

Gorivne ćelije

Korištenje gorivnih ćelija za proizvodnju el. energije
Energijske tehnologije
FER 2008.

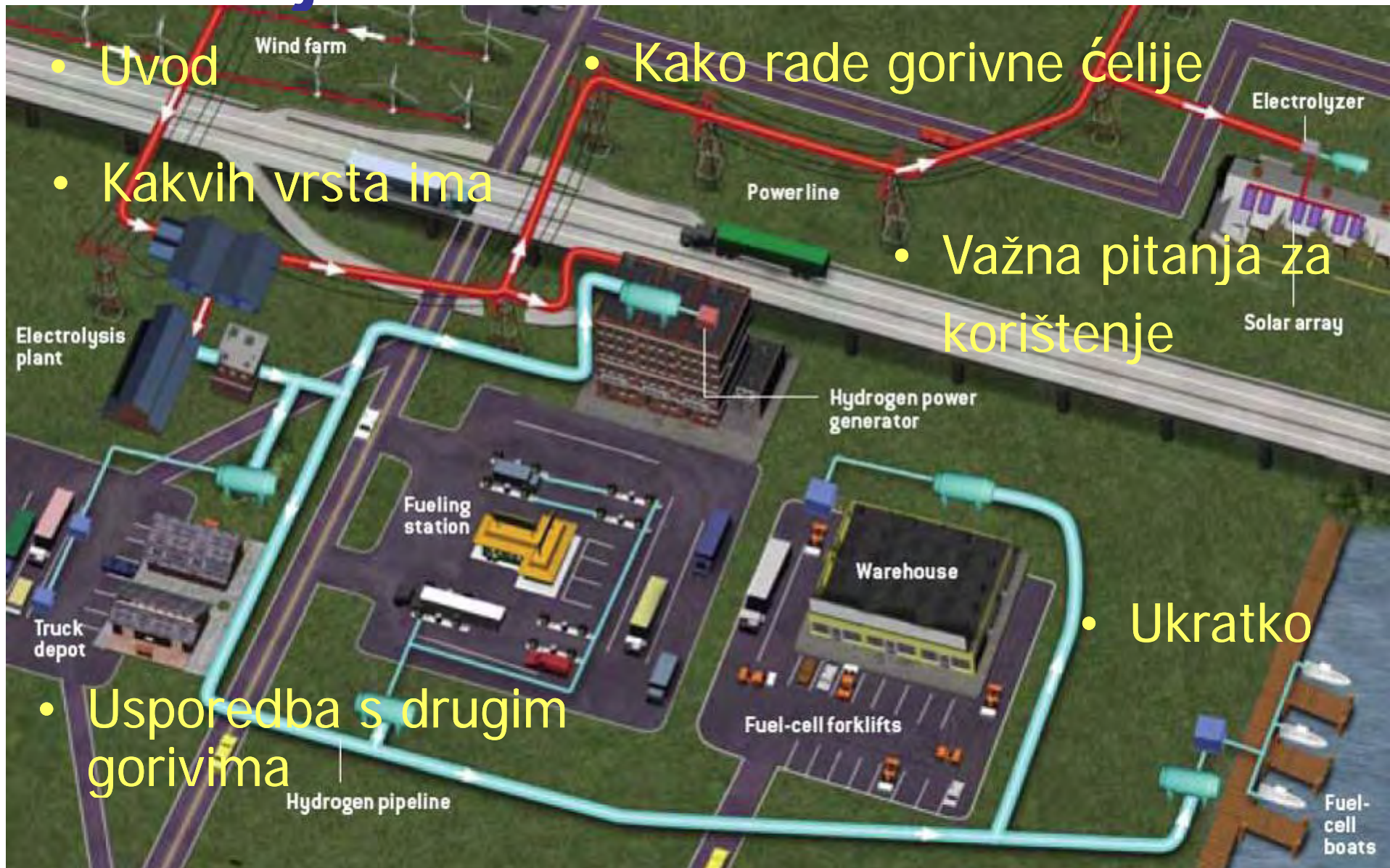


Gdje smo:

1. Organizacija i sadržaj predmeta
2. Uvodna razmatranja
3. O energiji
4. Energetske pretvorbe i procesi u termoelektranama
5. Energetske pretvorbe i procesi u hidroelektranama
6. Energetske pretvorbe i procesi u nuklearnim el.
7. Geotermalna energija
8. Potrošnja električne energije
9. Prijenos i distribucija električne energije
10. Energija Sunca
11. Energija vjetra
12. Biomasa
- 13. Gorivne ćelije i druge pretvorbe**
14. Skladištenje energije
15. Utjecaj na okoliš, održivi razvoj i energija

Sadržaj

- Uvod
- Kako rade gorivne ćelije
- Kakvih vrsta ima
- Važna pitanja za korištenje
- Ukratko
- Usporedba s drugim gorivima



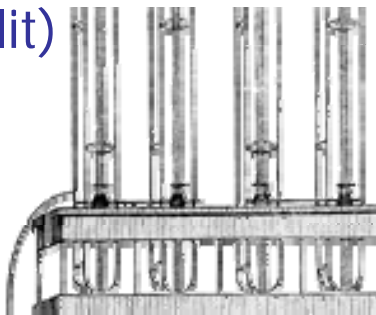
Uvod: Što je to neposredna pretvorba

- Nas zanima prvenstveno električna energija te kako je najjednostavnije proizvesti
- Neposredna (direktna) pretvorba je svaki proces koji kao rezultat daje električnu energiju
- Gorivne ćelije predstavljaju uz fotonaponske ćelije najzanimljiviju direktnu (neposrednu) pretvorbu
- Neposredne pretvorbe:
 - **Fotonaponski efekt**
 - Termoelektrični efekt
 - Termoionski efekt
 - Direktna transformacija kemijske energije:
 - **Gorivna ćelija**
 - Akumulatori
 - Magnetohidrodinamički proces
 - Mnogi drugi (piezoelektricitet, statički elektricitet, ...)



Gorivna ćelija

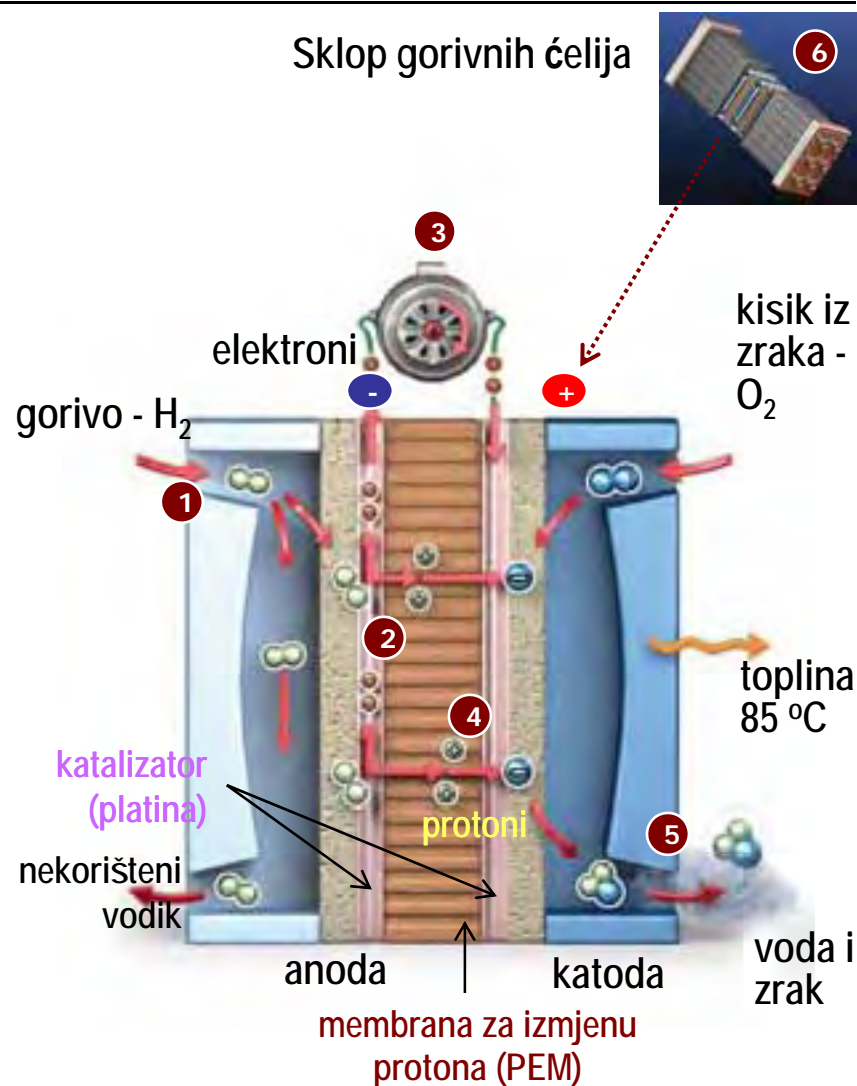
- Gorivna ćelija
 - elektrokemijski element koji kontinuirano transformira kemijsku energiju goriva i oksidacijskog sredstva u el. en.
- Vodik + Kisik =
Voda + El. en. + Toplina
 - Baterija s kontinuiranim dotokom goriva (dvije elektrode i elektrolit)
 - obrnuti proces od elektrolize
- 1839. (William R. Grove)
 - 1932 F. T. Bacon kreira iskoristivo rješenje
 - 60-te početak korištenja (SAD i Rusija)
- Prema načinu rada:
 - primarne
 - sekundarne
- Prema vrsti elektrolita
 - polimerna membrana (PEMFC)
 - fosforna kiselina (PAFC)
 - alkalne (AFC)
 - rastaljeni karbonati (MCFC)
 - kruti oksidi (SOFC)



