

KOLEGIJ "OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE"

- PREDAVANJA -

Dr.sc. Zlatko Jankoski, dipl.ing.stroj.



SADRŽAJ

- 1. Energija i obnovljivi izvori energije**
 - 1.1. Energija
 - 1.2. Neobnovljivi izvori energije
 - 1.3. Obnovljivi izvori energije
 - 1.4. Onečišćenje okoliša
 - 1.5. Trendovi u svijetu i Hrvatskoj
 - 1.6. Zakonske regulative
- 2. Sunčeva energija**
 - 2.1. Osnovne značajke
 - 2.2. Pretvorba Sunčeve energije
 - 2.3. Praktični primjeri korištenja Sunčeve energije
 - 2.4. Ekonomski značajke
 - 2.5. Trendovi u svijetu i Hrvatskoj
 - 2.6. Potencijali Hrvatske
- 3. Energija vjetra**
 - 3.1. Osnovne značajke
 - 3.2. Pretvorba energije vjetra
 - 3.3. Pogonske karakteristike vjetroturbina
 - 3.4. Vjetroelektrane
 - 3.5. Ekonomski parametri
 - 3.6. Trendovi u svijetu i Hrvatskoj
 - 3.7. Potencijali Hrvatske
- 4. Energija vodenih tokova**
 - 4.1. Osnovne značajke
 - 4.2. Hidroenergija - energija vodenih tokova
 - 4.3. Klasične hidroelektrane

- 4.4. Posebne izvedbe hidroelektrana
- 4.5. Trendovi u svijetu i Hrvatskoj
- 4.6. Potencijali Hrvatske

5. Energija vodika

- 5.1. Osnovne značajke
- 5.2. Pretvorba energije vodika
- 5.3. Gorivne ćelije
- 5.4. Primjena vodika i gorivnih ćelija
- 5.5. Ekonomski parametri
- 5.6. Trendovi u svijetu i Hrvatskoj

6. Energija iz biomase

- 6.1. Osnovne značajke
- 6.2. Pretvorba energije iz biomase
- 6.3. Općenito o izgaranju
- 6.4. Tehnologije za primjenu energije iz biomase
- 6.5. Ekonomski parametri
- 6.6. Trendovi u svijetu i Hrvatskoj
- 6.7. Potencijali Hrvatske

7. Energija iz okoliša

- 7.1. Općenito o energiji iz okoliša
- 7.2. Geotermalna energija
- 7.3. Toplinske crpke
- 7.4. Ekonomski parametri
- 7.5. Trendovi u svijetu i Hrvatskoj
- 7.6. Potencijali Hrvatske

8. Mogućnosti financiranja projekata obnovljivih izvora energije

- 8.1. Općenito o projektima
- 8.2. Nacionalni okviri financiranja projekata
- 8.3. Internacionani okviri financiranja projekata

LITERATURA

1. Energija i obnovljivi izvori energije

1.1. Energija

Riječ energija nastala je od grčke riječi *energos* što znači aktivnost.

Energija je karakteristika sustava kojom se opisuje sposobnost tog sustava da izvrši neki rad, dok je mjerna jedinica za energiju džul (J).

Važno svojstvo energije je da ne može niti nastati niti nestati pa je prema tome količina energije u zatvorenom sustavu uvijek konstantna (zakon o očuvanju energije).

Energija može prelaziti iz jednog oblika u drugi. Prelazak energije iz jednog oblika u drugi naziva se snaga ili rad, dok je mjerna jedinica za rad vat (W).

Jedan vat je rad obavljen u jednoj sekundi prelaskom jednog džula energije iz jednog oblika u drugi:

$$W = 1 \frac{J}{s}$$

U praksi se često kao jedinica mjeri za energiju koristi i jedinica vat-sat (Wh), pri čemu je jedan vat-sat konstantni rad (snaga) od jednog vata u periodu od jednog sata:

$$1\text{Wh} = 1\text{J/s} \times 3600\text{s} = 3600\text{J}$$

Tako se na primjer za količinu utrošene električne energije uobičajeno koriste višekratnici mjerene jedinice Wh, kao što su kWh (kilovat-sat), MWh (megavat-sat) i GWh (gigavat-sat).

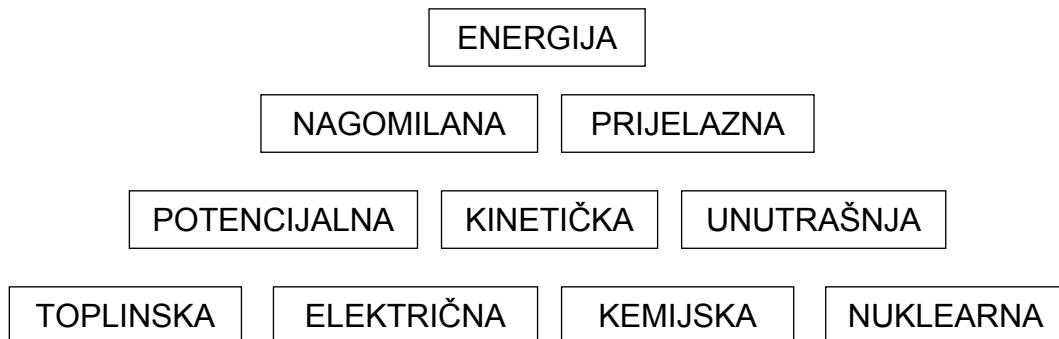
gorivo/izvor	energetska vrijednost
1 litra benzinskog goriva	34 MJ
1 litra dizelskog goriva	38,7 MJ
1 kilogram čokolade	23 MJ
1 barel sirove nafte (oko 159 litara)	6.123 MJ
1 standardna AA baterija	1.000 J
1 Li-ion baterija (gustoća)	540-720 kJ/kg
1 kWh električne energije	3,6 MJ
1 m ³ prirodnog plina	38,3 MJ
1 kilokalorija (kalorija, hrana)	4.184 J
1 metrička tona ugljena	29 GJ
1 tona urana-235	$7,4 \times 10^{16}$ J

Tablica 1.1. Usporedba energetskih vrijednosti

Energija se pojavljuje u dva osnovna (pojavna) oblika:

1. nagomilani

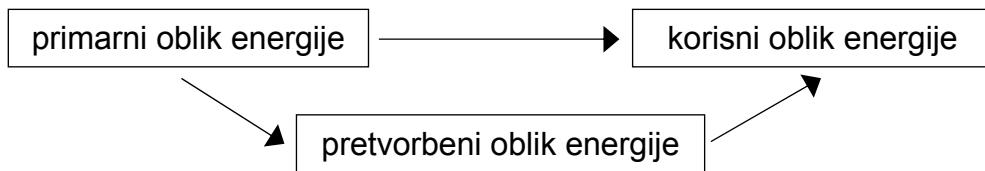
2. prijelazni (javlja se u slučajevima kad nagomilani oblik energije prelazi iz jednog oblika u drugi - energetska transformacija)



Slika 1.1. Oblici energije

- **Potencijalna energija** – definira se kao rad koji se obavi protiv dane sile promjenom pozicije promatranog objekta u odnosu na neku referentnu poziciju. Dvije najčešće vrste potencijalne energije su gravitacijska potencijalna energija (pad objekta, vodne snage, plima i oseka) i elastična potencijalna energija (opruga).
- **Kinetička energija** – ili energija kretanja, je energija potrebna da se neki objekt ubrza na neku brzinu, odnosno, energija nekog objekta kod određene brzine u odnosu na neki referentni objekt (energija vjetra, energija morskih struja i valova).
- **Toplinska energija** – je energija nasumičnog gibanja mikroskopskih čestica koje tvore objekt, tj. energetski udio sustava koji se povećava s temperaturom. Toplinska energija prelazi sa jednog objekta na drugi zbog razlike u temperaturi. Toplina se prenosi na tri osnovna načina: kondukcijom, konvekcijom i zračenjem (sunce, geotermalna energija).
- **Električna energija** – je oblik potencijalne energije u polju Kulonove sile u kojem se čestice istog naboja međusobno odbijaju, a čestice suprotnih naboja se međusobno privlače. Električna energija se relativno jednostavno transportira i pretvara u ostale korisne oblike energije.
- **Kemijska energija** – definira se kao rad koji obave električne sile prilikom preslagivanja električnih naboja (protoна i elektrона) u kemijskim procesima. Primjer iskorištavanja kemijske energije su fosilna goriva koja izgaranjem oslobađaju toplinu.
- **Nuklearna energija** – je energija koja se dobiva postupcima nuklearne fuzije i nuklearne fisije. Nuklearna fuzija je spajanje dva ili više laka atoma u jedan teži uz oslobađanje određene količine energije u obliku raznih zračenja (Sunčeve reakcije). Nuklearna fisija je također oslobađanje određene količine energije u obliku raznih zračenja, ali dobiva se cijepanjem teških atoma na dva ili više manja atoma (nuklearna goriva).

Pretvorba energije iz jednog oblika u drugi:



pri čemu je stupanj djelovanja pretvorbe (η) definiran kao:

$$\eta = \frac{\text{dobivena energija}}{\text{dovedena energija}} = \frac{\text{dovedena energija} - \text{gubici}}{\text{dovedena energija}} < 1$$

Primarni oblici energije su oni oblici koji se nalaze ili pojavljuju u prirodi (prirodni oblici energije).

Primarni oblici energije se prema obnovljivosti dijele na:

- a. Neobnovljivi izvori energije
- b. Obnovljivi izvori energije

Pretvorbeni oblici energije su oni oblici koji se određenom energetskom transformacijom dobiju iz primarnih oblika, ali se kao takvi ne koriste, već se dalje pretvaraju u korisne oblike energije.

Najčešći oblici pretvorbe su:

- a. Isplinjavanje (ugljen u koks)
- b. Rasplinjavanje (ugljen u plinove)
- c. Izgaranje (kemijska u toplinsku energiju)
- d. Destilacija (sirova nafta u derivate)
- e. Nuklearne reakcije (nuklearna u toplinsku energiju)
- f. Turbinske pretvorbe (potencijalna i kinetička u mehaničku energiju)
- g. Zračenje (sunčevi isijavanje u toplinsku ili električnu energiju)

Korisni oblici energije su oni oblici koje koriste potrošači za neposrednu primjenu.

Dijele se na:

- a. Toplinsku energiju
- b. Mehaničku energiju
- c. Kemijsku energiju
- d. Energiju za rasvjetu i napajanje elektroničkih uređaja

1.2. Neobnovljivi izvori energije

U neobnovljive izvore energije spadaju:

- a. Ugljen
- b. Nafta
- c. Prirodni plin
- d. Nuklearna energija

Neobnovljivi izvori energije nazivaju se još i fosilna goriva.

Dva osnovna problema vezana uz korištenje neobnovljivih izvora energije su da ih ima u ograničenim količinama i da one čišćuju okoliš (CO_2 – staklenički plin – efekt staklenika – globalno zatopljenje).

Nuklearna goriva nisu opasna za atmosferu, ali tvari nastale nuklearnim reakcijama ostaju radioaktivne godinama i zahtijevaju skladištenje.

izvor energije	gustoća energije, kW h/kg	napomena
kameni ugljen	8,75	ogrjevna vrijednost pri 25°C i 1,013 bar
mrki ugljen	2,7	
EL loživo ulje ili dizel	11,9	
benzin	11,9	
metanol	5,4	
prirodni plin L	11,1	
prirodni plin H	13,66	
gradski plin	10,39	
propan	12,88	
uran 235	$19 \cdot 10^3$	
voda	0,058	nakon obrade urana hladenjem za 50°C
zrak	0,014	
baterija ($\text{Pb} - \text{H}_2\text{SO}_4$)	$3,3 \cdot 10^{-5}$	pad s visine 100 m monomolekularni fotokemijski spremnik
potencijalna energija	$2,7 \cdot 10^{-4}$	
fotokemijski spremnik	0,33	

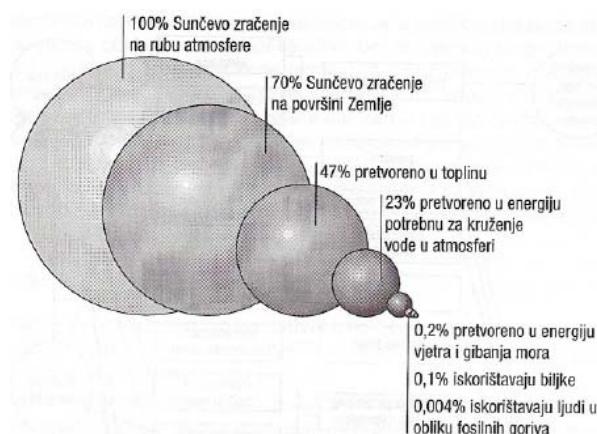
Tablica 1.2. Gustoća energije pojedinih izvora

1.3. Obnovljivi izvori energije

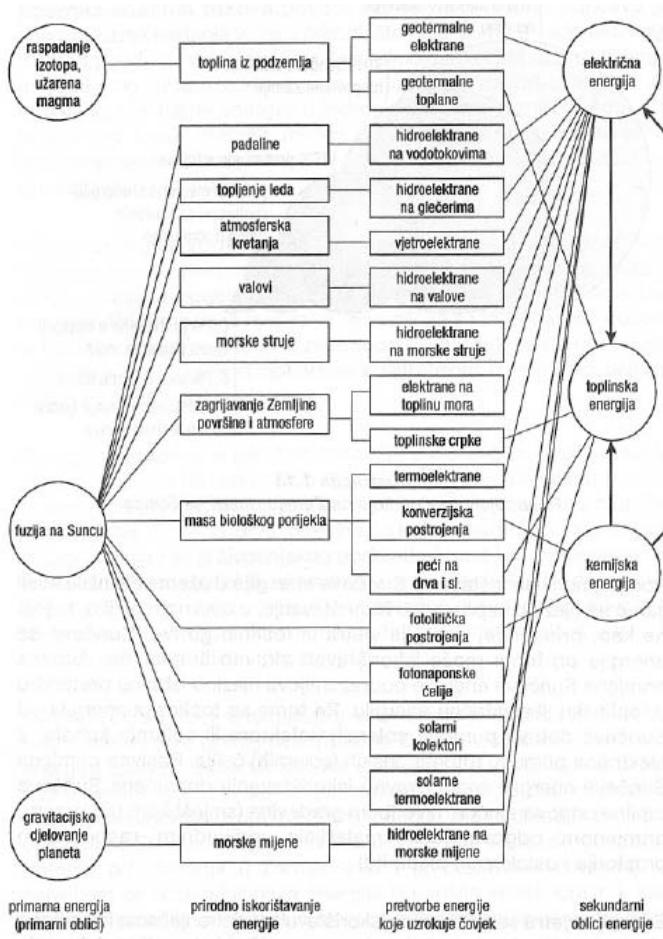
U obnovljive izvore energije spadaju:

- Energija vjetra
- Energija sunca
- Bioenergija
- Energija vode

Obnovljivi izvori energije ne zagađuju okoliš u tolikoj mjeri kao fosilna goriva, ali je uz korištenje obnovljivih izvora energije, izuzev energije vode, vezan problem ekonomske isplativosti (trenutno niska tehnološka razvijenost) i male količine dobivene energije.



Slika 1.2. Raspodjela topline koja na Zemlju dolazi sa Sunca



Slika 1.3. Procesi pretvorbe obnovljivih izvora energije

1.4. Onečišćenje okoliša

Proizvodnja, transport i korištenje energije, zajedno s tehnologijama vađenja i proizvodnje goriva (izvora energije), u velikoj mjeri negativno utječe na okoliš i ekosisteme.

Utjecaj na okoliš seže od direktnih ekoloških katastrofa poput izlijevanja nafte, kiselih kiša i radioaktivnog zračenja, pa do indirektnih posljedica kao što je globalno zatopljenje.

Energetske potrebe čovječanstva kontinuirano rastu – nužno je potrebno smanjiti utjecaj na okoliš. Trenutno još uvijek 1,6 milijardi ljudi na svijetu nema električnu energiju (procjena je da danas na Zemlji živi nešto više od 6,5 milijardi ljudi).

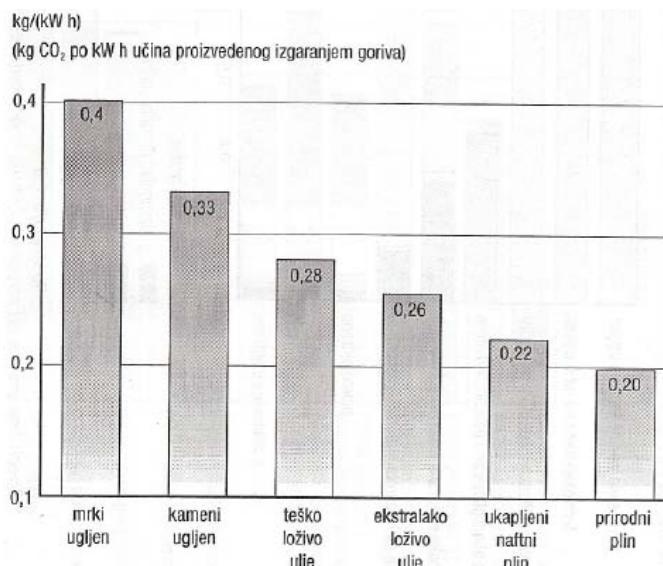
Utjecaj neobnovljivih izvora energije

Ogroman postotak svjetske energije još uvijek se dobiva iz ekološki neprihvatljivih izvora energije – fosilnih goriva.

Najopasniji izvori energije trenutno su fosilna goriva (uglični dioksid, ugljični monoksid, sumporni dioksid, dušikovi oksidi, sitne čestice minerala), dok potencijalnu opasnost predstavlja i iskorišteno radioaktivno gorivo iz nuklearnih elektrana.

Utjecaj obnovljivih izvora energije

Korištenjem obnovljivih izvora energije također se vrši negativan utjecaj na okoliš.



Slika 1.4. Specifična emisija fosilnih goriva

Biogoriva (bioenergija) stvaraju iste probleme kao i fosilna goriva, ali je zbog karakteristike "ugljičnog ciklusa" taj utjecaj znatno manji.

Solarna energija, zbog male iskoristivosti raspoloživih tehnologija, zahtjeva pokrivanje velikih površina tla što utječe na vegetaciju (rješenje: instalacija solarnih kolektora i ćelija na krovove objekata).

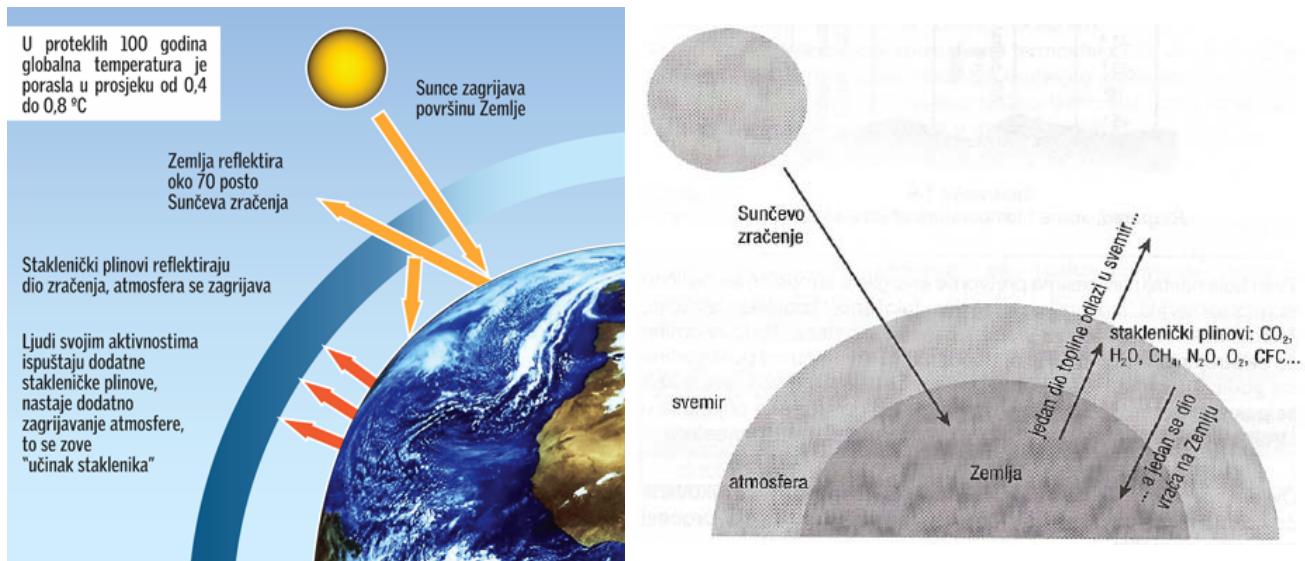
Energija vjetra, odnosno, proizvodnja energije iz vjetra nema negativan utjecaj na okoliš, dok instalirane vjetroelektrane imaju negativan utjecaj na ptičju populaciju, vizualno zagađuju okoliš, te su izvor zvuka niske frekvencije.

Iskorištavanje energije vode ne stvara zagađenje okoliša, ali zahtjeva određenu infrastrukturu (brane) koja poplavljuje velike površine, podiže razinu podzemnih voda, te presijeca prirodne tokove vode.

Iskorištavanjem geotermalne energije ne dolazi do zagađenja okoliša, dok je i utjecaj prateće infrastrukture također zanemariv ako se u obzir uzme količina proizvedene energije.

DISKUSIJA:

- Efekt staklenika
- Globalno zatopljenje
- Kyoto protokol
- Projekt ITER – nuklearna fuzija
- 3 × 20 do 2020. godine (Europska Unija)



Slika 1.5. Efekt staklenika

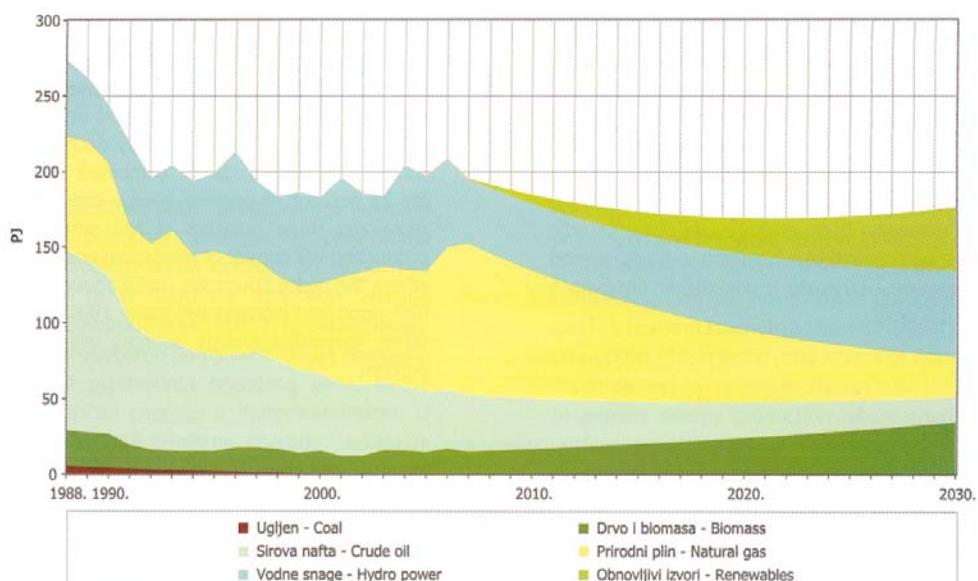
1.5. Trendovi u svijetu i Hrvatskoj

Trend potrošnje energije je i dalje u usponu (rast standarda života, trgovina, opskrba energijom novih potrošača, i tako dalje).

Svi scenariji koji imaju za cilj predvidjeti buduću potrošnju energije, predviđaju porast u potrošnji energije, ali i porast udjela fosilnih goriva u potrošnji energije

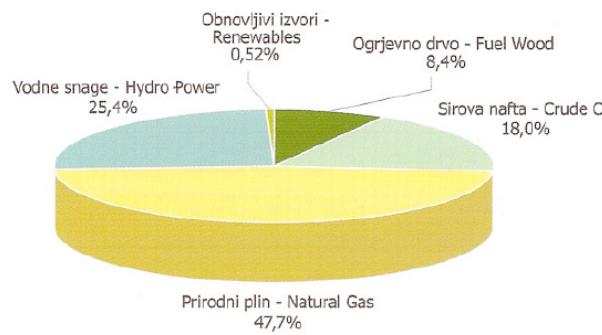
Danas oko 96% svjetskog transporta pogoni se fosilnim gorivima (oko 61,2% godišnje proizvodnje nafte se koristi za transport).

Porast potrošnje energije = porast nivoa emisije štetnih plinova (rješenje?)

