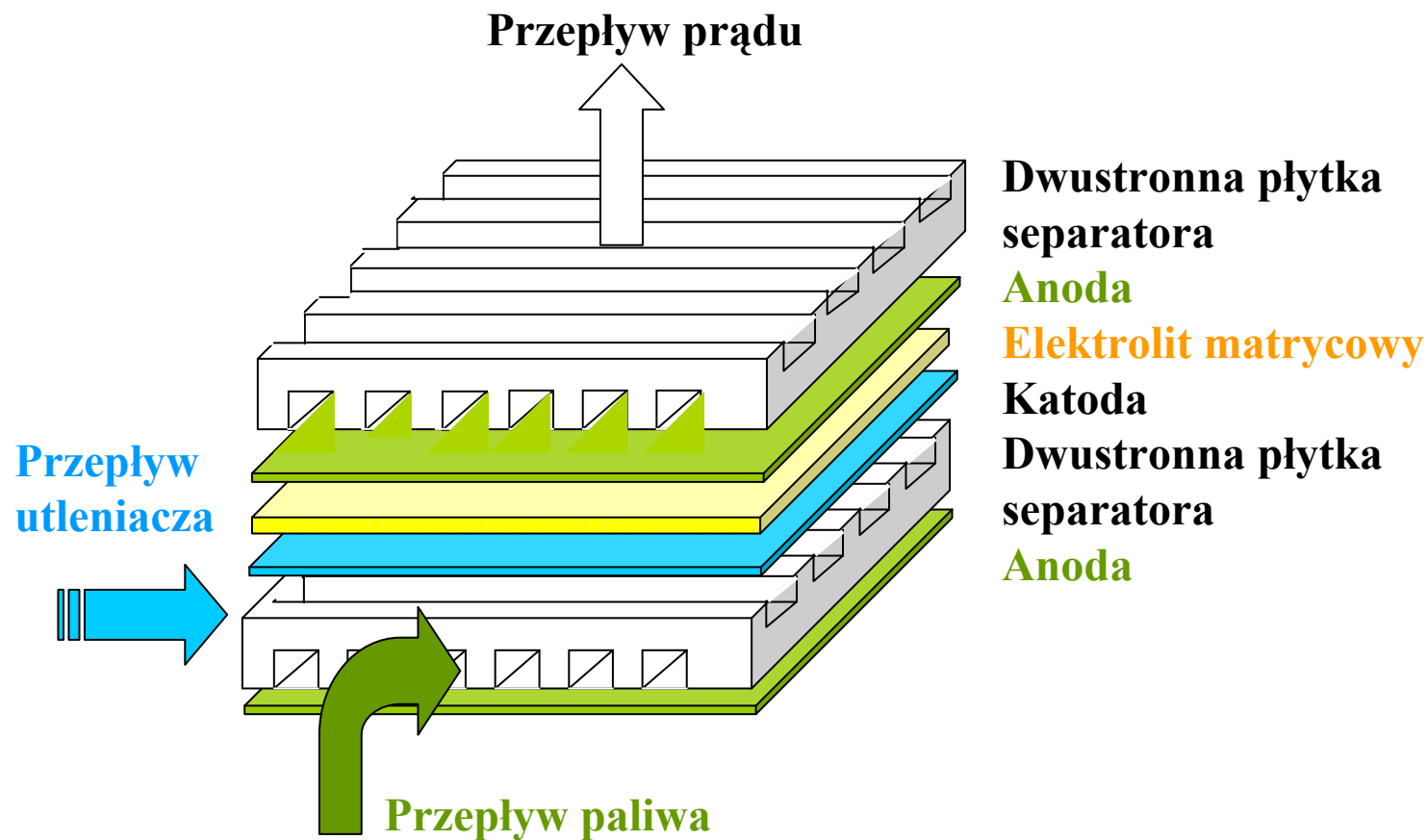
Wodór + Tlen (pow.) → Woda + En. elektryczna



