



Obnovljivi izvori energije i održivi razvoj

Frano Barbir

Profesor: Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje,
Split

Uvjeti održivosti

Zašto trebamo energiju?

Energija – pokretač ekonomije

Da li je sadašnji sustav opskrbe energijom održiv? Zašto?

Alternative sadašnjem sustavu opskrbe energijom (racionalno korištenje, obnovljivi izvori energije, nuklearna energija, ...)

Da li pojedinac, selo, grad, država, svijet, mogu zadovoljiti svoje energetske potrebe iz obnovljivih izvora energije?

Tehnologija korištenja obnovljivih izvora energije

Sprega obnovljivih izvora energije, električne energije i vodika

Da li korištenje obnovljivih izvora energije vodi održivom razvoju?

Pod kojim uvjetima?

Razlika između održivog rasta i održivog razvoja

Da li je kapitalizam održiv? Zašto?

Mogući scenariji (rast, "steady state" "quasi-steady-state", prosperitetni pad, katastrofalni pad)

Mjere za energetske politiku održivog razvoja

Što pojedinac može učiniti?

Definitions of Sustainability

The concept of sustainability („Nachhaltigkeit“) was created by the Prussian forest administration in the late 18th century :
„Never take more wood out of a forest than can re-grow between two harvesting periods“

With respect to energy there are two sustainability conditions:
„Never use more energy than nature can provide“
„Never create more energy waste than nature can absorb“

"Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs"

World Commission on Environment and Development

"Sustainability refers to the ability of a society, ecosystem, or any such ongoing system to continue functioning into the indefinite future without being forced into decline through exhaustion . . . of key resources."
Robert Gilman, President of Context Institute.

Što je energija?

Zašto trebamo energiju?

Kod kuće

- Za komfort (toplinu, hladnoću)
- Za kuhanje
- Za pokretanje različitih aparata
- Svjetlo

Transport

- Kretanje, putovanje

U industriji

- U industrijskim procesima
- Grijanje
- Pokretanje strojeva

Koliko energije trebamo dnevno?

Mjere energije:

1 Joule

MJ = 10^6 J = 1.000.000 J

GJ = 10^9 J = 1.000.000.000 J

EJ = 10^{18} J = 1000.000.000.000.000.000 J

Druge mjere/jedinice energije: kWh (električna) toe (ton of oil equivalent)

kWh = 3.6 MJ

1 toe = 41.686 GJ

1 lit benzina = 33 MJ

Energija u određenom vremenu
na pr. EJ/godinu ili GJ/dan

Jedinica snage: W

1 W = 1 J/s

1 kW = 1000 W

1kW = 1 kWh/h

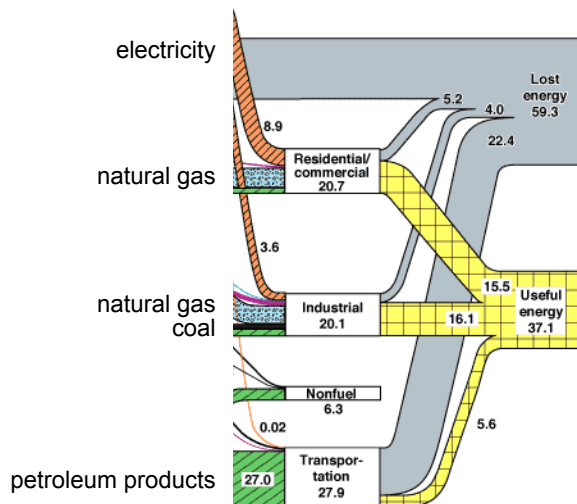
Koliko energije trebamo dnevno?

Svijet: 1.6 toe/godinu po osobi = 5.5 lit benzina/dan = 2.1 kW

Hrvatska: 1.8 toe/godinu po osobi = 6.2 lit benzina/dan = 2.4 kW

U.S.A.: 8 toe/godinu po osobi = 28 lit benzina/dan = 10.5 kW

U.S. Energy Flow Trends – 2002 Net Primary Resource Consumption ~103 Exajoules

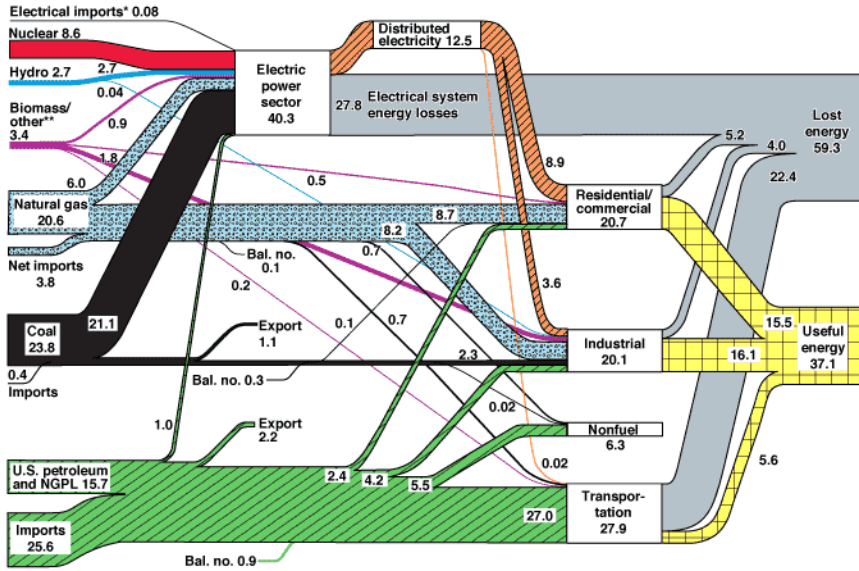


iew 2002.

June 2004
Lawrence Livermore
National Laboratory
<http://eed.llnl.gov/flow>

U.S. Energy Flow Trends – 2002

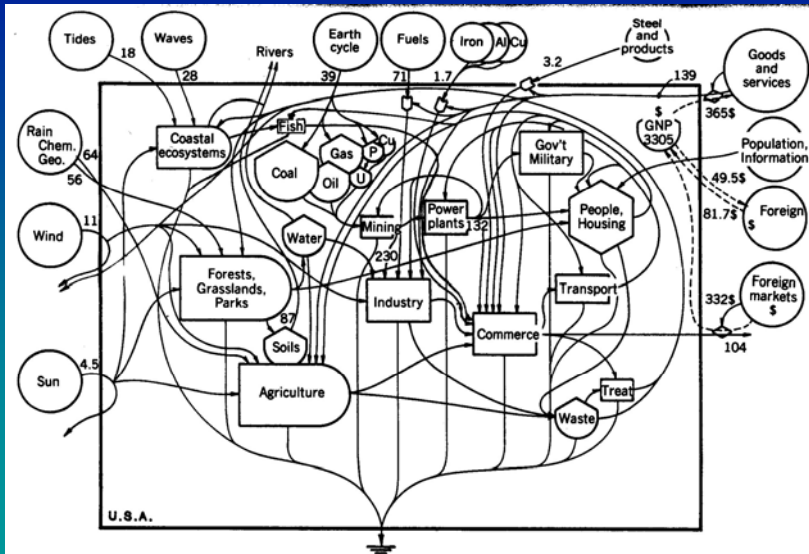
Net Primary Resource Consumption ~103 Exajoules

