



‘ALTERNATIVNI’ SUSTAVI I OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE



Prof.dr.sc. Damir Šljivac

Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku
Fakulte elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek
Zavod za elektroenergetiku, Katedra za elektrane i energetske procese
Predsjednik katedre i voditelj Laboratorija za OIE

E-mail: damir.sljivac@ferit.hr

Telefon: 031 224 614;

Adresa: Kneza Trpimira 2b, 31000 Osijek

www.ferit.unios.hr ; reslab.ferit.hr



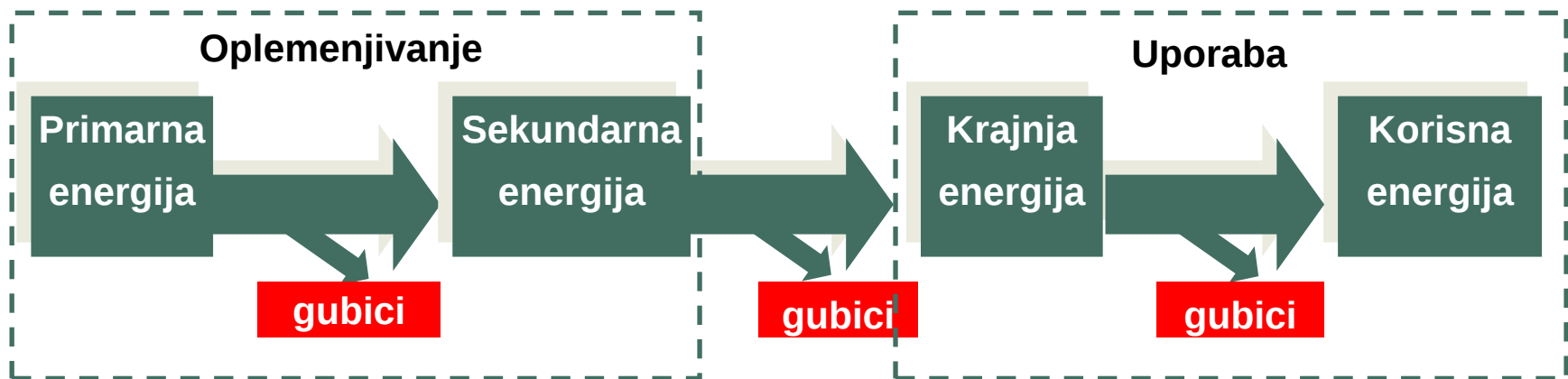
SVEUČILIŠTE
JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
U OSIJEKU



JOSIP JURAJ STROSSMAYER
UNIVERSITY OF OSIJEK

Pretvorbe energije

1. **Primarna (prirodna) energija:** u prirodnom stanju (kod goriva na nalazištu)
2. **Sekundarna (pretvorbena, transformirana) energija:**
kod opskrbljivača, pripremljena za korisnika kroz tehničke procese
3. **Krajnja (neposredna) energija:** korisniku predana energija
4. **Korisna energija:** kod korisnika primjenjena (transformirana) energija
(toplinska, električna, svjetlosna, kemijska)



Stupanj djelovanja pretvorbi: $\eta = \frac{\text{dovedena energija} - \text{gubici}}{\text{dovedena energija}} < 1$



Prirodni (primarni) izvori (oblici) energije

NEOBNOVLJIVI

Fosilna goriva

(**ugljen, nafta, zemni plin**, uljni
škriljevci)

Nuklearna goriva

(**prirodni uran**, torij)

Unutarnja toplina Zemlje

(geotermalna energija)

OBNOVLJIVI

Hidroenergija

(**vodotoci**, morske struje i valovi plime i
oseke)

Biomasa i bioplin

(**drvo**, otpad drvne industrije,
poljoprivredni ostaci, energetske nasadi,
biogoriva, gradski otpad)

Energija Sunčevog zračenja

Energija vjetra

Konvencionalni / Nekonvencionalni

Prednosti neobnovljivih (konvencionalnih) izvora

- **Konstantnost**
- Bolja mogućnost prilagodbe potrebama, **uskladištenja i transporta** u prirodnom obliku
- **Manje investicije** za izgradnju postrojenja za njihovo dobivanje, pretvorbu i uporabu, te pogon i održavanje (s obzirom na instaliranu snagu)
- Veće tehničke mogućnosti i bolja ekonomska opravdanost njihova iskorištavanja vezane uz dulji **tehnološki razvoj** metoda i postupaka - razlozi njihovog većeg iskorištavanja do sada!

- **Konvencionalni izvori = Neobnovljivi izvori – geotermalna energija + velike hidroelektrane + Ogrjevno drvo (tradicionalna primjena)**

- Većina obnovljivih izvora energije (osim velikih HE) je do sada bila nekonvencionalna – **važno: dramatične promjene njihovog korištenja i pad cijena (osobito energije vjetra i sunčevog zračenja) u posljednjih 20-tak godina**

Pretežno **ispunjena** poželjna svojstva nekonvencionalnih izvora energije

Svojstvo izvora	Poželjno	mHE	Su.-T	Su.-E	VE	Bio.	Geo.
Obnovljivost	Ispunjena						
Potencijal	Što veći						
Energija za postrojenja	Što manja						
Energija za pridobivanje	Što manja						
Utjecaj na okoliš	Što manji						
Moguća diverzifikacija	Ispunjeno						
CO ₂ -neutralnost	Povoljna						

Ispunjeno poželjno svojstvo	
-----------------------------------	--

Djelomično ispunjeno poželjno svojstvo	
---	--

Neispunjeno poželjno svojstvo	
-------------------------------------	--

Izvor: M. Kalea

Pretežno **ispunjena** poželjna svojstva nekonvencionalnih izvora energije

- **Obnovljivost: obnovljiv izvor onaj čiji se prosječni dotok svake godine ponavlja, bez smanjenja – barem za ljudsko poimanje vremena.** U tom pogledu, svi promatrani nekonvencionalni izvori su obnovljivi.

Geotermalnoj energiji izvor su energetske procesi u Zemlji koji će prema ljudskom poimanju vremena trajati do sudnjeg dana, dakle praktički do u nedostižnu budućnost.

Drvena biomasa: uvjet obnovljivosti neprekidno pošumljavanje prostora barem toliko da godišnji prinos bude jednak godišnjem iskorištenju drvne biomase.

- **Potencijal: nekonvencionalni izvori imaju ogroman potencijal.**

Sa Sunca na tlo Hrvatske dostruji približno 500 puta više energije nego li je godišnja hrvatska potrošnja svih oblika energije! Male hidroelektrane predstavljaju ograničeni potencijal, kao i geotermalna energija, ali je prikriveni potencijal je ogroman, ako dođe do prihvatljivog korištenja topline Zemljine unutrašnjosti s velikih dubina (tople stijene). Biomase predstavljaju nešto veći ali ipak znatno manji potencijal od energije Sunčeva zračenja.

Pretežno **ispunjena** poželjna svojstva nekonvencionalnih izvora energije

- **Energija za pridobivanje i transport:** Kod većine nekonvencionalnih izvora nema utroška energije prilikom pridobivanja izvornog oblika, niti utroška energije za transport izvornog oblika, jer je transport u pravilu nemoguć. Jedino kod biomase utrošci energije mogu biti toliko značajni da cijela stvar postane neracionalna.
- **Kumulativna CO₂ neutralnost:** promatranoj u **ukupnom životnom ciklusu** – od pridobivanja energije, izrade i montaže pogonskih uređaja, do korištenja i zbrinjavanja nakon korištenja, a ne samo energetske pretvorbe u postrojenju.

FN ćelije: ako se ima na umu proizvodnja cementa, čelika, stakla i dr. materijala za izgradnju FN ćelija a donekle i kolektora, proizlazi da je primjena Sunčevog zračenja kumul. «kvazi-CO₂-neutralna».

Biomasa: ispunjeno samo ukoliko je godišnje iskorištavanje ≤ godišnjem prirastu biomase (emisija CO₂ pri korištenju ≤ imisiji CO₂ prilikom fotosinteze).



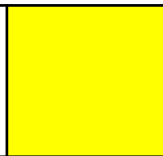
Pretežno **neispunjena** poželjna svojstva nekonvencionalnih izvora energije

Svojstvo izvora	Poželjno	mHE	Su.-T	Su.-E	VE	Bio.	Geo.
Površinska distribucija	Ravnomjerna						
Površinska gustoća	Povoljna						
Izorno uskladištenje	Moguće						
Prirodna oscilacija	Mala						
Nužnost rezerve	Ne treba						
Zauzimanje prostora	Povoljno						
Stupanj djelovanja	Povoljan						
Mogućnost kogeneracije	Moguća						

Ispunjeno
poželjno
svojstvo



Djelomično ispunjeno
poželjno svojstvo



Neispunjeno
poželjno
svojstvo

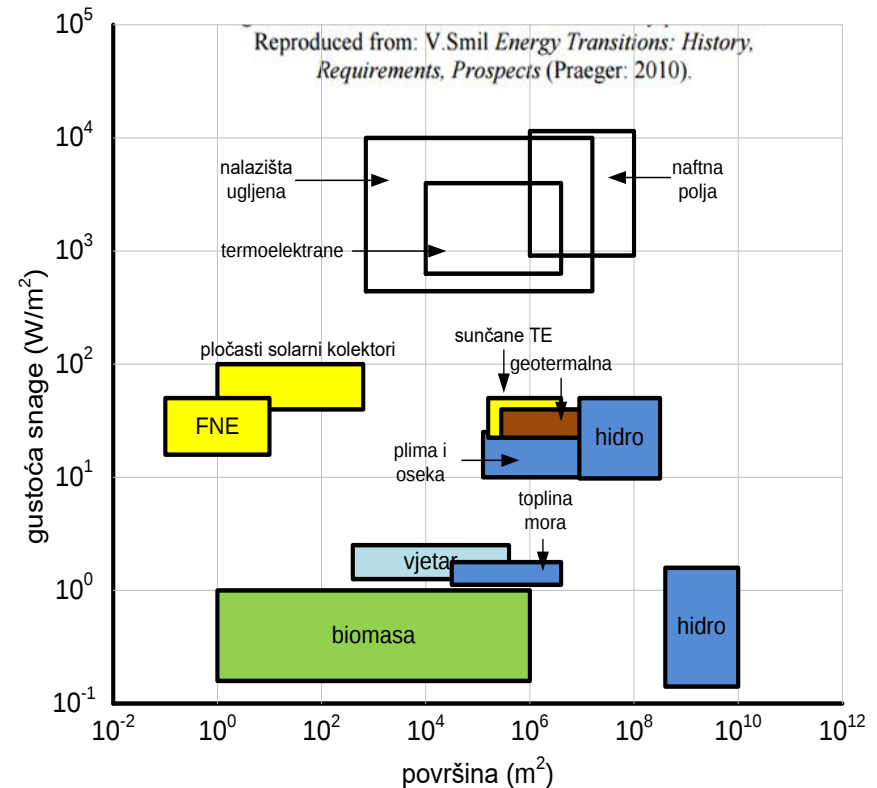


Izvor: M. Kalea

Pretežno neispunjena poželjna svojstva (nedostaci) OIE

- Većina OIE u prirodnom obliku je **neravnomjerno raspodijeljena po zemljinoj površini**. Npr. energiju vjetra, biomase, geotermalnu energiju i hidroenergiju moguće iskorištavati samo na određenim mjestima koja su prirodno takva (gdje je ima), a ne tamo gdje se želi. Jedino je energija sunčevog zračenja od OIE poprilično ravnomjerno raspoređena.
- Mala površinska gustoća OIE:** postojenja na OIE zahtijevaju relativno **veliku površinu po jedinici instalirane snage** u odnosu na elektrane, toplane i sustave grijanja na fosilna goriva te nuklearne elektrane.

Usporedba površinske gustoće konvenc. i nekonven. elektrana



Pretežno neispunjena poželjna svojstva (nedostaci) OIE

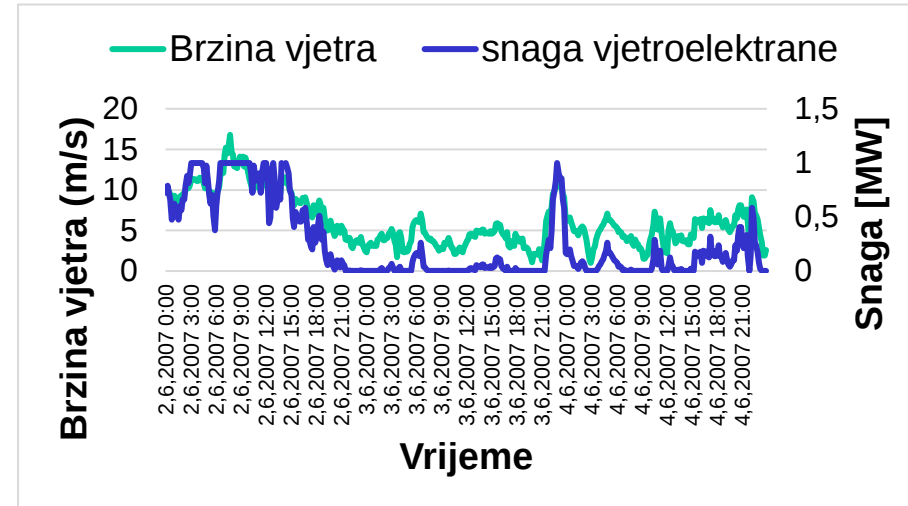
Nemogućnost uskladištenja, transporta i korištenja u izvornom obliku:

- **Sunčevo zračenje, vjetar ili voda** (osim akumulacijskih HE i biomase) **se ne mogu uskladištiti u izvornom obliku i onda koristiti u trenutku kada je to potrebno** kao što se mogu fosilna (ugljen, prirodni plin, nafta) ili nuklearna goriva.
- Za skoro sve obnovljive izvore energije (u izvornom obliku) može se reći da se **ne mogu transportirati**, osim biomase na (energetski) razumne udaljenosti.
- Djelomično uskladištenje **električne energije iz OIE u baterijama je problem**: nedovoljno razvijena tehnologija baterija, visoka cijena te nemogućnost racionalnih skladištenja velikih količina energije (u razvitku).
- **Izvorno korištenje topline iz OIE : biomasa (i to ogrjevno drvo – tradiciionalna primjena) te geotermalna energija mogu izravno koristiti (bez potreba za transformacijom energije) za toplinsku energiju, a Sunčevo zračenje relativno jednostavno neizravno (solarni kolektori), pri čemu su toplinski spremnici bitno povoljniji.**

Pretežno neispunjena poželjna svojstva (nedostaci) OIE

Velike oscilacije (promjenjivost) prirodnog dotoka:

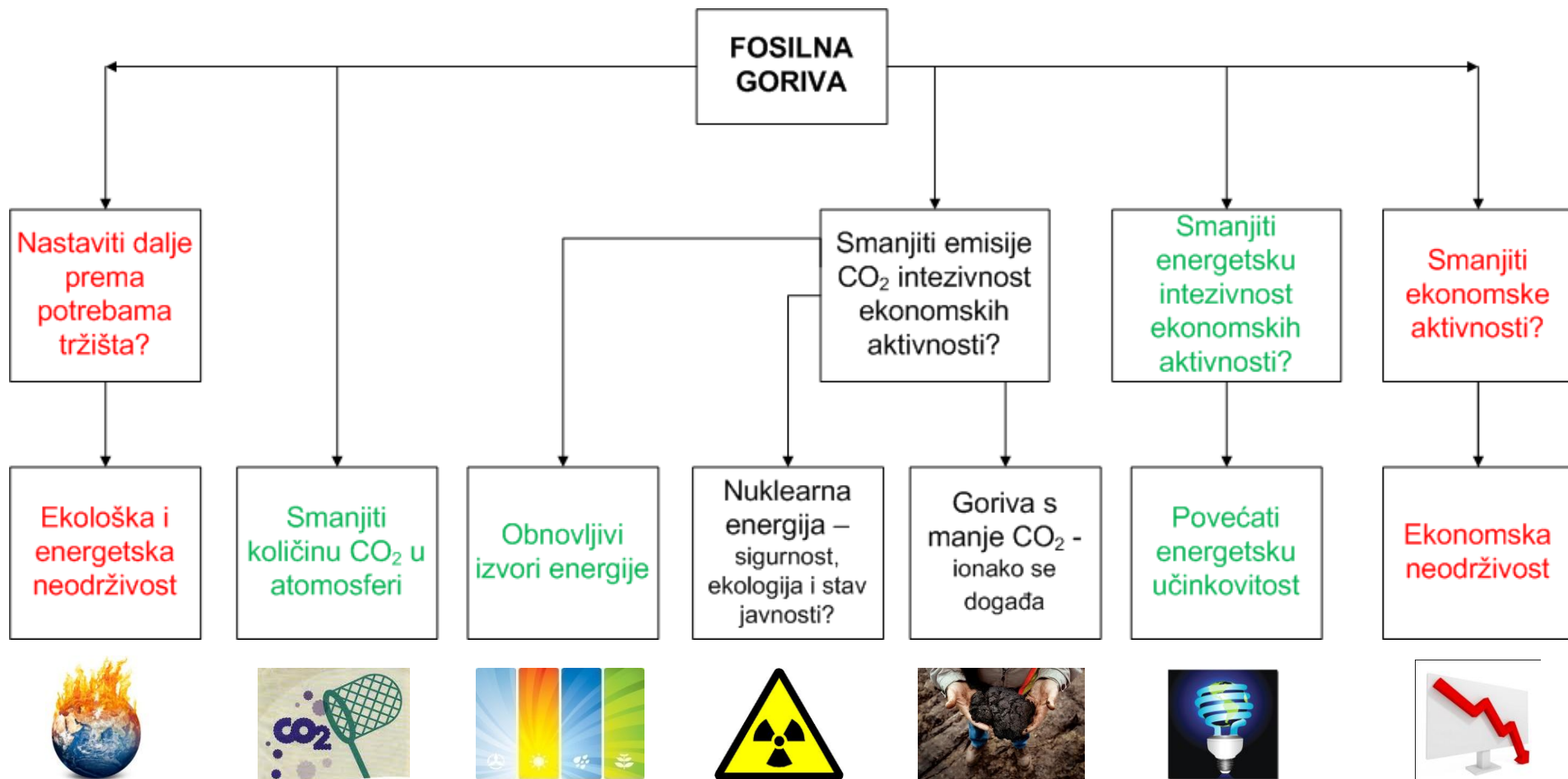
- Brzina vjetra se mijenja iz trenutka u trenutak; a promjene su dugoročne, sezonske, ciklone/anticiklone, udari vjetra, turbulencije...



10-min mjerenja brzine vjetra (3 dana) i snaga VE

- **Energija vodotokova (vodne snage) također ima oscilacije** dotoka ovisne o oborinama i vremenskim prilikama, tj. tzv hidrološke prilike, ali u manjoj mjeri nego sunčevo zračenje ili još u manjoj mjeri u odnosu na energiju vjetra. Mogu se ublažiti akumulacijama kod velikih HE.
- **Oscilacije prirodnog dotoka biomase su daleko manje** ovise npr. o načinu gospodarenja šumama, poljoprivredom i vremenskim prilikama. Pravilnim uskladištenjem mogu svesti na minimum.
- **Najpravilnije dotok energije** (praktički konstantan) ima **geotermalna energija**.

Održivi energetske scenariji – kako dalje?



Globalni trendovi razvitka tehnologije i uporabe (korištenja) OIE

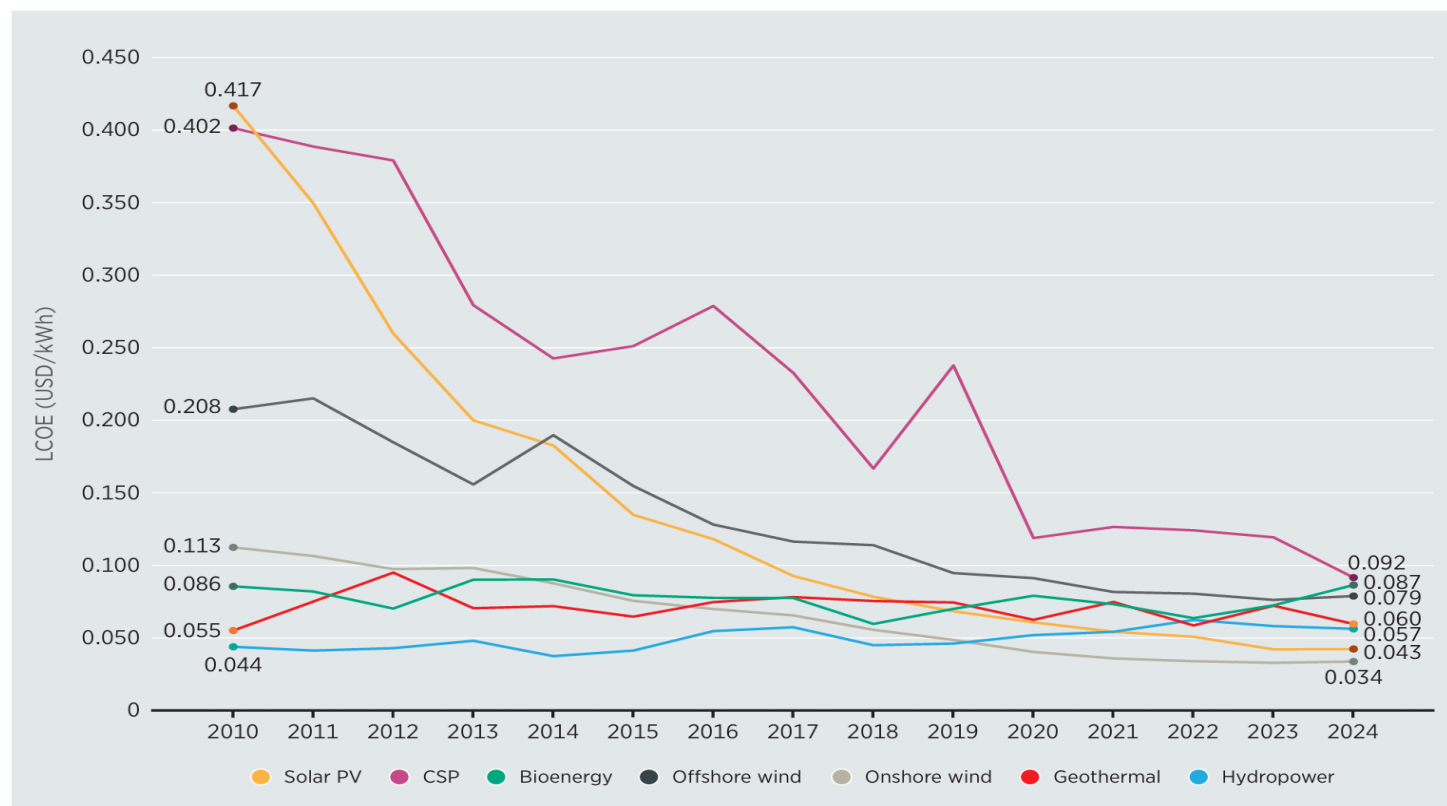
- **Stalan porast izgradnje dodatnih kapaciteta**, najviše u području elektroenergetike dok je u su uz smanjene investicije zbog pada cijena tehnologija
- Događaji značajni za razvitak OIE u posljednjih nekoliko godina
 - stabilizacija cijena fosilnih goriva na globalnoj razini
 - do sada cijenom najniže potpisani dugoročni ugovori za proizvodnju električne energije iz OIE
 - značajan porast pozornosti prema pohrani električne energije (kojom se omogućuje dodatna integracija OIE u sustav)
 - **Povijesni globalni klimatski sporazum u Parizu 2015.**
- OIE su sada **‘mainstream’** energetske izvori u svijetu, a brz porast, osobito u EE sektoru vezan je uz:
 - **poboljšanje cjenovne kompetitivnosti (jeftinije) tehnologija OIE!**
 - dosljedno provođenje inicijativa i politika OIE, bolji pristup financiranju, sve veća zabrinutost za energetske sigurnost i okoliš

Izvor: REN21 Renewables 2016 Global Status Report



Troškovi proizvodnje električne energije (LCOE) obnovljivih izvora od 2010 do 2024.

Figure S1 Renewable energy LCOE decline, 2010-2024



Notes: CSP = concentrated solar power; kWh = kilowatt hour; LCOE = levelised cost of electricity; PV = photovoltaic; USD = United States dollar.

Izvor: IRENA Renewable Power Generation Costs 2025

Globalni trendovi razvitka tehnologije i uporabe (korištenja) OIE

- porast potrošnje u zemljama u razvoju (BRICS, Afrika) i s tim povezana potreba za **pristupom modernoj energiji** – posljedica: **pojava novih tržišta i za centraliziranu i distribuiranu proizvodnju energije iz OIE (uključujući mikromreže i primjenu u zgradarstvu) u svim regijama svijeta**



Izvor: REN21 Renewables 2016 Global Status Report

Globalni trendovi razvitka tehnologije i uporabe (korištenja) OIE

- G7 i G20 uza ubrzanjem pristupa obnovljivoj energije i napretku u energetskej učinkovitosti,
- Generalna skupština UN usvojila je cilj 7 održivog razvitka – ‘Održiva energija za sve’ (Sustainable Development Goal (SDG 7) on Sustainable Energy for All)
- **UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change’s 21. konferencija dionika COP 21 (Conference of the Parties) u Parizu na kojoj je 195 zemalja prihvatilo oganirčiti globalno zatoljenje ispod 2°C.**
- Pri tome se **većina zemalja obvezala povećati udio OIE (147/189) i EnU (167/189) kroz njihove ciljane nacionalno utvrđene doprinose (INDSs)** (Intended Nationally Determined Contributions) kao i reformirati (ograničiti) poticaje za fosilna goriva .
- Obveze za OIE preuzimaju i regionalne, državne i lokalne uprave kao i privatni sektor

Izvor: REN21 Renewables 2016 (2015) Global Status Report



Direktiva 2009/28/EC za promoviranje korištenja obnovljivih izvora

- Direktiva ima cilj uspostaviti **ukupan udio od 20 % udjela obnovljivih izvora energije u energetskej potrošnji i minimalan udio od 10 % biogoriva u prijevozu EU do 2020. godine**
- **Usklađivanje nacionalnih ciljeva:** sve zemlje članice barem 5.75% više, a svaka zemlja prema BDP-u tako da se postigne 20% na razini EU (cilj postavljen u ožujku 2007.).
- **Kao referentna - 2005. godina** što ne odgovara naprednijima poput Austrije i Švedske.
- Njemačka istakla problem utjecaja na “certifikate o zelenoj energiji” - obveze elektroprivrede za otkupom obnovljive energije privatnih proizvođača po fiksnom tarifnom sustavu.
- **2005. koristilo se 8.5% obnovljivih izvora energije, potrebno još 11.5%.**
- Električna energija proizvedena u trećim zemljama a potrošena u EU također se može uključiti u postizanje nacionalnih ciljeva.

Direktiva EU (2009/28/EC) za promoviranje korištenja OIE

- Dio klimatskog i energetskeg paketa EU s osnovnim ciljem tzv. **3x20**:
20 % manje emisije CO₂
20 % obnovljivih izvora energije
20 % veća energetska učinkovitost
- Više na: <http://ec.europa.eu/climateaction/>
- Usvojio Europski parlament 17.12.2008.
- **Hrvatski cilj: OIE s 13,4% (2005.) na 20% (2020.)**



**Usvojeni nacionalni ciljevi udjela OIE
 u ukupnoj energetskej potrošnji**

Zemlja	Udio (%) OIE u krajnjoj potrošnji 2005.	Udio (%) OIE u krajnjoj potrošnji 2020.
Belgija	2,2	13
Bugarska	9,4	16
Češka	6,1	13
Danska	17,0	30
Njemačka	5,8	18
Estonija	18,0	25
Irska	3,1	16
Grčka	6,9	18
Španjolska	8,7	20
Francuska	10,3	23
Italija	5,2	17
Cipar	2,9	13
Latvija	34,9	42
Litva	15,0	23
Luksemburg	0,9	11
Mađarska	4,3	13
Malta	0,0	10
Nizozemska	2,4	14
Austrija	23,3	34
Poljska	7,2	15
Portugal	20,5	31
Rumunjska	17,8	24
Slovenija	16,0	25
Slovačka	6,7	14
Finska	28,5	38
Švedska	39,8	49
Velika Britanija	1,3	15
Ukupno EU-27	8,5	20,0

Nacionalni akcijski plan za obnovljive izvore do 2020.

- Ulaskom u punopravno članstvo Europske unije 1. srpnja 2013. Republika Hrvatska je zajedno s drugim državama članicama, a **temeljem Direktive 2009/28/EZ** o poticanju uporabe energije iz obnovljivih izvora, preuzela obvezu povećanja uporabe energije iz obnovljivih izvora pri čemu bi u 2020. godini udio energije iz obnovljivih izvora u bruto neposrednoj potrošnji trebao iznositi najmanje 20 posto, promatrano na razini Europske unije.
- Vezano uz OIE, **Strategija energetskeg razvoja Republike Hrvatske (2002.) postavlja slijedeće ciljeve: povećanje udjela OIE u bruto neposrednoj potrošnji energije na 20% u 2020. godini, sektorski ciljevi su slijedeći: 35% udjela OIE u proizvodnji električne energije, uključujući velike hidroelektrane; 10% udjela OIE u prijevozu; 20% udjela OIE za grijanje i hlađenje.**
- **Nacionalni akcijski plan za proizvodnju energije iz OIE (2013.)** temeljem revidiranog programa definira nove udjele za 2020. godinu i to: **39,0% udjela OIE-a u bruto neposrednoj potrošnji električne energije, 10,0% udjela OIE-a u bruto neposrednoj potrošnji energije u prijevozu, 19,6% udjela OIE-a u bruto neposrednoj potrošnji za grijanje i hlađenje.**

Nacionalni akcijski plan za obnovljive izvore do 2020.

Tablica 3: Nacionalni ciljevi za 2020. godinu i procijenjene trajektorije energije iz obnovljivih izvora za grijanje i hlađenje, električnu energiju i energije za prijevoz (%)

	2005.	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.
OIE-GIH ¹	11,0	12,1	12,8	13,5	14,3	15,1	15,9	16,7	17,4	18,2	18,9	19,6
OIE-E ²	33,3	33,4	34,5	35,6	36,6	37,6	38,5	38,6	38,7	38,8	38,9	39,0
OIE-P ³	0,5	0,6	1,4	2,2	3,0	3,8	4,5	5,6	6,7	7,8	8,9	10,0
Ukupan udio OIE ⁴	12,8	13,3	14,2	15,1	15,8	16,4	17,5	18,1	18,6	19,1	19,6	20,1
Od čega iz razmjene (kao % od OIE)												
Višak za razmjenu (kao % od OIE)												

¹ Udio energije dobivene iz obnovljivih izvora za grijanje i hlađenje: bruto neposredna potrošnja energije iz obnovljivih izvora za grijanje i hlađenje (u skladu s definicijom iz članka 5. stavka 1.b) i članka 5. stavka 4. Direktive 2009/28/EZ podijeljeno s bruto neposrednom potrošnjom energije za grijanje i hlađenje. Redak (A) u tablici 4a. dijeli se s retkom (1) u tablici 1.

² Udio energije iz obnovljivih izvora u električnoj energiji: bruto neposredna potrošnja električne energije iz obnovljivih izvora električne energije (u skladu s definicijom iz članka 5. stavka 1.a) i članka 5. stavka 3. Direktive 2009/28/EZ podijeljeno s bruto neposrednom potrošnjom električne energije. Redak (B) u tablici 4a. dijeli se s retkom (2) u tablici 1.

³ Udio energije iz obnovljivih izvora u prijevozu: neposredna potrošnja energije iz obnovljivih izvora u prijevozu (u skladu s člankom 5. stavkom 1.c) i člankom 5. stavkom 5. Direktive 2009/28/EZ podijeljeno s potrošnjom u prijevozu: 1) benzina; 2) dizel goriva; 3) biogoriva koji se koriste u cestovnom i željezničkom prijevozu, i 4) električne energije u kopnenom prijevozu (kako je naznačeno u retku 3. tablica 1.). Redak (J) u tablici 4a. dijeli se s retkom (3) u tablici 1.

⁴ Udio energije iz obnovljivih izvora u bruto neposrednoj potrošnji energije. Redak (G) u tablici 4a. dijeli se s retkom (4) u tablici 1.

⁵ Izraženo u postotnim bodovima ukupnog udjela OIE-a.

Nacionalni akcijski plan za obnovljive izvore do 2020.

Tablica 5: Pregled svih politika i mjera

Naziv i referenca mjere	Vrsta mjere *	Očekivani rezultat **	Ciljna skupina i/ili djelatnost ***	Postojeće ili planirane	Datum početka i završetka provedbe mjere
ELEKTRIČNA ENERGIJA					
1. Poticanje primjene obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije	Zakonska Financijska	35% proizvodnje električne energije iz OIE u ukupnoj neposrednoj potrošnji električne energije do kraja 2020. godine.	Nositelji projekata razvoja postrojenja koja koriste OIE Povlašteni proizvođači električne energije	Postojeća	2007. -
GRIJANJE I HLAĐENJE					
1. Poticanje proizvodnje toplinske/rashladne energije iz OIE	Financijska Zakonska	Veće korištenje nacionalnog potencijala topline za grijanje i hlađenje.	Nositelji projekata razvoja kogeneracijskih postrojenja i projekata razvoja postrojenja za proizvodnju topline koja koriste OIE Povlašteni proizvođači električne energije i topline	Planirana	2015. -
2. Poticanje primjene kogeneracije	Zakonska Financijska	Do kraja 2020. godine minimalni udio električne energije proizvedene iz kogeneracijskih postrojenja od povlašćenih proizvođača i isporučene u prijenosnu, odnosno distribucijsku mrežu iznositi će 4% u ukupnoj neposrednoj potrošnji električne energije.	Nositelji projekata razvoja kogeneracijskih postrojenja Povlašteni proizvođači električne energije	Postojeća	2007. -
3. Poticanje korištenja OIE kod fizičkih osoba	Financijska	Provedba projekata koji doprinose postizanju cilja od 20% OIE u neposrednoj potrošnji energije do 2020.	Fizičke osobe (kućanstva) Pravne osobe (malo i srednje poduzetništvo)	Postojeća	2008. -

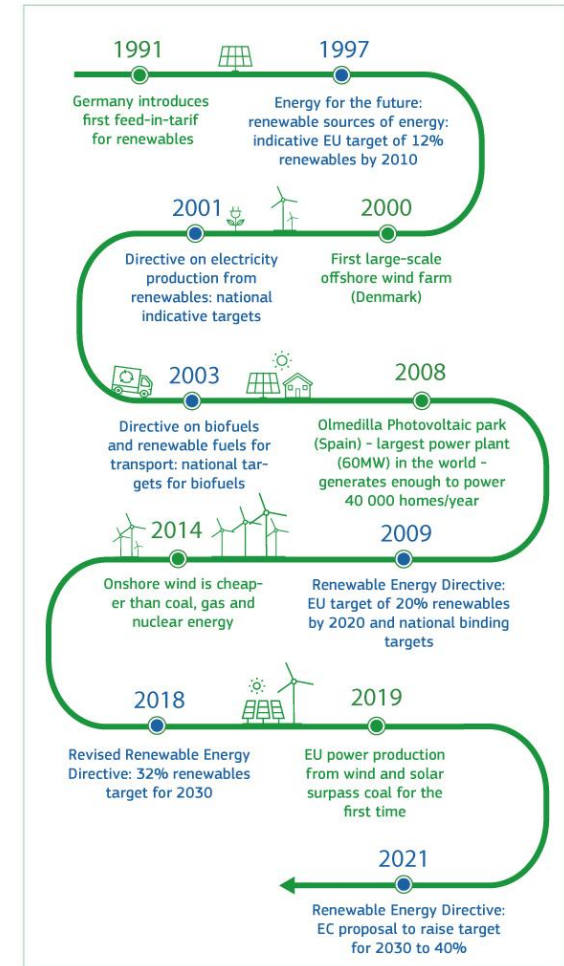
Nacionalni akcijski plan za obnovljive izvore do 2020.