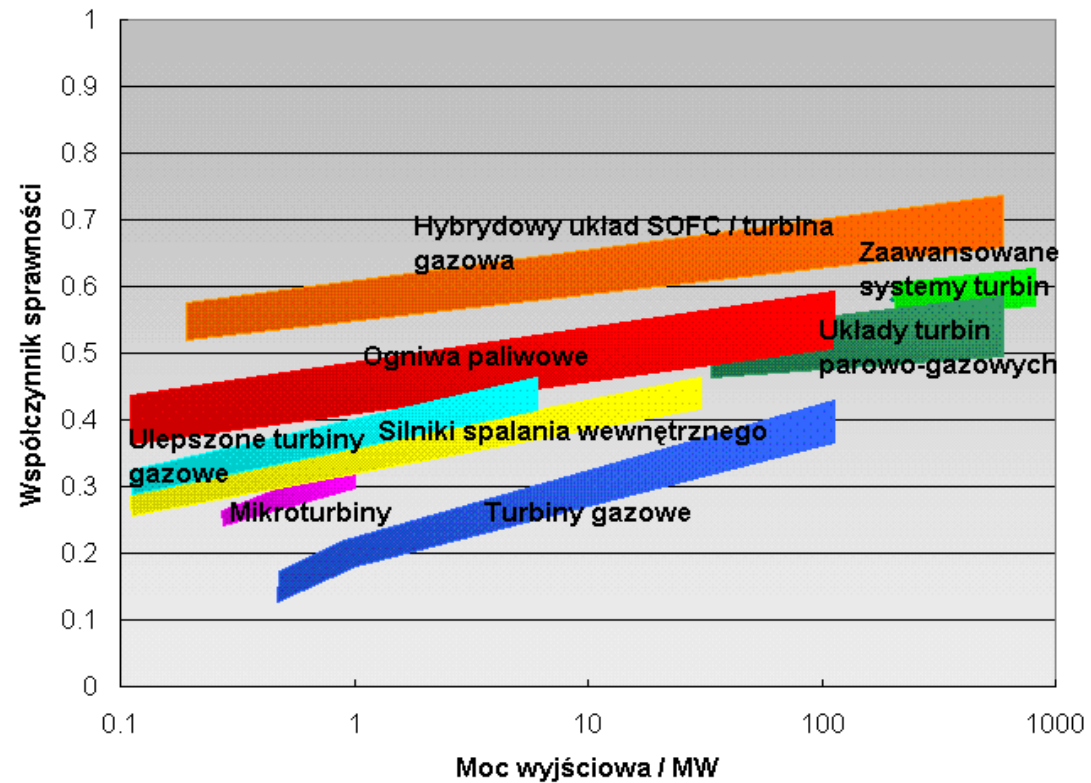
# Silniki spalania wewnętrznego    Ogniwa paliwowe



