

OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE

1. UVOD

Dr.sc. Zvonimir Glasnović, izv.prof.

1.1. Definicija i povijesni pregled

Obnovljivi Izvori Energije (OIE) su prirodni izvori energije koji se mogu obnavljati.

Od otkrića vatre pa sve do polovine XVIII. stoljeća i otkrića fosilnih goriva, OIE su bili i jedini izvori energije raspoloživi čovječanstvu:

- Osim spaljivanja drveta i drugih gorivih materijala, naši su preci uočili prednosti većine prirodnih izvora energije koje danas poznajemo, odnosno energije vjetra, vode, Sunca pa čak i geotermalne energije;
- Energija Sunca se koristila već kod građevina (npr. svjetlarnik na kupoli rimskog Panteona, a posebno je interesantna Sokratova kuća kao prvi primjer korištenja pasivne solarne arhitekture). Međutim, od davnine su poznati i koncentratorki sustavi koji su služili za potpaljivanje vatre (a poznat je i primjer Arhimedovih zrcala kojima je odbijen napad rimskih brodova);
- Energija vjetra se koristila za pokretanje brodova i mlinova;
- Hidroenergija se milenijima koristila za okretanje kotača vodenica;
- Geotermalna energija se u Starom Rimu koristila za grijanje.



≈ 1750

**Od polovine XVIII. stoljeća do polovine XX. stoljeća
ERA FOSILNIH GORIVA**

≈ 1950

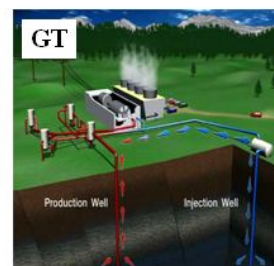
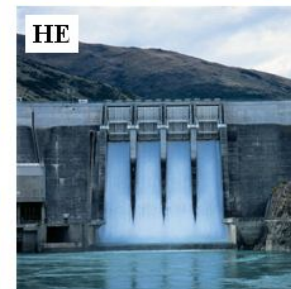
Moderne tehnologije OIE pojavljuju se tek u drugoj polovini XX. stoljeća:

- Korištenje fosilnih goriva je izazvalo globalne klimatske promjene koje su postale očigledne u posljednjih nekoliko dekada i koja su natjerala ljude i vlade širom svijeta da ozbiljno razmotre zamjenu fosilnih goriva s OIE. U ovom smislu treba posebno spomenuti dokument: IPCC, 2007. *Intergovernmental Panel on Climate Change: Fourth Assessment Report, Synthesis report*, 52p. <<http://www.ipcc.ch>>.



1.2. Vrste obnovljivih izvora energije

- Biomasa (biogorivo, bioplín) [B];
- Hidroenergija [HE];
- Solarna fotonaponska energija [PV];
- Solarna termalna energija [ST];
- Vjetroenergija [W];
- Geotermalna energija [GT];
- Energija mora (plima i oseka, valovi i morske struje) [M].



1.3. Veličine OIE

- Veličine jedinica OIE se različito klasificiraju i stvar je konvencije koji će se sustavi smatrati manjim, a koji većim. Ipak, za grubu orijentaciju se može uzeti:
- **Biomasa** – Malim sustavima se smatraju oni veličine do 1 MW, a preko toga velikim sustavima (ti sustavi mogu biti od 50 MW pa sve do 700 MW);
- **Hidroenergija** – Razlikovna vrijednost malih i velikih HE je 10 MW (iako i te vrijednosti variraju od zemlje do zemlje, odnosno ta granica se u nekim zemljama kreće od 10 do 50 MW - npr. u Indiji je ta razlika 30 MW, a u Kini 50 MW). No, i između malih HE također postoje razlike (IEA Hydropower), odnosno razlikuju se tzv. Mini HE (ispod 1 MW), Mikro HE (ispod 300 kW) i Piko HE (ispod 10 kW);
- **Solarna fotonaponska energija** – Ona se različito klasificira, ali se uzima da su sustavi do 200 kW mali sustavi, a preko toga veliki. Pri tome su veliki sustavi podijeljeni na još 7 klasa, od kojih VII. klasa obuhvaća sustave preko 20 MW (Lenardič, 2009);
- **Solarna termalna energija** - Malim sustavima se smatraju oni veličine do 1 MW (tzv. Mini sustavi su od 100 kW do 1 MW), a preko toga velikim sustavima koji mogu biti reda veličine nekoliko stotina MW. Međutim, ovo se odnosi na termoelektrične sustave, dok se solarni termalni sustavi koriste i za pripremu potrošne tople vode i grijanje u domaćinstvima i obično se ti sustavi onda ubrajaju u male termale sustave (međutim, u takvoj klasifikaciji treba biti oprezan jer i solarni termalni sustavi za npr. hotele mogu biti relativno veliki);
- **Vjetroenergija** – Malim sustavima se smatraju oni veličine do 100 kW, a preko toga velikim sustavima.
- **Geotermalna energija** – Malim sustavima se smatraju oni od 500 do 3000 kW, a većim preko tih vrijednosti (DiPippo R., 1999). Međutim, geotermalna energija je u izvjesnom smislu homonim jer se u ovim predavanjima misli na korištenje energije toplih izvora za proizvodnju električne struje, dok se u drugom slučaju može misliti na iskorištavanje topline zemlje (koja može biti samo npr. +8°C) putem geotermalnih dizalica topline.
- **Energija mora** - Malim sustavima se smatraju oni veličine do 1 MW, a preko toga velikim sustavima.



1.4. Današnji razlozi i trendovi razvoja korištenja OIE

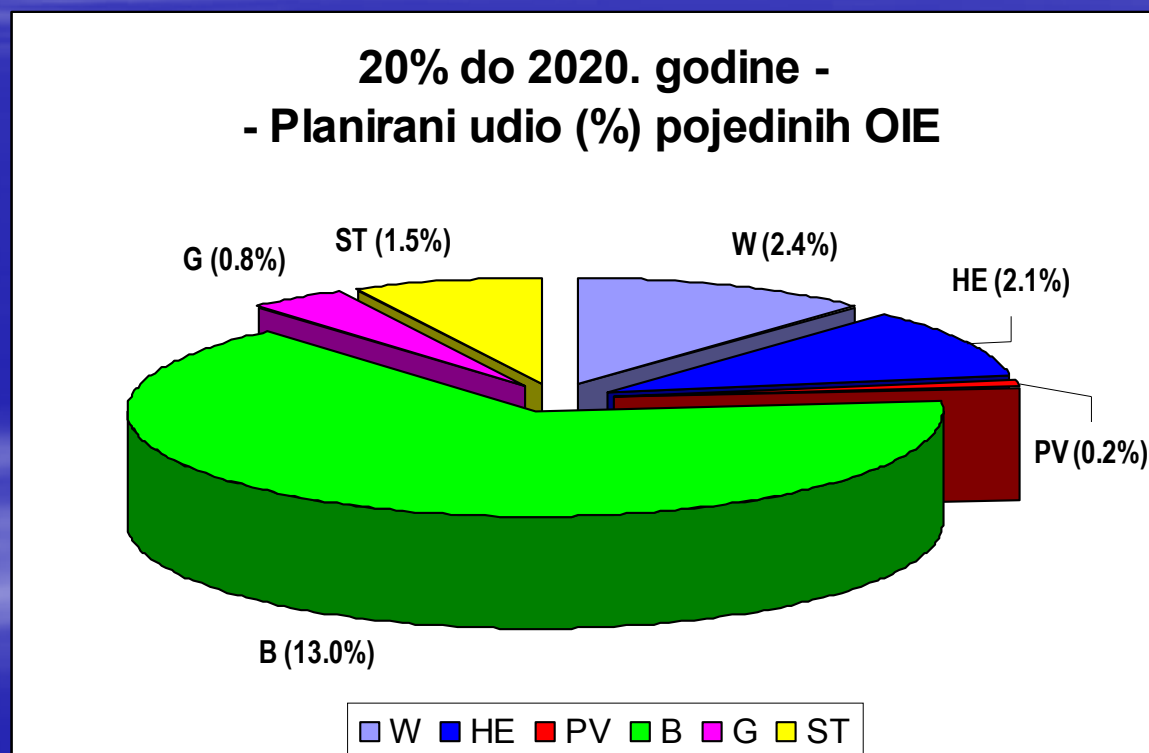
- **Razlozi razvoja OIE:**
 - **Doprinos stabilizaciji klime (ključno!);**
 - Doprinos povećanju sigurnosti opskrbe energijom;
 - Doprinos povećanju proizvodnje „zelene energije“;
 - Inovacije i na njima zasnovan gospodarski rast;
 - Nova radna mjesta.
- **OIE i energetska učinkovitost donose nova radna mjesta:**
 - 2007. zapošljavalo se ukupno **9 milijuna ljudi**;
 - 2008. investirano je **110 mlrd. €**;
 - 2030. očekuje se zapošljavanje **37 milijuna ljudi**.



1.5. STRATEGIJA ENERGETSKOG RAZVOJA EU

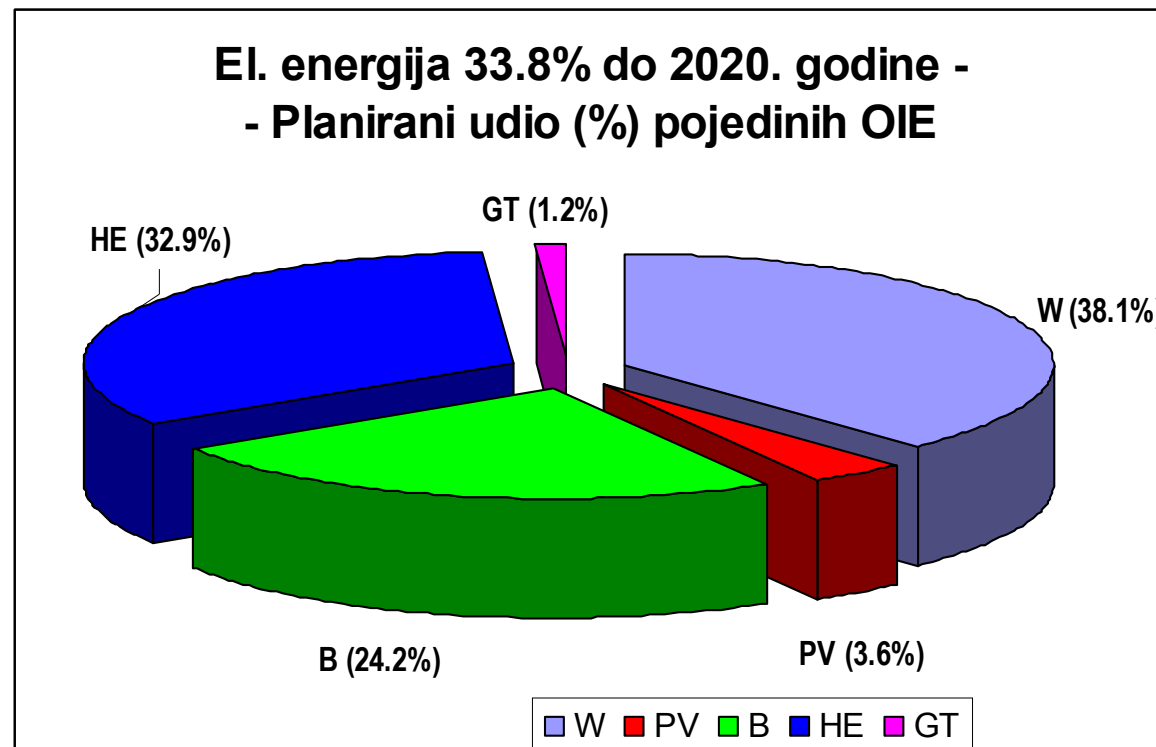
20% Smanjenja stakleničkih plinova;
20% Smanjenja potrošnje energije;
20% Učešća obnovljivih izvora energije.