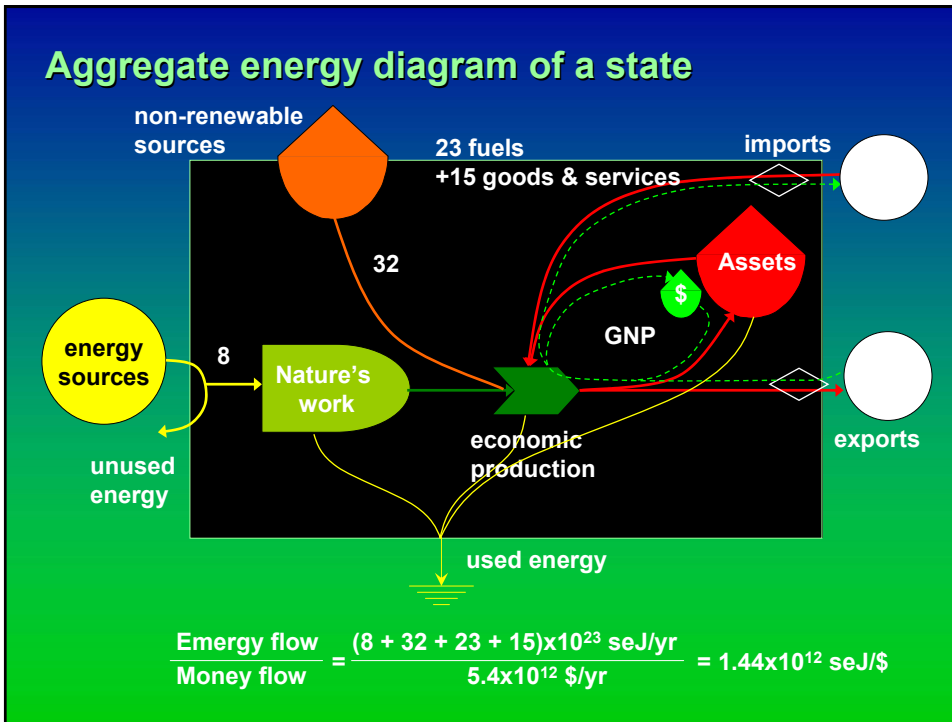


Source: Production and end-use data from Energy Information Administration, *Annual Energy Review 2002*.
 *Net fossil-fuel electrical imports.
 **Biomass/other includes wood, waste, alcohol, geothermal, solar, and wind.

June 2004
 Lawrence Livermore
 National Laboratory
<http://feed.llnl.gov/flow>

Energy (Energy) diagram for the U.S.





Može li se ovakva potrošnja nastaviti u nedogled?

Problemi s današnjim energetskeim sustavom:

- Ekonomski: energija dolazi sve skuplja
 - (i) sve više i više ljudi je koristi sve više i više
 - (ii) sve je teže doći do nje, naći je, izvaditi iz zemlje, ...
- Fizički: Rezerve fosilnih goriva su ograničene (pogotovo nafte i plina)
- Utjecaj na okoliš: Lokalni, regionalni i globalni problemi s onečišćenjem okoliša: zagađenje zraka, izljevi nafte, globalno zatopljenje – promjena klime
- Geo-politički: Preostale rezerve nafte i plina će biti uzrok ratova

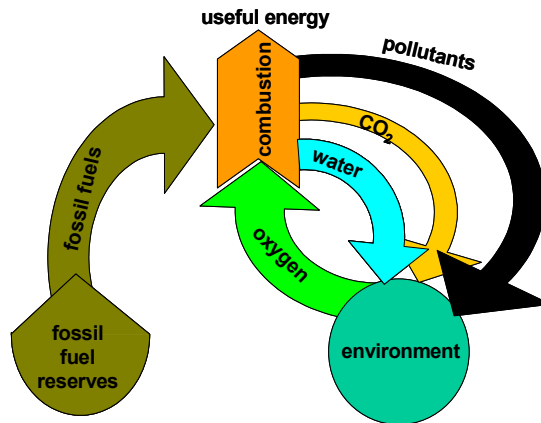






Iz systemske perspektive

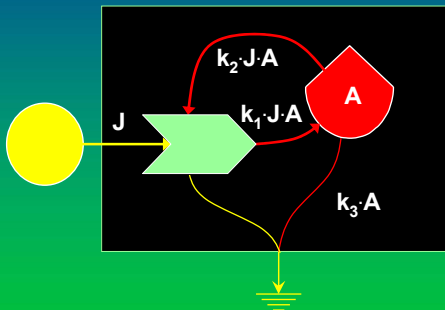
Sadašnji energetski sustav je neodrživ



Što možemo naučiti iz minimodela?

Neograničen izvor energije

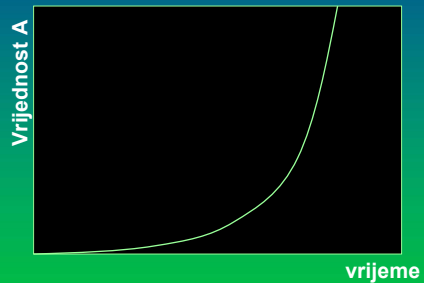
Dijagram



Jednadžba:

$$dA/dt = k_1 \cdot J \cdot A - k_2 \cdot J \cdot A - k_3 \cdot A$$

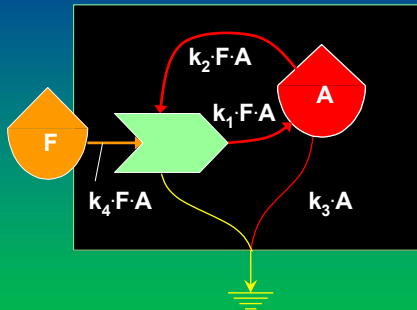
Rezultati



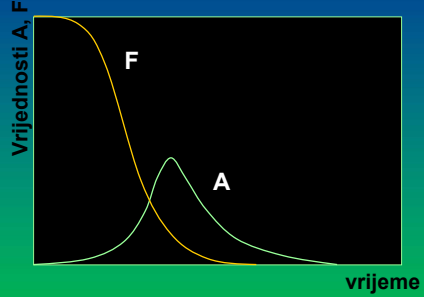
Eksponencijalni rast!

Neobnovljivi izvor energije

Dijagram



Rezultati



Jednadzbe:

$$dF/dt = -k_4 \cdot F \cdot A$$

$$dA/dt = k_1 \cdot F \cdot A - k_2 \cdot F \cdot A - k_3 \cdot A$$

Eksponecijalni rast, vrh,
i slijedi pad!