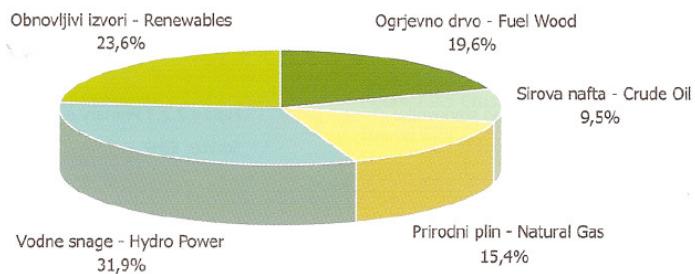


Slika 1.6. Proizvodnja primarne energije u Hrvatskoj (po gorivu, u PJ)

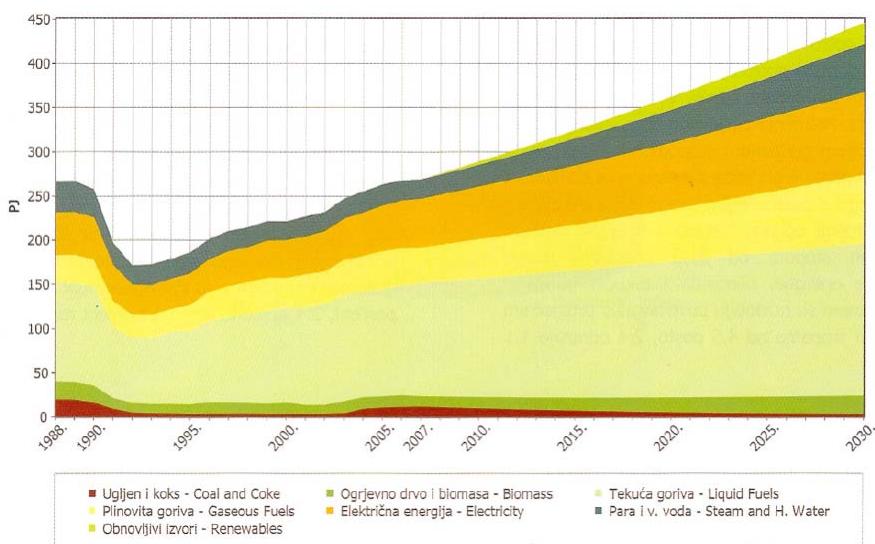
2008. godina
Year: 2008



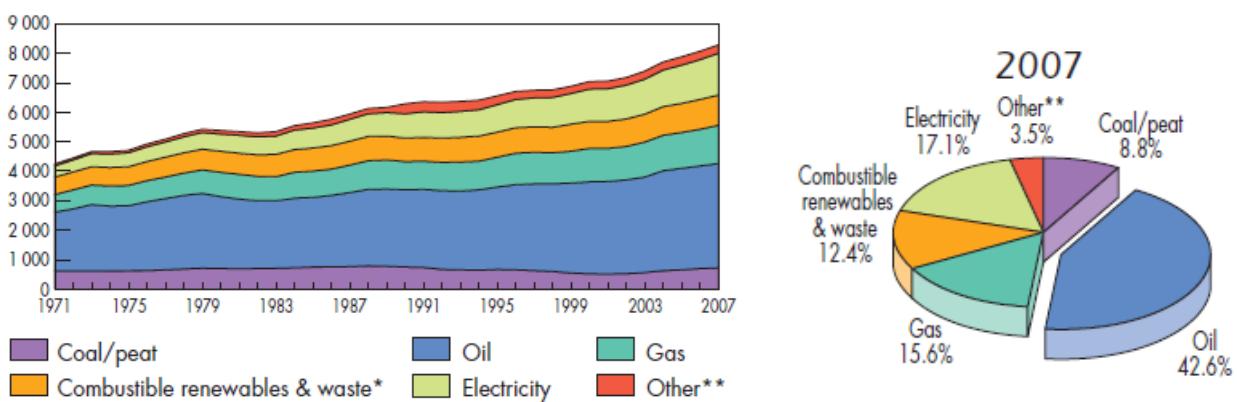
2030. godina
Year: 2030



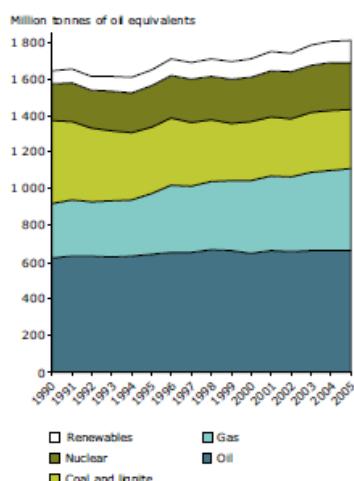
Slika 1.7. Udjeli u proizvodnji primarne energije u Hrvatskoj



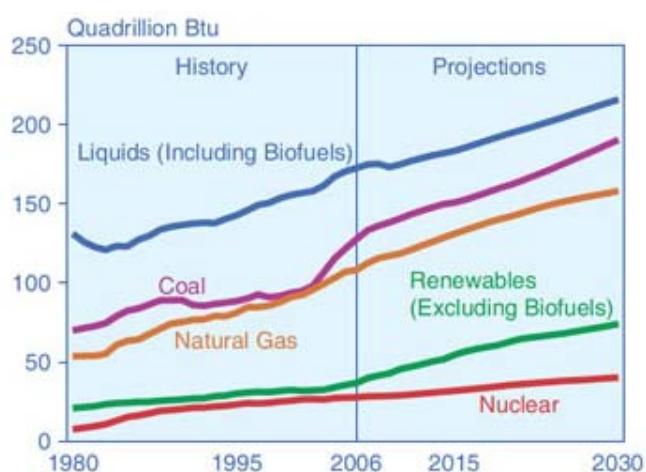
Slika 1.8. Neposredna potrošnja oblika energije



Slika 1.9. Ukupna svjetska potrošnja energije (po gorivu, u Mtoe)



Slika 1.10. Ukupna potrošnja energije u EU (po gorivu, u Mtoe)



Slika 1.11. Projekcije buduće potrošnja goriva

Vrsta izvora Type of renewable energy source	Instalirana toplinska snaga Installed heat capacity (MW)	Instalirana električna snaga Installed electrical power capacity (MW)
Sunce Solar	53,90*	0,0773**
Vjetar Wind	0	17,15
Biomasa Biomass	513,65*	4,59
Male hidroelektrane Small hydro	0	31,02
Geotermalna Geothermal	36,66 113,90	0
UKUPNO TOTAL	604,21 681,45	52,84

* procjena
** sustavi priključeni na elektroenergetsku mrežu

Tablica 1.3. Instalirani kapaciteti za proizvodnju toplinske i električne energije iz obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj 2008. godine

Vrsta izvora Type of renewable energy source	Proizvodnja električne energije Electricity generation
Sunce Solar	62,65 MWh
Vjetar Wind	39,9 GWh
Biomasa Biomass	21,1 GWh
Male hidroelektrane Small hydro	94,8 GWh
Geotermalna Geothermal	0
UKUPNO TOTAL	155,86

Vrsta izvora Type of renewable energy source	Proizvodnja toplinske energije Heat production (TJ)
Sunce Solar	183
Biomasa Biomass	16 583
Geotermalna Geothermal	134,02
	557,34

* Za proizvodnju toplinske energije iz geotermalne energije u 2008. godini iskorišteno je 134,02 TJ samo za grijanje prostora odnosno ukupno 557,34 TJ ako se promatra zajedno grijanje prostora i pripremu tople vode / in 2008 , from geothermal heat 134.02 TJ was used for space heating and, including bathing, 557.34 TJ

Tablica 1.4. Proizvodnja električne i toplinske energije iz obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj 2008. godine

1.6. Zakonske regulative

Neki od Hrvatskih zakona, propisa i strateških dokumenata koji se odnose na energetiku i obnovljive izvore energije uključuju:

- Zakon o tržištu plina, NN 40/07
- Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o tržištu plina, NN 40/07
- Zakon o tržištu nafte i naftnih derivata, NN 57/06
- Zakon o proizvodnji, distribuciji i opskrbi toplinskom energijom, NN 42/05
- Zakon o tržištu električne energije, NN 177/04
- Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o tržištu električne energije, NN 177/04 i 76/07
- Zakon o regulaciji energetskih djelatnosti, NN 177/04

- Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o regulaciji energetskih djelatnosti, NN 76/07
 - Zakon o energiji, NN 68/01
 - Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o energiji, NN 68/01., 177/04. i 76/07
 - Zakon o učinkovitom korištenju energije u neposrednoj potrošnji, NN 152/08
-
- Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije NN 33/07
 - Uredba o naknadama za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije NN 33/07
 - Uredba o minimalnom udjelu električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije čija se proizvodnja potiče NN 33/07
 - Pravilnik o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije NN 67/07
-
- Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske, NN 130/2009
 - Strategija energetskog razvitka Republike Hrvatske, NN 38/02

Zakonodavstvo Europske Unije

Kao prvi korak prema zajedničkoj strategiji razvitka obnovljivih izvora energije u Europskoj Uniji, Europska komisija je prihvatile potkraj 1996. godine dokument pod nazivom Zelena Knjiga (eng. Green Paper).

Nakon javne rasprave, Europska komisija je izradila novi dokument pod nazivom Bijela knjiga (eng. White paper).

Istodobno, neke od europskih zemalja izradile su vlastite mjere za potporu obnovljivih izvora energije i pripadajuće programe.

Neki od europskih direktiva koji se odnose na energetiku i obnovljive izvore energije uključuju:

- 2009/0028 EC of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC
- Direktiva 2004/8/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 11. veljače 2004. o unaprjeđenju kogeneracije na temelju potrošnje korisne energije na unutrašnjem tržištu energije i koja dopunjuje direktivu 92/42/EEZ
- Direktiva 2003/87/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 13. listopada 2003. o uspostavljanju sustava trgovanja dopuštenim kvotama emisija stakleničkih plinova unutar Europske zajednice i koja dopunjuje direktivu 96/61/EZ
- Direktiva 2001/77/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 27. rujna 2001. o unaprjeđenju električne energije iz obnovljivih izvora na unutrašnjem tržištu električne energije

Hrvatski sabor je 16. listopada 2009. godine donio je "Strategiju energetskog razvoja Republike Hrvatske".

DISKUSIJA:

Bijela knjiga Republike Hrvatske

2. Sunčeva energija

2.1. Osnovne značajke

Sav život na Zemlji omogućava Sunčeva energije.

Količina energije koju Sunce u svakom satu emitira prema Zemlji dovoljna je za pokrivanje sveukupnih energetskih potreba čovječanstva u cijeloj kalendarskoj godini!

Direktno zračenje - direktno zračenje Sunca. Ono je malih valnih duljina te se stoga zove i kratkovalno zračenje Sunca. Zračenje koje nije bilo raspršeno ili apsorbirano. Dolazi iz smjera izvora.

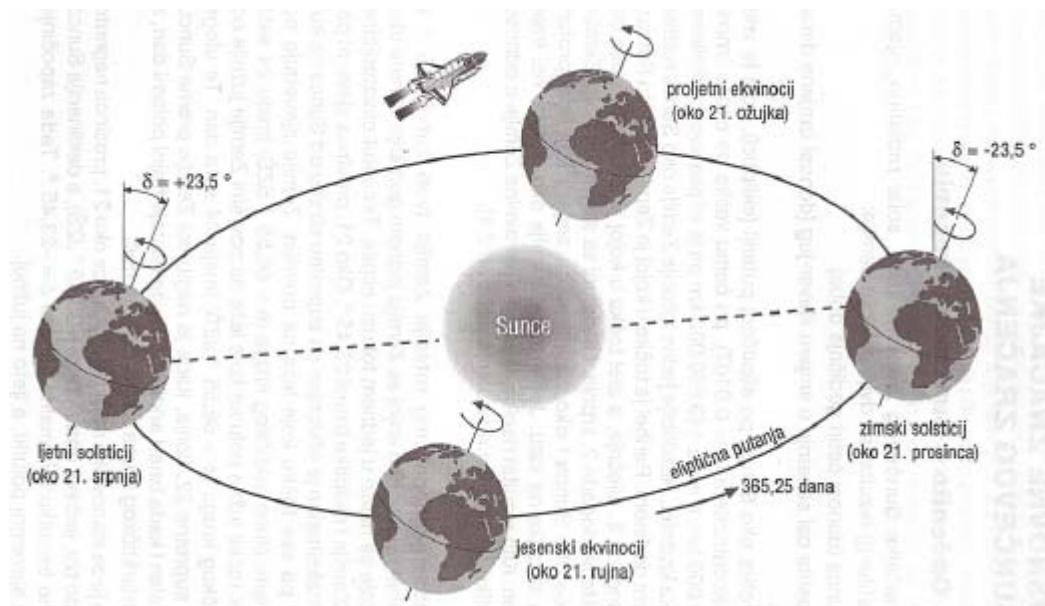
Raspršeno (difuzno) zračenje - Sunčev zračenje koje se u atmosferi raspršilo na atmosferskim sastojcima, te stoga dolazi iz svih smjerova. Uvijek postoji danju i tijekom sumraka. Kada ga ne bi bilo, u sjeni predmeta bio bi potpuni mrak

Insolacija - količina energije što je prima Zemlja sa sunčevim zrakama. To zračenje sadrži najviše od emitirane energije u obliku kratkovalnog zračenja i svjetla. Samo jedan dio kratkovalnog zračenja dospijeva do zemljine površine, a preostali dio energije se reflektira, rasipa ili ju upije atmosfera.

Sunčeva energija je milijunima godina stvarala fosilna goriva (biljnog i životinjskog porijekla).

Bitne značajke Sunčevog zračenja rezultat su dviju rotacija Zemlje:

- oko Sunca (4 godišnja doba)
- oko vlastite osi simetrije u smjeru sjever jug (dan – noć)



Slika 2.1. Kretanje Zemlje oko Sunca

PRIMJER: Raspoloživa Sunčeva energija na vanjskim jadranskim otocima:

A) Teoretski

Ljeto: direktna komponenta Sunčevog zračenja u 12 sati: 800 W/m^2 ($6,5 \text{ kWh/m}^2$ dan)
raspršeno (difuzno) zračenje: 140 W/m^2 ($1,4 \text{ kWh/m}^2$ dan)

Zima: direktna komponenta Sunčevog zračenja u 12 sati: 260 W/m^2 ($1,5 \text{ kWh/m}^2$ dan)
raspršeno (difuzno) zračenje: 80 W/m^2 ($0,6 \text{ kWh/m}^2$ dan)

Globalno zračenje na horizontalnu plohu:

Split 1535 kWh/m^2 godišnje

Zagreb 1220 kWh/m^2 godišnje

Otok Hvar 1580 kWh/m^2 godišnje

B) U praksi

- nagnutost plohe izložene Sunčevom zračenju
- vedro-oblačno
- vidljivost, indeks propusnosti atmosfere
- dnevna osunčanost
- i tako dalje

PITANJE: Koliko Sunčevog zračenja pada na solarni kolektor svakog sata, dana, mjeseca ili tijekom cijele godine?

PROBLEMI:

1. na izabranoj mikrolokaciji nema mjernih vrijednosti i malo je raspoloživih podataka
2. zračenje u prosječnom satu stvarnog dana ili mjeseca u godini ne može se odrediti na jednostavan način

ODGOVOR: Ne baš direktn

Potrebno je razmotriti vrijednosti i karakteristike:

- direktnog i difuzijskog zračenja
- svih kutova zakrenutosti plohe
- refleksivnosti okolnih predmeta
- usmjerenog terestričkog zračenja
- indeksa propusnosti
- i tako dalje

NAPOMENA

Za vrijeme oblačnih dana insolacija je oko 2 do 4 puta manja od one za lijepog vremena.

2.2. Pretvorba Sunčeve energije

2.2.1. Pretvornici Sunčeve u toplinsku energiju

Za pretvaranje dozračene primarne Sunčeve energije u sekundarnu korisnu toplinu koriste se **solarni toplinski pretvornici**.

Solarni toplinski pretvornici mogu biti:

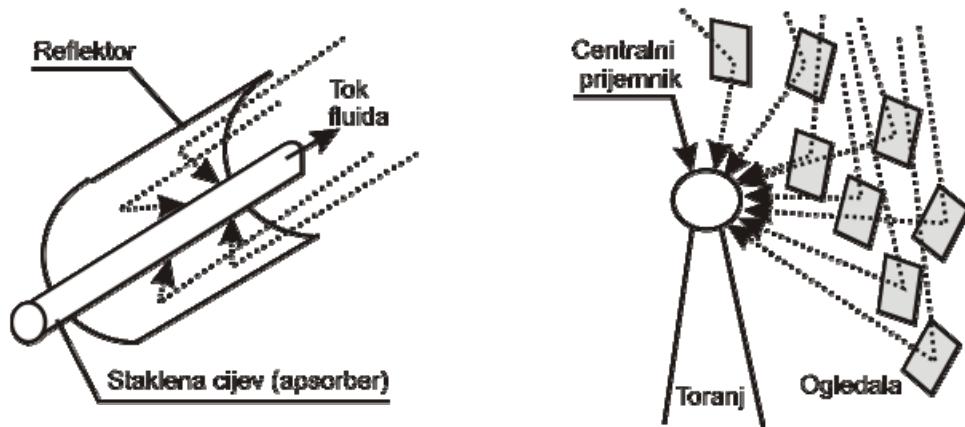
- A) koncentrirajući
- B) nekoncentrirajući

A) Koncentrirajući pretvornici su najčešće paraboličnog oblika, a mogu biti:

- A.1) linijski (s linijskim fokusom)
- A.2) točkasti (s točkastim fokusom)

Radni medij pretvornika može dostići i vrlo visoke temperature, od 300 do 1200°C.

Koriste se u industriji (procesna toplina) ili u energetici (električna energija).



Slika 2.2. Koncentrirajući solarni toplinski pretvornik

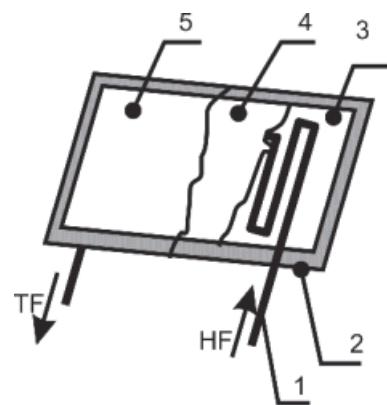
B) Nekoncentrirajući pretvornici Sunčevog zračenja se najčešće pojavljuju u obliku ravnih kolektora

Koriste se u sustavima grijanja i pripreme potrošne tople vode.

Sastoje se od:

- površinskog apsorbera
- radnog medija
- kućišta kolektora
- pokrivke

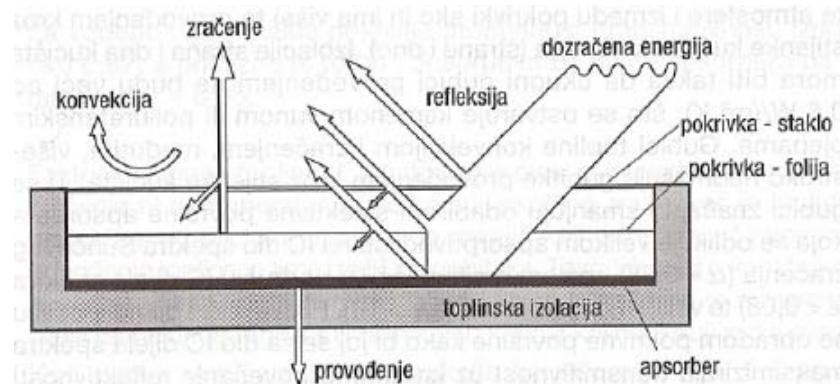
Radni medij pretvornika može dostići temperaturu od oko 200°C.



Slika 2.3. Nekoncentrirajući solarni toplinski pretvornik

Dva su temeljna mehanizma koji utječu na bilancu pretvorbe Sunčeve u toplinsku energiju:

- apsorbcija primarne energije
- ponovni gubici konačne topline u okolicu



Slika 2.4. Fizikalni procesi na ravnom kolektoru s dvije pokrivke

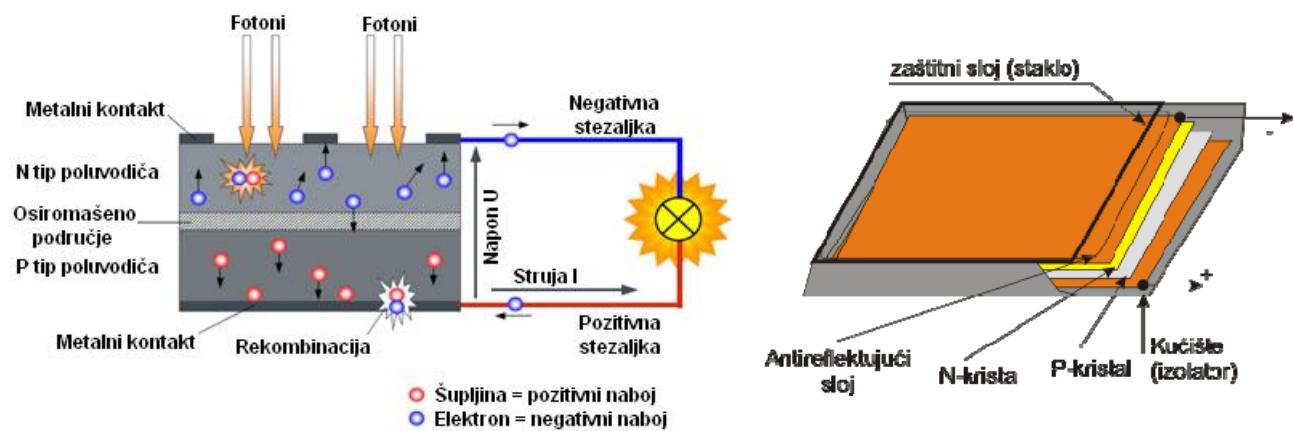
2.2.2. Pretvornici Sunčeve u električnu energiju

Za izravnu pretvorbu Sunčeve svjetlosti u električnu energiju koriste se **solarni fotonaponski pretvornici**.

Solarni fotonaponski pretvornici se izvode kao fotonaponske ćelije koje mogu biti od:

- monokristaličnog i polikristaličnog silicija
- amorfног silicija
- kadmij-telurida ili bakar-indij-diselenida

Većina ćelija koje se danas pojavljuju na tržištu imaju stupanj djelovanja (učinkovitost) između 12 i 15% (za ćelije od amorfног silicija – oko 5%).



Slika 2.5. Fotonaponski pretvornik i princip rada

Pojedinačne fotonaponske ćelije se povezuju:

- serijski
- paralelno

- kombinacijom oba načina

Time se može postići željena vršna snaga (npr. 75, 100, 120 W, ...) i radni napon modula (npr. 12 ili 24 V).

Veća postrojenja, kao što su fotonaponske elektrane od 1MW, imaju cijela polja paralelno spojenih nizova fotonaponskih modula u serijskom spoju (serijski spoj – potreban napon; paralelni spoj – potrebna snaga).

Fotonaponski moduli mogu biti bez priključka na mrežu (samostojeći) ili spojeni na mrežu (umreženi).

2.2.3. Pasivna primjena Sunčeve energije

Toplinski i fotonaponski pretvornici služe za aktivnu primjenu Sunčeve energije.

Pasivna primjena Sunčeve energije podrazumijeva korištenje raznih građevinskih elemenata i materijala koji su optimalno i estetski oblikovani i međusobno funkcionalno povezani, kao što su:

- geometrijski oblik, veličina i visina zgrade (urbanističko planiranje)
- toplinski kapacitet zidova, toplinska zaštita zgrade
- ostakljenost, zaštita od vjetra, kiše, vlage, ali i od Sunca ljeti
- fizikalna svojstva korištenih građevinskih i konstruktivnih materijala

Načela aktivne i pasivne izvedbe zgrade mogu se podijeliti u tri skupine:

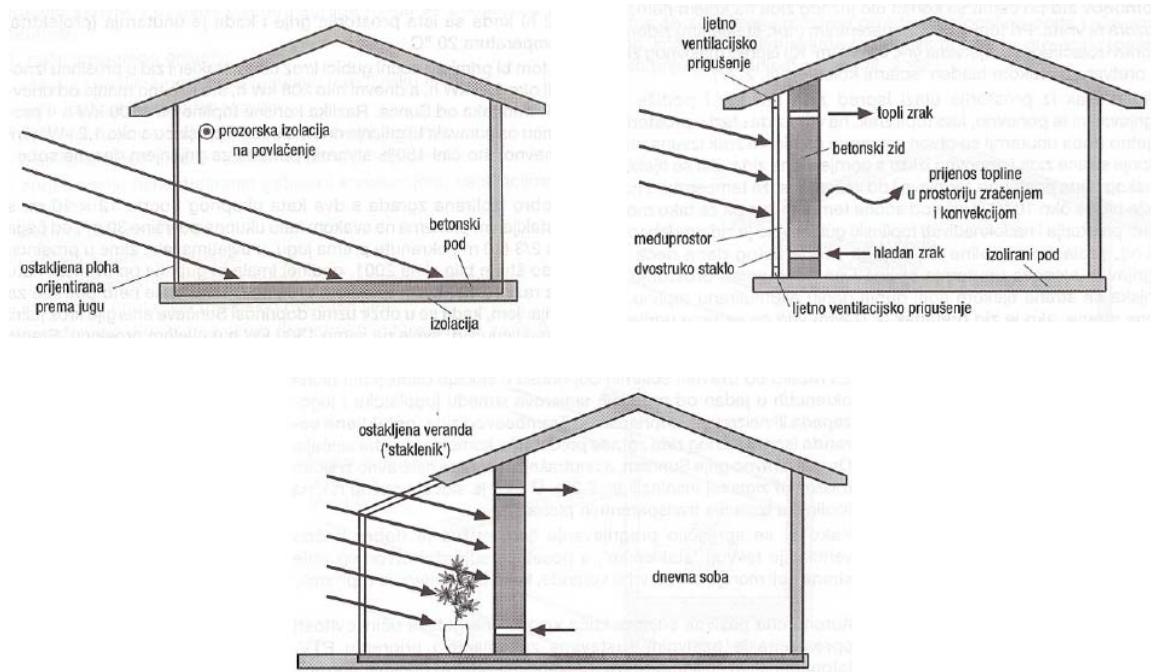
1. Načela solarnog grijanja
2. Načela solarnog hlađenja
3. Načela korištenja dnevnog svjetla danju i štedljive rasvjete noću

Tri osnovna načina za pasivnu primjenu Sunčeve energije:

- izravan prođor Sunčevog zračenja u prostorije
- Trombeov zid
- ostakljena veranda

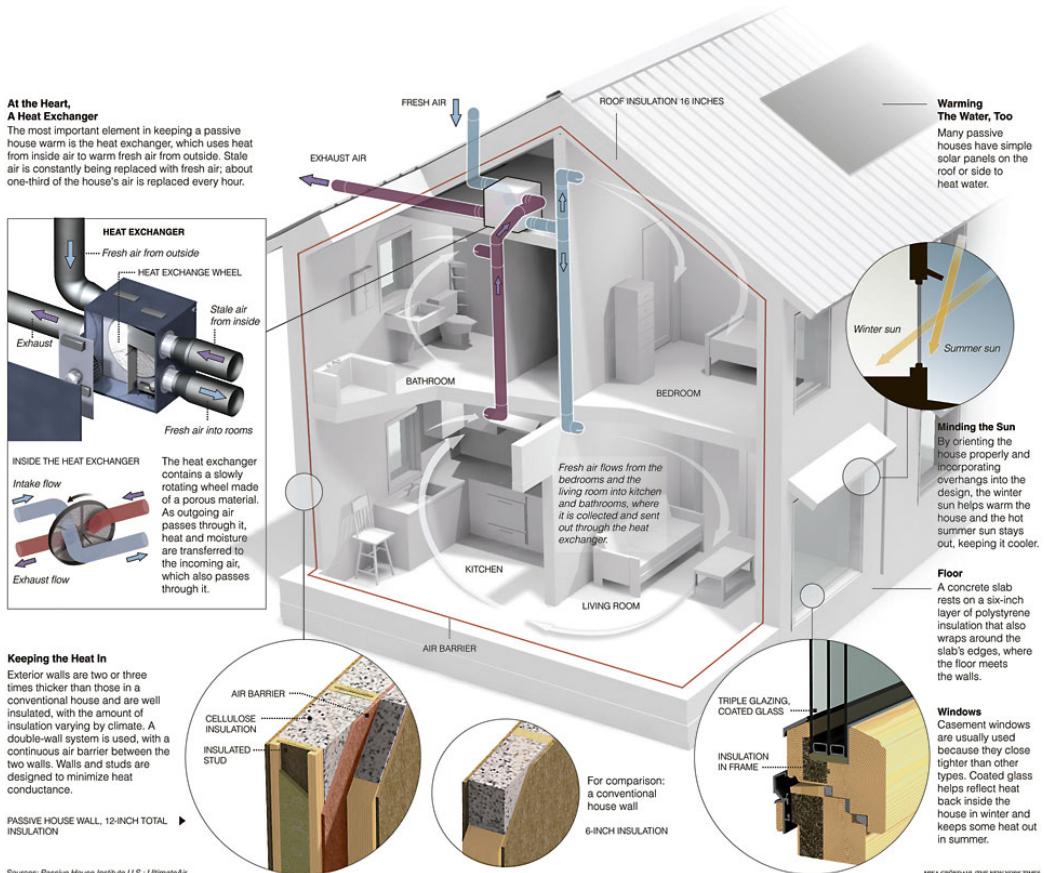


Slika 2.6. Fotonaponska elektrana



Slika 2.7. Izravan prodor Sunčevog zračenja; Trombeov zid; ostakljena veranda

Pasivna primjena Sunčeve energije doprinosi smanjenju energetskih potreba zgrade (i do deset puta manje potrebe).