Za EU do 2020. godine

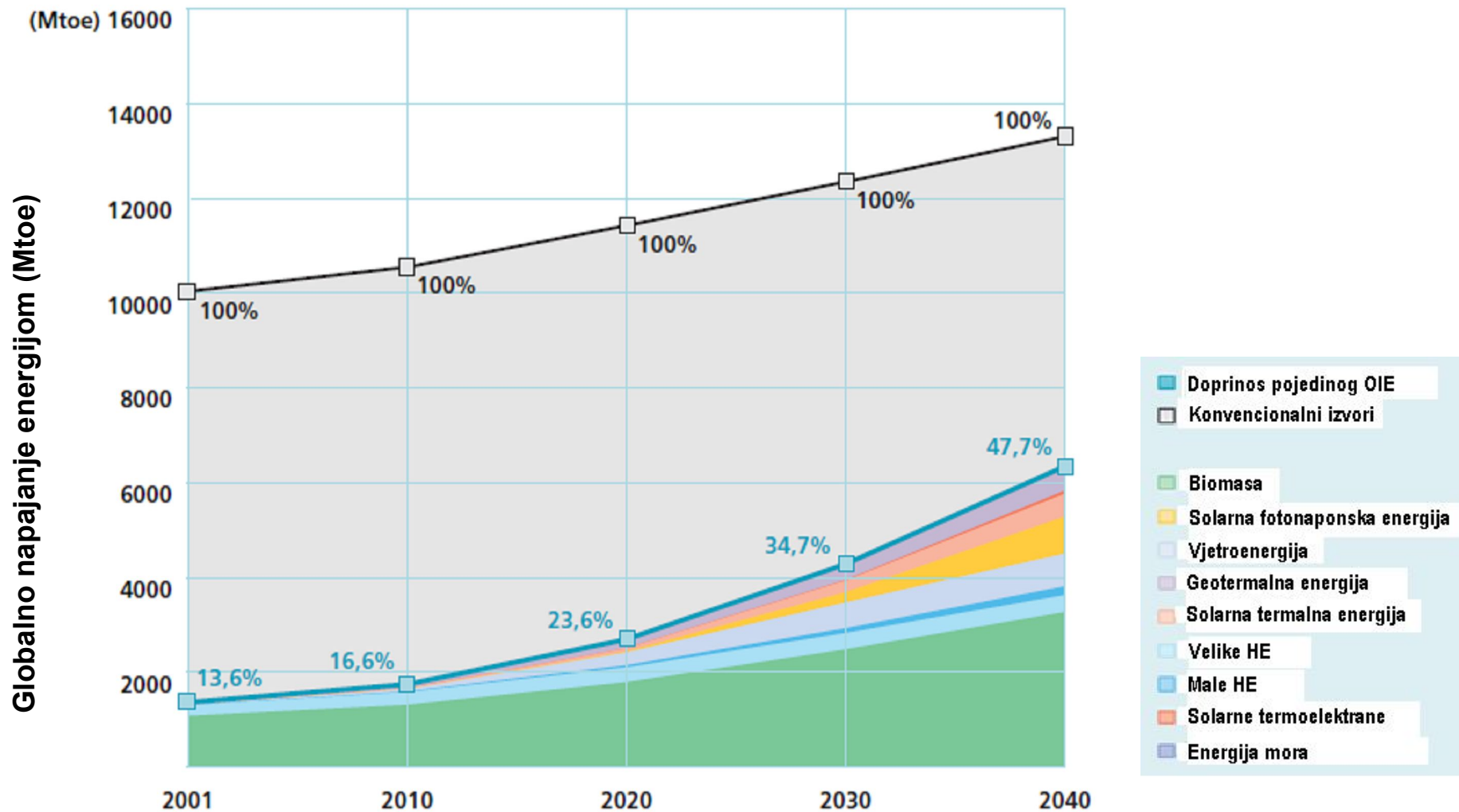


... Strategija energetskeg razvoja EU

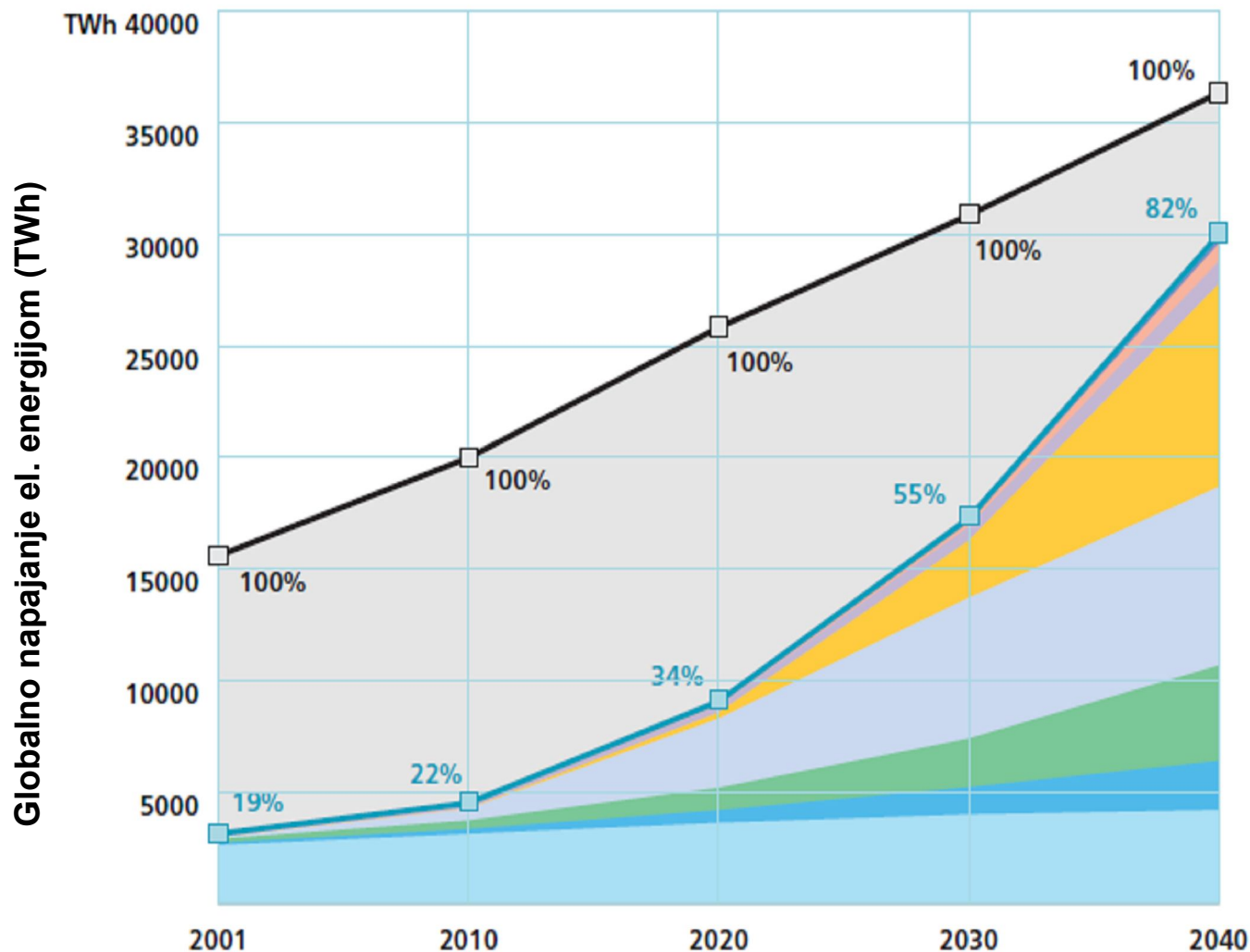
Za EU do 2020. godine, učešće OIE u proizvodnji samo električne energije je 33.8%:



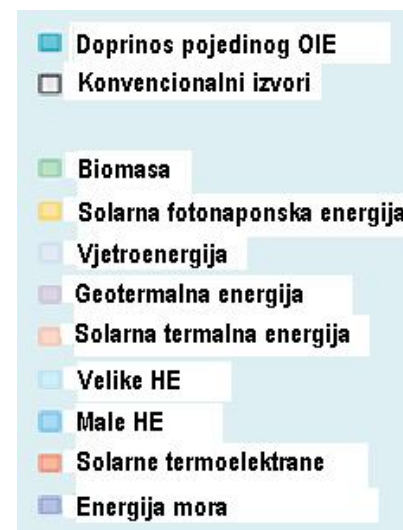
1.6. Strategija energetskeg razvoja za cijeli svijet – ukupno (EREC Agencija)



1.7. Strategija energetskeg razvoja za cijeli svijet – el. energija (EREC Agencija)



Dakle, svijet može već do 2040/2050. godine dostići potpuno održivi elektroenergetski sustav!

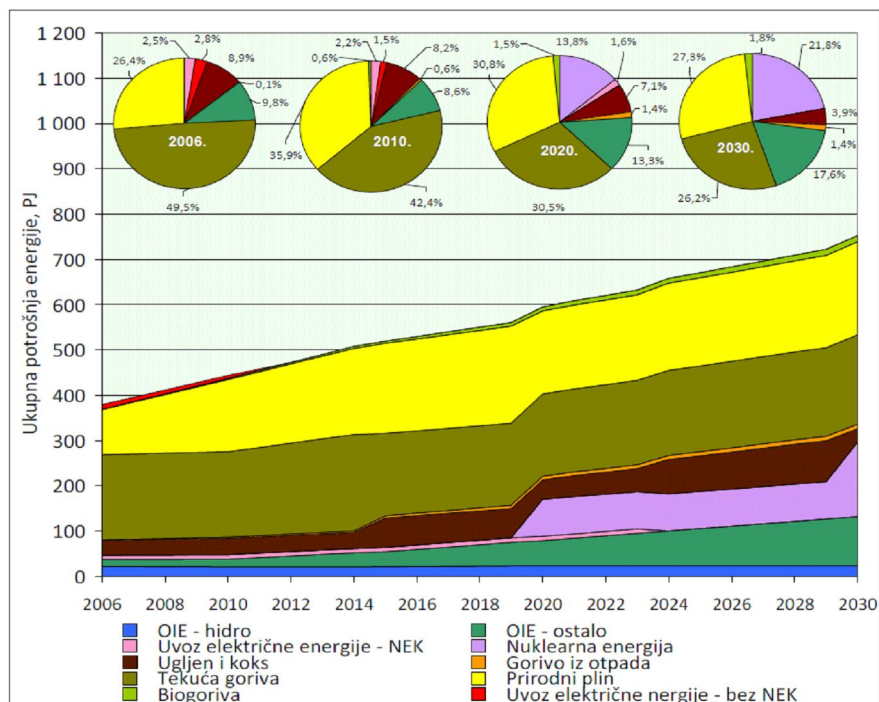


1.8. Strategija energetskeg razvoja HR

- Obzirom da prethodna strategija energetskeg razvoja nije dala očekivane rezultate, donesena je nova strategija, odnosno Prilagodba i nadogradnja strategije energetskeg razvoja Republike Hrvatske, nazvana “Zelena knjiga”.
- Na samom početku te nove Strategije se navodi: „Cilj je Strategije u neizvjesnim uvjetima globalnog energijskog tržišta i uz oskudne domaće energetske resurse izgraditi održivi energetski sustav, dakle sustav uravnoteženog razvoja odnosa između zaštite okoliša, konkurentnosti i sigurnosti energetske opskrbe, koji će hrvatskim građanima i hrvatskom gospodarstvu omogućiti sigurnu i dostupnu opskrbu energijom.“
- Uočava se da cilj nije jasno i nedvosmisleno postavljen jer se najprije navodi da se želi „održivi energetski sustav“ (što je naravno dobro postavljen cilj), a onda se isti taj cilj u drugom dijelu rečenice relativizira („uravnotežen razvoj“).
- Nova strategija u osnovi ne unosi ništa novo po pitanju većeg učešća RES, nego samo koristi relativno veliko učešće velikih HE u Hrvatskoj i na taj način udovoljava EU uvjetima o 20% OIE do 2020. godine.
- Sama Strategija razmatra tri scenarija izgradnje novih energetskeg kapaciteta, od kojih bi se po tzv. „plavom scenariju“ trebalo graditi 2 TE na prirodni plin i 2 TE na ugljen; po tzv. „zelenom scenariju“ 2 TE na prirodni plin i 1 nuklearna elektrana; a po tzv. „bijelom scenariju“ 1 TE na prirodni plin, 1 TE na ugljen i 1 nuklearna elektrana.
- Dakle, ako se izuzmu velike HE, OIE su u novoj Strategiji ozbiljno zapostavljeni.



... Strategija energetskega razvoja HR

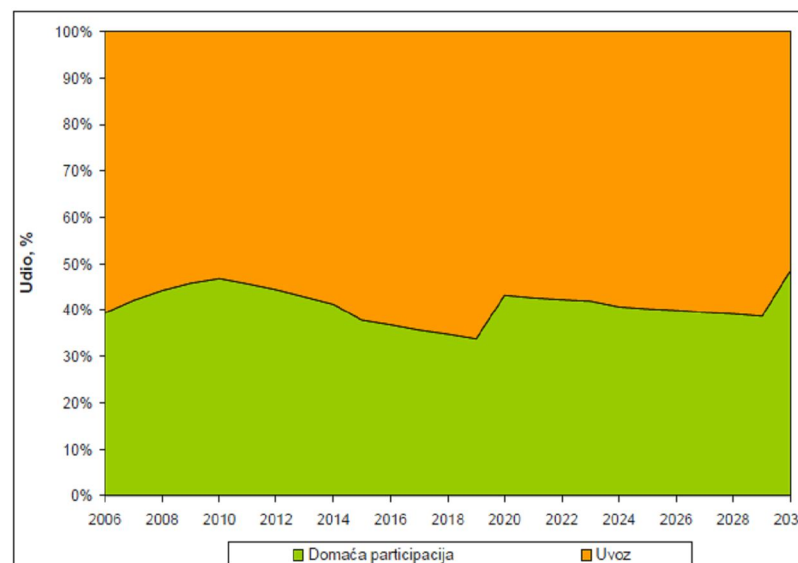


Slika 10-1. Strategije:
Projekcija ukupne potrošnje energije u Republici Hrvatskoj.

Slike preuzete iz: MINGORP i UNDP, Prilagodba i nadogradnja strategije energetskega razvoja Republike Hrvatske.

Slika 10-2 Strategije:

Udio domaćih izvora energije – Upravo iz ovog grafa se jasno vidi da Hrvatska i u 2030. godini ostaje praktički jednako ovisna o uvozu energije (narančasto), a što naravno nije održivo, tim prije jer uvozne energente čine neobnovljivi izvori energije.