**Postoji li alternativno rješenje?
Koji izvori energije su održivi?**

Obnovljivi izvori energije:

Solarno zračenje i njegove posljedice: biomasa, vjetar, hidro

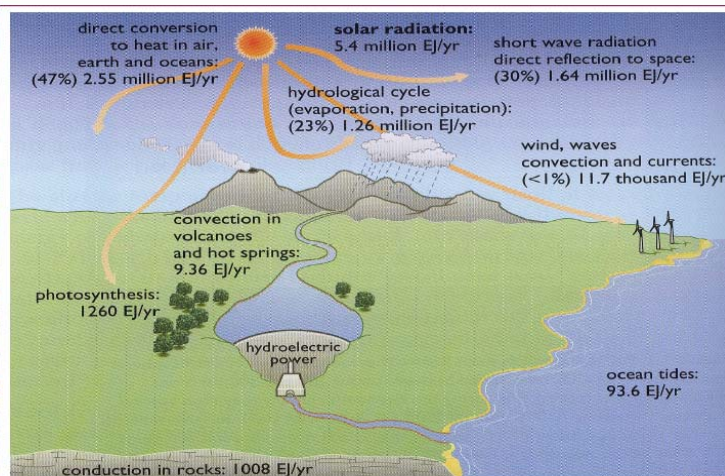
Obnovljivi izvori energije

Obnovljivi izvori energije su jedina dugoročno održiva opcija za opskrbu energijom!

- Sunce i vjetar su besplatni
- Imamo i sunca i vjetra – ne treba uvoz
- Sunce i vjetar su neiscrpn
- Korištenje sunca i vjetra ne stvara štetne emisije



Obnovljivi izvori energije



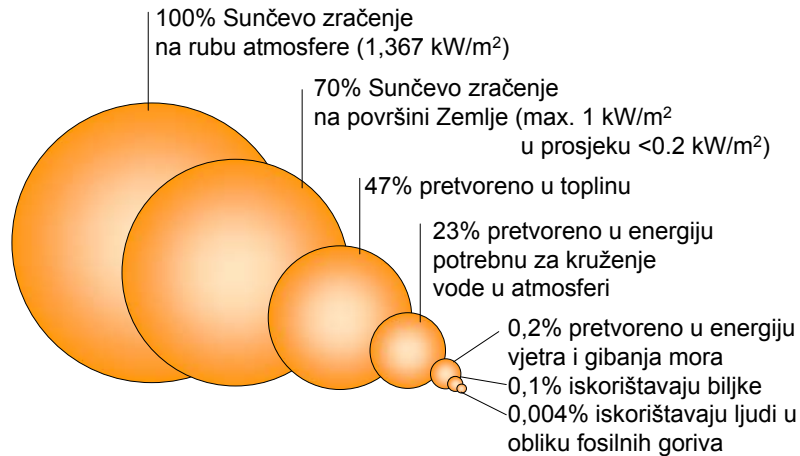
Source: Boyle, G. 2004



Renewable Energy Technology Course

27

Raspodjela energije koja na Zemlju dolazi od Sunca

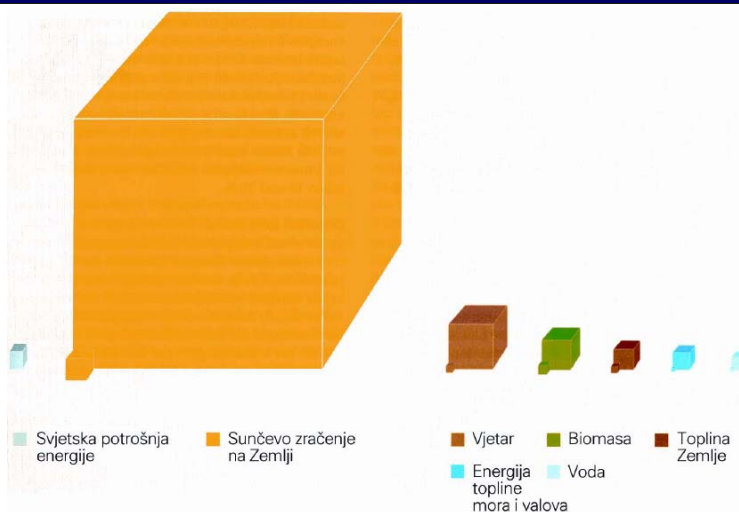


Oblici obnovljivih izvora energije



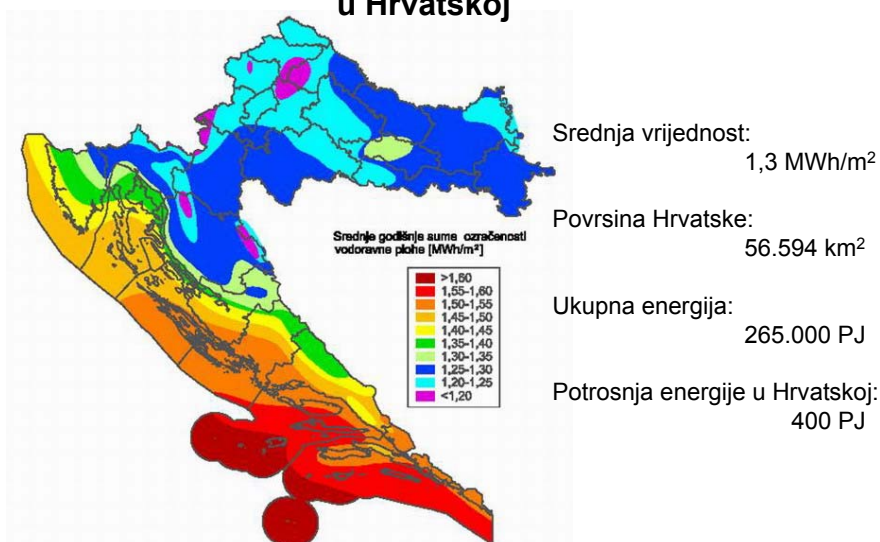
- ☀️ Solarna insolacija
- ☀️ Hidroenergija
- ☀️ Energija vjetra
- ☀️ Biomasa
- ☀️ Energija valova
- ☀️ Energija morskih struja
- ☀️ Toplinska energija oceana
(razlika temperatura između površine i dubine)
- 🌀 Energija plime i oseke
- 🔥 Geotermalna energija

Raspoloživost obnovljivih izvora energije



Godišnja insolacija je 7500 puta veća od ukupne energetske potrošnje!

Srednja godišnja suma ozračenosti vodoravne plohe u Hrvatskoj



Godišnja insolacija Hrvatske je 650 puta veća od ukupne energetske potrošnje!

