



FOTONAPONSKI SUSTAVI

Izrada članka: REA Kvarner d.o.o.

Naručitelj: IRENA- Istarska Regionalna Energetska Agencija

Izradili:

Andrej Čotar, dipl.ing.
REA Kvarner d.o.o.

Andrej Filčić, dipl.oec
REA Kvarner d.o.o.

Odobrio:

Darko Jardas, dipl. ing.
REA Kvarner d.o.o.
Direktor

Rijeka, siječanj 2012. godine.

Ovaj članak je izrađen uz financijsku pomoć programa IPA Adriatic prekogranične suradnje. Sadržaj ovog članka je u isključivoj odgovornosti REA Kvarner i ne može se ni pod kojim okolnostima smatrati da odražava stajalište IPA Adriatic prekogranične suradnje.



Sadržaj

1.	UVODNO O TEHNOLOGIJI.....	3
2.	POVIJESNI PREGLED.....	4
3.	PRINCIP RADA FOTONAPONSKIH ČELIJA.....	6
4.	VRSTE SUNČEVIH FOTONAPONSKIH ČELIJA	9
5.	ENERGETSKA AMORTIZACIJA FOTONAPONSKIH ČELIJA.....	14
6.	TIPOVI FOTONAPONSKIH SUSTAVA.....	15
6.1	Mrežno spojeni fotonaponski sustavi (on-grid)	15
6.2	Mrežno spojeni kućni sustavi (mogućnost za vlastitu potrošnju)	17
6.3	Mrežno spojene sunčeve elektrane (farme)	18
6.4	Samostalni sustavi (off-grid) ili otočni sustavi.	19
6.5	Hibridni sustavi.	19
6.6	Samostalni sustavi gospodarske namjene.....	20
7.	SUNČEVO ZRAČENJE.....	20
8.	ZAKONODAVNI I INSTITUCIONALNI OKVIR ZA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ OBNOVLJIVIH IZVORA.....	23
9.	NOVE TEHNOLOGIJE I PERSPEKTIVE RAZVOJA SUNČEVIH FOTONAPONSKIH PANELA	24
9.1	Koncentrirajući fotonaponski sustavi	27
9.2	CNT	28
10.	LITERATURA.....	29
11.	POPIS SLIKA.....	29



1. UVODNO O TEHNOLOGIJI

Pretvorba sunčeve energije u električnu u sunčevim fotonaponskim instalacijama je najprepoznatljiviji način korištenja sunčeve energije.

Pošto su sunčeve fotonaponske ćelije poluvodički uređaji, one imaju dosta zajedničkih tehnika procesiranja i proizvodnje s ostalim poluvodičkim uređajima poput računala i memorijskih čipova. Kako je poznato, zahtjevi za čistoćom i kontrolom kvalitete izrade poluvodiča su prilično veliki. S današnjom proizvodnjom koja je dosegla velike razmjera razvijena je i cijela industrija proizvodnje sunčevih ćelija, koja se većinom nalazi u zemljama dalekog istoka, zbog niske cijene proizvodnje. Većina velikih komercijalnih tvornica sunčevih fotonaponskih ćelija danas ih izrađuje od kristaličnog silicija kao poluvodičkog materijala.

Sunčani fotonaponski moduli, koji nastaju spajanjem fotonaponskih ćelija radi povećanja snage, iznimno su pouzdani, dugotrajni i tihi uređaji za proizvodnju električne energije. Gorivo za fotonaponske ćelije je besplatno. Sunce je jedini resurs koji je potreban za pogon fotonaponskog sustava, a njegovo zračenje je gotovo neiscrpno.

Tipičana fotonaponska ćelija ima učinkovitost od oko 15 % što znači da može pretvoriti 1/6 sunčeve energije u električnu. Fotonaponski sustavi ne proizvode buku, nemaju pokretnih dijelova i ne ispuštaju onečišujuće tvari u okoliš. Uzimajući u obzir i energiju utrošenu na proizvodnju fotonaponskih ćelija, oni proizvode nekoliko desetaka puta manje ugljičnog



dioksida po jedinici proizvedene energije od tehnologije fosilnih goriva.

Fotonaponska ćelija ima životni vijek više od trideset godina i jedan je od najpouzdanijih poluvodičkih proizvoda. Najviše sunčevih ćelija proizvede se iz silicija koji je neotrovan i nalazi se u izobilju u zemljinoj kori.

Slika 1 fotonaponske ćelije



Fotonaponskim sustavima (ćelija, modul, mreža) je potrebno minimalno održavanje.