Način rada gorivne ćelije

Gorivna ćelija sa membranom za izmjenu protona (PEM):

- sastoji se od dvije porozne elektrode (anoda i katoda) prevučene platinom na strani prema čvrstoj membrani (elektrolit) koja ih razdvaja
- anodni katalizator omogućava razdvajanje elektrona od protona vodika
- elektroni idu kroz trošilo, a protoni idu kroz membranu
- katodni katalizator spaja elektrone s protonima i kisikom



Kako radi gorivna ćelija

Za vodik i kisik kao gorivo:

- kontakt vodika i kisika u plinskom stanju rezultira vodom i energijom
- u gorivnom elementu to se odvija u dva koraka

– vodik na anodi:



– elektroni i kisik na katodi:

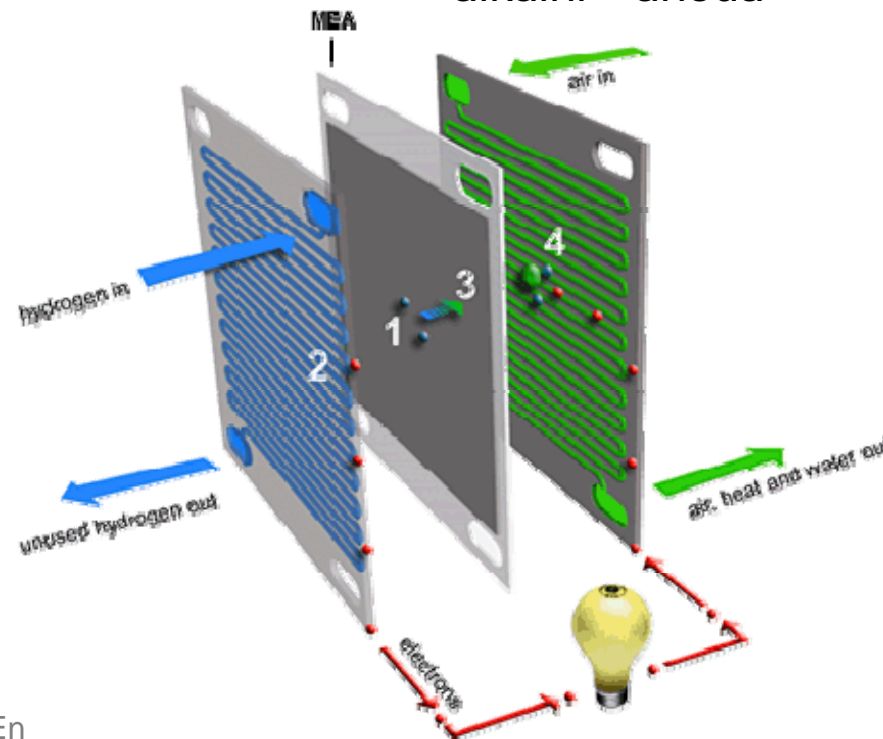


- to je oksidni put redukcije kisika (kompleksno)
- postoji još čitav niz mehanizama ovisno o korištenom gorivu

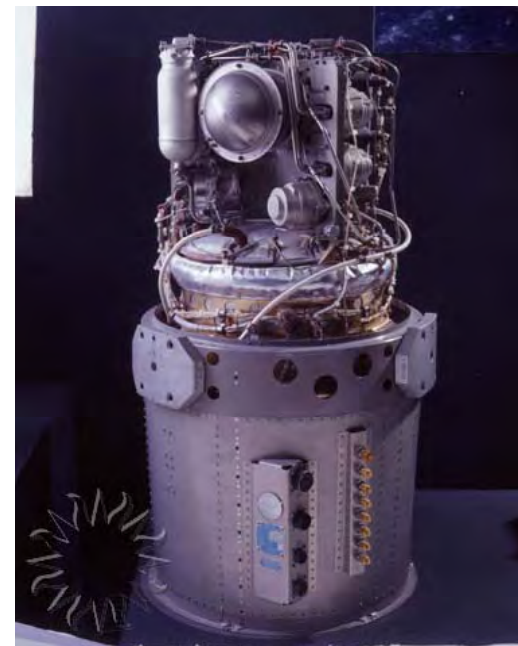


– konačni rezultat (voda) nastaje u reakcijskom sloju ovisno o vrsti elektrolita

- kiseli –katode
- alkalni - anoda

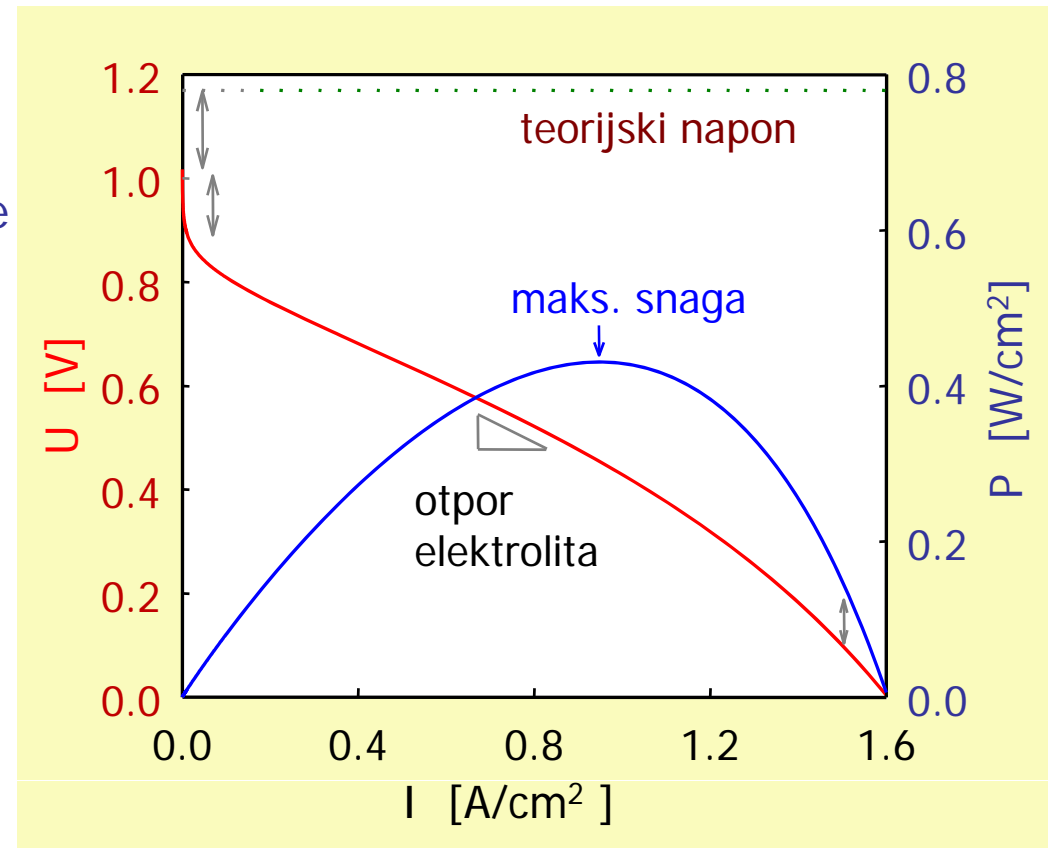


-
- Allis-Chalmers gorivna ćelija pogonila je traktor, 1959. Prva u vozilu.
 - APOLLO gorivna ćelija.