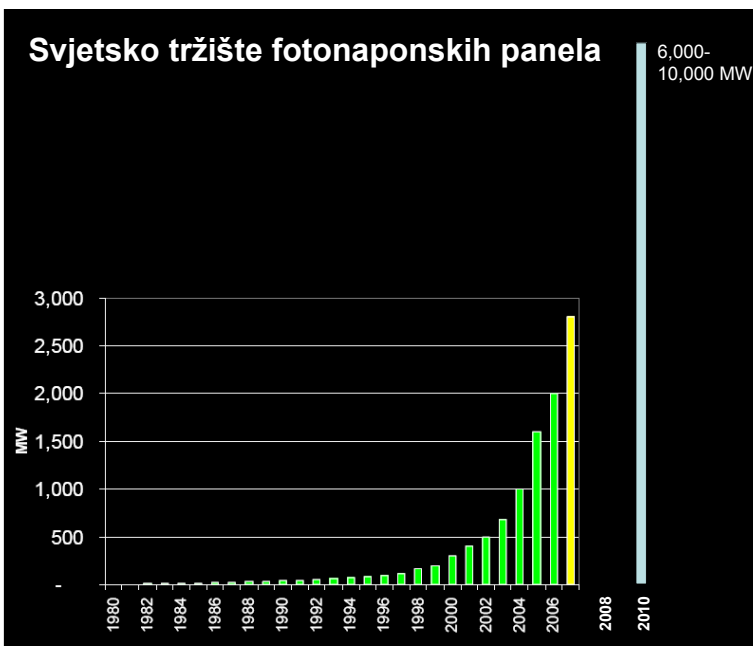


Primjenjive tehnologije

- Električna energija iz hidroenergija – u Hrvatskoj uglavnom iskorišteni potencijali
- Električna energija iz energije vjetra – tri vjetroenergane u Hrvatskoj
- Električna energija iz sunčevog zračenja
 - Fotonaponski paneli
 - Tornjevi s zrcalima
 - Parabolični žlijebni koncentratori
 - Parabolični tanjurasti koncentratori
 - Solarni dimnjaci
- Grijanje tople vode iz sunčevog zračenja
- Grijanje prostora iz sunčevog zračenja
- Solarna pasivna arhitektura
- Toplinska (i električna) energija iz biomase
- Goriva iz biomase



Svjetsko tržište fotonaponskih panela



Problemi s obnovljivim izvorima energije

- U principu su slabog intenziteta – rezultiraju u velikim površinama za njihovo iskorištavanje i pretvaranje u korisne oblike energije

Snaga po jedinici površine (kopna ili mora) W/m²

Vjetar (na kopnu)	2
Vjetar (offshore)	3
Plima i oseka	3-6
Solar FN paneli	5-20
Solarni koncentratori	15
Biomasa	0.5
Hidroenergija	11
Geotermalna energija	0.02
Solarni dimnjak	0.1
Toplina oceana	5

Za proizvesti 25% energije za potrebe UK sa energijom iz biomase trebalo bi pokriti 75% zemlje sa plantažama takvih biljaka!

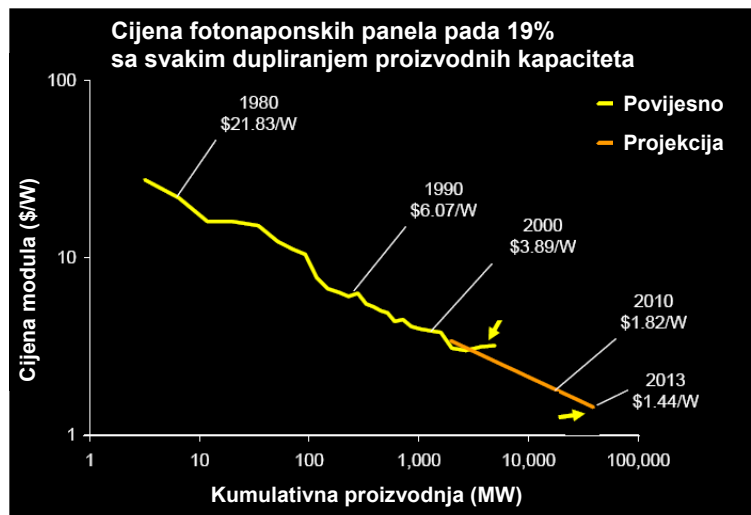
Za proizvesti 4% energije za potrebe UK sa energijom valova trebalo bi 500 km atlantske obale pokriti s takvim uređajima!

Ako netko želi koristiti obnovljive izvore energije, ali očekuje da će infrastruktura biti neprimjetna, se grdno vara!

David JC McCay, Sustainable Energy – Without Hot Air (www.withouthotair.com)

Problemi s obnovljivim izvorima energije

- U principu su slabog intenziteta – rezultiraju u velikim površinama za njihovo iskorištavanje i pretvaranje u korisne oblike energije
- Obnovljivi izvori energije su besplatni
- Korištenje obnovljivih izvora energije je skupo – oprema je skupa
- S vremenom, s razvojem tehnologije i s masovnom proizvodnjom oprema za korištenje obnovljivih izvora energije će biti jeftinija



Vjetroenergane <\$1/W

Problemi s obnovljivim izvorima energije

- U principu su slabog intenziteta – rezultiraju u velikim površinama za njihovo iskorištavanje i pretvaranje u korisne oblike energije
- Obnovljivi izvori energije su besplatni
- Korištenje obnovljivih izvora energije je skupo – oprema je skupa
- S vremenom, s razvojem tehnologije i s masovnom proizvodnjom oprema za korištenje obnovljivih izvora energije će biti jeftinija

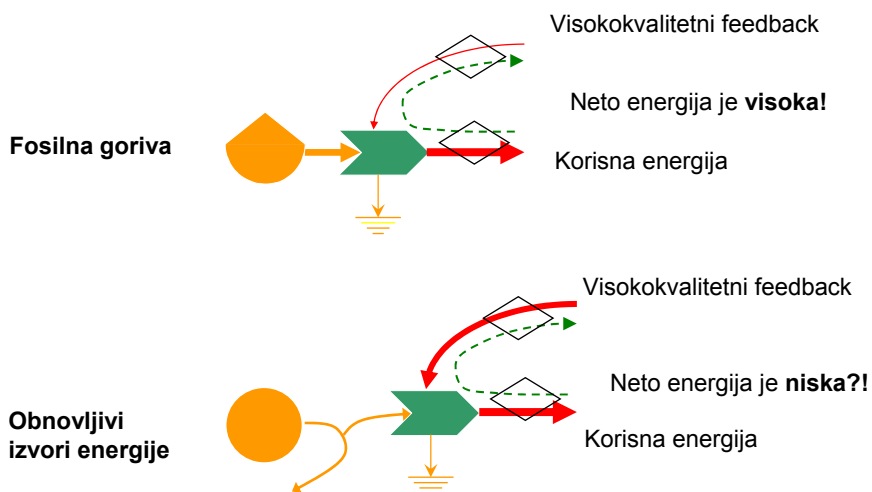
Loše vijesti!

- Obnovljivi izvori energije će uvijek biti skupi

Razlozi:

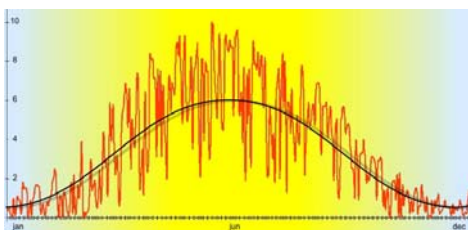
- Fosilna goriva – rad prirode kroz tisuće godina
- Relativno malo napora (usluga i roba) od ostatka gospodarstva
- Relativno visok “energetski povrat uloženog”
- Korištenje obnovljivih izvora energije zahtijeva više usluga i roba

Što je problem s obnovljivim izvorima energije?