Teško je složiti se sa zaključcima Strategije da je ovakav energetskega sustav održiv, konkurentan i visoke sigurnosti opskrbe. Naprotiv, takav energetskega sustav, u kojoj je malo OIE izvan hidroenergije, neće u dovoljnoj mjeri doprinijeti: stabilizaciji klime, povećanju opskrbe energijom (jer oko 50% te energije i dalje ostaje iz uvoza), povećanju proizvodnje „zelene energije“, poticanju inovacija i na njima zasnovanom gospodarskom rastu i neće značajno povećati broj radnih mjesta u Hrvatskoj. Zato treba tražiti druge puteve, odnosno napraviti drugačiju strategiju koja će u mnogo većoj mjeri predvidjeti učešće OIE, sve do potpune opskrbe kompletne hrvatske energetike iz OIE. Na taj način bi se u to područje značajnije uključila hrvatska znanost i obrazovanje te tako dao mnogo veći prostor poticanju razvoja i primjene novih tehnologija OIE od strane hrvatskih gospodarskih subjekata.



... Strategija energetskeg razvoja HR

- U analizi prilika za razvoj potpuno održivog energetskeg sustava, prvi korak su svakako procjene mogućnosti primjene RES-a u nekoj zemlji. U pogledu Hrvatske, oni su dani u Strategiji u kojoj se navodi:
- Tehnički iskoristivi vodni potencijal u Hrvatskoj je procijenjen na **12.45 TWh/a**. Od tog potencijala u large HE se već koristi 6.13 TWh/a ili 49.2% (od toga se samo 0.1 TWh koristi u malim HE). Ukupni potencijal malih vodotoka (male HE) se procjenjuje na oko 1 TWh/a. Dakle, ostaje na korištenje još oko 5 TWh/a za velike HE i 1 TWh/a za male HE, odnosno ukupno još **6 TWh/a**;
- Tehnički potencijal proizvodnje električne energije iz PV sustava i solarnih termalnih elektrana iznosi oko **33 TWh/a** (40% od 1% ukupne kopnene površine Hrvatske što iznosi 0.4% te površine);
- Ukupan procijenjeni potencijal drvene biomase iz šumarstva, industrije i poljoprivrede iznosi 93.49 PJ, odnosno oko **25 TWh/a**, dok potencijal biogoriva po najpovoljnijoj varijanti iznosi 9,41 PJ ili **2.5 TWh/a**;
- Tehnički kopneni potencijal u vjetroelektrana procjenjuje se na približno **10 TWh/a** električne energije;
- Ukupna proizvodnja električne energije malih HE procjenjuje se na oko **300 GWh/a**;
- Za iskorištavanje geotermalne energije se navodi da se do 2030 godine planira proizvodnja od 7.47 PJ, odnosno oko **2 TWh/a**.

$$E_{OIE/a} = 12.45 \text{ TWh(HE)} + 33 \text{ TWh(PV)} + 27.5 \text{ TWh(B)} + 10 \text{ TWh(W)} + 2 \text{ TWh(GT)} = \underline{\underline{84.95 \text{ TWh/a}}}$$

Obzirom da su ukupne potrebe za energijom u 2020. godini planirane s oko 162 TWh, vidi se da čak i ovako računat potencijal zadovoljava oko polovinu potreba za energijom. Međutim, kada bi se pravilnije valorizirala, prije svega iskoristivost solarne energije (njen je potencijal nekoliko puta veći, nego je u Strategiji planiran), može se dokazati da je stvarni potencijal primjene OIE u Hrvatskoj mnogo veći, nego su ukupne potrebe za energijom u 2020. godini. U svakom slučaju, postoje realne osnove za drugačijom, odnosno boljom energetskeg srategijom Hrvatske.



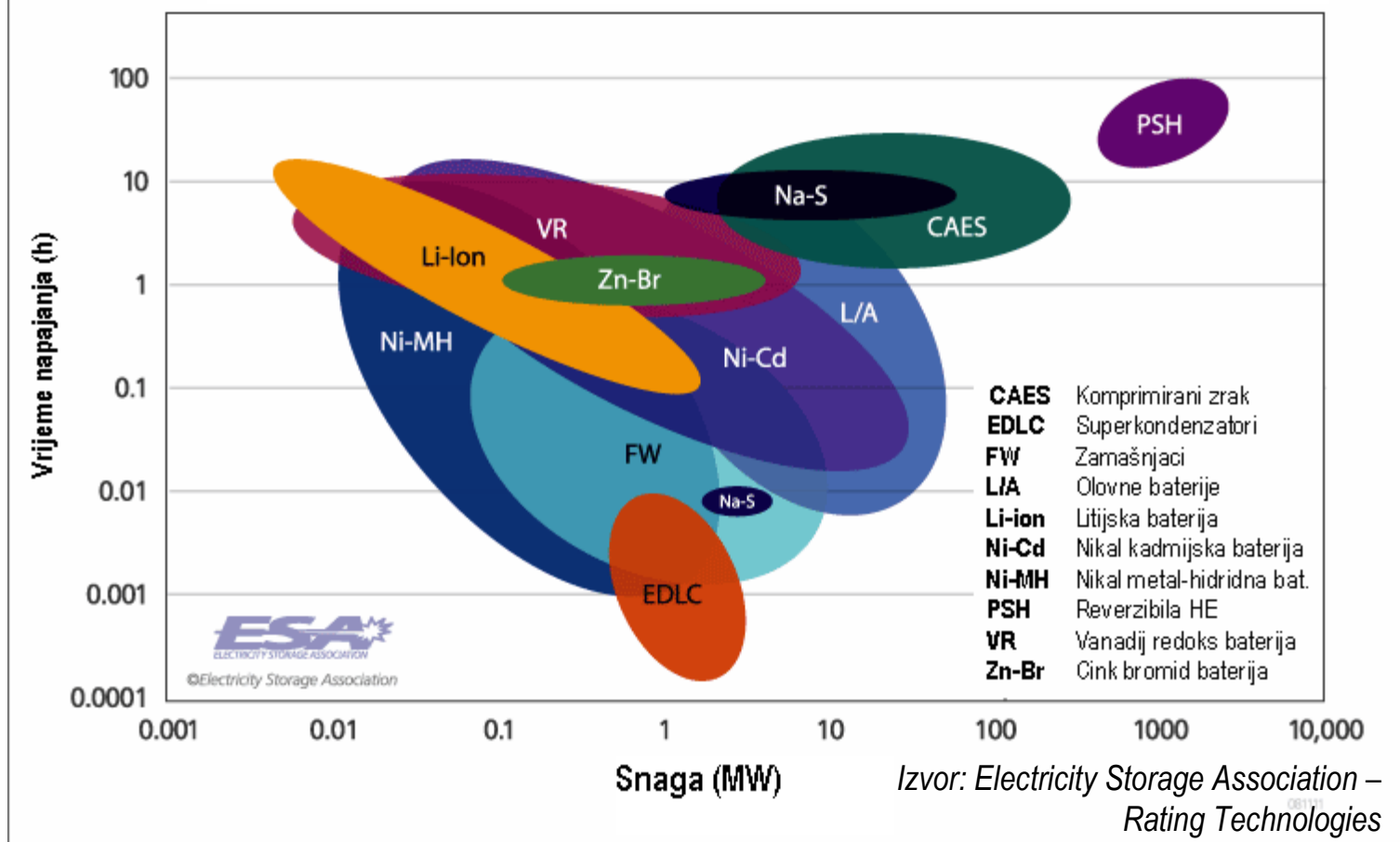
1.9. PROBLEMI PRIMJENE OIE

- **Interminiranost proizvodnje energije** (dakle, energija iz OIE nije stalna, nego promjenjiva s vremenom);
- **Povećanje RES ne smanjuje potrebu za klasičnim kapacitetima, nego naprotiv** (npr. s povećanjem učešća vjetroelektrana, ne smanjuju se potrebe za gradnjom klasičnih energetske kapaciteta, nego naprotiv, te se potrebe povećavaju jer se mora nadomjestiti energija za period kada nema vjetra – ovo je najozbiljniji prigovor OIE, tipa Sunca i vjetra);
- Problem interminiranosti se u osnovi svodi na **problem skladištenja energije.**
- **Nekontroliranost** (sa smanjenjem npr. vjetra ili Sunca, ne može se "automatski" povećavati veličina vjetro ili solarne elektrane);
- **Relativno mala energetska intenzivnost** (gustoća snage) i posljedično relativno velike površine zemljišta koje se zahtijevaju (veća intenzivnost znači i da je veća snaga instalirana na manjoj površini – Rješenja za vjetroelektrane se traže u tzv. "off-shore" ili lokacijama na moru, dok se za solarnu fotonaponsku tehnologiju nalaze u koncentratorskim sustavima);
- **Relativno male efikasnosti** (tehnologije OIE su tek na početku razvoja);
- **Relativno velike cijene** (naravno u usporedbi s klasičnim energetske kapacitetima).
- Problemi relativno male energetske intenzivnosti, efikasnosti i velikih cijena se mogu rješavati samo daljnjim **istraživanjem i razvojem.**

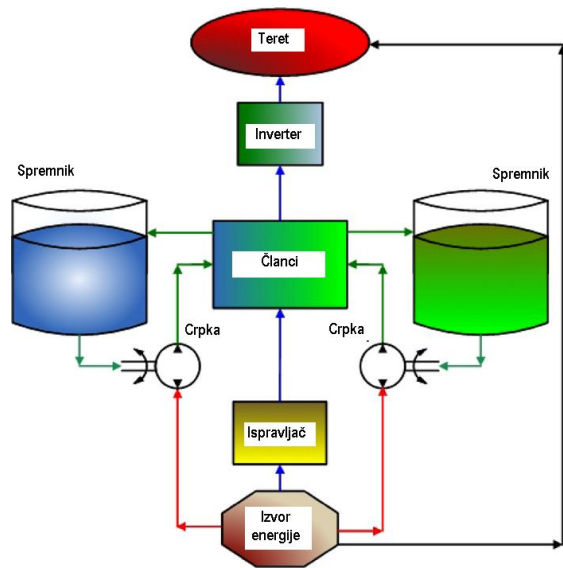
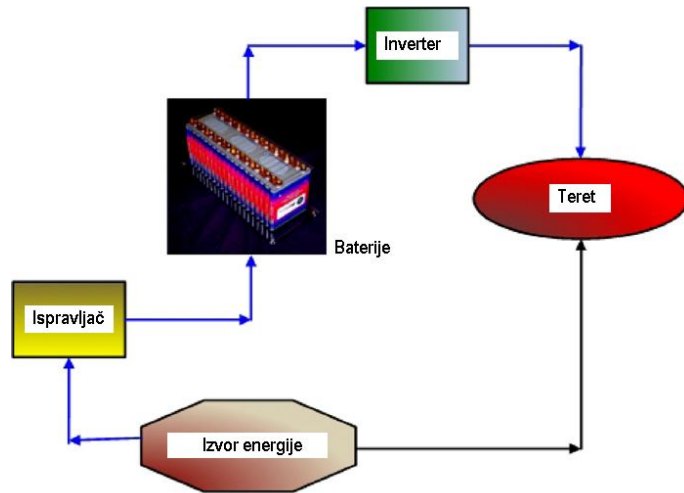


1.10. Problem skladištenja energije

Usporedba različitih tehnologija skladištenja (logaritamska skala)

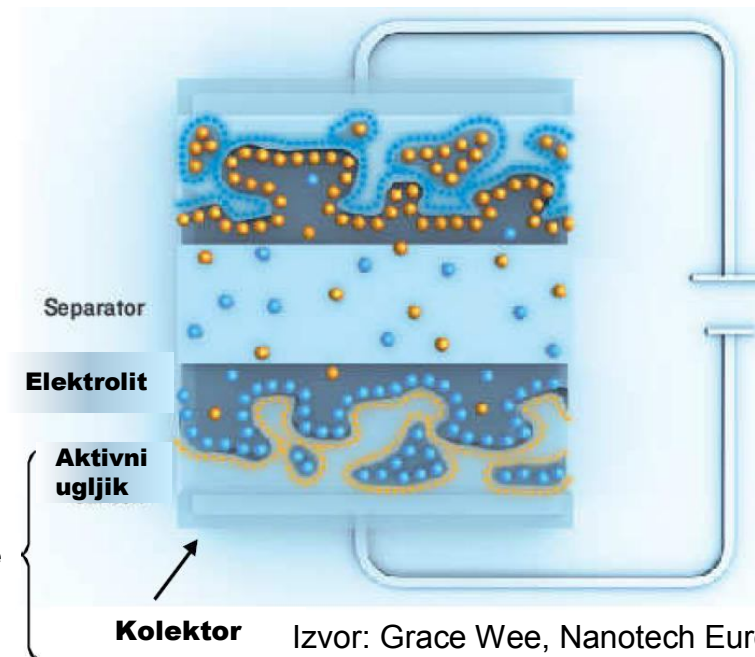


... Skladištenje energije baterijski članci i superkondenzatori



Tehnologije skladištenja energije u najvećoj se mjeri baziraju na kemijskom inženjerstvu:

- Lijevo gore: Skladištenje u baterijskim člancima;
- Lijevo dolje: Skladištenje u vanadij redoks baterijskim člancima;
- Dolje: Skladištenje putem superkondenzatora.