Naziv i referenca mjere	Vrsta mjere *	Očekivani rezultat **	Ciljna skupina i/ili djelatnost ***	Postojeće ili planirane	Datum početka i završetka provedbe mjere
		godine.			
4. Korištenje goriva iz otpada u industriji cementa	Zakonska Financijska	Doprinos postizanju cilja od 20% OIE u neposrednoj potrošnji energije do 2020. godine.	Jedinice lokalne i područne (regionalne) samouprave Tvornice cementa	Postojeća	2011. -
 BIOGORIVA I OSTALE BIOKAPLJEVINE					
1. Obveza stavljanja biogoriva na tržište Republike Hrvatske	Zakonska	Povećanje potrošnje biogoriva. Doprinos postizanju cilja od 10% udjela OIE u proizvodnji energije za prijevoz u 2020. godini.	Distributeri dizelskog goriva i motornog benzina	Postojeća	2010. -
2. Obveza nabave ili unajmljivanja vozila koja mogu koristiti biogoriva u javnom prijevozu i javnom sektoru	Zakonska	Povećanje potrošnje biogoriva. Doprinos postizanju cilja od 10% udjela OIE u proizvodnji energije za prijevoz u 2020. godini.	Javni prijevoznici i javni sektor	Postojeća	2011. -
3. Poticanje proizvodnje biogoriva	Financijska Zakonska	Povećanje proizvodnje biogoriva.	Proizvođači biodizela i bioetanol	Postojeća	2010. -
4. Financijski poticaji za kupnju hibridnih i električnih vozila	Financijska	Povećanje udjela električnih i hibridnih vozila. Ušteda potrošnje primarne energije.	Kupci hibridnih i električnih vozila	Planirana	2014. -
 MEĐUSEKTORSKE MJERE					
1. Poticanje korištenja OIE i energetske učinkovitosti putem Hrvatske banke za obnovu i razvitak (HBOR)	Financijska	Doprinos postizanju cilja od 20% OIE u neposrednoj potrošnji energije do 2020. godine.	Jedinice lokalne i područne (regionalne) samouprave, komunalna društva, trgovačka društva, obrtnici. Poslovne banke koje su s HBOR-om ugovorile suradnju	Postojeća	2009. -



Direktiva 2018/2001/EC za promoviranje korištenja obnovljivih izvora

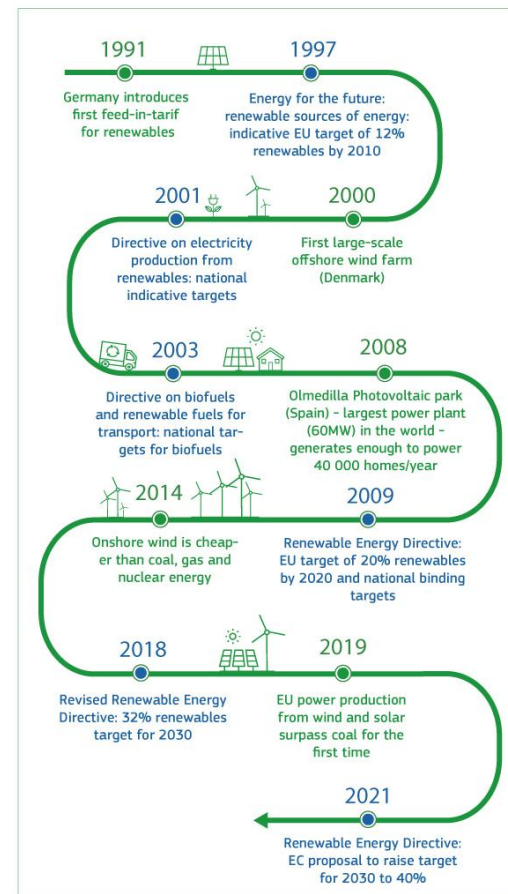
- U prosincu 2018. na snagu je stupila **preinačena Direktiva o energiji iz obnovljivih izvora 2018/2001/EU**, kao dio paketa "**Čista energija za sve Europljane**", čiji je cilj zadržati EU globalnim predvodnikom u području obnovljivih izvora energije i, u širem smislu, pomoći EU-u da ispuni svoje obveze smanjenja emisija u okviru Pariškog sporazuma.
- Nadovezujući se na cilj od 20 % za 2020., njime je utvrđen **novi obvezujući cilj za (krajnju) energiju iz obnovljivih izvora za EU za 2030. od najmanje 32 %**, uz klauzulu o mogućoj reviziji naviše do 2023., a obuhvaća **mjere za različite sektore** kako bi se to ostvarilo.
- To je posebno uključivalo nove odredbe kojima se:
 - **građanima omogućuje aktivna uloga u razvoju OIE** – omogućavanje **energetskih zajednica i vlastite potrošnje OIE**,
 - **povećanje cilja od 14 % za udio obnovljivih goriva u prometu do 2030. i**
 - **jačanje kriterija za osiguravanje održivosti bioenergije.**



Izvor: <http://ec.europa.eu/clima>

Direktiva 2018/2001/EC za promoviranje korištenja obnovljivih izvora – revizija srpanj 2021.

- **Dio paketa Europskog zelenog plana (Green deal).** Prijedlogom se podiže ambicija postojećeg zakonodavstva da ga se uskladi s povećanim klimatskim ambicijama EU-a.
- Nastoje se uvesti **nove mjere** kojima bi se dopunili već postojeći sastavni dijelovi utvrđeni direktivama iz 2009. i 2018., za optimalno iskorištavanje svih potencijala za razvoj OIE, što je nužan uvjet za postizanje **cilja KLIMATSKE neutralnosti EU-a do 2050.**
- U skladu s **klimatskim zakonom EU-a** ciljevi i mjere utvrđeni u **revidiranoj direktivi** trebali bi biti dovoljno ambiciozni da se emisije stakleničkih plinova do 2030. smanje **za najmanje 55 %**. To uključuje povećanje ukupnog cilja za obnovljive izvore energije (**predloženo povećanje na 40 %**), ali i pojačane mjere za promet ili grijanje i hlađenje.
- Nastoji ostvariti energetska učinkovitiji i kružniji energetski sustav kojim se olakšava **elektrifikacija temeljena na OIE** te promiče uporaba obnovljivih i niskougljičnih goriva, **uključujući vodik kao održivo rješenje**, u sektorima u kojima elektrifikacija još nije izvediva opcija, kao što je **promet**.



Izvor: <http://ec.europa.eu/clima>



Direktiva 2024/1275 europskog parlamenta vijeća o energetskim svojstvima zgrada – revizija travanj 2024.

- Ovom se Direktivom **promiče poboljšavanje energetskih svojstava zgrada i smanjenje emisija stakleničkih plinova iz zgrada u Uniji, s ciljem da se do 2050. uspostavi fond zgrada s nultim emisijama**, uzimajući u obzir vanjske klimatske uvjete, lokalne uvjete, zahtjeve u pogledu kvalitete unutarnjeg okoliša i troškovnu učinkovitost.
- **Utvrđuju zahtjevi u pogledu:**
 - (a) **zajedničkog općeg okvira metodologije** za izračunavanje integriranih **energetskih svojstava zgrada** i samostalnih uporabnih cjelina zgrada;
 - (b) **primjene minimalnih zahtjeva u pogledu energetskih svojstava na nove zgrade i nove samostalne uporabne cjeline zgrada;**
 - (c) **primjene minimalnih zahtjeva u pogledu energetskih svojstava na:**
 - i. postojeće zgrade** i postojeće samostalne uporabne cjeline zgrada koje se podvrgavaju značajnoj obnovi;
 - ii. elemente zgrade koji čine dio ovojnice zgrade** zgrade i koji imaju značajan utjecaj na energetska svojstva ovojnice zgrade ako se naknadno ugrađuju ili zamjenjuju;
 - iii. tehničke sustave zgrade** kada se ugrađuju, zamjenjuju ili moderniziraju;
 - (d) **primjene minimalnih standarda energetskih svojstava na postojeće zgrade i postojeće samostalne uporabne cjeline zgrada,**

Izvor: <http://ec.europa.eu/clima>



*Direktiva 2024/1275 europskog parlamenta vijeća
o energetske svojstvima zgrada – revizija travanj 2024.*

- *Utvrđuju zahtjevi u pogledu (nastavak):*

- e) izračuna i objavljivanja potencijala globalnog zagrijavanja tijekom životnog ciklusa zgrada;*
- f) solarne energije u zgradama;*
- g) putovnica za obnovu;*
- h) nacionalnih planova obnove zgrada;*
- i) infrastrukture za održivu mobilnost u zgradama i uz njih;*
- j) pametnih zgrada;*
- k) energetskog certificiranja zgrada ili samostalnih uporabnih cjelina zgrada;*
- l) redovitih pregleda sustava grijanja, sustava ventilacije i sustava klimatizacije u zgradama;*
- m) neovisnih sustava kontrole energetskih certifikata, putovnica za obnovu, pokazatelja pripremljenosti za pametne tehnologije i izvješća o pregledu;*
- n) svojstava zgrada u smislu kvalitete unutarnjeg okoliša..*

Izvor: <http://ec.europa.eu/clima>

Energetske opcije zgrade: blizu nula, neto nula ili gotovo nula energetska zgrada

1. **Net-Zero Site Energy Buildings:** pasivna, neto nula zgrada u kojoj je na godišnjoj razini količina proizvedene energije iz OIE u zgradi ili oko zgrade jednaka potrošnji u zgradi uz mogućnost predaje ili uzimanja iz mreže!!!
2. **Net-Zero Source Energy Buildings:** Uključuje i primarne OIE iz mreže/drugih izvora (teško primjenjivo u HR zasad).
3. **Net-Zero Energy Costs Buildings:** Godišnji ukupni troškovi energije = zaradi od prodaje (npr. za povlaštene proizvođače)
4. **Net-Zero Emissions Buildings:** Ukupna godišnja neto emisija = 0.
5. **Near Zero-Energy Buildings:** Blizu nula energetska zgrada, obveza prema Direktivi EU iz 2010 koju je potrebno postići do 2019. za javne zgrade!!! Potrošnja zgrade manja od npr. 20 kWh/m², god. **Minimum koji je potrebno postići!**

Source: NREL Net Technical Report -Zero Energy Buildings: A Classification System Based on Renewable Energy Supply Options **Technical Report NREL/TP-550-44586 June 2010**

Table 1. NZEB RE Supply Option Hierarchy

Energetske opcije zgrade: neto nula ili gotovo nula energetska zgrada

*Korak (opcija) 0 – Low-Energy
Buildings*

***Niskoenergetska zgrada – poduzete
sve pasivne mjere i mjere energetske
učinkovitosti u dizajnu same zgrade
osnova za NZEB!!! Prema gotovo
nula energetskej zgradi!***

*Korak (opcija 1) – Renewable Energy
Generated Within the Building*

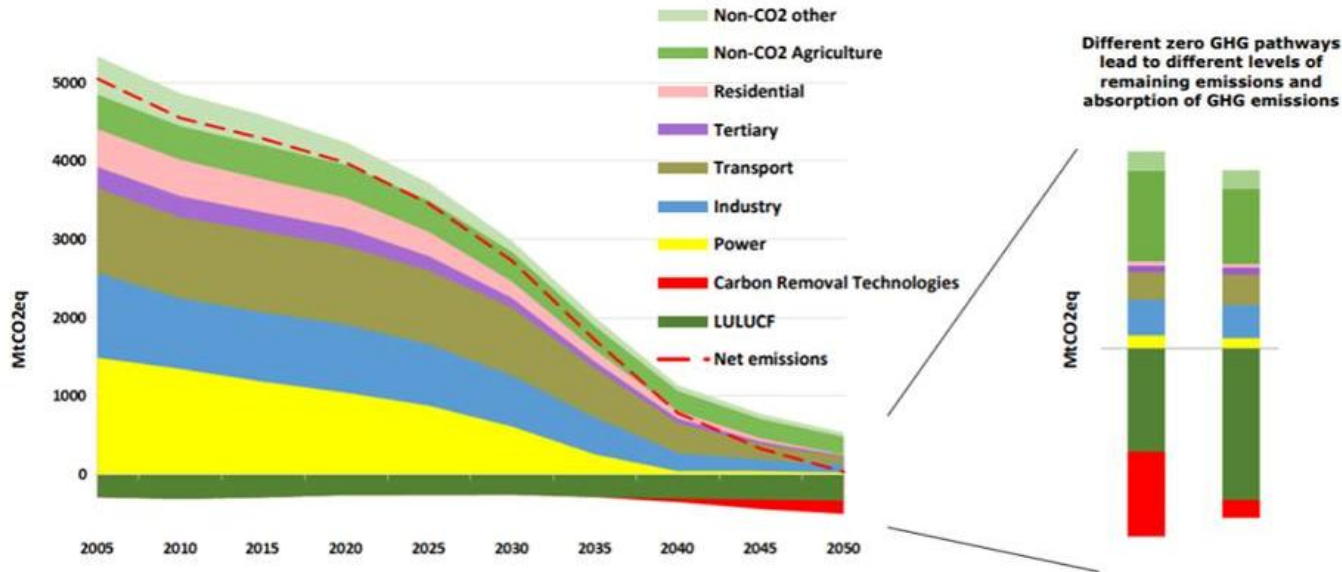
***Proizvodnja iz OIE unutar same
zgrade – nadgradnja za NZEB ,
prema neto –nula en. zgradi!***

*Korak (opcija 2) – Renewable Energy
Generated Within the Boundary of
the Building Site*

***Proizvodnja iz OIE u neposrednoj
okolini zgrade.***

Option Number	NZEB Supply-Side Options	Examples
0	Reduce site energy use through energy efficiency and demand-side renewable building technologies.	Daylighting; insulation; passive solar heating; high-efficiency heating, ventilation, and air-conditioning equipment; natural ventilation, evaporative cooling; ground-source heat pumps; ocean water cooling
On-Site Supply Options		
1	Use RE sources available within the building footprint and connected to its electricity or hot/chilled water distribution system.	PV, solar hot water, and wind located on the building
2	Use RE sources available at the building site and connected to its electricity or hot/chilled water distribution system.	PV, solar hot water, low-impact hydro, and wind located on parking lots or adjacent open space, but not physically mounted on the building
Off-Site Supply Options		
3	Use RE sources available off site to generate energy on site and connected to the building's electricity or hot/chilled water distribution system.	Biomass, wood pellets, ethanol, or biodiesel that can be imported from off site, or collected from waste streams from on-site processes that can be used on site to generate electricity and heat
4	Purchase recently added off-site RE sources, as certified from Green-E (2009) or other equivalent REC programs. Continue to purchase the generation from this new resource to maintain NZEB status.	Utility-based wind, PV, emissions credits, or other "green" purchasing options. All off-site purchases must be certified as recently added RE. A building could also negotiate with its power provider to install dedicated wind turbines or PV panels at a site with good solar or wind resources off site. In this approach, the building might own the hardware and receive credits for the power. The power company or a contractor would maintain the hardware.

EU '2050 zero-carbon economy' Green deal



Novi 2018. (dosadašnji 2010.) ciljevi EU do 2030 – usklađivanje s Pariškim sporazumom i ciljem 1.5°C (2°C) vs. Europski zeleni plan (European Green Deal)

- 55% (2021.) umjesto 45% (2018.) umjesto 40% (2009.) manje emisije CO₂
- 40% (2021.) umjesto 32% (2018.) umjesto 27% (2009.) udio OIE u uk. en.
- 41.5% (2021.) umjesto 32.5% (2018.) umjesto 27% (2009.) veća en. učinkovitost

Novi 2018. (dosadašnji) cilj 2050: 100% (80%) manje emisije, oslanjanje na CCS tehnologije, aktivno korištenje zemljišta, elektroenergetsku sektor bez emisija do 2040.

Izvor: <http://ec.europa.eu/clima>



Strategija energetskeg razvitka do 2030 prema 2050

Hrvatski sabor na sjednici 28. veljače 2020. donio je

STRATEGIJU ENERGETSKOG RAZVOJA REPUBLIKE HRVATSKE DO 2030. S POGLEDOM NA 2050. GODINU: VIZIJA RAZVOJA – NA PUTU PREMA NISKOUGLJIČNOJ ENERGIJI

- „predstavlja korak prema ostvarenju **vizije niskouglične energije** te osigurava prijelaz na novo razdoblje energetske politike kojom se osigurava pristupačna, sigurna i kvalitetna opskrba energijom bez dodatnog opterećenja državnog proračuna u okviru državnih potpora i poticaja.
- Predviđeni **proces energetske tranzicije** bit će kapitalno intenzivan, bez poticajnih mjera u smislu državnih potpora, ali uz očekivani veći angažman privatnog sektora/ kapitala u financiranju projekata OIE.
- Financiranje energetske tranzicije prvenstveno se očekuje sredstvima zainteresiranih tvrtki koje će prepoznati priliku za ulaganje, sredstvima financijskih institucija i fondova (uključujući mirovinske fondove) koji će pratiti poduzetnički sektor i koji će svoje proizvode prilagoditi tranziciji energetskeg sektora, sredstvima EU iz programa kohezijske politike i drugih programa gdje će učešća u projektima osigurati privatni sektor, sredstvima fondova sukladno odredbama EU-ETS direktive – Fond za modernizaciju i Inovacijski fond, kao i sredstvima prikupljenim od dražbe emisijskih jedinica i naknade na emisiju CO₂.”

Strategija energetskeg razvitka do 2030 prema 2050



**Ukupna potrošnja energije
 prema scenariju S1
 ubrzane energetske tranzicije**



**Ukupna potrošnja energije
 prema scenariju S2
 umjerene energetske tranzicije**

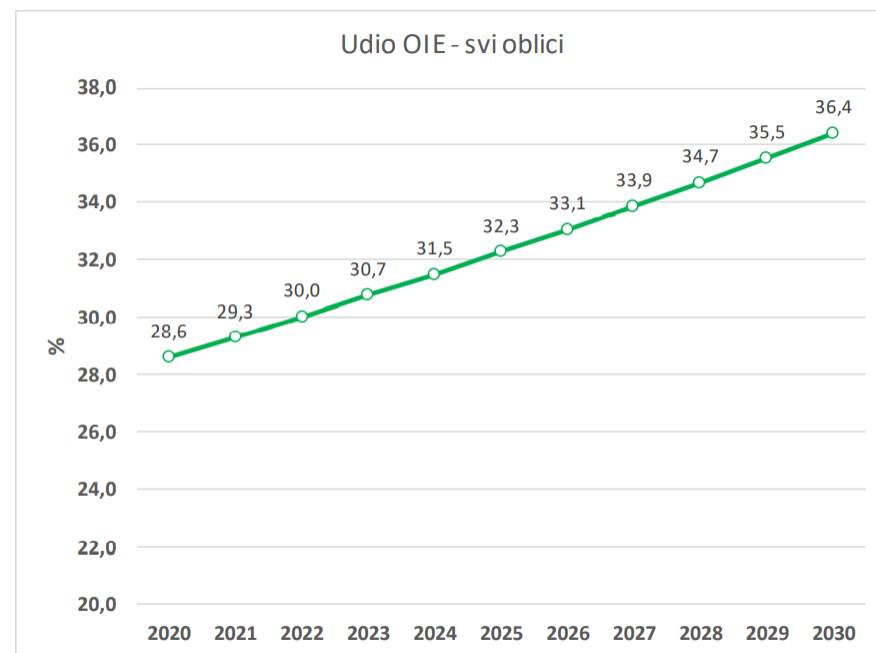
Integrirani nacionalni energetske i klimatski plan za Republiku Hrvatsku 2021. do 2030.

Prema Direktivi EU 2018/2001 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA
 od 11. prosinca 2018. o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora

Indikator	Cilj
Smanjenje emisije stakleničkih plinova za ETS sektor, u odnosu na 2005. godinu	najmanje 43 % ¹
Smanjenje emisije stakleničkih plinova za sektore izvan ETS-a, u odnosu na 2005. godinu	najmanje 7 %
Udio OIE u bruto neposrednoj potrošnji energije	36,4 %
Udio OIE u neposrednoj potrošnji energije u prometu	13,2 %
Potrošnja primarne energije (ukupna potrošnja energije bez neenergetske potrošnje)	344,38 PJ (8,23 ktoe)
Neposredna potrošnja energije	286,91 PJ (6,85 ktoe)

Tablica 2–1. Indikativni nacionalni ciljevi za udjele OIE do 2030.

Udio OIE, %	Projekcije 2020.	Ciljevi 2030.
U bruto neposrednoj potrošnji energije	28,6	36,4
U bruto neposrednoj potrošnji električne energije	47,0	63,8
U bruto neposrednoj potrošnji energije za grijanje i hlađenje	33,3	36,6
U neposrednoj potrošnji energije u prometu	5,2	13,2

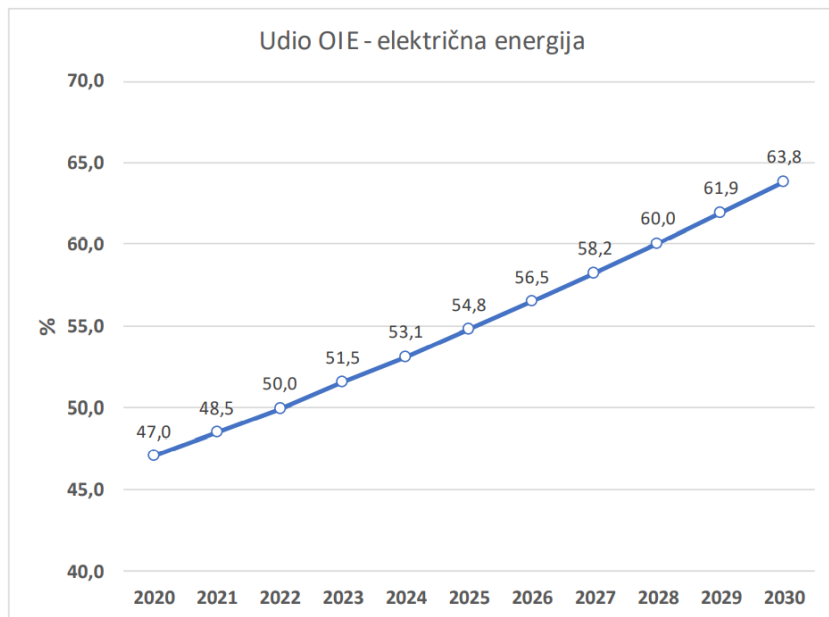


Slika 2-1. Indikativna putanja udjela OIE u bruto neposrednoj potrošnji energije

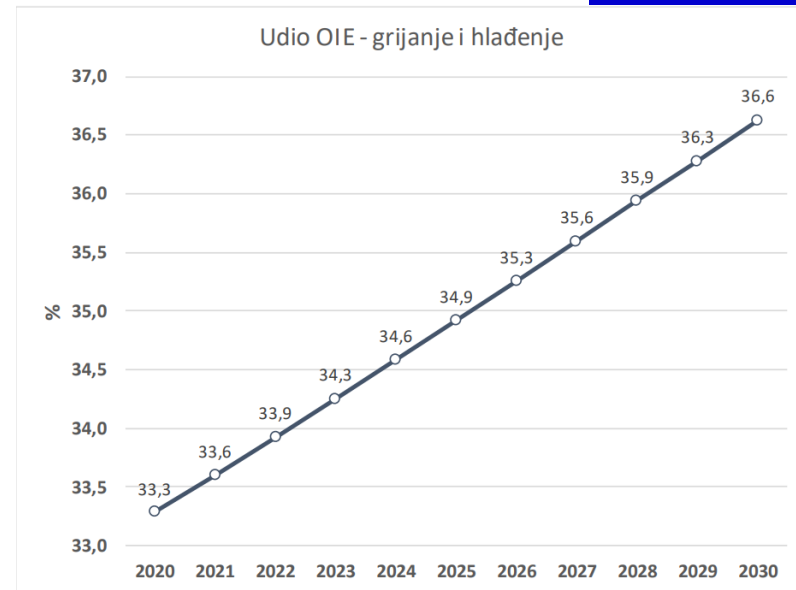
Integrirani nacionalni energetske i klimatski plan za Republiku Hrvatsku 2021. do 2030.

Prema Direktivi EU 2018/2001 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA

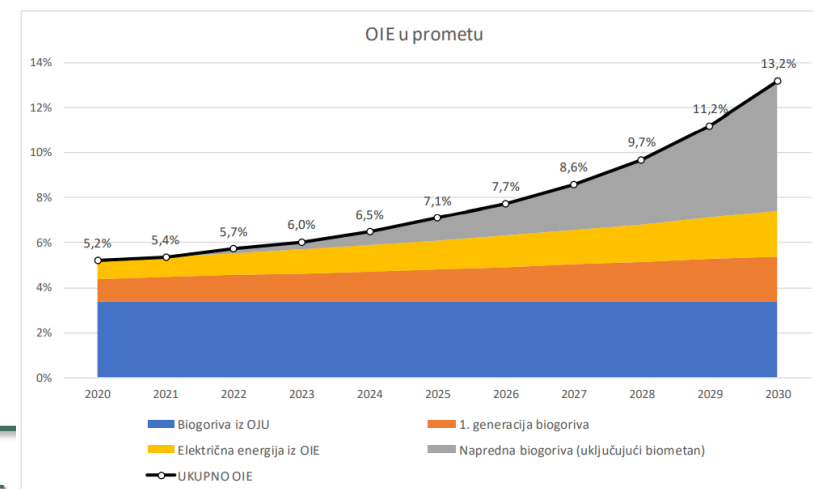
od 11. prosinca 2018. o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora



Slika 2-2. Indikativne putanje udjela OIE u električnoj energiji



Slika 2-3. Indikativne putanje udjela OIE u grijanju i hlađenju



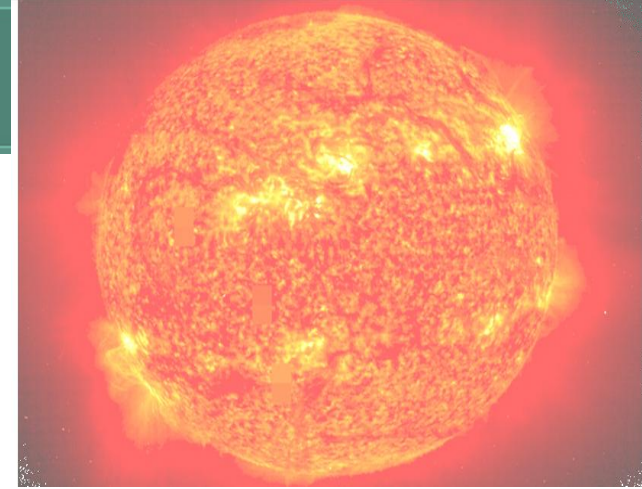
Slika 2-4. Indikativne putanje udjela OIE u prometu

Revidirani Integrirani nacionalni energetske i klimatski plan Republike Hrvatske za razdoblje od 2021. - 2030. (NECP)

Vlada RH je 26. ožujka 2025. donijela revidirani Integrirani nacionalni energetske i klimatskih plan Republike Hrvatske za razdoblje od 2021. do 2030. (NECP). Zaključkom Vlade RH o NECP-u Ministarstvo zaštite okoliša i zelene tranzicije i Ministarstvo gospodarstva zaduženi su za koordinaciju aktivnosti u njegovoj provedbi.

Indikator	Cilj
<i>Smanjenje emisija stakleničkih plinova u ETS sektoru, u odnosu na 2005. godinu</i>	-62 %
<i>Smanjenje emisija stakleničkih plinova u sektorima izvan ETS-a, u odnosu na 2005. godinu</i>	-16,7 %
<i>Vrijednost neto uklanjanja stakleničkih plinova u 2030.</i>	-5.527 kt CO ₂ -eq
Udio obnovljivih izvora energije (OIE) u bruto neposrednoj potrošnji energije	42,5 %
Udio obnovljivih izvora energije (OIE) u neposrednoj potrošnji energije u prometu	24,6 %
<i>Potrošnja primarne energije (ukupna potrošnja energije bez neenergetske potrošnje)</i>	336,9 PJ (8,05 Mtoe)
<i>Neposredna potrošnja energije</i>	246,2 PJ (5,88 Mtoe)

Energija Sunčevog zračenja



Postanak

- Energija Sunčeva zračenja koja dopire do vanjskog ruba Zemlje ovisno o udaljenosti Zemlje od Sunca iznosi **1307-1399 W/m² na plohu okomitu na smjer zračenja**
- Srednja vrijednost Sunčeva zračenja na okomitu plohu naziva se **solarna konstanta** i iznosi **$E_{0sr}=1367.7 \text{ W/m}^2$**
- Za različite udaljenosti Zemlje od Sunca stvarna vrijednost Sunčeva zračenja na okomitu plohu je:

$$E_o = E_{0sr} \left(\frac{r}{R} \right)^2$$

gdje je:

r – srednja udaljenost Zemlje od Sunca

R - stvarna udaljenost Zemlje od Sunca

(za promatrani dan može se smatrati konstantnom)

Energija Sunčevog zračenja

- **Sunčevo zračenje (jakost)** može se približno kvantitativno izraziti sa:

$$E_o(n) = \varepsilon_o(n) E_{0sr} = \left(1 + 0.034 \cos \frac{360^\circ n}{365^\circ} \right) E_{0sr} \quad [\text{W/m}^2]$$

gdje je: ε ekscentricitet elipse, n broj dana u godini

- **Ukupna dnevna količina energije u [J]** koja se dobije ozračenjem vodoravne plohe po jedinici površine računa se po izrazu:

$$W_o(n, \phi, \delta, \omega_s) = \frac{86400}{\Pi} E_{0sr} \left(1 + 0.034 \cos \frac{360^\circ n}{365^\circ} \right) \left(\frac{2\Pi}{360} \omega_s \sin \phi \sin \delta + \sin \omega_s \cos \phi \cos \delta \right)$$

ω_s satni kut sunca (12h=0°, 13h=15°, 15h=45°);

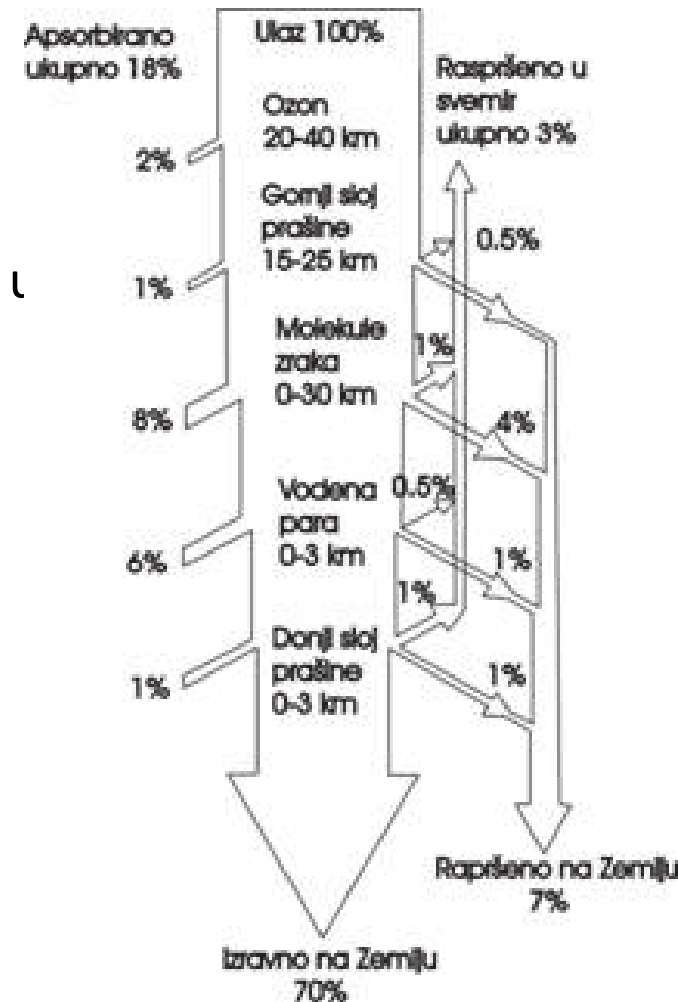
Φ zemljopisna širina promatranog mjesta;

δ deklinacija Sunca (kut između spojnice središta Zemlje sa središtem Sunca i ravnine Ekvatora)

$$\delta = 23.45^\circ \sin \left(360^\circ \frac{248 + n}{365} \right)^2$$

Energija Sunčevog zračenja

- Prosječna mjesečna ili godišnja energija Sunčeva zračenja u nekom mjesecu dobiva se kao aritmetička sredina dnevnih energija za sve dane u promatranom mjesecu/godini.
- Ipak, **pri prolasku kroz atmosferu dolazi do gubitaka energije izravnog Sunčevog zračenja**, ovisno o
 - atmosferskim prilikama (vedro, poluoblačno, oblačno)
 - zagađenosti atmosfere i
 - nadmorskoj visini!
- Maksimalni dotok energije do Zemljine površine iznosi u prosjeku **dnevno 920 W/m^2 na plohu okomitu na smjer zračenja**.
- Energija sunčeva zračenja zbog **rotacije** raspoređuje se površinom Zemlje, pa na površinu Zemlje **dolazi prosječno dnevno 230 W/m^2**

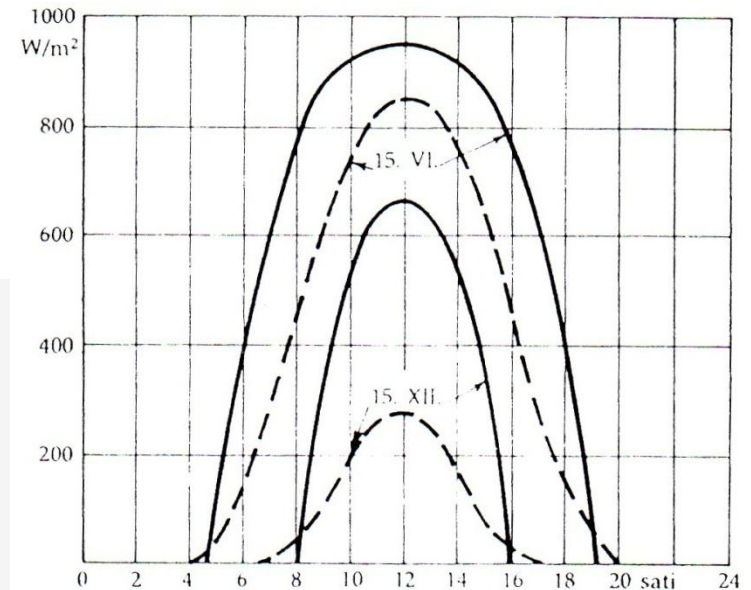


Utjecaj atmosfere na upadno Sunčevo zračenje

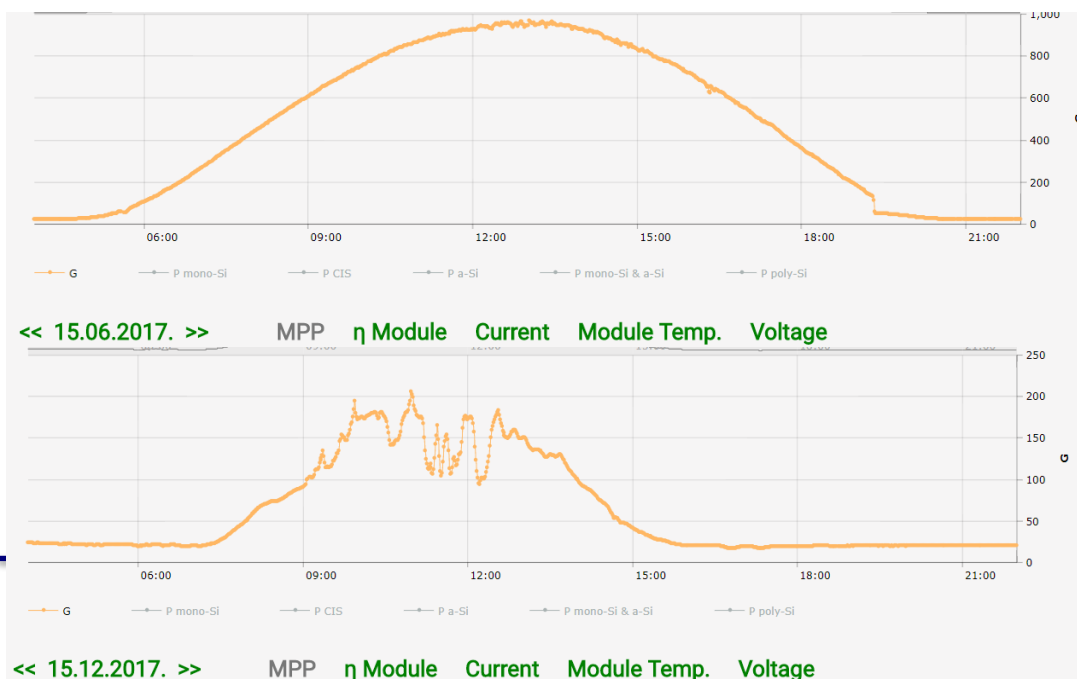
Energija Sunčevog zračenja

- **Jakost Sunčevog zračenja** koja dopire do Zemljine površine, a mogla bi se iskorištavati mijenja se tijekom dana i godine, te ovisi o položaju plohe na koju dopire zračenje.
- Smanjuje se s smanjenjem nadmorske visine (duži put zraka) i s povećanjem zemljopisne širine (manji upadni kut zračenja), naoblakom...