Problemi s obnovljivim izvorima energije

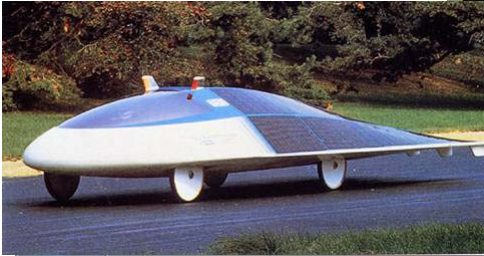
- U principu su slabog intenziteta – rezultiraju u velikim površinama za njihovo iskorištavanje i pretvaranje u korisne oblike energije
- Oprema za njihovo korištenje je skupa
- Raspoloživi su povremeno
- i s promjenjivim intenzitetom
- Najviše ih ima daleko od naseljenih područja
- Ne mogu se koristiti za pogon automobila, autobusa ili zrakoplova



Mogu li?



Solarna vozila



Solar & Wind Assisted Vehicles

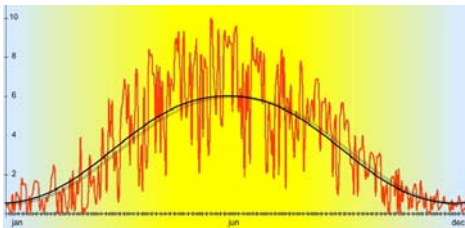


Sources: http://www.motorauthority.com/wp-content/uploads/Small/Venturi/Eclectic/image3_dl.jpg

<http://www.websinger.com/hovercraft/images/joes-car.jpg>

Problemi s obnovljivim izvorima energije

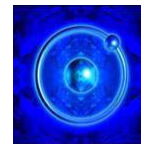
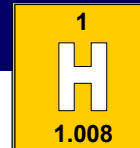
- U principu su slabog intenziteta – rezultiraju u velikim površinama za njihovo iskorištavanje i pretvaranje u korisne oblike energije
- Oprema za njihovo korištenje je skupa
- Raspoloživi su povremeno
- i s promjenjivim intenzitetom
- Najviše ih ima daleko od naseljenih područja
- Ne mogu se koristiti za pogon automobila, autobusa ili zrakoplova



Postoji rješenje: vodik

Što je vodik?

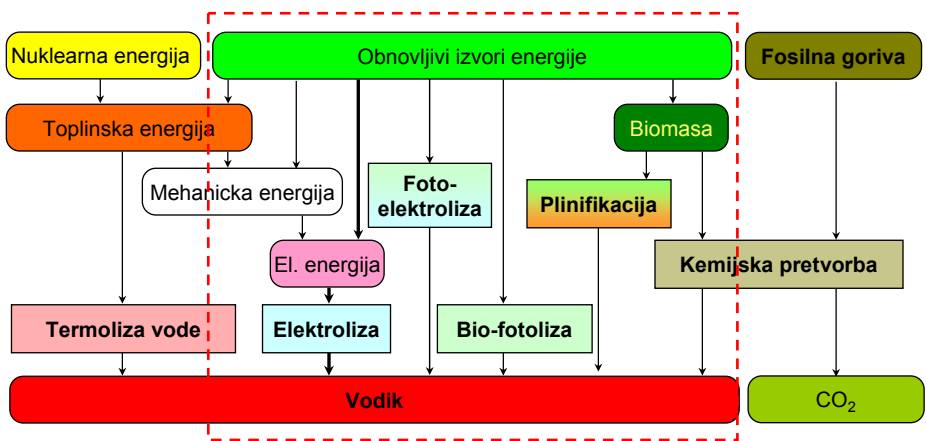
- Vodik je plin
- 1 elektron + 1 proton
- bez boje, mirisa i okusa
- nije toksičan
- lakši od zraka
- zapaljiv
- najrasprostranjeniji element u svemiru
- na Zemlji je prisutan samo u spojevima (H_2O , C_xH_y ...)



Vodik gorivo budućnosti

- Vodik nije izvor energije nego gorivo
- Može se proizvesti iz bilo kojih izvora energije
- Može se proizvesti centralno i lokalno
- Posebno je interesantna sprega vodika sa obnovljivim izvorima energije

Proizvodnja vodika iz obnovljivih izvora energije



Source
HFP SRA

Vodik gorivo budućnosti

- Vodik nije izvor energije nego gorivo
- Može se proizvesti iz bilo kojih izvora energije
- Može se proizvesti centralno i lokalno
- Posebno je interesantna sprega vodika sa obnovljivim izvorima energije
- **Može se skladištiti**

Vodik se može skladištiti

- **Stlačeni plin**
- **Tekući vodik**
- **Metalni hidridi**
- **Ostali**
 - Aktivirani ugljik
 - Ugljikove nanostrukture
 - Staklene mikro kuglice
 - Kemijski hidridi



1 kg vodika stlačen na 200 bara zauzima 60 litara

Vodik gorivo budućnosti

- Vodik nije izvor energije nego gorivo
- Može se proizvesti iz bilo kojih izvora energije
- Može se proizvesti centralno i lokalno
- Posebno je interesantna sprega vodika sa obnovljivim izvorima energije
- Može se skladištiti
- Može se koristiti u svim primjenama umjesto sadašnjih fosilnih goriva
- Gorivne ćelije – nova tehnologija koja omogućuje proizvodnju električne energije sa visokim stupnjem iskoristivosti

Tehnologije za korištenje vodika

■ Izgaranje

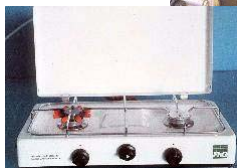
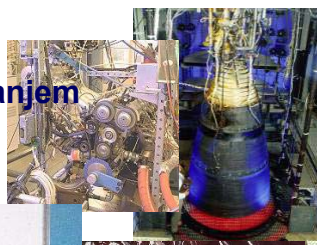
- Motori s unutrašnjim sagorijevanjem
- Mlazni i raketni motori
- Proizvodnja pare

■ Katalitičko izgaranje

■ Primjene hidrida

■ Elektrokemijska konverzija

- Gorivne ćelije
članci



Vodik gorivo budućnosti

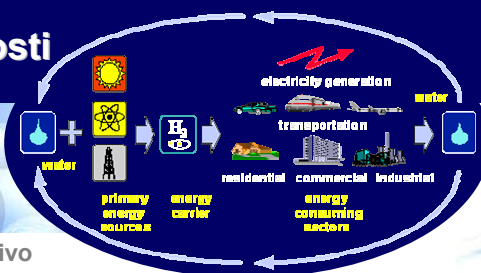
- Vodik nije izvor energije nego gorivo
- Može se proizvesti iz bilo kojih izvora energije
- Može se proizvesti centralno i lokalno
- Posebno je interesantna sprega vodika sa obnovljivim izvorima energije
- Može se skladištiti
- Može se koristiti u svim primjenama umjesto sadašnjih fosilnih goriva
- Gorivni članci – nova tehnologija koja omogućuje proizvodnju električne energije sa visokim stupnjem iskoristivosti
- Proizvodnja vodika (iz obnovljivih izvora energije) i njegovo korištenje nisu štetni za okoliš



Auto sa 100%
čistim ispuhom.
Tko bi to popio?