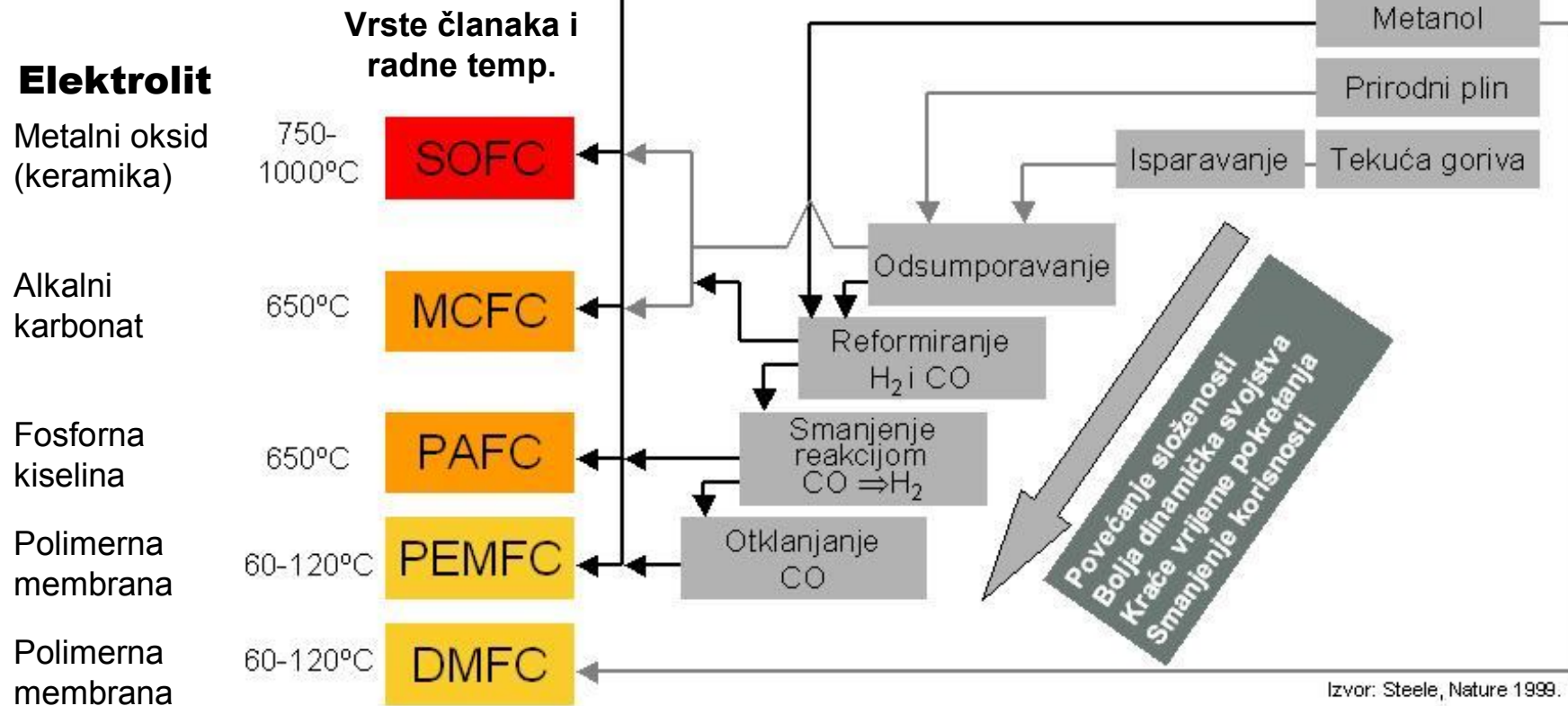
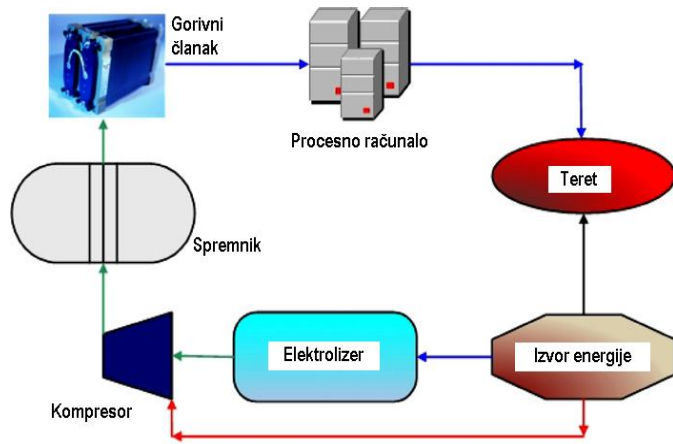


Izvor: Kaldellis et.al., *Techno-economic comparison of energy storage systems for island autonomous electrical networks*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 (2009) 378–392.

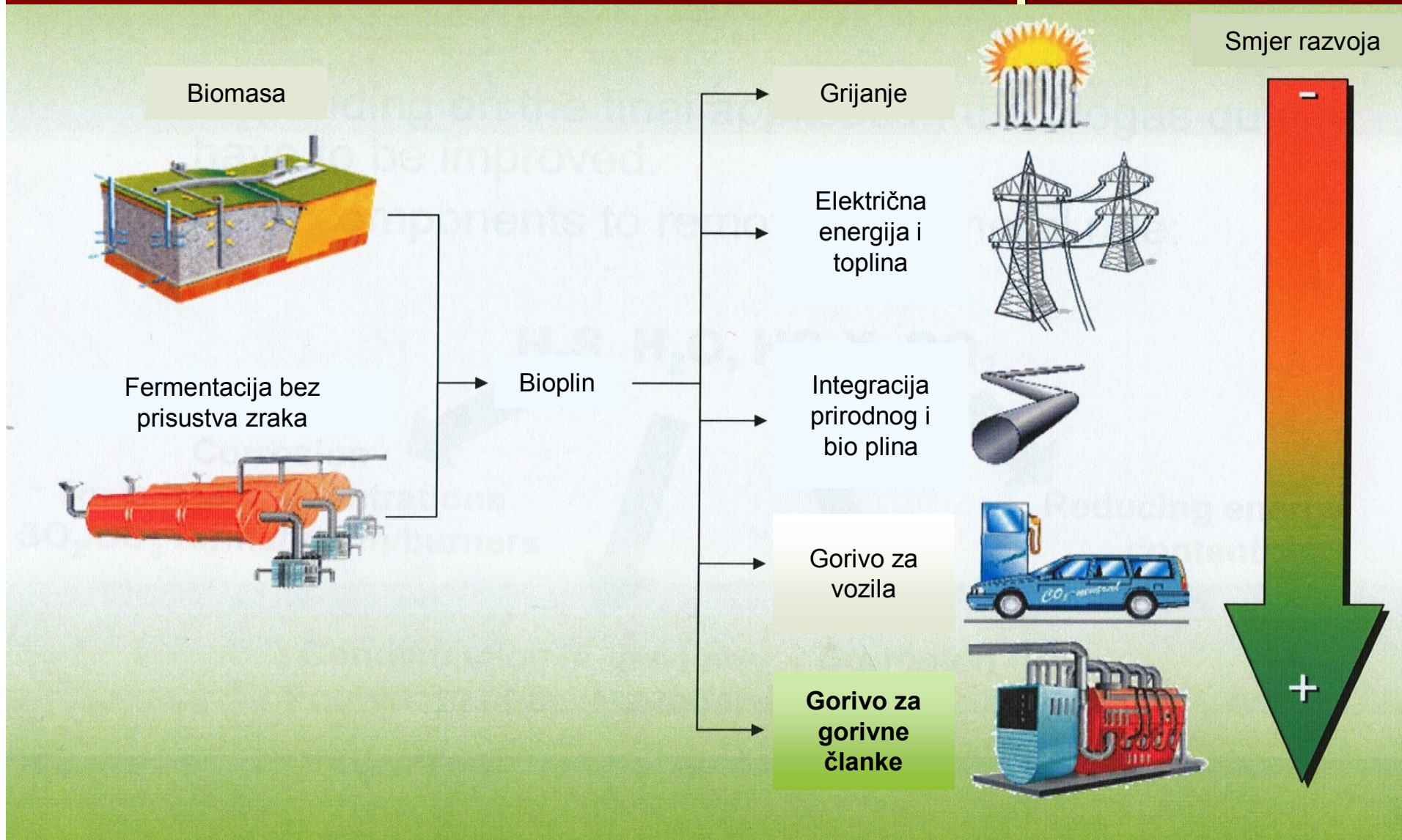
Izvor: Grace Wee, Nanotech Europe 2009



... Skladištenje energije Vodikova tehnologija



... Skladištenje energije Od bioplina do vodika



Izvor: Solar Millenium, Andasol Power Plant, Spain

... Problem skladištenja energije Solarna termoelektrana



Polje solarnih
paraboličkih kolektora

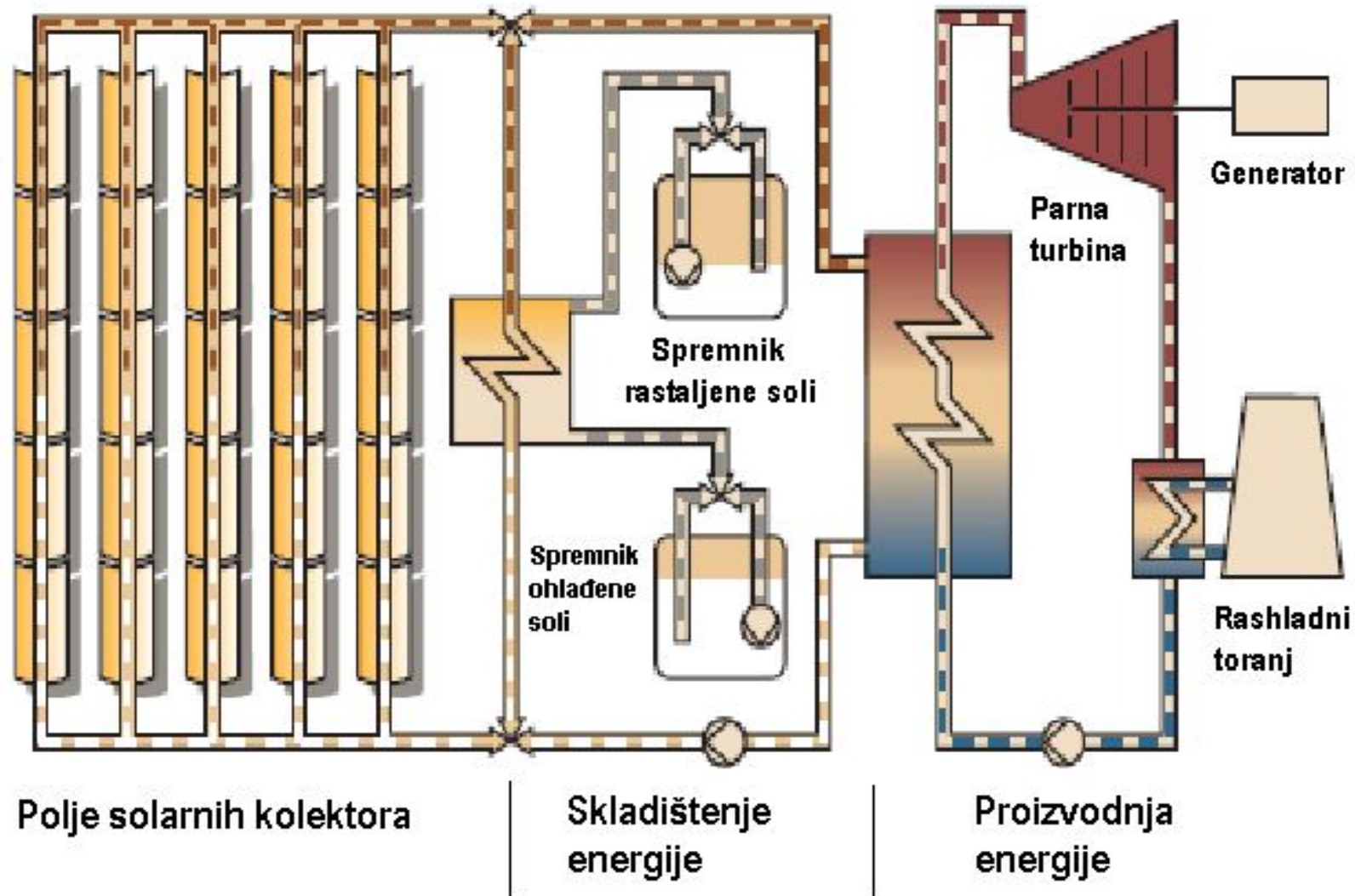
Skladištenje
energije



... Problem skladištenja energije

Solarna termoelektrana

Izvor: Solar Millenium, Andasol Power Plant, Spain



... Problem skladištenja energije

Solarna hidroelektrana

Prikazujući skladištenje u linearnoj skali, vidi se da se u hidroakumulacijama mogu skladištiti najveće količine energije.



Kod ovog tipa skladištenja, kemijski inženjeri se sreću s problemima: folija kojima se postavljaju korita akumulacija u kršu, pokrivanja akumulacija radi sprječavanja evaporacije, korozije (morska voda), kao i drugim biološkim i kemijskim procesima.

Na slici je prikazan koncept korištenja hidroakumulacije kao skladišta energije koja se proizvodi u solarnoj elektrani tako da se uravnotežuju ljetni viškovi sa zimskim manjkovima energije.

Predviđeno skladište je toliko veliko da bi moglo mjesecima pouzdano napajati cijeli Otok Vis i susjedne manje otoke bez ikakve ulazne energije iz OIE.

Ovakvi održivi hibridni sustavi proizvodnje i skladištenja energije, do kojih se došlo sistemsko inženjerskim pristupom problemu, mogli bi uskoro značajnije participirati u energetske bilancama mnogih zemalja.