Snaga ukupnog zračenja Sunca na okomitu i vodoravnu plohu pri vedrom vremenu na 59° (grad Zagreb/Osijek)



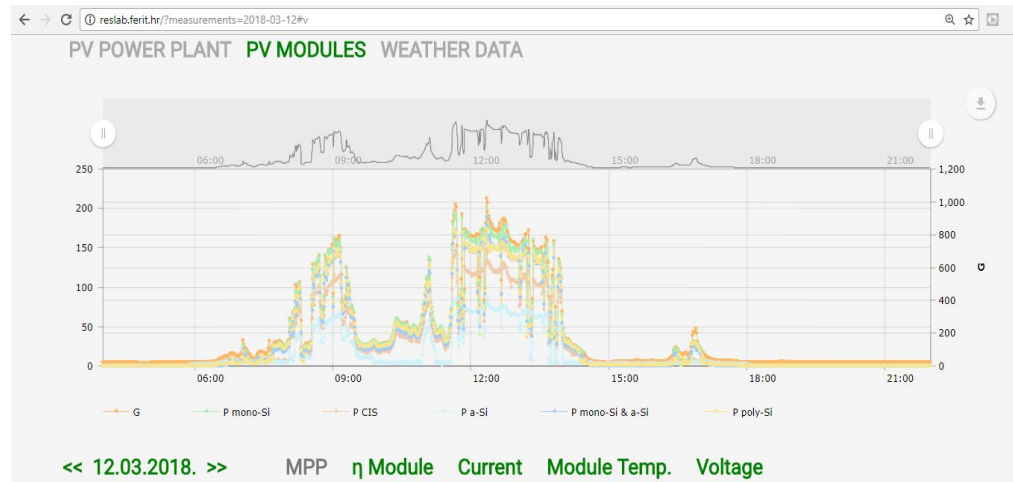
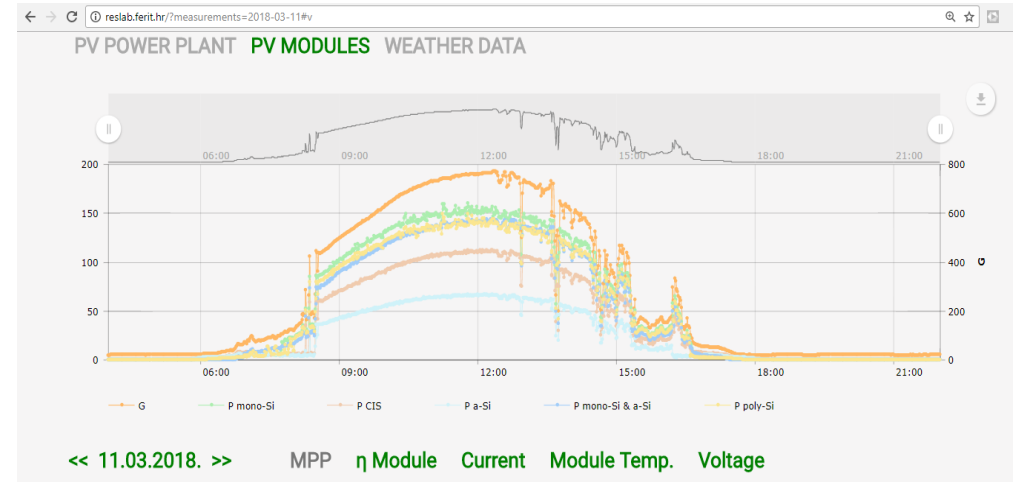
— okomita ploha - - - vodoravna ploha



Velike oscilacije (promjenjivost) prirodnog dotoka:

- Sunčevo zračenje s mijenja s dobom dana i godine, a posebice negativan je utjecaj naoblake (klimatskih prilika) koji u trenutku mogu umanjiti intenzitet zračenja;

Sekundna mjerenja snage (MPP) 5 fotonaponskih modula tijekom 11. i 12.03.2018. u Laboratoriju za OIE FERIT-a

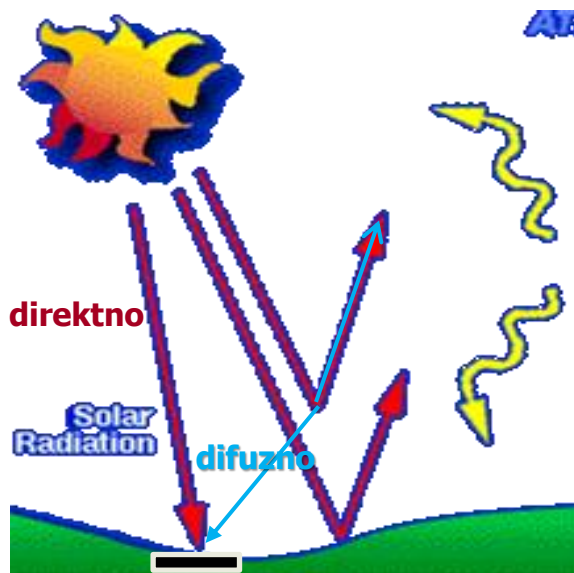


Izvor: reslab.ferit.hr

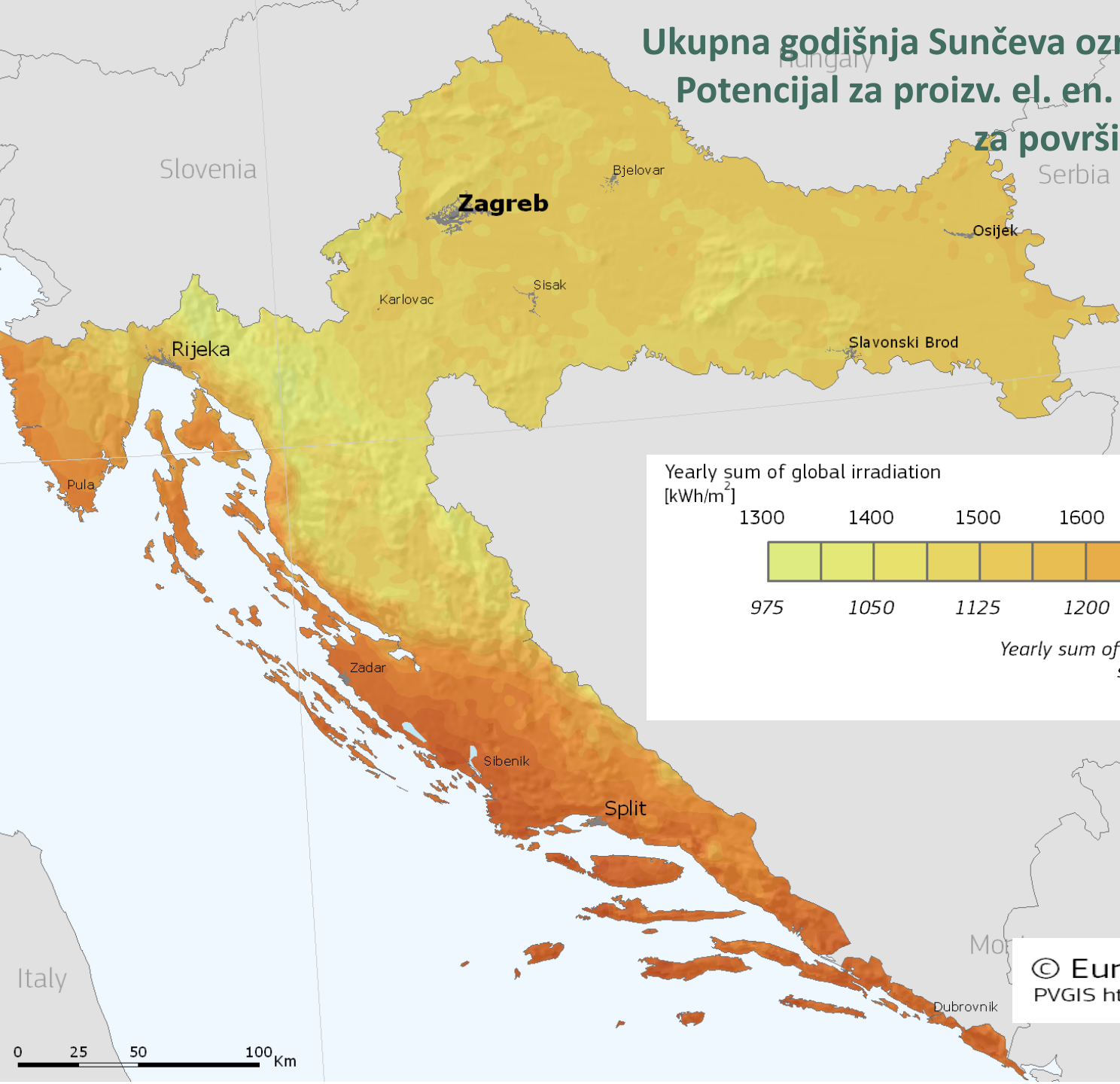
Energija Sunčevog zračenja

Sunčevo zračenje – mjerenje

- Za neku određenu lokaciju potencijal Sunčeva zračenja se određuje **mjerenjem i analitički (PVGIS)**
- Mjeriti se može lokalno ili satelitski. **Piranometrom** (termičkim ili poluvodičkim) se mjeri globalna (ukupna), **direktna (izravna)** i **difuzna (raspršena) ozračenost na horizontalnu površinu** (gustoća energije H u $[Wh/m^2]$).



Ukupna godišnja Sunčeva ozračenost [kWh/m^2] Potencijal za proizv. el. en. (FN) [$\text{kWh}/\text{kW}_{\text{peak}}$] za površinu pod opt. kutom



Yearly sum of global irradiation
[kWh/m^2]

1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900



975 1050 1125 1200 1275 1350 1425

Yearly sum of solar electricity generated by 1kW_p
system with performance ratio 0.75
[$\text{kWh}/\text{kW}_{\text{peak}}$]

© European Union, 2012
PVGIS <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Uporaba energije Sunčevog zračenja

- Proizvodnja toplinske energije:
 - 1. Pasivno solarno grijanje** (izravno grijanje zgrade kao kolektora, solarna arhitektura)
 - 2. Aktivno solarno grijanje** (grijanje vode pomoću solarnih kolektora)
- Proizvodnja toplinske i električne energije (kogeneracija):
 - 3. Solarne termoelektre** (el. energija proizvodi se posredno preko toplinskog kružnog procesa s koncentriranim Sunčevim zračenjem) – bliže ekonomičnosti
- Proizvodnja električne energije:
 - 4. Fotonaponske (FN) ili sunčeve ćelije** (Photo Voltaic Cells, PV, izravna pretvorba na temelju fotoefekta) – veći poticaji i stoga brži razvoj

Pasivno solarno grijanje (arhitektura)

- Izravno grijanje zgrade kao kolektora

- Osnovni zahtjevi:

1. Velika južna površina za prihvatanje sunčeva zračenja (staklo/prozori).

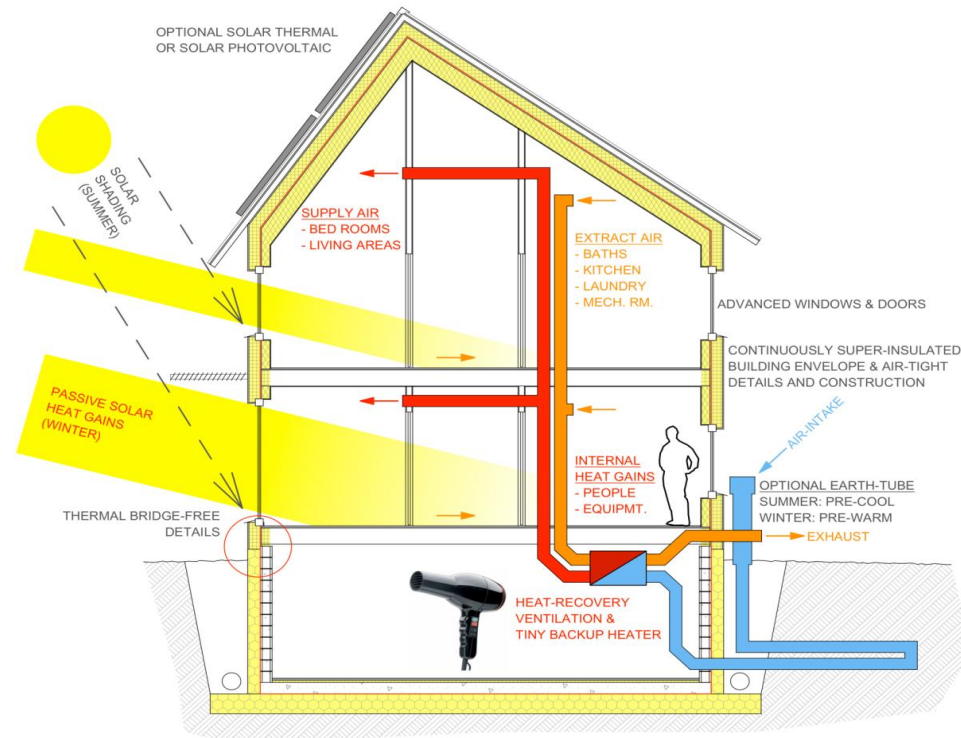
2. Konstrukcija s velikom termalnom masom (npr. gusti beton ili cigle).

Time se sprema toplinska energija za dana i zadržava preko noći. Izbjegava se i ljetno pregrijavanje.

3. Dobra izolacija na vanjskim strukturama za održavanje topline

4. Izbjegavanje zasjenjavanja objekata.

Pasivne (nula energetske) i energetske učinkovite (blizu ili neto nula) zgrade i sustavi povrata topline

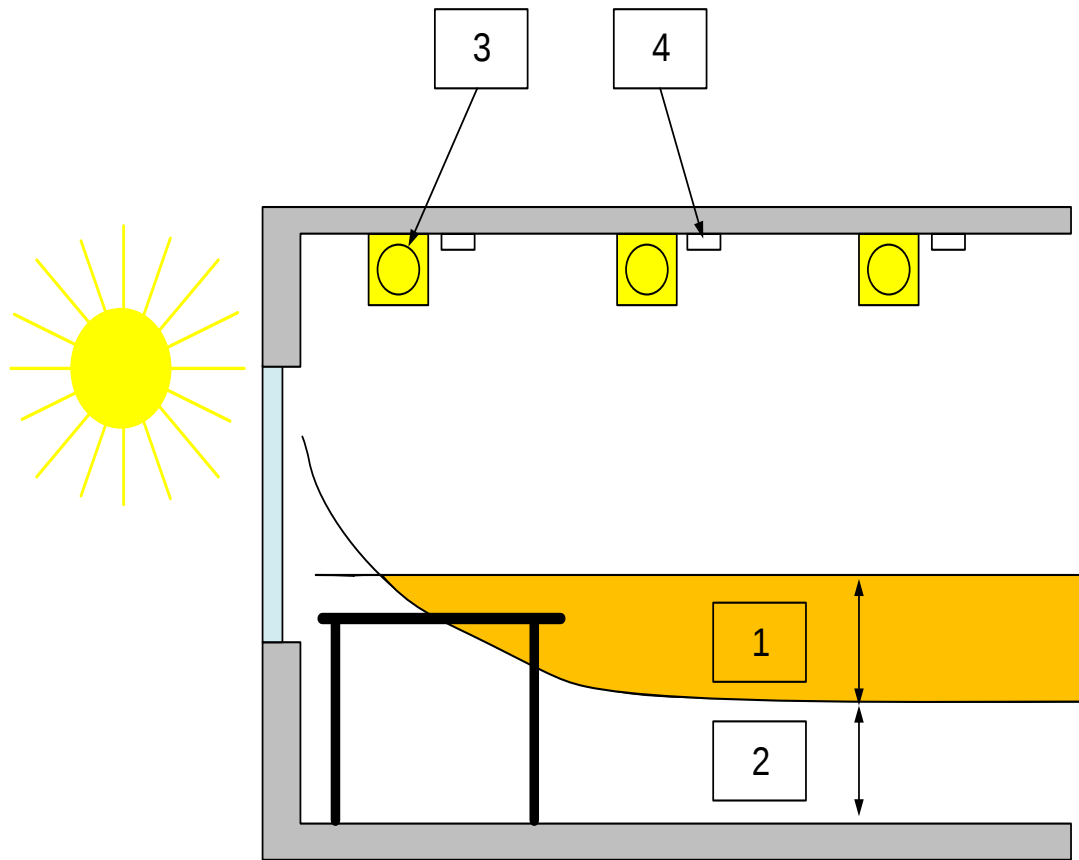




Pasivna solarna arhitektura – rasvjeta (tzv. Daylighting)

- Učinkovitost unutarnje rasvjete, za koju su smjernice dane u normi HRN EN 15193:2008 “Energijska svojstva zgrade – Energijski zahtjevi za rasvjetu”. Slijede zahtjevi:
 1. **Optimalno korištenje dnevne svjetlosti u unutarnjim prostorima zgrade (daylighting)** optimalna arhitektonska rješenja s konstruktivnim elementima koji omogućavaju prodor dnevnog svjetla i izravnog sunčevog svjetla što dublje u unutrašnjost zgrade, uz primjenu rješenja za zaštitu od neugodnih posljedica izravne sunčeve svjetlosti (pregrijavanje unutarnjeg prostora i neugodno bliještanje).
 2. **Sveobuhvatna primjena svih mogućih načina upravljanja rasvjetom, objedinjenih na jednom mjestu**, putem jednog sustava, koji mora obuhvatiti i upravljanje prema
 - dostupnoj **količini dnevnog svjetla** (upravljanje unutarnjom rasvjetom ovisno o dnevnom svjetlu pomoću senzora dnevnog svjetla)
 - **korištenju prostora** i (upravljanje rasvjetom ovisno o prisutnosti pomoću senzora prisutnosti/pokreta)
 - **starenju rasvjetne instalacije** kako bi se tijekom vremena održavala konstantna projektirana rasvijetljenost prostora.

Pasivna solarna arhitektura : primjeri: rasvjeta unutarnjeg prostora prirodnim svjetlom (daylighting)

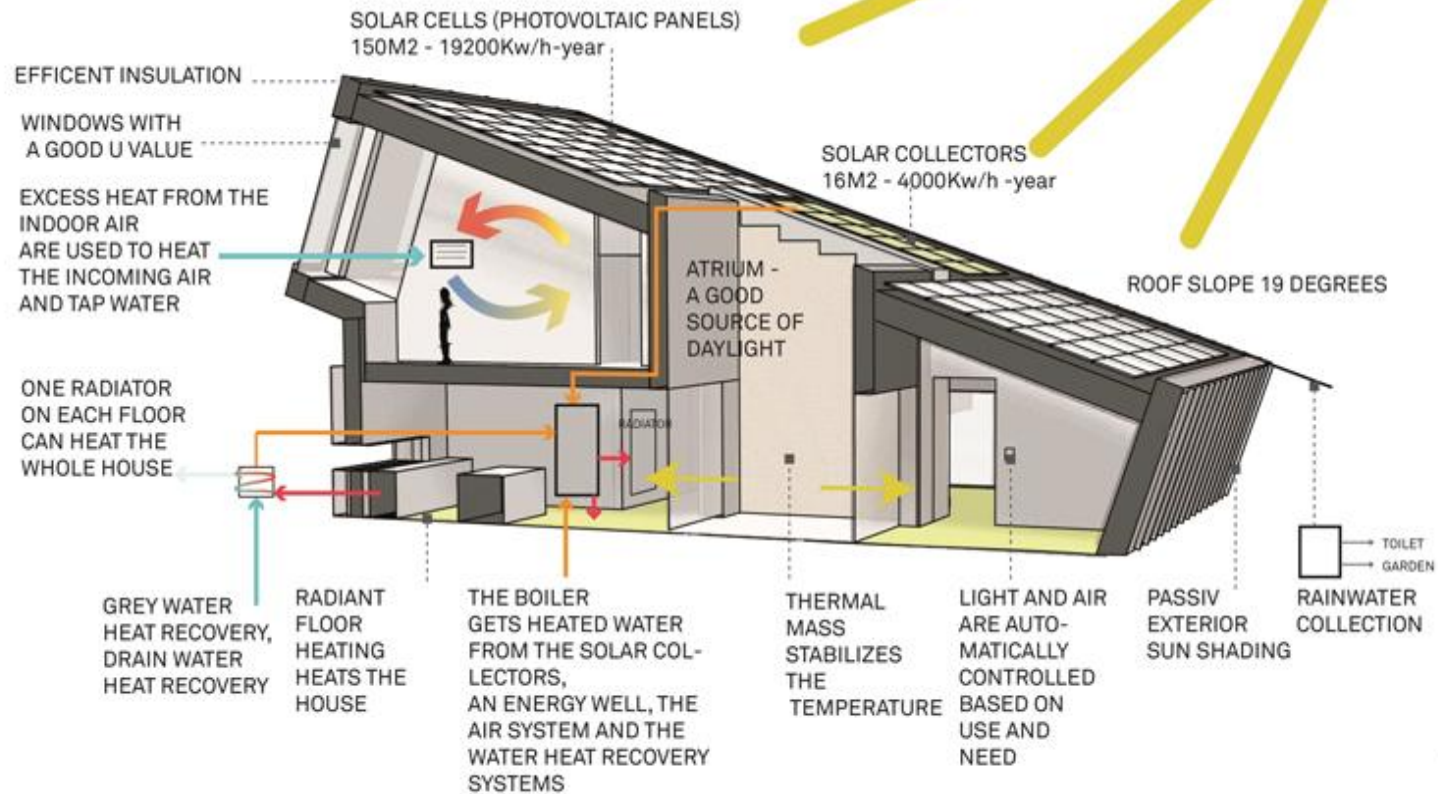


Sustav automatskog održavanja
 zadane razine rasvjetljenosti

- 1 – umjetno svjetlo,
- 2 – dnevno svjetlo,
- 3 – svjetiljke s regulabilnom
 prigušnicom,
- 4 – svjetlosni senzor s detekcijom
 prisustva.

Primjer 'solarne' tj. energetske arhitekture:

Snøhetta's tilted zero energy house - Norway



Izvor: <https://www.designboom.com/architecture/snohetta-zeb-pilot-house-12-16-2014/>

Aktivno solarno grijanje

- **Zagrijavanje vode pomoću solarnih kolektora,**
- Pretvora energije Sunčevog zračenja (svjetlosti) u toplinsku energiju naziva se **fototermička pretvorba**
- Moguće primjene: grijanje vode u domaćinstvima, bazena i kupatila, procesne vode, dogrijavanje za kondicioniranje zraka
- **Indikatori potencijalno isplativih primjena solarnog zagrijavanja vode:**
 1. Potreba za toplom vodom konstantna kroz tjedan i godinu (ili više ljeti).
 2. Visoka cijena ostale energije (el. energija, propan, itd.).
 3. Dovoljno površine za postavljanje kolektora ($0,025 \text{ m}^2/\text{l/d}$).
 4. Sunčanija klima pomaže, ali nije nužnost – solarno grijanje moguće i u hladnijoj klimi.
- **Potencijalne lokacije:** kuće za stanovanje, škole, bolnice, restorani, zatvori, praonice, ostalo

ž

Aktivno solarno grijanje

Fototermička pretvorba u solarnim kolektorima

Učinkovitost fototermičke pretvorbe se može definirati izrazom:

$$\eta = \alpha - \varepsilon \frac{\sigma T^4}{CP_0}$$

Gdje je:

- α – solarna apsorptivnost
- ε – toplinska emisivnost
- σ – Stefan –Boltzmannova konstanta
- T – temperatura solarnog toplinskog kolektora
- C – koncentracijski faktor
- P_0 – gustoća snage sunčevog zračenja (tipična vrijednost sunčanog dan je 1kW/m^2)

Izvor: "Physics of Solar Energy" C. Julian Chen

Aktivno solarno grijanje

- **Tehnologija – solarni toplinski kolektori:** preuzimaju energiju svjetlosnog zračenja i griju vodu. Solarni toplinski kolektori se mogu kategorizirati prema temperaturi na kojoj efikasno griju vodu:

Učinkovitost različitih vrsta kolektora:

1. Niskotemperaturni kolektori:

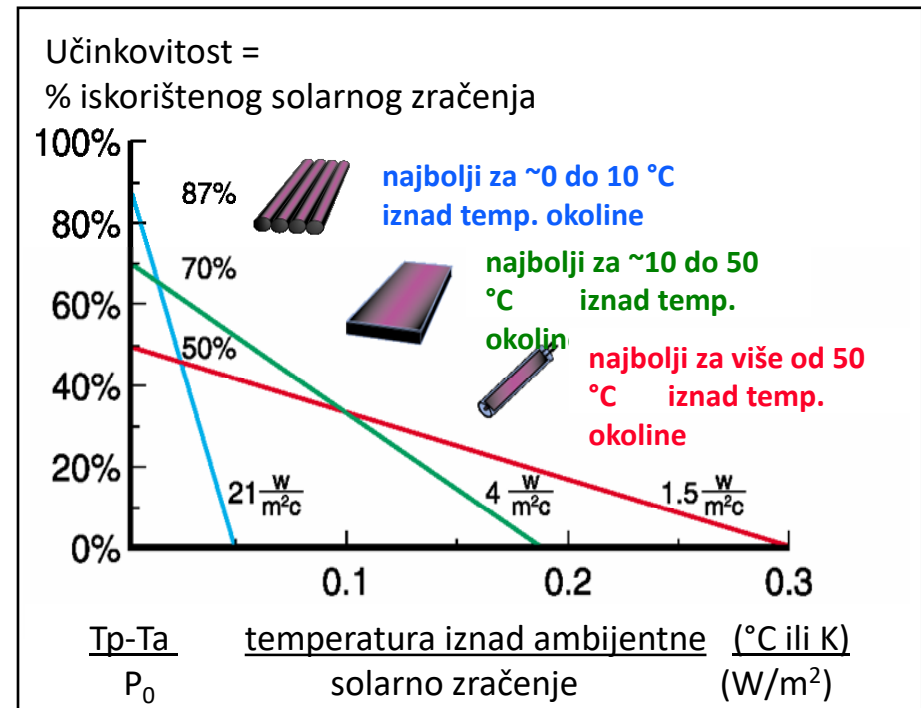
- **Bez stakl. pokrova** (grijanje vode).
- Perforirane ploče za predgrijavanje zraka.

2. Srednjetemperaturni kolektori:

- Izolirani **pločasti kolektori** s pokrovom (PTV, grijanje)

3. Visokotemperaturni kolektori:

- **Vakumske cijevi** (PTV, grijanje)
- **Koncentrirajući kolektori** (STE)



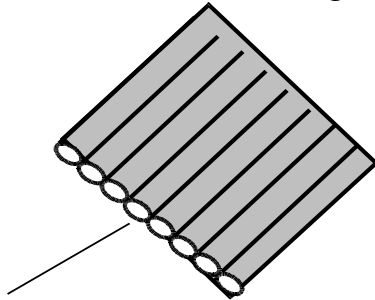


Aktivno solarno grijanje

Vrste kolektora:

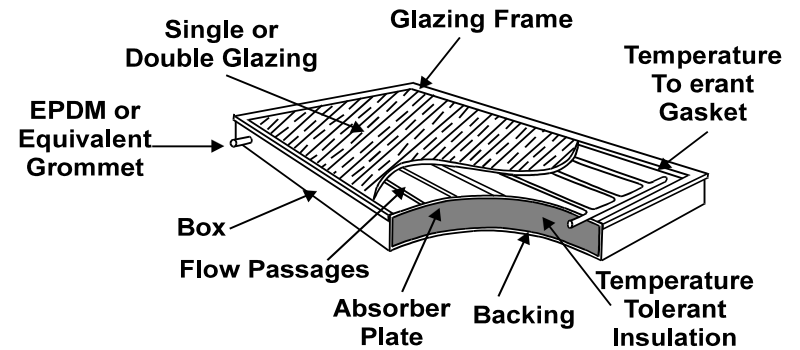
Niskotemperaturni: Bez staklenog pokrova (unglazed)

Extruded "Mat" with Flow Passages



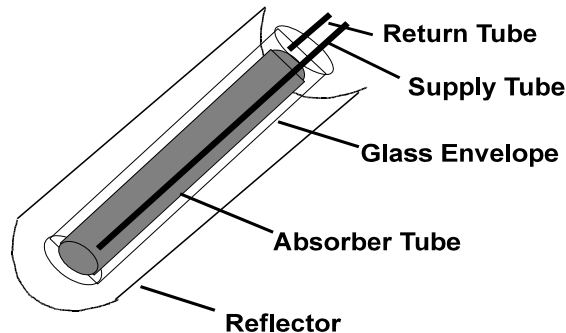
Flow from Manifold Through Passages

Srednjetemperaturni: Pločasti kolektori (flat plate)

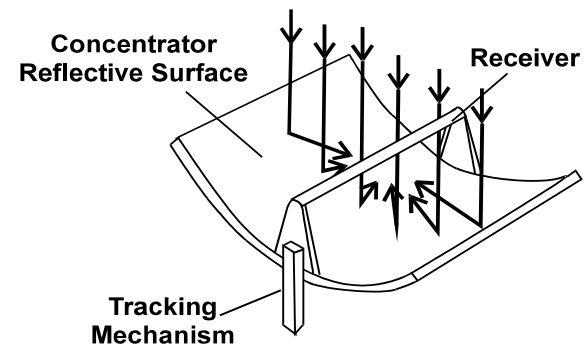


Visokotemperaturni:

Vakumske cijevi (evacuated tube)



Protočni koncentrir. (parabolic trough)



Aktivno solarno grijanje

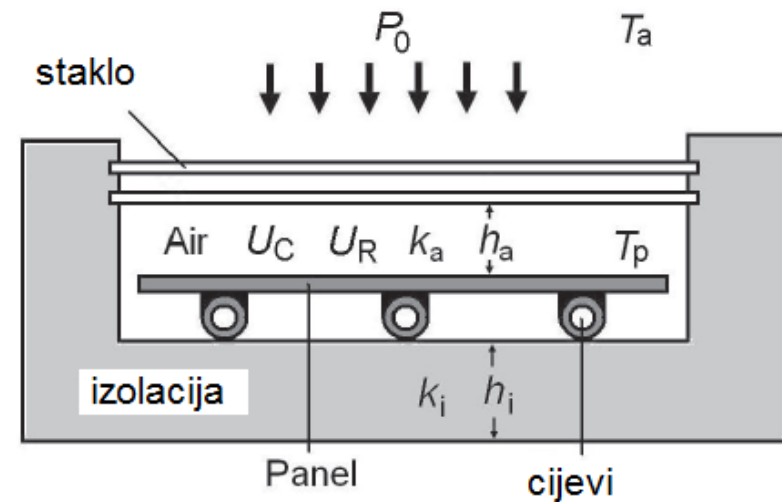
Solarni pločasti kolektori

Učinkovitost solarnog pločastog kolektora je:

$$\eta = F \left(\tau \alpha - \frac{1}{P_0} U_L (T_p - T_a) \right)$$

Gdje je:

- τ – koeficijent transmisije staklenog pokrova
- α – solarna apsorptivnost
- F – efektivna apsorpcijska površina
- P_0 – gustoća snage sunčevog zračenja
- U_L – koeficijent kombiniranih topl. gubitaka
- T_p – temperatura ploče kolektora
- T_a – temperatura okoline



Izvor: "Physics of Solar Energy" C. Julian Chen

Aktivno solarno grijanje

Solarni pločasti kolektori

Ovisnost učinkovitosti solarnih pločastih kolektora o razlici temperatura između ploče kolektora i okoline.

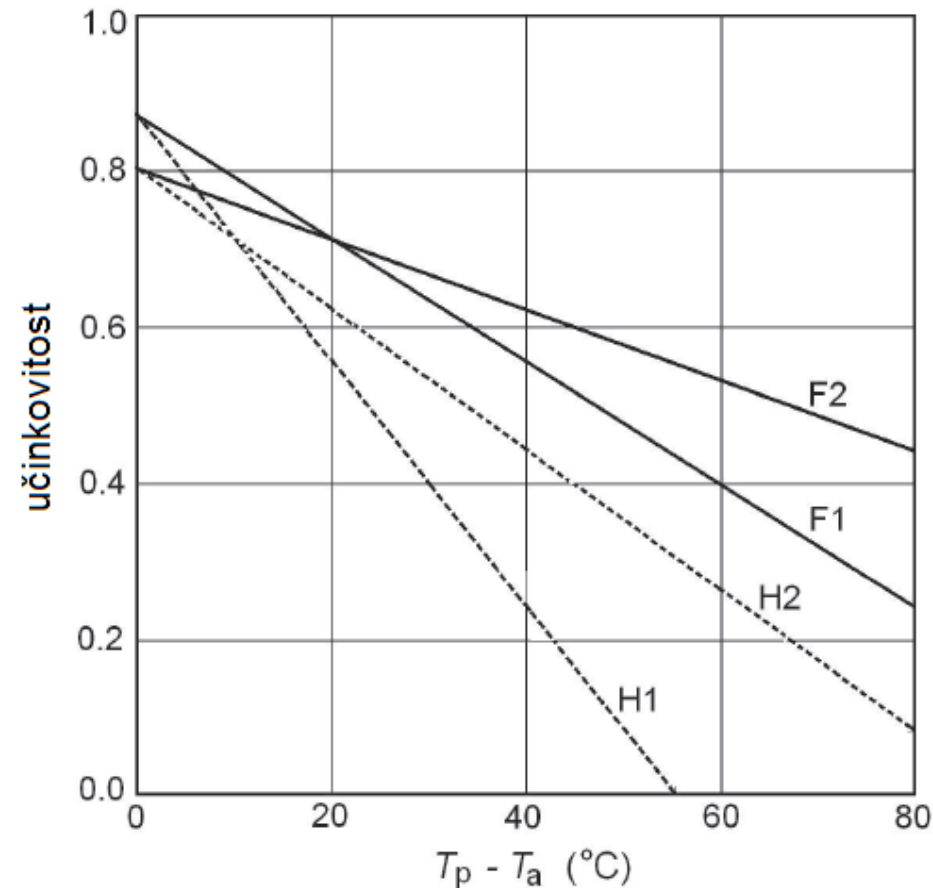
Gdje je:

F1 – učinkovitost za puno sunčevo zračenje (1 kW/m^2) i jedan stakleni pokrov.

F2 – učinkovitost za puno sunčevo zračenje (1 kW/m^2) i dva staklena pokrova.

H1 – učinkovitost za smanjeno sunčevo zračenje ($0,5 \text{ kW/m}^2$) i jedan stakleni pokrov.

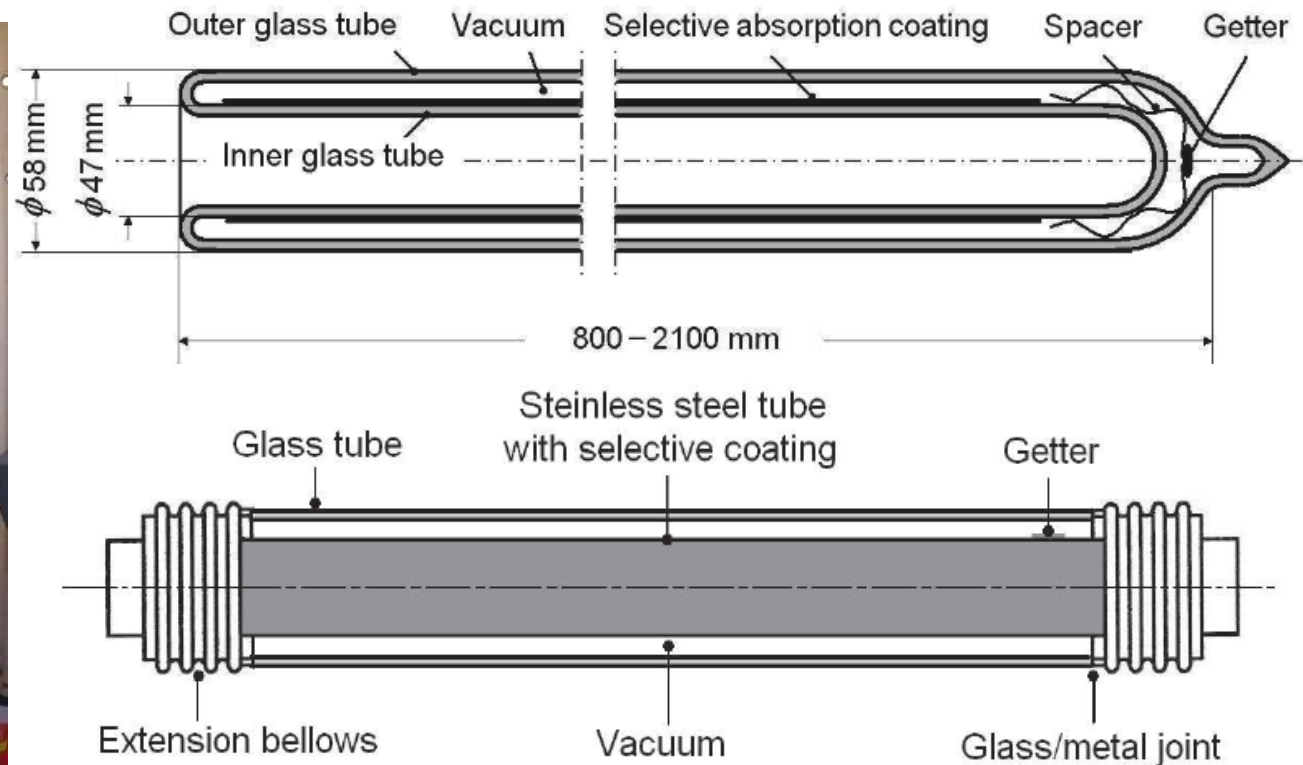
H2 – učinkovitost za smanjeno sunčevo zračenje ($0,5 \text{ kW/m}^2$) i dva staklena pokrova.