Na kraju životnog vijeka fotonaponski moduli se mogu gotovo u potpunosti reciklirati.

Fotonaponski moduli donose električnu energiju u ruralna područja gdje ne postoji električna mreža, te na taj način povećavaju samu životnu vrijednost tih područja.

Fotonaponski sustavi će nastaviti u budućnosti razvoj u smjeru ključnog čimbenika u proizvodnji električne energije za kućanstva i zgradarstvo općenito. Sustavi se instaliraju na postojeće krovove i integrirani su u fasade. Dakle takvi sustavi daju doprinos u smanjenju potrošnje energije u zgradi. Donesen je niz zakonodavnih akata Europske Unije na području obnovljivih izvora energije i energetske učinkovitosti, gdje se posebice fotonaponska tehnologija promovira za dostizanje ciljeva energetske uštede i smanjenje emisije CO₂ u javnim ali i privatnim te komercijalnim zgradama. Također fotonaponska tehnologija kao obnovljiv izvor energije doprinosi elektroenergetskim sustavima kroz diverzifikaciju izvora energije i sigurnost opskrbe električne energije.

Uvođenjem poticaja za proizvedenu energiju iz obnovljivih izvora u svim razvijenim zemljama svijeta, fotonaponski sustavi postali su vrlo isplativi, odnosno vrijeme povrata investicije u fotonaponske sustave je postalo kratko i konstantno se smanjuje.

U zadnjih nekoliko godina ta industrija raste po stopi od 40% godišnje, a fotonaponska tehnologija stvara tisuće novih radnih mjesta na lokalnim razinama.

2. POVIJESNI PREGLED

Otkriće fotonaponskog efekta smješta se u prvu polovicu 19. stoljeća. Godine 1839. mladi francuski fizičar Alexandre Edmond Becquerel opaža fizikalni fenomen ili efekt koji dopušta pretvorbu svjetla u električnu energiju. Na načelu tog fotoaponskog efekta zasniva se rad sunčevih ćelija. U godinama koje sljede brojni su znanstvenici u svom znanstveno-istraživačkom radu doprinjeli razvoju tog efekta i tehnologije, među kojima su svakako najvažniji Charles Fritts, Edward Weston, Nikola Tesla i Albert Einstein koji 1904. godine dobiva Nobelovu nagradu za svoj rad na temu „fotoelektrični efekt“.

Međutim, veći razvoj ove tehnologije zbog visoke proizvodne cijene se počinje zbivati tek razvojem poluvodičke industrije u kasnim pedesetim godinama 20. stoljeća. Kroz šesdesete godine sunčeve ćelije se koriste isključivo za opskrbu električnom energijom satelita koji kruže u Zemljinoj orbiti gdje se pokazuju kao vrlo pouzdana i konkurentna tehnologija. U



sedamdesetim godinama, poboljšanja u proizvodnji, karakteristikama i kvaliteti sunčevih ćelija, te nadolazeća naftna kriza, pomažu u smanjenju troškova proizvodnje sunčevih ćelija i otvaraju brojne mogućnosti za njihovu praktičnu implementaciju. Sunčeve ćelije su prepoznate kao odlična zamjena za opskrbu električnom energijom na lokacijama udaljenim od električne mreže. Napajaju se bežične aplikacije, napajaju se baterije za svjetionike, razni signali, telekomunikacijska oprema i ostala oprema male snage koja ovisi o električnoj energiji. U osamdesetim godinama sunčeve ćelije postale su popularne kao izvor energije za uređaje potrošačke elektronike, uključujući kalkulatore, satove, radio uređaje, lampe i ostale aplikacije sa malim baterijama. Također nakon završetka krize iz sedamdesetih, veliki su naponi uloženi u razvoj sustava sunčevih ćelija za komercijalnu upotrebu u kućanstvima. Razvijani su sustavi samostalnih sunčevih ćelija (off-grid), kao i sustavi spojeni na mrežu (on-grid). U istom razdoblju međunarodna primjena sunčevih ćelija u ruralnim područjima gdje nije izgrađena električna mreža i pripadajuća infrastruktura znatno se povećava. Električna energija proizvedena na tim područjima koristi se za crpljenje vode, rashladnu energiju, telekomunikacije i druge kućne uređaje i potrebe važne za svakodnevni život.