1.11. Relativno mala energetska intenzivnost

Problem potrebnih površina za OIE je najbolje riješiti s lokacijama koje nisu naseljene i koje se neće koristiti kao obradivo zemljište.

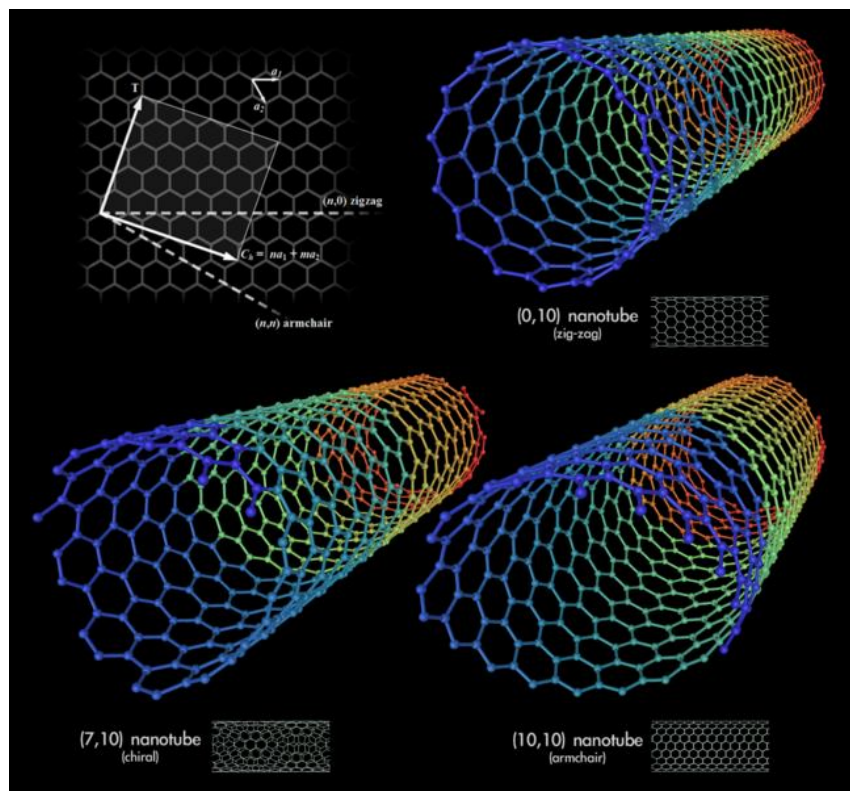


Jedan od načina rješavanja potrebnih površina za OIE je korištenje površina krovova kuća. Slika predstavlja: *Panahome-city Seishin-Minami, Kobe, Japan, Japan.*



1.12. Daljnji razvoj OIE - Nanotehnologija

U smislu daljnjeg razvoja OIE, velika su očekivanja od nanotehnologije (dakle, prilika za kemijske inženjere).



Preuzeto iz: *NewScientist*

UGLJIKOVA NANOCIJEV (*carbon nanotube*, *buckytube*)

Takva struktura ima sljedeća svojstva:

Veličina:

promjer 0,6 do 1,8 nm

duljina 1 do 10 μm

Gustoća: 1,33 do 1,40 g/cm³.

Čvrstoća na istezanje:

najmanje 10 puta veća od

čvrstoće legiranog čelika

Značajan rast tržišta nanotehnologija

Vrijednosti proizvoda s primjenom

nanotehnologije:

~ 1000 USD mlrd. u 2015.

Energetika bi mogla participirati s oko **15%**.



... Nanotehnologija

Čvrstoća na pritisak:

dva reda veličine veća nego kod dosad najčvršćih vlakana kevlara (vlakno pet puta jače od čelika jednake težine);

Tvrdoća:

prosječno oko 2000 GPa (dva puta tvrdi od dijamanta);

Elastičnost:

znatno veća, nego kod metala ili ugljičnih vlakana;

Toplinska vodljivost:

procjenjuje se da je veća od 6000W/mK (veća nego kod dijamanta 3320W/mK)

Temperaturna stabilnost:

u vakuumu do 2800°C, a u zraku do 750°C (metalni vodovi u čipovima tale se između 600 i 1000 °C);

Vodljivost struje:

procjenjuje se na 10^9 A/cm² (bakrena žica izgori pri 10^6 A/cm²);

Emisija elektrona:

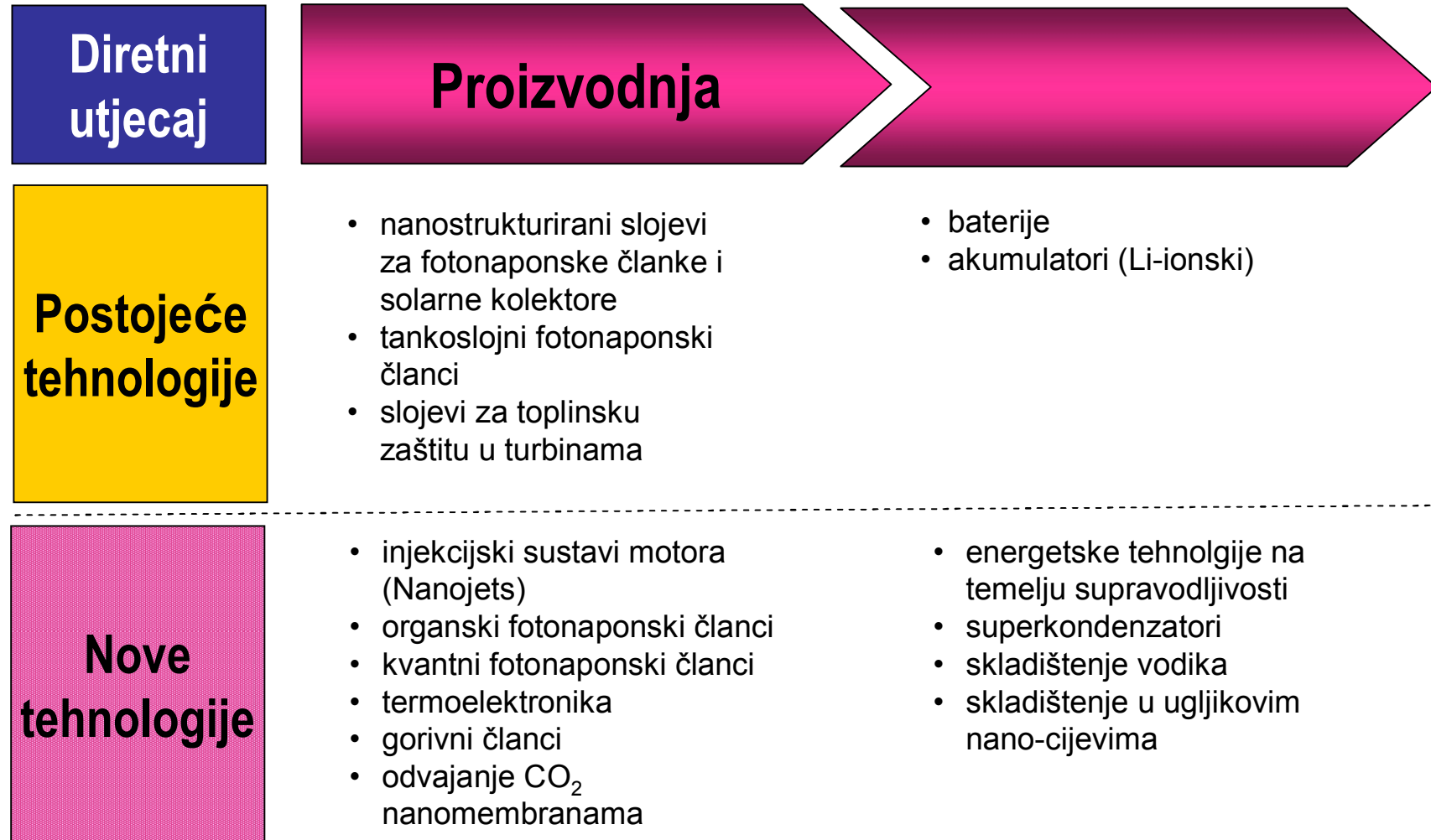
aktivira se pri 1 do 3 V uz razmak elektroda 1 μm (molibdenovi šiljci zahtijevaju polje 50-100 V/μm);

Cijena:

1500 USD po gramu u 2000.g. (u isto vrijeme je Au bilo 10 \$/g).



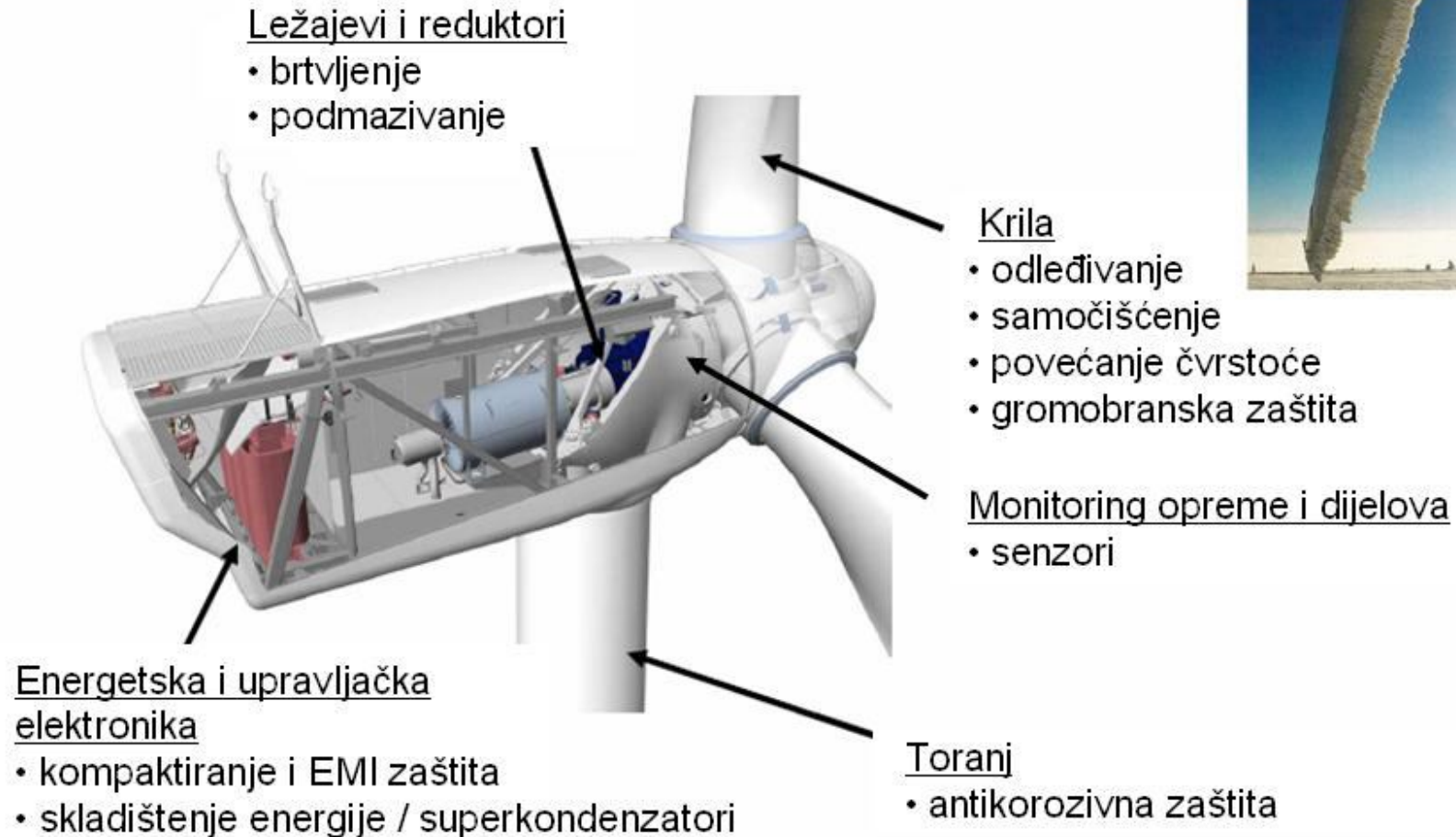
... Nanotehnologija



Izvor: Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung



... Nanotehnologija



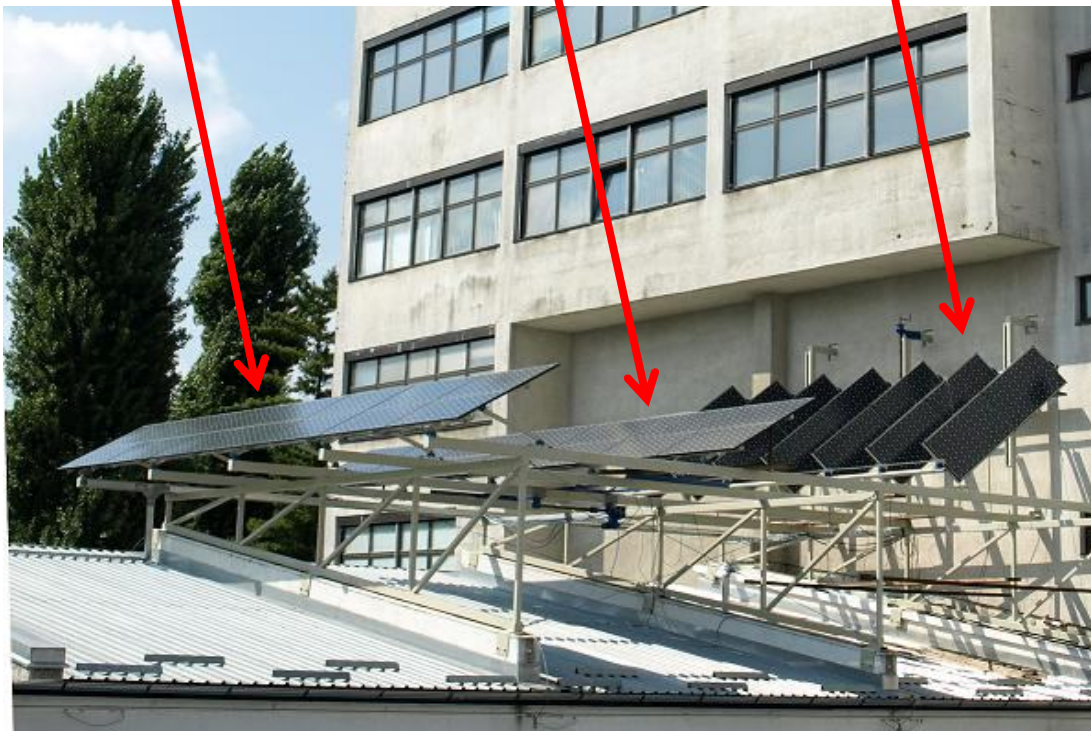
Preuzeto od: Končar-Institut za elektrotehniku, dd.