Slika 2.8. Energetski samodostatna kuća (pasivna kuća)

PRIMJER:

Autonomna pasivna solarna kuća visoke energetske učinkovitosti opremljena je:

- pasivnim sustavima za grijanje i pripremu potrošne tople vode
- fotonaponskim čelijama za osiguravanje barem 1/3 dnevnih potreba za električnom energijom
- ima fizičku (zid) ili živu (drvored) zaštitu od vjetrova
- sustav za prikupljanje oborinskih voda
- dobru izolaciju vanjske ovojnica
- i tako dalje

2.3. Praktični primjeri korištenja Sunčeve energije

2.3.1. Toplinska primjena Sunčeve energije

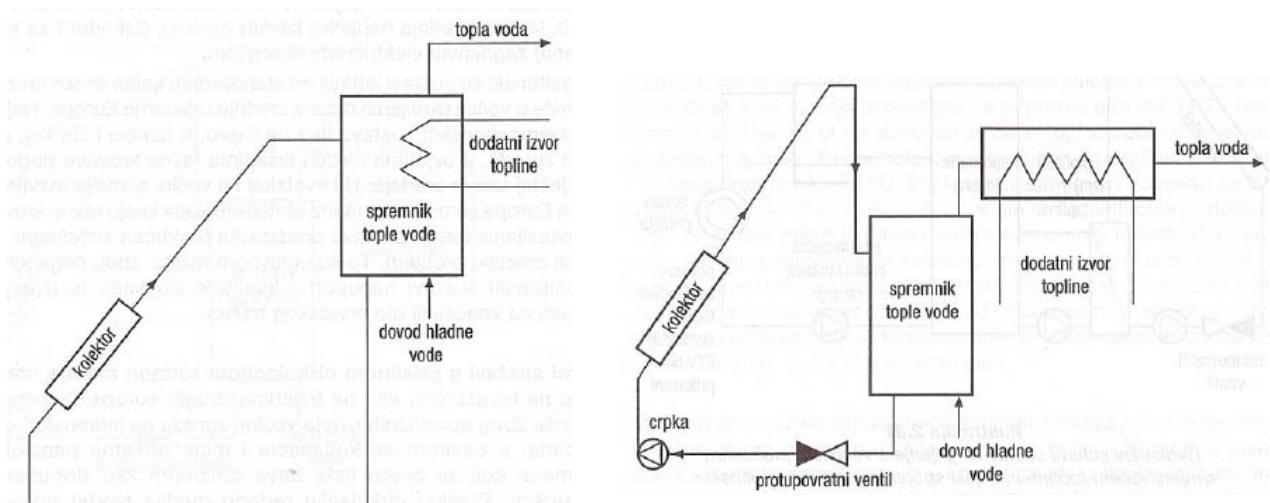
Toplinske primjene Sunčeve energije mogu se podijeliti na nekoliko osnovnih načina:

- prema načinu korištenja na:
 - aktivne
 - pasivne
- prema području radnih temperatura na:
 - visokotemperaturne
 - niskotemperaturne
- prema skali na kojoj se koriste na:
 - male (za obiteljske kuće i manje stambene zgrade)
 - srednje velike (za hotelske, proizvodne i uslužne objekte, veće stambene zgrade, kuće u nizu ili blokove zgrade)
 - velike i vrlo velike sustave područnog grijanja (s proizvodnom električne energije ili bez nje)

2.3.1.1. Solarna priprema potrošne tople vode

Najbrže isplativa mogućnost primjene Sunčeve energije.

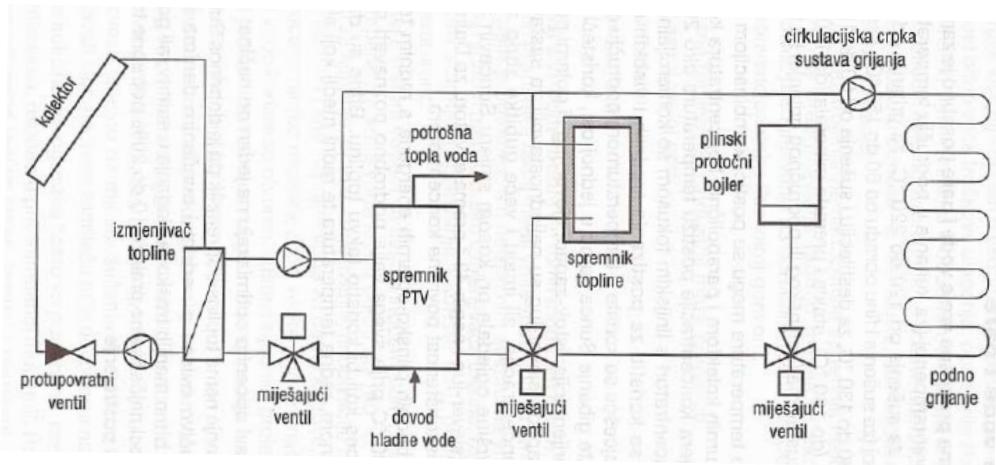
Najčešće se izvodi kao termosifonski sustav ili sustav s prisilnom cirkulacijom radnog medija.



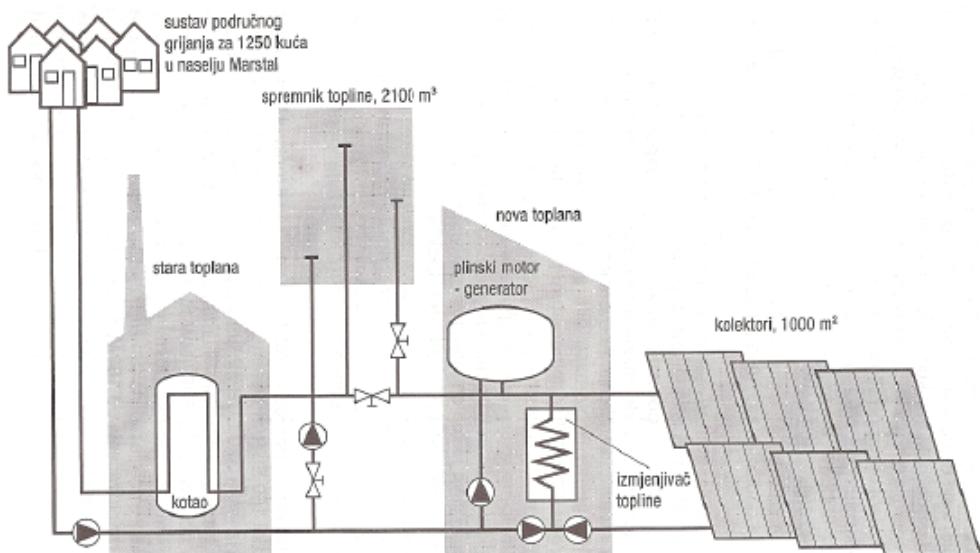
Slika 2.9. Termosifonski sustav; sustav s prisilnom cirkulacijom

2.3.1.2. Solarno grijanje

Iako postaje sve popularnije, da bi bilo ekonomski isplativo zahtjeva zadovoljavanje mnogobrojnih tehničkih preduvjeta.



Slika 2.10. Dvokružni sustav za pripremu PTV i grijanje



Slika 2.11. Shema solarne toplane - primjer

2.3.1.3. Solarna priprema procesne vrele vode i pare

Potrebna visoka temperatura (do 300°C) postiže se kombinacijom ravnih visokotemperaturnih kolektora i paraboličnih koncentratora.

Korištenjem više paraboličnih koncentratora moguće je postići vrlo visoke temperature (i do 1500°C), čime cjelokupno postrojenje postaje solarna termoelektrana.

2.3.2. Fotonaponska primjena Sunčeve energije

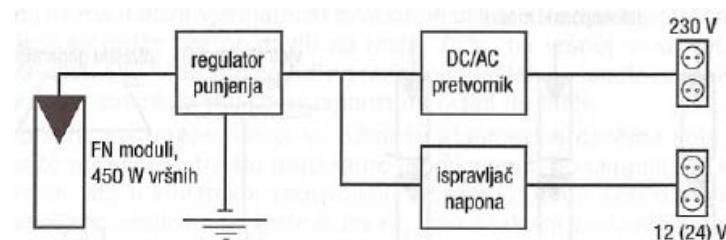
PRIMJER:

Sve dnevne potrebe jednog četveročlanog kućanstva na priobalju mogla bi pokrivati površina solarnih pretvornika od samo 7 m^2 , od čega $4,5 \text{ m}^2$ fotonaponskih modula, a $2,5 \text{ m}^2$ ravnih solarnih kolektora.

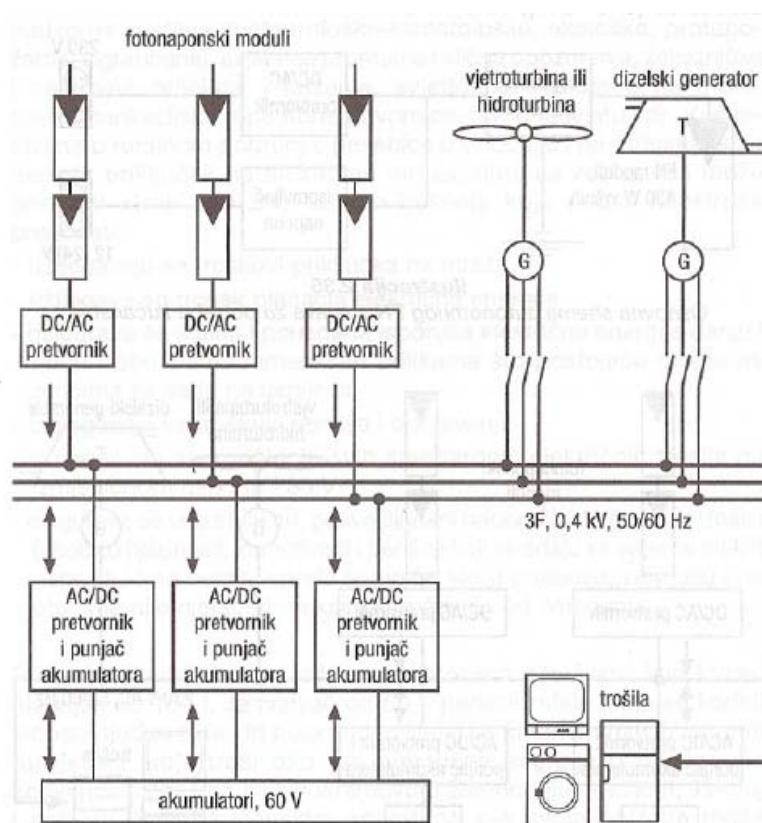
2.3.2.1. Samostalni fotonaponski sustavi

Prikladni su kada mala potrošnja električne energije ili udaljenost od mreže ekonomski ne mogu opravdati povezivanje potrošača (pojedinačne zgrade, ruralna naselja, farme, nacionalni parkovi, nadzorni sustavi, javna rasvjeta i dr.).

Vršna snaga ovakvih sustava kreće se između 300 i 900 W, ovisno o zahtjevima potrošača.



Slika 2.12. Osnovna shema autonomnog fotonaponskog sustava



Slika 2.13. Autonomni trofazni fotonaponski sustav

2.3.2.2. Lokalne fotonaponske (otočne) mreže

Samostalni fotonaponski sustavi ukupne vršne snage do nekoliko desetaka kW.

Mogu opskrbiti do stotinjak ruralnih kućanstava koja nisu priključena na mrežu.

PRIMJER:

Sustav ukupne vršne snage od 30 kW može osigurati vrlo kvalitetan izvor električne energije za oko 60 do 80 kućanstava.

2.3.2.3. Umreženi fotonaponski sustavi

Veliki umreženi fotonaponski sustavi (fotonaponske elektrane), ukupne vršne snage između 250 i 1000 kW, spajaju se na javnu električnu mrežu.

Fotonaponska elektrana vršne snage 250 kW zauzima prostor od oko 2500 m² za fotonaponske panele, dok je ukupno potreban prostor oko 1 ha.

Kako bi se smanjili troškovi kupovine zemljišta i njegove pripreme, ponekad se koristi i sustav distribuirane fotonaponske proizvodnje (povezivanje pojedinačnih proizvođača električne energije).

2.3.3. Pasivna primjena Sunčeve energije

Primjena Sunčeve energije + energetski učinkovita kuća

2.3.3.1. Niskoenergetske kuće

Niskoenergetska kuća je ona koja standardno troši 2 do 3 puta manje energenata i energije za grijanje, hlađenje i pripremu potrošne tople vode, nego što je to do sada bio slučaj.

2.3.3.2. Energetski učinkovite kuće

Energetski učinkovita kuća ima dodatne aktivne sustave koji u značajnoj mjeri pokrivaju preostalu smanjenu potrošnju niskoenergetske kuće.

PRIMJER:

Autonomna solarna kuća na Jadranu



Slika 2.14. Autonomna solarna kuća na Jadranu

2.4. Ekonomski značajke

Ekonomičnost svih tehnologija (općenito) određuju:

- troškovi ulaganja
- pogonski troškovi
- troškovi servisa i održavanja
- troškovi raspremanja na kraju radnog vijeka
- neizravni (preventivni i sanacijski) troškovi očuvanja okoline

Ulaganja u solarna postrojenje mnogostruko su veća od onih u konvencionalna (od 2 do 5 puta u odnosu na sustave koji koriste loživo ulje ili plin).

Ulaganja u fotonaponske sustave su još uvijek i do 10 puta veća od onih u konvencionalne termoelektrane.

Troškovi pogona konvencionalnog postrojenja (više od 09% odnosi se na gorivo) veći su i do 5 puta od troškova solarnog postrojenja.

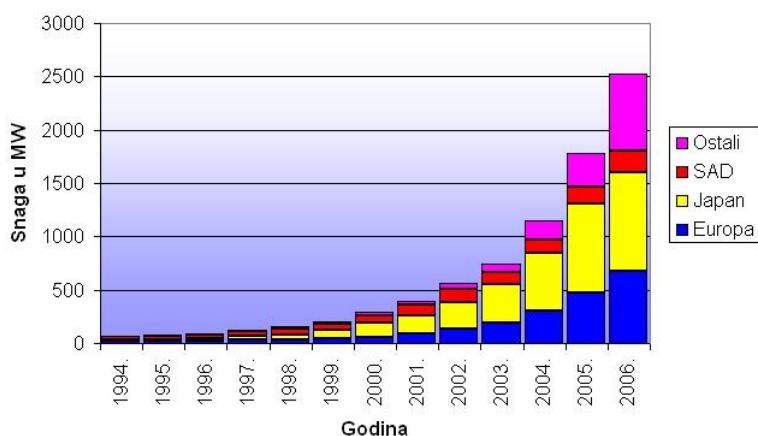
Troškovi održavanja konvencionalnih postrojenja veći su i do 4 puta od troškova solarnog postrojenja.

Troškovi raspremanja postrojenja u oba slučaju su istog reda veličine, dok su troškovi očuvanja okoline mnogostruko veći u slučaju konvencionalnih postrojenja.

PITANJE

Vremenski period potreban za povrat investicije u solarno postrojenje (malo, srednje, veliko, toplinska energija, električna energija, ...)?!

2.5. Trendovi u svijetu i Hrvatskoj



Slika 2.15. Proizvodnja sunčevih čelija u svijetu

U Hrvatskoj za sada postoji mogućnost finansijske potpore (sufinanciranje/bespovratna sredstava) fizičkim osobama pri ugradnji solarnih kolektorskih sustava u kućanstvima (za sada na području Karlovačke, Krapinsko-Zagorske i Zagrebačke županije).

DISKUSIJA:

- Pregled prijavljenih projekata solarnih postrojenja na području Hrvatske
- Registar projekata pri MINGORP-u (Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva)
- Administrativna procedura prijave projekata (projekt RELEEL)
- HERA; "feed-in" tarife; poticaji; povlašteni proizvođač



Slika 2.16. Jedna od primjena fotonaponskih čelija

2.6. Potencijali Hrvatske

Zahvaljujući zemljopisnom položaju i klimatskim uvjetima Hrvatska ima brojne i posve neiskorištene potencijale za primjenu primarne Sunčeve energije.

Godišnji prosjek globalnog zračenja koje dnevno pada na vodoravne plohe iznosi 3,6 kWh/m² dan.

Sunce svaki dan na površinu Hrvatske dozračuje energiju oko 200 TWh, što je točno dvostruko više od sveukupne potrošnje primarne energije za 2000. godinu.

Teoretski: Samo 1,37 % ukupne površine Hrvatske je dovoljno za pokrivanje njezine sadašnje cjelokupne godišnje potrošnje energije (ukupna površina Hrvatske je 56.538 km²).

Praktično: Samo 1,37 % ukupne površine Hrvatske je dovoljno za pokrivanje njezine sadašnje cjelokupne godišnje potrošnje energije (pod pretpostavkom da je učinkovitost solarnih sustava samo 10 %; fotonaponi-12,5%; toplinski-50%).

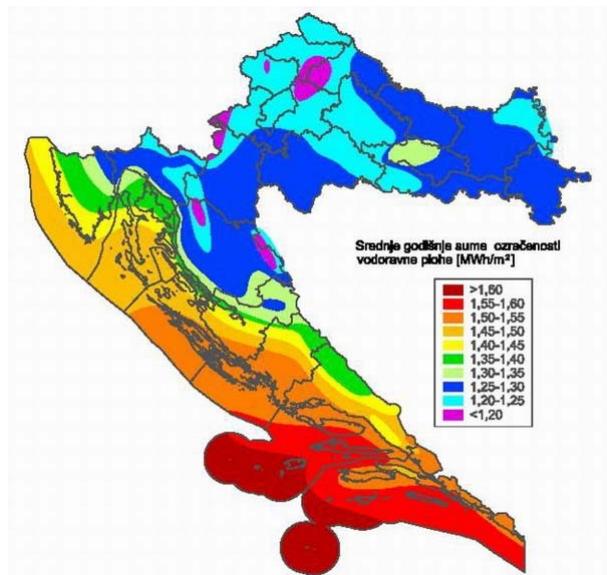
Oko 1/3 svih kućanstava Hrvatske nalazi se u priobalju, zaobalju i na otocima gdje je već danas ekonomski isplativa i opravdana zamjena fosilnih goriva Sunčevom energijom, posebice za sve niskotemperатурne primjene:

- pripremu potrošne tople vode
- grijanje prostora
- grijanje bazena
- grijanje staklenika
- sušare
- desalinizacija

- hlađenje prostora

Perspektiva za primjenu Sunčeve energije u Hrvatskoj su hibridne solarne toplane (na sunčevu energiju i plin) – područno grijanje i hlađenje.

Fotonaponski sustavi mogu osigurati potrebne količine električne energije, pogotovo za ruralna područja i udaljenih objekata za koje mala potrošnja električne energije ne opravdava povlačenje mreže.



Slika 2.17. Mapa ozračenosti Hrvatske

3. Energija vjetra

3.1. Osnovne značajke

Još 3000 godina prije Krista stari Egipćani su koristili energiju vjetra za organiziranje vodenog prometa po Nilu.

Prva primjena energije vjetra za dobivanje mehaničkog rada (vjetrenjača-mlin za žito) potječe iz Perzije (današnji Iran), i to oko 2000 godina prije Krista.

Sredinom 19. stoljeća (početak primjene parnog stroja), u Europi je bilo u pogonu oko 50.000 vjetrenjača, ali do početka 20. stoljeća taj broj pada na svega 1/5.

Na srednjodalmatinskim otocima je do početka primjene električne energije u pogonu bilo oko 400 mlinova na vjetar.

Instalirana snaga vjetroagregata (MW)					
Skala	Zemlja	2005	2006	2007	
1	Njemačka	18,415	20,622	22,247	
2	SAD	9,149	11,603	16,818	
3	Španjolska	10,028	11,615	15,145	
4	Indija	4,430	6,270	8,000	
5	Kina	1,260	2,604	6,050	
6	Danska (i Ferojski otoci)	3,136	3,140	3,129	
7	Italija	1,718	2,123	2,726	
8	Francuska	757	1,567	2,454	
9	VB	1,332	1,963	2,389	
10	Portugal	1,022	1,716	2,150	
11	Kanada	683	1,459	1,856	
12	Nizozemska	1,219	1,560	1,747	
13	Japan	1,061	1,394	1,538	
14	Austrija	819	965	982	
15	Grčka	573	746	871	
36	Mađarska	18	61	65	
	Hrvatska	5.95	17.15	17.15	
	Ostala Europa	129	163		
	Ostala Amerika	109	109		
	Ostala Azija	38	38		
	Ostala Afrika i Srednji Istok	31	31		
	Ostala Oceanija	12	12		
	Svijet ukupno (MW)	59,091	74,223	93,849	

Tablica 3.1. Instalirane snage u vjetroelektranama u svijetu i Europi

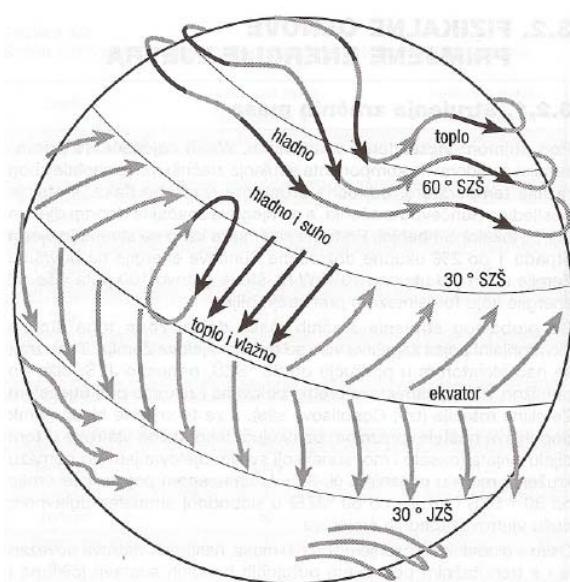
Tek u drugoj polovici 20. stoljeća (70-tih godina, nakon tzv. prve energetske krize) dolazi do intenzivnijeg korištenja vjetrenjača za proizvodnju električne energije – vjetroelektrane.



Slika 3.1. Vjetrenjača i vjetroturbina

Pod pojmom vjetar najčešće se podrazumijeva vodoravna komponenta strujanja zračnih masa nastala zbog razlike temperature, odnosno prostorne razdiobe tlaka.

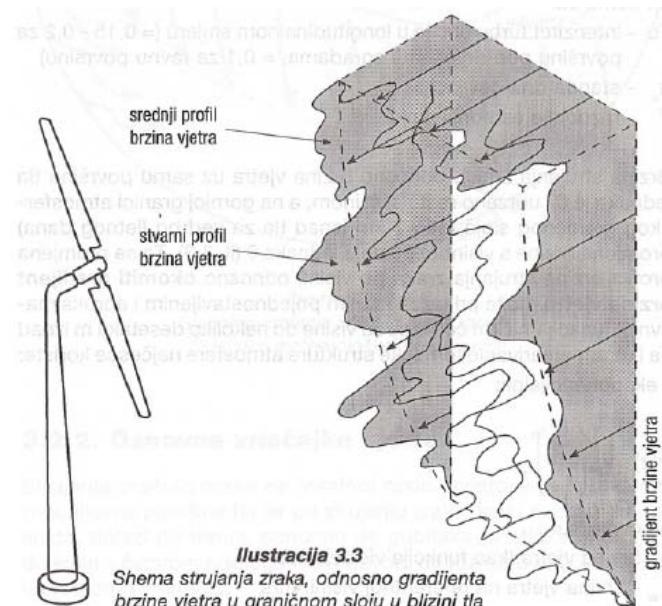
Do globalnog strujanja zračnih masa dolazi zbog toga što se ekvatorijalni pojas zagrijava više od ostalih dijelova Zemlje.



Slika 3.2. Globalno kretanje zračnih masa

Osim globalnog strujanja, na nastanak vjetrova utječe i trenutačni položaj putujućih baričkih sustava (ciklona i anticiklona).

Na lokalnoj razini, strujanje zračnih masa uvjetovano je lokalnim značajkama površine tla (strujanje zraka - trenje - gubitak kinetičke energije - gradijent brzine vjetra).



Slika 3.3. Gradijent brzine vjetra u graničnom sloju u blizini tla

Brzina strujanja zraka, odnosno brzina vjetra uz samu površinu tla jednaka je nuli i ubrzano raste s visinom.

Na gornjoj granici atmosferskog graničnog sloja (oko 2 km iznad tla za vedrog ljetnog dana) promjena brzine s visinom postaje jednaka nuli.

Promjena profila brzine strujanja zraka po visini naziva se okomiti gradijent brzine vjetra.

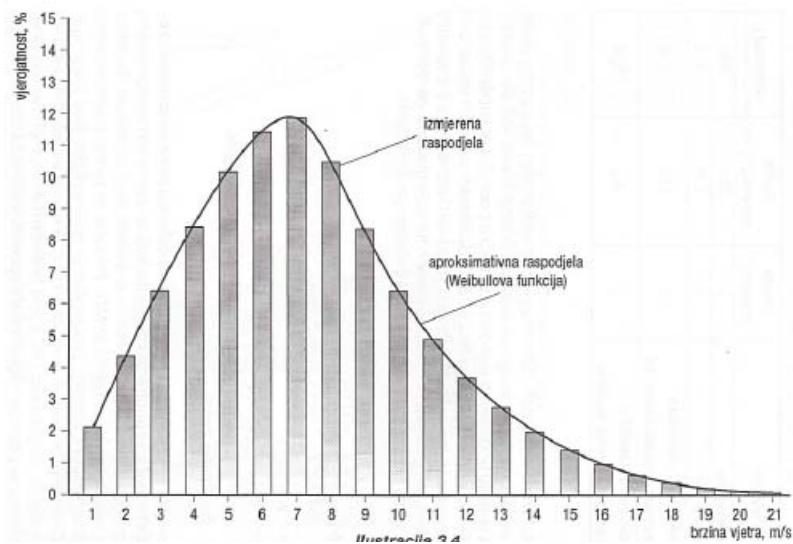
Podaci o smjerovima i brzinama vjetra dobivaju se na osnovu meteoroloških opažanja (motrenja i mjerjenja) koja se izvode na meteorološkim postajama.

Za mjerjenje brzine vjetra koristi se anemometar, dok se za određivanje smjera vjetra koristi vjetrulja (ruža vjetrova).



Slika 3.4. Anemometar i vjetrulja

Očekivane vrijednosti neke brzine vjetra u nekom razdoblju (vjerojatnost pojave) prikazuju se histogramom – funkcija gustoće vjerovatnosti (Weibull).



Slika 3.5. Histogram i Weibullova funkcija vjerovatnosti određene brzine vjetra

Podaci o brzini i smjeru vjetra, izmjereni na meteorološkim postajama, predstavljaju lokalne vrijednosti.

U slučaju da se takvi podaci žele primijeniti na područje na kojem nisu provedena mjerena, najčešće se koristi numeričko modeliranje (metoda WASP – Wind Atlas Analysis and Application Programme).

3.2. Pretvorba energije vjetra

Pretvorba kinetičke energije vjetra u kinetičku energiju vrtnje vratila odvija se pomoću lopatica rotora vjetrenih turbin ili vjetroturbine.



Slika 3.6. Vjetropark

Objašnjenje terminologije:

Vjetrenjača - Vjetroturbina – Vjetroelektrana – Vjetrofarma ili Vjetropark

Pri analizi pretvorbe energije vjetra potrebno je uzeti u obzir brojne čimbenike, kao što su:

- srednja vrijednost brzine vjetra
- parametri Weibullove razdiobe
- razdioba učestalosti smjerova (ruža vjetrova)
- okomiti gradijent brzine vjetra
- gustoća zraka
- značajke površine okolnog tla
- i drugo

Svi ti podaci ovise o točno odabranoj lokaciji, te ih se jedino može odrediti mjerjenjem tijekom duljeg razdoblja.

Kinetička energija vjetra ne može se u cijelosti iskoristiti, odnosno pretvoriti u kinetičku energiju vrtnje lopatica rotora (kontinuitet strujanja).

Ta se činjenica naziva Betzovim zakonom (1919. godina), dok se matematički izražava stupnjem aerodinamičke pretvorbe:

$$\text{stupanj aerodinamičke pretvorbe} = \frac{\text{snaga na vratilu vjetroturbine}}{\text{raspoloživa snaga u slobodnoj struji vjetra}}$$

Za suvremene vjetroturbine stupanj aerodinamičke pretvorbe iznosi oko 0,45.

Najveća moguća vrijednost stupnja aerodinamičke pretvorbe naziva se Betzovom granicom i iznosi 0,593.

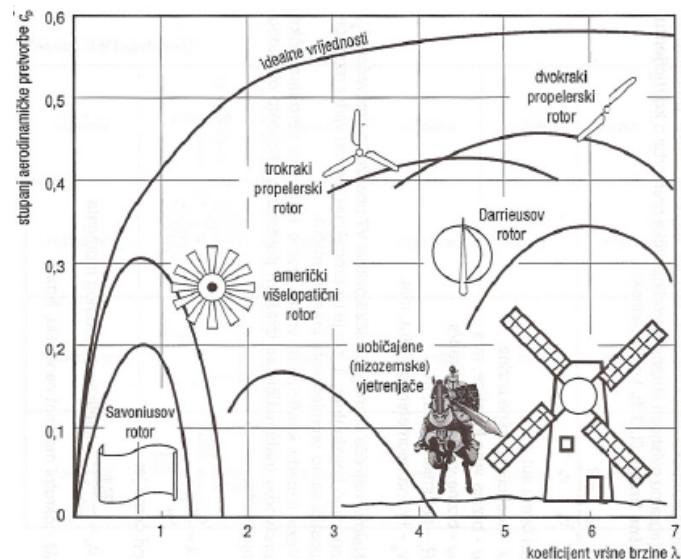
Učinkovitost (stupanj djelovanja) nijednog postrojenja za iskorištavanje energije vjetra nikakvim poboljšanjima ne može se povećati iznad te vrijednosti.