Izvor: "Physics of Solar Energy" C. Julian Chen

Aktivno solarno grijanje

Vakumski kolektori (vakumirane cijevi)



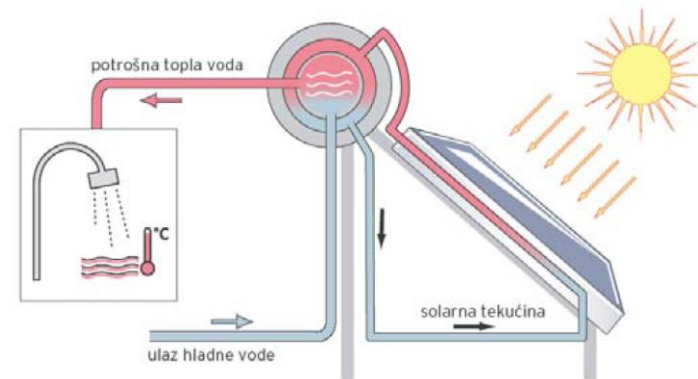
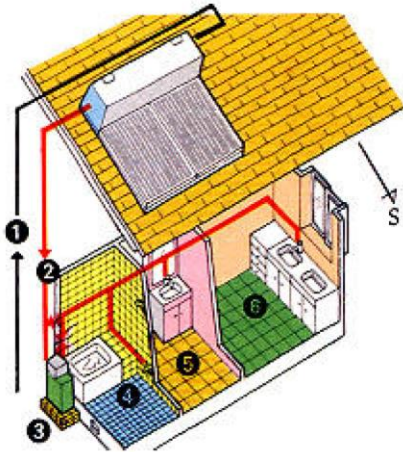
Izvor: "Physics of Solar Energy" C. Julian Chen

Aktivno solarno grijanje

Solarni sustavi za potrošnu toplu vodu (PTV)

Termosifonski sustavi s prirodnom cirkulacijom

- Kod takvih sustava spremnik se mora nalaziti iznad kolektora da bi se uspostavila prirodna cirkulacija pod djelovanjem sila uzgona. One se dodatno pojačavaju što je spremnik više iznad gornjeg ruba kolektora (preporuča se min 20 cm). Imajući u vidu da se kolektori najčešće montiraju na krovove, to instalaciju često čini nepraktičnom. Zato se često koriste **kompaktni sustavi gdje je spremnik pričvršćen za gornju stranicu**



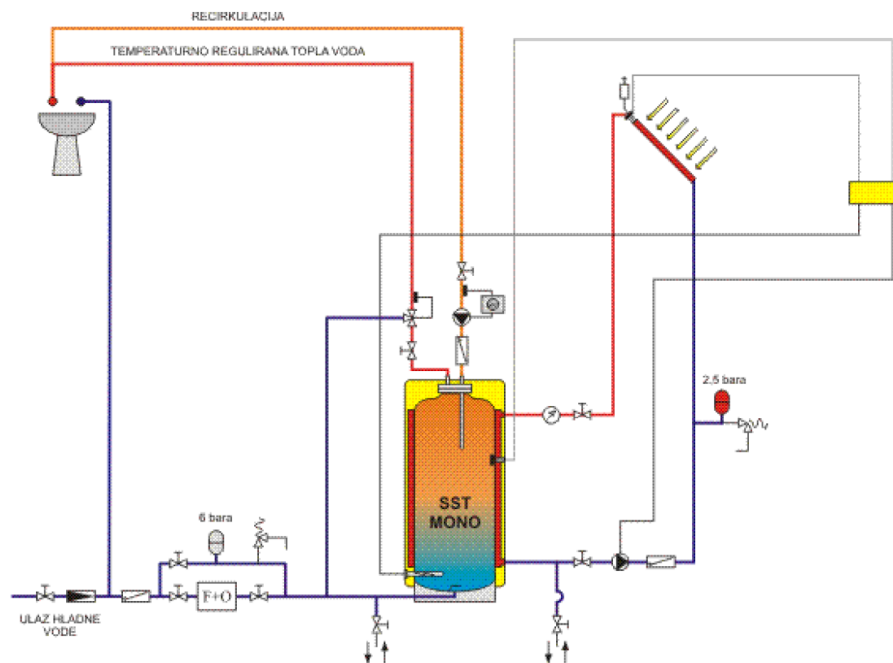
Izvor: D.Dovčić Sunčani toplovodni sustavi, priručnik

Aktivno solarno grijanje

Solarni sustavi za potrošnu toplu vodu (PTV)

Toplovodni sustav s jednim spremnikom za pripremu PTV-a

- Ovakav sustav koristi **spremnik bez izmjenjivača topline**.
- Radni fluid struji kroz **dvostruku stijenku spremnika od vrha prema dnu** predajući toplinu vodi u spremniku.



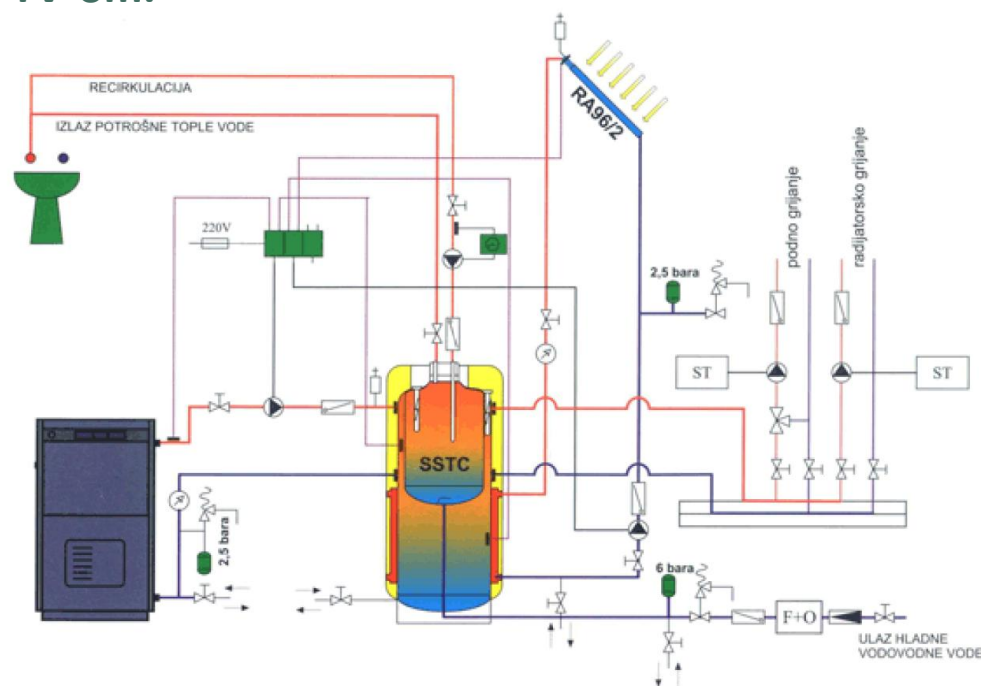
	zaporni ventil		ventil za punjenje/ praznjenje
	redukcijski ventil		cijevni termostatski mehanizam
	sigurnosni ventil		diferencijalna automatika
	odzračni ventil		osjetnik temperature
	nepovratni ventil		pumpa
	termostatski miješajući ventil		termometar/ manometar
	elektromotorni miješajući ventil		filter+omekšivač
	ekspanzijska posuda		termometar

Aktivno solarno grijanje

Kombinirani solarni sustavi za PTV i grijanje

Kombinirani toplovodni sustav s jednim spremnikom za pripremu PTV-a i grijanje prostora s dvostrukim spremnikom

Ovdje se koriste **spremnici za vodu iz sustava grijanja koji u sebi imaju jedan manji s PTV-om.**



- zaporni ventil
- redukcijski ventil
- sigurnosni ventil
- odzračni ventil
- nepovratni ventil
- termostatski miješajući ventil
- elektromotorni miješajući ventil
- ekspanzijska posuda

- ventil za punjenje/pražnjenje
- cijevni termostatski mehanizam
- diferencijalna automatika
- osjetnik temperature
- pumpa
- termometar/manometar
- F+O filter+omekšivač
- termometar
- sobni termostatski



Aktivno solarno grijanje

Solarni sustavi za niskotemperaturno grijanje prostora

- Kod sustava podnog grijanja temperatura polaza grijanja regulira se preko troputnog ventila kako bi se temperatura poda držala ispod 30 °C (radi sprječavanja podizanja prašine i nastajanja proširenih vena).
- Zbog činjenice da je zimi sunčeva ozračenost do 5 puta manja nego ljeti, a potrebe za toplinom oko 6-7 puta veće, bile bi potrebne 30-40 puta veće površine kolektora za pokrivanje ukupnih toplinskih potreba objekta za vrijeme zime. To bi, uz velike investicijske troškove i veliki period povrata investicije, dovelo i do pregrijavanja sustava ljeti.
- Da se sve to izbjegne, potrebno je pažljivo optimirati broj kolektora i zapreminu spremnika. Obično se sustavi dimenzioniraju na način da se prikupljenom sunčevom energijom pokrije oko 10-15 % ukupnih energetske potrebe zimi (grijanje + PTV), ovisno radi li se o kontinentalnom ili primorskom dijelu Hrvatske.
- U energetski štedljivijim objektima ti udjeli rastu sa smanjenjem specifične potrošnje topline za grijanje $Q_{H,nd}$, tako da je u pasivnim niskoenergetskim kućama ($Q_{H,nd} < 15 \text{ kWh/m}^2$) **moгуće i 100 %-tno pokrivanje potreba za toplinskom energijom i u zimskim mjesecima.**
- Pri tome je potrebno osigurati minimalno 50 lit zapremine spremnika po svakom m^2 instalirane kolektorske površine kako bi se izbjeglo pregrijavanje spremnika ljeti.



Primjer: postavljanje solarnog FN/toplinskog sustava na ravni krov

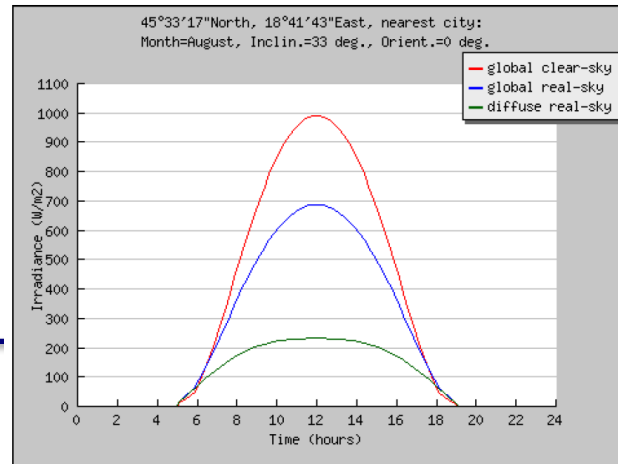
- Prema PVGIS podacima **optimalni kut se za područje RH kreće od 33° na sjeveru do 37° na jugu.**
- Valja imati na umu da se optimalni kut mijenja tijekom godine zbog prividnog kretanja sunca (npr. za Zadar optimalni kut na nivou godine je 36°, a za pojedine mjesece: 45° u ožujku, 10° u lipnju, 41° u rujnu i 66° u prosincu).
- Kod fiksnih instalacija je potrebno **odabrati optimalni kut za maksimalnu godišnju energiju ili za maksimalnu energiju tijekom slabijih sunčanih dana.**
- **Energetski, najbolje je rješenje koje prati kretanje sunca.** Time se može povećati dobivena energija za **25-40%** - više se postiže na praćenje Sunca u dvije osi i za sunčanije lokacije

Primjer proračuna jakosti Sunčevog zračenja u PVGIS-u, mjesec kolovoz za Osijek

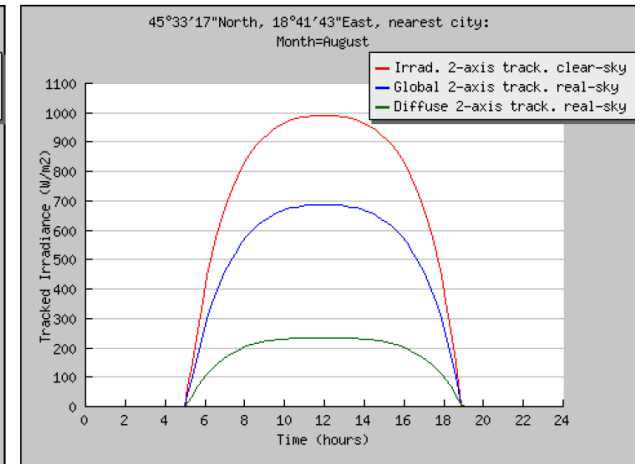
Fiksni sustavi, 33° (god. optimum za OS)

12

Daily irradiance calculation



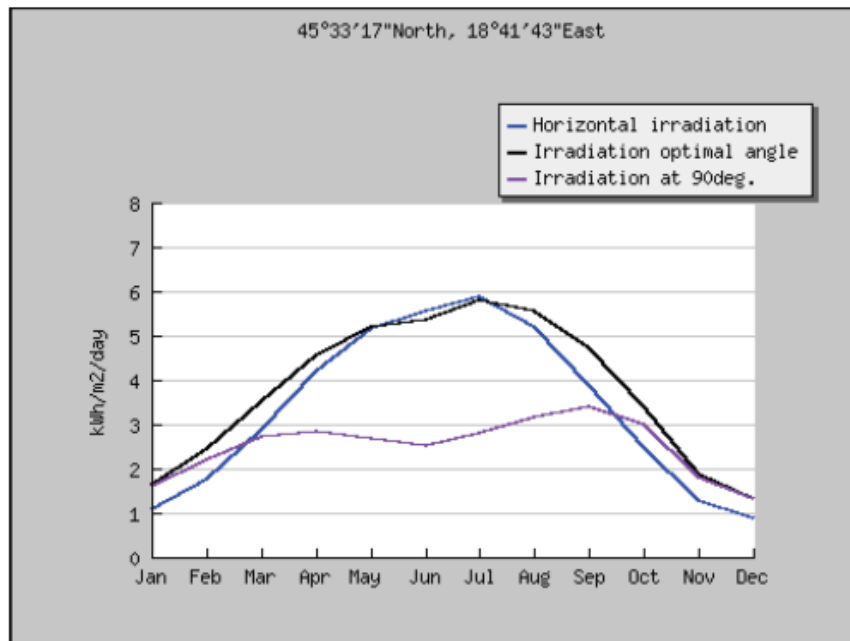
Pokretni u 2 osi (tracker)



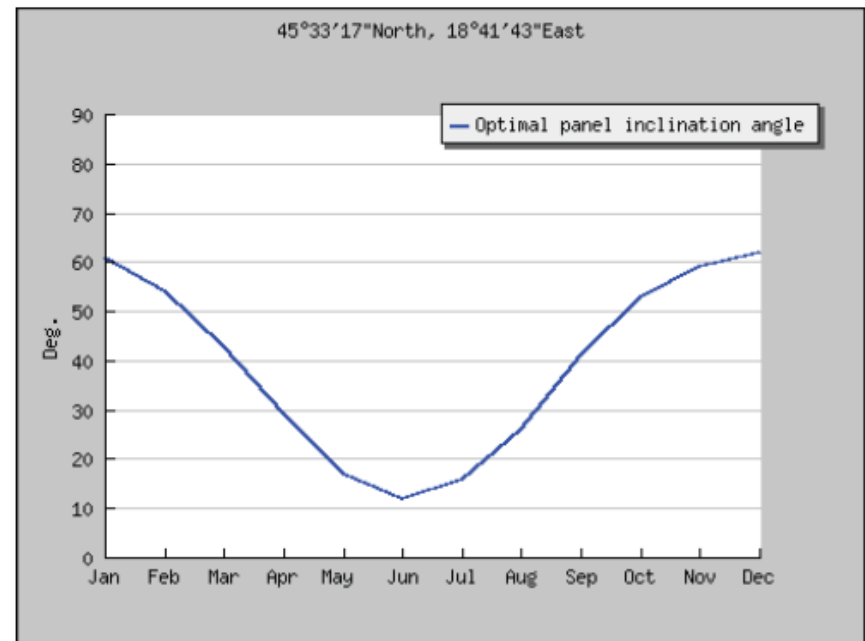
Primjer: postavljanje solarnog FN/toplinskog sustava na ravni krov

Primjer proračuna dnevne ozračenosti i optimalnog kuta
u PVGIS-u, po mjesecima za Osijek

Optimalni kut za OS tijekom cijele godine 33°

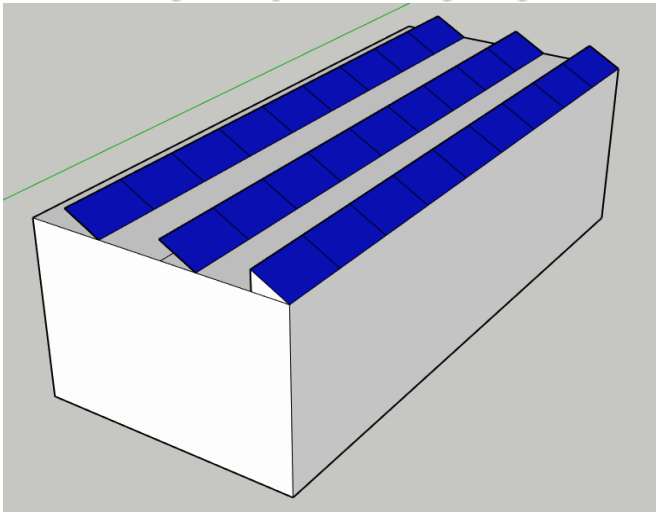


Prosječna dnevna ozračenost po mjesecima za OS



Optimalni kut po mjesecima za OS
Ožujak 43°, Lipanj 12°, Rujan 41°, Prosinac 62°

Primjer: postavljanje solarnog FN/toplinskog sustava na ravni krov



Kod instalacije solarnog sustava na **ravni krov**, ne može se iskoristiti cijela površina krova, nego se moduli postavljaju pod kutom u redove.

Na ravni krov može se instalirati cca. 50 - 65 W/m²

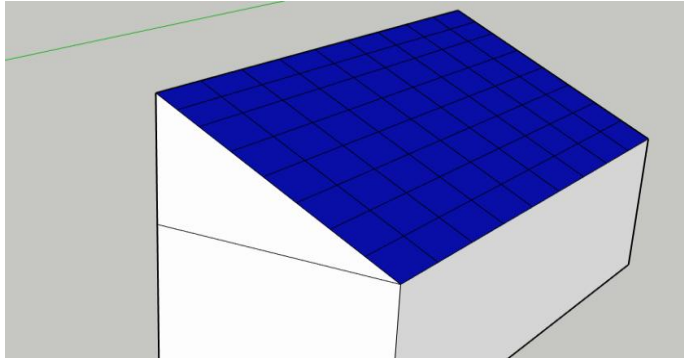
Za područje Osijeka FN sustavi mogu proizvesti/pokriti cca **1100 kWh/kW_p**.

Načelna cijena FN sustava: cca. 10.000 kn/kWp.

Ostatak površine krova može služiti za postavljanje glavnog FN sustava kao i solarnih kolektora koji bi služili za pokrivanje vlastite potrošnje.

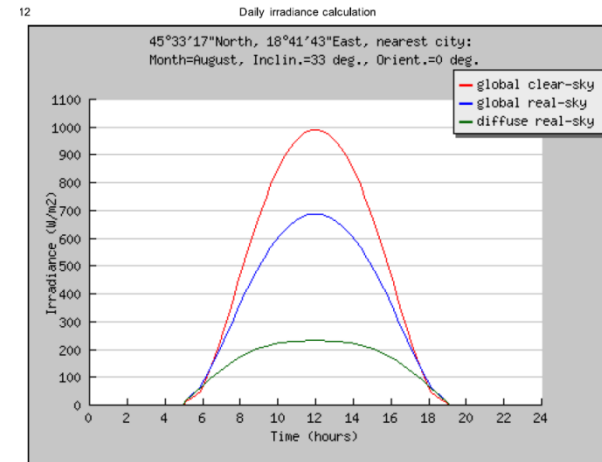


Primjer: Instalacija solarnog toplinskog/FN sustava na kosi krov (pod optimalnim kutom, cca 33° južno)



Kod instalacije FN sustava na kosi krov **može se iskoristiti cijela površina krova jer nema zasjenjenja** pa se moduli i solarni kolektori mogu instalirati jedan uz drugi.

Na kosi krov pod optimlanim kutom može se instalirati cca. 250 W/m².

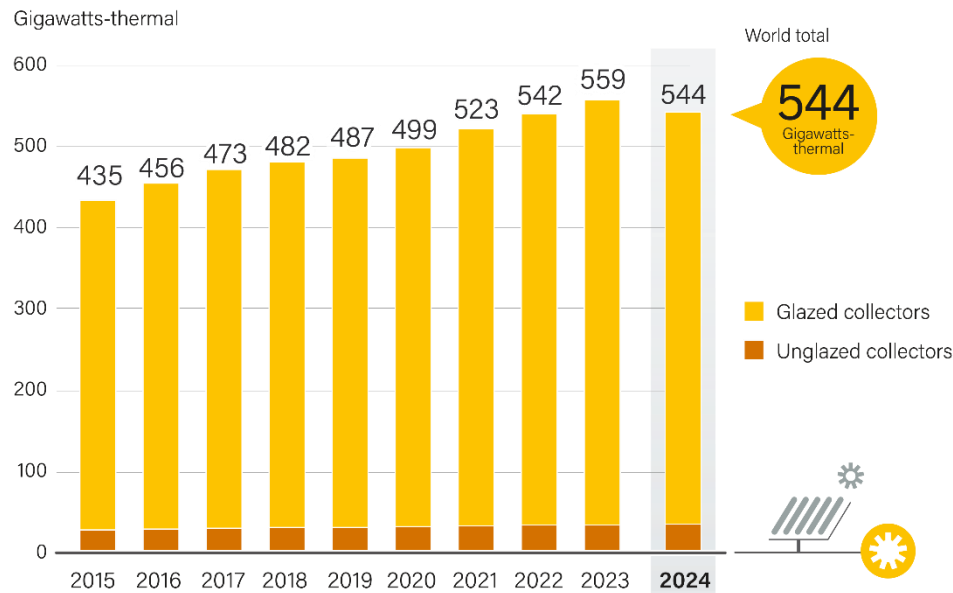


Fiksni FN sustavi, 33° (god. optimum za OS)

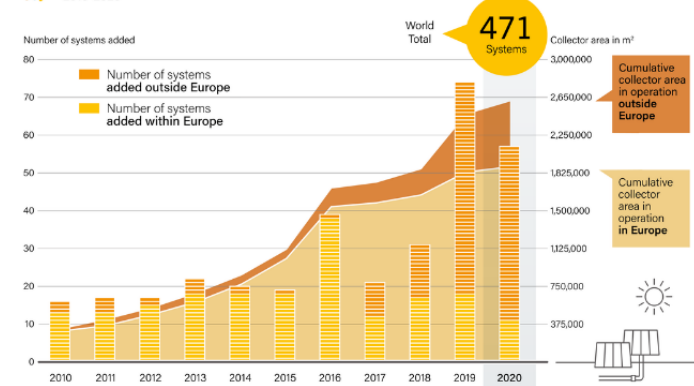


Instalirana snaga u solarnim kolektorima [GWt] 2015.-2024.

- *U 2024. prvi put pad na 554 GW, najviše zbog Kine (-17%) a koja čini 64% globalnog udjela , dominantna tehnologija kolektora s pokrovom (glazed), najčešće pločasti (flat-plate) i vakuumske cijevi (evacuated tubes).*



Solar District Heating, Global Annual Additions and Total Area in Operation 2010-2020



Note: Includes large-scale solar thermal installations for residential, commercial and public buildings. Data are for solar water collectors and concentrating collectors.

REN21 RENEWABLES 2021 GLOBAL STATUS REPORT

***Solarno centralno (područno)
 grijanje (toplane) u porastu***

Karakteristike, investicijski troškovi i cijena toplinske energije iz solarnih topl. sustava

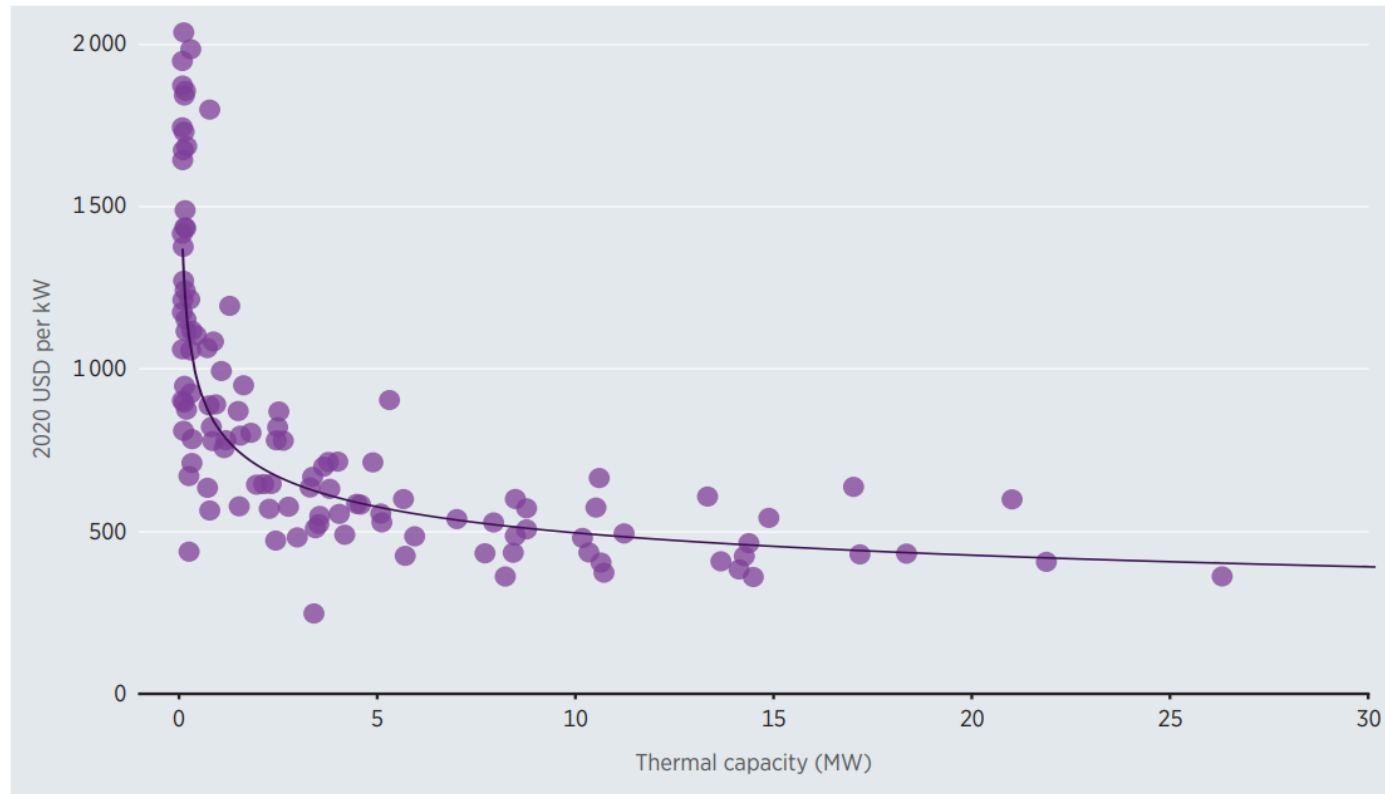
TECHNOLOGY	TYPICAL CHARACTERISTICS	CAPITAL COSTS USD / kW	TYPICAL ENERGY C. LCOE – US cents / kWh
HOT WATER / HEATING / COOLING			
 Solar thermal: Domestic hot water systems	Collector type: flat-plate, evacuated tube (thermosyphon and pumped systems) Plant size: 2.1–4.2 kW _{th} (single-family); 35 kW _{th} (multi-family) Efficiency: 100%	Single-family: 1,100–2,140 (OECD, new build); 1,300–2,200 (OECD, retrofit); 147–634 (China) Multi-family: 950–1,850 (OECD, new build); 1,140–2,050 (OECD, retrofit) Thermosyphon direct: 100–250 (China, India, Turkey); 630–650 (South Africa); 1,100 (Australia) Thermosyphon indirect: 2,300 (United States) Pumped direct: 1,700 (United States); 760–820 (South Africa) Pumped indirect: 2,300 (United States); 850–1,900 (Central Europe); 1,600–2,400 (Northern Europe) Integral collector storage: 450–800 (United States) Large-scale SWH: 350–1,040 (Europe)	1.5–28 (China) 5–8 (Australia)
 Solar thermal: Domestic heat and hot water systems (combi-systems)	Collector type: same as water only Plant size: 7–10 kW _{th} (single-fam.); 70–130 kW _{th} (multi-family); 70–3,500 kW _{th} (district heating); >3,500 kW _{th} (district heat with seasonal storage) Efficiency: 100%	Single-family: same as water only Multi-family: same as water only District heat (Europe): 460–780 (350–400 in Denmark); with storage: 470–1,060	Domestic hot water: 5–50 District heat: 4 and up (Denmark)
 Solar thermal: Industrial process heat	Collector type: flat-plate, evacuated tube, parabolic trough, linear Fresnel Plant size: 100 kW _{th} –20 MW _{th} Temperature range: 50–400 °C	470–1,000 (without storage) 265–1,060 (Europe) 210–320 (India, Turkey, S. Africa, Mexico) Concentrated systems: 420–1,900 (parabolic dish, India) 640–2,120 (parabolic trough) 1,270–1,900 (linear Fresnel) Solar concentrated systems: 980–1,400 (China) 1,800 and up (Germany)	4–16 (Global) 2.6–8.5 (Europe) Concentrated systems: 6.4–9.6
 Solar thermal: Cooling	Capacity: 10–1,000 kW (absorption chillers) 5–430 kW (adsorption chillers) Efficiency: 50–75% (single-effect absorption/adsorption chiller) 120–140% (double-effect absorption chiller)	1,600–3,200	Not available

1 USD (2011) = 0.8191 EUR

**Izvor: REN21 Renewable 2015
Global Status Report**

Investicijski troškovi i cijena toplinske energije aktivnog solarnog grijanja: Europa, 2010.-2020.

Figure 9.3 Total installed costs for district heating projects by installed capacity in Europe, 2010-2020



Source: IRENA and Solar Payback, 2021

Izvor: IRENA Renewable Power Generation Costs 2020



Fotonaponska pretvorba i sustavi

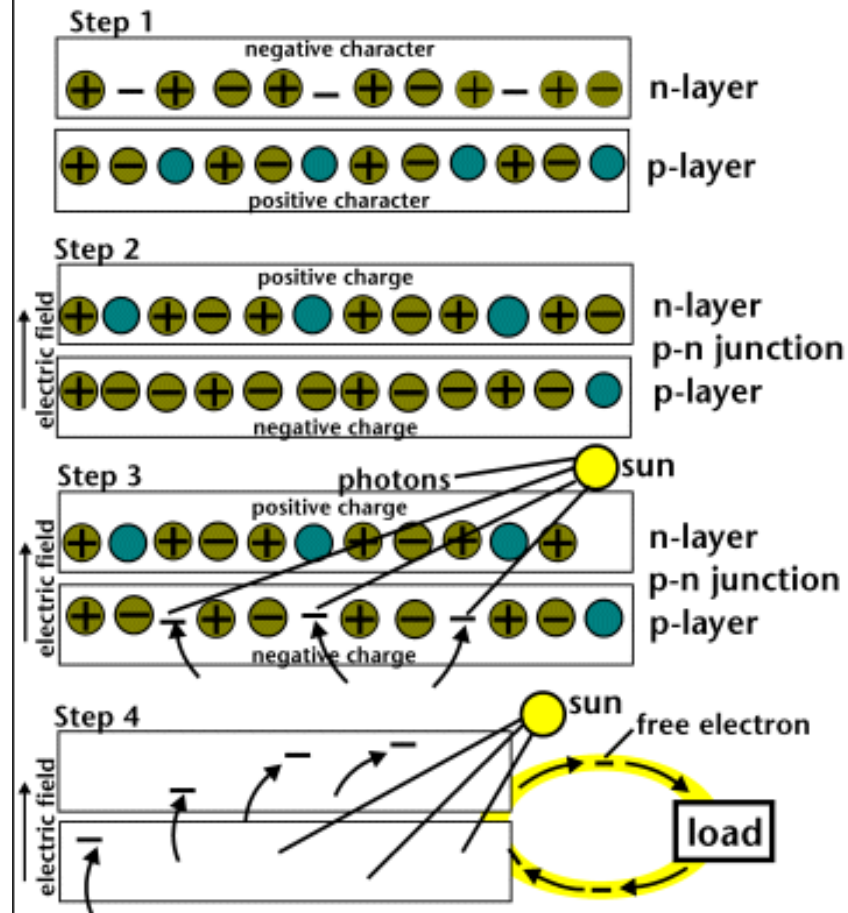
- **Fotonaponska pretvorba je izravna pretvorba sunčevoga svjetla u električnu struju (energiju).**
- Sunčevo svjetlo se sastoji od fotona (dijelova solarne energije koji sadržavaju različite količine energije koje odgovaraju različitim duljinama valova solarnoga spektra).
- **Energija fotona: $E = h \cdot \nu$**
gdje je:
 h Planckova konstanta $6.625 \cdot 10^{-34}$ Js
 ν frekvencija fotona (obrnuto proporcionalna valnoj duljini)
- Kada fotoni pogode FN ćeliju, oni se mogu reflektirati od nje, proći direktno kroz nju ili biti apsorbirani (upijeni).
- **Samo apsorbirani fotoni daju energiju za oslobađanje elektrona i proizvodnju električne struje (fotonaponski efekt).**

Fotonaponska pretvorba

- Kada poluvodič apsorbira dovoljno sunčevog svjetla (energije), elektroni se istiskuju iz atoma materijala.
- Specijalna obrada površine mat.: prednja površina ćelije prijemljiva za slobodne elektrone, elektroni se prirodno sele na površinu.
- Elektroni napuštaju njihovu poziciju, oblikuju se šupljine.
- Elektron (neg. naboji) putuju prema prednjoj površini ćelije: **neravnoteža naboja između prednje i stražnje površine ćelije - naponski potencijal.**
- **Poput baterije** – površine se spoje izvana i poteče struja – strujni izvor!