Vodik gorivo budućnosti



- Vodik nije izvor energije nego gorivo
- Može se proizvesti iz bilo kojih izvora energije
- Može se proizvesti centralno i lokalno
- Posebno je interesantna sprega vodika sa obnovljivim izvorima energije
- Može se skladištiti
- Može se koristiti u svim primjenama umjesto sadašnjih fosilnih goriva
- Gorivne ćelije – nova tehnologija koja omogućuje proizvodnju električne energije sa visokim stupnjem iskoristivosti
- Proizvodnja vodika (iz obnovljivih izvora energije) i njegovo korištenje nisu štetni za okoliš
- Rezultira u trajnom energetskom sustavu neovisnom o izvorima energije

Vodikova ekonomija!

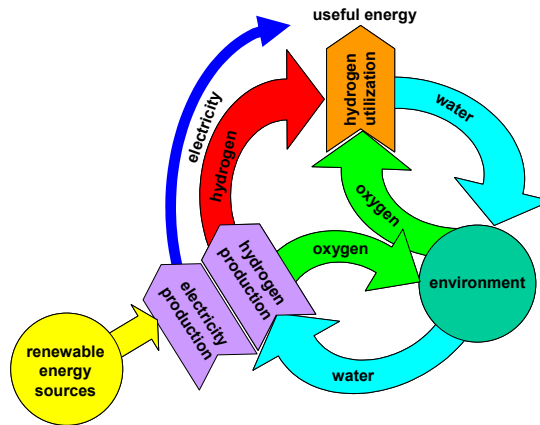
Vodik i obnovljivi izvori energije

- Vodik se može proizvesti iz obnovljivih izvora energije
- Jedino u sprezi sa obnovljivim izvorima energije vodik rezultira u sustavu koji omogućuje održivi razvoj
- Vodik rješava problem stohastičke prirode obnovljivih izvora energije
- Vodik omogućuje penetraciju obnovljivih izvora energije u sektor transporta
- Korištenjem vodika može se smanjiti uvoz nafte i plina
- Korištenjem vodika iz obnovljivih izvora energije bi se smanjilo zagadjenje okoliša i emisije stakleničkih plinova
- Vodik i električna energija se nadopunjuju



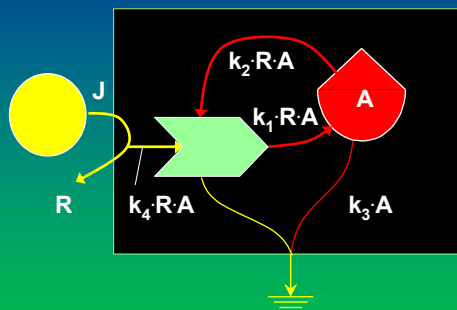
Iz systemske perspektive

Sustav baziran na obnovljivim izvorima energije
je održiv!

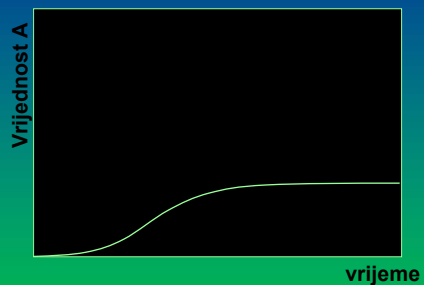


Izvor energije konstantnog toka

Dijagram



Rezultati



Jednadzbe:

$$R = J/(1+k_4 \cdot A)$$

$$dA/dt = k_1 \cdot R \cdot A - k_2 \cdot R \cdot A - k_3 \cdot A$$

Eksponecijalni rast,
nakon cega slijedi
stacionarno stanje!

Možemo li koristiti obnovljive izvore? Ima li ih dovoljno?

**Da, postoje tehnologije za njihovo iskorištavanje.
Da, njihov kapacitet je dovoljan.
sunce, vjetar, hidro, biomasa ...**

Solarna insolacija na 1/10 svjetskih pustinja: 2,500 EJ*
Svjetski potencijal energije vjetra: 30 EJ*
Svjetski potencijal hidro energije: 30 EJ*

Svjetske potrebe za energijom (2000): 400 EJ**
U.S. energetske potrebe: 100 EJ**
U.S. potrošnja nafte: 40 EJ
U.S. proizvodnja el. energije: 3840 TWh (13.7 EJ)
U.S. korištenje obnovljivih izvora energije: 6 EJ

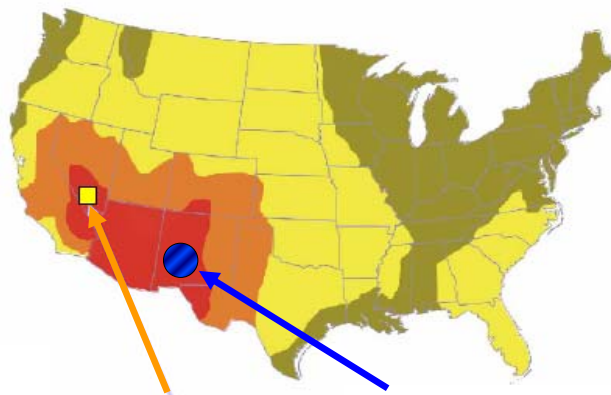


1 EJ = 10^{18} J \cong 1 Quad

*potencijal proizvodnje električne energije

**ukupna potražnja za primarnom energijom

Solarna Energija



Površina potrebna za proizvesti sve potrebe za el. energijom u U.S. (100x100 mi.)

Površina potrebna za proizvesti H₂ iz solarne energije za zamijeniti naftu u U.S.

Izvori:

■ A Realizable Renewable Energy Future, Science Magazine, July 30, 1999

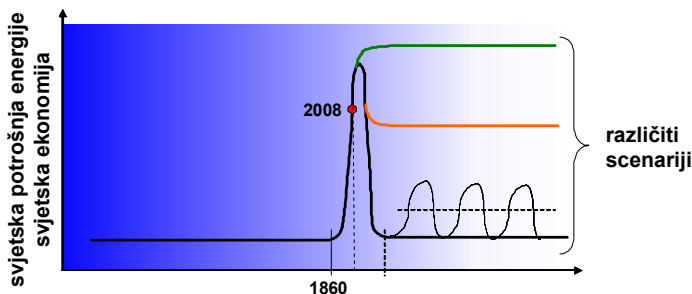
■ J.M Ogden and R. H Williams, Solar Hydrogen: Moving Beyond Fossil Fuels, World Resources Institute, October 1989

Površina koju bi bilo potrebno prekriti sa fotonaponskim uređajima za proizvesti svu energiju potrebnu u Hrvatskoj



Neke misli i pitanja u vezi održivog razvoja i obnovljivih izvora energije

- Fosilna goriva su omogućila fantastičan rast svjetskog gospodarstva!
- Ovakav rast bi bio nemoguć s obnovljivim izvorima energije
- Stalan rast je nemoguć ako je baziran na ograničenim resursima!
- Koje su alternative rastu:
 - Stalna razina (steady state)
 - Pad/kolaps
 - Pulsiranje