Razvoj tehnologije i tržišta fotonaponskih modula naglo je porastao uvođenjem poticaja za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije. Poticaji se provode u svim razvijenim zemljama, predvodnici su Europska Unija, SAD, Japan, Australija itd. Hrvatska je također donijela cijelovitu zakonsku regulativu kojom uređuje pitanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije u statusu povlaštenog proizvođača po poticajnim tarifama (feed-in tarife). *Više u poglavlju 8.*

Kako je već spomenuto, danas industrija fotonaponskih modula i pripadajuće opreme raste po stopi od 40% godišnje, prema tome spada u najbrže rastuće industrije zadnjeg desetljeća, te je u 2010. godini snaga instaliranih kapaciteta dosegla ogromnu brojku od 17,5 GW.



3. PRINCIP RADA FOTONAPONSKIH ČELIJA

Fotonapon se sastoji od dvije riječi: foto, koja ima grčke korijene za svjetlost i riječi napon koja označava mjernu veličinu kojim se iskazuje djelovanje električnog polja, odnosno razliku potencijala. Fotonaponski sustavi koriste ćelije za pretvorbu sunčevog zračenja u električnu energiju. Pretvorba sunčeve energije u električnu u fotonaponskim instalacijama je najprepoznatljiviji način korištenja sunčeve energije.

Prema kvantnoj fizici svjetlost ima dvojni karakter. Svjetlost je čestica i val. Čestice svjetlosti nazivaju se fotoni. Fotoni su čestice bez mase i gibaju se brzinom svjetlosti. Energija fotona ovisi o njegovoj valnoj duljini odnosno o frekvenciji, a možemo je izračunati Einsteinovim zakonom koji glasi:

$$E = h\nu$$

gdje je:

E - Energija fotona

h - Planckova konstanta, iznosi $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$

ν - Frekvencija fotona

U metalima i općenito u materiji, elektroni mogu postojati kao valentni ili slobodni. Valentni elektroni vezani su uz atom, dok se slobodni elektroni mogu slobodno gibati. Da bi od valentnog elektrona nastao slobodni, on mora dobiti energiju koja je veća ili jednaka energiji vezanja. Energija vezanja predstavlja energiju kojom je elektron vezan za atom u nekoj od atomskih veza. U slučaju fotoelektričnog efekta elektron potrebnu energiju dobiva od sudara s fotonom. Dio energije fotona troši se da bi se elektron oslobodio od utjecaja atoma za koji je vezan, a preostali dio energije pretvara se u kinetičku energiju, sada već slobodnog elektrona. Slobodni elektroni dobiveni fotoelektričnim efektom nazivaju se još i fotoelektroni. Energija koja je potrebna da se valentni elektron oslobodi utjecaja atoma naziva se rad izlaza W_i , i ovisi o vrsti materijala u kojem se dogodio fotoelektrični efekt. Jednadžba koja opisuje ovaj proces glasi:

$$h\nu = W_i + E_{kin}$$

gdje je:

$h\nu$ - Energija fotona

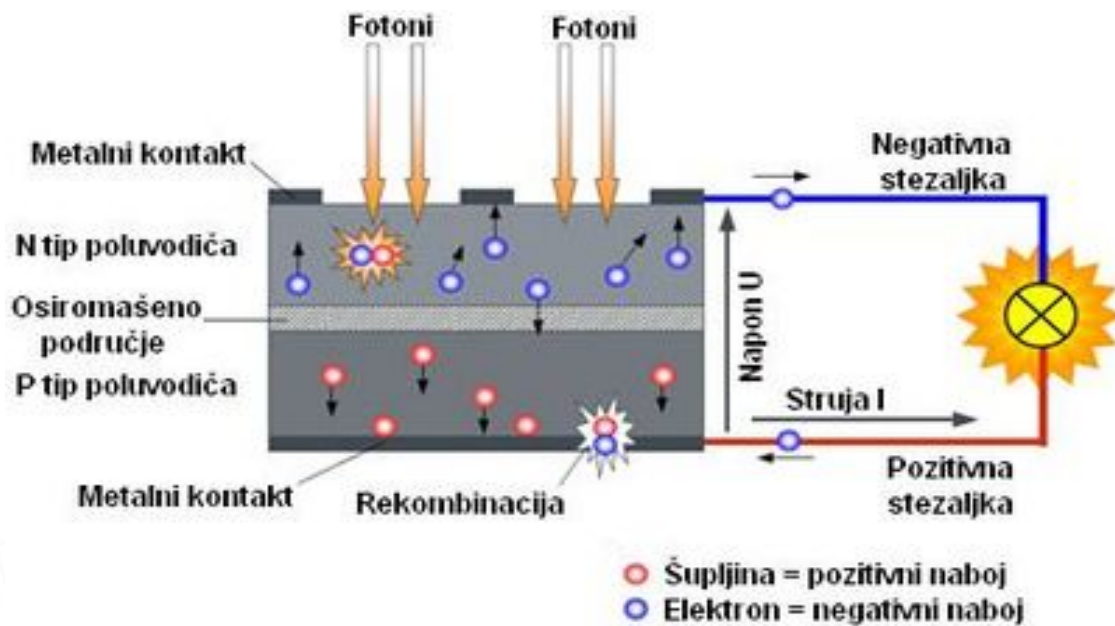
W_i - Rad izlaza

E_{kin} - Kinetička energija emitiranog elektrona



Iz gornje jednađbe vidljivo je da se elektron neće moći osloboditi ako je energija fotona manja od rada izlaza.

Fotoelektrična konverzija u PN spoju. PN spoj (dioda) je granica između dva različito dopirana sloja poluvodiča; jedan sloj je P- tipa (višak šupljina), a drugi N-tipa (višak elektrona). Na granici između p i n područja javlja se spontano električno polje, koje djeluje na generirane elektrone i šupljine i određuje smjer struje.



Slika 2 Princip rada sunčeve fotonaponske ćelije

Da bi dobili električnu energiju fotoelektričnim efektom trebamo imati usmjereno gibanje fotoelektrona, odnosno struju. Sve nabijene čestice, a tako i fotoelektroni gibaju se usmjereno pod utjecajem električnog polja. Električno polje koje je ugrađeno u sam materijal nalazi se u poluvodičima i to u osiromašenom području PN spoja (dioda). Za poluvodiče je naglašeno da uz slobodne elektrone u njima postoje i šupljine kao nosioci naboja koje su svojevrsan nusprodukt pri nastanku slobodnih elektrona. Šupljina nastaje svaki put kada od valentnog elektrona nastane slobodni elektron i taj proces naziva se generacija, dok se obrnuti proces, kada slobodni elektron popuni prazno mjesto - šupljinu, zove rekombinacija. Ako parovi elektron-šupljina nastanu daleko od osiromašenog područja moguće je da rekombiniraju, prije nego što ih razdvoji električno polje. Parovi koji nastanu uz osiromašeno područje ili u njemu bivaju privučeni, i to šupljine prema P strani poluvodiča, te elektroni prema N strani poluvodiča. Zbog toga se fotoelektroni i šupljine u poluvodičima, nagomilavaju na suprotnim krajevima i na taj način stvaraju elektromotornu silu. Ako na takav sustav spojimo trošilo, poteći će struja i dobiti ćemo električnu energiju.



Na ovakav način sunčane ćelije proizvode napon oko 0.5-0.7 V uz gustoću struje od oko nekoliko desetaka mA/cm² ovisno o snazi sunčevog zračenja, ali i o spektru zračenja.

Korisnost fotonaponske sunčeve ćelije definira se kao omjer električne snage koju daje FN sunčeva ćelija i snage sunčevog zračenja. Matematički se to može formulirati relacijom:

$$\eta = \frac{P_{el}}{P_{sol}} = \frac{U \cdot I}{E \cdot A}$$

gdje je:

P_{el} - Izlazna električna snaga

P_{sol} - Snaga zračenja (najčešće Sunčevog)

U - Efektivna vrijednost izlaznog napona

I - Efektivna vrijednost izlazne struje

E - Specifična snaga zračenja (npr. u W/m²)

A - Površina

Korisnost FN sunčevih ćelija kreće se od svega nekoliko postotaka do četrdesetak posto. Ostala energija koja se ne pretvori u električnu uglavnom se pretvara u toplinsku i na taj način grije ćeliju. Općenito porast temperature solarne ćelije utječe na smanjene korisnosti FN ćelije.

Standardni izračuni energetske učinkovitosti za sunčeve fotonaponske ćelije predstavljaju se na sljedeći način:

Energetska učinkovitost pretvorbe kod sunčeve fotonaponske ćelije (η "ETA"), je postotak energije od upadne svjetlosti koja zapravo završi kao električna energija. To se izračunava u točki najveće snage, P_m , podijeljeno sa zračenjem ulaznog svjetla (E , u W/m²), sve pod standardnim uvjetima testiranja (STC) i površinom fotonaponskih sunčevih ćelija (A_c u m²).

$$\eta = \frac{P_m}{E \times A_c}$$

STC, standart test conditions, prema kojem je referentno Sunčevo zračenje 1000 W/m², spektralna distribucija 1.5, a temperatura ćelije 25⁰C.