## Budowa ogniwa paliwowego płaskiego



# Efektywność wytwarzania energii elektrycznej



## Warunki ekonomiczne komercjalizacji generatorów z ogniwami paliwowymi (cel):

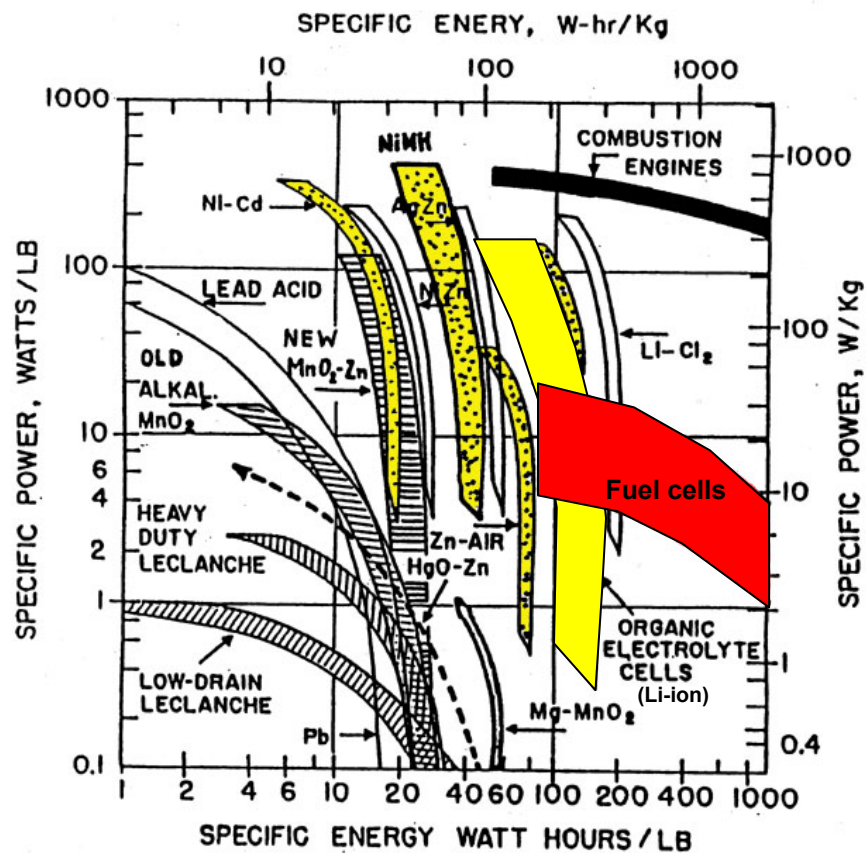
- **generatory stacjonarne:**

1000 –1500 USD/kW                      40 000-50 000 h

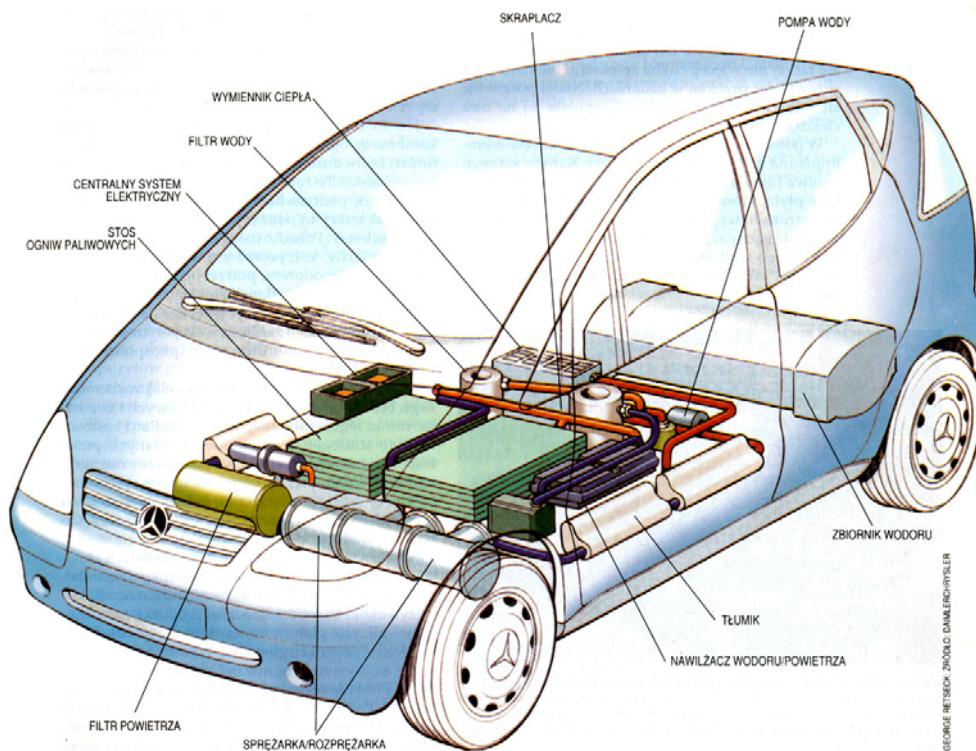
- **generatory do napędu samochodów**

50 USD/kW                                      5 000-8 000 h

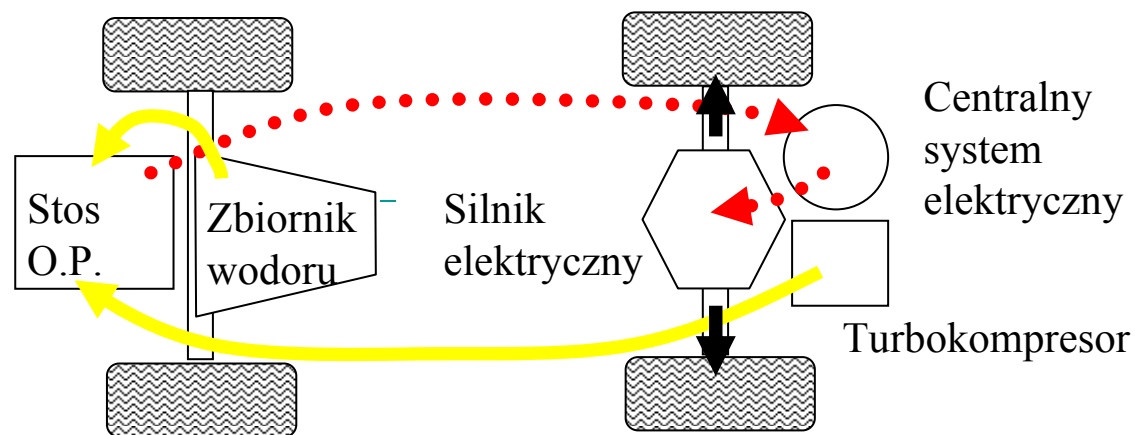
# Porównanie mocy i energii właściwej (liczonej na 1 kg masy) wybranych ogniw, ogniwa paliwowego i silnika spalinowego



# Samochody elektryczne

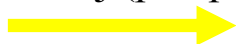


# Blokowy schemat współdziałania elementów samochodu z ogniwami paliwowymi



Przepływy energii:

chemicznej (przepływ gazów)