... Nanotehnologija

Razvoj fotonaponske tehnologije predstavlja danas poseban izazov za kemijsko inženjerstvo, bilo za potrebe ravnih i/ili fleksibilnih kolektora, bilo za potrebe koncentratorskih sustava.

Ravni fotonaponski kolektori
(nepokretni, pokretni u 1 osi, pokretni u 2 osi)



Mjerenje i vođenje
procesa



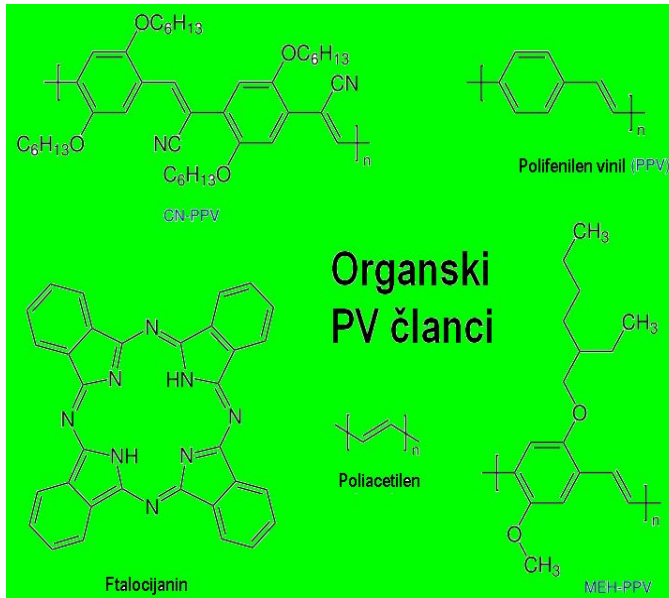
Preuzeto od: Končar-Institut za elektrotehniku, dd.



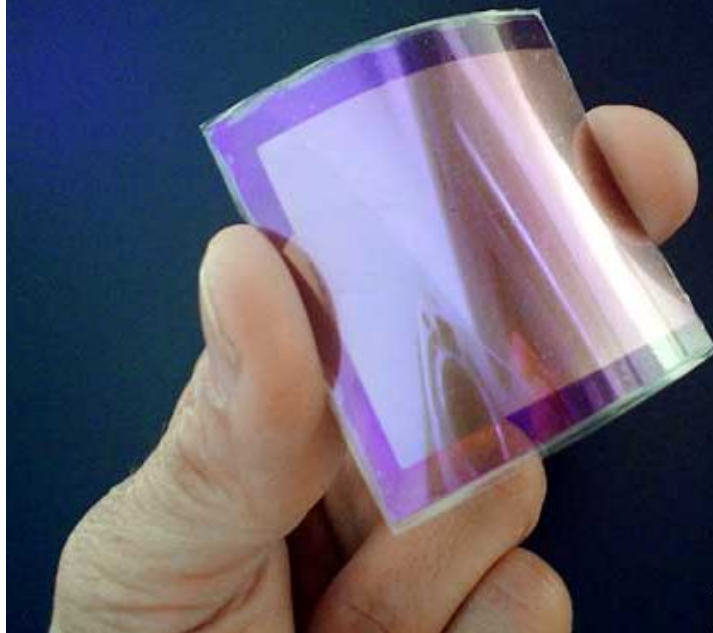
... Nanotehnologija



Organski solarni članci (ORC) su mnogo jeftiniji od silicijevih članaka, ORC materijala ima dovoljno, fleksibilni su, mogu poprimiti razne boje, mogu se tiskati na odjevnim predmetima ili integrirati u druge materijale (npr. metalni krov, telefon, automobil, itd), mogu raditi po oblačnom vremenu i njihova je proizvodnja energetski manje intenzivna. No, ORC članci imaju i manju efikasnost (svega 3-4%).



Polimerni solarni PV članak



Za razliku od polimernih solarnih (PV) članaka koji su zapravo tipovi organskih PV članaka (tzv. plastičnih solarnih članaka) ili organskih kemijskih PV članaka, velika pažnja se posvećuje razvoju koncentratorskih sustava (u kojima se veliki zahtjevi postavljaju na poluvodički kristal) čija efikasnost već danas dostiže 40%!



1.13. POTENCIJAL PROIZVODNJE ENERGIJE IZ OIE (Faktor kapaciteta - *Capacity factor*)

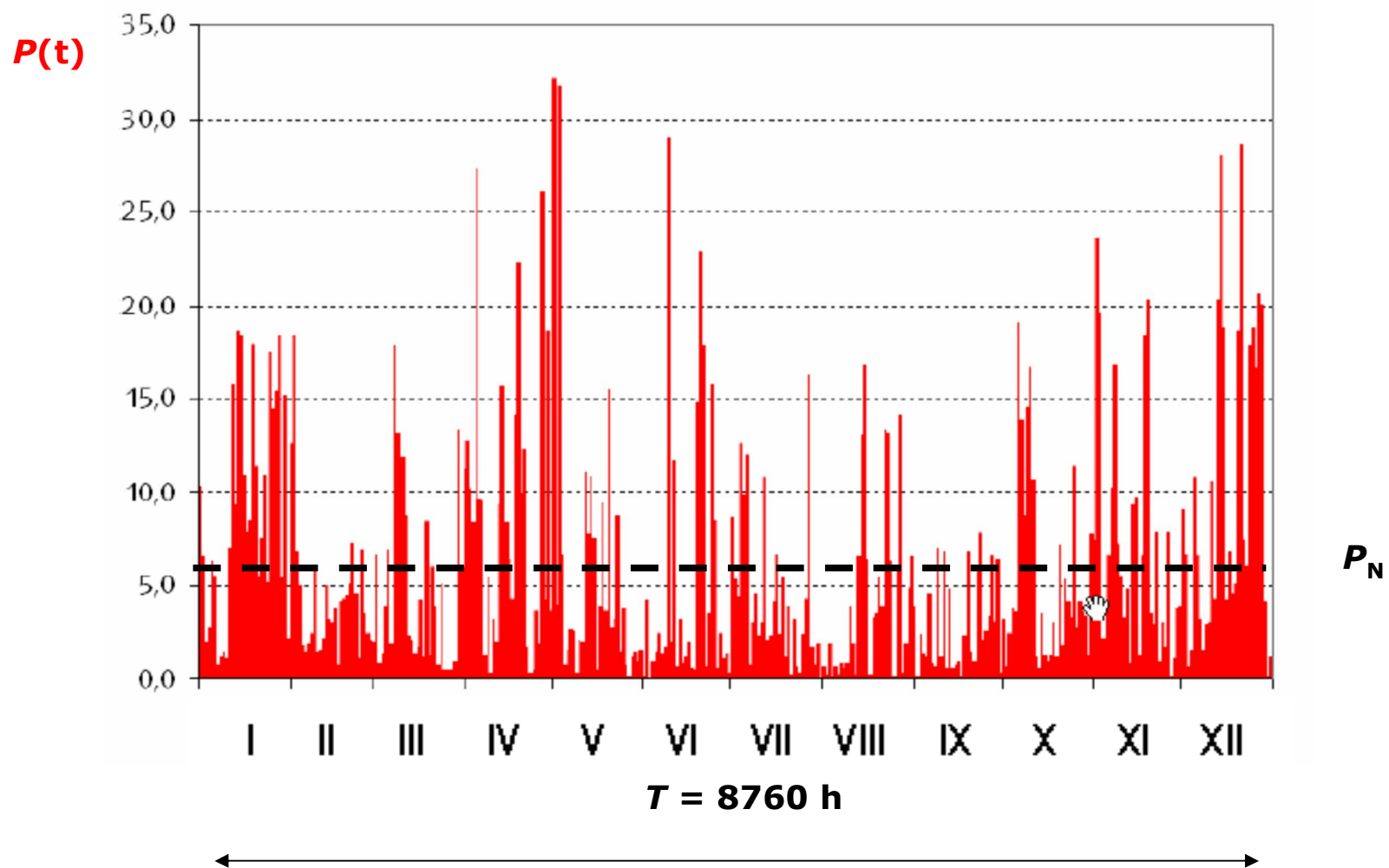
- Faktor kapaciteta (CF) nekog energetskeg postrojenja ne treba miješati s njegovom efikasnošću (odnos izlazne i ulazne energije), niti s faktorom raspoloživosti (odnosa broja sati rada tog postrojenja i ukupnog perioda promatranja) jer on predstavlja omjer stvarno proizvedene energije u toku cijelog perioda promatranja i energije koju bi to postrojenje proizvelo da taj period radi punom nazivnom snagom, odnosno:

$$CF = \frac{E_P}{E_N} \cdot 100\% = \frac{\int_0^T P(t) dt}{P_N \cdot T} \cdot 100\%$$

- gdje je:
- CF – faktor kapaciteta;
- E_P – stvarno proizvedena energija;
- E_N – energija koja se može proizvesti nazivnom snagom P_N ;
- $P(t)$ – trenutna izlazna snaga energetskeg postrojenja;
- P_N – nazivna snaga nekog energetskeg postrojenja;
- t – vrijeme;
- T – ukupni period promatranja (za OIE je to godina, odnosno 8760 h).



... Faktor kapaciteta



... Faktor kapaciteta

Primjer 1:

Pretpostavimo da se promatra neka solarna fotonaponska elektrana koja bi na Otoku Visu mogla godišnje proizvoditi 55 GWh energije i čija je nazivna snaga 40 MW. Faktor kapaciteta te solarne elektrane bi onda iznosio:

$$CF = \frac{55 \text{ GWh}}{40 \text{ MW} \cdot 8760 \text{ h}} \cdot 100\% = 15.7\%$$

Primjer 2:

Ukoliko se promatra vjetroelektrana na Otoku Pagu, nazivne snage 100 MW i pretpostavljenog faktora kapaciteta od 21%, onda bi ona mogla proizvesti energiju u vrijednosti od:

$$E_p = 100 \text{ MW} \cdot 8760 \text{ h} \cdot 0.21 = 183.96 \approx 184 \text{ GWh}$$



... Faktor kapaciteta

Dakle, vrlo je važno poznavati vrijednost faktora kapaciteta jer se tek na osnovi njega i poznate nazivne snage nekog OIE, može proračunati koliko energije taj OIE u toku godine može proizvesti. Ukupno proizvedena energija u toku životnog vijeka je onda mjerodavna za ocjenu ekonomičnosti (LCC) primjene određene tehnologije OIE;

Također, može se zaključiti da solarna, hidro i vjetro energija imaju relativno veliku raspoloživost, odnosno mogućnost rada, ali je problem u tome da im samo „pogonsko gorivo“ (OIE), nije stalno na raspolaganju (tj, nemaju dovoljno Sunca, dovoljno vjetra, dovoljno vode) da bi cijelo vrijeme mogli raditi punom, odnosno nazivnom snagom;

Niti elektrane na klasična goriva ne rade cijelo vrijeme nazivnom snagom;

U literaturi se navode različite vrijednosti CF-a za različite tehnologije i u tome se zna i pretjerivati. Tipične vrijednosti su dane u tablici desno:

	Tehnologija proizvodnje energije	CF (%)
1	Biomasa	85
2	Solarna PV energija	12 - 19
3	Solarne termoelektrane (parabolične)	15
4	Vjetro energija	20 - 40
5	Hidro energija	30 - 50
6	Geotermalna energija	73
7	Energija valova	25
8	Termoelektrane na ugljen	70 - 90
9	Termoelektrane na plin	60
10	Nuklearne elektrane	81 - 87