4. VRSTE SUNČEVIH FOTONAPOSNKIH ČELIJA

Električna energija se proizvodi u sunčanim ćelijama koje se sastoje, kako je rečeno, od više slojeva poluvodičkog materijala. Kada sunčeve zrake obasjaju sunčanu ćeliju između tih slojeva stvara se elektromotorna sila koja uzrokuje protok električne energije. Što je intezitet sunčeva zračenja veći, veći je i tok električne energije.

Najčešći materijal za proizvodnju sunčanih ćelija je silicij. Silicij se dobiva iz pijeska i jedan je od najčešćih elemenata u zemljinoj kori, dakle nema ograničenja za dostupnost sirovog materijala.

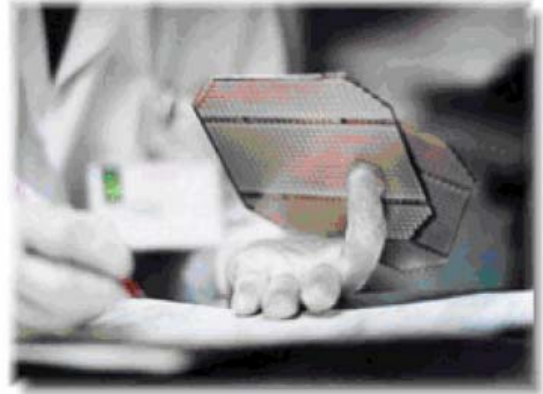


Slika 3 Fotonaponska ćelija

Sunčane ćelije se proizvode s

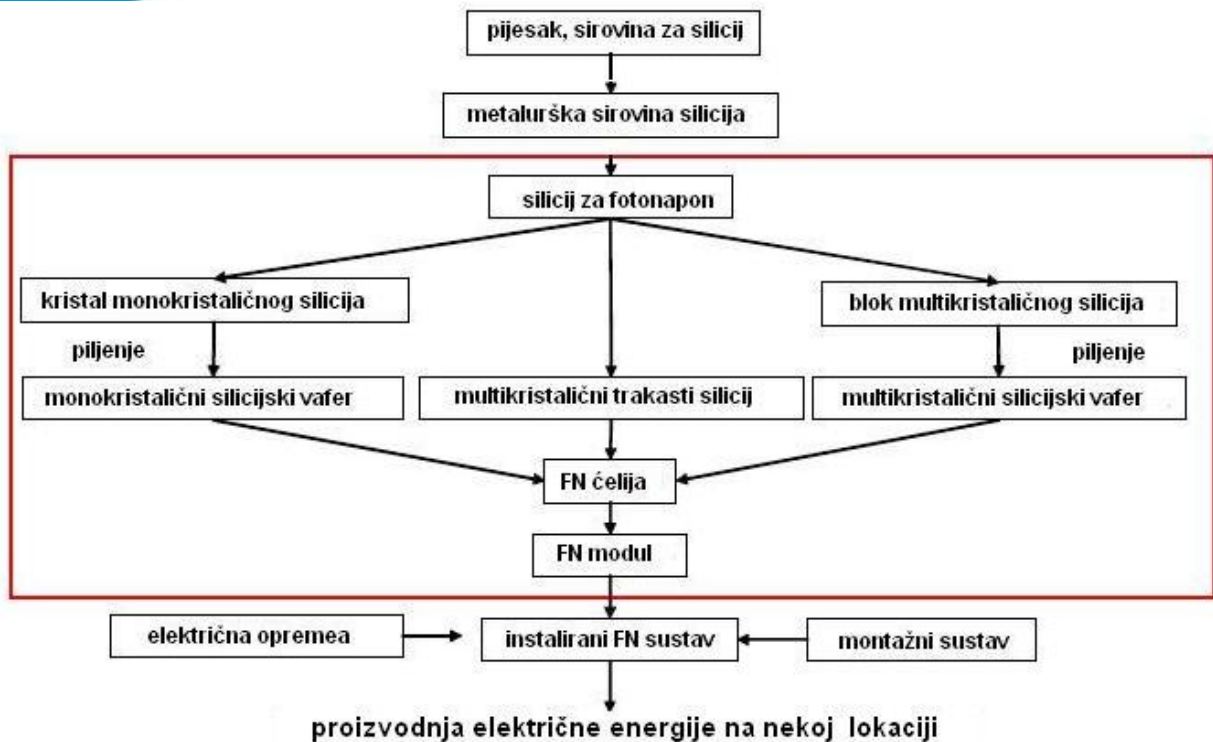
- monokristaličnim,
- multikristaličnim
- trakastim kristaličnim silicijem ili
- u tehnologiji tankog filma (thin-film).