3.3. Pogonske karakteristike vjetroturbina

vrsta rotora	izgled	aerodinamičko djelovanje	os vrtnje vratila	brzina vrtnje rotora	okretni moment	stupanj aerodinamičke pretvorbe C_p	najčešća primjena
propelerški		uzgonsko	vodoravna	velika	mali	0,42	VE
Darrieusov		uzgonsko	okomita	velika	mali	0,40	VE
vještopalični		uzgoneko	vodoravna	umjeren	umjeren	0,35	VE i crpke

s jedrima		uzgonska	vodoravna	umjeren	umjeren	0,35	VE i crke
ventilatorski		otporno	vodoravna	mala	velik	0,3	VE i crke
Savoniusov		otporno	okomiti	mala	velik	0,15	crke
rizozemski		otporno	vodoravna	mala	velik	0,17	crke i mlinovi

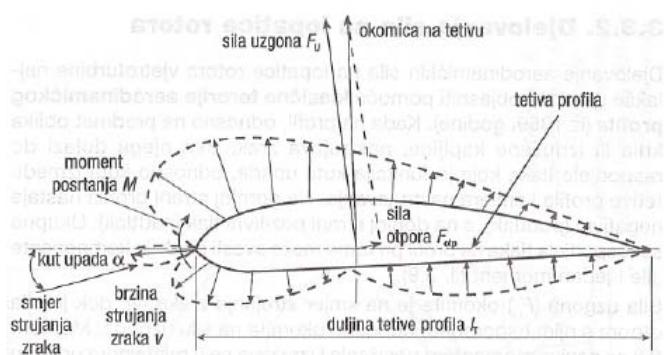
Slika 3.7. Osnovna svojstva najpoznatijih izvedbi rotora sustava za pretvorbu energije vjetra



Slika 3.8. Ovisnost stupnja aerodinamičke pretvorbe o koeficijentu vršne brzine

λ - koeficijent vršne brzine predstavlja omjer brzine vrha lopatice i brzine neometenog vjetra

Do okretanja rotora vjetroturbine dolazi usred djelovanja aerodinamičkih sila na lopatice rotora – klasična teorija aerodinamičkog profila iz 1959. godine.



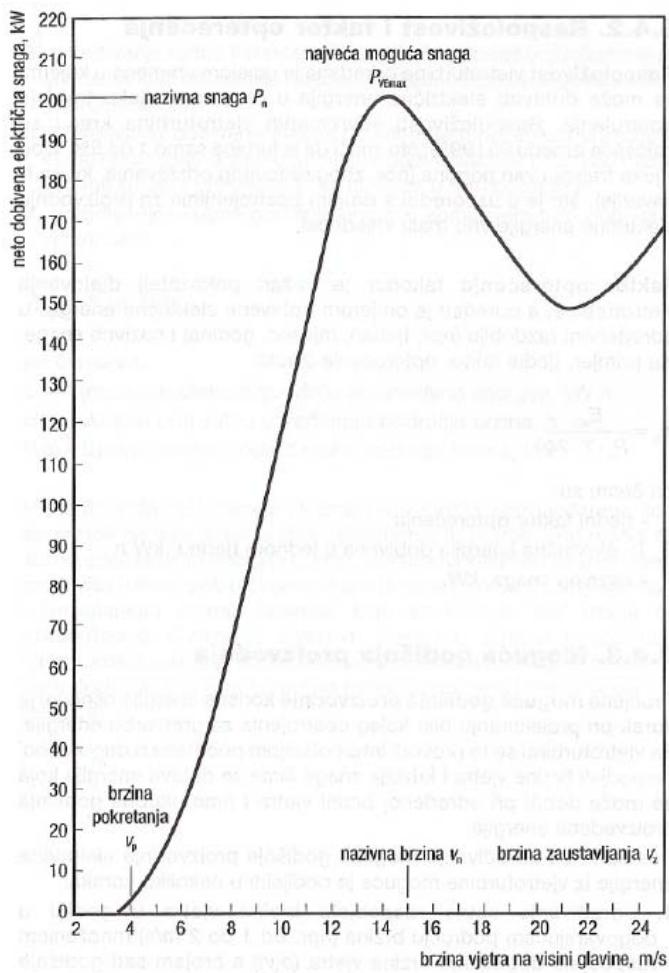
Slika 3.9. Shema djelovanja struje zraka na aerodinamički profil

Element lopatice rotora vjetroturbine može se zamisliti kao aerodinamički profil, a vjetar kao zrak koji nastrujava.

Pri tome se sila uzgona i otpor na lopaticama rotora pretvaraju u tangencijalnu силу koja stvara okretni moment vratila i aksijalnu силу u ležajevima.

Okretni moment služi za obavljanje korisnog rada, dok aksijalna sila teži prevrtanju cijelog sustava (zahtjeva dobro temeljenje vjetrogeneratora).

Krivulja snage pokazuje ovisnost neto dobivene električne snage iz vjetroturbine o brzini vjetra na visini glavine (osi rotora).



Slika 3.10. Krivulja snage za 200 kW vjetroelektranu spojenu na mrežu

Osim krivulje snage postoji i krivulja stupnja djelovanja koja prikazuje ovisnost stupnja djelovanja (pretvorba energije vjetra u električnu energiju) o brzini vjetra.

Raspoloživost vjetroturbine određena je udjelom vremena u kojem se može dobivati električna energija u ukupnom vijeku trajanja postrojenja.

Za suvremene vjetroturbine raspoloživost se kreće između 95 i 99% (od 1 do 5% vijeka trajanja je van pogona zbog redovitog održavanja, kvara ili havarije).

Utjecaj na okoliš

Za vrijeme pogona vjetroturbina emitira buku koja može biti mehanička (od prijenosnika, generatora, i ostalih mehaničkih dijelova), te aerodinamička (od naleta vjetra na lopatice rotora).

Ovisno o lokaciji postavljanja, vjetroelektrane mogu biti vrlo uočljive i dominantni objekt u prostoru (vizualni utjecaj).

Utjecaj vjetroelektrana na ekosustav odnosi se na utjecaj na ptice (sudaranje s lopaticama, uznemiravanje bukom, i sl.).

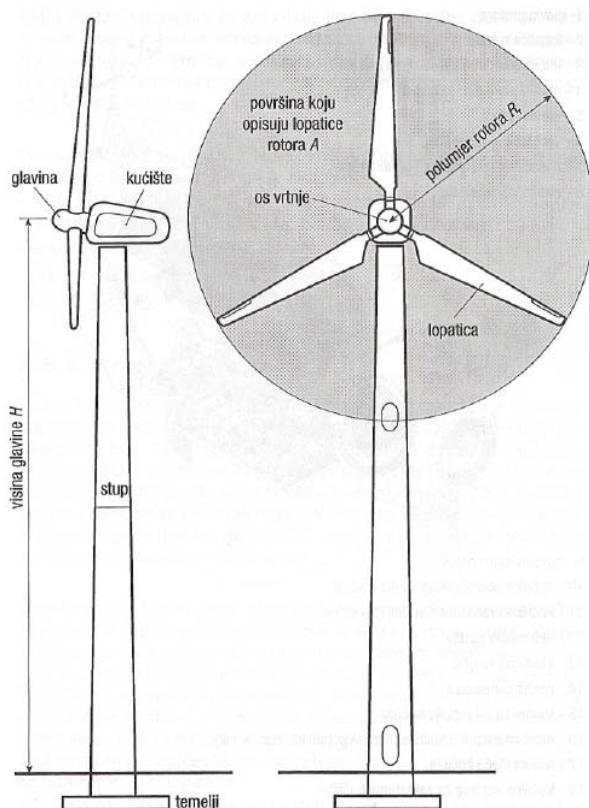
Vjetroturbine mogu izazvati smetnje telekomunikacijskih signala (ravnina vrtnje lopatica rotora ponaša se kao zrcalo za signal nekog predajnika).

Iako je opasnost od havarije tijekom vijeka trajanja vjetroelektrane mala, potencijalno su moguća odlamanja materijala, onečišćenje tla, pojava požara, i slično.

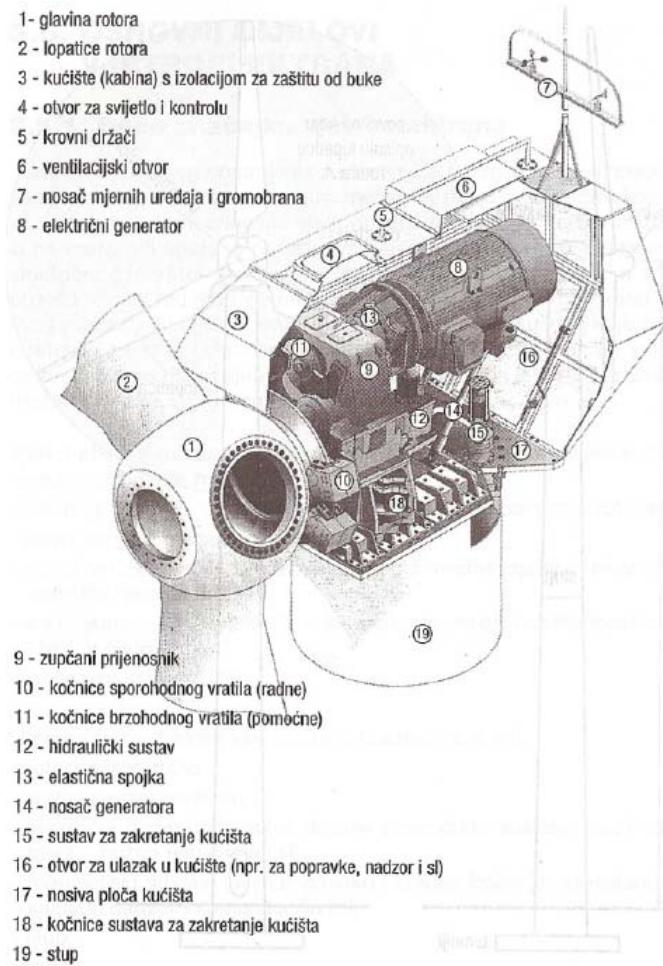
3.4. Vjetroelektrane

U osnovne dijelove vjetroturbine ubrajaju se:

- rotor vjetroturbine (lopatice i vratilo; do 100 min^{-1})
- vratila s prijenosnikom (1:30 do 1:50; preko 1500 min^{-1})
- električni generator i ostali dijelovi električnog sustava do spoja na mrežu
- regulacijski sustavi (aerodinamičko i zračno kočenje, zakretanje kućišta, nadzor, komunikacija)
- stup
- temelj



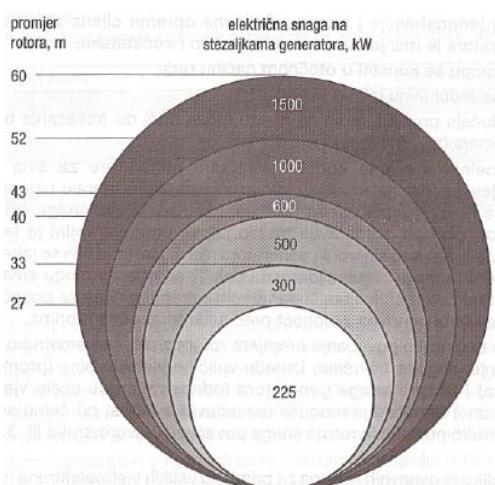
Slika 3.11. Shema postrojenja za iskorištavanje energije vjetra s vodoravnom osi vrtnje



Slika 3.12. Osnovni dijelovi vjetroelektrane s vodoravnom osi vrtnje

Na osnovi nazivne električne energije (snage), vjetroelektrane se mogu podijeliti u četiri osnovne skupine:

- mikro vjetroelektrane (do 3 kW)
- male vjetroelektrane (između 3 i 30 kW)
- srednje vjetroelektrane (između 30 i 600 kW)
- velike vjetroelektrane (preko 600 kW)



Slika 3.13. Ovisnost dobivene električne snage i promjera rotora

3.5. Ekonomski parametri

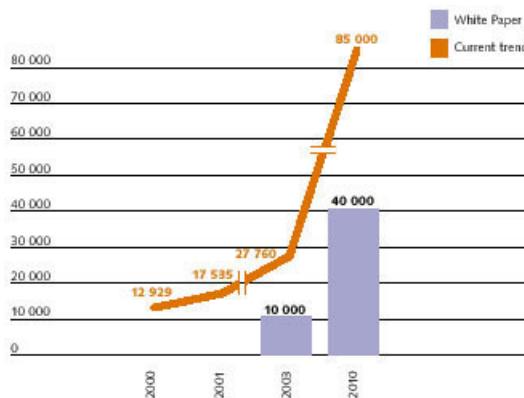
Tokom svog radnog vijeka vjetroelektrana bi trebala ostvarivati prihode na temelju prodaje proizvedene električne energije (pokriveni rashodi + dobit).

Na konkurentnost vjetroelektrana utječu razni programi državnih potpora, najčešće u obliku tarifnih potpora po proizvedenom kWh, subvencija pri ulaganju, te poreznih ili fiskalnih mjera.

Prosječni vijek trajanja vjetroturbina je procijenjen na oko dvadesetak godina, odnosno na oko 120.000 radnih sati.

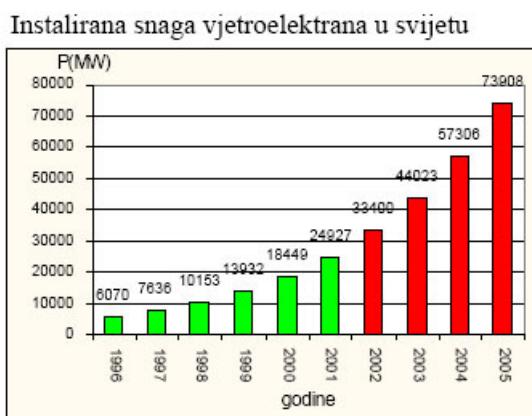
3.6. Trendovi u svijetu i Hrvatskoj

Danas u svijetu ima oko 60 proizvođača opreme za iskorištavanje energije vjetra, dok se barem jedna vjetroelektrana (komercijalna ili ispitna) može naći u svakoj zemlji svijeta.



Slika 3.14. Usporedba rasta proizvodnje energije iz vjetra s ciljem Europske unije do 2020

Trend rasta proizvodnje energije iz vjetra i usporedba s ciljem Europske unije do 2010. godine pokazuju da će zadani cilj vjerojatno biti premašen za oko 100%.



Slika 3.15. Instalirane snage vjetroelektrana u svijetu

U Hrvatskoj su do danas izvedene četiri vjetroelektrane, kao na primjer:

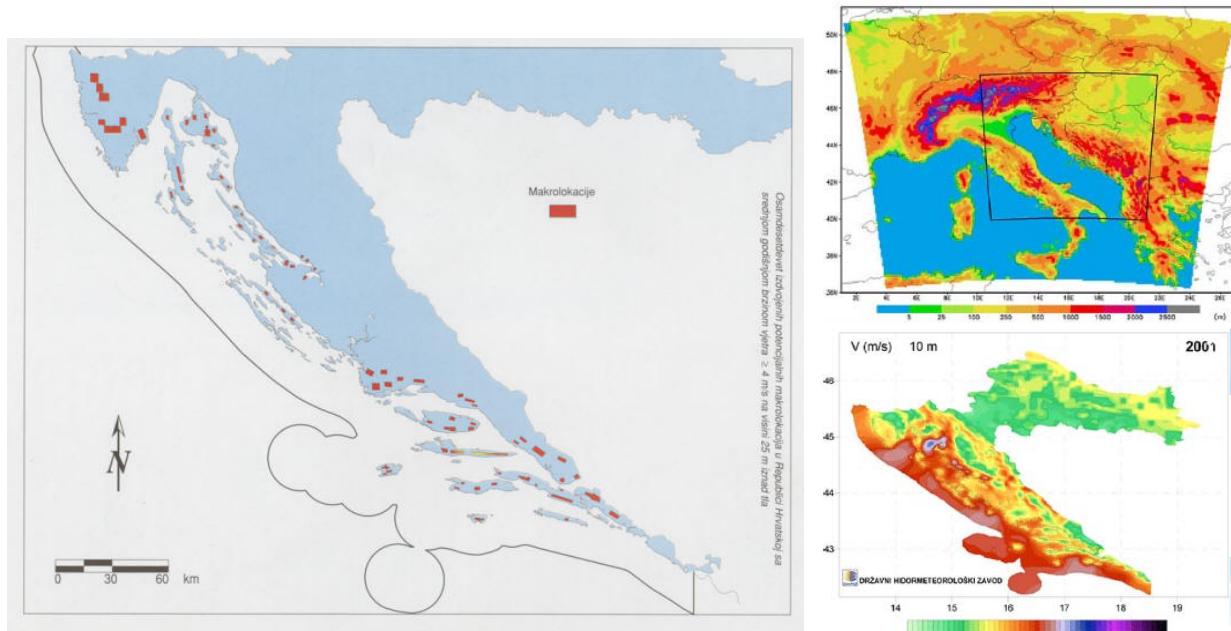
- Pag, Brdo Ravne (7 vjetroturbina \times 850 kW; 5,95 MW; proizvodnja 13-15 GWh/god.)
- Šibenik, Trtar-Krtolin (14 vjetroturbina \times 800 kW; 11,2 MW; proizvodnja 30 GWh/god.)
- Split, Pometeno brdo (1 vjetroturbina \times 1000 kW; u planu 15 \times 1000 kW i 1 \times 2500 kW = 17,5 MW)



Slika 3.16. Brdo Trtar, Šibensko-kninska županija, Vjetroelektrana

3.7. Potencijali Hrvatske

Trenutno za Hrvatsku ne postoji Atlas raspoloživosti vjetra.



Slika 3.16. Potencijalne lokacije vjetroelektrana u Hrvatskoj; proračun srednje brzine vjetra

4. Energija vodenih tokova

4.1. Osnovne značajke

Energija vodenih tokova, odnosno hidroenergija, predstavlja sve mogućnosti za dobivanje energije iz strujanja vode u prirodi, kao što su:

- kopneni vodotokovi (rijekе, potoci, kanali)
- morske mijene (plima i oseka)
- morski valovi

Prva zabilježena primjena energije kopnenih vodotokova za dobivanje mehaničkog rada potječe iz 500. godine prije Krista.

Snaga vode koristila se za pokretanje mlinova, kovačnica, preša, pilana, a od kraja 19. stoljeća i za dobivanje električne energije (1876.g. u Bavarskoj).

Energija morskih mijena iskoristiva je samo u područjima gdje postoji velika visinska razlika mora u vrijeme plime i oseke (obale oceana; u Normandiji i do 10 m).

Primjena energije morskih mijena zabilježena je u srednjem vijeku, prvenstveno za pokretanje mlinova.

Razvoj tehnologija za korištenje energije morskih valova pokrenut je krajem 20. stoljeća, te je danas već nekoliko sustava u upotrebi (Japan, Norveška, Velika Britanija).



Slika 4.1. Hidroelektrana

DISKUSIJA:

Obnovljivi izvori energije – energija kopnenih vodotokova – ekologija – prihvatljivost

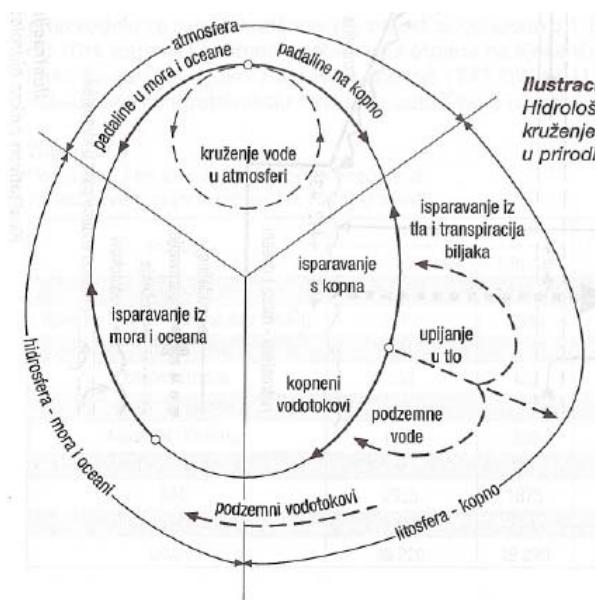
Da, u slučaju hidroelektrana malih snaga (do 10 MW), jer imaju mali utjecaj na okoliš, odnosno, mogu se dobro uklopiti u krajolik.

Ne, u slučaju velikih hidroelektrana (preko 10 MW; čak do 22,5 GW – HE Tri klanca, rijeka Yangtze, Kina), jer imaju značajan utjecaj na okoliš potapanjem dolina i naselja u svrhu dobivanja akumulacijskog jezera (emisija metana, lokalna promjena klime, i sl.).

4.2. Hidroenergija - energija vodenih tokova

Kruženje vode u prirodi uzrokovano je Sunčevim zračenjem.

Hidrološki krug predstavlja kruženje vode u prirodi od hidrosfere (velike vodene plohe: oceani, mora i jezera) u atmosferu, pa u obliku padalina natrag u hidrosferu ili na litosferu (kopno).



Slika 4.2. Hidrološki krug – kruženje vode u prirodi

Mogući iskoristivi svjetski potencijal za proizvodnju električne energije iz vodotokova procjenjuje se na 48.222 TWh godišnje (tehnički potencijal: 19.390 TWh; stvarno proizvedeno: 2.056 TWh).

4.3. Klasične hidroelektrane

Hidroelektrane su postrojenja u kojima se potencijalna energija vode najprije pretvara u kinetičku energiju njenog strujanja, potom u mehaničku energiju vrtnje turbine, te konačno u električnu energiju u generatoru.

Klasične hidroelektrane iskorištavaju isključivo energiju kopnenih vodotokova: rijeke, potoci, kanali i slično.

Hidroelektranu čine sve građevine i postrojenja koja služe za:

- prikupljanje, dovođenje i odvođenje vode (brana, zahvati, dovodni i odvodni kanali, cjevovodi, itd.)
- pretvorbu energije (turbine i generatori)

- transformaciju i razvod električne energije (rasklopna postrojenja i dalekovodi)
- smještaj i upravljanje cijelim sustavom (strojarnica, kontrolna soba, itd.)

Postoji više načina podjela hidroelektrana (prema smještaju, padu vodotoka, načinu korištenja vode, volumenu akumulacije, snazi, itd.).

Tako se na primjer prema načinu korištenja vode, odnosno regulacije protoka, hidroelektrane dijele na:

- protočne
- akumulacijske
- crpno-akumulacijske ili reverzibilne

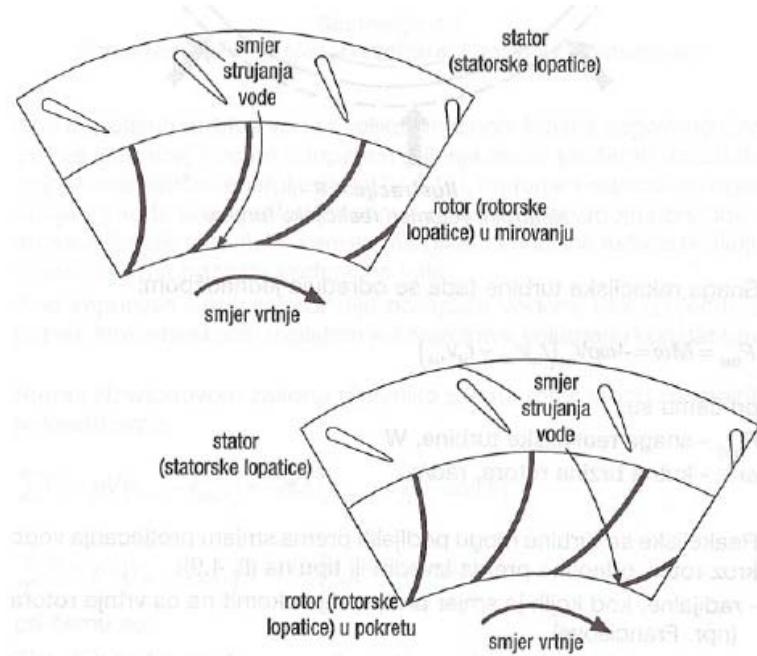
Prema instaliranoj snazi hidroelektrane se dijele na velike i male.

Za pretvorbu kinetičke energije strujanja vodenih tokova u mehanički rad koristi se vodena turbina ili hidroturbina.

Vodene turbine se prema načinu prijenosa energije vodotoka na njih dijele na:

- reakcijske
- impulsne

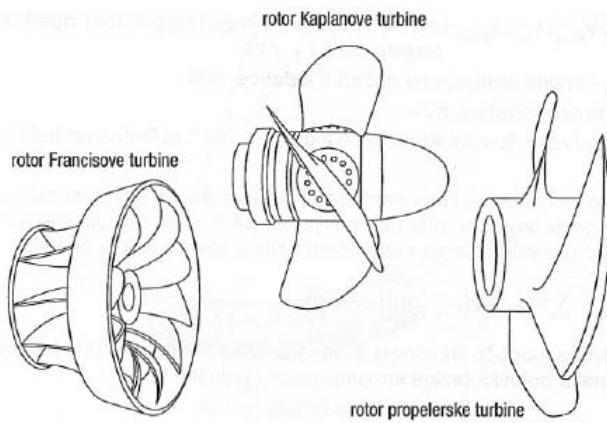
Kod reakcijskih vodenih turbina rotor je posve ispunjen vodom, pri čemu statorske lopatice usmjeravaju tok vode prema rotorskim lopaticama.



Slika 4.3. Tok vode u reakcijskoj turbini

Prema smjeru protjecanja vode kroz rotor, odnosno prema izvedbi ili tipu, reakcijske turbine se mogu podijeliti na:

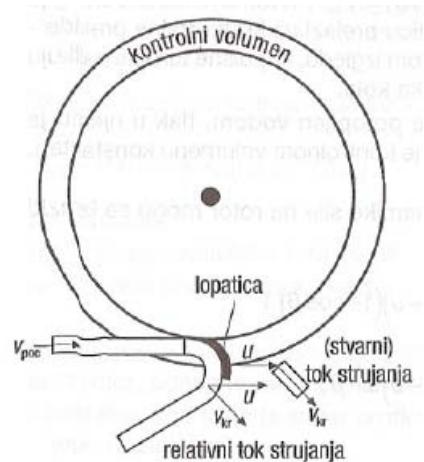
- radijalne, kod kojih je smjer protjecanja okomit na os vrtnje rotora (Francis)
- aksijalne, kod kojih je smjer protjecanja usporedan s osi vrtnje rotora (Kaplan, propellerska)



Slika 4.4. Rotori reakcijskih turbina: Francisove, Kaplanove i propelerske

Kod impulsnih vodnih turbina rotor nije potopljen vodom.

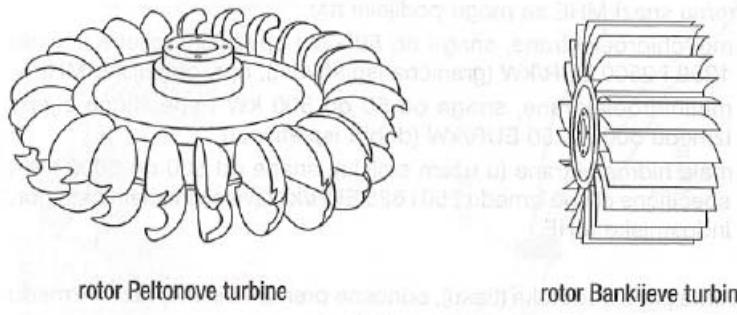
Kod impulsnih vodenih turbina voda s velikom brzinom izlazi iz odgovarajućeg otvora (sapnice) i udara u lopaticu, pri čemu mijenja smjer i prenosi kinetičku energiju na rotor turbine.