Performanse gorivne ćelije

- 1.17 V (prazni hod)
- gubitci napona
 - razni ovisno o vrsti gorivne ćelije i tehničkoj izvedbi te o struji
- istosmjerna snaga $P = I \cdot U$
 - maksimalna snaga kod srednjih struja ovisna o unutrašnjem otporu elektrolita
- maksimalna efikasnost kod manjih struja



Vrste gorivnih ćelija

Vrstu određuje **elektrolit**, katalizator, gorivo i radna temperatura

Vrsta °C	PEM 90-110	AFC 100-250	PAFC 150-220	MCFC 500-700	SOFC 700-1000
Efikasnost	35-45%	60 %	40-45%	45-60%	50-65%
Primjene	male, prijevoz	svemir, prijevoz	velike stacionarne	<i>velike stacionarne</i>	<i>stacionarne, prijevoz</i>
Katalizator: <i>anoda/katoda</i>	Pt/Vulcan carbon	Ni, Ni-Pt, .../ NiO, AG ...	Pt/Vulcan carbon	Ni-Al, Ni-Cr legure/ NiO	Ni+YSZ/ (La,Sr)MnO _{3-d}
Gorivo	H ₂ + H ₂ O	H ₂	H ₂	HC + CO	HC + CO
Elektrolit <i>Ioni</i>	Nafion H ₃ O ⁺ ↓	KOH OH ⁻ ↑	H ₃ PO ₄ H ⁺ ↓	Na ₂ CO ₃ CO ₃ ²⁻ ↑	Y-ZrO ₂ O ²⁻ ↑
Oksidant	O ₂	O ₂ + H ₂ O	O ₂	O ₂ + CO ₂	O ₂

Nastaje: H₂O, CO₂

PEM = polymer electrolyte membrane, ili proton exchange membrane

AFC = alkalne gorivne ćelije

PAFC = phosphoric acid fuel cell

MCFC = molten carbonate fuel cell

SOFC = solid oxide fuel cell

Odabir gorivne ćelije

Temperatura određuje pogonske parametre i gorivo

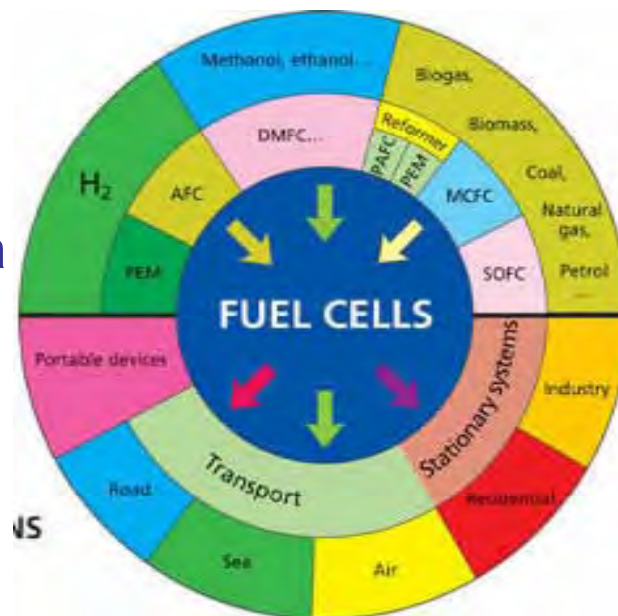
- Temperatura okoline
 - ✓ Brzo pokretanje
 - ✗ H_2 ili CH_3OH kao goriva
 - ✗ Katalizator se lako otruje
- Visoke temperature
 - ✓ Fleksibilnost za gorivo
 - ✓ Vrlo visoka efikasnost
 - ✗ Dugo vrijeme za pokretanje

- Primjene

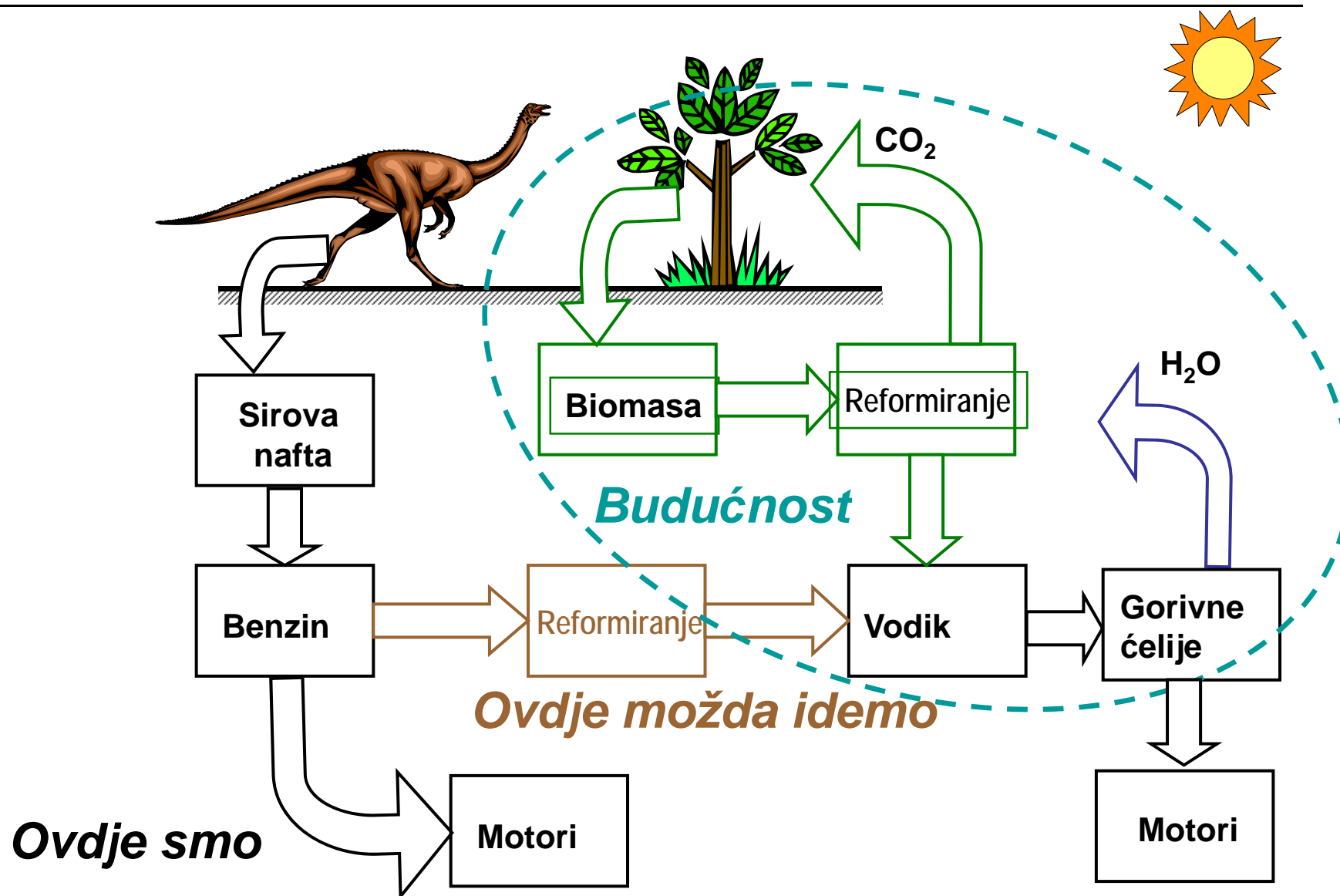
- Prijenosni izvor
- Veliki broj ciklusa uključivanja
- Male dimenzije

- Primjene

- Stacionarni izvor
- Pomoćni izvori u prijenosnim sustavima



Zašto gorivne ćelije?