Ćelije izrađene iz kristaličnog silicija (Si), su izrađene od tanko narezanog dijela(vafer), jednog kristala silicija (monokristal) ili od cijelog bloka silicijskog kristala (multikristal); njihova učinkovitost kreće se u rasponu između 12 i 19 %.



Slika 4. Tipične monokristalne ćelije

- Monokristalne Si ćelije: učinkovitost pretvorbe za ovaj tip ćelije kreće se od 13-17%, te se općenito može reći da je u širokoj komercijalnoj upotrebi i pri dobrom svjetlu to najučinkovitija fotonaponska ćelija. Ovaj tip ćelije može pretvoriti 1000 W/m² sunčevog zračenja u 140 W električne energije s površinom ćelija od 1 m². Za proizvodnju monokristalnih Si ćelija potreban je apsolutno čisti poluvodički materijal. Monokristalni štapići vade se iz rastaljenog silicija i režu na tanke pločice (vaferi). Takav način izrade omogućuje relativno visoki stupanj iskoristivosti. Očekivani životni vijek ovih ćelija je tipično od 25 do 30 godina, naravno kao i za sve fotonaponske ćelije izlazna snaga nešto degradira tijekom godina.
- Multikristalne Si ćelije: ovaj tip ćelije može pretvoriti 1000 W/m² sunčevog zračenja u 130 W električne energije s površinom ćelija od 1 m². Proizvodnja ovih ćelija je ekonomski efikasnija u odnosu na monokristalne. Tekući silicij se ulijeva u blokove koji se zatim režu u ploče. Tijekom skrućivanja materijala stvaraju se kristalne strukture različitih veličina na čijim granicama se pojavljuju greške, zbog čega solarna ćelija ima nešto manju učinkovitost, koja se kreće od 10-14%. Očekivani životni vijek između 20 i 25 godina.
- Trakasti silicij (ribbon) ima prednost što je u njegovom procesu proizvodnje izbjegnuta potreba rezanje vafera, čime se gubilo i do 50% materijala u procesu piljenja. Međutim, kvaliteta i mogućnost proizvodnje nije takva da bi ova tehnologija preuzela vodstvo u bliskoj budućnosti. Učinkovitost ovakvih ćelija se kreće oko 11%.



Slika 5 Shematski prikaz obrade silicija za nastajanje snučevih fotonaponskih sustava

- U tehnologiji tankog filma, moduli se proizvode slaganjem iznimno tankih slojeva fotosjetljivog materijala na jeftinu podlogu, kao što je staklo, nehrđajući čelik ili plastika. Tehnološki proces proizvodnje modula u tehnologiji tankog filma rezultirao je smanjenim troškovima proizvodnje u usporedbi s tehnologijom kristaličnog silicija koja je ipak nešto intenzivnija. Današnja cijenovna prednost u proizvodnji thin-filma je uravnotežena s kristaličnim silicijem zbog manje učinkovitosti samog thin-film-a koja se kreće u granicama od 5 do 13 %. Danas je udio ove tehnologije na tržištu 15 % i konstatno se povećava, za očekivati je da će se povećavati i u godinama koje dolaze i na taj način smanjivati nepovoljan tržišni omjer u odnosu na fotonaponske module od kristaličnog silicija. Očekivani životni vijek kreće se oko 15 do 20 godina. Postoje četiri tipa thin-film modula (ovisno o korištenom aktivnom materijalu) koja su danas u komercijalnoj upotrebi:



1. Amorfni silicij (a-Si)

Amorfne Si ćelije: Učinkovitost ćelije kreće se oko 6 %, te može pretvoriti 1000 W/m² sunčevog zračenja u oko 50 W električne energije s površinom ćelija od 1 m². Premda je i u ovom tipu modula u zadnje vrijeme napravljen napredak u istraživanjima, te je za očekivati veće učinkovitosti u budućnosti.

Ukoliko se tanki film silicija stavi na staklo ili neku drugu podlogu to se naziva amorfna ili tankoslojna ćelija. Debljina sloja iznosi manje od 1 μm, stoga su troškovi proizvodnje manji u skladu s niskom cijenom materijala. Međutim iskoristivost amornih ćelija je puno niža u usporedbi s drugim tipovima ćelija. Prvenstveno se koristi u opremi gdje je potrebna mala snaga (satovi, džepna računala) ili u novije vrijeme u zgradarstvu kao element fasada.