Slika 4.5. Tok vode u impulsnoj turbini

Impulsne vodne turbine najčešće se dijele prema izvedbi, odnosno imenu konstruktora ili proizvođača, kao što su:

- Peltonova
- Bankijeva
- i tako dalje

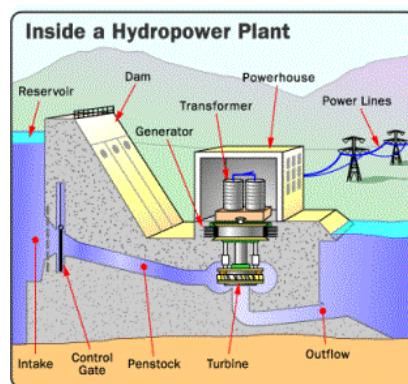


Slika 4.6. Rotori impulsnih turbina: Peltonova i Bankijeva

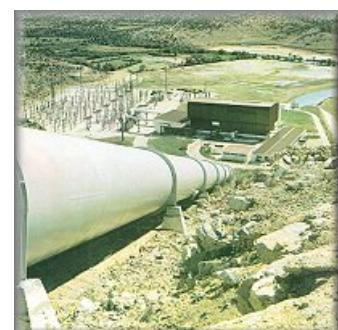
4.3.1. Velike hidroelektrane

Osnovni dijelovi hidroelektrane su:

- brana ili pregrada na vodotoku
- zahvat vode
- dovod vode
- vodostan ili vodena komora
- tlačni cjevovod
- obilazni cjevovod
- turbina
- sustav zaštite od hidrauličkog udara
- generator
- strojarnica
- rasklopno postrojenje
- odvod vode



Slika 4.7. Osnovni dijelovi hidroelektrane

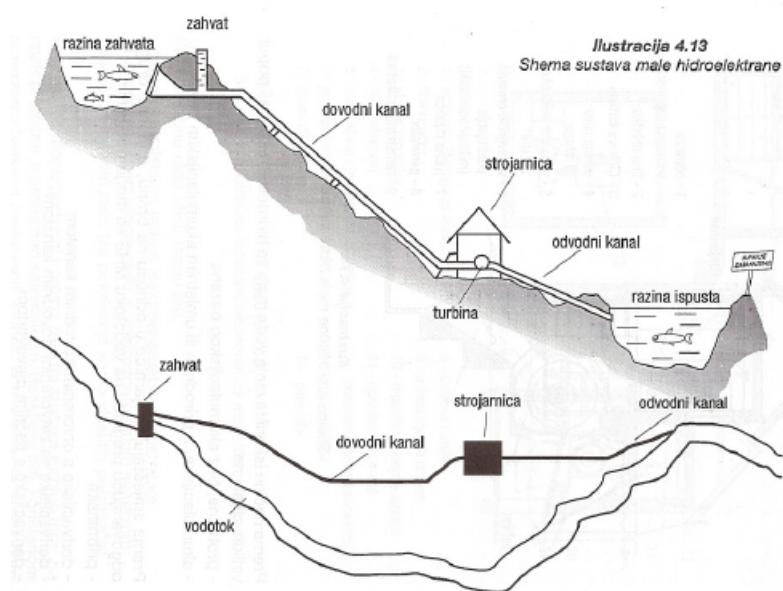


Slika 4.8. Hidroelektrane: protočna, akumulacijska i reverzibilna

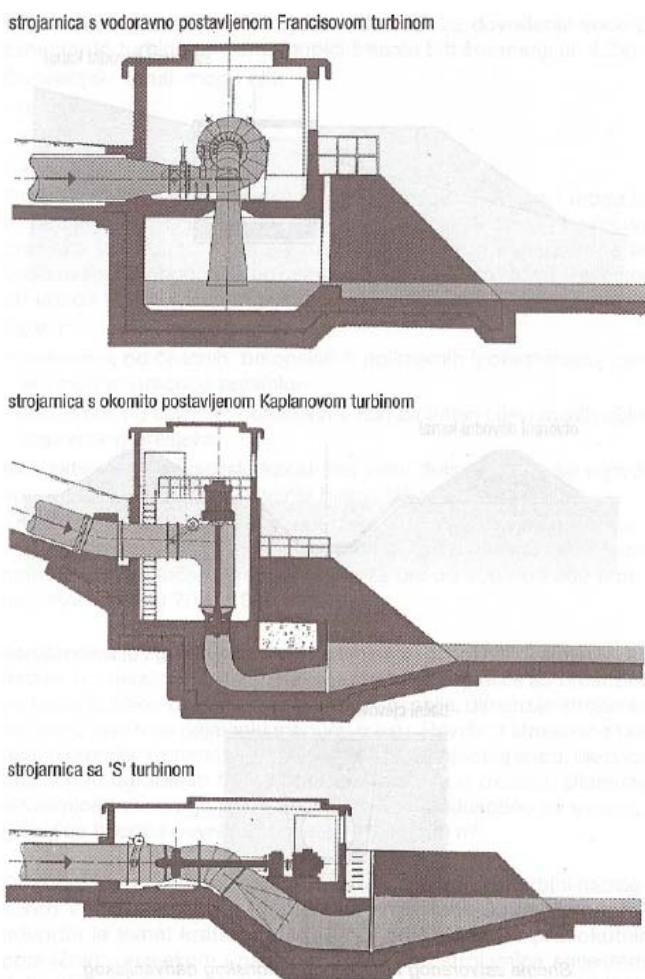
4.3.2. Male hidroelektrane

Male hidroelektrane (općenito do 10 MW, u Hrvatskoj do 5 MW) grade se na manjim vodotocima, kao što su:

- manje rijeke
- potoci
- kanali
- vodoopskrbni sustavi



Slika 4.9. Shema sustava male hidroelektrane

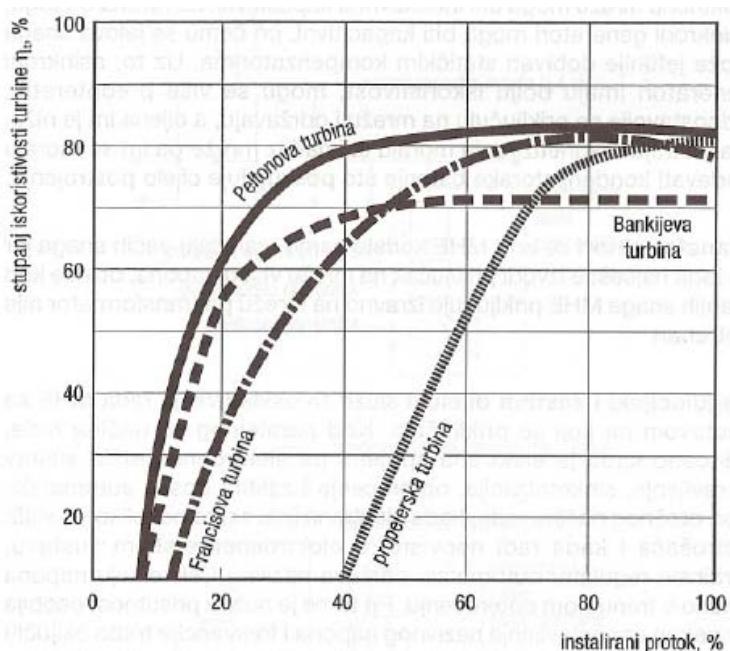


Slika 4.10. Najčešće izvedbe strojarnice

U svijetu je ukupna instalirana snaga malih hidroelektrana oko 50 GW (7% svih HE).

Hidroenergetski potencijal malih hidroelektrana iznosi oko 180 GW (6% ukupnog svjetskog potencijala).

U zemljama EU ukupna instalirana snaga malih hidroelektrana iznosi 9 GW (polovica raspoloživog potencijala), dok je godišnja proizvodnja električne energije oko 30 TWh.



Slika 4.11. Ovisnost stupnja djelovanja pretvorbe energije u rotoru o instaliranom protoku

4.4. Posebne izvedbe hidroelektrana

Posebne elektrane iskorištavaju energiju morskih mijena i morskih valova.

4.4.1. Hidroelektrane na morske mijene

Hidroelektrane na morske mijene koriste prirodnu pojavu kretanja razine mora: plimu i oseku.

Morske mijene nastaju uslijed istodobnog djelovanja gravitacijskih sila Zemlje i Mjeseca, te centrifugalne sile koja je posljedica vrtnje Zemlje i Mjeseca.

Rezultat djelovanja tih sila je da na površini Zemlje dolazi do izobličenja vodenih ploha u obliku elipsoida, što se očituje kao:

- plima: podizanje razine vodenih ploha
- oseka: spuštanje razine vodenih ploha

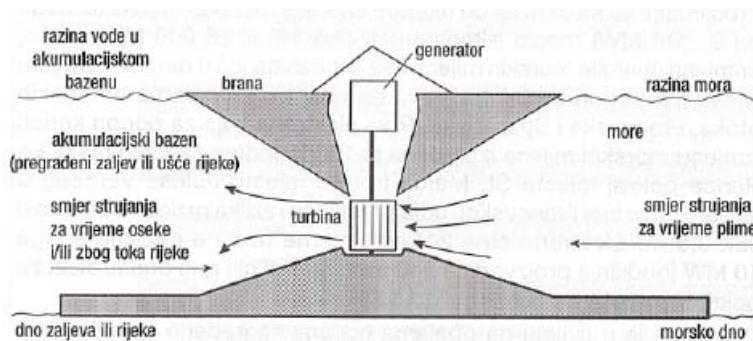
U jednom se danu plima i oseka izmjene dva puta.

Razlika razine plime i oseke na otvorenom moru iznosi oko 1 m, dok na obalama može biti i do 20 m (Atlantik – 10 m; sjeverni Jadran – 60 cm).

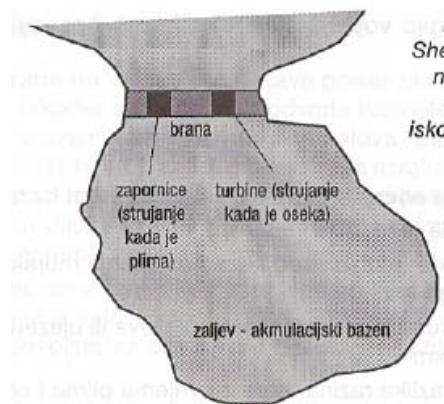
Za iskorištavanje plime i oseke u energetske svrhe njihova visinska razlika treba biti najmanje 5 m.

Procijenjena ukupna energija morskih mijena iznosi između 2 i 3×10^6 MW, dok je realno iskoristiva količina od oko 23.000 MW (oko 1%).

Do danas je u svijetu na obalama oceana sagrađeno nekoliko desetaka hidroelektrana na morske mijene (SAD, Francuska, Kina i Rusija).



Slika 4.12. Pojednostavljena shema hidroelektrane na morske mijene



Slika 4.13. Shema hidroelektrane na morske mijene s jednostrukim iskorištavanjem u zaljevu

Hidroelektrane na morske mijene redovito se grade na ušćima rijeka ili na početku velikih i dugačkih zaljeva.

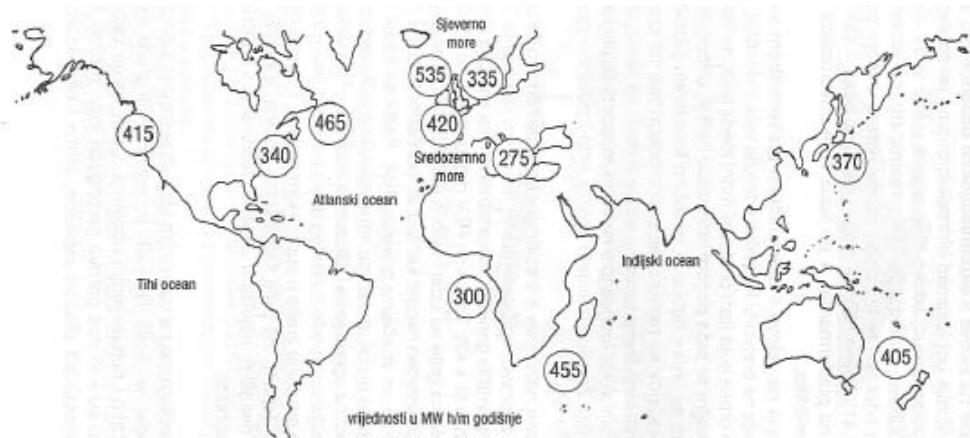
Hidroelektrane na morske mijene se na području Jadranskog mora ne mogu graditi zbog male razlike plime i oseke.

4.4.2. Hidroelektrane na valove

Hidroelektrane na valove temelje se na iskorištavanju energije morskih valova.

Morski valovi su pravilna gibanja mora uzrokovanu djelovanjem vjetra.

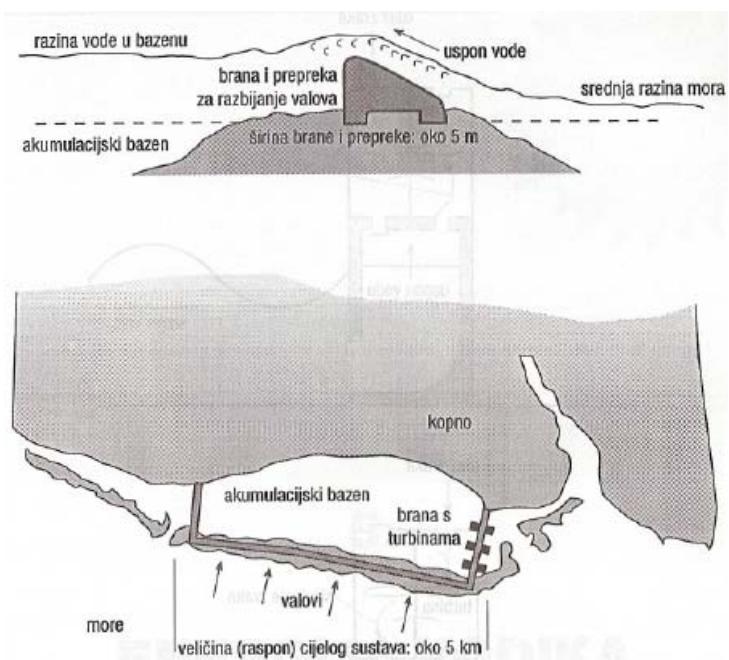
Prema procjeni Svjetskog energetskog vijeća (WEC), na svijetu bi se iz energije valova moglo dobiti 2000 TWh godišnje.



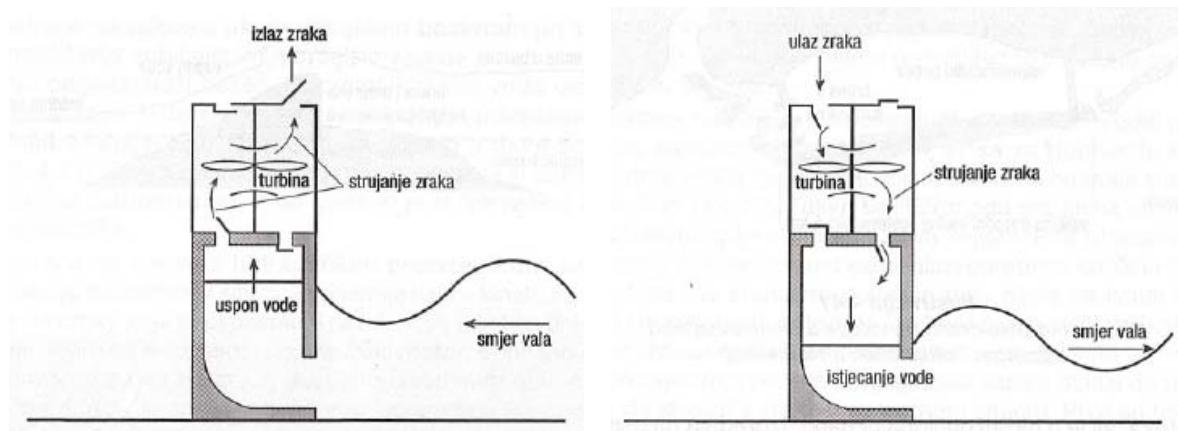
Slika 4.14. Područja s najvećim prosječnim vrijednostima energije valova

S obzirom na način iskorištavanja energije morskih valova, hidroelektrane na valove mogu biti:

- s akumulacijskim bazenom
- s hidrauličkim pretvornikom
- s oscilirajućim stupcem vode



Slika 4.15. Shema hidroelektrane na valove s akumulacijskim bazenom (Toftestallen, Norveška)



Slika 4.16. Pojednostavljeno načelo rada hidroelektrana na valove s oscilirajućim stupcem vode

4.5. Trendovi u svijetu i Hrvatskoj

Prema podacima Međunarodne agencije za energiju (International Energy Agency, IEA), udio iskorištavanja potencijala vodotokova značajno raste u Južnoj Americi, Aziji i Africi.

U Hrvatskoj se danas nešto manje od ukupnih energetskih potreba (oko 46%) pokriva hidroelektranama.

Do danas je izgrađeno i pušteno u pogon 35 hidroelektrana, od čega 20 velikih, 12 malih i 3 hidroelektrane biološkog minimuma.

4.6. Potencijali Hrvatske

U Hrvatskoj se mogući iskoristivi potencijal vodotokova procjenjuje na oko 20 TWh godišnja, a tehnički na oko 12 TWh.

Trenutno se u Hrvatskoj iskorištava tek polovica tehnički iskoristivog potencijala, oko 6,1 TWh godišnje.

Proizvodno područje	Pogon	Elektrane	Tip	Godina puštanja u pogon	Energetski podaci			Godišnja proizvodnja	
					Protok m ³ /s	Pad m	Snaga MW	Prosječna GWh	2003. GWh
Sjever	HE Varaždin	HE Varaždin	derivacijska	1975.	500	21,9	94	450	363,78
	HE Čakovec	HE Čakovec	derivacijska	1982.	500	17,5	76	350	284,7
	HE Dubrava	HE Dubrava	derivacijska	1989.	500	17,5	76	350	284,8
Zapad	HE Rijeka	HE Rijeka	protočna	1968.	21	212,7	36,8	88,1	58,6
	HE Vinodol	HE Vinodol	akumulacijska	1952.	15	645,5	84	162	112
	HE Zeleni Vir		protočna	1921.	4,4	55	1,7	7,6	
	CHE Fužine		crpna		9,9	47	3,9/4,8		
	RHE Lepenica		reverzibilna		5,9	12,22	1,14/1,27		
	HE Senj	HE Senj	derivacijska	1970.	60	410	216	972	883
	HE Sklope		derivacijska	1970.	45	60	22,5	85	66,8
	HE Gojak	HE Gojak	protočna	1959.	50	118	48	194,5	133,5
Samostalni pogon HE Dubrovnik	HE Ozalj		protočna	1908.	85	9,2	5,5	23,9	19,5
Jug	RHE Velebit	RHE Velebit	reverzibilna	1984.	60/40	517/559	276/240	333	338,6
	HE na Krki	HE Golubić	derivacijska	1981.	14	59	6,84	28	16
	MHE Krčić		MHE	1988.			0,35	1,2	0,7
	HE Miljacka		derivacijska	1906.	30	102	24	123	96,9
	HE Jaruga		derivacijska	1903.	31	24,4	5,8	35	14,8
	HE Peruča	HE Peruča	akumulacijska	1960.	120	41	41,6	120	86,98
	HE Orlovac	HE Orlovac	akumulacijska	1974.	70	380	237	360	269,84
	RHE Buško Blato		reverzibilna	1974.			10,8/10,2		
	HE Đale	HE Đale	akumulacijska	1989.	220	21	40,8	157,5	97,19
	HE Kraljevac	HE Kraljevac	Derivacijska/ protočna	1932.	80	108	59,2	40	38,59
	HE Zakučac	HE Zakučac	akumulacijska	1962.	220	250,4	486	1640	1120
Samostalni pogon HE Dubrovnik	HE Dubrovnik		derivacijska	1965.	90	272	216	1430	1189.
	HE Zavrelje		derivacijska	1953.	3	76	2	4	3,95

Ukupno: 2071,93 MW

Napomena: kod RHE i CHE podatak oblika 3,9/4,8 označava snagu 3,9 MW u turbinskom radu i 4,8 MW u pumpnom radu

Male hidroelektrane	Instalirana snaga [MW]		Godina puštanja u pogon
	Po generatoru	Ukupno	
HE Jaruga	2 x 2,8	5,6	1898.
HE Ozalj I	2 x 1 + 2 x 0,8	3,6	1908.
HE Roški Slap *	2 x 0,886	1,772	1910.
HE T.C. "10. kolovoz" Majdan **	2 x 0,6	1,2	1913.
HE Zeleni Vir	2 x 0,85	1,7	1922.
HE P.I. "Duga Resa" **	0,53 + 0,25 + 0,32	1,1	1937.
HE Ozalj II	2 x 1,1	2,2	1952.
HE Zavrelje	1,5	1,5	1953.
HE Čakovec	0,34	0,34	1982.
HE Krčić	0,44	0,44	1988.
HE Dubrava	2 x 0,34	0,68	19889.
HE Finvest I *	4 x 0,315	1,26	1995.
HE Finvest II *	0,03	0,03	1997.
Kupčina 6 - Stančaki *	0,045	0,045	-
Orjava 7 - Požeška Koprivnica*	0,065	0,065	-
Pribranske elektrane biološkog minimuma			
HE Varaždin	0,585	0,585	1975.
HE Čakovec	1,1	1,1	1982.
HE Dubrava	1,12	1,12	1989.
Ukupno		24,337	

5. Energija vodika

5.1. Osnovne značajke

Vodik je najčešći element u Svetomiru i jedan od najčešćih na Zemlji.

Vodik se na Zemlji gotovo isključivo nalazi u vezanom obliku (u raznim kemijskim spojevima).

Kao tvar, vodik je otkriven u 18. stoljeću (1766.g.).

Na sobnoj temperaturi (21°C) i pri atmosferskom tlaku, vodik je u plinovitom stanju, bez boje, bez mirisa i okusa, zapaljiv, ali neutrovan.

Izgaranjem vodika nastaje samo vodena para (usporedba s drugim gorivima).

kemijska formula	H ₂
molarna masa M , kg/kmol	2,016
vreliste t_{v} , °C	-252,78
gustoča pri normalnom vrelisu ρ_{v} , kg/m ³	70,8
toplina isparavanja pri normalnom vrelisu $Q_{\text{ap.v}}$, kJ/kg	460,55
talište t_{t} , °C	-259,2
toplina taljenja $Q_{\text{ap.t}}$, kJ/kg	58,62
kritična temperatura t_{cr} , °C	-239,9
kritični tlak ρ_{cr} , bar	12,94
kritična gustoča ρ_{cr} , kg/m ³	31,0
specifični toplinski kapacitet pri konstantnom tlaku (0°C) c_{p0} , kJ/(kg K)	14,235
adijabatski eksponent (0°C) κ	1,41

Tablica 5.1. Osnovna svojstva vodika pri atmosferskom tlaku

svojstva	vodik	metan	propan
gustoča plina, kg/m ³	0,0084	0,05	2,01
gustoča para, kg/m ³	1,34	1,82	2,42
toplina isparavanja, kJ/dm ³	31,8	215	248
difuzijski koeficijent na zraku, cm ² /s	0,61	0,16	0,12
koeficijent toplinske vodljivosti u plinovitom stanju, mW/(cm K)	1,897	0,33	0,18
područje zapaljivosti na zraku, % (vol)	4 - 75	5 - 15	2,1 - 9,5
temperatura zapaljenja, °C	585	540	487
najmanja energija zapaljenja, mJ	0,02	0,3	0,26
najveća brzina izgaranja na zraku, m/s	3,46	0,43	0,47
područje detonacije na zraku, % (vol)	18 - 59	6,3-14	-
stehiometrijski udio na zraku, % (vol)	29,5	9,5	4,0

Tablica 5.2. Usporedba svojstava vodika, metana (prirodni plin) i propana (ukapljeni naftni plin)

Još je Jules Verne u svojoj knjizi "Tajanstveni otok" (1870.g.) napisao:

"Voda, razložena na svoje osnovne sastojke, postati će moćna i ukrotiva sila. Da, vjerujem da će se voda jednog dana koristiti kao gorivo, da će njezini sastojci, vodik i kisik, predstavljati neiscrpan izvor topline i svjetla i to mnogo snažniji od ugljena... Vjerujem da

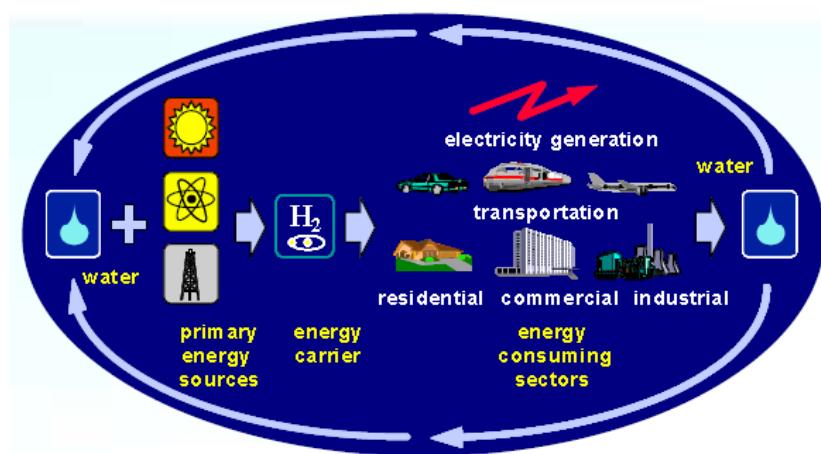
će se jednom, kad se iscrpe nalazišta ugljena, svijet grijati vodom. Voda će postati ugljen budućnosti".

5.2. Pretvorba energije vodika

Vodik se smatra jednim od najozbiljnijih kandidata za gorivo budućnosti.

Prednosti vodika kao goriva su:

- obnovljivo je gorivo
- može se proizvesti iz vode
- rezultat uporabe vodika je opet voda
- može se pretvoriti u korisne oblike energije na nekoliko načina
- pretvorba vodika se odvija uz visoku efikasnost
- nema štetnih posljedica na okoliš
- lako se može povezati s ostalim obnovljivim izvorima energije u energetski sustav



Slika 5.1. Energetski zatvoren krug vodika: od vode do vode

Najrealniji način proizvodnje vodika je onaj iz obnovljivih izvora energije korištenjem vode (H_2O) kao sirovine, čime se stvara "čist i održivi" energetski sustav.

Postupci proizvodnje vodika iz vode obuhvaćaju:

- elektrolizu
- termolizu
- termokemijske reakcije
- fotokemijske i biološke procese

Među njima, jedino je elektroliza vode tehnološki razvijena i praktički primjenjiva.

Međutim, danas se vodik najviše proizvodi reformacijom prirodnog plina, te iz nafte, naftnih derivata i ugljena (i kao sirovina i kao izvor energije).

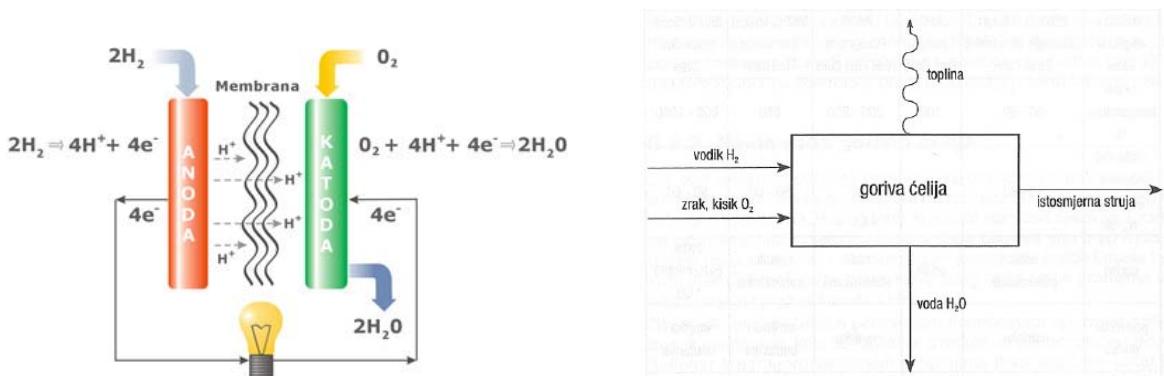
5.3. Gorivne ćelije

Gorivne ćelije su elektrokemijski pretvarači energije koji iz kemijske energije goriva izravno proizvode električnu (i toplinsku) energiju.