Potencijalne primjene



Vodik i platina

4 kg vodika
za 400 km



metalni hidridi

Mg_2NiH_4 LaNi_5H_6

ukapljen

$< -241^\circ\text{C}$

stlačen

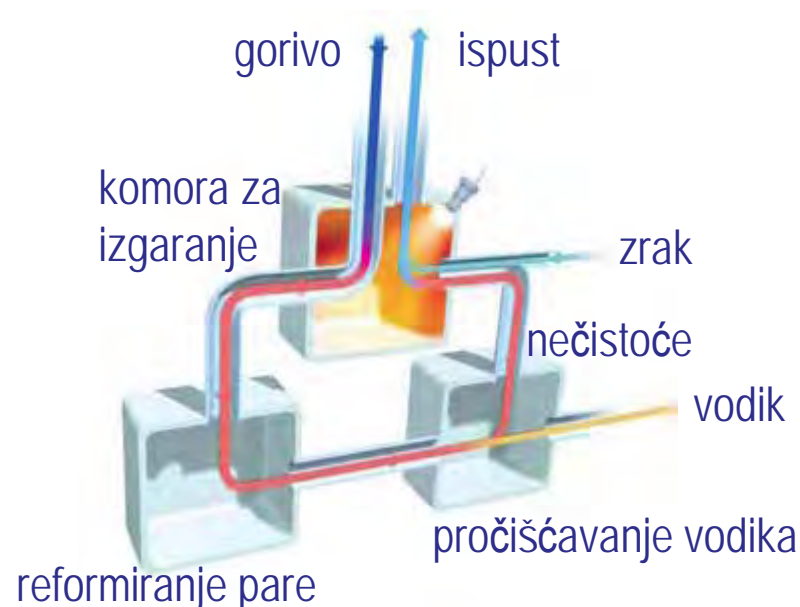
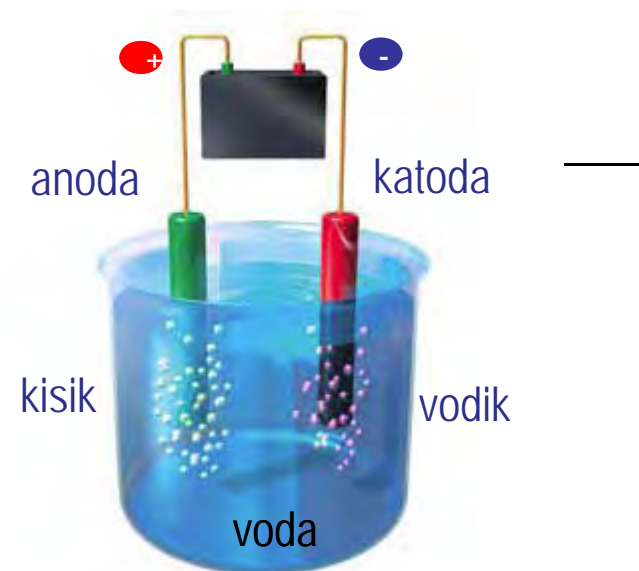
200 bar

- Energetska gustoća vodika
 - Veliki sadržaj energije po jedinici mase vodika
 - **ali** najbolje tehnike za spremanje vodika su na $\sim 5\%$ mase H_2
 - **5x** potrebna ukupna masa za masu benzina iste energije
- Konvencionalne gorivne ćelije trebaju platinu
 - Cilj smanjivanja potreba od $1\text{ g/kW} \Rightarrow \sim 1\text{ mg/kW}$
 - Cijena:
 - 100 kW stroj $\Rightarrow 100\text{ g Pt} \Rightarrow \4850 (i raste!)
 - Resursi:
 - za sve automobile na Zemlji treba desetak puta više Pt od dokazanih rezervi (5600 t; 80% rezervi u jednom rudniku u JAR, a 15% u Rusiji)

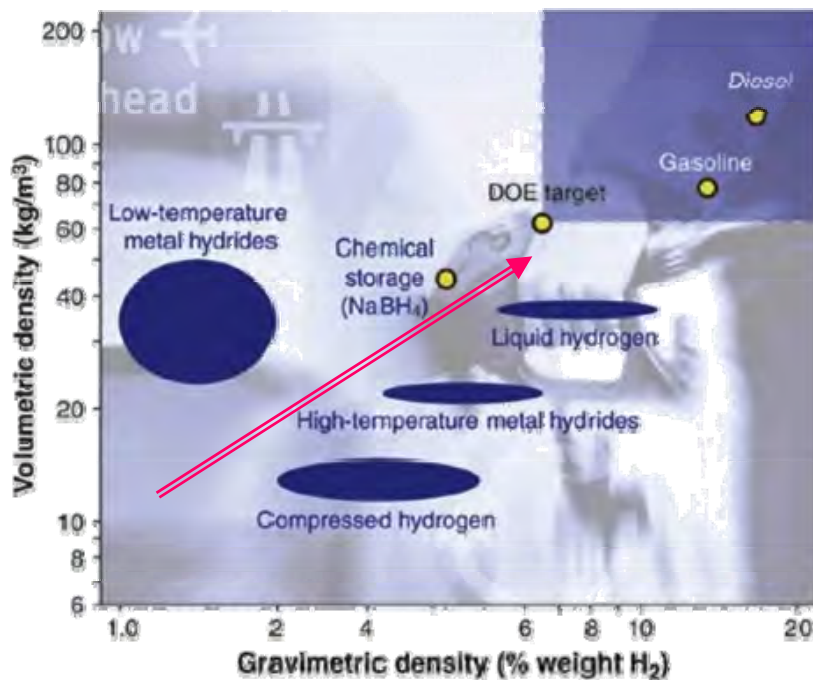
Proizvodnja vodika

Proizvodnja

- Iz vode
 - **elektrolizom**
- energijom iz nuklearnih i obnovljivi izvora
- Biomasa (ugljen)
 - rasplinjavanje/piroliza
- Fosilna goriva
 - prirodni plin **reformiranjem**
 - benzin direktno
 - Toplinska energija
 - iz nuklearnih i drugih izvora
 - termička disocijacija
 - **parno reformiranje**