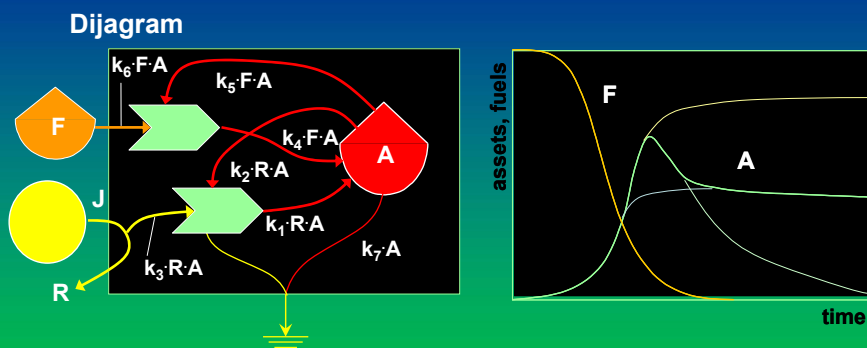
Era fosilnih goriva – kratak period između solarne prošlosti i solarne budućnosti?

Neke misli i pitanja u vezi održivog razvoja i obnovljivih izvora energije

- Fosilna goriva su omogućila fantastičan rast gospodarstva (do sada)!
- Ovakav rast bi bio nemoguć s obnovljivim izvorima energije
- Stalan rast je nemoguć ako je baziran na ograničenim resursima!
- Koje su alternative rastu:
 - Stalna razina (steady state)
 - Pad
 - Pulsiranje
- Može li se ekonomija održavati na nekoj (visokoj?) razini s obnovljivim izvorima
- Ili je pad neizbježan?
- Možemo li barem postići "prosperitetan pad"?
- Da li će uvođenje obnovljivih izvora energije pomoći ili još ubrzati pad?



Obnovljivi i neobnovljivi izvori energije



Jednadžbe:

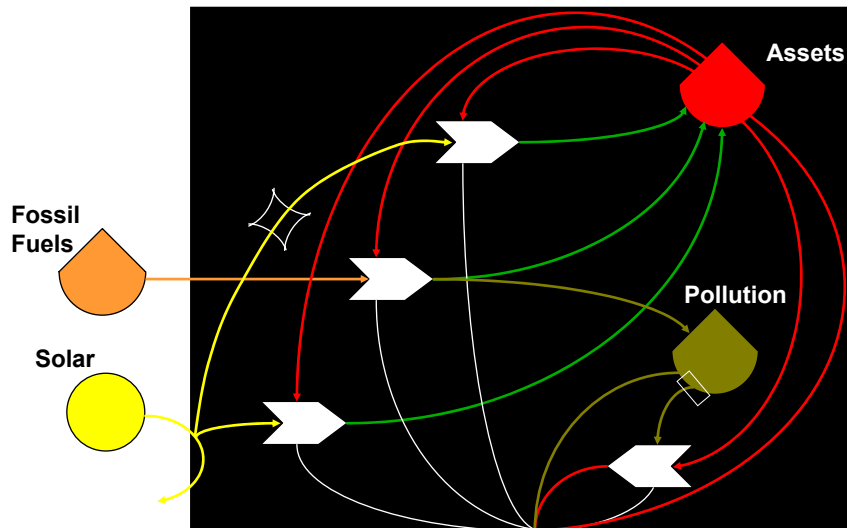
$$R = J / (1 + k_3 \cdot A)$$

$$dF/dt = -k_6 \cdot F \cdot A$$

$$dA/dt = k_1 \cdot R \cdot A - k_2 \cdot R \cdot A + k_4 \cdot F \cdot A - k_5 \cdot F \cdot A - k_3 \cdot A$$

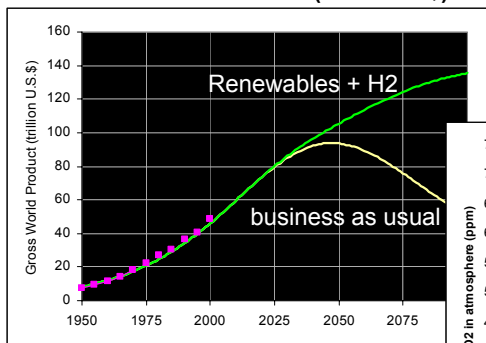
Eksponencijalni rast, vrh, pad i stacionarno stanje!

Global Energy Model

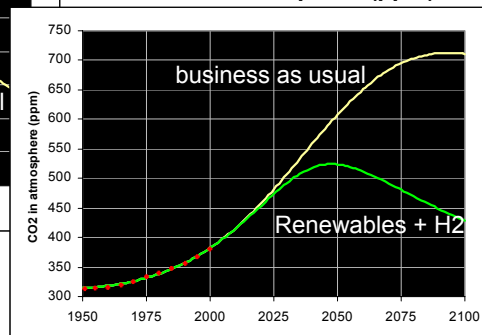


Modeling Results: The effects of renewable hydrogen introduction

Gross World Product (2004 U.S.\$)



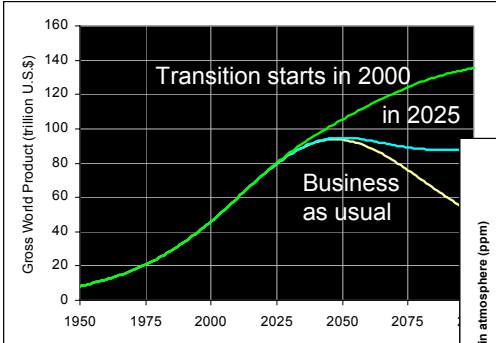
CO2 in the atmosphere (ppm)



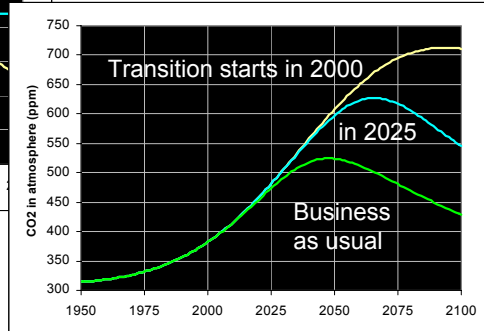
The results of techno-economic analysis and simulation performed at University of Miami (1992); updates (2006)

Modeling Results: The effects of timing

Gross World Product (2004 U.S.\$)



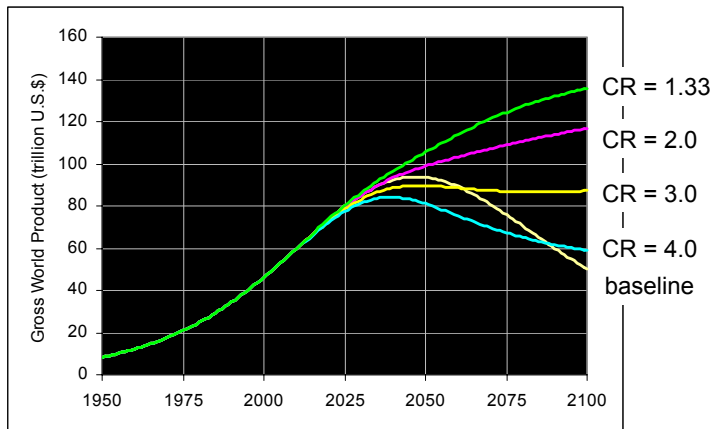
CO2 in the atmosphere (ppm)