PHOTOVOLTAIC CELL

	A location that can accept an electron
–	Free electron
	Proton
	Tightly-held electron



Nadomjesna shema FN ćelije

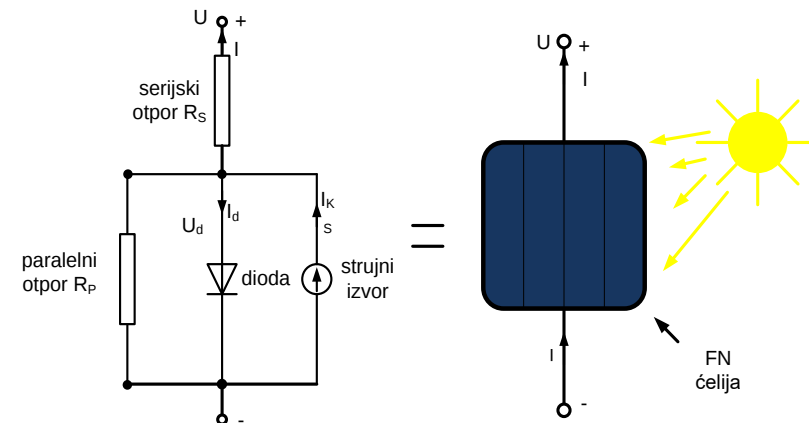
- Izlazna struja I je jednaka struji koju proizvodi sunčeva svjetlost (fotostruja) I_{fs} umanjenoj za struju diode I_d i struju kroz paralelni otpor (šant) I_p (rasipanje prema zemlji)

$$I = I_{fs} - I_d - I_p = I_{fs} - I_0 \left[e^{\frac{e(U+IR_s)}{mkT}} - 1 \right] - \frac{U}{R_p}$$

- Zbog velikog otpora šanta zanemariti I_p

$$I = I_{fs} - I_0 \left[e^{\frac{e(U+IR_s)}{mkT}} - 1 \right]$$

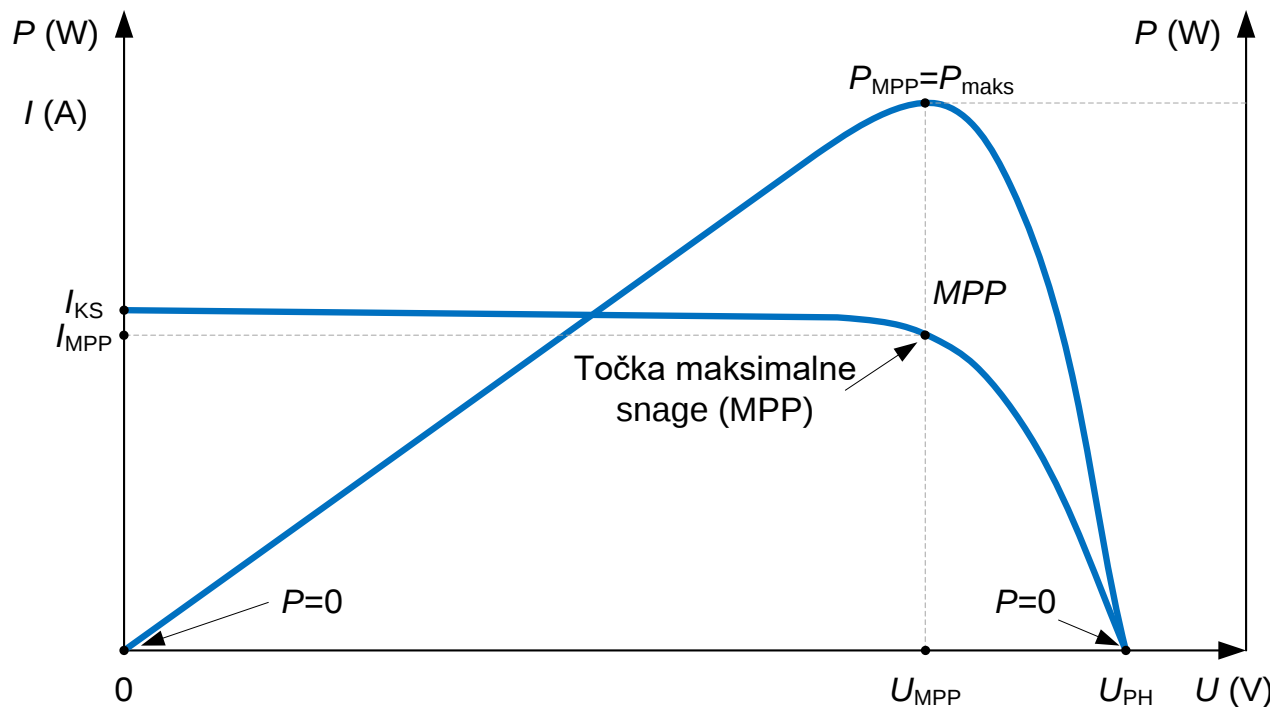
- gdje je: U – napon, R_p – paralelni otpor FN ćelije,
 I_0 – struja zasićenja, e – elementarni naboj, $e=1,602176462 \cdot 10^{-19}$ As
 R_s – serijski otpor FN ćelije, m – parametar FN ćelije, $m=1$
 k – Boltzmanova konstanta, $k=1,3806 \cdot 10^{-23}$ J/K
 T – apsolutna temperatura [K]





Fotonaponske ćelije

- **Maksimalna snaga na trošilu postiže se samo u jednoj točki (pregiba)!**
- Moderne instalacije uključuju uređaje za praćenje točke maks. snage (istosmjerni ppretvarč napona DC/DC, MPPT) ovisno o promjeni opterećenja i promjeni snage Sunčeva zračenja.



**Strujno-naponska i
 karakteristika snage
 FN ćelije**



Fotonaponske ćelije

Učinkovitost FN ćelija

- Izgled i-v karakteristike FN ćelije određuju unutarnji otpori, ovisno o vrsti FN ćelije, kao i vanjski utjecaji (jakost zračenja, temperatura), o čemu pak izravno ovisi **učinkovitost**, kao omjer maksimalne snage P_{MPP} i snage Sunčevog zračenja G na površinu A FN ćelije:

$$\eta = \frac{P_{MPP}}{P_{sunca}} = \frac{U_{MPP} \cdot I_{MPP}}{G \cdot A_{FN \text{ ćelije}}} = F \cdot \frac{U_{PH} \cdot I_{KS}}{G \cdot A_{FN \text{ ćelije}}} = F \cdot \frac{U_{PH} \cdot J_{KS}}{G}$$

- Pri tome je **F faktor punjenja**:

$$F = \frac{U_m \cdot I_m}{U_{PH} \cdot I_{KS}}$$

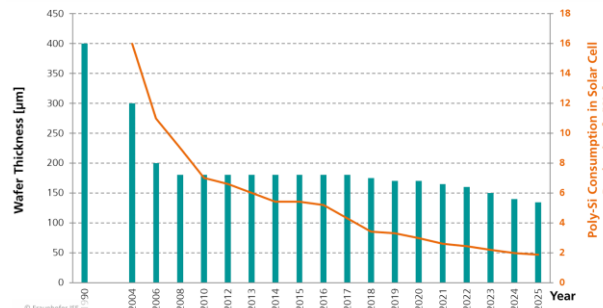
To je omjer površine pravokutnika sa stranicama U_{MPP} i I_{MPP} i pravokutnika sa stranicama U_{PH} i I_{KS} . On pokazuje koliko se stvarna ćelija približuje idealnoj, odnosno koliki je utjecaj serijskog otpora ćelije. Obično je $0.7 < F < 0.9$.

Fotonaponske ćelije - tehnologije

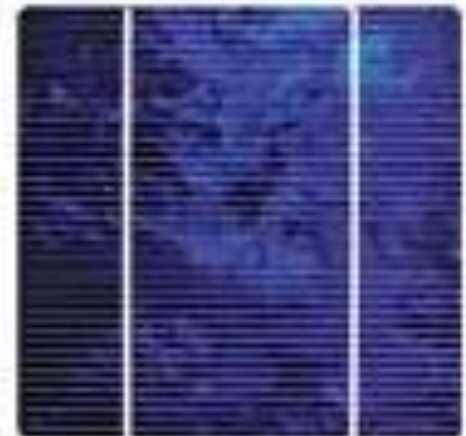
1. Monokristalni i polikristalni Silicij

- Površina ovisi o površini presjeka monokristala od kojeg se proizvode i iznosi 5 do 10 cm, debljina im je od 0.2 do 0.3 mm. Elektromotorna im je sila 0.55 do 0.70 V.
- Za proizvodnju monokristalnih Si ćelija potreban je apsolutno **čisti poluvodički materijal**. Monokristalni štapići se izvade iz rastaljenog silicija i režu na tanke pločice - omogućuje relativno visoki stupanj iskoristivosti. **U komercijalnim uvjetima učinkovitost u 2014. čak i do 21%** (IEA Technology Roadmap Solar PV - 2014 edition).
- **Kontinuirani pad cijene kristaličnog-Si i naponi u stanjenju ćelija (smanjenju količine čistog silicija u ćelijama 2024. 2 g/W); bakar umjesto srebra u očicama...**

c-Si Solar Cell Development
Wafer Thickness [μm] & Silicon Usage [g/Wp]



Monokristalni Si



Polikristalni Si

Izvor: Photovoltaics Report Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, 2025

Fotonaponske ćelije - tehnologije

- *Višeslojne (heterojunction, HTJ) ćelije – mikrokrystalnog i amorfnog Si rezultiraju većom učinkovitošću (Sanyo/Panasonic HTJ 25.6%) i performansama zbog boljeg otpora visokim temperaturama.*

2. Tanki filmovi

- *Ukoliko se tanki film silicija stavi na staklo ili neku drugu podlogu to se naziva amorfna ili tankoslojna ćelija:*
 - *amorfni Silicij,*
 - *Cl(G)S –Copper Indium (Gallium) Selenide,*
 - *CdTe Cadmium Telluride).*
- *Debljina sloja iznosi manje od 1 μm , stoga su troškovi proizvodnje manji u skladu sa niskom cijenom materijala.*
- *Prihvatljivija cijena, ali i niži stupanj djelovanja koji je u porastu, tipično oko 4-9% za α -Si, 10-11% za CdTe (2014. First Solar 19%), 7-11% za Cl(G)S (2014. 12-14%)*

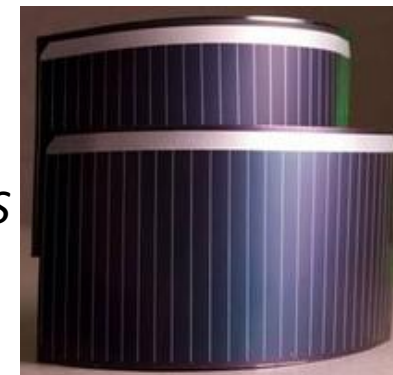
Amorfni si



CdTe



Cl(G)S



Izvor: IEA Technology Roadmaps Solar PV - 2014 edition

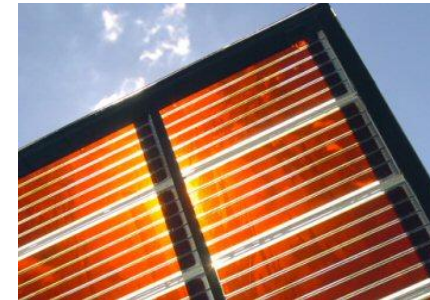
Fotonaponske ćelije - tehnologije

3. Višeslojne ćelije

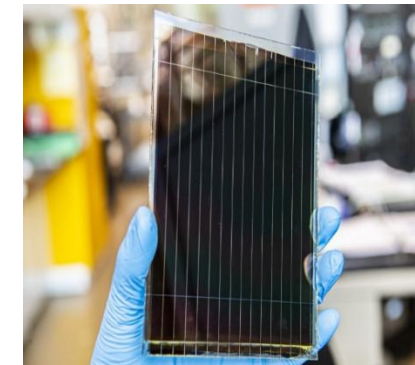
- *Ćelije od galij-arsenida prave se u obliku tankog filma od jedne (GaAs) ili dviju komponenata (slojeva). Takve bi ćelije prema teorijskim predviđanjima trebale biti vrlo učinkovite (25-40%).*
- *Razvijaju se dalje troslojne, četveroslojne još veće učinkovitosti (u 2014. 44.4% 3 slojne Spectrolab, Sharp; 44.7% četveroslojne Soitec i Fraunhofer). Problem: visoka cijena, zbog pada kristalnog Si moguća kombinacija (kao HTJ).*

4. Novi koncepti – niža cijena/veća efikasnost

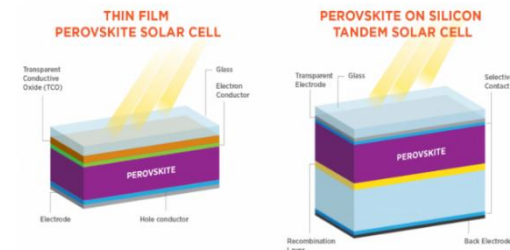
- *Quantum dots, dye-sensitized (12% Sharp), organske ćelije (2014. 11% Mitsubishi chemicals), termoelektrični uređaji – niža cijena, mala učinkovitost ili visoka cijena za veću učinkovitost – istraživanje u porastu, primjena se očekuje u skoroj budućnosti.*
- *Prednosti: mala težina, prozirnost, fleksibilnost, sloboda boja i oblika... dodatni razlozi bržeg ulaska na tržište.*
- *Razvijaju se i ćelije s koncentracijom zračenja i Perovskit (metilamonijev halogenida olova) (izvor NREL)*



Dye-sensitized



Perovskit

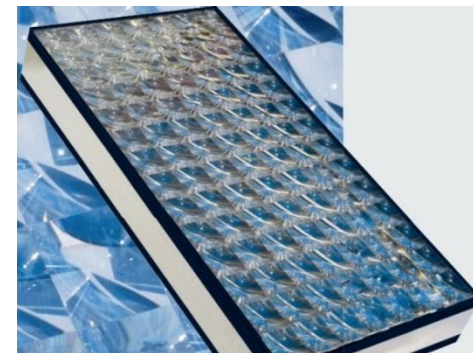


Izvor: IEA Technology Roadmaps Solar PV - 2014 edition

Fotonaponske ćelije - tehnologije

5. FN ćelije i moduli s koncentracijom zračenja - povećanje učinkovitosti

- CPV (eng. Concentrated PV) je pogodan za područja s visokim izravnim Sunčevim zračenjem (južna Europa npr.)
- Koristi se koncentrirajuća optika za fokusiranje svjetla na male FN ćelije a trenutno (2017.) postižu se koncentracije preko 400x
- Postoji više dizajna koji su komercijalno dostupni i postiže se visoka učinkovitost (ćelije do 46%)



Soitec CPV s višeslojnim ćelijama



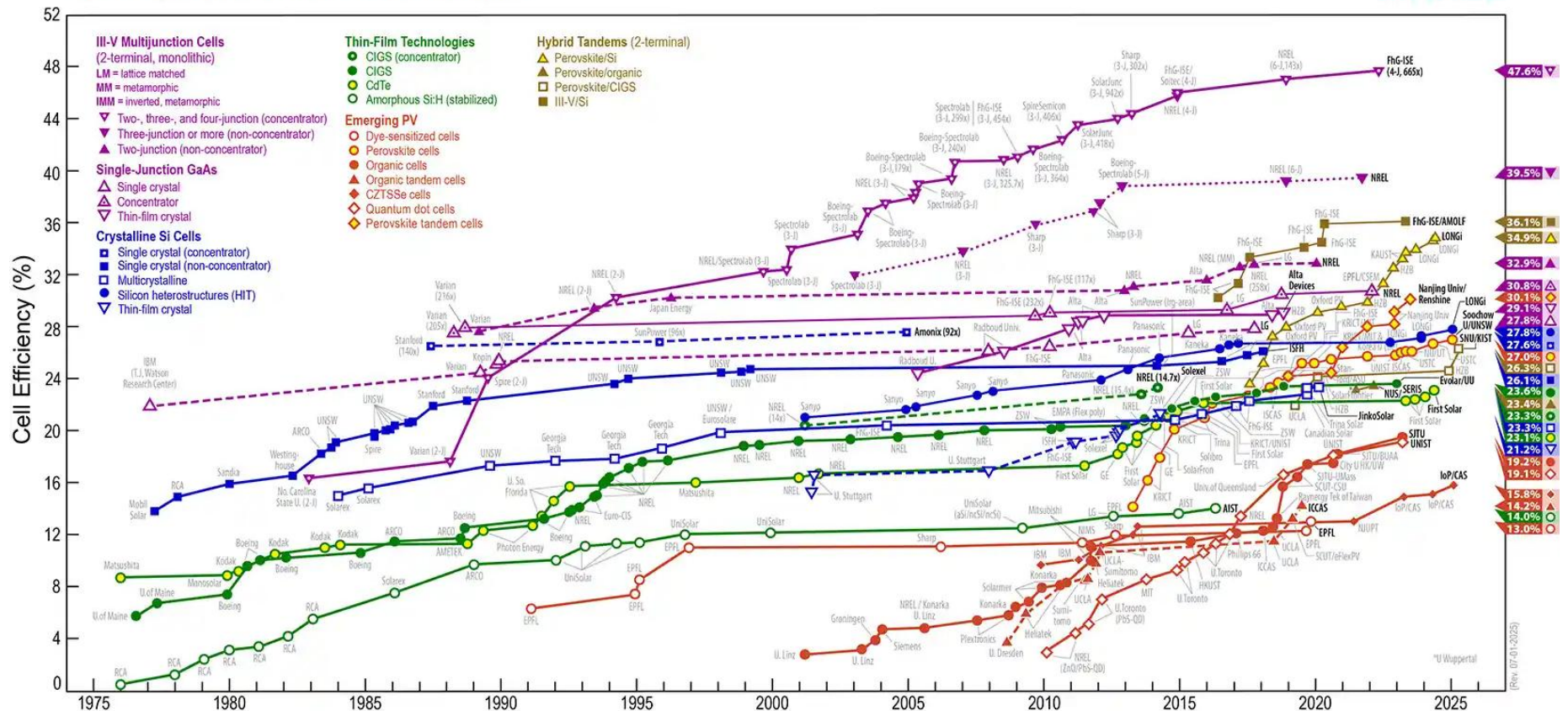
Efficiencies	Lab Record	Commercial
Solar Cell	46.0 % (ISE, Soitec, CEA)	38-43 %
Minimodule	43.4% (ISE)	N.A.
Module	38.9% (Soitec)	27-33 %
System (AC)	N.A.	25-29 %

Izvor: Photovoltaics Report Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, 2017

Učinkovitost laboratorijskih FN ćelija 1975 - 2025.

Best Research-Cell Efficiencies

NREL



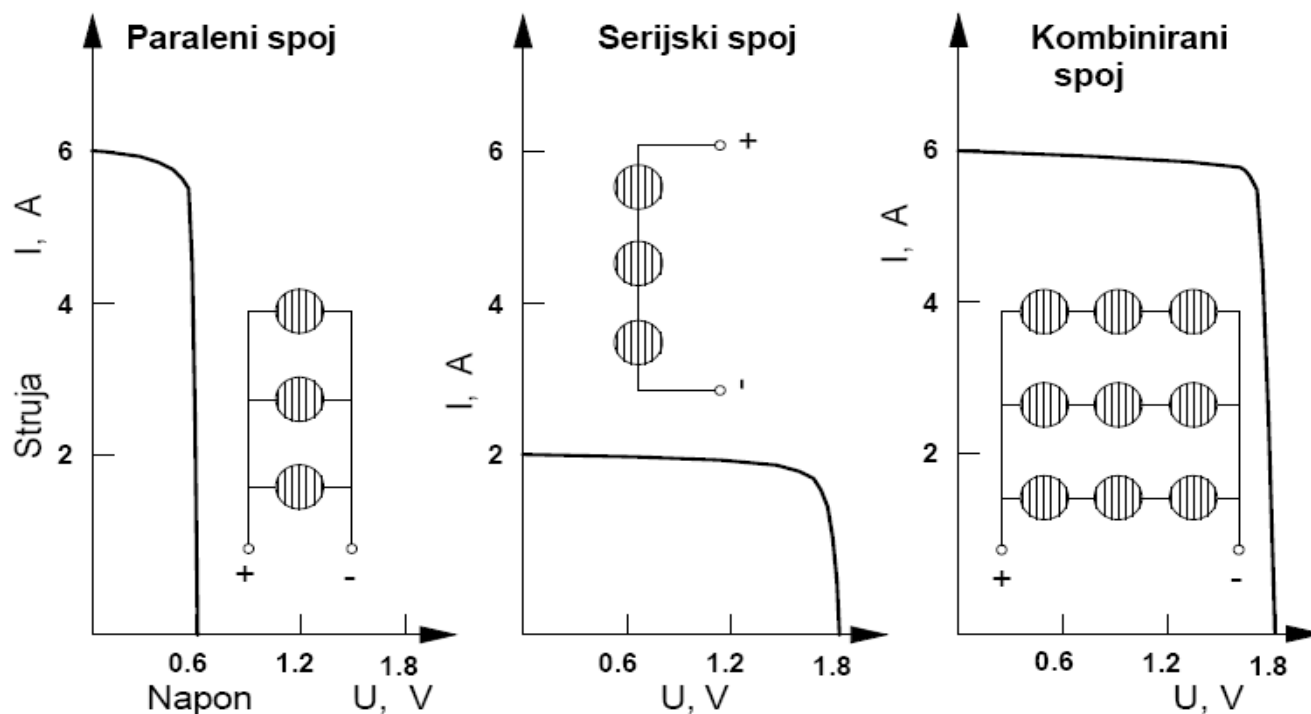
Izvor: NREL (National Renewable Energy Laboratory), 2025

Fotonaponski moduli

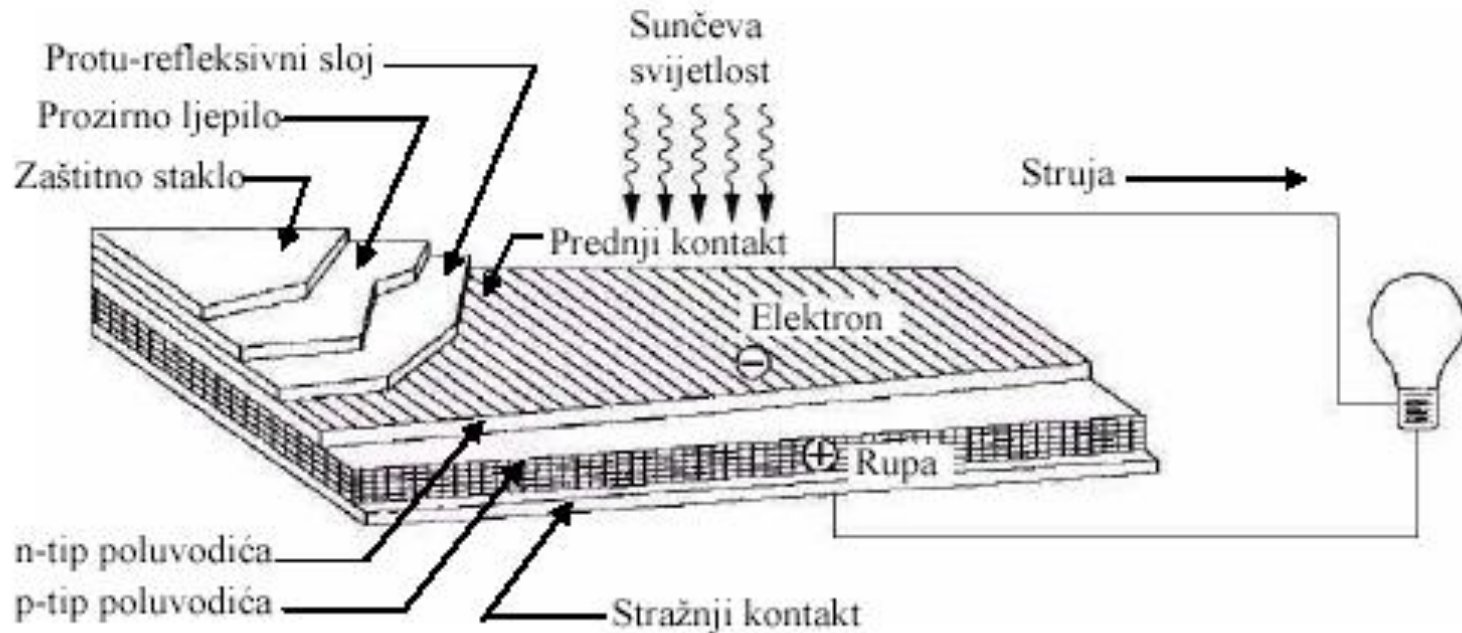


Modularnost strujno-naponske karakteristike

- Moguće brzo i u dopuštenim veličinama instaliranje **FN modula i nizova** (moguće postupno - modularno povećanje snage, struje, napona).

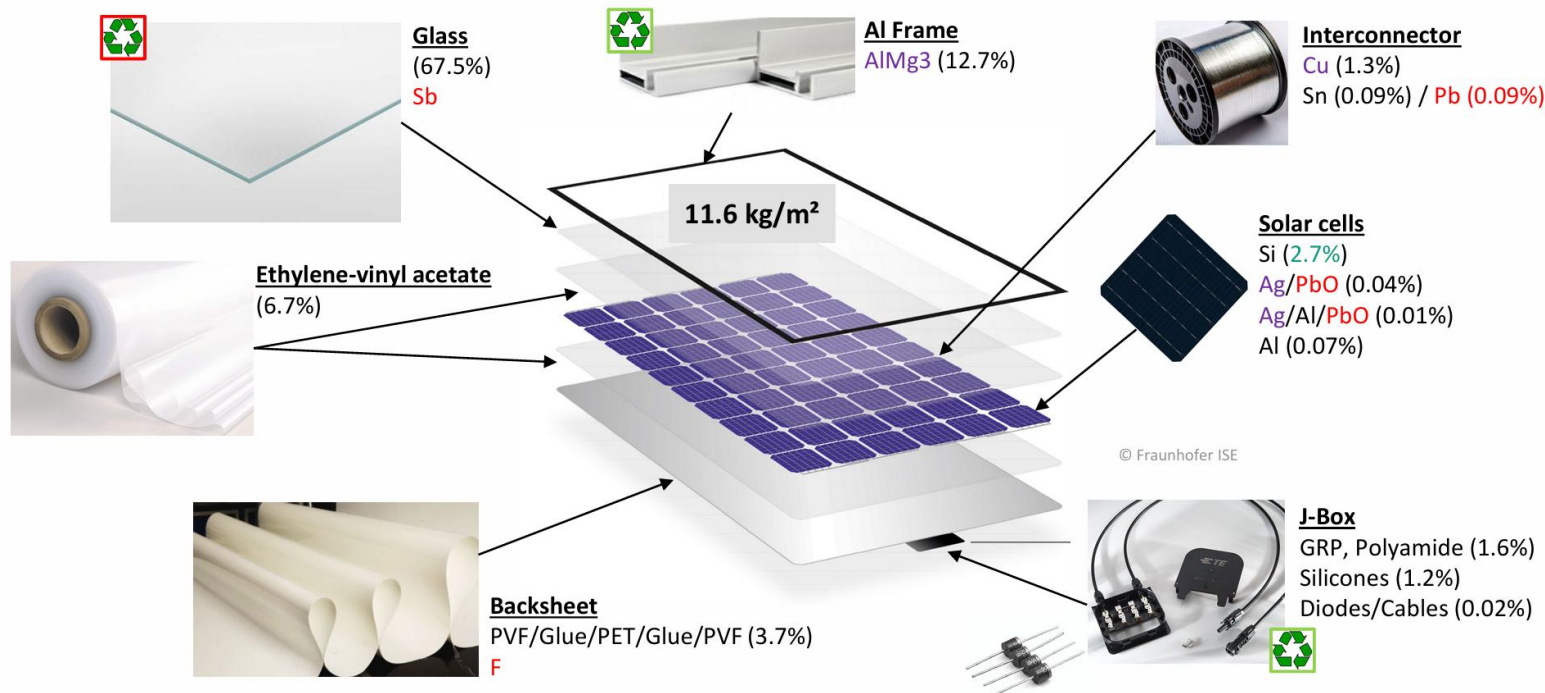


Fotonaponske ćelije i moduli (paneli)



- Za prikupljanje FN struje, **metalni kontakti** su postavljeni na obje strane modula (panela) da bi prikupljali struju induciranu fotonima na ćelijama. Kontakt je omogućen preko donje (tamne) površine i na jednom bridu gornje (svijetle) površine. **Tanka vodljiva očica** na preostaloj gornjoj površini **skuplja struju i pušta prolaz svjetla**.
- Prednje lice ćelije ima anti-reflektirajuću oplatu da bi se što je više moguće umanjila refleksiju, a mehanička zaštita je zaštitno staklo s prozirnim ljepilom.

Fotonaponske ćelije i moduli (paneli)



Please note: Highly transparent glass can also be produced without antimony (Sb), and some European suppliers are doing so. It is technically feasible to recycle and reuse almost 100% of the materials used in PV modules. The European WEEE Directive stipulates that at least 80% of the module mass of old modules must be processed and recycled for reuse. For economic reasons, however, only the glass, frame and junction box (J-Box) are recycled today.

Color legend:
 Available/harmless materials
 Rare/valuable materials
 Hazardous substances



Recycling takes place



Downcycling takes place

Source: Fraunhofer ISE © 2024

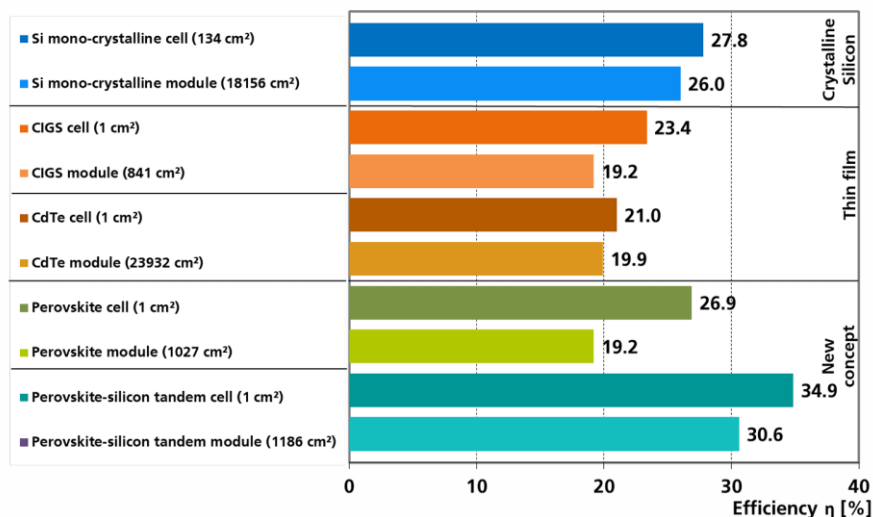
Izvor: Photovoltaics Report Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, 2025



Učinkovitost laboratorijskih I komercijalnih FN modula u standardnim testnim uvjetima ($STC\ G = 1000W/m^2$, $t_{modula} = 25^\circ C$)

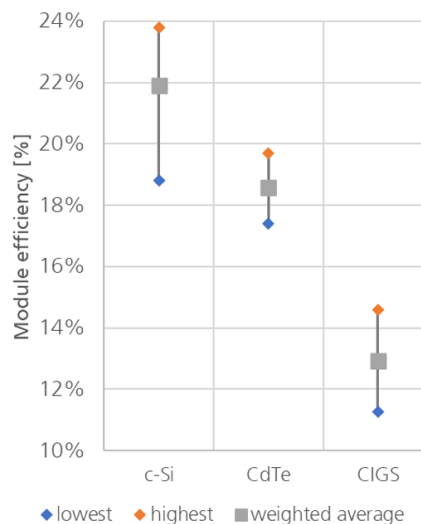
Efficiency Comparison of Technologies

Best Lab Cells vs. Best Lab Modules

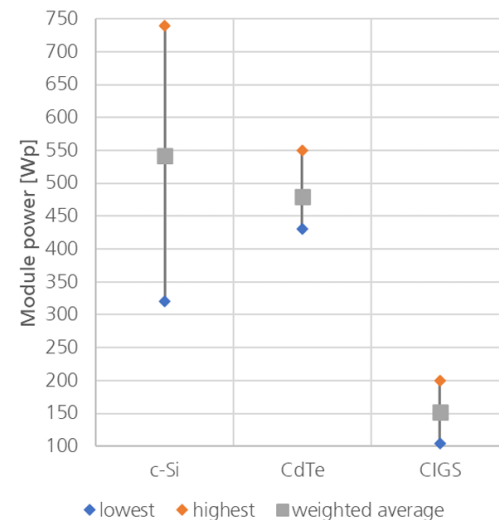


Data: Green et al.: Solar Cell Efficiency Tables (Version 66), Progress in PV: Research and Applications 2025. Graph: PSE Projects GmbH 2025. Date of data: 04/2025

Efficiencies Commercial PV-Modules



Nominal Power Range of Commercial PV-Modules



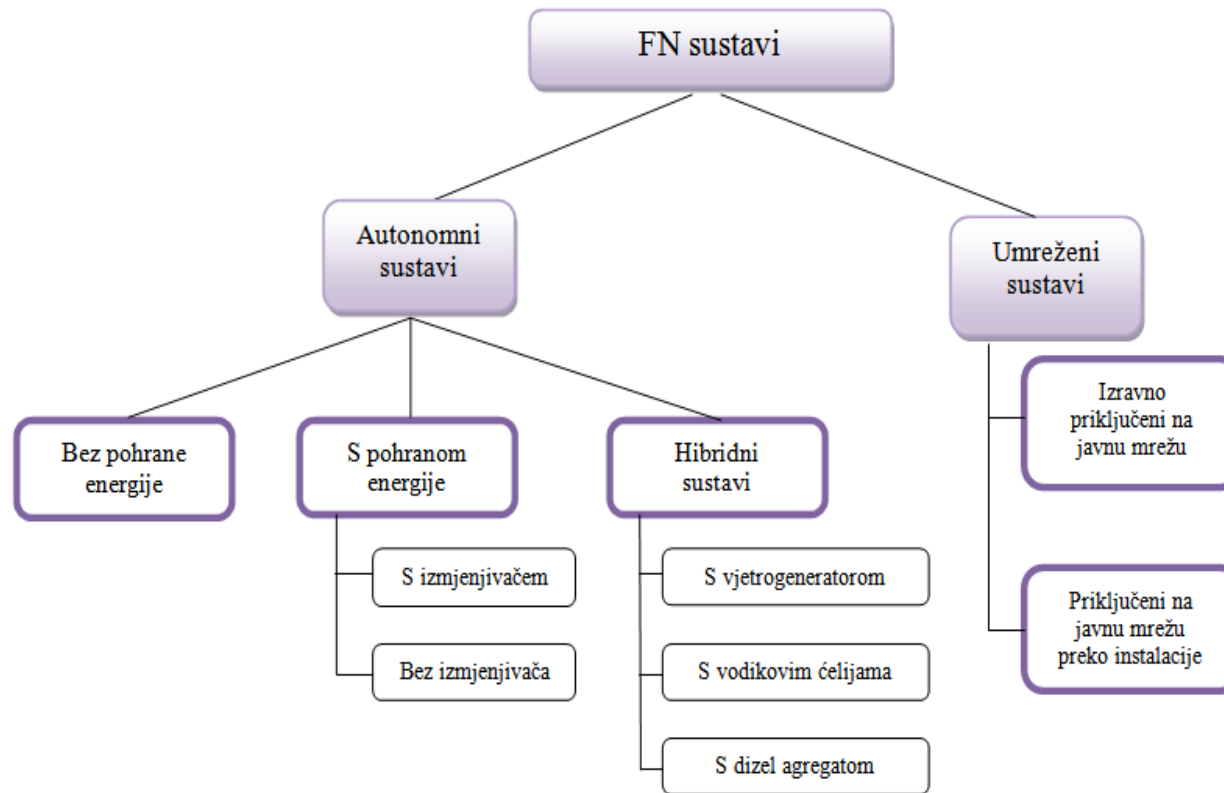
Izvor: Photovoltaics Report Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, 2025



Fotonaponski sustavi

Ovisno o načinu rada fotonaponski sustavi se mogu dijeliti na:

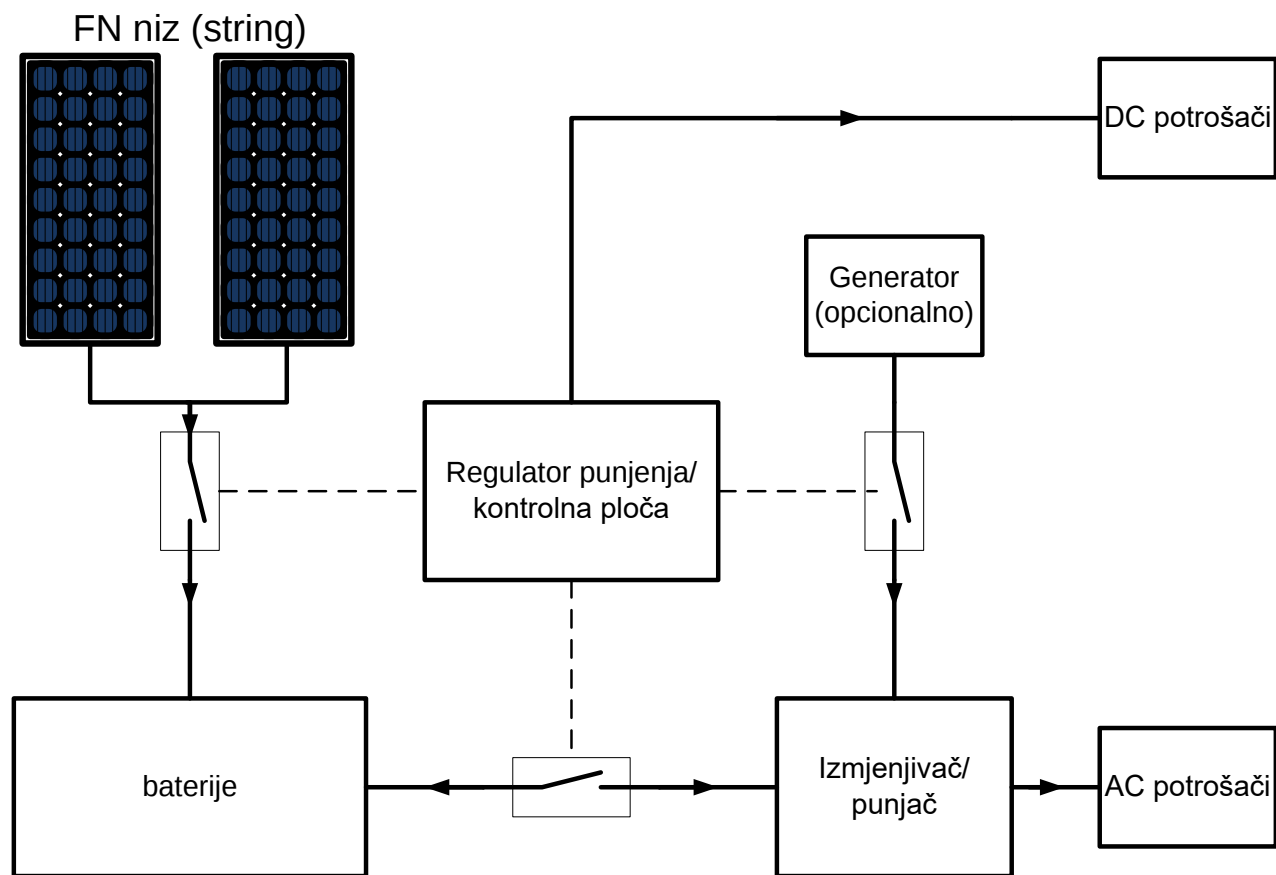
1. **Samostojeći (autonomni ili otočni) fotonaponski sustavi** (eng. off grid, stand alone)
2. **Mrežni (umreženi) fotonaponski sustavi** (eng. on grid, grid connected)