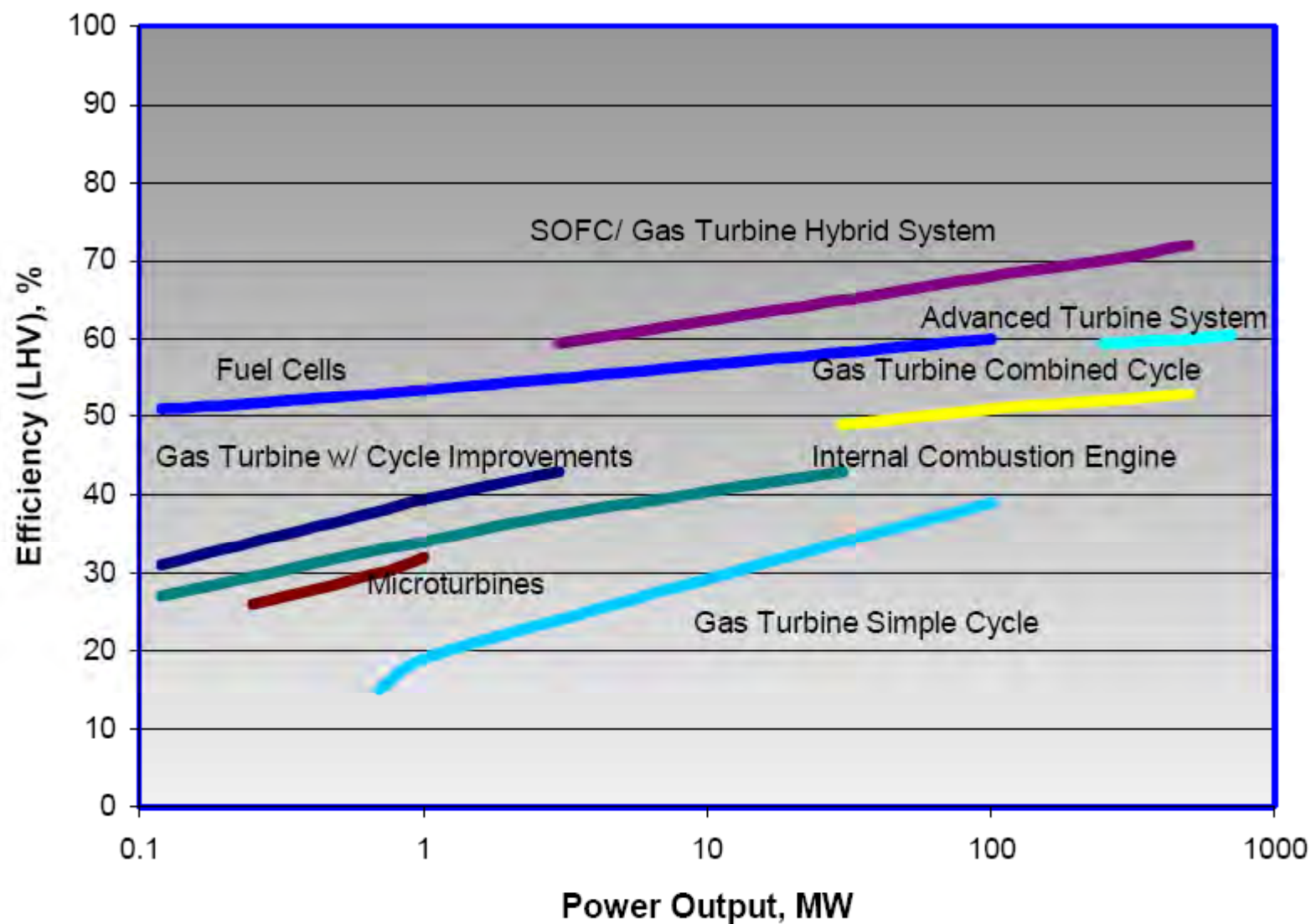
Pohranjivanje vodika

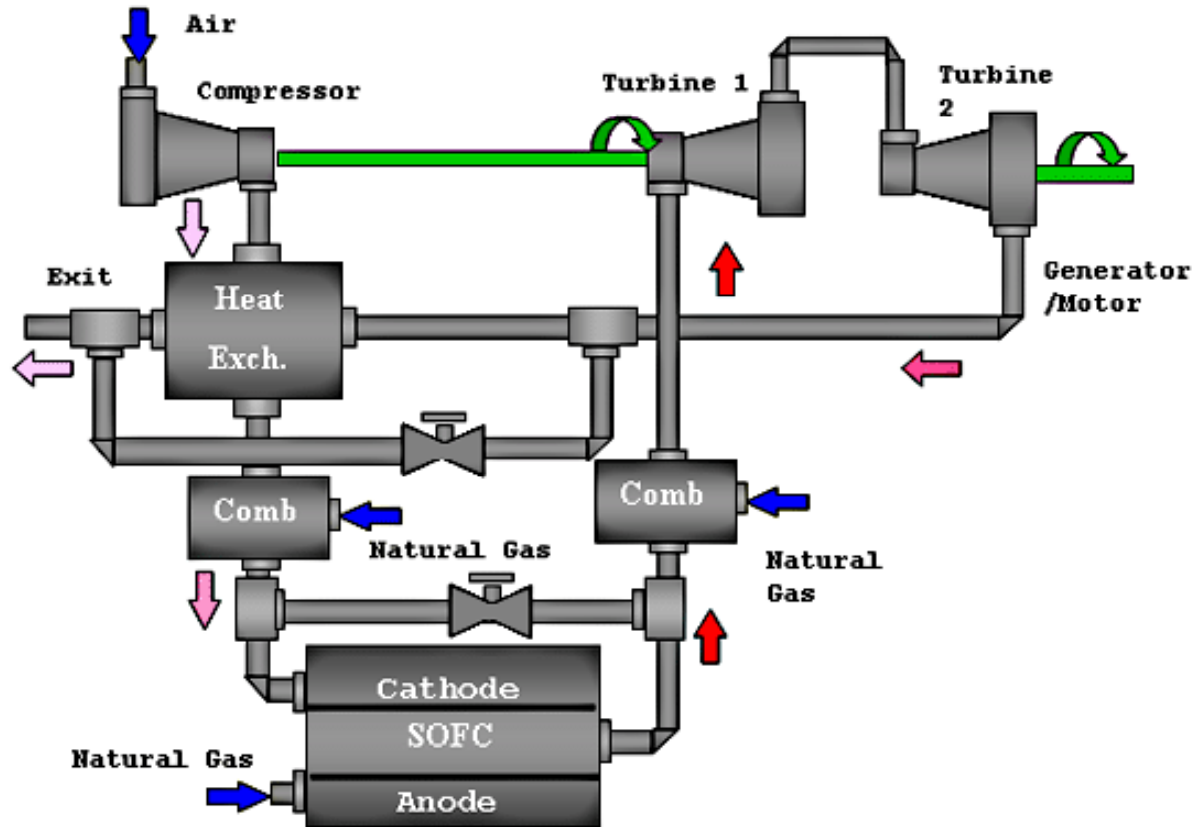


Pohranjivanje

- skupo
 - kapitalni troškovi za velika spremišta 1 do 2 \$/W
- pod tlakom
 - gubitci energije ~22%
 - oko 250 bar
 - potreban veliki prostor
- ukapljivanje
 - na niskoj temperaturi
 - gubitci vodika ~0,2%/dan
- napredno
 - metalni i kemijski hidridi
 - jeftinije i efikasnije

Snaga i efikasnost gorivnih ćelija



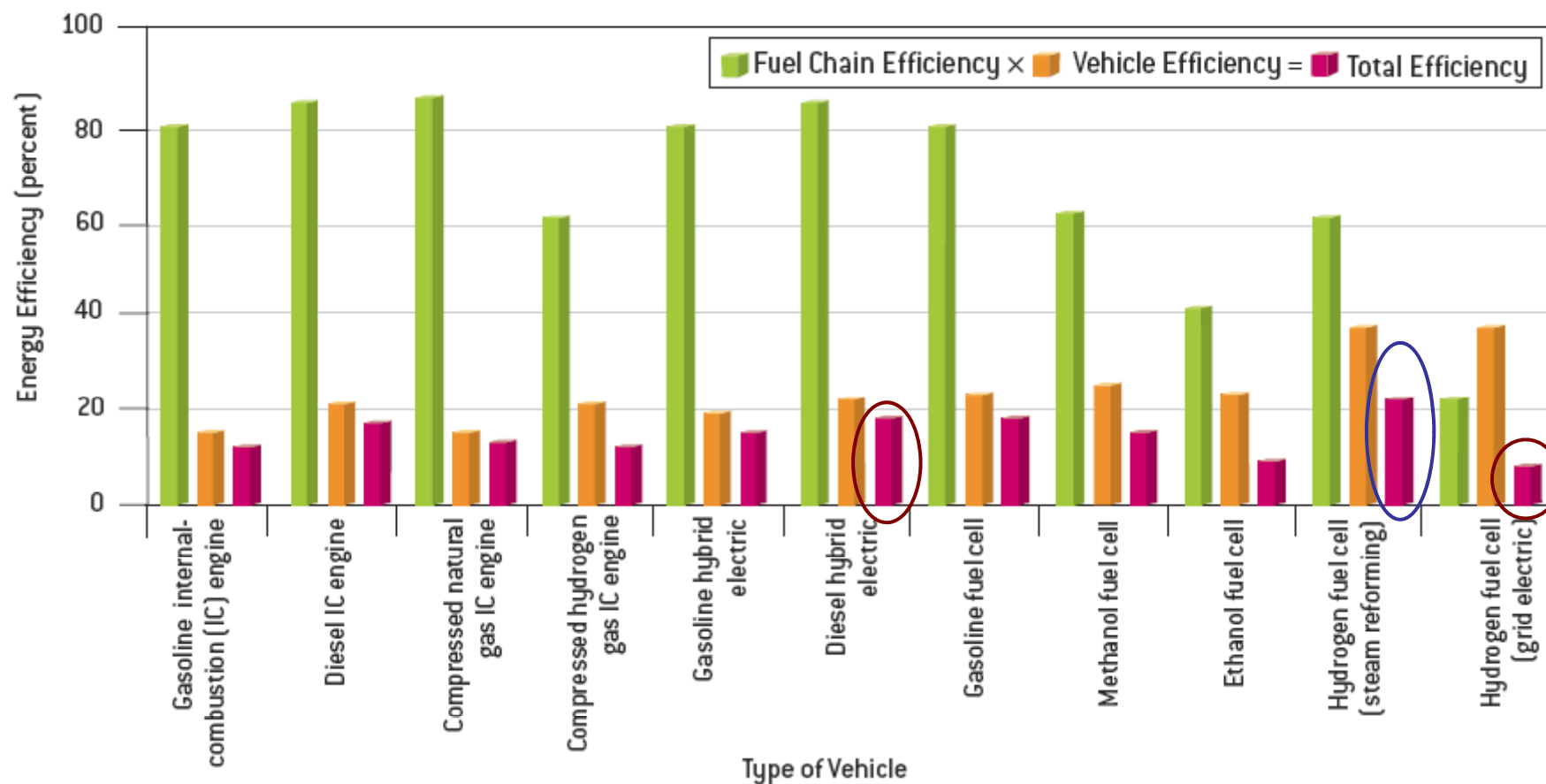


220 kW hibridni sustav tlačne cilindrične gorive ćelije s krutim oksidima i plinskom turbinom