Načelo rada gorivnih ćelija otkriveno je u 19. stoljeću (1839.g.), dok su prvi put u praksi primjenjene u svemirskim programima Gemini i Apollo (komercijalizacija – krajem 20. stoljeća).

Gorivne ćelije su po svom načelu rada slične baterijama, ali za razliku od njih zahtijevaju stalni dovod goriva i kisika, čije reakcije rezultat je voda.

Kao gorivo može se koristiti vodik, sintetski plin (smjesa vodika i ugljičnog dioksida), prirodni plin ili metanol.



Slika 5.2. Pojednostavljena shema rada gorivne ćelije

U glavne prednosti gorivnih ćelija ubraju se:

- visoki stupanj djelovanja (oko 50%)
- pretvorba energije bez pokretnih dijelova
- mala razina buke
- nikakve ili vrlo male količine štetnih ispušnih plinova

5.4. Primjena vodika i gorivnih ćelija

Vodik kao gorivo ima mnogobrojne primjene, kao što su:

- svemirski pogon (trenutno je nezamjenjiv)
- zračni promet
- za pogon vozila i plovila (kao zamjena benzinu i naftnim gorivima)
- za centraliziranu i decentraliziranu opskrbu toplinskom i električnom energijom

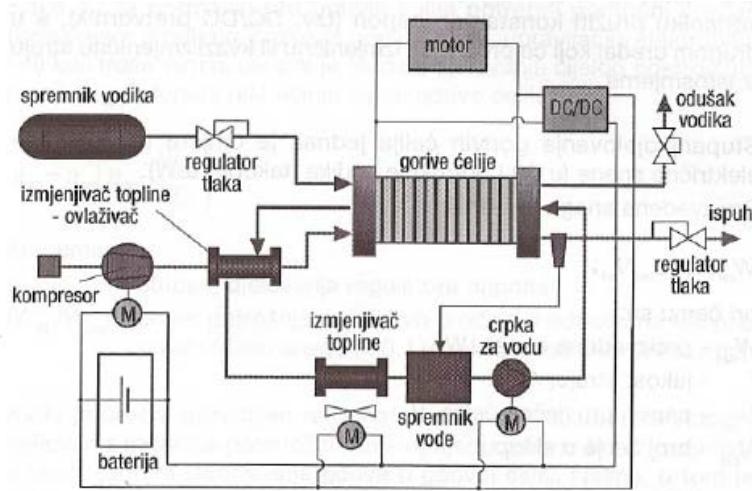
U sustavima korištenja obnovljivih izvora energije, kao što su fotonaponski moduli ili vjetroelektrane, vodik se može koristiti kao sredstvo za pohranjivanje energije.

Pri tome se sav višak energije, koji je raspoloživ iz obnovljivih izvora energije a u danom trenutku potreban, može upotrijebiti za proizvodnju vodika.

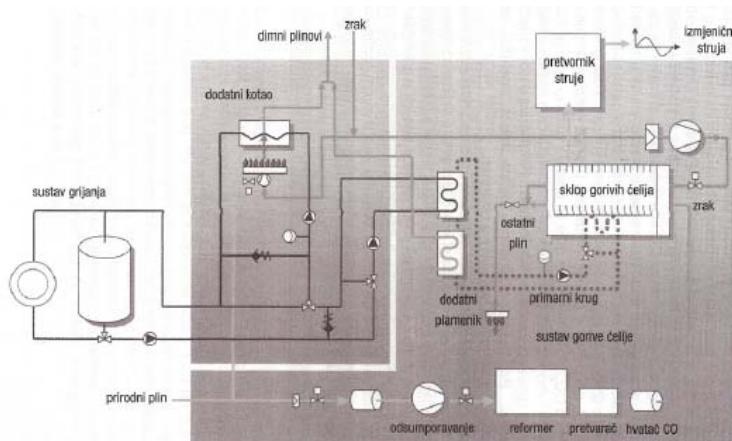
Tako proizveden vodik se može koristiti kao gorivo za pogon automobila, grijanje, kuhanje ili za proizvodnju električne energije u postupku obrnutom od elektrolize, u gorivnim ćelijama.



Slika 5.3. Prototipovi vozila na gorivne ćelije poznatih svjetskih proizvođača



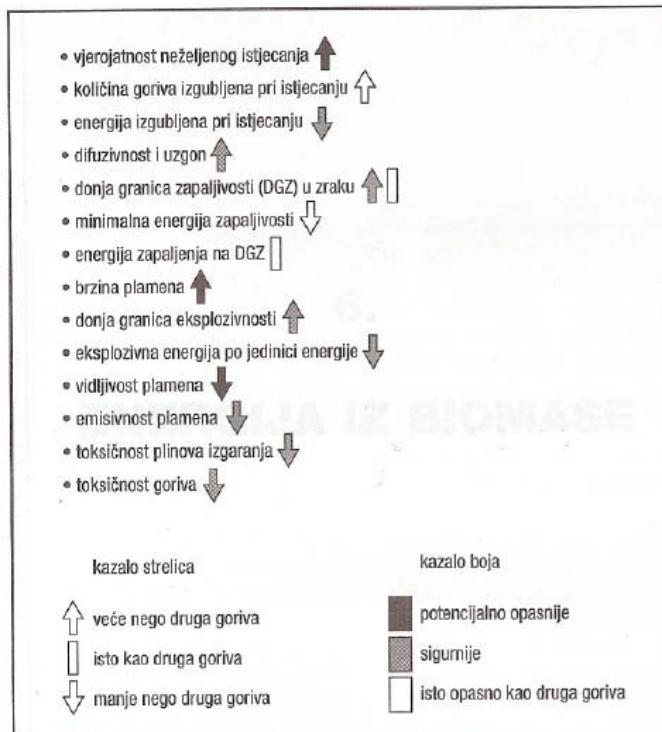
Slika 5.4. Shema postrojenja gorivnih ćelija



Slika 5.5. Shema djelovanja kotla s gorivnim ćelijama u sustavu grijanja

Vodik, kao i svako drugo gorivo, može biti opasan ako se na poštuju osnovna pravila pri rukovanju, skladištenju i uporabi.

U usporedbi s drugim gorivima, neka od svojstava čine vodik opasnijim, dok neka pak značajno sigurnijim.



Slika 5.6. Sigurnosne značajke vodika

5.5. Ekonomski parametri

Iako već u upotrebi, a kako bi bile komercijalno dostupne, tehnologije korištenja vodika se kontinuirano istražuju i razvijaju.

Ekonomija vodika u sprezi s ostalim obnovljivim izvorima energije, prvenstveno s vjetrom i suncem, postaje interesantna.

5.6. Trendovi u svijetu i Hrvatskoj

DISKUSIJA:

- UN – UNIDO
- ERA
- Energetski neovisni otoci
 - Island
 - Havaji (SAD)
 - Samso (Danska)
 - Vashon-Maury Island (Washington, SAD)

- Otoci – poligoni za primjenu
 - Havaji (SAD)
 - Lolland (Danska)
 - Canary Islands (Španjolska)

6. Energija iz biomase

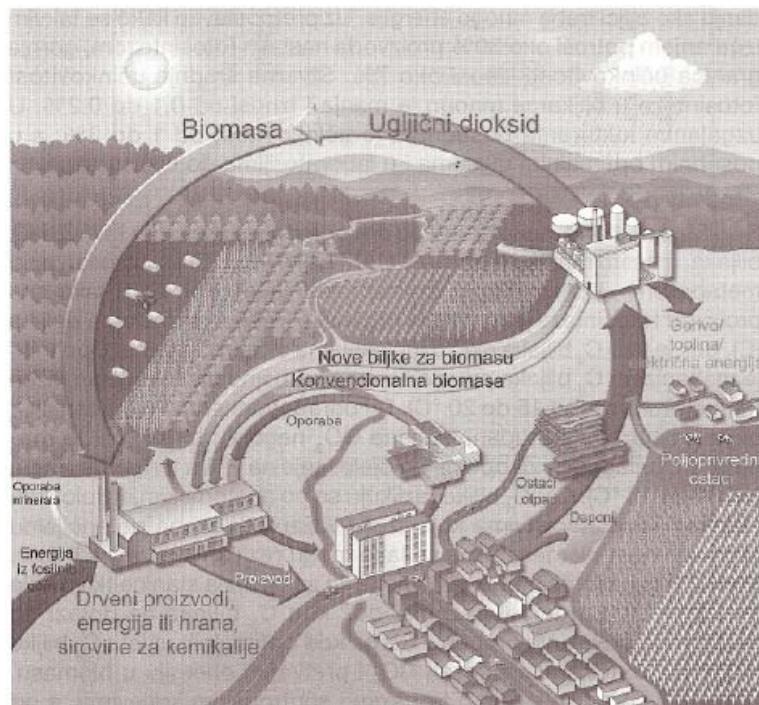
6.1. Osnovne značajke

Biomasa je gorivo koje se dobiva od biljaka ili dijelova biljaka kao što su drvo, slama, stabljike žitarica, ljuštura, itd.

Biomasa je obnovljivi izvor energije, a općenito se može podijeliti na:

- drvnu (otpadno drvo, ostaci iz šumarstva, uzgojena biomasa – brzorastuće drvo)
- nedrvnu (brzorastuće alge i trava, ostaci i otpaci iz poljoprivrede)
- životinjski otpad

Primjena biomase je prihvatljiva uvažavajući načelo održivog razvoja.



Slika 6.1. Kruženje CO_2 , nastajanje i primjena biomase

Najčešće se koristi drvna masa koja je nastala kao sporedni proizvod ili otpad (ostaci iz drvo prerađivačke industrije, poljoprivrede, ostaci rezidbe i održavanja šuma, itd.).

Osim toga, postoji veliki broj biljnih vrsta koje se mogu uzgajati u energetske svrhe (brzorastuće drveće, zelene alge, kineski šaš ili slonovska trava, itd.).

6.2. Pretvorba energije iz biomase

Proizvod fotosinteze biljaka – hrana ali i gorivo.

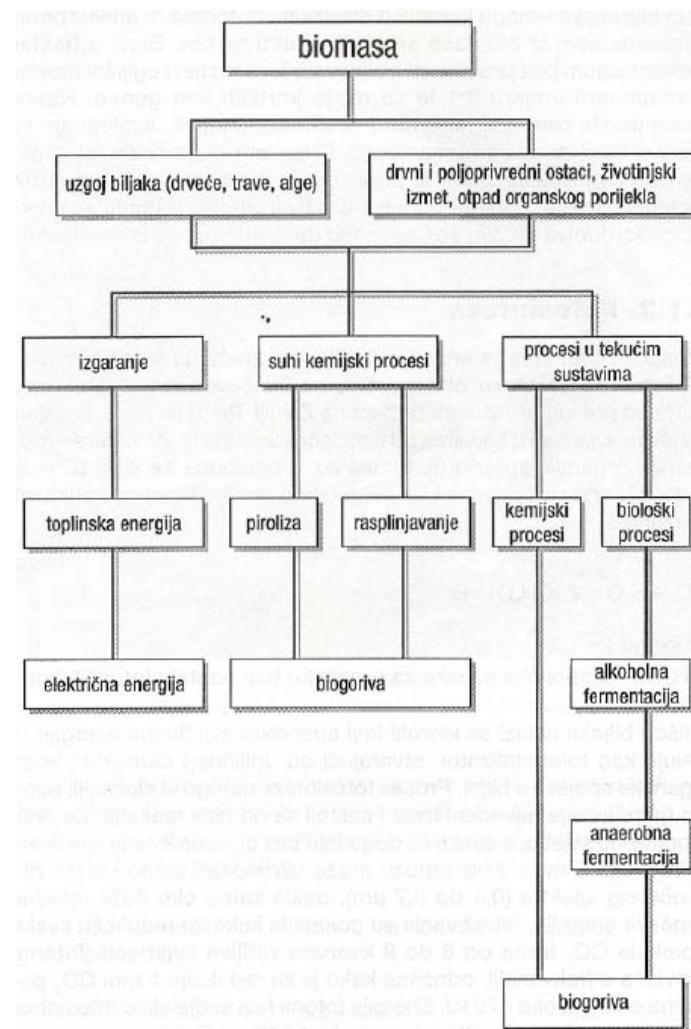
"Biomasa je energija Sunčevog zračenja transformirana procesom fotosinteze".

Godišnje se na Zemlji fotosintezom proizvede oko 2×10^{11} tona organske tvari (biomase), što energetski iznosi oko 3×10^{21} J (nekoliko puta više od svjetske potrebe za energijom).

Do intenzivne upotrebe fosilnih goriva, drvo je bilo primaran i gotovo jednini izvor energije.

Postoje razni načini na koje se može dobiti energija iz biomase, kao što su:

- izravna pretvorba u energiju (izgaranjem – proizvodnja topline i električne energije)
- pretvorba u kruta, tekuća ili plinovita goriva koja se koriste za daljnju proizvodnju energije



Slika 6.2. Shema proizvodnje energije iz biomase

Energetski sadržaj biomase, kao i kod drugih goriva, može se prikazati njihovom ogrjevnom vrijednošću (gornja i donja ogrjevna vrijednost).

DISKUSIJA:

Kalorimetar – uvjeti mjerjenja – produkti izgaranja – vлага u parovitom ili kapljevitom agregatnom stanju – toplina isparavanja – gornja i donja ogrjevna vrijednost.

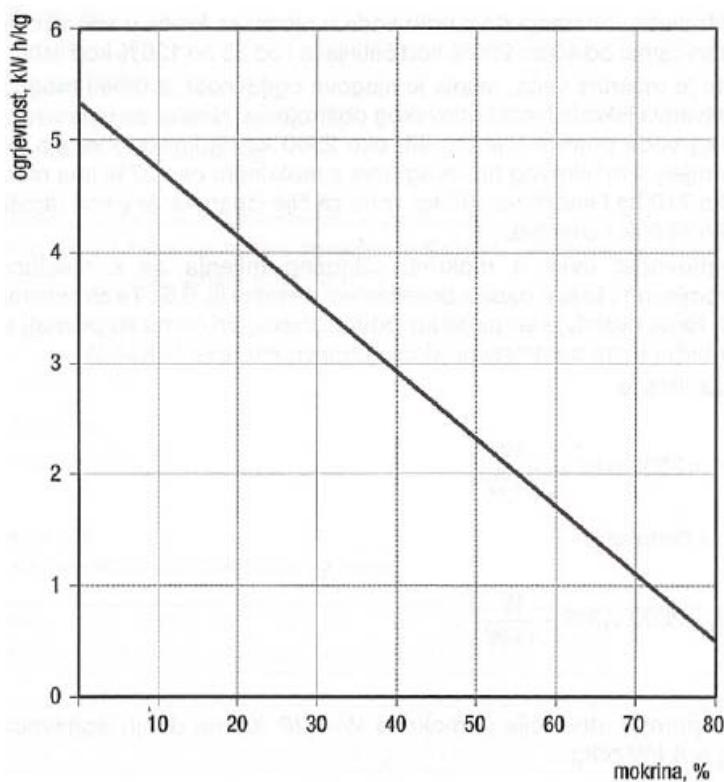
Gornja ogrjevna vrijednost – ona količina topline koja nastaje potpunim izgaranjem jedinične količine goriva, pri čemu se dimni plinovi ohlade na temperaturu 25°C, a vлага se iz njih izluči kao kondenzat.

Donja ogrjevna vrijednost – ona količina topline koja nastaje potpunim izgaranjem jedinične količine goriva, pri čemu se dimni plinovi ohlade na temperaturu 25°C, a vлага u njima ostaje u parovitom stanju pa toplina kondenzata ostaje neiskorištena.

Za isparavanje 1 kg vode potrebno je utrošiti oko 2.500 kJ toplinske energije.

6.2.1. Drvna biomasa

Najveći utjecaj na ogrjevnu vrijednost drvne biomase ima vlažnost (udio vlage), zatim kemijski sastav, gustoća i zdravost drveta.



Slika 6.3. Ovisnost ogrjevne vrijednosti drva o vlažnosti

Vlažnost (udio vlage) se izražava kao udio mase vode u cijelokupnoj masi mokrog drva (W, %).

Sirovo drvo ima udio vlage $\geq 40\%$, dok posve suho drvo ima = 0% (1 m^3 sirovog bukovog drva s udjelom vlage oko 37% ima masu oko 710 kg i sadržava 192 kg vode).

Elementarni sastav suhe drvne tvari gotovo je jednak za sve vrste drveta, i to:

- 49% ugljika (C)
- 6,3% vodika (H)
- 44,1% kisika (O)

vrsta goriva	udjeli, %		
	C	H	O
drvo	50	6	44
treset	60	6	34
lignite	63	5	32
mrki ugljen	66	5	29
masni kameni ugljen	80	5	15
posni kameni ugljen	85	5	10
antracit	90	2	5

Tablica 6.1. Pojednostavljeni sastav drva i nekih ugljena

Znajući maseni udio pojedinog elementa (C, H, O), može se približno izračunati donja ogrjevna vrijednost drva.

gorivo, količina	donja ogrjevnost,		mokrina W , %	ogrjevni odnos (drvo = 1)
	MJ	kW h		
loživo ulje, kg	42 (36 MJ/l)	11,67	-	2,78
kameni uljen, kg	29	8,06	5	1,95
koksi, kg	29	8,06	5	1,95
mrki ugljen, kg	13,6	3,78	25	0,9
prirodni plin, m ³	37	10,28	-	-
treset, kg	13,3	3,69	32	0,86
slama, kg	14	3,89	15	0,95
drvo, kg	15,1	4,19	15	1

Tablica 6.2. Usporedba drva s drugim gorivima

6.2.2. Nedrvna biomasa

vrsta nedrvne biomase	H_p , MJ/kg	udjeli sastojaka,								
		pepo	C	H	N	S	O	P	K	Mg
bambus	15,85	3,98	-	-	-	-	-	-	-	-
ječam, cijela biljka	17,6	3,7	46,1	6,63	1,24	0,11	42	7,6	15,4	2,5
silirani kukuruz	17,1	5,5	47,3	7,54	1,85	0,43	39	-	-	-
kukuruzovina	16,8	5,3	45,6	5,4	0,3	0,04	43	2,2	21,8	4,3
slama uljane repice	17	6,5	48,3	6,3	0,7	0,2	38	-	-	-
pšenica, cijela biljka	16,99	3,6	46,5	6,84	1,71	0,13	41	5,8	14,5	2
slama pšenice	17,1	5,3	46,7	6,3	0,4	0,01	41	3,1	17	1,5

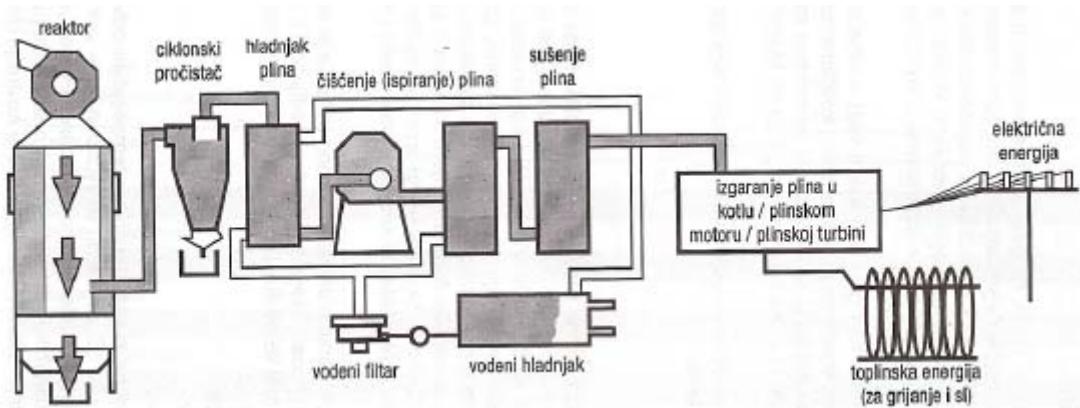
Tablica 6.3. Karakteristike nedrvne biomase

6.2.3. Bioplín

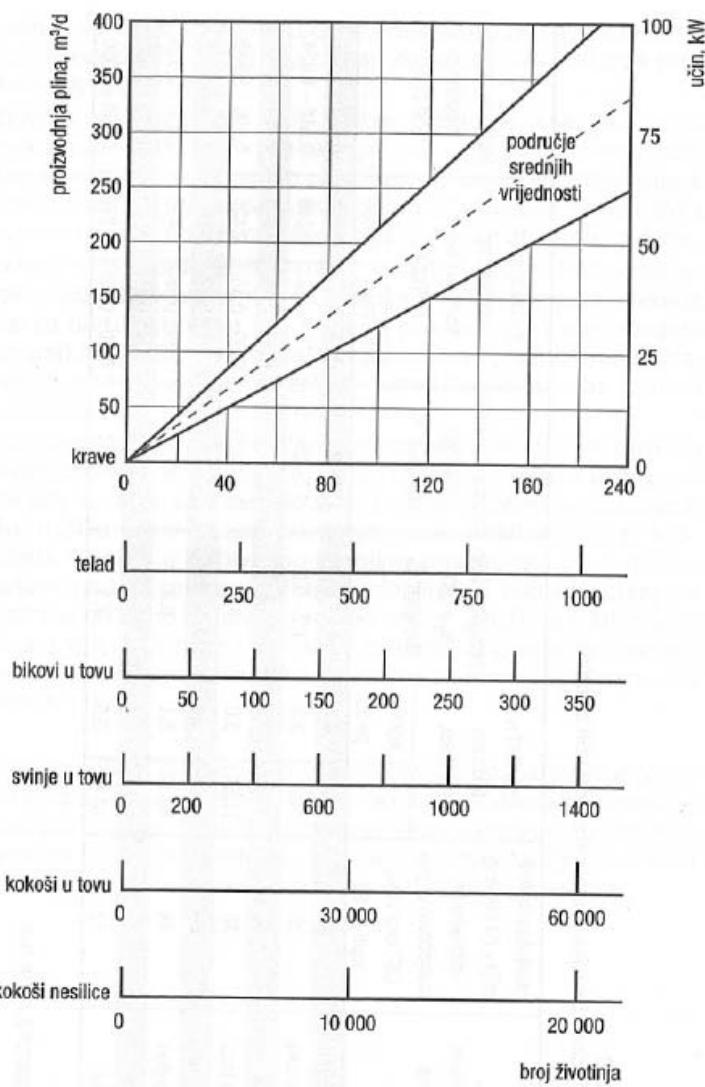
Bioplín nastaje procesom anaerobnog (bakterijska razgradnja) truljenja biomase.

Bioplín se najčešće sastoji od oko 60% metana (CH_4), 35% ugljičnog dioksida (CO_2), te 5% smjese vodika (H_2), dušika (N_2), amonijaka (NH_3), sumporovodika (S_xH_y), ugljičnog monoksida (CO), kisika (O_2) i vodene pare (H_2O).

Bioplín se koristi za dobivanje toplinske i električne energije izgaranjem u kotlovima, plinskim motorima ili turbinama.



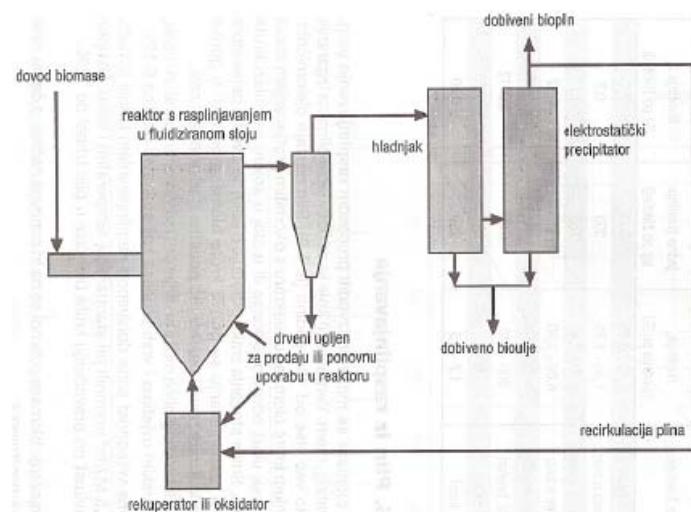
Slika 6.4. Pojednostavljena shema sustava za dobivanje i primjenu bioplina



Slika 6.5. Ovisnost proizvodnje bioplina o vrsti i broju domaćih životinja

6.2.4. Plin iz rasplinjavanja

Plin iz biomase se može proizvoditi procesom rasplinjavanja, odnosno djelomičnim izgaranjem krute biomase.



Slika 6.6. Pojednostavljena shema sustava za dobivanje plina iz rasplinjavanja

Pri rasplinjavanju se goriva kruta biomasa prevodi u gorive plinove koji sadržavaju najveći dio početne gorive vrijednosti (učinkovitost rasplinjavanja iznosi oko 72%).

Sastav plina dobivenog, na primjer, rasplinjavanjem drvenog ugljena čine: 63,0% dušika, 28,7% ugljičnog monoksida, 3,8% vodika, 3,0% ugljičnog dioksida, 0,9% kisika, 0,2% metana, te 0,4% ostali ugljikovodici.

6.2.5. Alkoholna goriva

Alkoholna goriva su etanol i metanol.

Etanol se proizvodi od tri osnovne vrste biomase:

- šećera (od šećerne trske, melase)
- škroba (od kukuruza)
- celuloze (od drva, poljoprivrednih ostataka)

Osnovne faze u procesu proizvodnje etanola su: priprema sirovine, fermentacija i destilacija etanola.

Metanol se proizvodi iz drva i ostataka iz poljoprivrede (obje sirovine imaju visoki udio celuloze).

Osnovne faze u procesu proizvodnje metanola su: konvertiranje sirovine u plinoviti međuproizvod, sintetiziranje plinovitog međuproizvoda u metanol (prva faza proizvodnje je još u razvoju).

svojstvo	etanol	metanol	benzin
gustoća, kg/m ³	789	793	720 - 750
ogrjevna vrijednost, MJ/kg	21,3 - 29,7	15,6 - 22,3	32,0 - 46,47
stehiometrijski omjer zraka i goriva, kg/kg	9,0	6,5	14,6
temperatura vrenja kod 1 bar, °C	7,5	65	30,23
stupanj viskoznosti	-	0,58	0,6
oktanski broj	106	112	91 - 100

Tablica 6.4. Usporedba svojstava alkoholnih goriva i benzina

Etanol se može koristiti u motorima s unutarnjim izgaranjem uz dodavanje benzina ili kao njegova potpuna zamjena.

Pri dodavanju do 20% etanola u benzin nisu potrebne nikakve preinake ni zahvati na motoru.

Pri dodavanju većeg udjela etanola, ili pri potpunoj zamjeni benzina etanolom, potrebne su djelomične modifikacije motora (5-10% skuplja izvedba).

Slično je i s metanolom, uz dodatak određenih aditiva.

6.2.6. Biodizel

Biodizel ili metilni ester repičinog ulja dobiva se od ulja uljane repice ili recikliranog otpadnog jestivog ulja.

Biodizel je sličan mineralnom dizelu, odnosno, kemijski se opisuje kao monoalkoholni ester.