Fotonaponski sustavi

Samostojeći (autonomni ili otočni) fotonaponski sustavi (eng. off grid, stand alone)





Fotonaponski sustavi

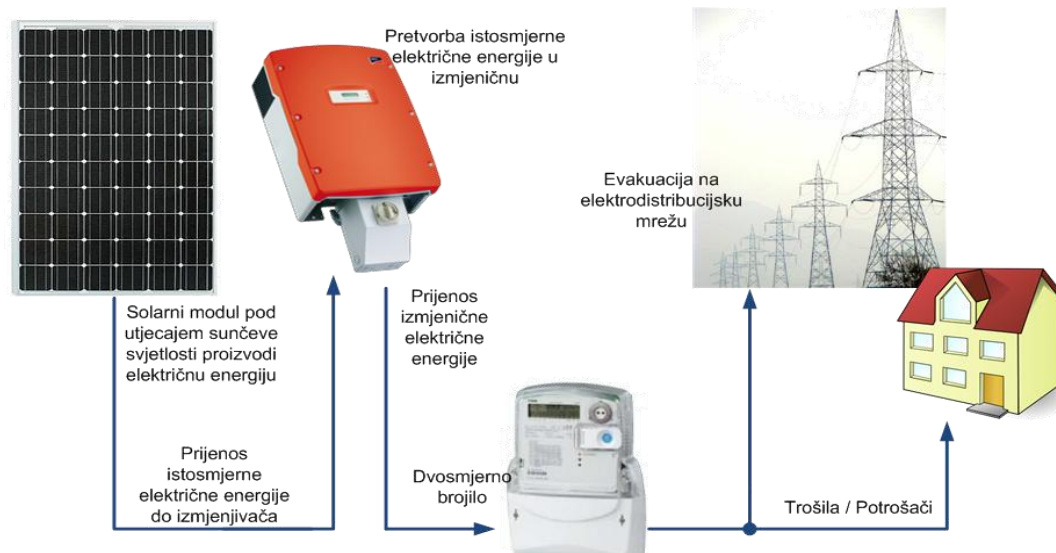
Dijelovi samostojećeg ili otočnog (eng. off-grid) FN sustava:

- **Tragač najviše snage** je istosmjerni pretvarač DC/DC) ili eng. **MPPT (Maximum Power Point Tracker)** prepoznaje trenutačne istosmjerne naponske i strujne izlaze uređaja i stalno prilagođava točku rada da bi povećao vršnu snagu pod danim uvjetima.
- Izlaz uređaja vodi do **izmjenjivača (eng. inverter)** (DC/AC) koji pretvara istosmjernu struju u izmjeničnu struju. Izlaz uređaja može se koristiti i za punjenje baterije.
- **Baterijski sustav pohrane viška električne energije (BESS) uz naravno baterije sadrži i:**
 - 1. punjač baterije** je obično istosmjerni (DC/DC) pretvarač. Ako je izlazna snaga i dalje na raspolaganju nakon potpunog punjenja baterije, potiskuje se u vrstu grijača, koji mogu biti grijači prostora ili soba u samostalnom sustavu. Kada sunce nije na raspolaganju, baterija se prazni u inverter da bi napajala opterećenja. Dioda baterije (Db) za pražnjenje baterije kada je punjač otvoren nakon potpunog punjenja ili zbog drugih razloga. Dioda uređaja (Da) izolira uređaj od baterije, dakle sprečava uređaj od korištenja baterije tijekom noći.
 - 2. Modul nadzora (ICT)** sakuplja signale sistema, kao što su struje i napon uređaja i baterije, prati stanje pri punjenju baterije zapisujući punjenje/pražnjenje amper-sata i kontrolira punjač, pretvarač pražnjenja, te uključuje i gasi punjače po potrebi.
- **Modul upravljanja (ICT)** je središnji upravljač za čitav sustav.
- **Opcijski (hibridni sustav) s generatorom:** vjetrogenerator, dizel agregat, vodikove ćelije s elektrolizom



Fotonaponski sustavi

Mrežni fotonaponski sustavi (eng. on grid, grid connected)



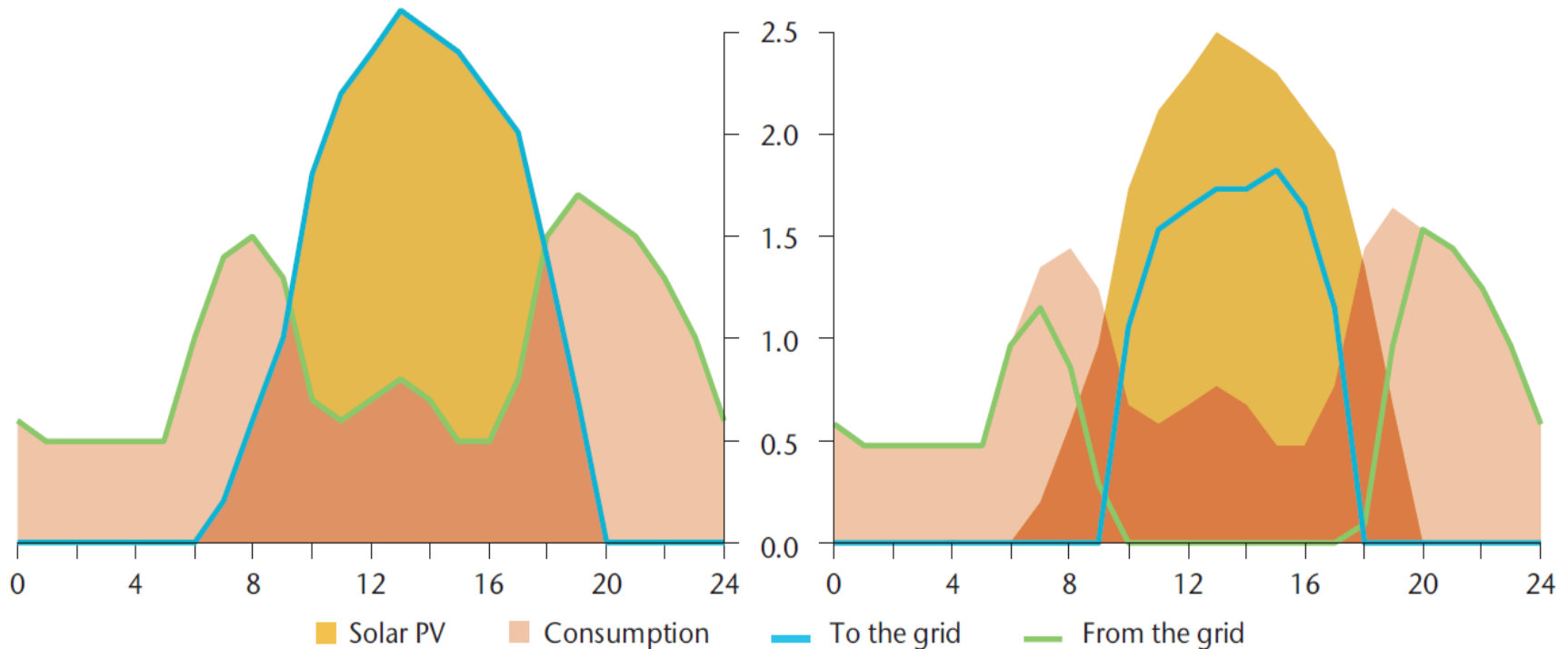
- U FN sustavu spojenom na mrežu, punjači i baterije načelno nisu potrebni, jer se sva izlazna snaga predaje u mrežu prije (elektrana) ili nakon potrošnje na vlastitim trošilima (kupac s vlastitom proizvodnjom).
- Baterija je potrebna eventualno za male kritične terete, kao što su početne kontrole i računala.
- S značajnim padom cijene baterija i s ciljem smanjenja utjecaja na okolnu mrežu ali i novim sustavom obračuna mrežarina od 2025. naglasak je na postavljanju puno većeg baterijskog sustava.

Primjena FN sustava na mreži - problem s kućanstvima

Without self-consumption

kW

With self-consumption



Nepodudarnost FN proizvodnje i potrošnje u kućanstvima – veliki problem u povećanoj integraciji u mrežu i stoga nastaje potreba za pohranom energije

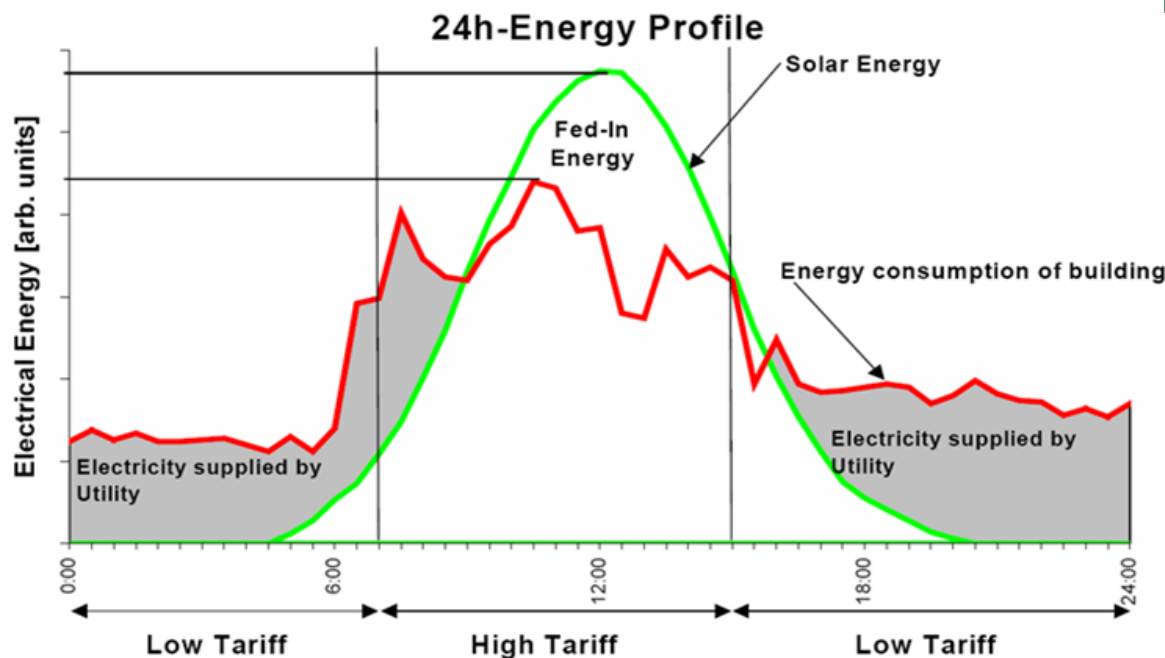
Izvor: IEA Technology Roadmap Solar PV - 2014 edition

Primjena na mreži - integracija u poslovnoj zgradi

Podudarnost FN proizvodnje i
 potrošnje u poslovnoj zgradi i
 manja potreba za pohranom



Doxford Int. PLC ured: Prva komercijalna zgrada s
 integriranim FN sustavom u zgradu

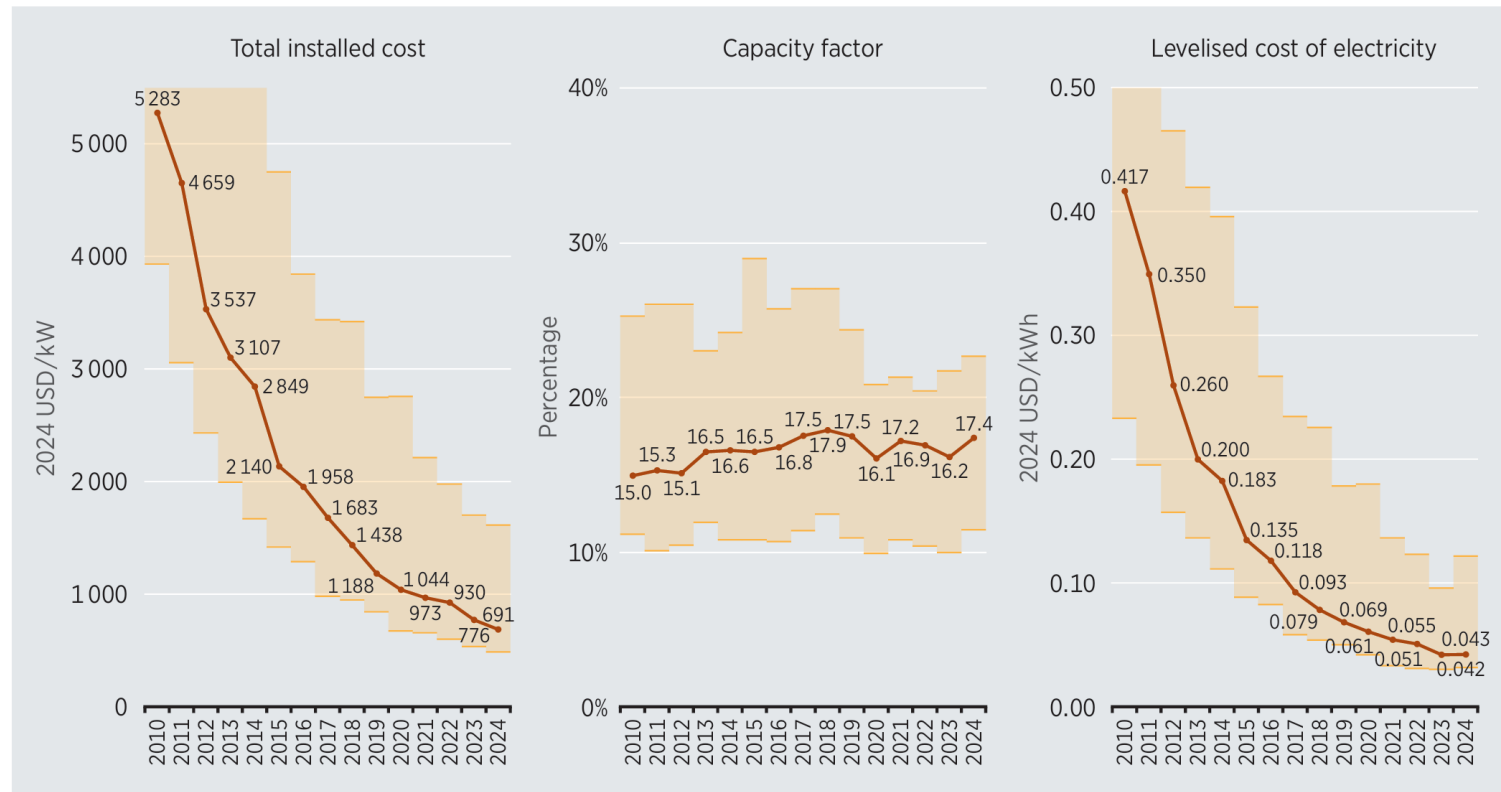


Energetski neovisna (pasivna)
 zgrada, Beč, Austrija

Fotonaponski sustavi

Investicijski troškovi, faktor snage i LCOE od 2010. do 2024.

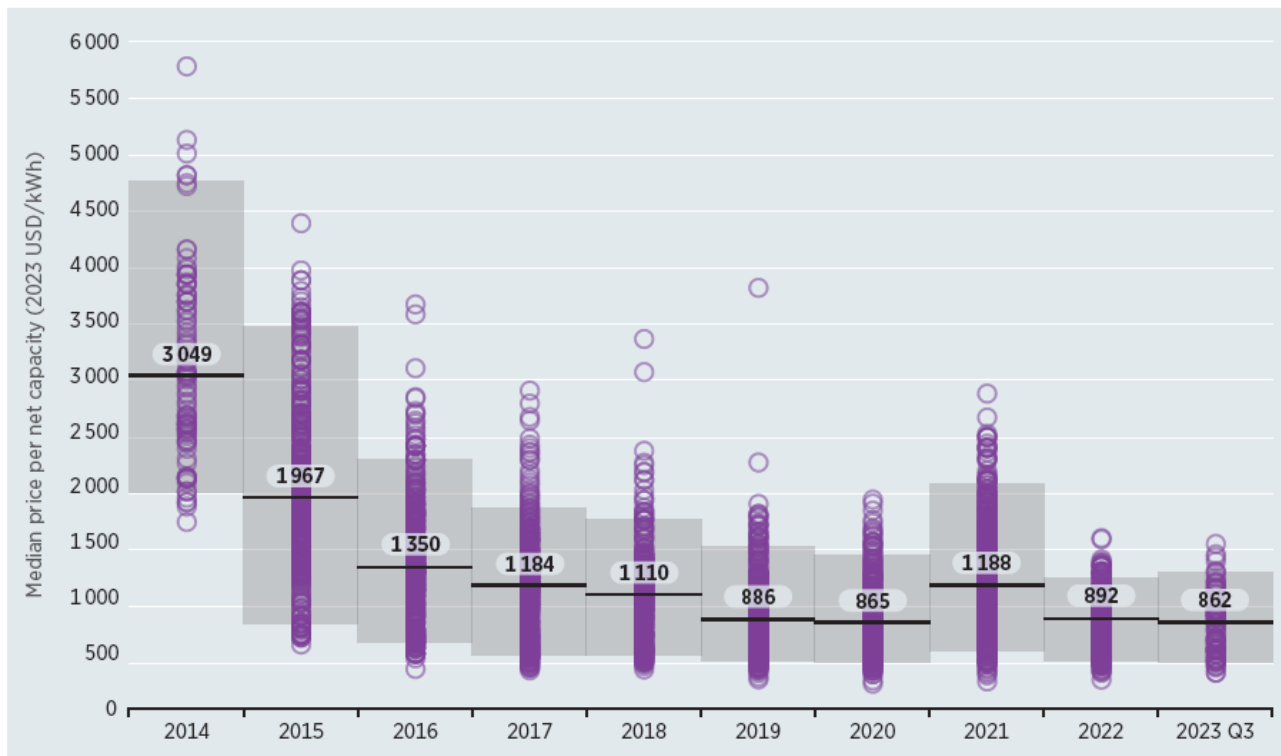
Figure 3.1 Global weighted average and range of total installed costs, capacity factors and LCOEs for utility-scale solar PV, 2010–2024



Izvor: IRENA Renewable Power Generation Costs 2024

Litij-ionski baterijski sustavi pohrane za kućanstva Investicijski troškovi u Njemačkoj od 2014. do 2023.

Figure 6.5 Behind-the-meter lithium-ion battery storage cost trends for residential systems in Germany, 2014-Q3 2023

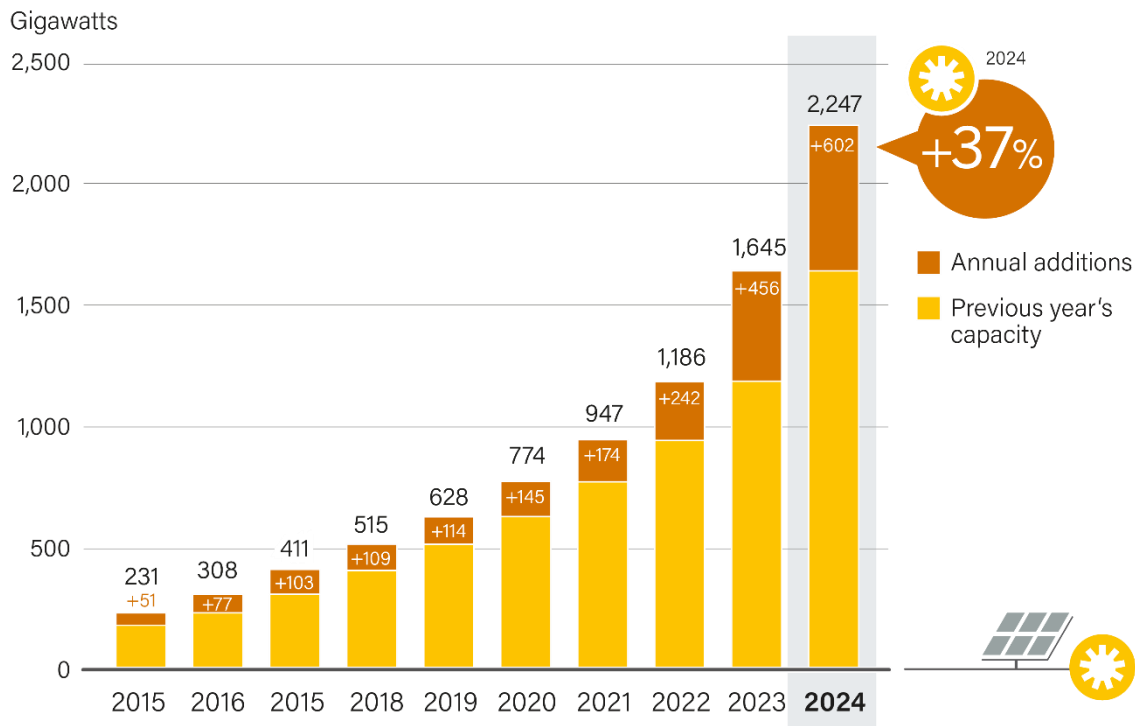


Note: kWh = kilowatt hour.

Izvor: IRENA Renewable Power Generation Costs 2023

Instalirana snaga u FN sustavima [GW] 2010. - 2020.

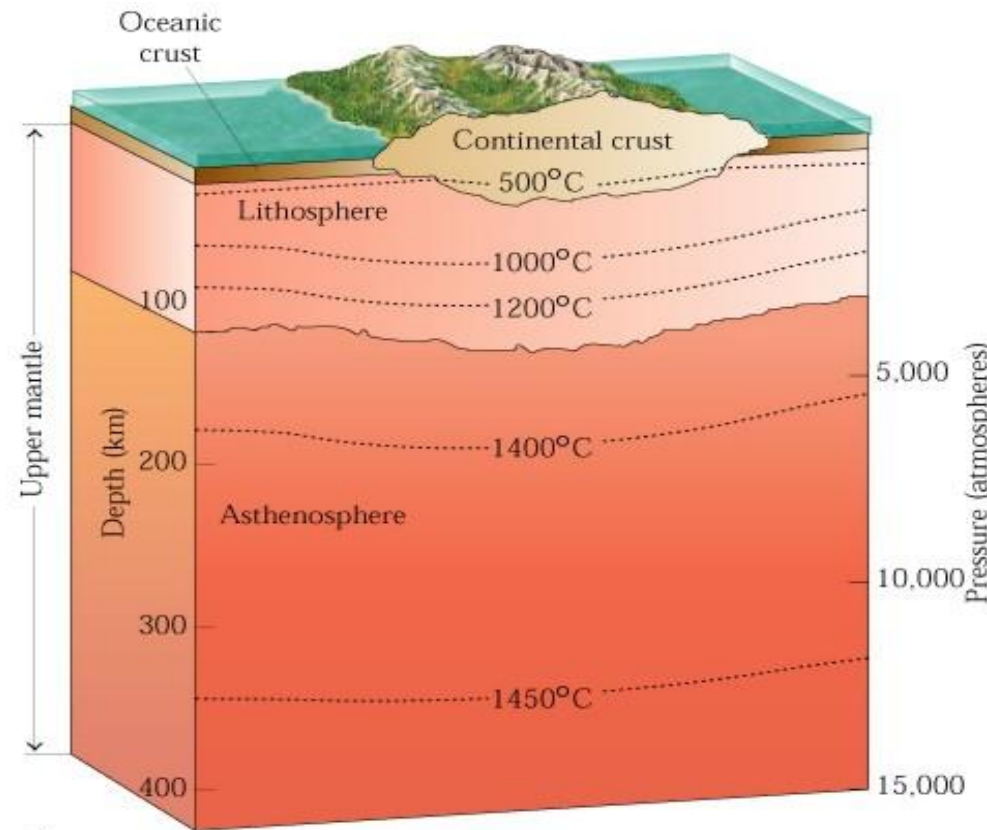
- 2024. novih 602 GW. ukupno 2247 GW, u 2023. i 2024. instalirano je preko 1000 GW! Najbrže rastuća tehnologija.



Izvor: REN21 Renewable 2025 Global Status Report

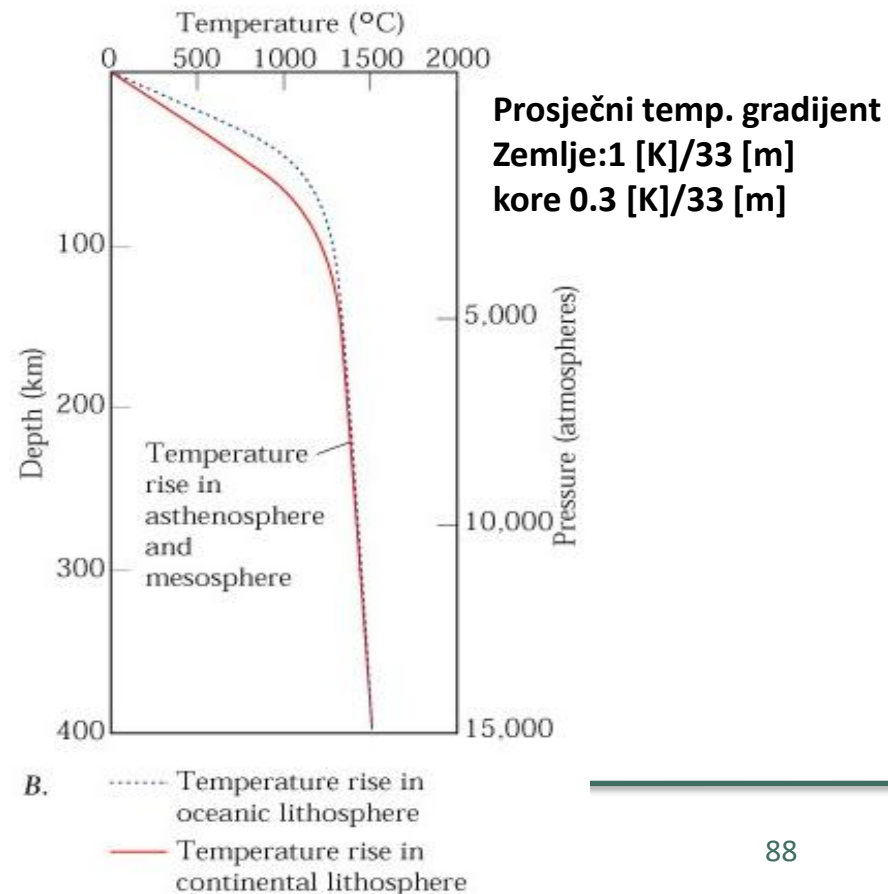
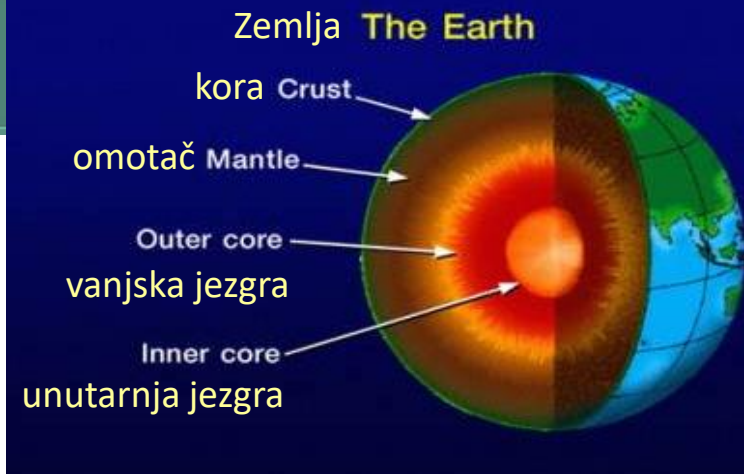
Geotermalna energija (unutrašnjosti Zemlje)

Kopno pliva: **Mohorovičićev diskontinuitet**,
 seizmički određena granica kopna i omotača.



A.

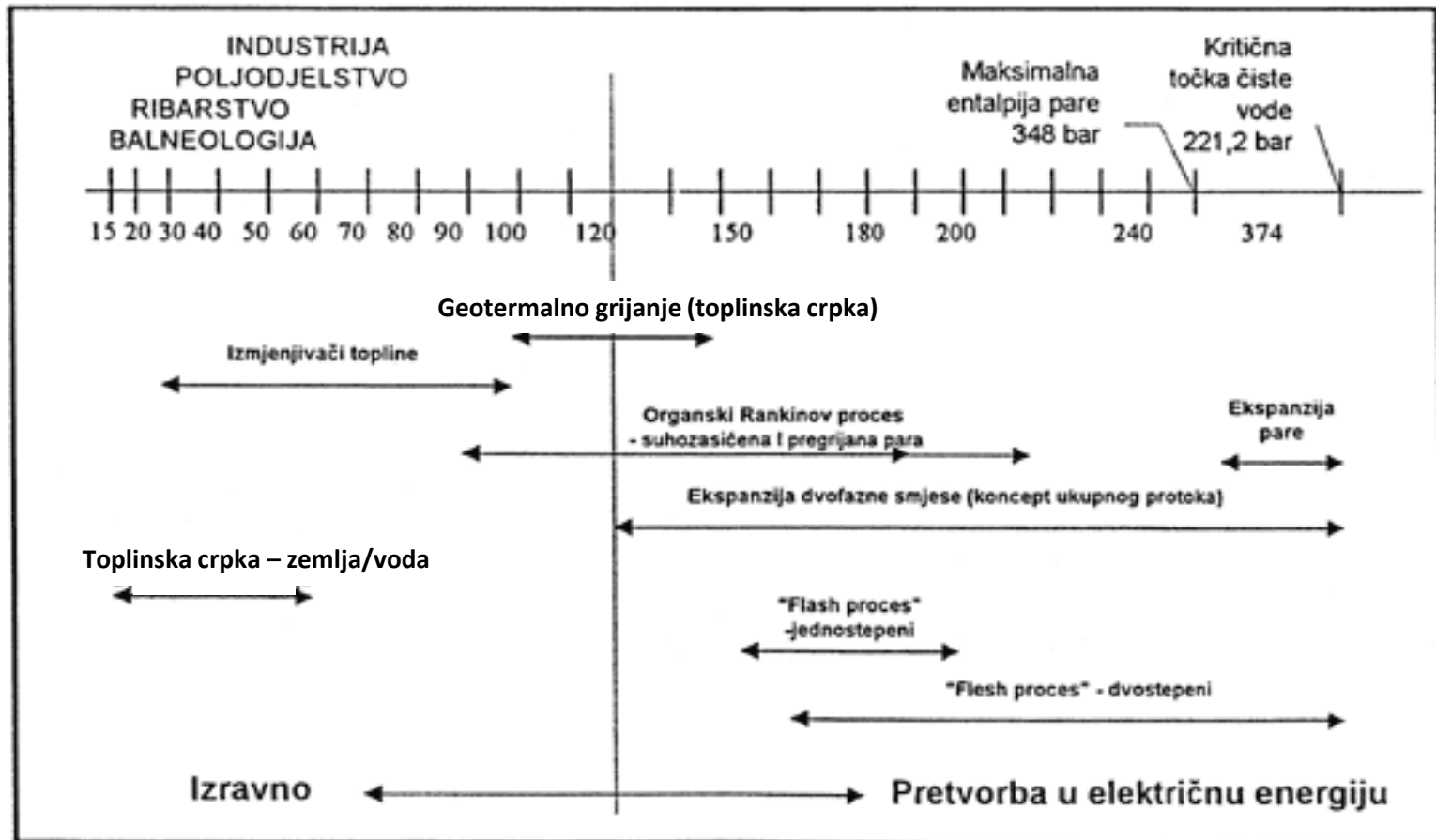
Visoki temperaturni gradijenti u područjima jakih
 seizmičkih aktivnosti



B.

Uporaba geotermalne energije

U ovisnosti o radnoj temperaturi geotermalnog fluida na ušću bušotina



Uporaba geotermalne energije

Toplinske crpke

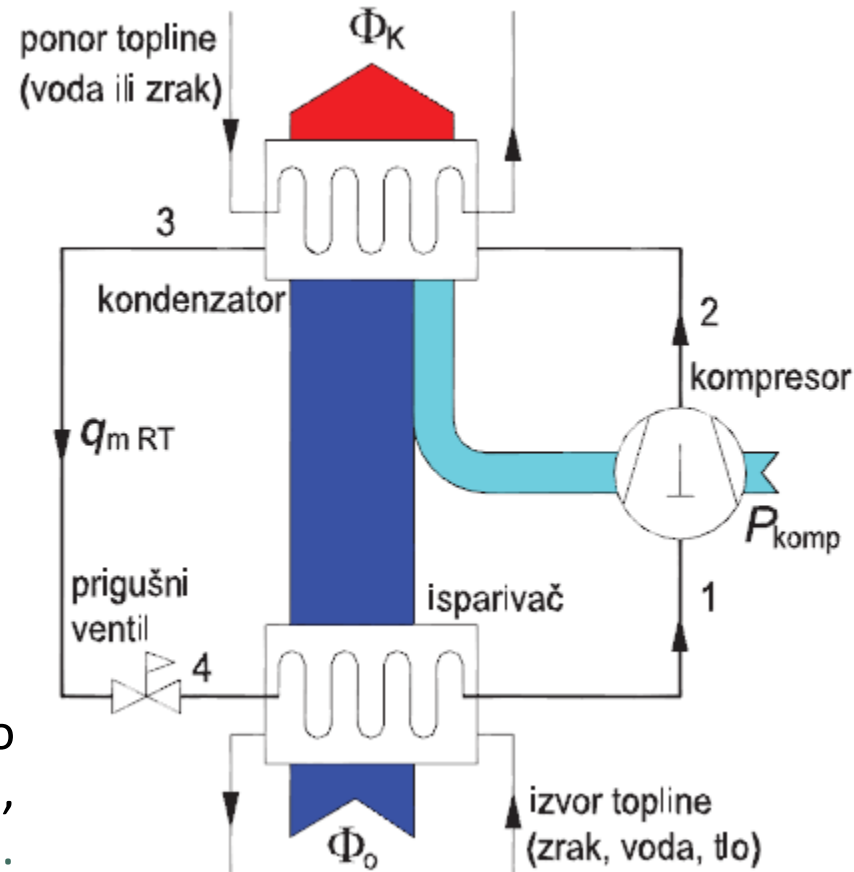
Jedan od glavnih parametara koji se veže uz toplinske crpke je **toplinski množitelj** koji je definiran izrazom:

$$\varepsilon_g = \frac{q_K}{W} = \frac{\Phi_K}{P_{komp}}$$

Gdje je:

- Φ_K – učinak grijanja (kondenzatora) koji je jednak $\Phi_K = \Phi_0 + P_{komp}$
- P_{komp} - snaga kompresora

Prosječni toplinski množitelj, ovisno o temperaturama toplinskog izvora i ponora, često doseže vrijednosti od 2,5 do 4 pa i više. To znači da za 1 kW privedene snage kompresoru, učinak grijanja na kondenzatoru može biti i nekoliko puta veći.

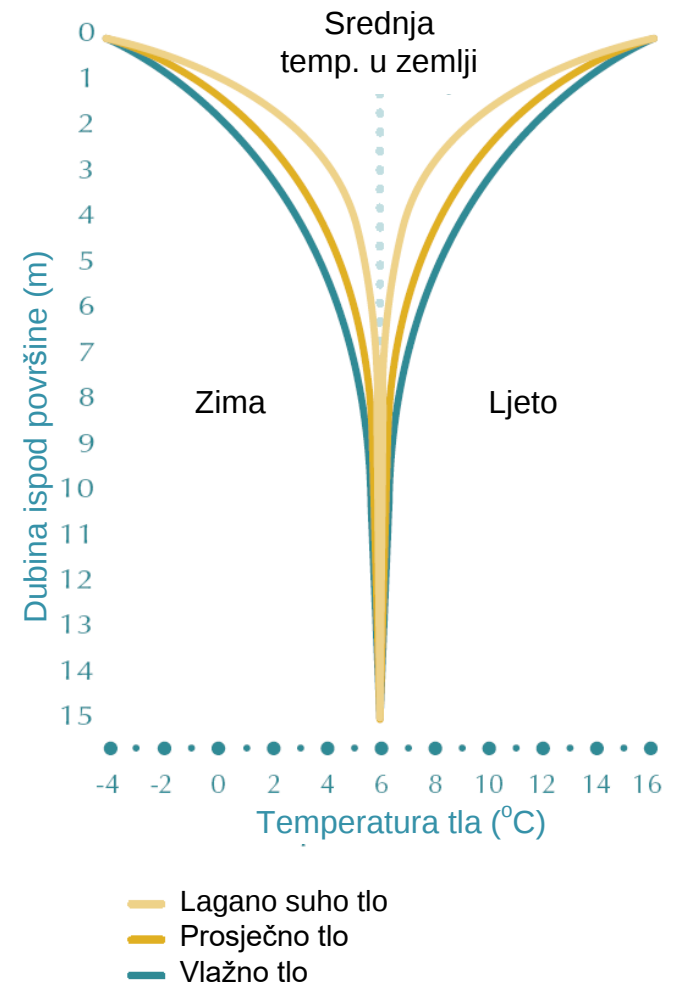


Izvor: “Priručnik za energetske savjetnike” UNDP

Uporaba geotermalne energije

Toplinske crpke

- Mogućnost crpljenja topline iz okoline korištenjem **kružnog termodinamičkog procesa** izravni ili s izmjenom topline često se primjenjuje za grijanje (i hlađenje) u razvijenom svijetu.
- **Tzv. toplinske crpke često se spominju zajedno sa geotermalnim izvorom energije, ali ovdje nema nužno geotermalnog spremnika.**
- Dok se vanjska prosječna mjesečna temperatura zraka, za naše kontinentalno područje, kreće u rasponu od -5 do +25 °C **temperatura tla ostaje približno konstantna** (ovisno o podneblju od 6 do 8 °C) tijekom cijele godine već na dubini od 8 do 10 m.
- Razlika prema zraku je iskoristiva i na dubini od 2 m gdje je godišnji raspon od 3 do 10 °C za suho tlo i par stupnjeva šire za vlažno tlo.