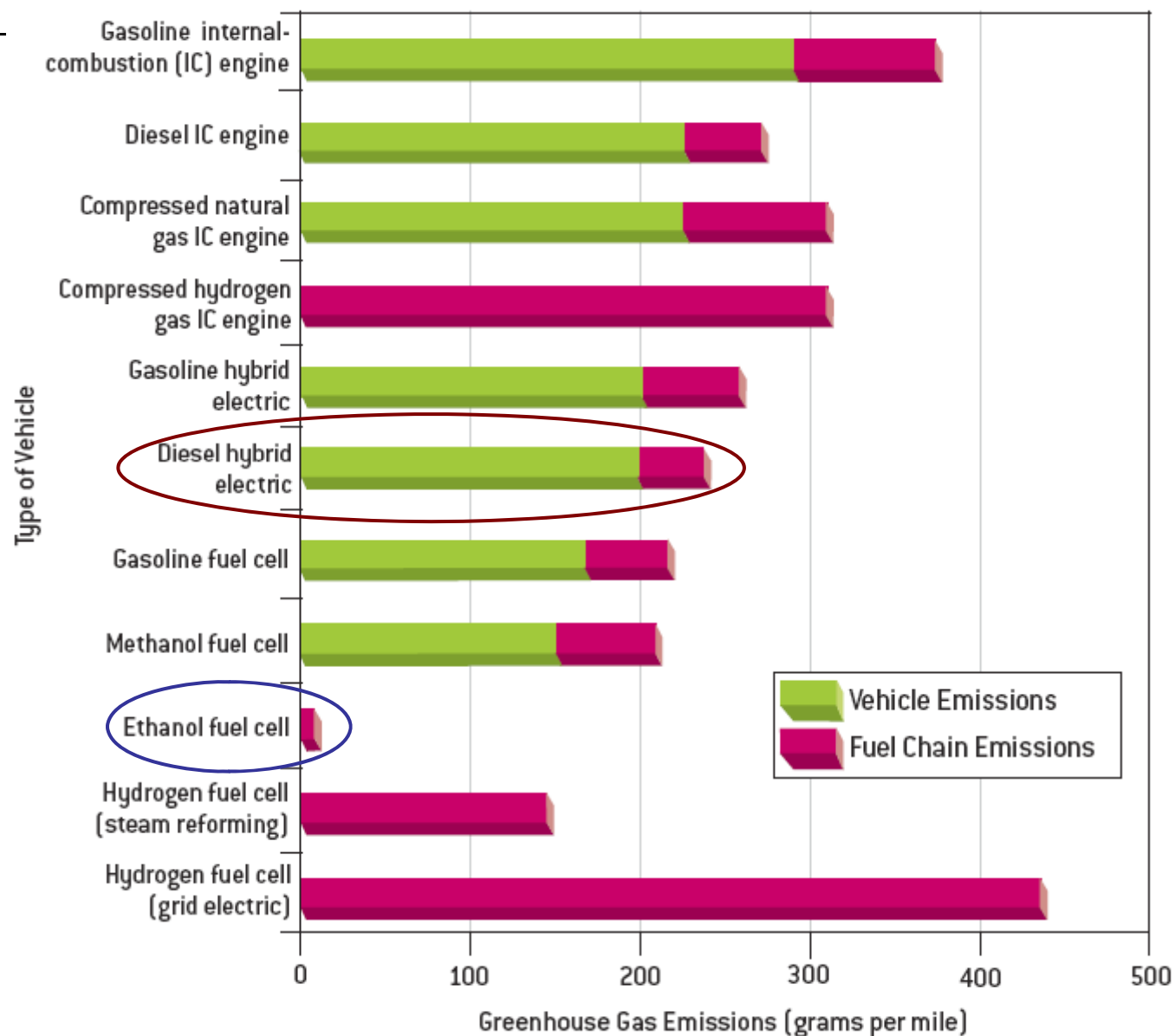
http://www.nfcrf.uci.edu/ACTIVITIES/RESEARCH/STUDIES/Hybrid_Fuel_Cell_Systems/Analyses_of_Hybrid_FC_Gas_Turbine_Systems/Index.htm

Ukupna efikasnost

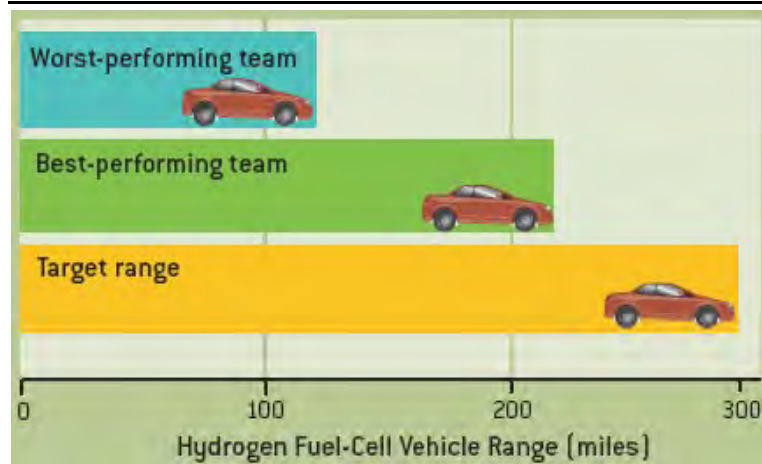
- Za pravu ocjenu važno je uzeti u obzir cijeli ciklus