1.14. INDIKATORI ODRŽIVOSTI OIE

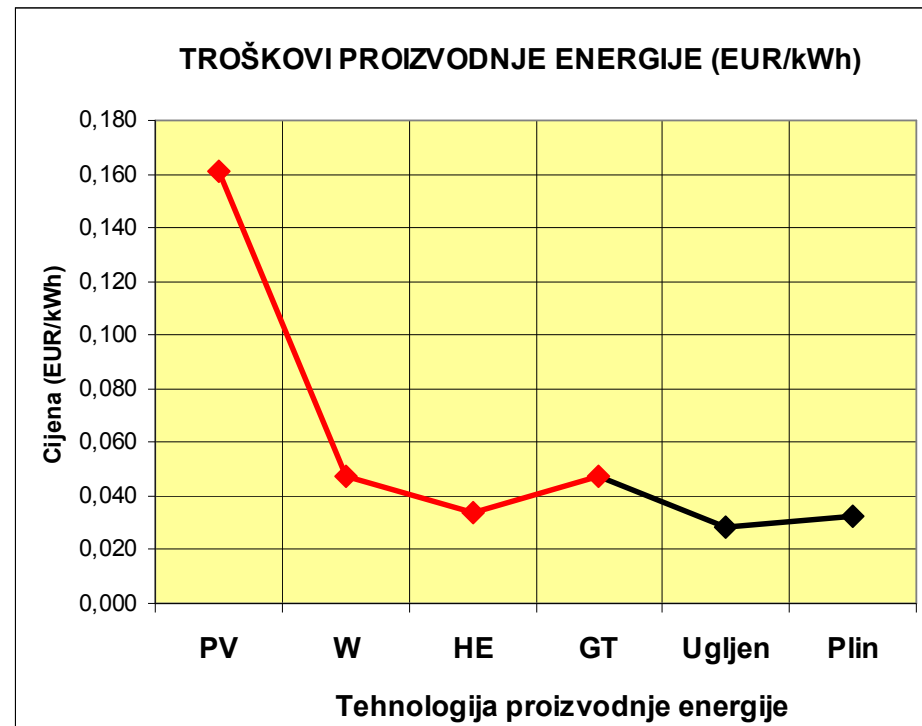
(Indicators of Sustainability)

- **Cijena proizvedene energije** - pri čemu najnepovoljnija ekonomika nije održiva;
- **Emisija CO₂** - ovo je najvažniji parametar održivosti;
- **Raspoloživost i ograničenja** - neki OIE mogu biti jako ograničeni;
- **Efikasnost i energetska transformacija** - važni su za suvislo tumčenje usporedbe – Efikasniji procesi tipično će imati niže proizvodne zahtjeve te investicijske i eksploatacijske troškove. Manje efikasni procesi imaju mnogo veći prostor za tehnološka unaprjeđenja i inovacije (dakle, opet veliki prostor za kemijsko inženjerstvo);
- **Raspoloživost i ograničenja (Zahtjevi za zemljištem)** - važni su jer OIE tehnologije često nisu podudarne sa zahtjevima za poljoprivrednom proizvodnjom i biodiverzitetom;
- **Potrošnja vode** - vrlo je važna u predjelima u kojima ima malo vode (aridna područja). Sigurno nije održivo da proizvodnju energije prati velika potrošnja vode i isparavanje. U tom smislu npr. prijašnje ekonomske analize nisu uzimale u obzir veliku potrošnju vode kakvu imaju npr. termoelektrane na ugljen i plin. Kemijski inženjeri moraju gledati sve relevantne aspekte predmetnog problema, odnosno cjelovito zahvatiti problem;
- **Socijalni utjecaj** - vrlo je važan da bi se korektno odredili i kvantificirali rizici za čovječanstvo te se u tom smislu i bolje prihvaćale poseljedice, odnosno bolje shvaćale neke tehnologije koje su često predmet javnih rasprava.



... Indikatori održivosti - Cijena proizvodnje energije

	Tehnologija proizvodnje energije	EUR/kWh
1	Solarna PV energija	0.161
2	Vjetro energija	0.047
3	Hidro energija	0.034
4	Geotermalna energija	0.047
5	Termoelektrane na ugljen	0.028
6	Termoelektrane na plin	0.032



Cijena solarne PV energije je oko 5 do 6 puta veća, nego cijena iz klasičnih energenata (no, ta je cijena iz dana u dan sve manja).

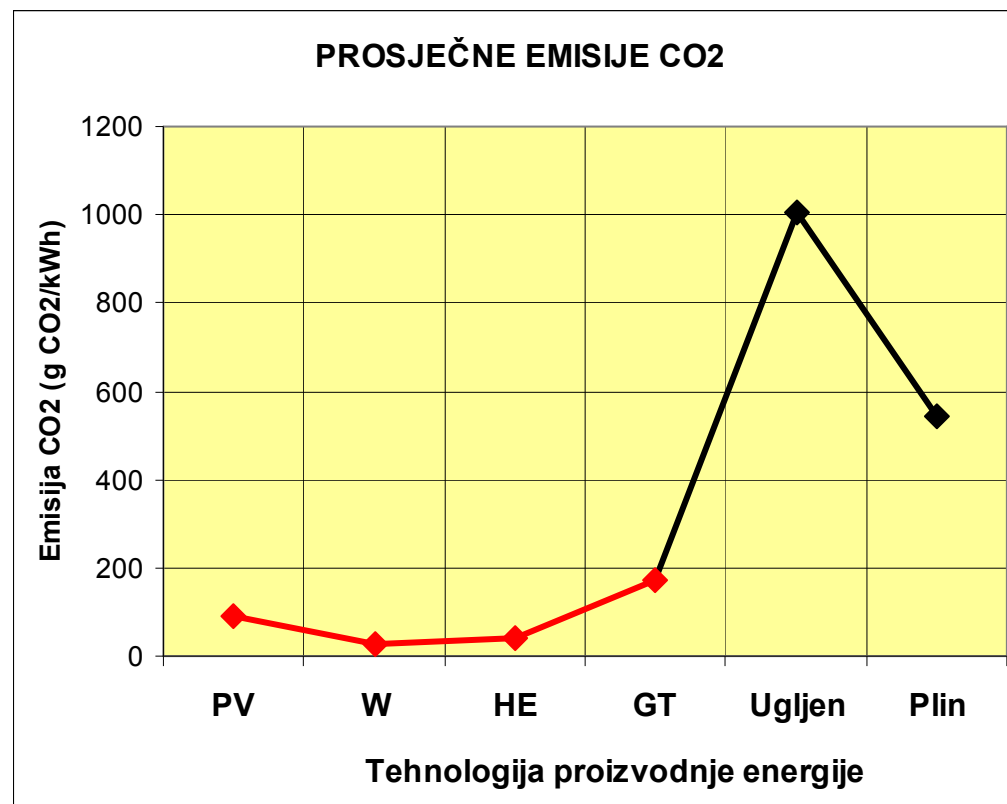
Međutim, ovoj cijeni treba dodati i cijenu transporta koja se kreće oko 1.0 c/kWh (to je posebno izraženo kod dugih transportnih puteva – dalekovoda).



... Indikatori održivosti

- Prosječne vrijednosti emisije CO₂

	Tehnologija proizvodnje energije	g CO ₂ -e /kWh
1	Solarna PV energija	90
2	Vjetro energija	25
3	Hidro energija	41
4	Geotermalna energija	170
5	Termoelektrane na ugljen	1004
6	Termoelektrane na plin	543

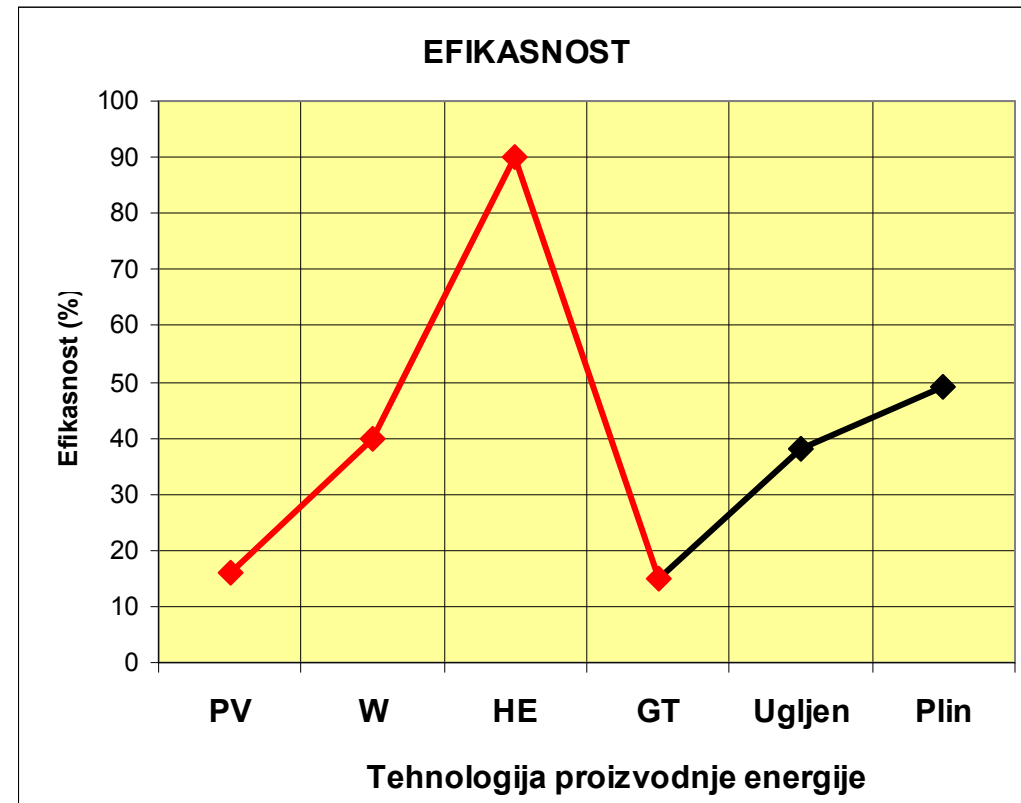


U odnosu na OIE, emisija iz TE na plin i ugljen je od 6 do 11 puta veća.



... Indikatori održivosti - Efikasnost

	Tehnologija proizvodnje energije	%
1	Solarna PV energija	4 – 22
2	Vjetro energija	25 – 54
3	Hidro energija	> 90
4	Geotermalna energija	10 – 20
5	Termoelektrane na ugljen	32 – 45
6	Termoelektrane na plin	45 – 53

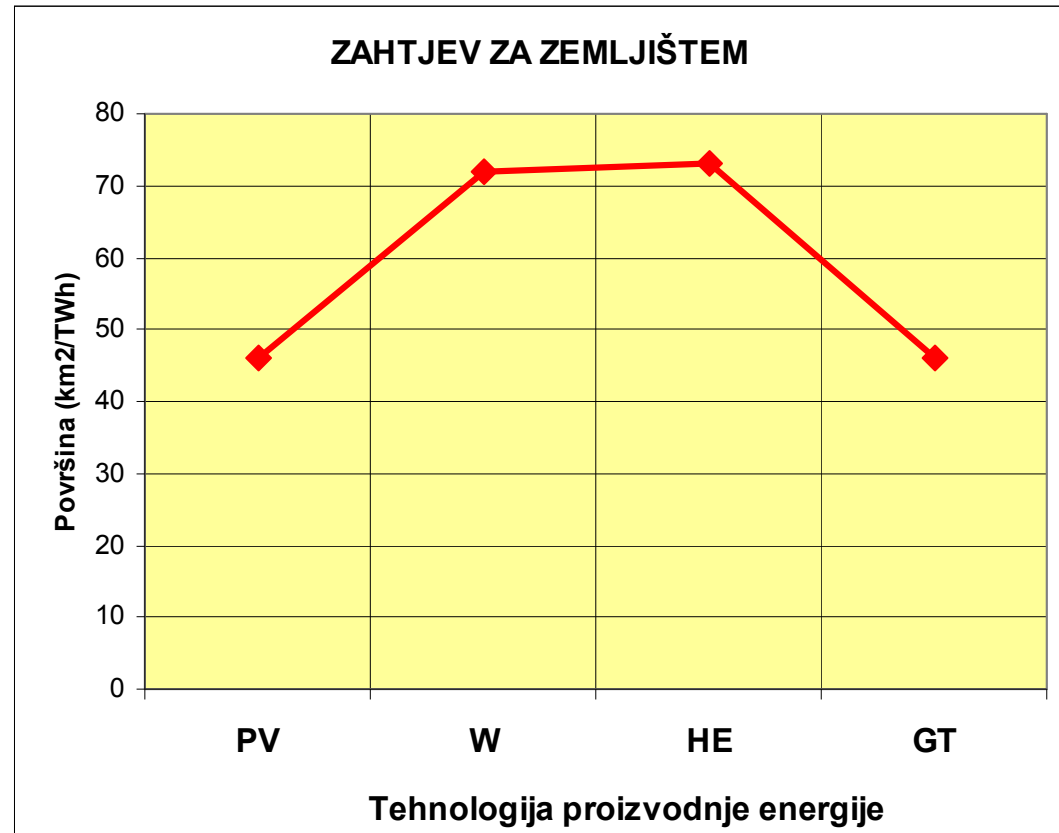


Manje efikasnosti, znače i veći potencijal za razvoj.