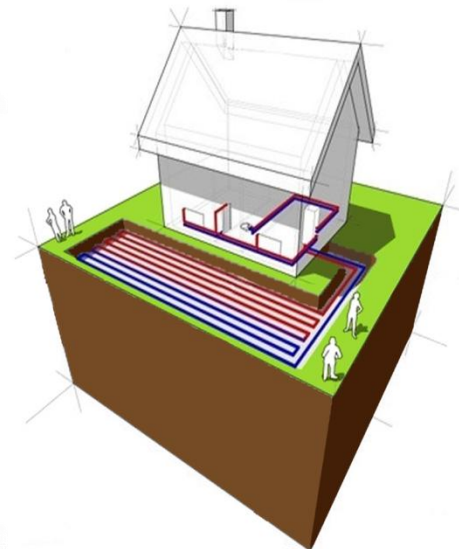
Tlična varijacija temperature tla

Uporaba geotermalne energije

Vrste toplinskih crpki

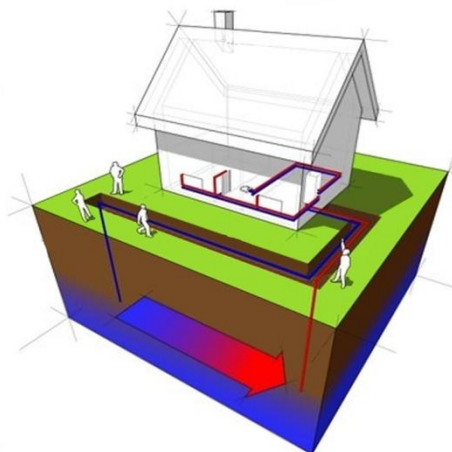
Postoje dva osnovna sustava za iskorištavanje geotermalne energije pomoću toplinskih crpki.

- **Zatvoreni (sustav s zatvorenim krugom)** sustav koristi ukopane izmjenjivače topline tako da radni medij nikad nije u izravnom doticaju s tlom.
- **Otvoreni sustav** koristi geotermalni fluid kao radni medij (podzemne vode) iz jedne bušotine te ga nakon procesa vraća u drugu bušotinu.



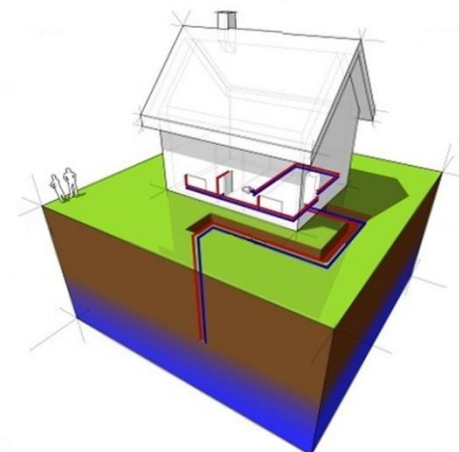
Slika 5.1.

Horizontalni sustav s zatvorenim krugom



Slika 5.3.

Vertikalni sustav s otvorenim krugom



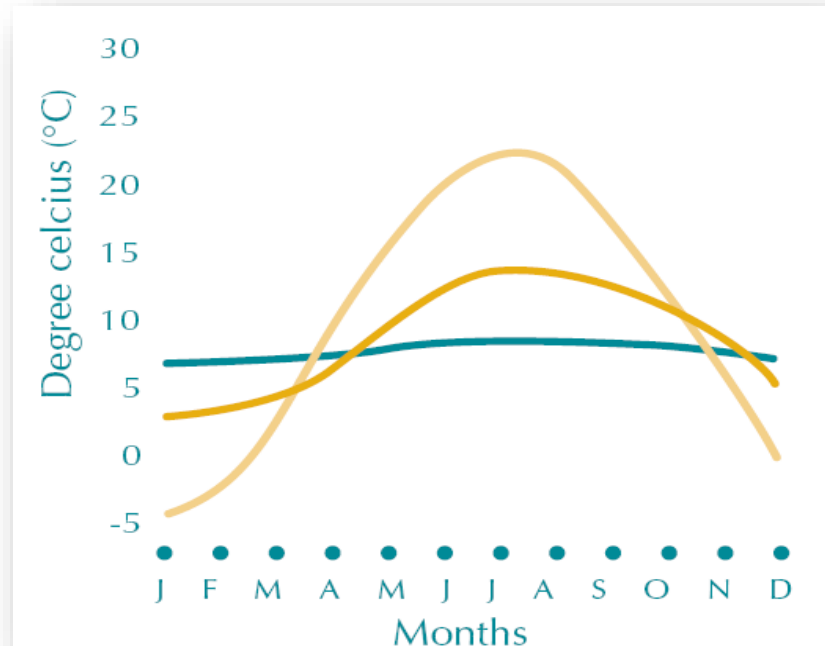
Slika 5.2.

Vertikalni sustav s zatvorenim krugom

Uporaba geotermalne energije

Toplinske crpke

- Takav odnos temperatura u tlu i potrebne unutarnje temperature u kući ili zgradi predstavlja **potencijal za isplativo i racionalno zagrijavanje (hlađenje) s toplinskim množiteljem od 3 do 6 (omjer dobivene toplinske energije i uložene el. energije).**
- Ukupna djelotvornost ovisi pokraj stalne manje razlike temperatura i o korištenoj tehnologiji a posebno o konkretnoj izvedbi (vodoravno, okomito, podzemne vode i drugo).
- Korištenje toplinskih crpki u razvijenom svijetu na daleko je većoj razini od situacije u Hrvatskoj . Razlog: **početno jeftiniji klima uređaji sa mogućnošću crpljenja topline iz zraka ali koji imaju relativno mali koeficijent djelovanja.**



Temperatura tla neovisna je o sunčevom zračenju i zbog slabe toplinske vodljivosti tla konstantnija u odnosu na zrak kroz godinu na većoj dubini i kod manje vlažnog tla. Time je relativna razlika prema temperaturi okolice razmjerno velika tijekom većeg dijela godine.

Uporaba geotermalne energije

Toplinske crpke

Od navedenog toplinskog množitelja za vrednovanje energetske učinkovitosti sustava dizalice topline relevantniji je **godišnji toplinski množitelj (Sesonal performance factor SPF/ Seasonal Coefficient of Performance SCOP)** koji je definiran kao omjer stvarno proizvedene toplinske energije dizalice topline tijekom godine (ΣQ_K) kroz ukupna godišnja energija utrošena na pogon kompresora, pumpi, ventilatora, te sustav odleđivanja isparivača (ΣE).

$$SPF = \frac{\Sigma Q_K}{\Sigma E}$$

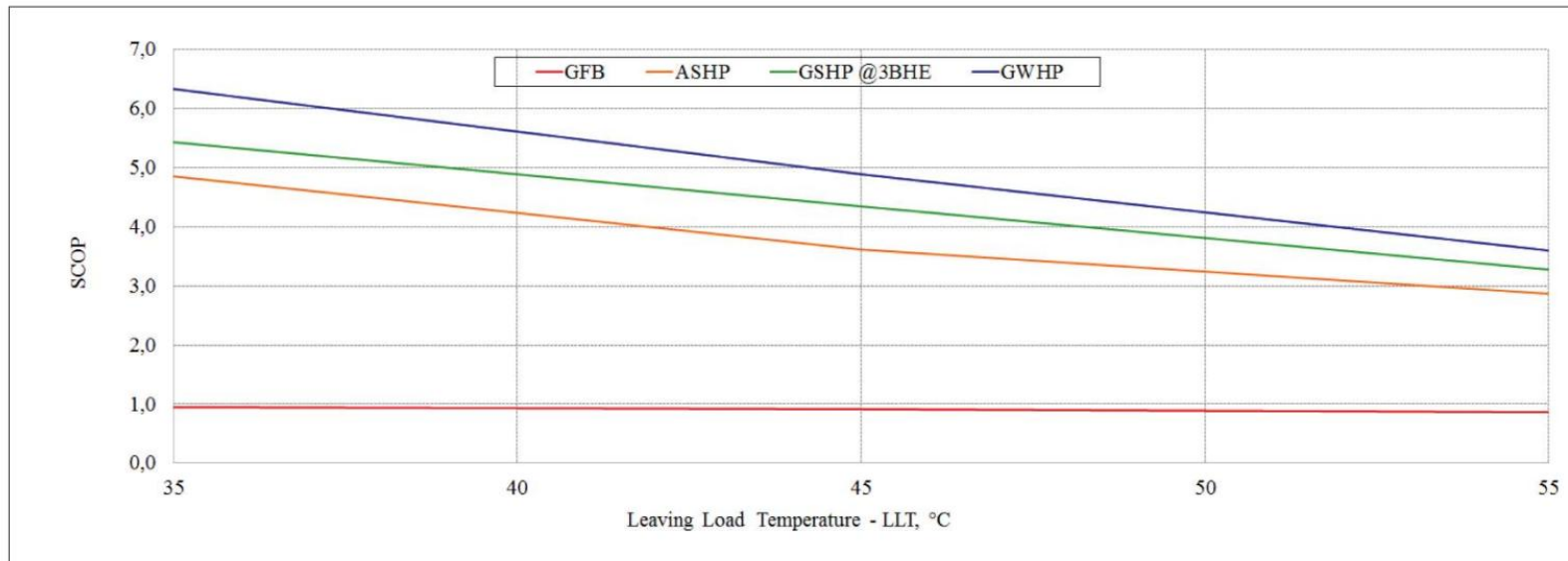


Figure 15: SCOP values for each heat pump system analysed compared to natural gas fired boiler

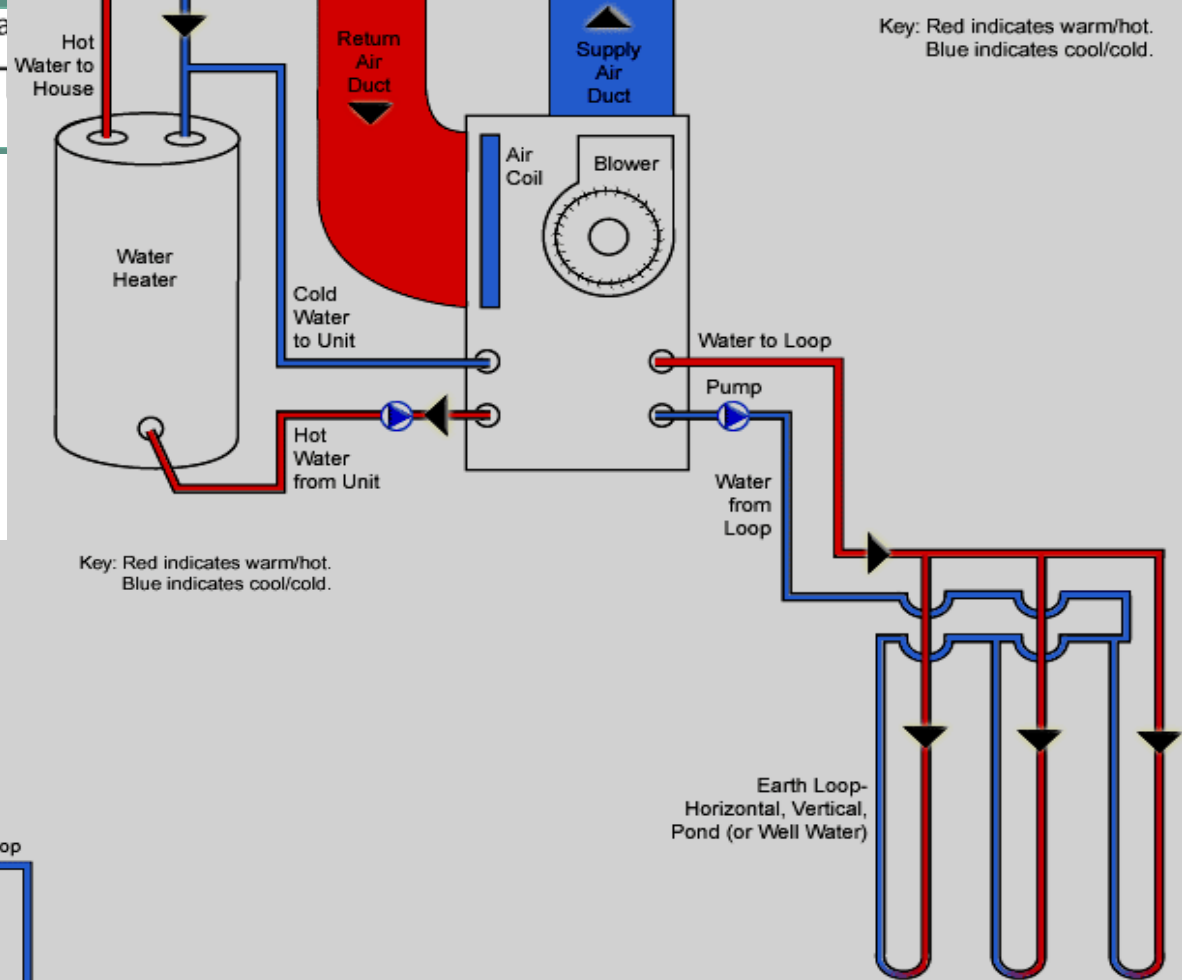
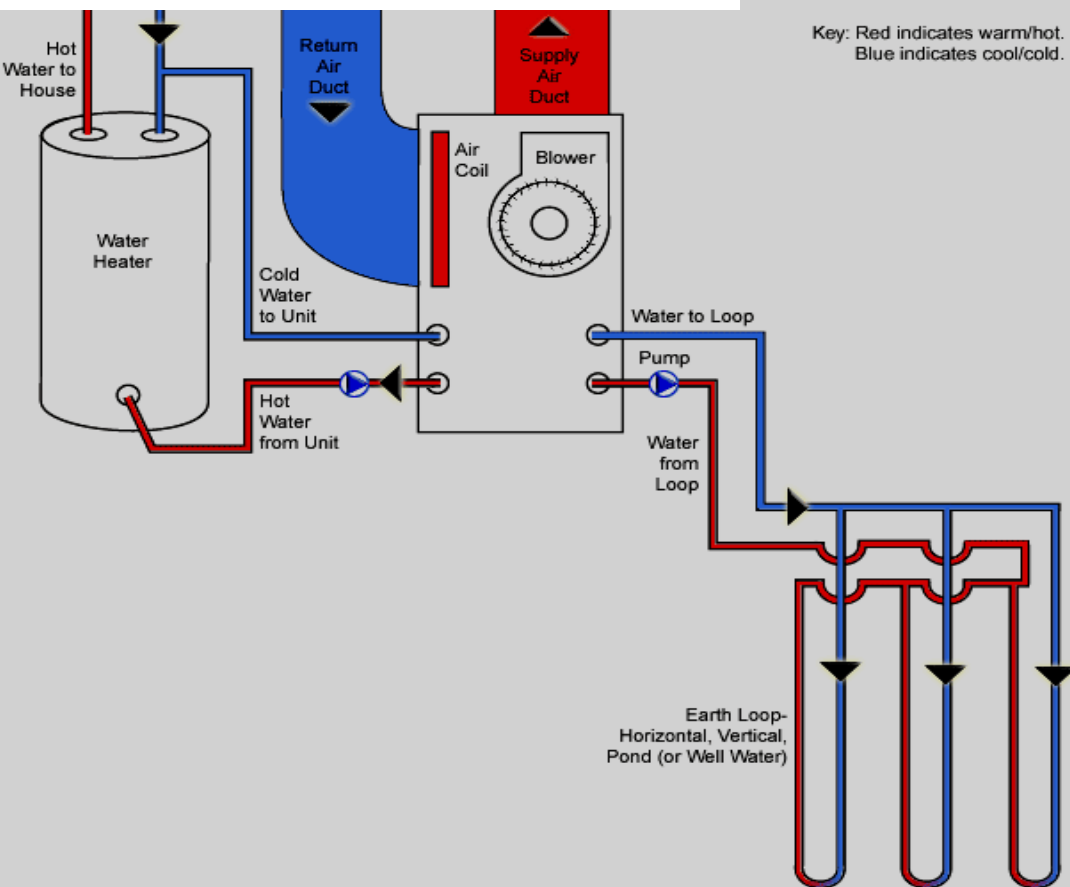
Izvor:

Macenic et al

MGPB 2019

Toplinske crpke

Toplinske crpke zimi:
grijanje vode, grijanje zraka

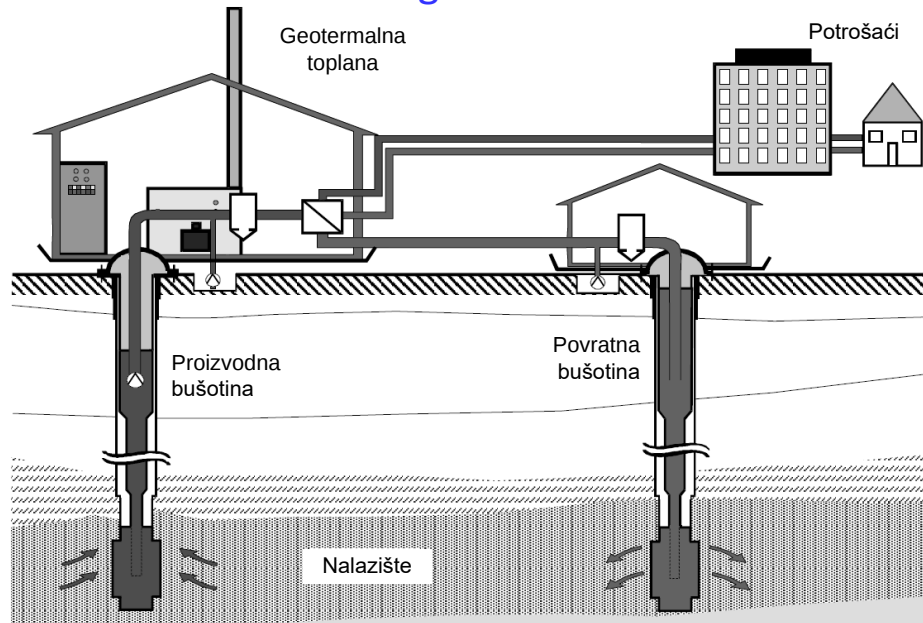


Toplinske crpke ljeti:
grijanje vode, hlađenje zraka

Uporaba geotermalne energije

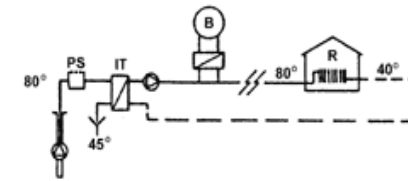
Područno (centralno) grijanje (district heating)

- Energija geoterm. izvora se **izravno ili preko izmjenjivača topline** (ovisno o čistoći geot. fluida) dovodi do **potrošača topl.**
- Za potrebe dogrijavanja ili potrošnje u vršnim satima koriste se **toplinske crpke ili kotlovi na klasična goriva.**

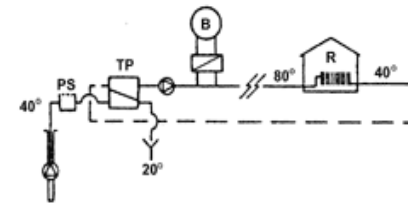


Geotermal.postrojenje za komunalno grijanje

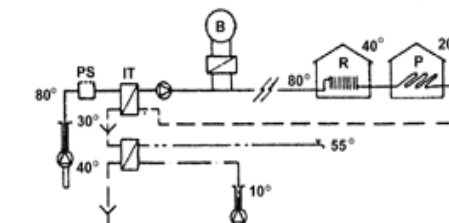
Indirektno korištenje



(a) Geot. vode temperature > 75 °C



(b) Geot. vode temperature 30-50 °C



(c) Geot. vode temperature >75 °C, kaskadno kor.

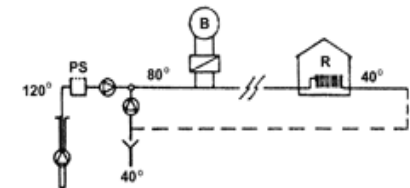
KAZALO

PS Plinski separator
 B Bojler
 R Grijanje radiatorima
 P Podno grijanje
 TP Toplinska pumpa
 IT Izmjenjivač topline

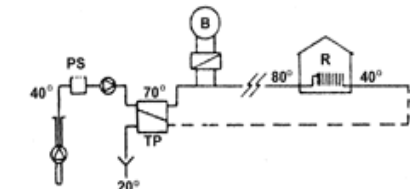
Direktno korištenje



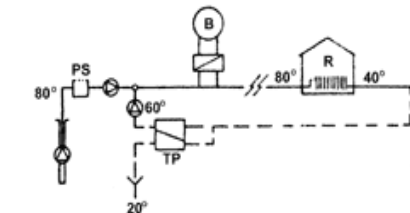
(d) Geot. vode temperature <100 °C



(e) Geot. vode temperature >100 °C



(f) Geot. vode temperature 30-50 °C



(g) Geot. vode temperature <100 °C

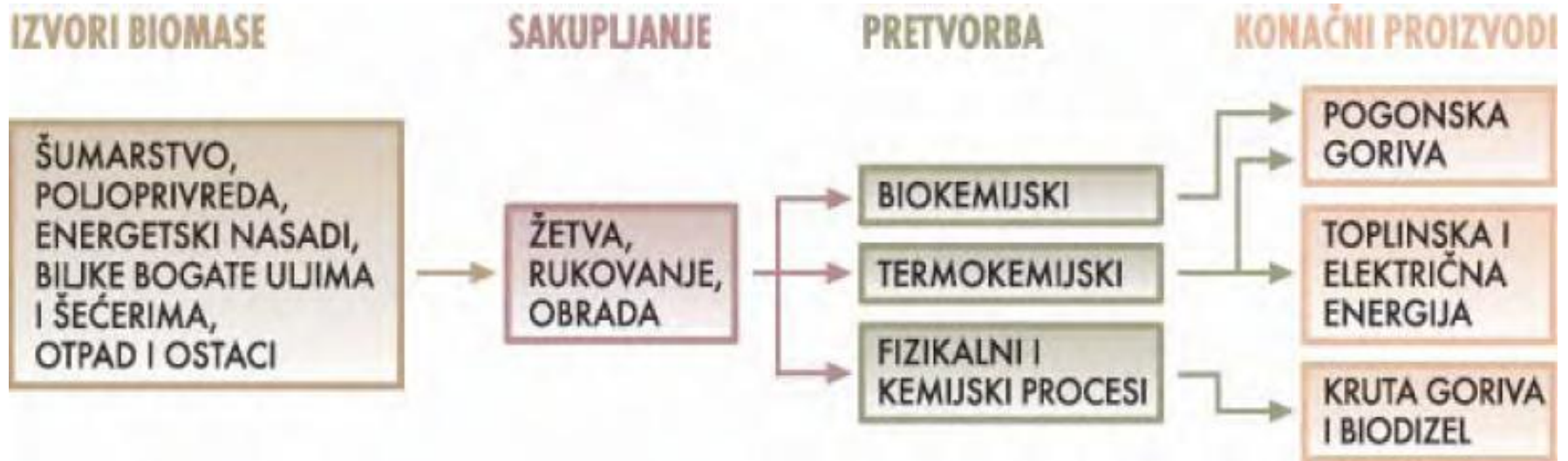


Karakteristike, investicijski troškovi i cijena toplinske energije iz toplinskih crpki i geotermalne energije

TECHNOLOGY	TYPICAL CHARACTERISTICS	CAPITAL COSTS USD / kW	TYPICAL ENERGY C. LCOE – US cents / kWh
HOT WATER / HEATING / COOLING			
Heat Pump: Ground-source (resi- dential and commercial)	Plant size: 10–350 kW _{th} Conversion efficiency: 280–500%	500–2,250	7–13
Heat Pump: Domestic water heaters	Plant size: 1–2 kW _{th} Conversion efficiency: 250–300%	300–350	6–7
Heat Pump: Water-source (residential, including multi-family)	Plant size: 4–40 kW _{th} Conversion efficiency: 300–400%	500–700	5–7
Heat Pump: Air-source	Plant size: 1–2 kW _{th} Conversion efficiency: 300–400%	350–400	5–7
 Geothermal Direct Use: Space heating in buildings	Plant size: 0.1–1 MW _{th} Capacity factor: 25–30%	1,865–4,595	10–27
 Geothermal Direct Use: District heating	Plant size: 3.8–35 MW _{th} Capacity factor: 25–30%	665–1,830	5.8–13

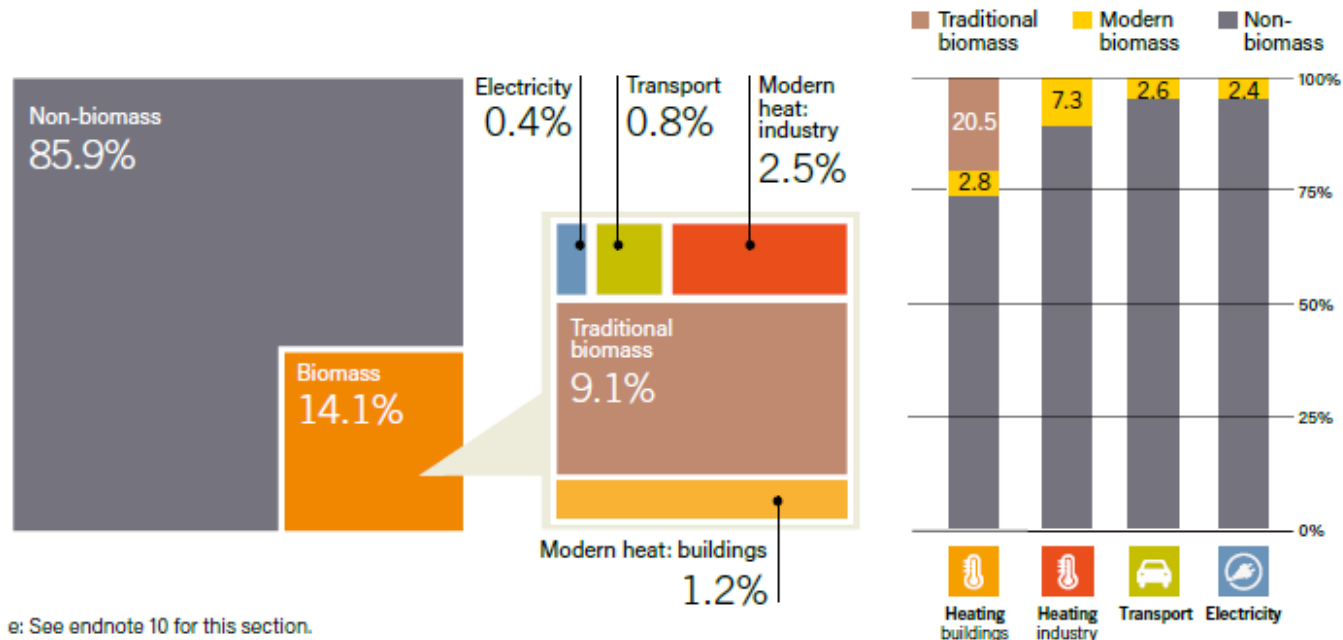
Biomasa i bioplin

- Biomasa su sve **biorazgradive tvari biljnog i životinjskog porijekla, dobivene od otpada i ostataka poljoprivredne i šumarske industrije.**
- Biomasa dolazi u: **čvrstom** (drvo, otpad), **tekućem** (biodizel, biodizel, bioetanol, biometanol) i **plinovitom stanju** (npr. bioplin, plin iz rasplinjavanja biomase, deponijski plin)



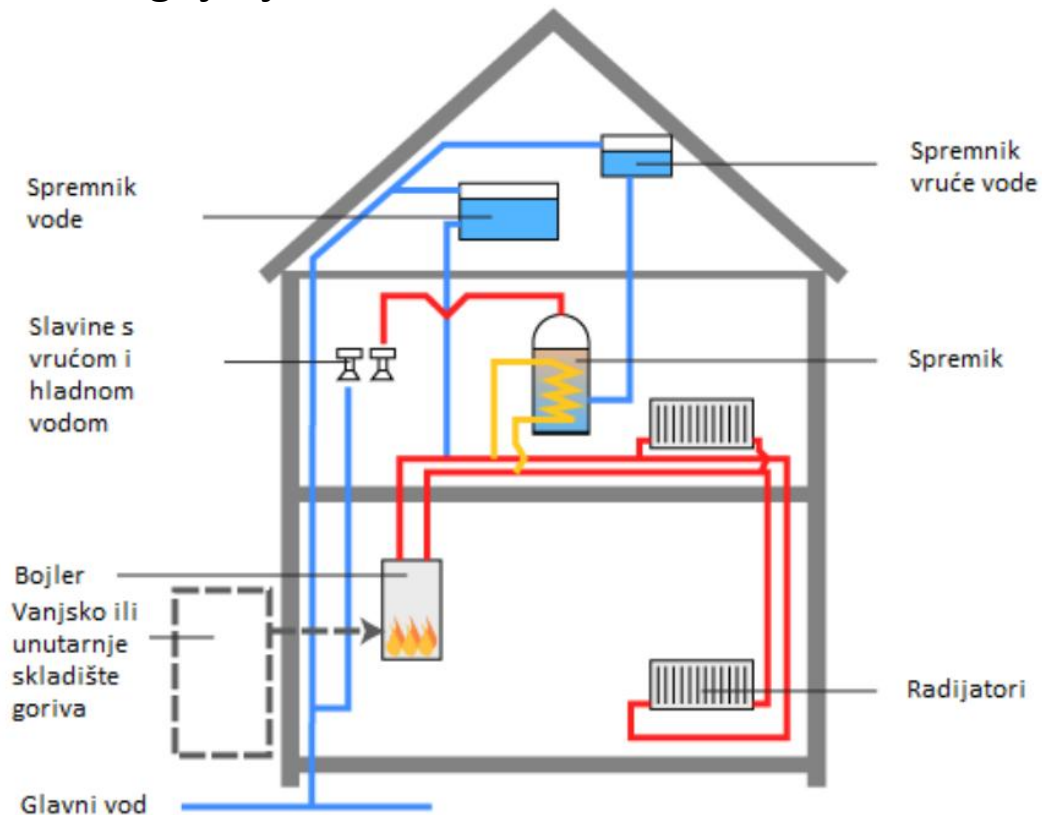
Moderno grijanje i PTV pomoću biomase

- Tradicionalna uporaba biomase za grijanje u 2016 33 EJ u apsolutnom smislu u laganom porastu no postotno (9.1% konačno potrošene energije) u opadanju. **Snažan porast modernih primjena biomase (ni približno kao aktivno solarno grijanje pomoću kolektora) u posljednjim godinama, osobito u Europi.**



Izvor: REN21 Renewable 2017 Global Status Report

- Primjene: od malih peći za grijanje prostorije, preko malih kotlova (bojlera) za grijanje kuće na pelete, mikrokogeneracija, do toplana snage više MW za toplinske procese u industriji i komunalno grijanje.



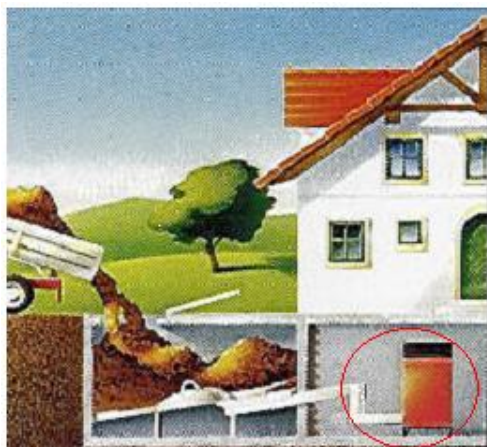
Izvor: Monika Tonkovic,
 završni radi FERIT 2019.,
 mentor Damir Šljivac

Slika 5.3.: Centralno grijanje temeljno na izgaranju biomase [11]



Moderno grijanje i PTV pomoću biomase

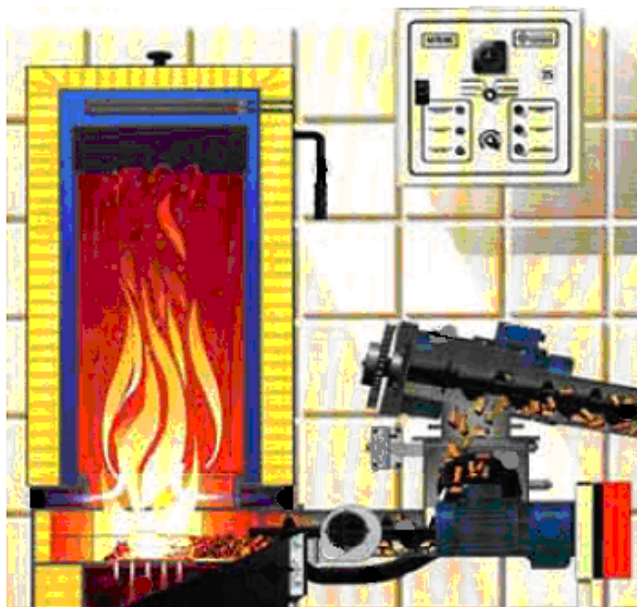
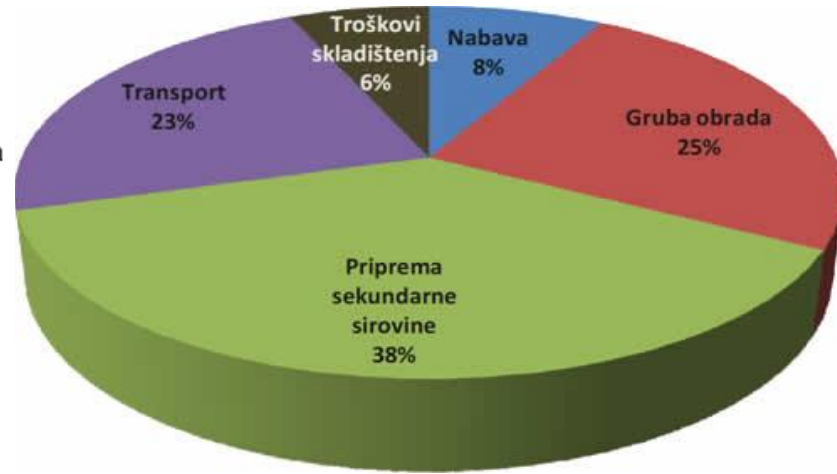
- Grijanje zgrada izgaranjem biomase (peleta, briketa, sječke..)