The results of techno-economic analysis and simulation performed at University of Miami (1992); updates (2006)

Modeling Results: The effects of cost ratio

Gross World Product (2004 U.S.\$)



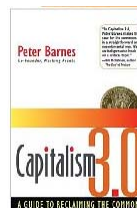
The results of techno-economic analysis and simulation performed at University of Miami (1992); updates (2006)

Neke misli o budućnosti opskrbe energijom

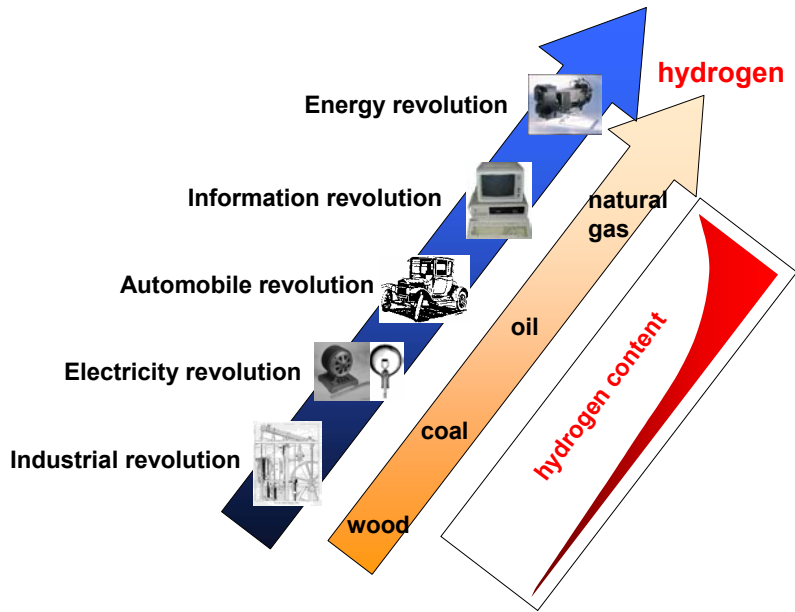
- Izgleda kao da su svi svjesni problema u vezi energije
- Ali ipak, nitko nema snage ili hrabrosti za provoditi mjere koje dugoročno osiguravaju održivu budućnost
Energetska učinkovitost, CO2 sekvestracija – samo kupovanje vremena
- Dugoročna rjesenja – kratkotrajno planiranje i (commitment)
- Naftna industrija/lobi prejaki i utjecajni
- Nuklearna energija – loš imidž, strah od terorizma, otpad
Obnovljivi izvori energije – raspršeni, skupi

Kako promijeniti cijeli energetska sustav?

- **Ne smije biti kompeticije – mora biti tranzicija**
 - Inzistiranje na kratkoročnim ekonomskim rezultatima favorizira "status quo," (pogotovo bez internalizacije svih eksternih, prošlih, sadašnjih i budućih troškova)
- **Tranzicija zahtijeva viziju i obvezu (commitment)**
 - Masovno korištenje obnovljivih izvora energije (i energenata proizvedenih iz njih) moglo bi izazvati poremećaje u globalnoj ekonomiji
 - Ti bi poremećaji bili manji od onih koji bi nastali ako bi se nastavilo sa sadašnjim energetskim sustavom baziranim na fosilnim gorivima
- **Promjena k obnovljivim izvorima energije će zahtijevati bitnu promjenu u našem načinu razmišljanja i načinu života**
 - novi operacijski sustav – Kapitalizam 3.0 !
 - promjenu s ciljeva neprestanog rasta k ciljevima održivog razvoja !
 - štedjeti energiju i druge resurse !
 - davati prioritet zaštiti okoliša !
- **Tranzicija će trajati dugo vrijeme**



Evolution of modern civilization



The Alternative to a Hydrogen Future



Type:
Horse Front Drive

Specifications:
 bio-propulsion displacement: 15 ccm
 fuel economy: 0 l
 horsepower: 1 hp
 V_{max} : 20 mph
 cruising range: 20 miles

Options:
 navigation system
 full air conditioning

Emissions:
 CO_2 = 380 g/mile
 CH_4 = 1,6 g/mile
 particles = 800 g/mile
 low-emission

Postoje li druga rješenja osim tehnoloških?

- Stvarna jednakost u bogatstvu.
Nije sve isto ako većina bogatstva pripada malom broju ljudi ili je pravednije raspodjeljeno.
- Trka za maksimiranjem novca bi se trebala zamijeniti etikom maksimalne em-snage
- Jednakost u međunarodnoj trgovini
- Edukacija
- Socijalne mjere (zapošljavanje, zdravstvena briga...)
- Zaustavljanje rasta stanovništva

Vrijednosti u društvu se mijenjaju!

U ekonomiji koja raste: **veće, brže, kompeticija**

Za vrijeme ekspanzije: **rast je progres**

Sada: **održivost je dobra**

Održivi rast je fizički nemoguć!
(bez neograničenih količina energije)

U ekonomiji koja stagnira ili se smanjuje:
manje, efikasnije, suradnja

Što pojedinac može napraviti?

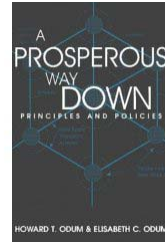
- Biti svjestan posljedica “potrošačkog mentaliteta”
- Biti svjestan da dijelimo jedan planet i njegove resurse
- Smanjiti vlastiti ekološki trag (Ecological Footprinting)
- Tvoj novac ili tvoj život (Your Money or Your Life – YMOYL)
- Učiti od prirode

Zaključci

- Promjena k obnovljivim izvorima energije će zahtijevati bitnu promjenu u našem načinu razmišljanja i načinu života
 - promjenu s ciljeva neprestanog rasta k ciljevima obnovljivog razvoja
 - štedjeti energiju i druge resurse
 - prioritzirati zaštitu okoliša
- Ova promjena mora biti koordinirana na globalnoj razini
- Potrebne su detaljnije analize energije (energije) o korisnosti obnovljivih izvora energije
- Čovječanstvo ima priliku odrediti svoju budućnost
- Postiziva održiva razina će ovisiti o:
 - Zakonima termodinamike
 - Snazi, originalnosti i opsegu naseg djelovanja
 - Tajmingu
- **Nadam se da nam je budućnost blistava!**

Preporučena literatura

Howard T. Odum and Elisabeth C. Odum,
A Prosperous Way Down: Principles and Policies,
University Press of Colorado, 2001
(ISBN: 0870816101)



Jim Merkel
Radical Simplicity,
(sustainable lifestyle for global equity)
(small footprints on a finite Earth)
New Society Publishers, 2003
(ISBN: 0865714738)