Slika 6 *thin-film, amorfni silicij*

2. Kadmij telurijeve (CdTe)



Slika 7 *CdTe thin-film*

Kadmij telurijeve (CdTe) ćelije: Učinkovitost ćelije kreće se oko 18 %, ovaj tip ćelije može pretvoriti 1000 W/m² sunčevog zračenja u 160 W električne energije s površinom ćelija od 1 m² u laboratorijskim uvjetima. Kadmij telurid je spoj elementa: metala kadmija i polumetala telurija. Pogodan za upotrebu u tankim fotonaponskim modulima zbog fizikalnih svojstava i jeftinih tehnologija izrade. Usprkos navedenim prednostima zbog kadmijeve otrovnosti i sumnje na kancerogenost nije u širokoj upotrebi.



3. Bakar indij galij selenide (CIS, CIGS)



Slika 8 CIS thin-film

CIS ćelije imaju najveću učinkovitost među thin-film ćelijama koja iznosi oko 20%; ovaj tip ćelije može pretvoriti 1000 W/m² sunčevog zračenja u 160 W električne energije s površinom ćelija od 1 m² u laboratorijskim uvjetima.

4. Termo osjetljive sunčeve ćelije i druge organske ćelije (DSC)

Razvoj ovih organskih ćelija tek predstoji, budući se još ispituju i nisu u većoj mjeri komercijalizirane. Učinkovitost ćelije kreće se oko 10 %. Ispitivanja idu prema smjeru korištenja u fasadnim integriranim sustavima, koji se pokazuju kao kvalitetna rješenja u svim svjetlosnim zračenjima i svim temperaturnim uvjetima. Također veliki se potencijali nalaze u niskim troškovima u odnosu na silicijske ćelije.

Postoje još neki tipovi fotonaponskih tehnologija koji se tek razvijaju, dok su drugi pred komercijalizacijom

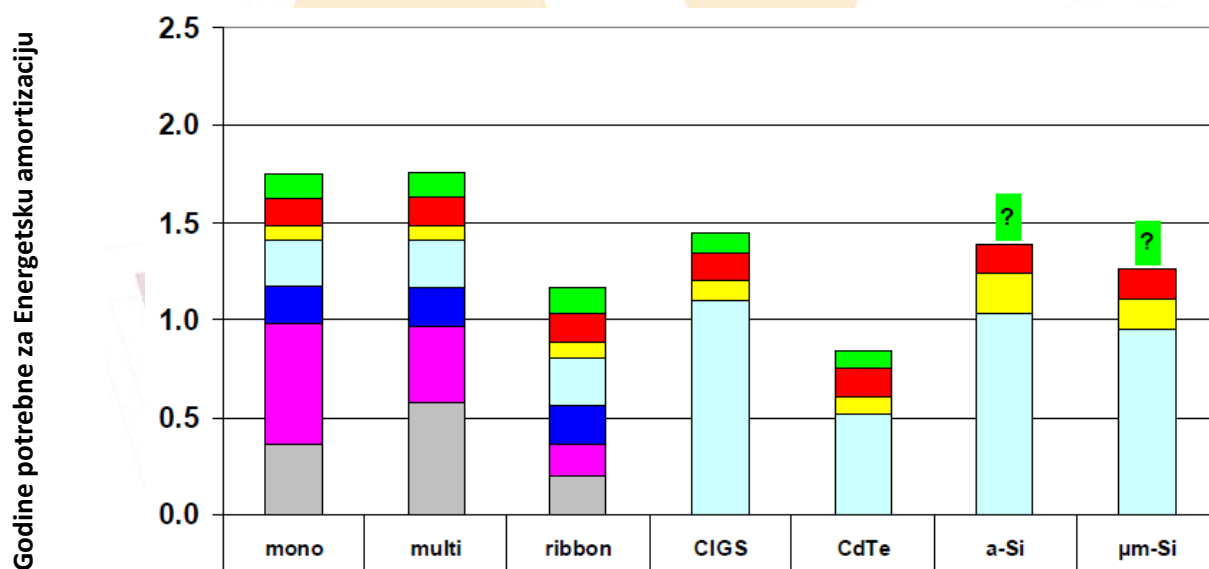
Bez obzira na životni vijek, uobičajena garancija većine današnjih komercijalnih proizvođača na fotonaponske module je 10 godina na 90 % izlazne snage, a 25 godina na 80 % izlazne snage.