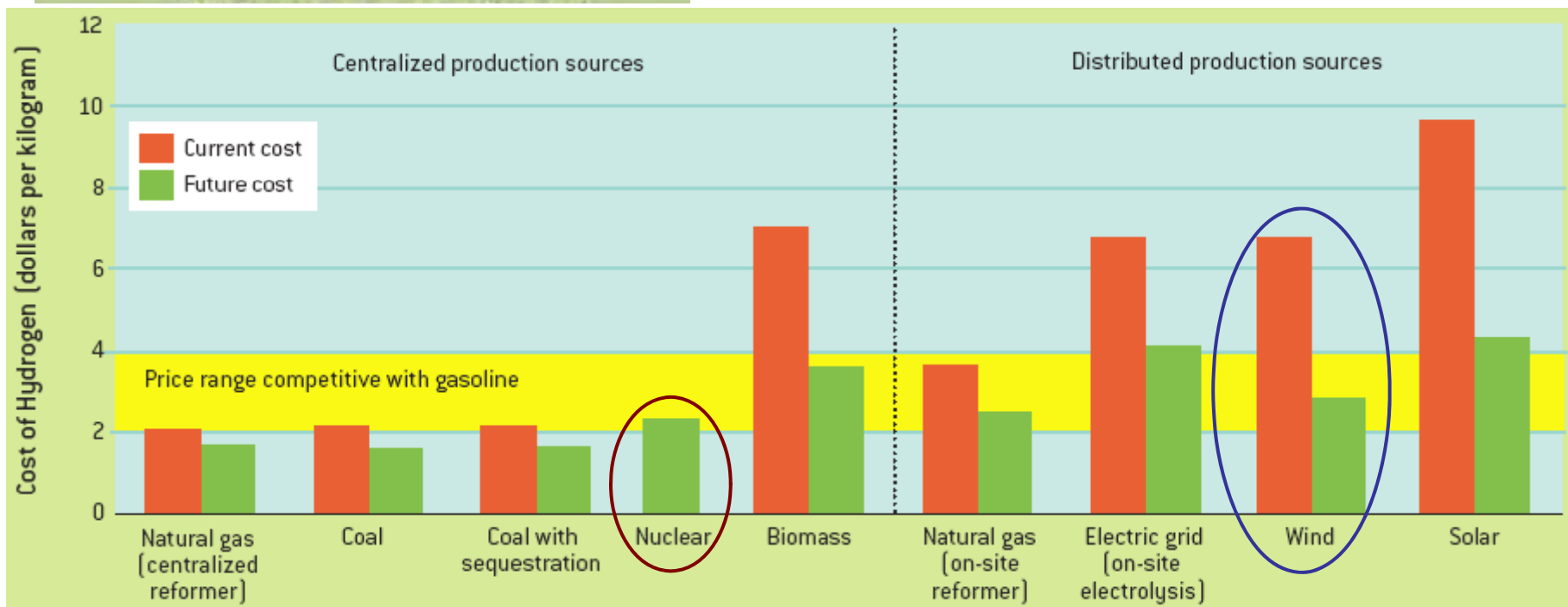
Ukupni utjecaj na okoliš



Stanje i perspektive

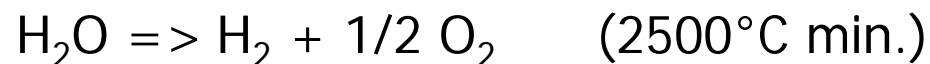


Prototip dlanovnika i MP3-a na GC, do 60 h

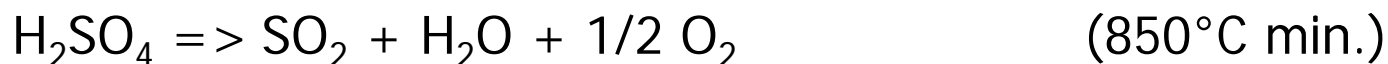


Termički procesi za proizvodnju vodika

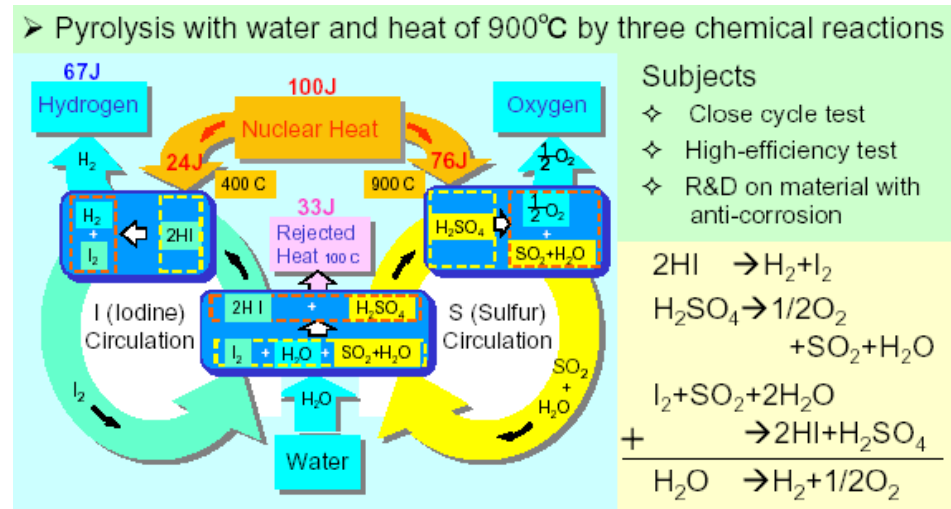
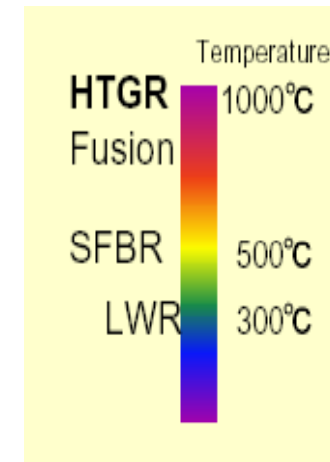
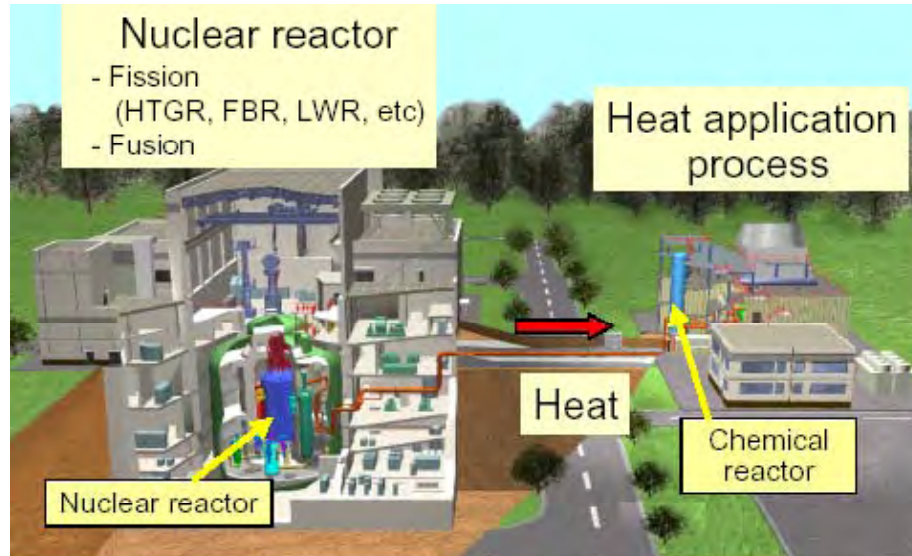
- Direktna termoliza vode traži temperature veće od 2500°C za značajniju proizvodnju vodika



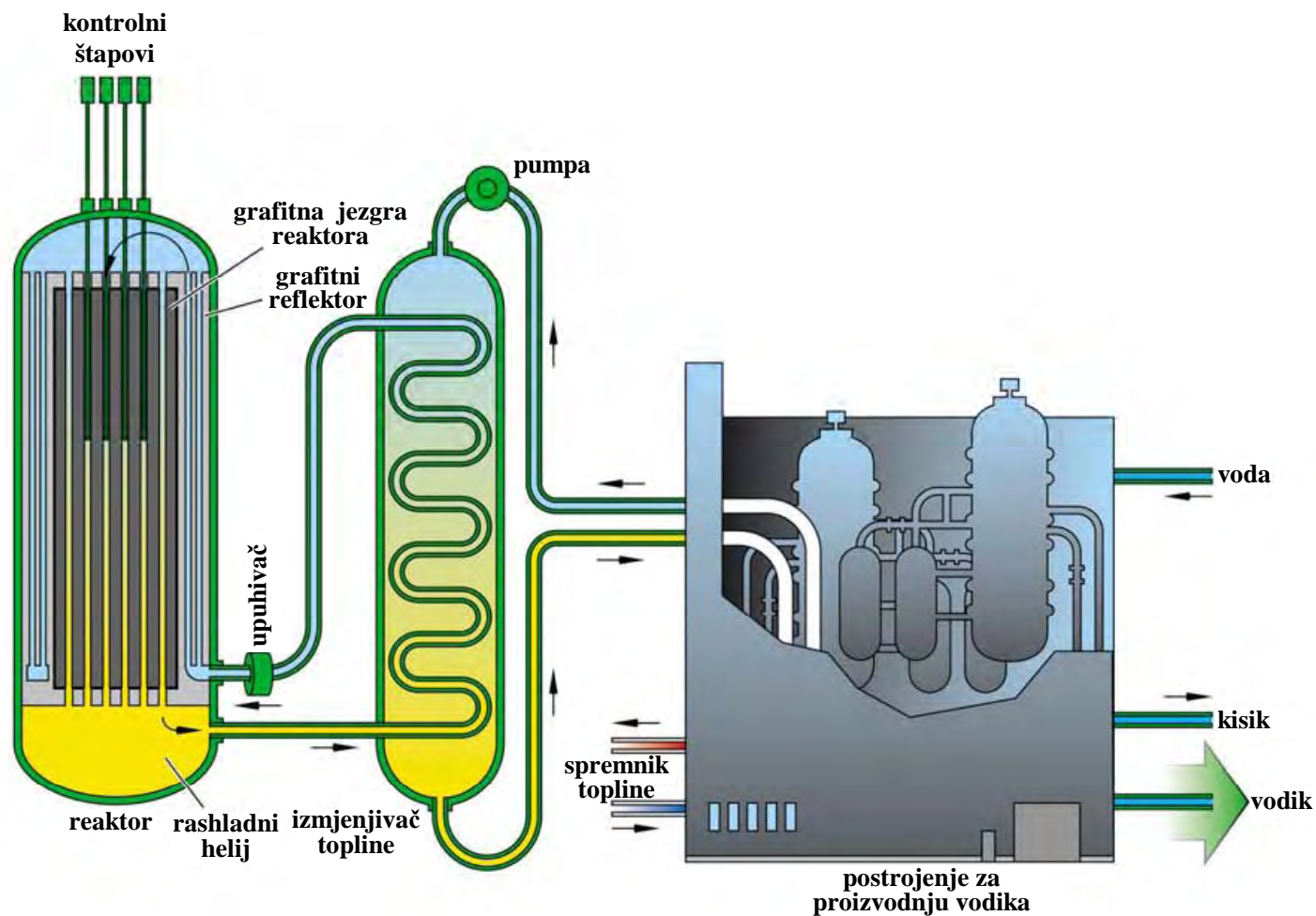
- Termokemijsko razlaganje vode u sumpor/jod ciklusu. Potrebna procesna toplina (para-plin temperature oko 900°C) u izmjenjivaču topline



Nuklearni reaktori i proizvodnja vodika



Vrlo-visoko-temperaturni reaktori (VHTR – Very-High-Temperature Reactor System)



- MTU CFC HotModuel
— instalacija u Essenu —
- 250kW MCFC
komercijalizacija do
kraja 2008. (očekivanje)



- Siemens Westinghouse
250kW goriva ćelija sa
čvrstim oksidom.
- najveći SOFC 250kW
sistem u svijetu





Chugoku Electric Power

1kW PEM Fuel Cell
W/D/H: 1,800/1,200/1,500mm
Operating Temperature: 60°C
Efficiency: 58%