elektrycznej



mechanicznej







## 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

# Samochody niestandardowe

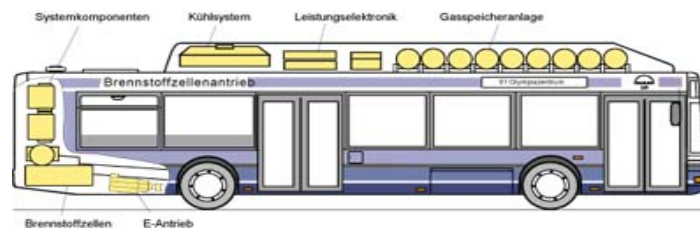


## Autobusy z ogniwami paliwowymi



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





# Samochody z ogniwami paliwowymi - prototypy

Parametry samochodów osobowych zasilanych ogniwami paliwowymi

Koncern	Moc stosu OP	Zasięg	Prędkość	Paliwo	Uwagi
DAIMLER CHRYSLER					PMFC
NECAR 1 (1994)	50 kW	130 km	90 km/h	wodór	
NECAR 2 (1996)	50 kW	250 km	110 km/h	wodór	
NECAR 3 (1997)	45 kW	400 km	120 km/h	metanol	
NECAR 4 (1999)	70 kW	450 km	145 km/h	wodór	
NECAR 4 Advanced (2000)	85 kW	482 km	145 km/h	wodór	
NECAR 5 (2001)	85 kW	482 km	150 km/h	metanol	
Mercedes Benz Sprinter	55 kW	150 km	120 km/h	wodór	
FORD					
P2000 (1999)	67 kW	160 km	128 km/h	wodór	
Focus FC5 (	65 kW	160 km	128 km/h	metanol	
Focus FCV (2001)	75 kW	160 km	128 km/h	wodór	
MAZDA					AC-40 kW
Demio FC-EV (1997)	20 kW	170 km	90 km/h	wodór	
Premacy FC-EV (2001)	65 kW		125 km/h	metanol	
NISSAN					
Rnessa FCV (1999)	10 kW		70 km/h	metanol	
Xterra FCV (2001)	75 kW		120 km/h	wodór	
HONDA					
FCX-V1 (1999)	60 kW	177 km	130 km/h	wodór	
FCX-V2 (1999)	60 kW		130 km/h	metanol	
FCX-V3 (2000)	62 kW	173 km	130 km/h	wodór	
FCX-V4 (2001)	78 kW	330 km	140 km/h	wodór	
FCX (2002)	85 kW	355 km	150 km/h	wodór	
CITROEN (2000)	30 kW	300 km	95 km/h	wodór	
PEUGOT					
Cab (2001)	5,5 kW	300 km	95 km/h	wodór	
RENAULT					
Fever (1997)	10 kW	500 km	120 km/h	wodór	
Laguna Estate (1998)	30 kW	400 km			
VOLKSWAGEN					
Bora (2000)	75 kW	350 km	140 km/h	wodór	
Bora Hy (2002)	28 kW	150 km	115 km/h	wodór	
FIAT					
Seicento Elettra (2001)	75 kW	140 km	100 km/h	wodór	
(2003)	40 kW	220 km	130 km/h	wodór	
HYUNDAI					
Santa Fe SUV (2001)	75 kW	160 km	124 km/h	wodór	
TOYOTA					
RAV4 (1996)	20 kW	175 km	100 km/h	wodór	
FCHV 3(2001)	90 kW	300 km	150 km/h	wodór	

Parametry autobusów zasilanych ogniwami paliwowymi

Producent ogniwa Nazwa autobusu	Moc ogniw	Zasięg	Prędkość	Paliwo	Uwagi
BALLARD					
32 Food Bus (1993)	90 kW	km	160 km/h	wodór	
Phase Two Bus (1995)	205 kW	400 km		wodór	60 pasażerów
Phase Three Bus (1998)	205 kW			wodór	60 pasażerów
Georgetown Bus (2000)	100 kW	560 km	105 km/h	wodór	75 pasażerów
Evobus Citaro (2001)	250 kW	300 km	80 km/h		
DAIMLER CHRYSLER					
NEBUS (1997)	250 kW	250 km	80 km/h	wodór	62 pasażerów
DAIMLER CHRYSLER					
NEBUS (1997)	250 kW	250 km	80 km/h	wodór	
UTC					
Irisbus (2001)	60 kW	km	60 km/h	wodór	
Thor Bus (2001)					
PROTON MOTOR					
Neoplan Bus (2000)	80 kW	km	80 km/h	wodór	
SIEMENS					
Man Bus (2000)	120 kW	250 km	80 km/h	wodór	
DE NORA					
Neoplan Bus (1999)	120 kW	600 km	50 km/h	wodór	
Scania Bus (2001)	60 kW	250 km	km/h		
Man Bus (2001)	120 kW	300 km	75 km/h		
TOYOTA					
Hino Bus (2001)	90 kW	300 km	80 km/h	wodór	

## Samochody obecnie:

wyłącznie produkcja  
prototypowa



- **Honda FCX**

wypożyczenie miesięczne:

**8000 USD**

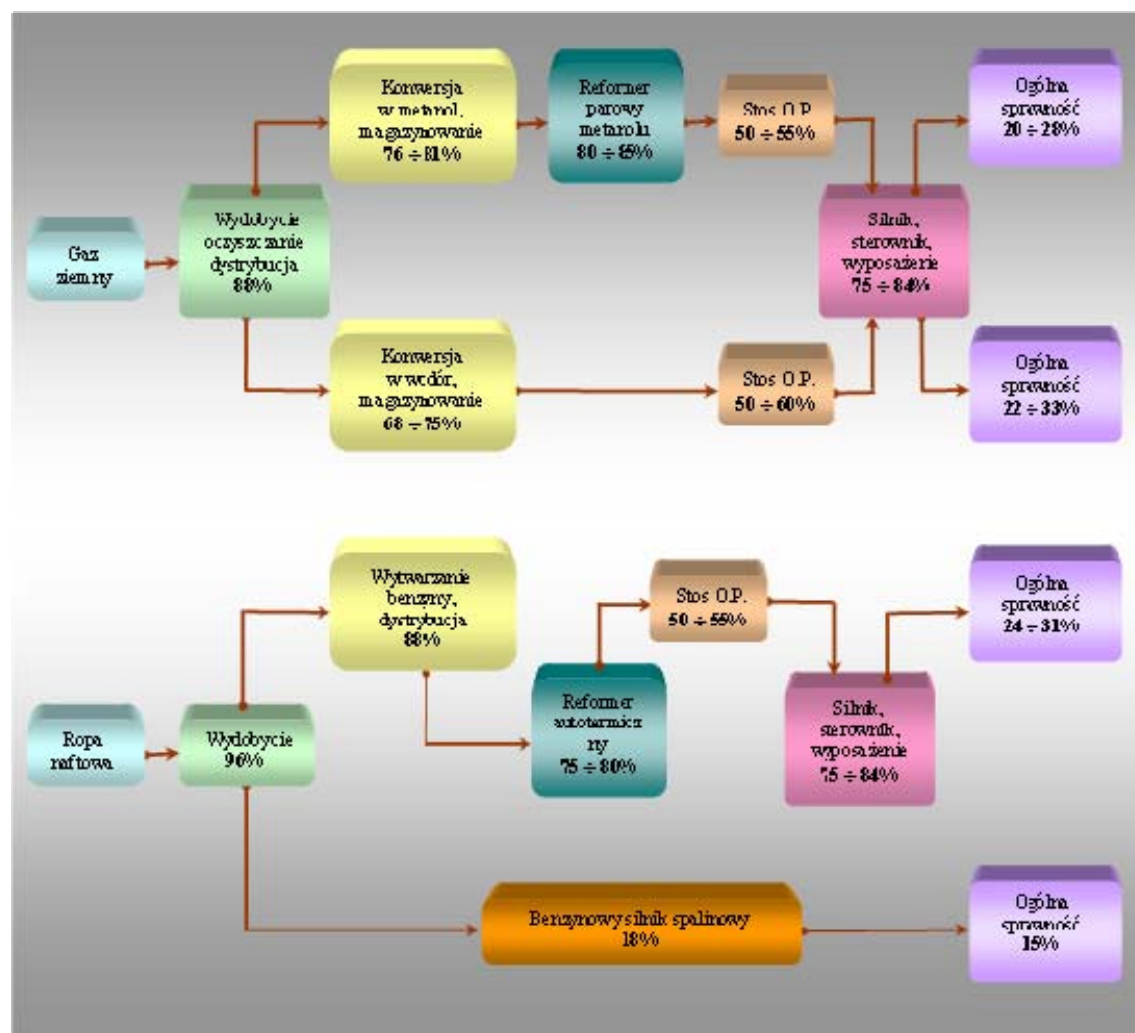
wypożyczenie roczne:

**88 000 USD**

Cena planowana za 10-15 lat:

**27-36 000 USD**

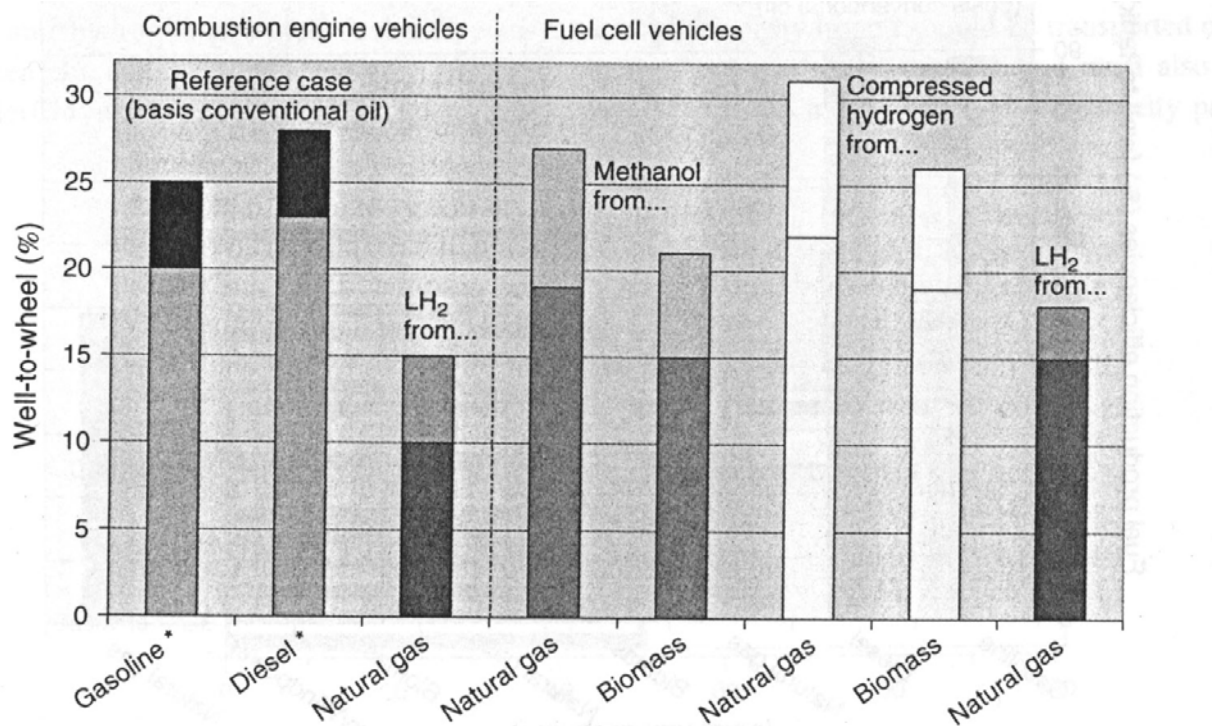
## Sprawność „well to wheel”