... Indikatori održivosti - Raspoloživost i ograničenja

	Tehnologija proizvodnje energije	km ² /TWh
1	Solarna PV energija	28 – 64
2	Vjetro energija	72
3	Hidro energija	73
4	Geotermalna energija	18 – 74

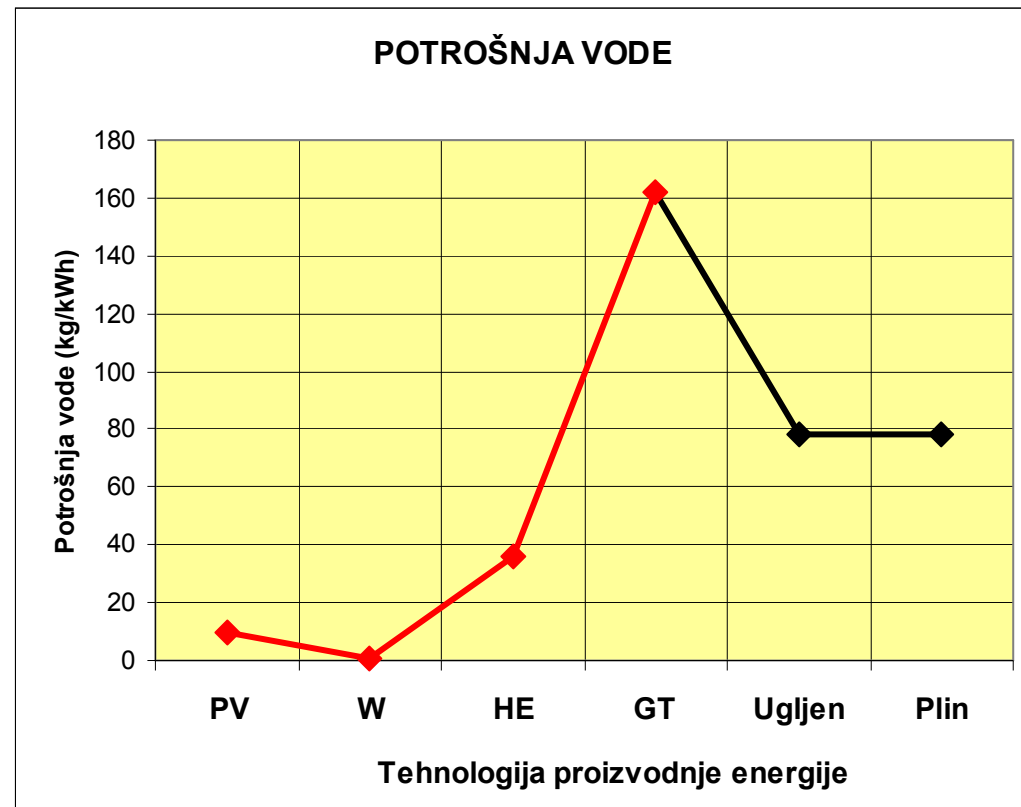


Solarna fotonaponska tehnologija se može koristiti i na krovovima kuća, čime se znatno ušteduje na prostoru. Vjetroelektrane se mogu graditi i na moru.



... Indikatori održivosti - Potrošnja vode prilikom eksploatacije

	Tehnologija proizvodnje energije	kg H ₂ O/ kWh
1	Solarna PV energija	10
2	Vjetro energija	1
3	Hidro energija	36
4	Geotermalna energija	12 – 300
5	Termoelektrane na ugljen	78
6	Termoelektrane na plin	78



Potrošnju vode prilikom eksploatacije je teško kategorizirati kod hidroelektrana jer je to njima i ulazni energent. Ipak, zanimljivo je da najviše vode troše geotermalne elektrane.



... Indikatori održivosti - Procjena socijalnog utjecaja

	Tehnologija proizvodnje energije	Utjecaj	Veličina
	Solarna PV energija	Toksini Vizualni	Manji – veći Manji
	Vjetro energija	Utjecaj na ptice Buka Vizualni	Manji Manji Manji
	Hidro energija	Smještaj Poljoprivreda Štete na rijekama	Manji – veći Manji – veći Manji – veći
	Geotermalna energija	Seizmička aktivnost Miris (zadah) Onečišćenje Buka	Manji Manji Manji – veći Manji

- Utjecaj buke i utjecaj na ptice kod vjetroelektrana ne može se uvijek kategorizirati kao manji;
- Hidroenergija može imati relativno veliki utjecaj na rijekama. Međutim, kod reverzibilnih HE taj se utjecaj ipak može kategorizirati kao manji.



... Indikatori održivosti - Rangiranje OIE po održivosti

	Solarna PV energija	Vjetroenergija	Hidroenergija	Geotermalna energija
Cijena	4	3	1	2
CO ₂ emisija	3	1	2	4
Raspoloživost i ograničenja	4	2	1	3
Efikasnost	4	2	1	3
Zahtjevi za zemljištem	1	3	4	2
Potrošnja vode	2	1	3	4
Socijalni utjecaj	2	1	4	3
Ukupno	20	13	16	21

Rangiranje uz nešto drugačije kriterije:

Ukupno	16	16	16	22
---------------	-----------	-----------	-----------	-----------



... Indikatori održivosti

- Rangiranje OIE po održivosti

- Vjetroenergija na nekoj lokaciji je manje predvidiva, nego solarna energija;
- Današnje efikasnosti PV generatora kod koncentratorskih sustava su veće, nego kod ravnih kolektora;
- Socijalni utjecaj primjene solarne energije je manji, nego kod vjetroenergije;
- Hidroenergija je daleko najefikasnija tehnologija, a teško je kod nje vrednovati potrošnju vode jer bi to bilo isto kao da je za međusobnu usporedbu uzeta kategorija “potrošnje vjetra” ili “potrošnje solarne energije” kod vjetroelektrana i solarnih elektrana respektivno.

Od razmatranih OIE (PV, W, HE i GT), solarna PV energija, vjetroenergija i hidroenergija bi mogle biti podjednako ekološki prihvatljive.

Međutim, ako se pravilno valorizira, prije svega, efikasnost hidroenergije, njeni zahtjevi za zemljištem i potrošnja vode kod reverzibilnih HE, onda je hidroenergija daleko najpovoljniji obnovljiv izvor energije. Ovo pogotovo ako se kombinira s drugim OIE kao što su Sunce i vjetar.

Vrlo je vjerojatno da bi budućnost OIE mogla pripasti ovakvim hibridnim sustavima (Hidro+Sunce i Hidro+Vjetar) u kojima bi odlučujuću ulogu u razvoju pojedinih tehnologija OIE (Sunce i vjetar) te manjih i srednjih sustava skladištenja energije moglo imati upravo kemijsko inženjerstvo.



1.15. SISTEMSKI PRISTUP NOVOJ ENERGETICI

POLI
TIKA

UTVRĐIVANJE CILJEVA:
ODRŽIVI ENERGETSKI RAZVOJ

UTVRĐIVANJE MJERILA VREDNOVANJA
OSTVARENJA CILJEVA
(npr. kWh „zelene energije“)

FORMULIRANJE ALTERNATIVA

FORMULIRANJE MODELA IZBORA RJEŠENJA

SELEKTIRANJE „NAJBOLJEG“ RJEŠENJA

S
T
R
A
T
E
G
I
J
A

P
O
V
R
A
T
N
I
U
T
J
E
C
A
J



... **Sistemski pristup novoj energetici**

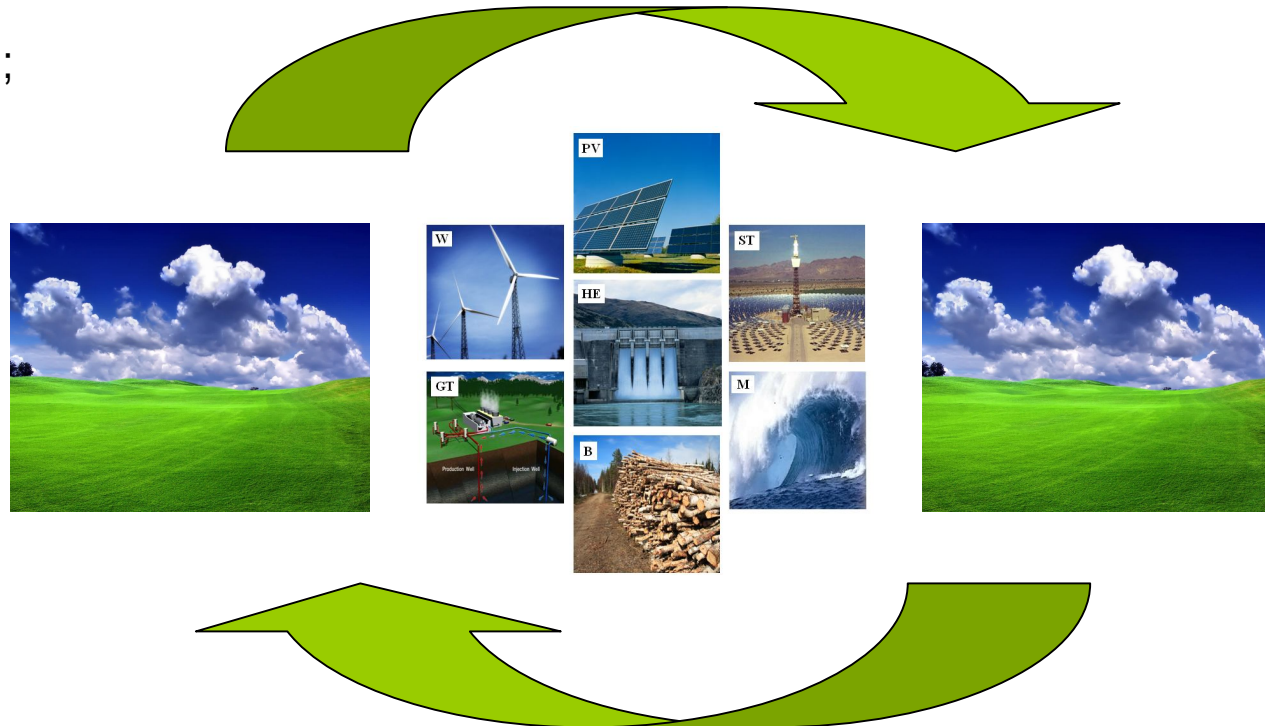
- **Utvrđivanje ciljeva** - Cilj se opisuje kao opća želja ili pravac u kojem se žele učiniti promjene. U konkretnom slučaju, cilj je postizanje održivog energetskeg razvoja.
- **Utvrđivanje mjerila vrednovanja prethodno postavljenih ciljeva** - Ono se projektira tako da mjeri veličinu u kojoj je cilj postignut (to mogu biti npr. kWh „zelene energije“ koju želimo maksimizirati).
- **Formuliranje alternativa** - U pronalaženju (predlaganju) inženjerskih i neinženjerskih alternativa, koje zadovoljavaju mjerila vrednovanja, odnosno ciljeve, potrebno je imati širok pristup kako bi se obuhvatila sva moguća rješenja;
- **Formuliranje modela izbora rješenja** - Ovim se korakom postavlja model kojim se vrednuju predložene alternative i mjere ili izračunavaju njihova zadovoljenja mjerila vrednovanja. Model je zapravo preslikavanje sustava na način da sadrži karakteristike sustava u skladu s namjenom. Koncept namjene u ovakvoj definiciji je ključan, zato što određuje prostorno i vremensko mjerilo modela koji se koristi;
- **Selektiranje «najboljeg» rješenja** - Ovim se korakom prikazuju rezultati analize modela tako da donosioci odluka mogu odabrati najbolje.
- **Povratni utjecaj** - Pored navedenih koraka sistemske analize, bitno značenje ima i povratna analiza rezultata posljednjeg koraka u odnosu na prvi, što znači da je važno provjeriti koliko konačno rješenje zadovoljava početni cilj. Ovo je neophodno jer je cijeli postupak vrlo složen, uz angažiranje velikog broja suradnika različitih struka, zbog čega može doći do gubitka sagledavanja cjelovitosti problema. Tako ciljeve obično postavljaju političari, mjerila vrednovanja glavni inženjer, koji i razvija alternative s grupom planera, a projektanti i inženjeri u upravljanju, kao i sistem-inženjeri, razvijaju modele i prave proračune. U ovom smislu, povratnom se vezom ostvaruje ispravna komunikacija između svih ovih stručnjaka i osigurava cjelovitost rješavanja problema.



1.16. Nužnost dugoročnog planiranja

Neophodno je dugoročno planiranje tehnologija OIE kojim se moraju uzeti u obzir sva tri aspekta (stupa) održivosti:

- ekološki;
- ekonomski;
- socijalni.



U određivanju troškova pojedine tehnologije OIE, koncept „life cycle cost“ (LCC) uzima u obzir dobiti i troškove u sva tri aspekta koji se pojavljuju u tijeku životnog vijeka. Međutim, obzirom na sve prisutnije probleme klimatskih promjena, primjena OIE postaje prioritetni cilj jer **održivost nema cijenu!**



1.17. SADRŽAJ KOLEGIJA OIE

1. Uvod (*Z. Glasnović*)
2. Biomasa (*A. Jukić*)
3. Biogoriva (*A. Jukić*)
4. Geotermalna energija (*V. Filipan*)
5. Hidroenergija (*V. Filipan*)
6. Energija mora (*V. Filipan*)
7. Vjetroenergija (*V. Filipan*)
8. Mali solarni termalni sustavi (*V. Filipan*)
9. Kogeneracijski sustavi (*V. Filipan*)
10. Veliki solarni termoelektrični sustavi (*Z. Glasnović*)
11. Fotonaponska tehnologija (*Z. Glasnović*)
12. Tehnologije skladištenja energije (*Z. Glasnović*)
13. Gorivni članci i baterije (*A. Jukić*)
14. Nanotehnologije (*A. Jukić*)
15. Hibridni sustavi (*Z. Glasnović*)