DISKUSIJA:

proces esterifikacije – metanol – skladištenje – metilni ester repičinog ulja – karakteristike

svojstvo	dizel	suncokretovo ulje	suncokretov metilni ester	repičino ulje	repičin metilni ester
gustoća, kg/dm ³	0,835	0,924	0,880	0,916	0,88
viskoznost, cSt					
- pri 20 °C	5,1	65,8	-	77,8	7,5
- pri 50 °C	2,6	34,9	4,22	25,7	3,8
energija izgaranja, MJ/dm ³	35,4	34,1	33,0	34,3	33,1
cetanski broj	> 45	33	45 - 51	44 - 51	52 - 56
ostatak ugljika, %	0,15	0,42	0,05	0,25	0,02
udio sumpora, %	0,29	0,01	0,01	0,002	0,002

Tablica 6.5. Svojstva biljnih ulja i metilnih estera u usporedbi s mineralnim dizelom

Prvo vozilo s pogonom na biljno ulje predstavljeno je još 1900. godine, kada je na Svjetskoj izložbi u Parizu Rudolf Diesel predstavio vozilo na ulje od kikirikija.

Danas se dizelsko gorivo nerijetko miješa s metilnim esterom biljnog ulja (20, 30 pa i 100%).

6.2.7. Utjecaj primjene biomase na okoliš

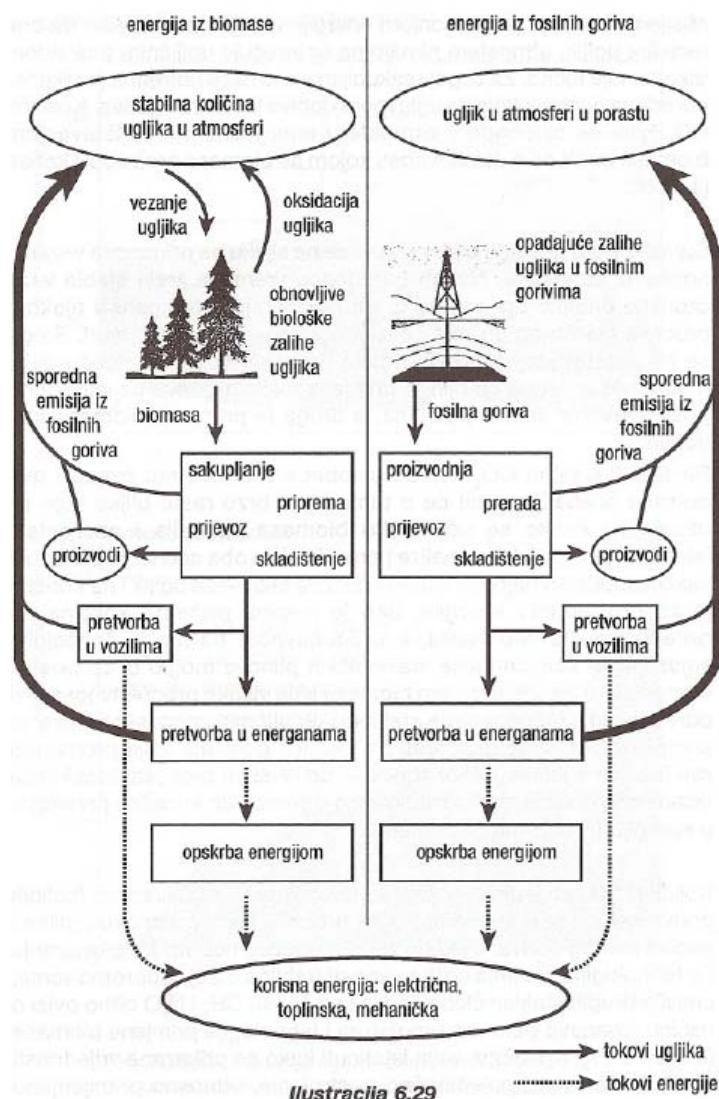
Osim važnosti procesa pretvorbe energije iz biomase, važan je i utjecaj tog procesa na okoliš.

Na prvi se pogled upotreba biomasa i fosilnih goriva ne razlikuje, jer se spaljivanjem u oba slučaja oslobađa ugljični dioksid.

Takva pretpostavka je točna ako se na tlu s kojeg je biomasa sakupljena ne sade nove biljke, odnosno ako ne postoji sustavna obnova biomase.

U slučaju ako se biomasa proizvodi održivo tada će rast stabala i drugih biljaka ponovo vezati ugljični dioksid iz atmosfere i pohraniti ga u biljnu strukturu.

Sagledavajući cijelokupni proces proizvodnje energije iz biomase (uzgoj, sakupljanje, priprema i korištenje biomase – životni ciklus), ipak dolazi do povećanja emisija ugljičnog dioksida.



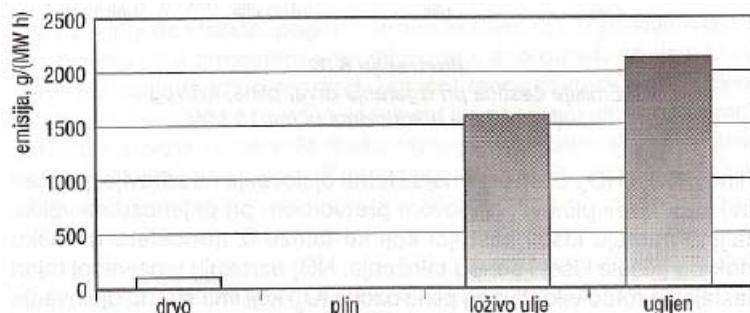
Ilustracija 6.29

Slika 6.7. Shema toka ugljika pri primjeni energije iz biomase i fosilnih goriva

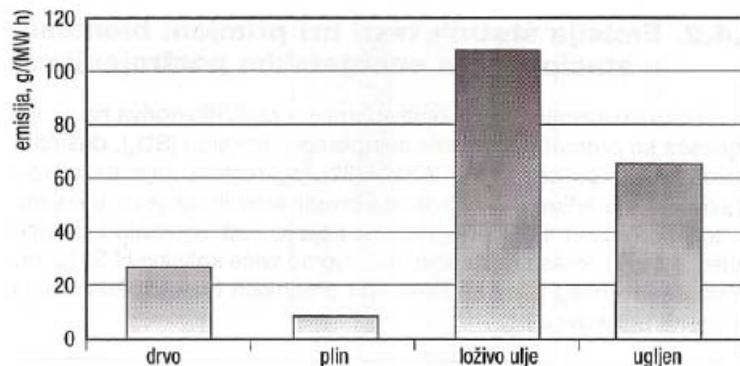
gorivo	biomasa - iverje	prirodni plin	ugljen	treset	mazut	lako loživo ulje	električna energija iz javne mreže
način izgaranja	emisija, t/TJ (t ekvivalenta CO ₂ po TJ korisne energije)						
mała ložista (5 - 20 kW)	8	-	-	-	-	-	140
centralno grijanje (10 - 350 kW)	7	90	175	-	110	-	125
područno grijanje (0,35 - 100 MW)	8	95	150	140	120	-	130
kogeneracija (0,5 - 300 MW)	5	85	145	150	-	110	-
elektrane (10 - 150 MW)	12	140	275	325	-	-	-

Tablica 6.6. Usporedba ukupne prosječne emisije kod primjene biomase i fosilnih goriva uz različite tehnologije za pretvorbu energije

Pri procjeni utjecaja korištenja pojedinog goriva na okoliš, osim emisije ugljičnog dioksida, promatraju se i emisija sumpornog dioksida (SO₂), dušičnih oksida (NO_x) i čestica.



Slika 6.8. Emisija SO₂ pri izgaranju drva, plina, loživog ulja i ugljena u kotlovima nazivne snage 10 MW



Slika 6.9. Emisija čestica pri izgaranju drva, plina, loživog ulja i ugljena u kotlovima nazivne snage 10 MW

6.3. Općenito o izgaranju

Osnovni proces kojim se energija sadržana u biomasi pretvara u druge oblike korisne energije je izgaranje.

Izgaranje je proces kod kojeg dolazi do oksidacije gorivih sastojaka goriva uz oslobođanje topline.

Produkte izgaranja čine dimni plinovi i pepeo koji se sastoje od neizgorivih dijelova goriva.

Proces izgaranje se odvija u za to posebno prilagođenom prostoru koji se naziva ložištem.



Slika 6.10. Shema tehničkog ložišta

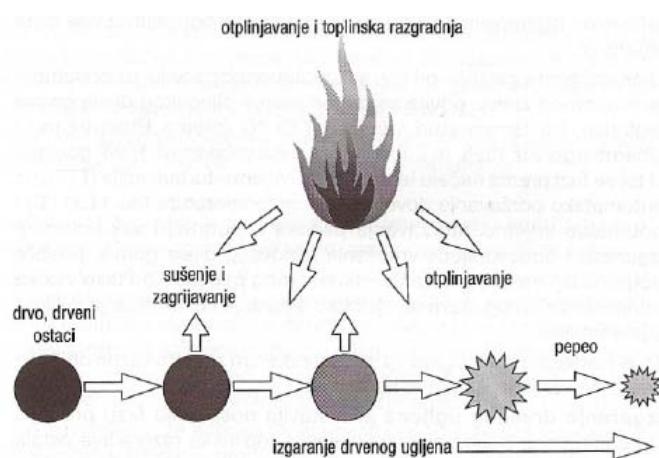
Potpuno izgaranje je ono kod kojeg svi izgorivi sastojci goriva (C, H, S) potpuno izgore (oksidiraju) u konačne produkte izgaranja (CO_2 , H_2O , SO_2).

Nepotpuno izgaranje je ono kod kojeg dimni plinovi sadržavaju još izgorivih sastojaka (na primjer CO koji još može oksidirati u CO_2).

Nepotpuno izgaranje nastaje u uvjetima smanjene količine zraka, u odnosu na potrebnu, odnosno u slučajevima kada uslijed loše cirkulacije zrak nije dostupan u svim dijelovima ložišta.

Izgaranje drva se odvija u tri faze:

- faza 1: zagrijavanje i sušenje drva do 100°C
- faza 2: otplinjavanje i toplinska razgradnja (piroliza) na više od 100°C
- faza 3: izgaranje drvenog ugljena



Slika 6.11. Pojednostavljena shema izgaranja drva

DISKUSIJA:

Gorivo – kisik – izgaranje – stehiometrija – produkti izgaranja – uvjeti

jednadžba reakcije	molna bilanca tvari	masena bilanca tvari
$C + O_2 \rightarrow SO_2$	$1 \text{ kmol C} + 1 \text{ kmol } O_2 = 1 \text{ kmol } CO_2$	$1 \text{ kg C} + 2,666 \text{ kg } O_2 = 3,666 \text{ kg } CO_2$
$H_2 + 1/2O_2 \rightarrow H_2O$	$1 \text{ kmol } H_2 + 1 \text{ kmol } O_2 = 1 \text{ kmol } H_2O$	$1 \text{ kg } H_2 + 8 \text{ kg } O_2 = 9 \text{ kg } H_2O$
$S + O_2 \rightarrow SO_2$	$1 \text{ kmol S} + 1 \text{ kmol } O_2 = 1 \text{ kmol } SO_2$	$1 \text{ kg S} + 1 \text{ kg } O_2 = 2 \text{ kg } SO_2$

Tablica 6.7. Jednadžbe izgaranja

6.4. Tehnologije za primjenu energije iz biomase

Osnovni sustav za korištenje biomase čine kotlovi različitih nazivnih učina i namjene.

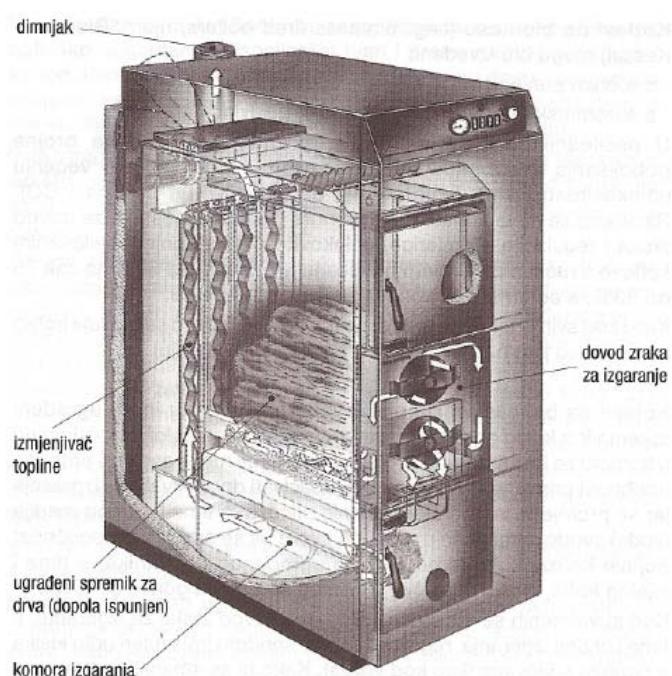
Kotlovi manjih učina koriste se za kućanstva, pojedine stambene i poslovne zgrade.

Kotlovi mogu biti izvedeni:

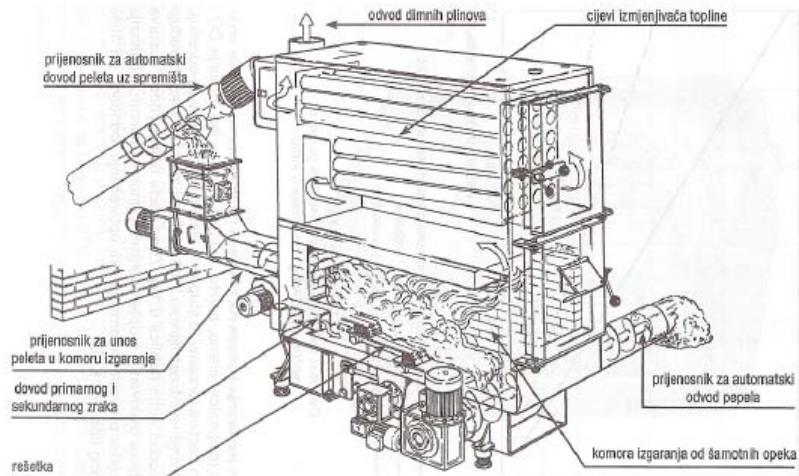
- s ručnim punjenjem (za cjepanice)
- s automatskim punjenjem (za pelete, piljevinu i slično)

U posljednjih dvadesetak godina postignuta su brojna poboljšanja u izvedbi kotlova na biomasu, čime je povećana učinkovitost kotlova a smanjene štetne emisije (čvrste čestice i ugljični monoksid).

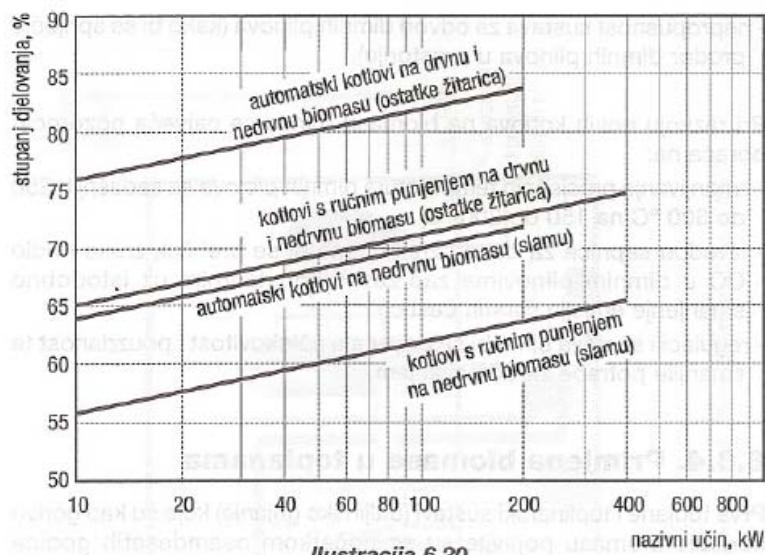
Tako je na primjer učinkovitost kotlova s ručnim punjenjem povećana s 50% na 75-90%, dok kotlova s automatskim punjenjem s 60 na 85-92%.



Slika 6.12. Kotao s ručnim punjenjem

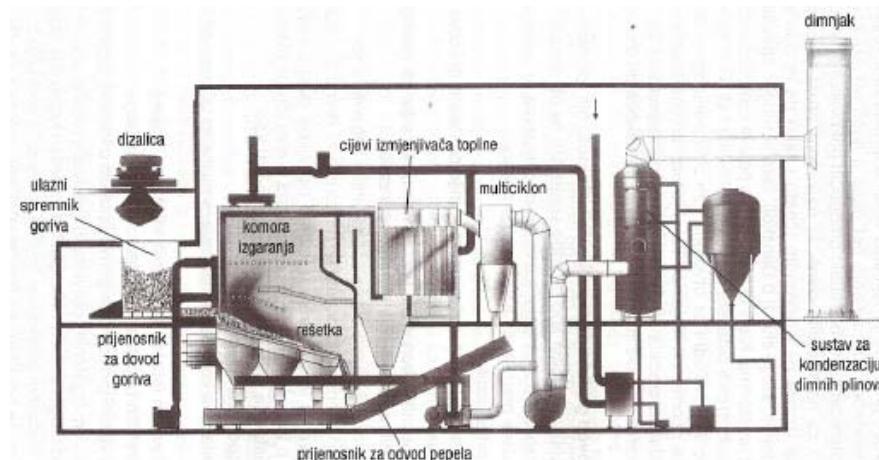


Slika 6.13. Kotao s automatskim punjenjem



Slika 6.14. Ovisnost stupnjeva djelovanja o nazivnom učinu kotlova na biomasu

Kotlovi velikih kapaciteta koriste se u toplanama na biomasu (daljinsko grijanje).

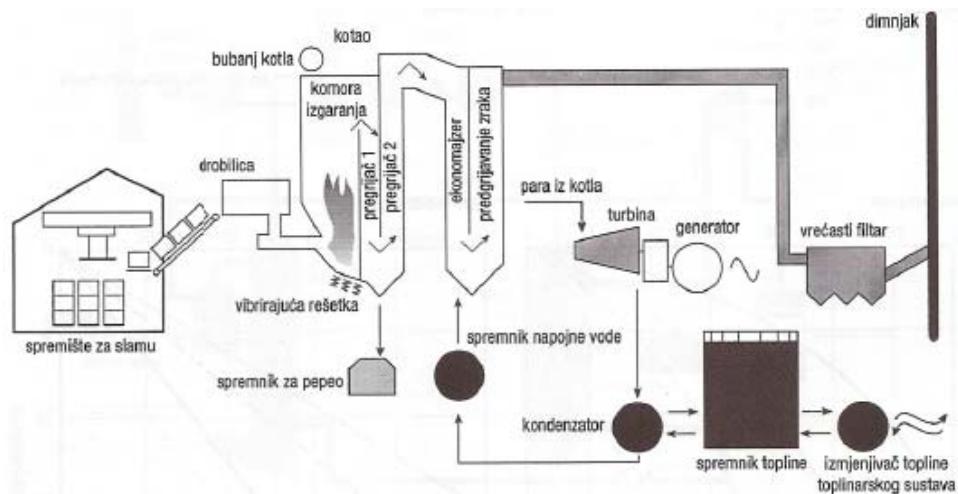


Slika 6.15. Shema toplane na biomasu (Danska, kotao učina 4 MW)

Osim toplana na biomasu za dobivanje toplinske energije, sve se više grade postrojenja na biomasu za dobivanje električne energije.

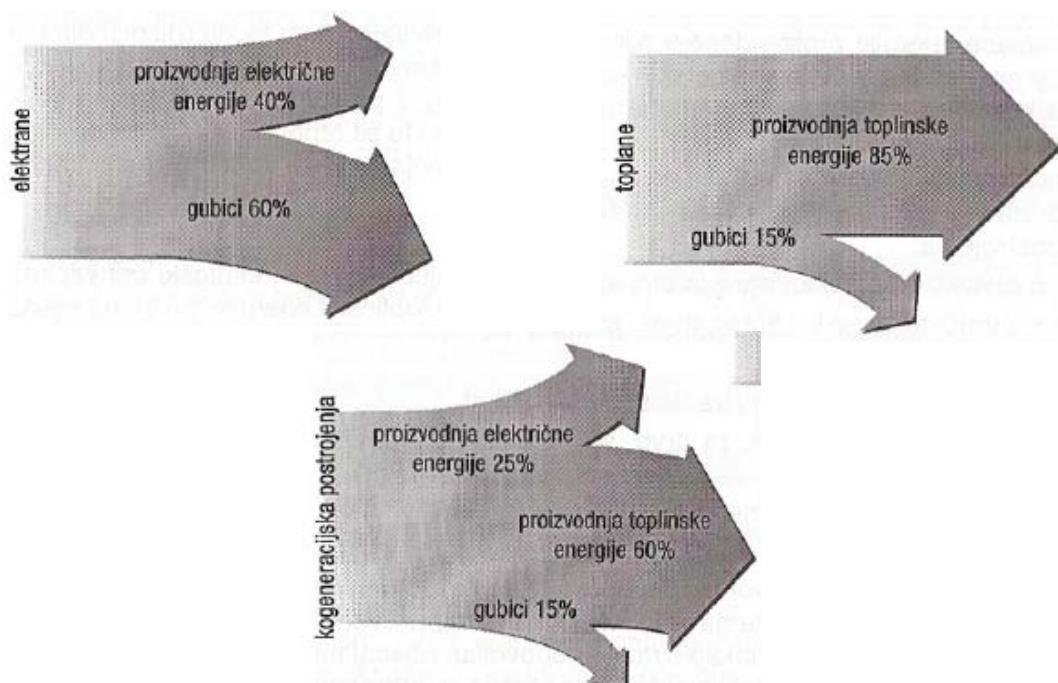
Kogeneracijska postrojenja koriste se za istodobnu proizvodnju toplinske i električne energije.

Kogeneracijska postrojenja se izvode od malih samostalnih sustava pa do velikih sustava snage 1200 MW.



Slika 6.16. Shema kogeneracijske elektrane na nedrvnu biomasu (slama)

Kod konvencionalnih postrojenja za proizvodnju električne energije ukupni stupanj iskorištenja se kreće između 40-50%, dok kod kogeneracijskih postrojenja iznosi i do 93%.



Slika 6.17. Odnos proizvedene energije i gubitaka pri odvojenoj proizvodnji električne i toplinske energije i kogeneracije

Za energetsku primjenu biomase posebno su pogodna mala kogeneracijska postrojenja:

- s plinsko-turbinskim agregatom (za metan, biopljin i slično)
- s parno-turbinskim agregatom (za drvo, slamu i ostalu biomasu krutog stanja)
- s gorivnim čelijama (za metan, metanol i slično) – u fazi ispitivanja

Biodizel se kao gorivo koristi za motorna vozila, i to kao zamjena za mineralni dizel u potpunosti ili kao smjesa s njim u različitim omjerima.

DISKUSIJA:

Prednosti i nedostatci biodizela – potrebne preinake na motoru s unutarnjim izgaranjem

6.5. Ekonomski parametri

Ekonomска isplativost korištenja energije iz biomase ovisi prvenstveno o cijeni biomase.

Na cijenu biomase utječe mnogo čimbenika, kao što su:

- izvor biomase (proizvodnja ciljano, sporedni proizvod)
- razina potrebne obrade
- prijevoz do mjesta uporabe
- tehnologije za primjenu (pouzdanost, širina primjene, učinkovitost)
- razvijenost tržišta

Jedan od većih problema pri korištenju biomase je njezina mala gustoća energije, odnosno mala nasipna masa (skladištenje, prijevoz, konkurentnost).

Rješenje se pronašlo u peletiranju i briketiranju.

vrsta biomase	cijena, HRK/m ³
ogrjevno drvo	150 - 280
šumski ostaci	120 - 180
industrijski drveni ostatak - iverje	30 - 100
industrijski drveni ostatak - kora	5 - 40
industrijski drveni ostatak - piljevina	1 - 40

Tablica 6.8. Cijene biomase

Kako bi se potakla primjena biomase, pogotovo u odnosu na fosilna goriva, primjenjuju se različiti porezi, kao što su porez na energiju, porezi vezani uz emisiju štetnih tvari, odnosno na promjenu klimatskih uvjeta.

6.6. Trendovi u svijetu i Hrvatskoj

U Hrvatskoj primjena energije iz biomase ima dugu tradiciju (1960. g. oko 1/4 ukupnih energetskih potreba – iz biomase).

Danas se vrlo mali dio energetskih potreba Hrvatske pokriva biomasom (razlozi: pomanjkanje tržišta, nedostatak svijest, primjena energetski neučinkovitih tehnologija, itd.).

6.7. Potencijali Hrvatske

Vrsta krutog biogoriva Solid biofuels	Proizvodnja Production
Drveni peleti Wood pellets	31 485 t
Drveni briketi Wood briquettes	25 000 t
Drveni ugljen i briketi Charcoal	6 900 t
Ogrjevno drvo Firewood	1 505 100 m ³

Tablica 6.9. Proizvodnja krutih biogoriva u Hrvatskoj 2008. godine

7. Energija iz okoliša

7.1. Općenito o energiji iz okoliša

Pod energijom okoliša podrazumijevaju se sve mogućnosti dobivanja raznih oblika energije (električne, toplinske, mehaničkog rada) iz neposrednog fizičkog okoliša, kao što je:

- tlo (podzemne vode, geotermalne vode, podzemlje)
- voda (kopneni vodotokovi, jezera, mora, oceani)
- zrak

Primjena energije iz okoliša datira iz pradavnih vremena kada se energija toplih vodenih izvora koristila za kupanje, liječenje, grijanje zgrada (3. stoljeće prije Krista) i slično.

Prva toplinska crpka konstruirana je sredinom devetnaestog stoljeća (P. R. von Rittenberger, Austrija), da bi tek nakon više od stotinu godina započela njihova šira primjena (1970-tih).

Jedno od poznatijih područja korištenja topline iz dubine Zemlje je Island (zemlja vulkana i gejzira), gdje je već početkom dvadesetog stoljeća uspostavljen toplinarski sustav glavnog grada Reykjavika zasnovan na geotermalnoj energiji.

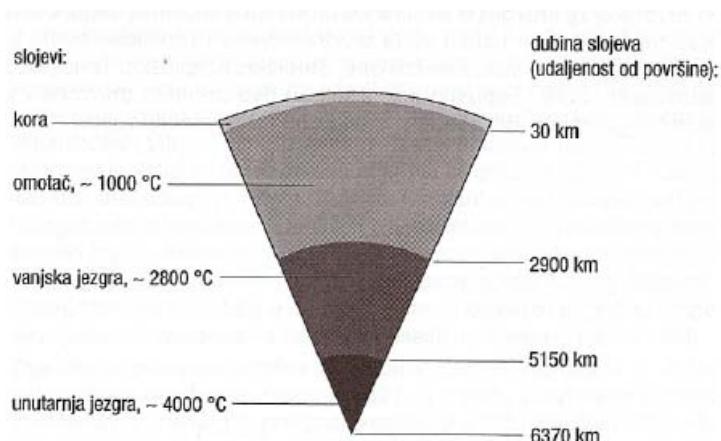
Sustavi za iskorištavanje energije iz okoliša načelno se mogu podijeliti u dvije osnovne skupine:

- sustavi koji izravno koriste tople medije iz dubine Zemlje
- toplinske crpke u kojima se toplina iz neposredne okolice uz dodatnu energiju i prikladan medij dovodi na višu temperaturnu razinu

7.2. Geotermalna energija

Geotermalna energija u užem smislu obuhvaća samo onaj dio energije iz dubina Zemlje koji u obliku vrućeg ili toplog geotermalnog medija (vode ili pare) dolazi do površine Zemlje.

Geotermalna energija je posljedica raznih procesa koji se zbivaju u dubinama Zemlje gdje temperatura iznosi više od 4000°C .