- Chugoku Electric Power
1kW PEM



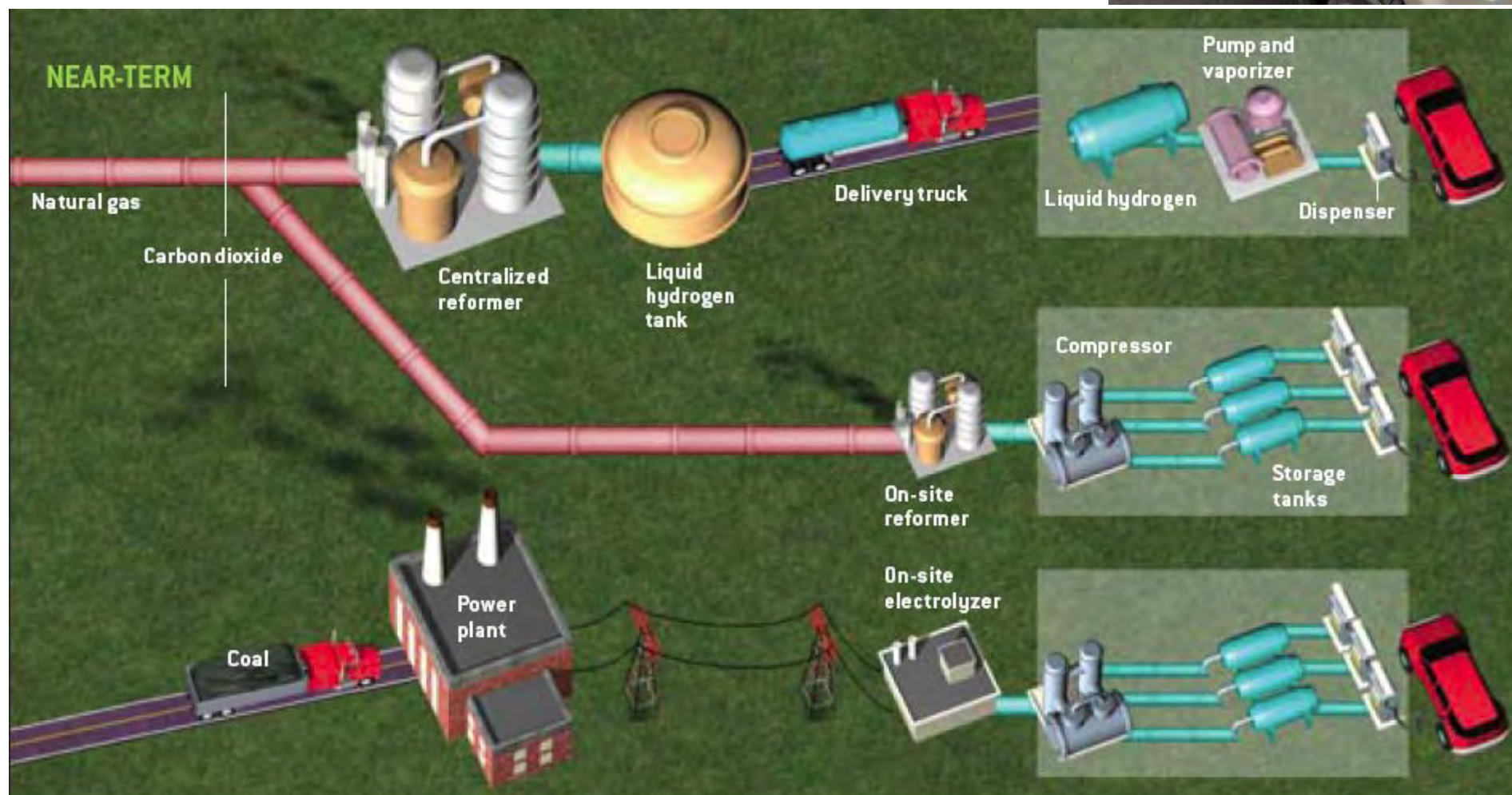
- Plug Power i Hondin prototip Home Energy Stationa
- proizvodi dovoljno vodika za jedno vozilo na dan

-
- Toyota FCHV-BUS2
 - Scania's Fuel Cell Bus
 - Mercedes-Benz Citaro Fuel Cell Bus

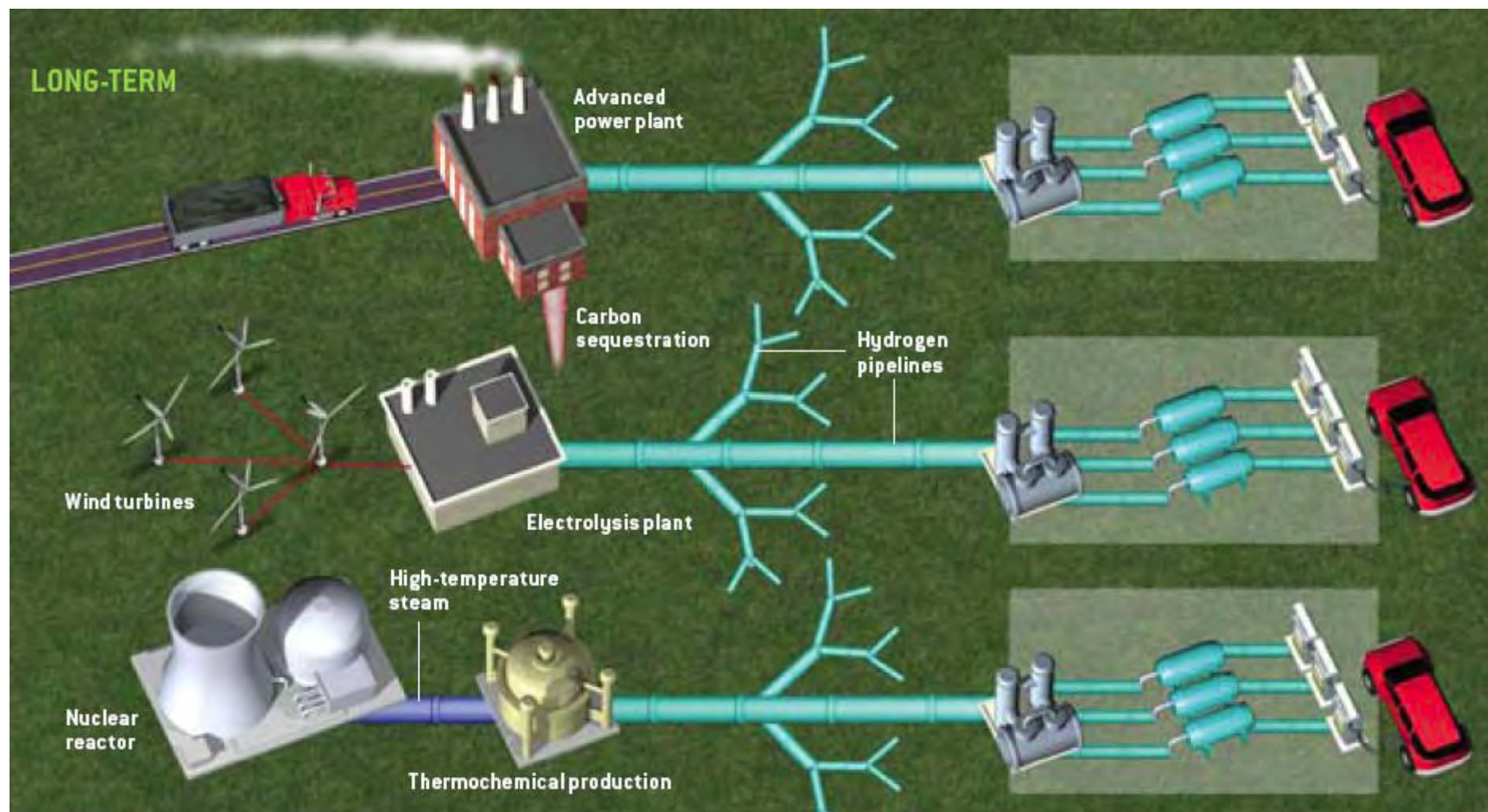


Infrastruktura – u početku

Što je bilo prije jaje ili kokoš?



Infrastruktura u budućnosti



Ukratko o gorivnim ćelijama

- Opisana je gorivna ćelija
- Navedeni su razlozi zašto je gorivna ćelija važna
- Prednosti
 - direktna proizvodnja el. en. bez pokretnih dijelova (tiho i kompaktno)
 - smanjivanje ispuštanja stakleničkih plinova
 - rješavanje problema energenta za transport kod ograničene dostupnosti fosilnih goriva
- Navedene su neke izvedbe gorivnih ćelija
- Izneseni su primjeri korištenja gorivnih ćelija
- Sigurnost korištenja je usporediva sa drugim plinovima
- Opisana je ideja ekonomije vodika
- Nedostatci
 - proizvodnja
 - pohranjivanje
 - ekonomičnost