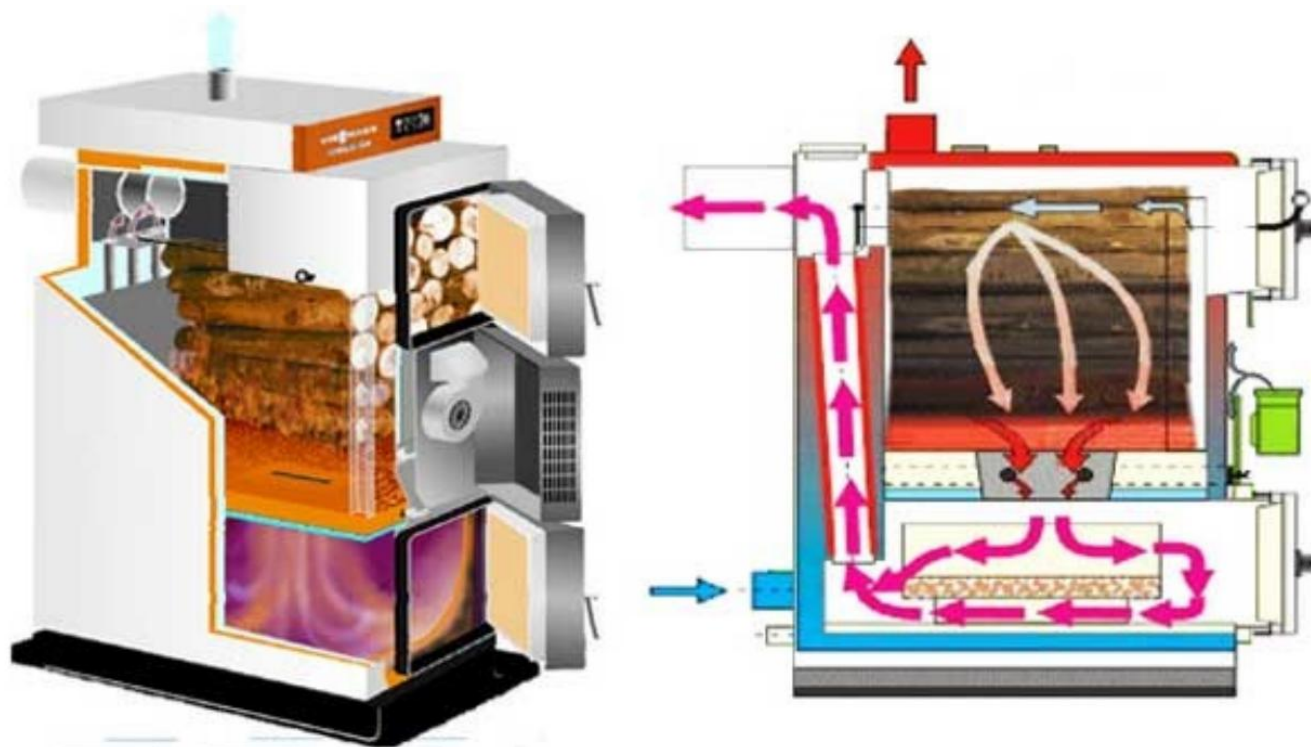
- Automatizirano
- Standardno gorivo
- Visoka efikasnost 80% +
- Cijena usporediva s lož-uljem

ODLIKE

- Automatski dotok goriva
- Dobava zraka preko ventilatora
- Komora za izgaranje
- Bojler
- Kontrolna jedinica



- Posljednji napredak u razvijenim državama: uvođenje **peći za kuhanje s rasplinjavanjem (pirolizom) krute biomase i pirolitičkih bojlera. Veća učinkovitost, na pelete ili drvenu sječku**. Komercijalno raširene u Europi (nordijske zemlje) a osobito u zemljama u razvoju: Kini, Indiji, Šri Lanki, Filipinima.



Izvor: Monika Tonkovic,
 završni radi FERIT 2019.,
 mentor Damir Šljivac

Slika 5.2.: Izgled pirolitičke peći/bojlera [10]

Karakteristike, investicijski troškovi i cijena topline iz biomase (moderna primjena)

TECHNOLOGY	TYPICAL CHARACTERISTICS	CAPITAL COSTS USD / kW	TYPICAL ENERGY COSTS LCOE – US cents / kWh
HOT WATER / HEATING / COOLING			
 Biomass heat plant	Plant size: 0.1–15 MW _{th} Capacity factor: ~50–90% Conversion efficiency: 80–90%	400–1,500	4.7–29
 Wood pellet heater (domestic)	Plant size: 5–100 MW _{th} Capacity factor: 15–30% Conversion efficiency: 80–95%	360–1,400	6.5–36
 Biomass CHP	Plant size: 0.5–100 kW _{th} Capacity factor: ~60–80% Conversion efficiency: 70–80% for heat and power	600–6,000	4.3–12.6

1 USD (2014) = 0.8191 EUR

Izvor: REN21 Renewable 2015 Global Status Report



Snagovitost	Gubici [W]	Volumen ložišta [l]	Volumen vode [l]	Vrijeme gorenja [h]	Cijena [HRK]
-------------	---------------	---------------------------	------------------------	---------------------------	-----------------

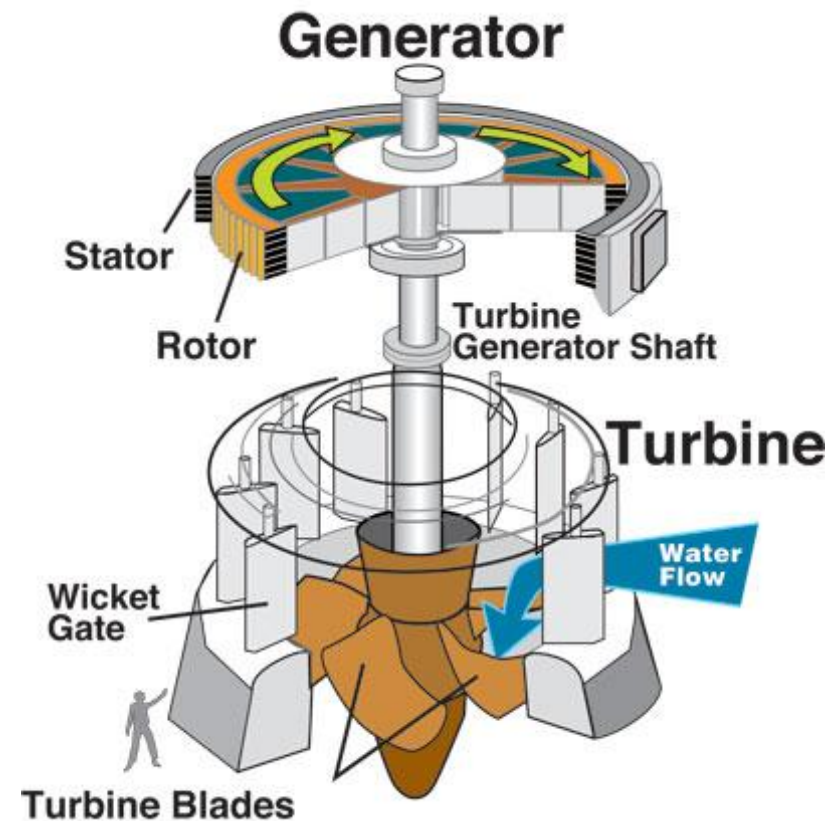
Karakteristike, i investicijski troškovi kotlova na biomasu – primjer kućanstva u HR

Piro. kotao na drva, Bio Tec	25	87	2750	97	105	3,5	16420
Piro. kotao na drva, Buderus Logano S121- 2	26	78	5720	86	89	2	13999
Piro. kotao na drva, VITOLIGNO 100 – S	25	88	3000	120	110	3	20444
Kotao na drva, VIADRUS U26	28	75	7000	64,5	44,7	2	8684
Kotao na drva, Thermasis KAPPA KP 04	28	85,7	4004	53,55	33,5	2	5995
Kotao na drva, CENTROMET AL EKO – CK P	25	80	5000	80	64	2,5	6587

Izvor: Monika Tonkovic,
završni rad FERIT 2019.,
mentor Damir Šljivac

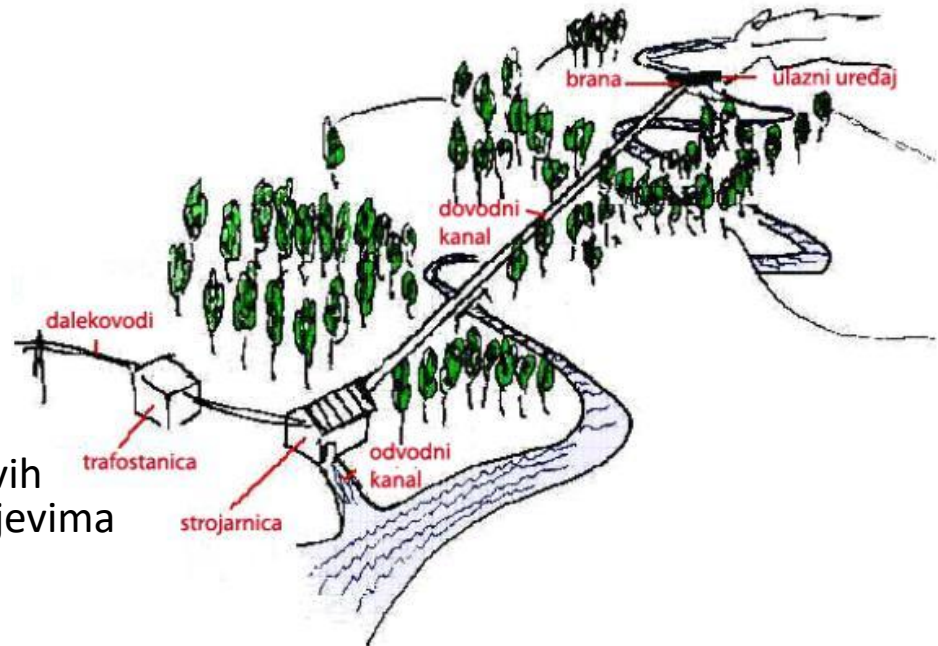
Dodatno: Energija vode i hidroelektrane

- Oblici energije položaja vode nastale uslijed djelovanja Sunca (kružni tok vode u atmosferi, isparavanje...) koje je tehnički moguće iskoristiti su: vodotoci (akumulacija i protok vode), plima i oseka, morski valovi .
- Osnovni način pretvorbe:**
 Pretvorba energije položaja vode (potencijalna u akumulacijama/jezerima) ili / a potom **kinetičke energije vode** (protok u vodotocima)
u mehaničku energiju protjecanjem kroz vodne turbine ((po)nekad vodenice) a potom danas najčešće (gotovo isključivo) u **električnu energiju u (hidro)generatorima**.
- Postrojenja u kojima se energija položaja vode pretvara u električnu energiju nazivaju se **hidroelektrane (HE)**.



Karakteristike hidroelektrana

- Sustav (male) hidroelektrane se sastoji od svih objekata i dijelova koji služe za skupljanje, dovođenje i odvođenje vode, za pretvaranje mehaničke u električnu energiju, za transformaciju i razvod el energije.
- Razlikuju se sljedeći **karakteristični dijelovi (male) hidroelektrane**:
 - brana ili pregrada
 - zahvat
 - dovod
 - vodna komora ili vodostan
 - tlačni cjevovod
 - strojarnica (**vodna turbina, generator...**)
 - odvod vode.
- Prema tipu hidroelektrane mogu neki od ovih dijelova potpuno izostati, a u drugim slučajevima može isti dio preuzeti više funkcija.
- Kod malih HE (< 10 MW), a osobito kod mikro HE (< 100 kW) gradnja brane često preskupa pa se uz one s prirodno velikim padom (na slici) izvode i kao: niskotlačne (s malim padom) mHE sa strojarnicom na dnu postojeće brane ili sa sifonskim odvodom, te integrirane u postojeći kanal za navodnjavanje ili sustav opskrbe pitkom vodom.



Karakteristike hidroelektrana

Neto snaga hidroelektrane

- Tehnički iskoristiva energija vodotoka smanjena je zbog trenja u dovodima (tunel, tlačni cjevovod), te gubitaka protoka, što se definira kroz **neto pad** H_n (neto pad = bruto pad (prirodni) – gubici)
- **Srednja iskoristiva snaga (neto snaga) koju hidroelektrana daje na priključcima generatora**, može se odrediti iz jednadžbe (nastale iz izraza za potencijalnu energiju):

$$P_{sr} = 9.81 \cdot Q_{si} \cdot H_n \cdot \eta_t \cdot \eta_g \cdot n \text{ [kW]}$$

$$P_i = 9.81 \cdot Q_i \cdot H_n \cdot \eta_t \cdot \eta_g \cdot n \text{ [kW]}$$

gdje je: η_t i η_g stupanj korisnog djelovanja turbine i generatora

H_n raspoloživi neto pad [m]

Q_{si} srednji iskoristivi protok turbine (za proračun srednje snage i energije).

Q_i instalirani protok turbine (za proračun instalirane snage)

n broj turboagregata

Investicijski troškovi, faktor snage i LCOE od 2010. do 2024.

Hidroelektrane

Figure 6.1 Global weighted average and range of total installed costs, capacity factors and LCOEs for hydropower, 2010–2024



Izvor: IRENA Renewable Power Generation Costs 2024

Dodatno: Energija vjetra i vjetroelektrane

Oko 1 do 2 posto energije koja dolazi od sunca kao promjena temperature i tlaka u obliku kinetičke energije u o:

$$W_{\text{vjetra}} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}\rho \cdot V \cdot v^2 = \frac{1}{2}\rho \cdot A \cdot v^3 \cdot t$$

$$P_{\text{vjetra}} = \frac{W_{\text{vjetra}}}{t} = \frac{1}{2}\rho \cdot A \cdot v^3$$

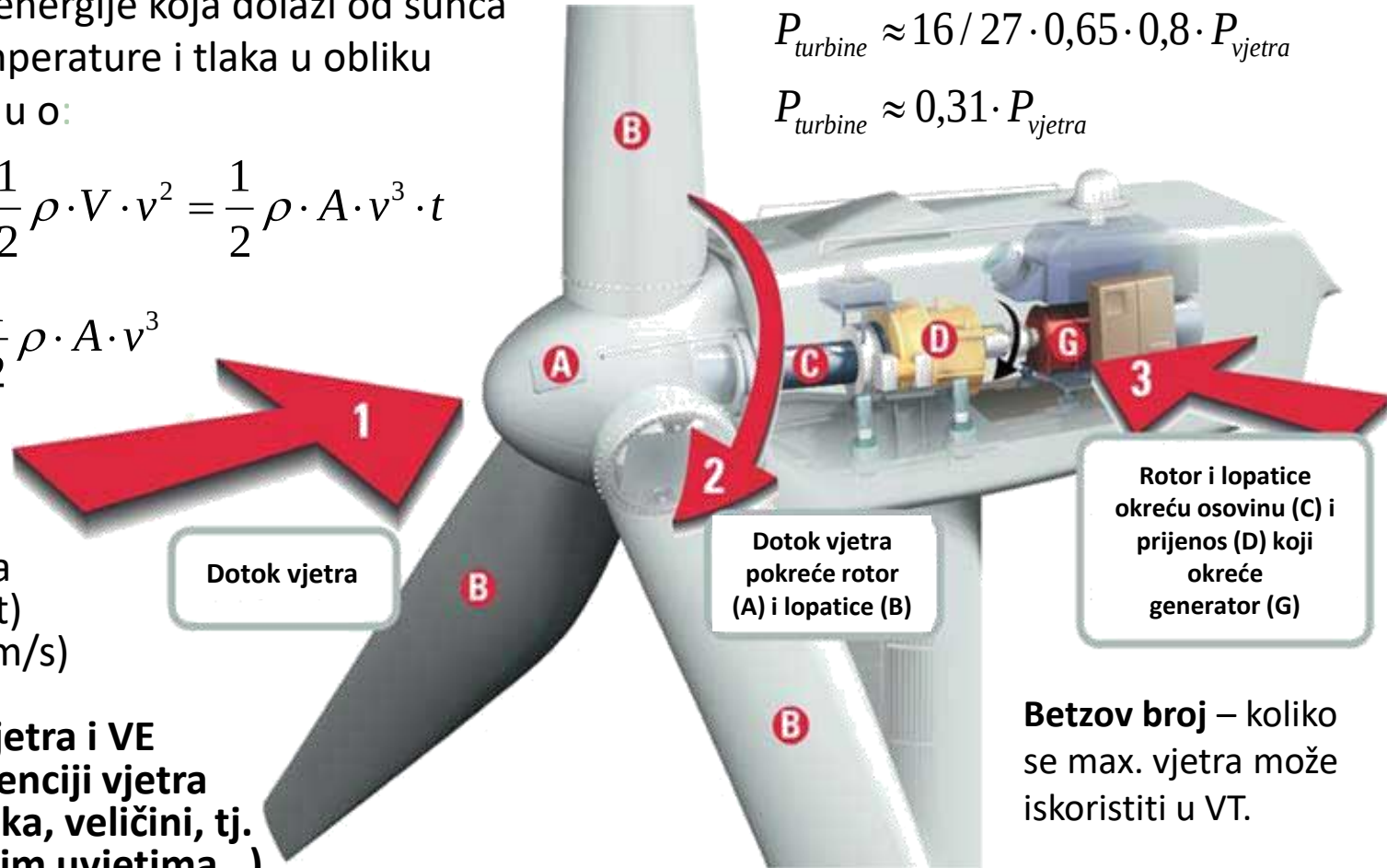
ρ - gustoća zraka
($\sim 1,25 \text{ kg/m}^3$)
 A - površina rotora
(volumen $V = A \cdot v \cdot t$)
 v – brzina vjetra (m/s)

**Energija i snaga vjetra i VE
ovise o trećoj potenciji vjetra
(visini, gustoći zraka, veličini, tj.
površini, klimatskim uvjetima...)**

$$P_{\text{turbine}} \approx \text{Betz} \cdot \eta_{\text{turbine}} \cdot \eta_{\text{generatora}} \cdot P_{\text{vjetra}}$$

$$P_{\text{turbine}} \approx 16/27 \cdot 0,65 \cdot 0,8 \cdot P_{\text{vjetra}}$$

$$P_{\text{turbine}} \approx 0,31 \cdot P_{\text{vjetra}}$$



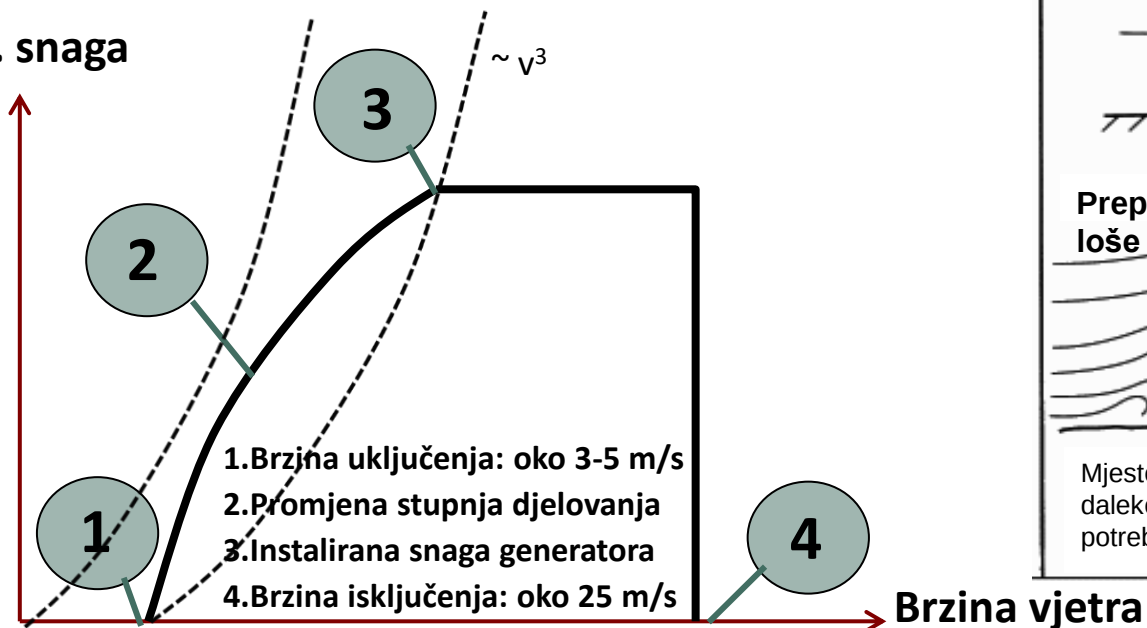
Betzov broj – koliko se max. vjetra može iskoristiti u VT.

Energija vjetra i vjetroelektrane

Dodatna ograničenja iskorištavanja vjetra:

- tromost vjetroatregata (brzina uključenja) i
- instalirana snaga, tj. nazivna brzina generatora (kočenje, brzina isključenja...)
- Ograničen prostor za postavljanje VE u vjetropark (turbulencije prepreka, susjednih VT...)

El. snaga



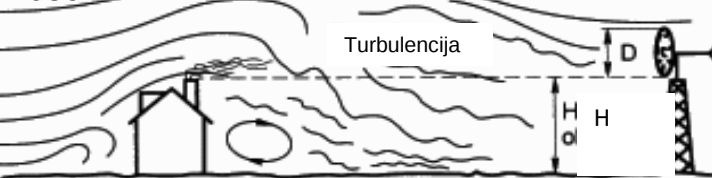
Dobro mjesto



Loše mjesto



Prepreke -
loše



Mjesto postavljanja vjetroturbine promjera (D) mora biti daleko od prepreka najmanje 10x visina prepreke (H) ili je potrebno postavljanje visokih stupova.



Osnovni tipovi vjetroelektrana



Na kopnu

Lopaticice rotora

kućište

toranj

temelji

Vodoravna osovina

pozicioniranje
prijenos
generator
kontrola



Okomita osovina

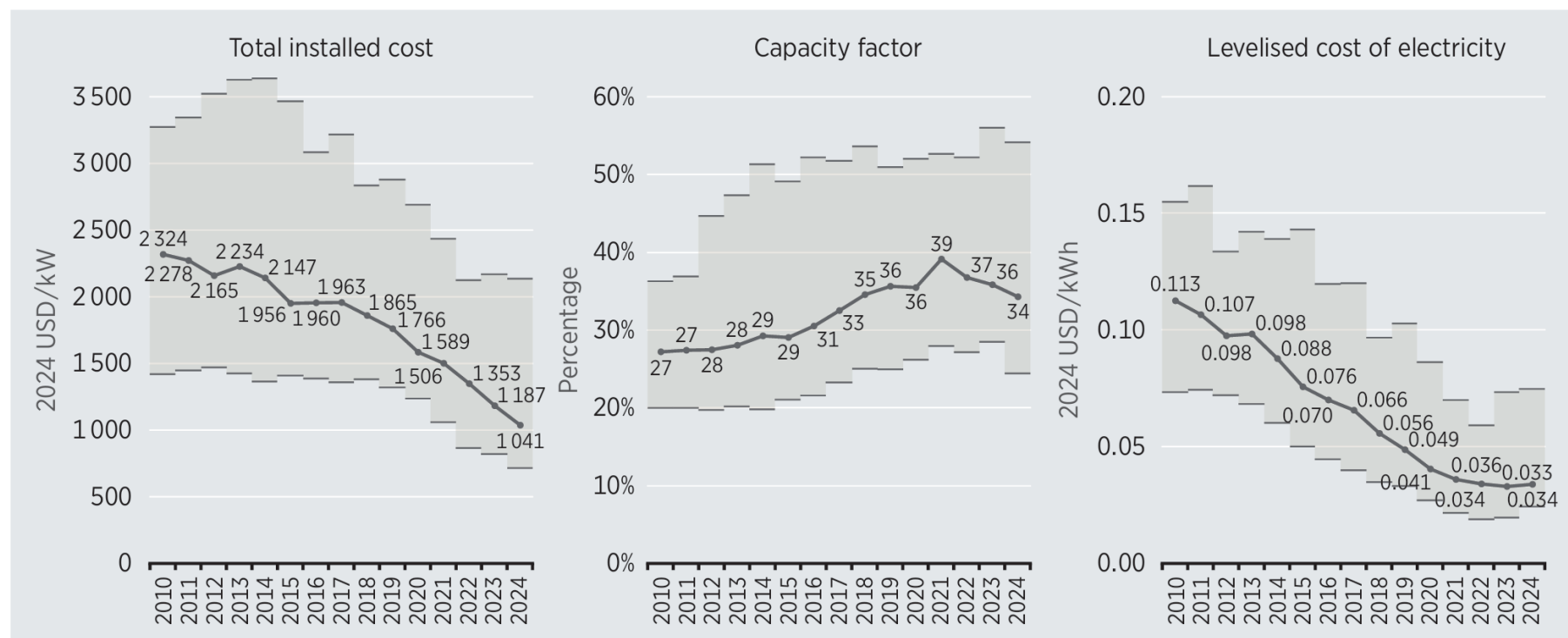


Na pučini

Vjetroelektrane na kopnu

Investicijski troškovi, faktor snage i LCOE od 2010. do 2024.

Figure 2.1 Global weighted average and range of total installed costs, capacity factors and LCOEs for onshore wind, 2010-2024



Izvor: IRENA Renewable Power Generation Costs 2024

Dodatno: Gorivne (elektrokemijske) ćelije

Gorivne (elektrokemijske) ćelije – princip rada

- Gorivne ili elektrokemijske ćelije (gorivni elementi) su uređaji u kojima se kemijska energija neposredno pretvara u električnu, a sastoje se od **dvaju elektroda uronjenih u isti elektrolit**.
- **U principu, goriva ćelija radi kao baterija.** Za razliku od baterije, goriva ćelija se ne prazni, i ne treba ju nadopunjavati. Ona će proizvoditi energiju u obliku električne struje i topline dokle bude opskrbljena gorivom.
- **Gorivo je kemijski element ili spoj visokog sadržaja unutarnje energije** koje se dovodi **na anodu gdje oksidira**, a rezultat oksidacije je oslobađanje elektrona koji putem vanjskog strujnog kruga (vodiči i trošila) dolaze na katodu.
- Elektroni **na katodi reduciraju drugi kemijski element** ili spoj koji je **oksidans** u kemijskoj reakciji.

Gorivne (elektrokemijske) ćelije

- **Elektrolit** ima posebno važnu funkciju, **propušta samo određene ione**, u protivnom raskid kemijske reakcije
- Prema **vrsti elektrolita** gorivne ćelije dijele se na
 1. S alkalnim elektrolitom (AFC),
 2. S rastaljenim karbonatima kao elektrolitom (MCFC),
 3. S fosfornom kiselinom (PAFC),
 4. S polimernom membranom kao elektrolitom (PEMFC) i
 5. S čvrstim oksidima kao elektrolitom (SOFC).

- **Elektrode tehnološki najzahtjevnije:**

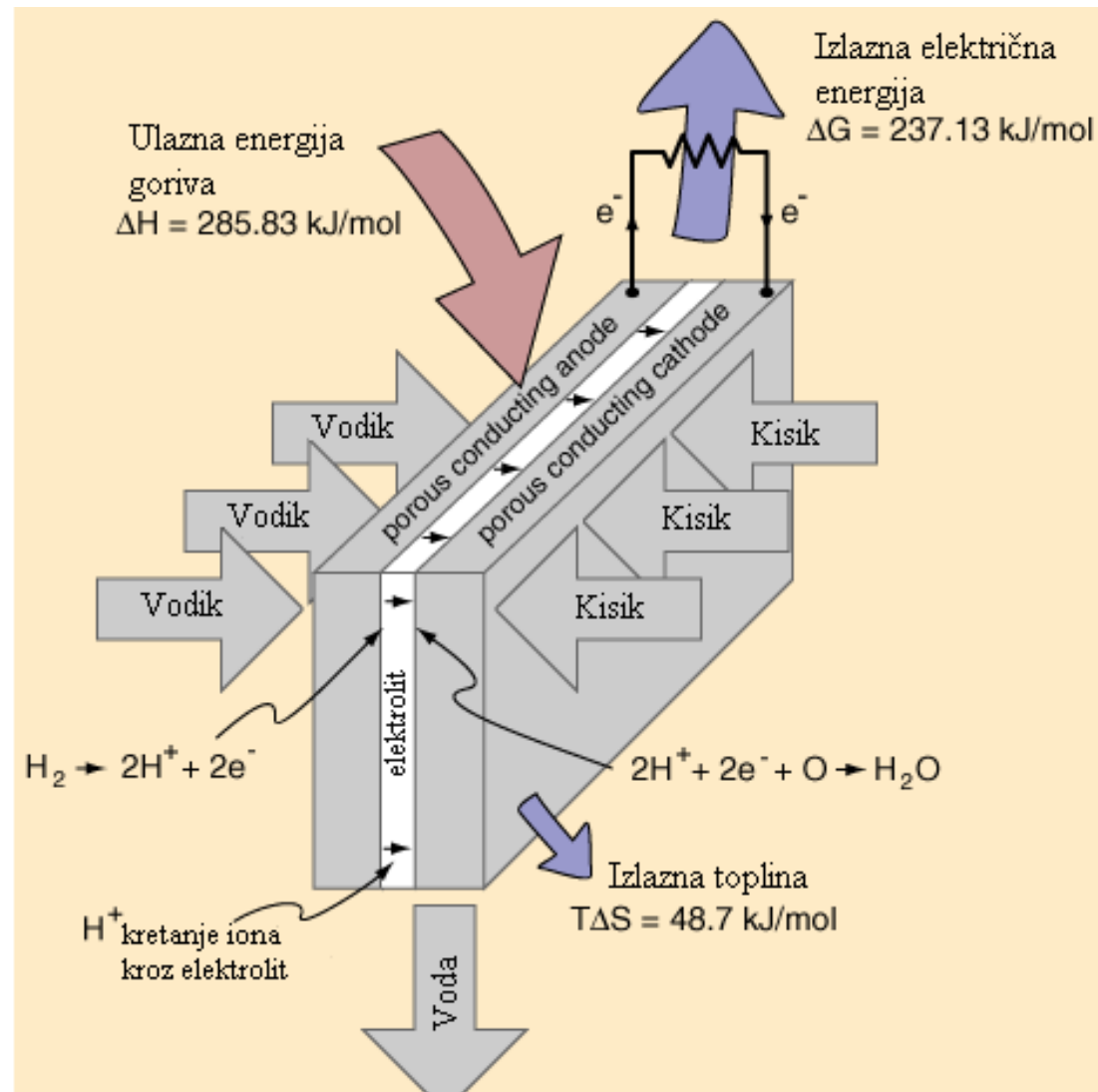
Metali ili materijali s poluvodičkim svojstvima čija površina potpomaže (katalizira) kemijske reakcije. Moraju imati dobra mehanička svojstva, visoku specifičnu površinu i poroznost, i pri tome zadržati dobru otpornost na korozivno djelovanje elektrolita i spojeva koji nastaju kao rezultat reakcije (npr. vodena para).

Neki od materijala od kojih se izrađuju elektrode su platina, paladij, radij, rutenij, itd.

Gorivne ćelije

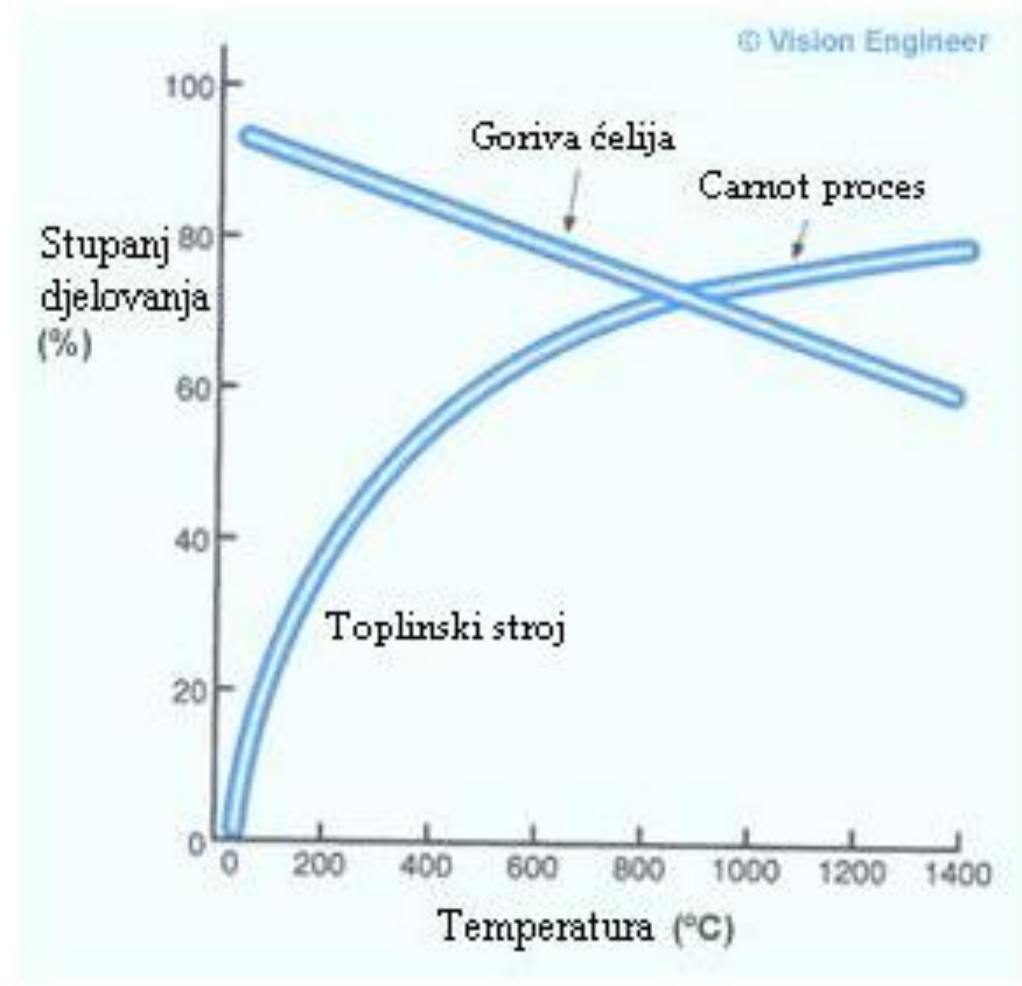
Primjer: vodikova ćelije

- Vodik kao gorivo (dovodi se anodi), a kisik kao oksidacijsko sredstvo (katodi).
- Kemijska reakcija oksidacije: atom vodika postaje ioniziran i nosi pozitivni el. naboj.
- Negativno nabijeni elektroni prenose struju preko vodiča do trošila.
- Kisik ulazi u gorivu ćeliju na katodi i tamo se spaja sa elektronima koji se vraćaju iz strujnog kruga i vodikovim ionima koji su putovali kroz elektrolit od anode.



Gorivne (elektrokemijske) ćelije

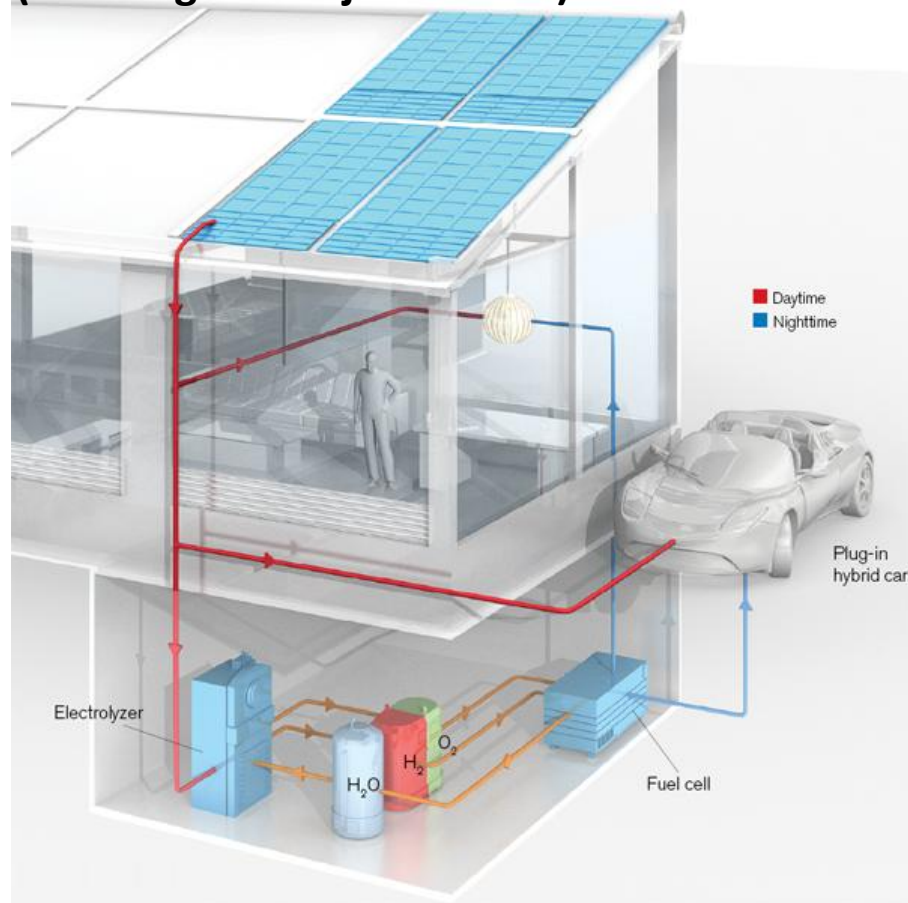
- **Teorijski stupanj djelovanja iznosi 99.75%, ali u praksi je nešto manji 60-80%** (ne pojavljuju se ograničenja Carnotovog procesa, pa je djelotvornost pretvorbe znatno veća nego pri izgaranju goriva).
- Stupanj djelovanja veći osobito pri nižim temperaturama (tehnički prihvatljivije!)
- Nisu obnovljivi izvor jer koriste gorivo, ali se potiče njihov razvitak i primjena zbog izrazito visokog stupnja djelovanja u odnosu na konvencionalne pretvorbe goriva





Gorivne ćelije

Kućni sustavi s gorivnim ćelijama
(mali kogeneracijski sustavi)



Hibridni sustav: FN/gorivne ćelije