Slika 7.1. Raspored temperatura u dubinama Zemlje

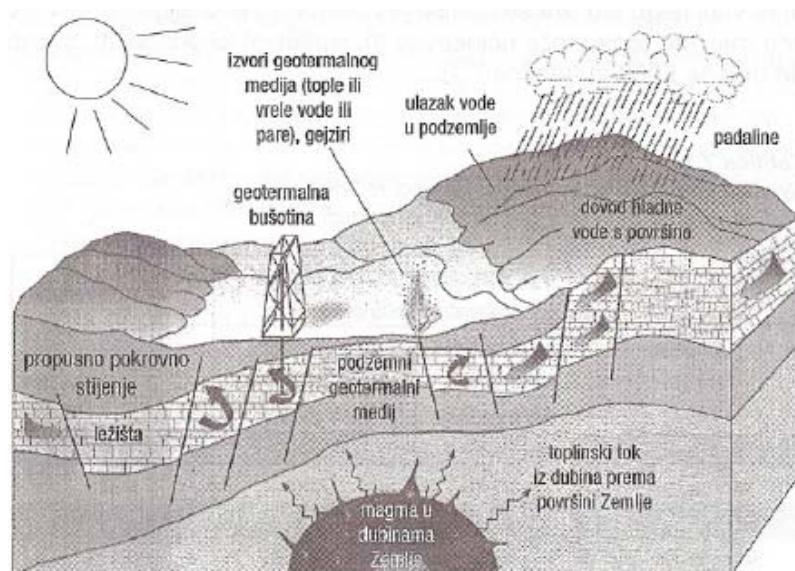
Promjena temperature s dubinom slojeva naziva se geotermalnim gradijentom, koji prosječno iznosi:

- u Europi oko $0,03^{\circ}\text{C}/\text{m}$
- u Hrvatskoj u panonskom području oko $0,04^{\circ}\text{C}/\text{m}$
- u Hrvatskoj u području Dinarida i na Jadranu od $0,015$ do $0,025^{\circ}\text{C}/\text{m}$

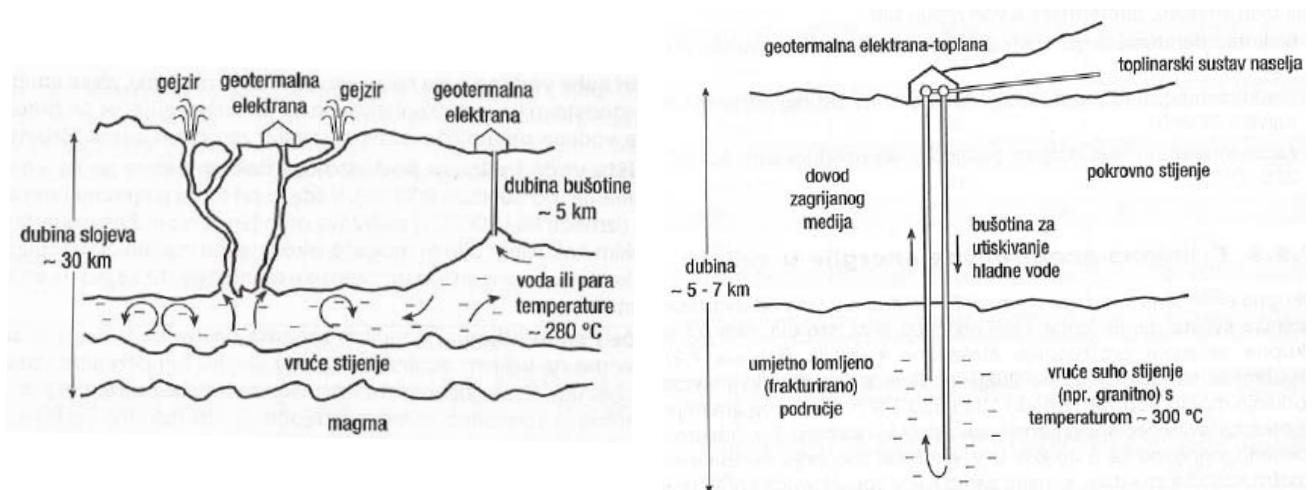
Procijenjeno je da je ukupni geotermalni potencijal Zemlje kao planeta oko $12,6 \times 10^{24} \text{ MJ}$, od čega je jedan manji dio učinkovito iskoristiv.

Geotermalni izvor je izvor geotermalnog medija vode iz podzemnih ležišta koja mogu biti:

- bez dovoda vode (napajanja) s površine
- s prirodnim ili umjetnim dovodom vode s površine koja tada prolazi kroz podzemna ležišta



Slika 7.2. Pojednostavljeni prikaz geotermalnog sustava



Slika 7.3. Prikaz sustava za iskorištavanje geotermalnih izvora (a) s prirodnim ulaskom i izlaskom vode; (b) s umjetnim ulaskom i izlaskom vode kroz bušotine

Izvori topline ili vruće vode (gejziri) najčešći su način dolaska zagrijane vode iz dubine na površinu Zemlje.

Potječe od vruće vode ili pare koja se nalazi zarobljena u razlomljenom i šupljikavom stijenju na manjim i srednjim dubinama (100 do 4500 m).

Prema temperaturi geotermalnog medija (vode ili pare, odnosno njihovoj smjesi), geotermalni izvori mogu biti:

- niskotemperaturni (do 90 - 150°C)
- srednjotemperaturni (od 90 do 225°C)
- visokotemperaturni (od 150 - 225°C)

Geotermalna energija se može koristiti na dva osnovna načina:

- neizravno, pretvorbom najprije u kinetičku energiju vrtnje lopatica parne turbine
- izravno, kao toplinska energija

pri čemu način primjene ponajviše ovisi o temperaturnoj razini (izvori s temperaturom višom od 150°C najčešće se koriste za dobivanje električne energije).

temperatura medija na izvoru, °C	mogućnosti primjene
180	kemijska industrija: isparavanje visokokoncentriranih otopina
170	nuklearna tehnika: proizvodnja teške vode
160	prehrabrena industrija: sušenje ribe
150	prerada metala: proizvodnja aluminija (Bayerov proces)
140	prehrabrena industrija: konzerviranje hrane
130	prehrabrena industrija: isparavanje vode (u šećeranama), izlučivanje i kristalizacija soli (u solanama)
120	vodoopskrba: destilacija pitke vode
110	gradevinska industrija: sušenje cementnih proizvoda
100	prehrabrena, tekstilna i kemijska industrija: sušenje povrća, trave, pranje i sušenje vune, sušenje organskih tvari
90	prehrabrena industrija: sušenje poljoprivrednih proizvoda
80	termotehnika: hlađenje
60	termotehnika: sustavi grijanja zgrada, poljoprivreda: zagrijavanje staklenika
50	poljoprivreda: zagrijavanje zemljišta
30	turizam i zdravstvo: zagrijavanje bazena i kupelji, prehrabrena industrija: fermentacija i odleđivanje
20	poljoprivreda: poljodjelstvo, ribnjačarstvo

Tablica 7.1. Najčešće mogućnosti za primjenu geotermalne energije u toplinske svrhe

Neki od osnovnih razloga za primjenu geotermalne energije za dobivanje električne i/ili toplinske energije:

- smanjenje potrošnje uobičajenih izvora topline (fosilnih goriva)
- smanjenje štetnih emisija
- mogućnost pretvorbe u više oblika energije
- mogućnost dugoročnog iskorištavanja (30 do 50 godina)
- prilagodljivost veličine sustava
- mogućnost povezivanja više jedinica malih snaga
- visoka raspoloživost tokom godine (95-99%)

- mali troškovi pogona i održavanja (5-8% ukupnih ulaganja)

Iako je utjecaj korištenja geotermalne energije značajno manji u odnosu na postrojenja koja koriste fosilna goriva, ipak određene emisija štetnih tvari u okoliš postoje:

- emisija plinova iz geotermalnog medija (CO_2 , H_2S , NH_3 , CH_4 , N_2 , H_2 , itd.)
- emisija štetnih tvari kao radon, arsen, živa, bor, olovo, cink, itd.

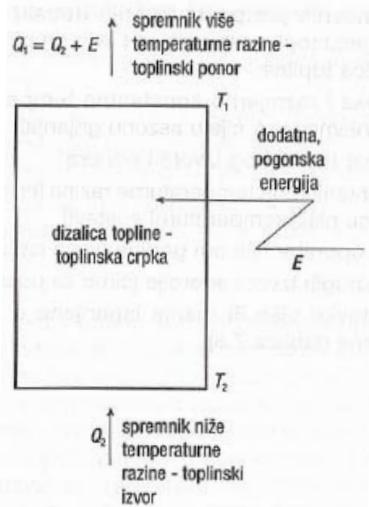
Ostali štetni utjecaji uključuju toplinsko opterećenje ispuštanjem u površinske vode, slijeganje tla uslijed iscrpljivanja medija u podzemlju, klizanje tla, potresi, itd.

7.3. Toplinske crpke

Toplinske crpke su uređaji koji rade na termodinamičkom načelu dizalice topline (dovođenje energije s niže temperaturne razine na višu uz dodatnu energiju (rad) i pomoću lijevokretnog kružnog procesa prikladnog medija).

Za svoj rad dizalice topline zahtijevaju dva toplinska spremnika:

- toplinski izvor (spremnik niže temperaturne razine): prostor ili medij kojemu se uzima toplina (okolni zrak, tlo, površinske ili podzemne vode, onečišćeni zrak iz prostorija, otpadna toplina, itd.)
- toplinski ponor (spremnik više temperaturne razine): prostor ili medij kojemu se predaje toplina (prostorija, ogrjevni medij sustava grijanja, potrošna topla voda, itd.)



Slika 7.4. Pojednostavljena shema rada dizalice topline

Na tom načelu rade rashladni uređaji kao što su hladnjaci, split klima-uređaji i slično.

Osnovna razlika između njih i toplinskih crpki je u cilju koji se želi postići:

- kod rashladnih uređaja cilj je hlađenje (uzimanje topline iz nekog prostora ili medija)
- kod toplinskih crpki cilj je grijanje (predavanje topline nekom prostoru ili mediju)

Toplinske crpke se u pravilu koriste za dobivanje toplinske energije za sustave grijanja stanova, obiteljskih kuća, stambenih ili poslovnih zgrada, dok se pri tome toplinski učini kreću od nekoliko kW pa do više MW.

toplinski učin, kW	primjena	mediji koji se najčešće koriste kao toplinski izvori
1	priprema PTV i dodatni sustavi grijanja obiteljskih kuća	onečišćeni zrak iz prostorija, okolini zrak
10	osnovni sustavi grijanja i pripreme PTV obiteljskih kuća	okolini zrak, onečišćeni zrak iz prostorija, podzemne vode, tlo, površinske vode (vodotoci i jezera)
100	sustavi grijanja stambenih zgrada, industrija	onečišćeni zrak iz prostorija, podzemne vode, tlo, površinske vode (vodotoci i jezera), morska voda
1000	toplinarski sustavi manjih naselja, industrija	okolini zrak, površinske vode (jezera), morska voda, otpadne vode
10 000	toplinarski sustavi većih naselja	morska voda, onečišćeni zrak iz industrije, otpadne vode

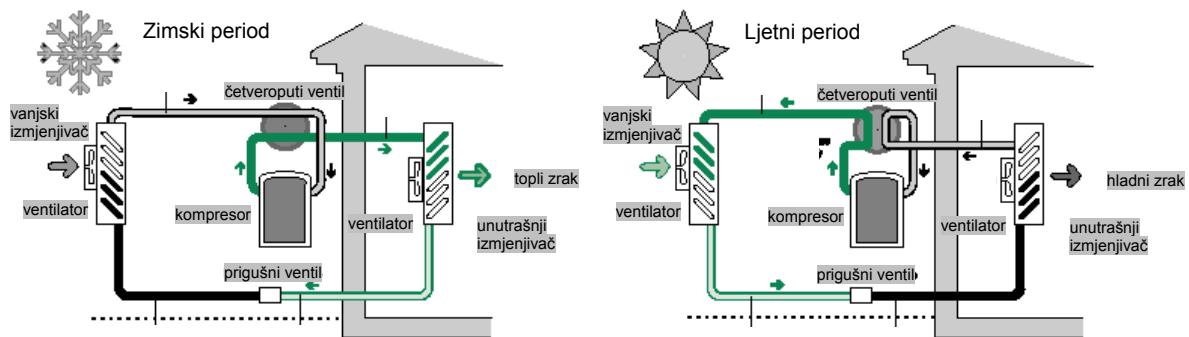
Tablica 7.2. Najčešće mogućnosti primjene toplinskih crpki

Osnovne elemente toplinske crpke čine pogonski motor (kompresor pogonjen električnim motorom, motorom sa unutrašnjim izgaranjem ili rad prenesen preko osovine), izmjenjivači topline (kondenzator i isparivač), prigušni ventil, te u slučaju reverzibilne toplinske pumpe četveroputi ventil.

Glavna namjena četveroputog ventila je zamjena smjera toka topline, tako da se isti uređaj može koristiti za potrebe grijanja i hlađenja.

Temeljni princip rada klasične toplinske pumpe se sastoji iz sljedećeg:

- radni medij (freon), u plinovitom i hladnom stanju tlači se uz pomoć kompresora, te mu se podiže temperatura i pritisak
- takav radni medij se hlađi u kondenzatoru, predajući toplinu, dok se ne pretvori u kapljevinu visokog pritiska i normalne temperature
- nakon kondenzatora, kapljevina visokog pritiska dolazi do reduksijskog elementa (prigušnog ventila, kapilarne cijevi) koji joj snižava pritisak
- takva tekućina niskog pritiska dolazi u isparivač gdje isparava, preuzimajući toplinu, i pretvara se u plinovitu fazu
- plinovita faza se zatim usisava u kompresor i cijeli proces se ponavlja.



Slika 7.5. Shematski prikaz rada reverzibilne toplinske crpke

Energetska efikasnost toplinske pumpe izražava se preko koeficijenta COP (eng. coefficient of performance) u režimu grijanja, te preko koeficijenta EER (eng. energy efficiency ratio) u režimu hlađenja.

Koeficijenti COP i EER predstavljaju odnos između ukupno premještene topline i uloženog rada, dok njihova vrijednost opada sa povećanjem temperaturne razlike između toplinskog izvora i ponora.

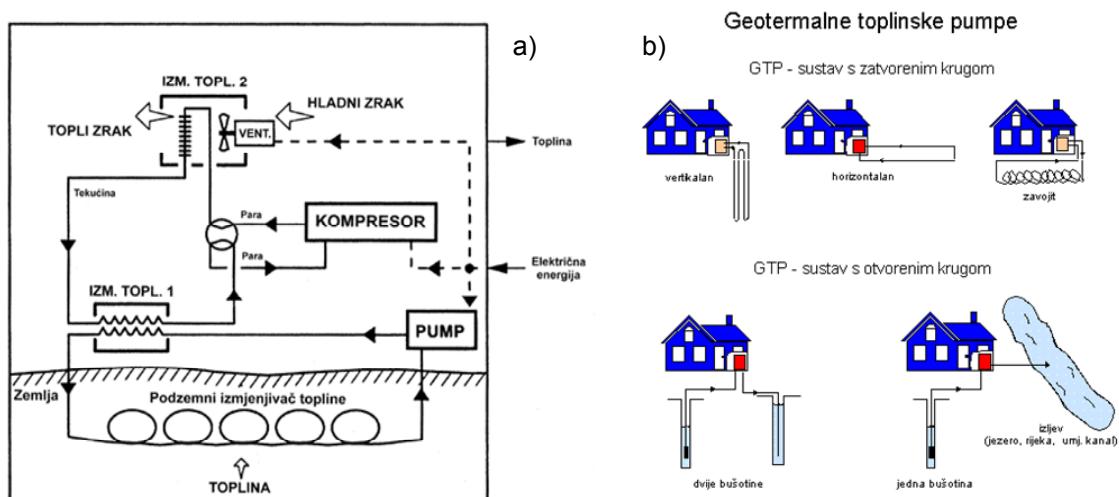
U praksi vrijednosti koeficijenta COP kreću se najčešće između 3 i 4, dok vrijednost koeficijenta EER, za iste radne temperature, iznosi $EER = COP - 1$.

Neke od posebnih izvedbi instalacija toplinskih pumpi, kao što su toplinske pumpe za desalinizaciju morske vode, mogu imati vrijednosti COP-a čak i do 20, što čini toplinske pumpe neusporedive sa bilo kojim drugim toplinskim strojevima.

Toplinski izvori, odnosno spremnici niže temperaturne razine za primjenu kod toplinskih crpki se s obzirom na porijeklo i postojanost temperatura mogu podijeliti u tri osnovne skupine:

- prirodni izvori s uglavnom promjenjivom temperaturama (okolni vanjski zrak)
- prirodni izvori s razmjerno konstantnim temperaturama (površinske vode, mora, oceani, podzemne vode, tlo)
- umjetni izvori (onečišćeni zrak iz prostorija ili industrijskih procesa, otpadne vode)

Tako neke od izvedbi toplinskih crpki uključuju korištenje geotermalne energije – geotermalne toplinske crpke.



Slika 7.6. Geotermalna toplinska pumpa (zatvoreni krug) (a); Sustavi grijanja s geotermalnim toplinskim pumpama (b)

DISKUSIJA:

Toplinske crpke "zrak-zrak", "zrak-voda", "voda-voda", "voda-morska voda", itd.

Toplinske crpke pogonjene plinskim motorom

Višenamjenske toplinske crpke

Difuzijsko-apsorpcijske toplinske crpke

Sustav "WET" (eng. water energy transfer) – sustav toplinskih crpki u zatvorenem krugu

7.4. Ekonomski parametri

Ekonomski značajke bilo kojeg postrojenja za iskorištanje geotermalne energije ponajviše ovise o značajkama ležišta (potreba za dubokim bušenjem) i svojstvima geotermalnog medija (temperatura, protok, udio agresivnih tvar, i slično).

Zbog toga se isplativost primjene geotermalne energije promatra za svako ležište zasebno.

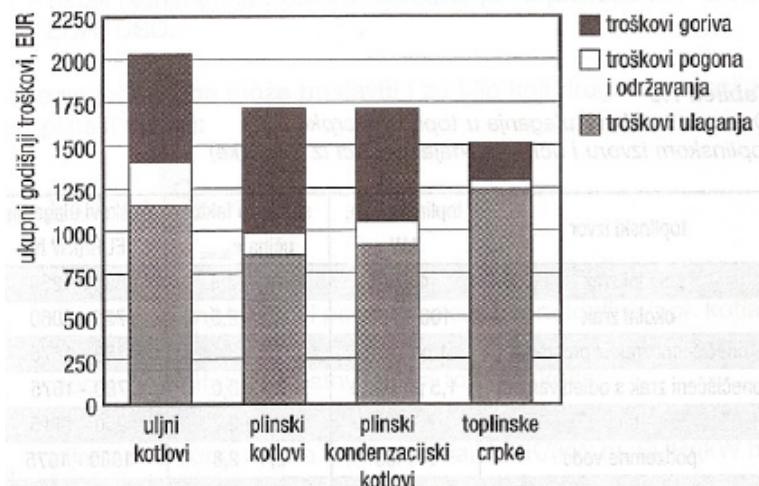
Ako se geotermalna energija koristi za dobivanje električne energije preporučljiva je primjena kogeneracije.

U Hrvatskoj, s obzirom na razmjerne niže temperaturne razine medija (od 50 do 120°C), geotermalna energija bi se mogla koristiti samo u toplinske svrhe.

Kod većine ležišta radovi na razradi bušotina već su izvedeni u sklopu radova na istraživanju nafte i plina (INA d.d.).

Toplinske crpke se smatraju jednim od najučinkovitijih uređaja za dobivanje toplinske energije (faktor učinka 4, dok ostali izvori topline imaju stupanj iskoristivosti goriva između 80 do 100%).

Usporedbom s različitim sustavim grijanja, toplinske crpke zahtijevaju nešto veće početne troškove, ali su im ukupni troškovi pogona mnogo manji (ovisno o cijeni električne energije).



Slika 7.7. Ukupni troškovi za različite sustave grijanja

toplinske crpke u usporedbi s	smanjuju emisiju CO ₂ za	smanjuju potrošnju primarne energije za
uljnim kotlovima	55%	43%
plinskim kotlovima	39%	44%
plinskim kondenzacijskim kotlovima	30%	40%

Tablica 7.3. Usporedba smanjenja emisija i potrošnje primarne energije kod toplinskih crpki i drugih izvora topline za sustave grijanja

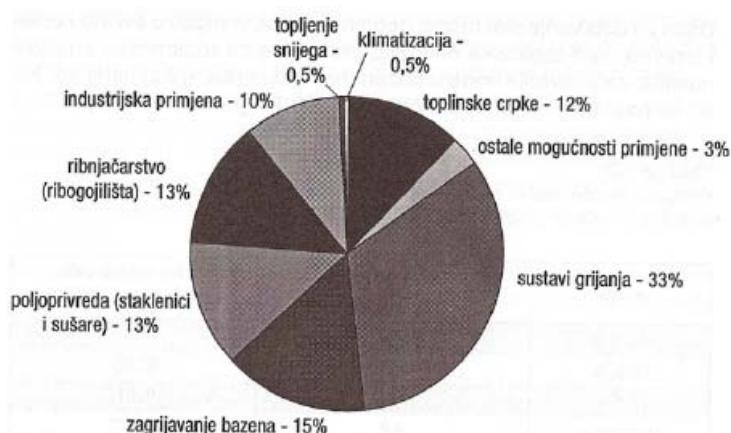
7.5. Trendovi u svjetu i Hrvatskoj

Ukupna električna snaga geotermalnih elektrana u svijetu iznosi više od 7000 MW, što čini oko 0,5% ukupne svjetske proizvodnje električne energije.

zemlja	instalirana električna snaga, MW	proizvedena električna energija, GW h
Australija	0,17	0,9
Etiopija	8,52	30,05
Filipini	1909	9181
Francuska	4,2	24,6 (*)
Gvatemala	33,4	215,9
Indonezija	589,5	4575
Island	170	1138
Italija	785	4403
Japan	546,9	3532
Kenija	45	366,47
Kina	29,17	100
Kostarika	142,5	592
Meksiko	755	5681
Novi Zeland	437	2268
Nikaragua	70	583
Portugal	16	94 (*)
Rusija	23	85
Salvador	161	800
SAD	2228	15 470
Tajland	0,3	1,8 (*)
Turska	20,4	119,73 (*)
svijet, ukupno	7974,06	49 261,45

Tablica 7.4. Primjena geotermalne energije u proizvodnji električne energije u svijetu

Trendovi upućuju na porast iskorištavanja geotermalnih izvora (tople i vruće vode), i to za proizvodnju električne i toplinske energije (toplinarski sustavi, zagrijavanje vode u bazenima, zagrijavanje staklenika, u industriji, itd.).



Slika 7.8. Udio pojedinih načina izravne primjene geotermalne energije u toplinske svrhe

U Hrvatskoj se, osim za primjenu u zdravstveno-turističke svrhe, geotermalna energija koristi samo na dva mesta u energetske svrhe:

- u Bizovačkim toplicama
- u Športsko-rekreativnom centru "Mladost" u Zagrebu

Danas se komercijalne toplinske crpke intenzivno razvijaju, te im je vrijednost koeficijenta COP povišena sa 3 na 4, a u nekim slučajevima i do 5.

Kao rezultat, toplinske crpke sve su popularnije, dok je njihov potencijal prepoznat od strane svih tehničkih struktura, te su postale sastavni element mnogih termoenergetskih postrojenja.

Od studenog 2006. godine toplinske crpke postale su i dio energetske i ekološke strategije EU-a, a sve ka poboljšanju energetske statistike država Unije.

Tako su prema publikaciji "Energy Fiches" (TREN C1), toplinske crpke prepoznate i uvrštene na listu raspoloživih obnovljivih izvora topline.

Na taj način prihvaćena je činjenica da toplinske pumpe koriste obnovljivi izvor energije, raspoloživ iz okoliša.

Na primjer, na osnovu COP vrijednosti 3,0, za svake tri jedinice dovedene topline, dvije jedinice topline su iz obnovljivog izvora topline a jedna jedinica iz npr. električne energije.

Ako uz to toplinska pumpa radi koristeći "zelenu" električnu energiju, proizvedenu uz pomoć bilo kojeg od raspoloživih obnovljivih izvora energije, tada ona radi u potpunosti bez štetnih emisija u okoliš.

Tako je npr. u Engleskoj procijenjeno, koristeći električnu energiju iz fosilnih goriva te toplinske pumpe, da je moguće smanjiti emisiju stakleničkih plinova za oko 45% u odnosu na sadašnje energetski efikasne kućanske sisteme grijanja te pripreme PTV-a koristeći zemni plin.

7.6. Potencijali Hrvatske

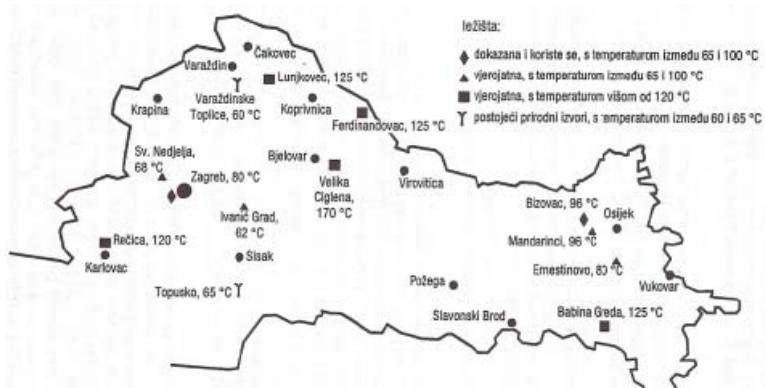
Ukupni geotermalni energetski potencijal Hrvatske procijenjen je na 812 MW toplinskog učinka i 45,8 MW električne snage.

Geotermalna toplina koristi se u Hrvatskoj od davnina, kao što su na primjer mnogobrojne toplice (Varaždinske, Bizovačke, itd.).

S obzirom na temperaturu geotermalnog medija, sva se ležišta u Hrvatskoj mogu podijeliti u dvije skupine:

- s temperaturom višom od 100°C (srednjotemperaturna)
- s temperaturom nižom od 100°C (niskotemperaturna)

S obzirom na značajni potencijal geotermalna energija u Hrvatskoj bi se mogla ponajprije koristiti u toplinske svrhe (sustavi grijanja).



Slika 7.9. Značajnija geotermalna ležišta u središnjem i istočnom dijelu Hrvatske

8. Mogućnosti financiranja projekata obnovljivih izvora energije

8.1. Općenito o projektima

DISKUSIJA:

Vrste projekta
Sadržaj projekta
Odabir projekata
Provedba projekta

Primjer projekta

8.2. Nacionalni okviri financiranja projekata

DISKUSIJA:

Raspoloživi programi i natječaji
Mogućnosti korištenja sredstava Fonda za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost
Mogućnosti korištenja sredstava Hrvatske banke za obnovu i razvoj
Mogućnost provedbe projekata po ESCO principu

Primjer projekta sufinanciranog od strane Fonda za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost (natječaj, uvjeti, natječajna i projektna dokumentacija, realizacija projekta).

8.3. Internacionlani okviri financiranja projekata

DISKUSIJA:

Energetska politika Europske Unije
Raspoloživi programi i natječaji Europske Unije
Mogućnosti korištenja sredstava

Primjer projekta sufinanciranog od strane Europske Unije (natječaj, uvjeti, natječajna i projektna dokumentacija, realizacija projekta).

LITERATURA

1. Labudović, B.: Obnovljivi izvori energije, Energetika marketing, Zagreb, 2002.
2. Šljivac, D., Šimić, Z.: Obnovljivi izvori energije s osvrtom na gospodarenje, udžbenik, ETF Osijek, 2008.
3. Labudović, B.: Osnove primjene dizalica topline, Energetika marketing, Zagreb, 2009.
4. Kulišić, P.: Novi izvori energije, Školska knjiga, Zagreb, 1991.
5. Pilić-Rabadan, Lj.: Vodne turbine, pumpe i vjetroturbine, Sveučilište u Splitu, 1999.
6. Labudović, B.: Osnove primjene solarnih toplinskih sustava, Energetika marketing, Zagreb, 2010.
7. Azapagic, A., Clift, R.: Sustainable Development in Practice, John Wiley & Sons, NY, 2004.
8. <http://www.izvorienergije.com/>
9. Goić, R.: Opća energetika – predavanja, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Splitu