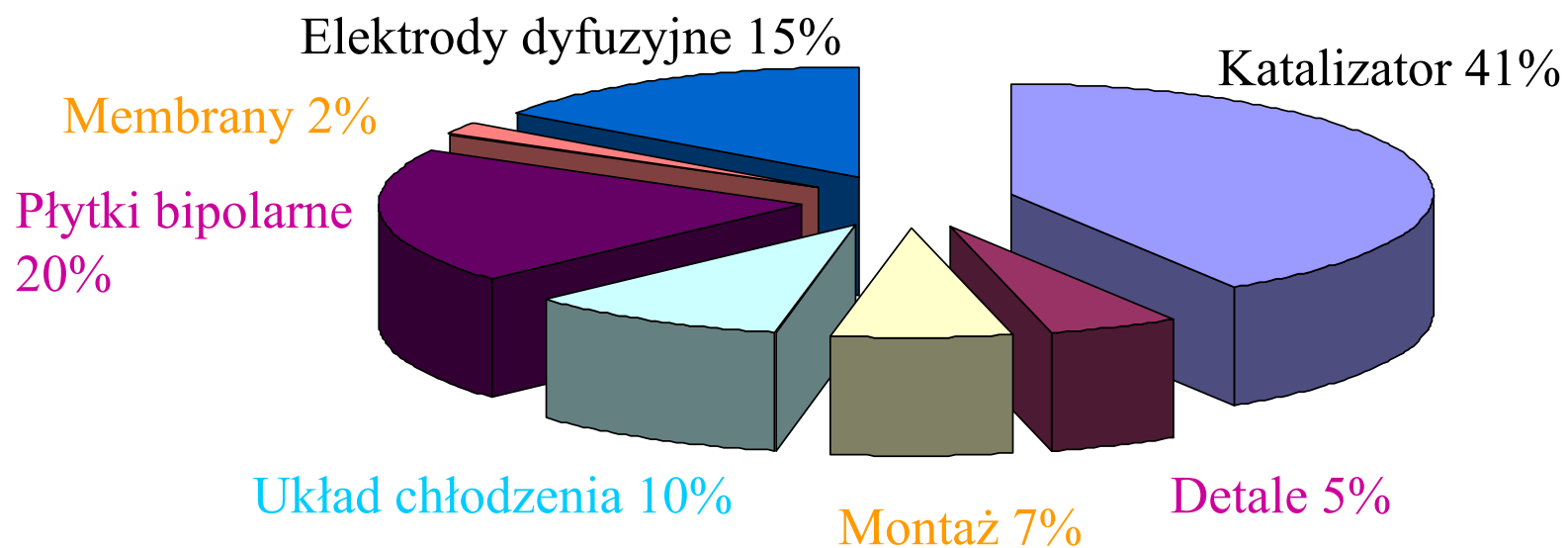


# Sprawność „well to wheel”

B. Hóhlein, G. Isenberg, R. Edinger i T. Grube, Handbook of Fuel Cells, v.3. s. 245-254

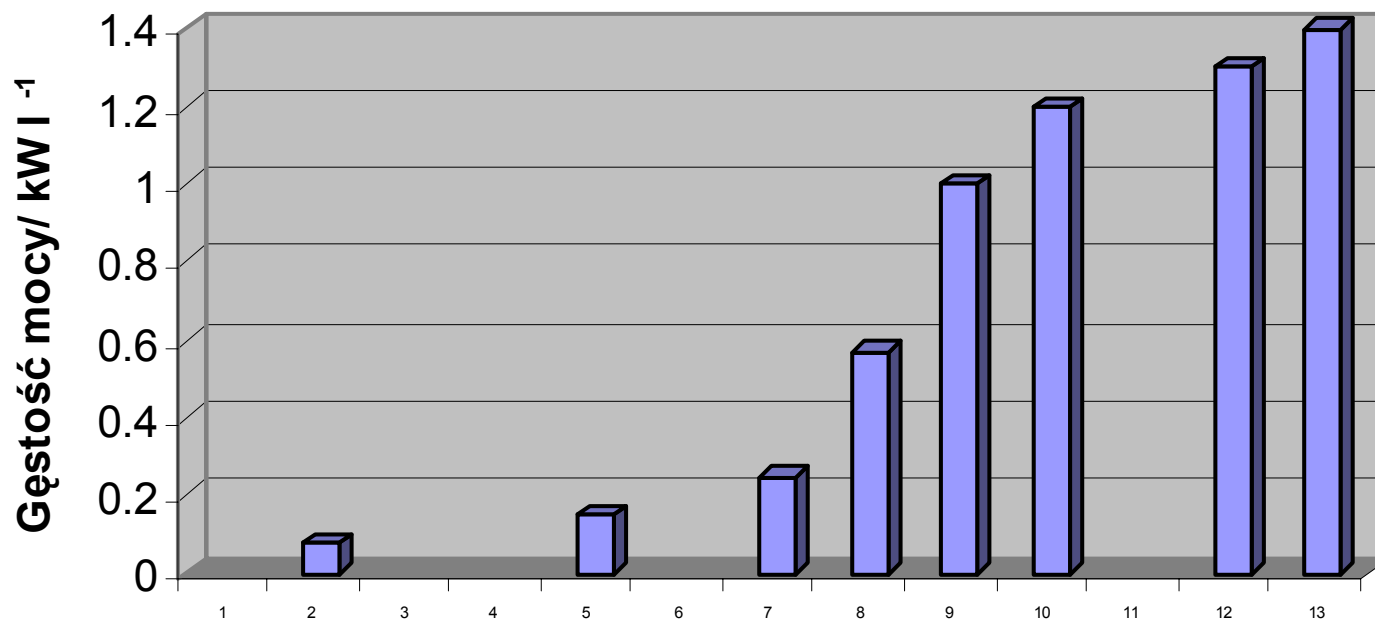


## Procentowy udział kosztów stosu typowego samochodu z PEMFC

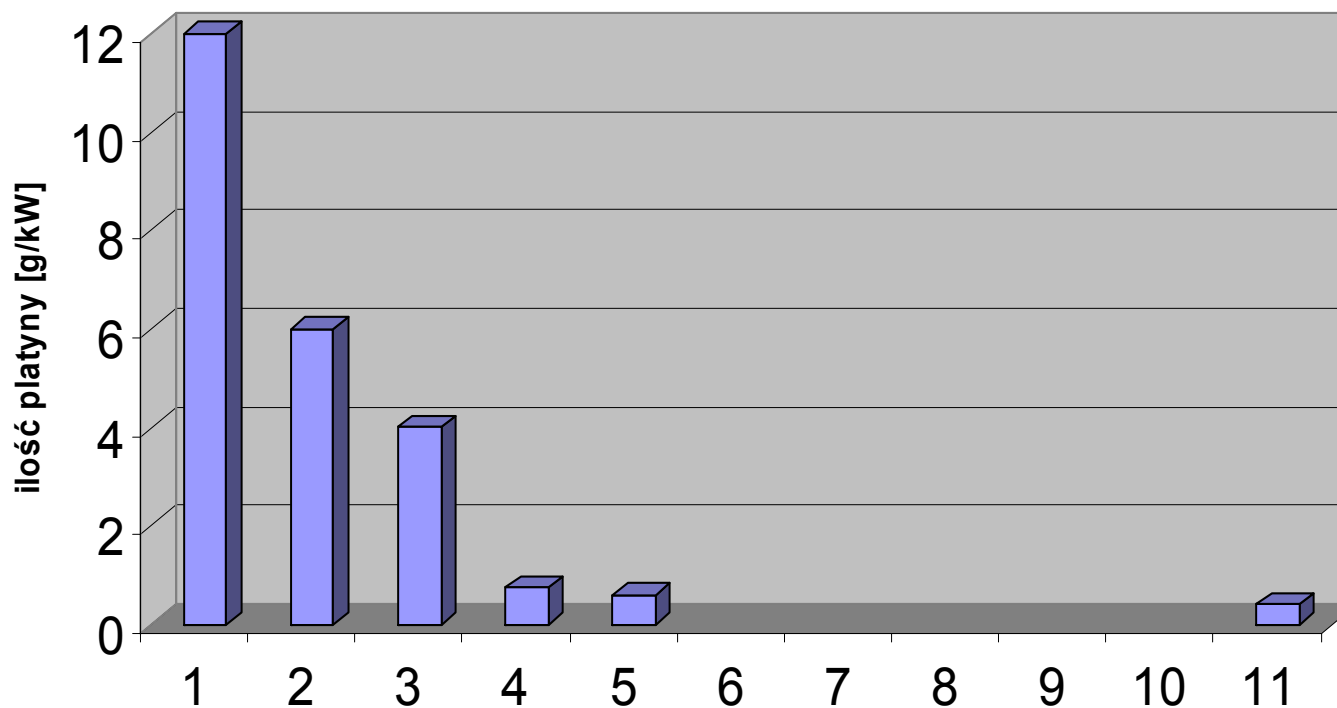




## Gęstość mocy stosu OP stosowanych w samochodach



## Ilość platyny stosowanej w OP napędzającego samochód





## A jednak można tankować wodór



## Dozownik wodoru



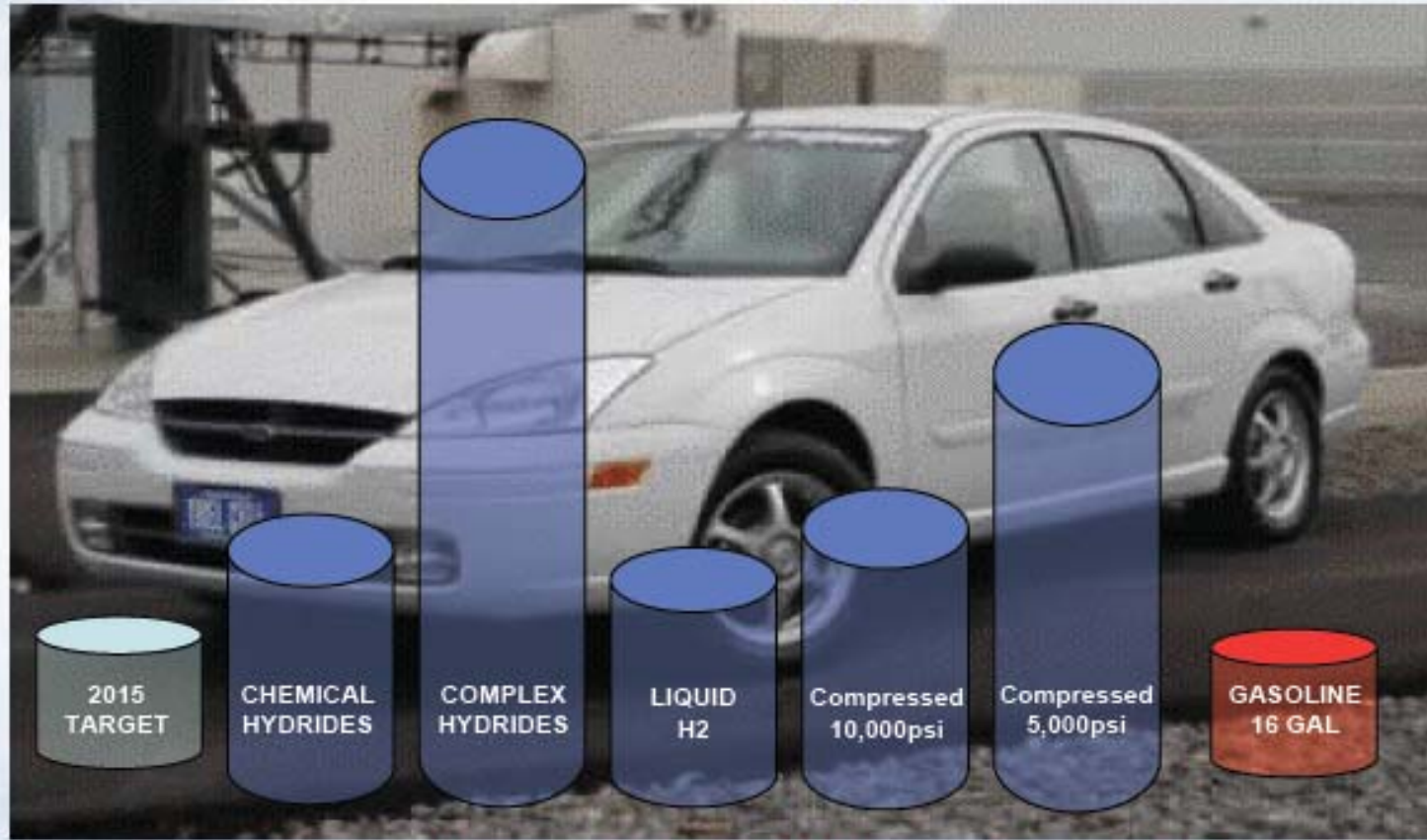
### Wymagania dla zbiornika wodoru w samochodzie:

- pojemność: 5-7 kg H<sub>2</sub> (dystans bez tankowania: 500-700 km)
- mała objętość całego zbiornika: (max. 200 l)
- możliwie najlżejszy
- ciśnienie wyjściowe: do 25 bar
- temperatura pracy: do 80°C
- małe ciepło ładowania/rozładowania
- krótki czas ładowania
- bezpieczeństwo i niezawodność



# Jak magazynować wodór?

System Volume Estimates- Based on 5 kg hydrogen





## Wnioski końcowe:

1. Samochody z ogniwami paliwowymi są wersją samochodów elektrycznych szeroko testowaną przez prawie wszystkie firmy automobilowe
2. Samochody hybrydowe są modelem przejściowego samochodu z silnikiem elektrycznym
3. Wiele problemów energetyki wodorowej (również samochodów z OP) nie jest rozwiązanych w sposób zadowalający
4. Wzrost cen paliw oraz nakłady na badania będą przyczyną zmian strukturalnych w transporcie