5. ENERGETSKA AMORTIZACIJA FOTONAPONSKIH ČELIJA

Vrijeme energetske amortizacije je vremenski period koji mora proći pri korištenju fotonaponskog sustava da bi se vratila energija koja je uložena u izgradnju svih dijelova tog sustava, te energija potrebna za razgradnju, nakon isteka životnog vijeka fotonaponskog sustava. Naravno vrijeme energetske amortizacije je različito za različite lokacije na kojima se sustav nalazi, pa je tako na lokacijama s velikim količinama dozračene sunčeve energije ono puno kraće, čak do 10 i više puta kraće od svog životnog vijeka. Jug Istre ima približno 1700 kWh/m² godišnjeg zračenja, dok je na sjevernom dijelu ono negdje oko 1500 kWh/m².

Slika 9 Energetska amortizacija krovnih fotonaponskih sustava na lokaciji sa godišnjim zračenjem od 1700 kWh/m², na optimalno nagnuti fotonaponski modul



Dostupna godina proizvodnje

2007

2009

2009

2009

2008

2008

Učinkovitost

13.2%

13.2%

10.5%

10.9%

6.6%

8.5%

- sirovina
- recikliranje
- inverter
- montažna konstrukcija i kabliranje
- čelija



- laminat
- kristal + vafer

U tablici su prikazani dostupni podaci energetske amortizacije za različite tehnologije fotonaponskih ćelija, sa svojim pripadajućim učinkovitostima u danim godinama proizvodnje.

U odnosu na jug Istre koji je prikazan na slici 9. energetska amortizacija u recimo gradu Zagrebu je za oko 20 % duža, a južnoj Dalmaciji je 10 do 15 % kraća u odnosu Istru, što odgovara inteziteu sunčevog zračenja-karta osunčanosti, slika 13.

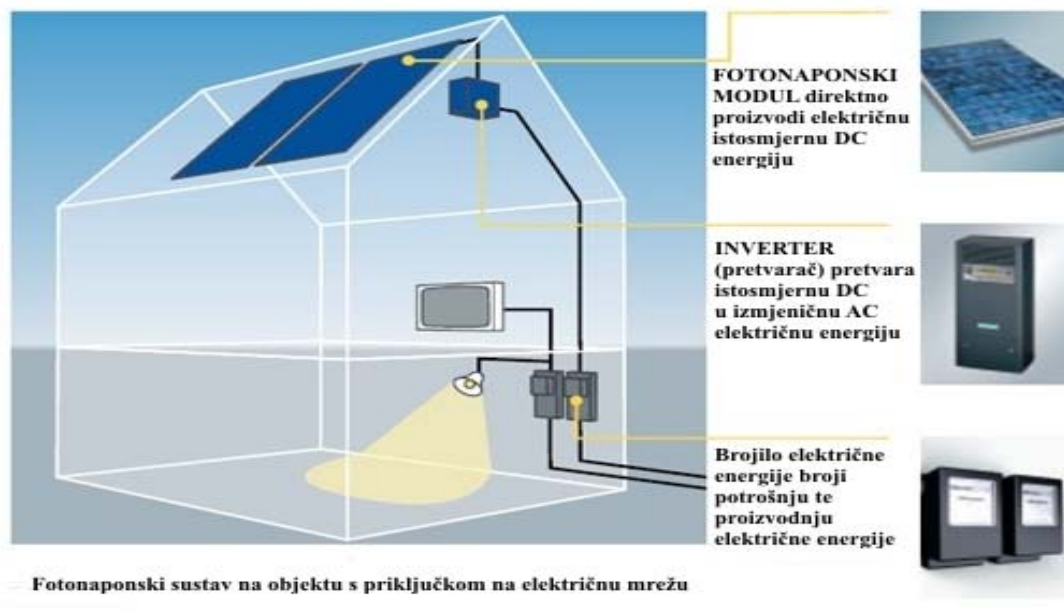
6. TIPOVI FOTONAPONSKIH SUSTAVA

Fotonaponski sustavi se generalno mogu podijeliti u dvije osnovne skupine :

1. Fotonaponski sustavi koji nisu priključeni na mrežu, samostalni sustavi (off-grid)
2. Fotonaponski sustavi koji su priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu (on-grid)

Vrstom i načinom priključenja na mrežu, odnosno načinom uskladištenja energije samostalnih sustava, postoje mnogi razni podtipovi fotonaponskih sustava.

6.1 Mrežno spojeni fotonaponski sustavi (on-grid)



Slika 10 Mrežni fotonaponski sustav

Osnovni dijelovi fotonaponskog sustava su fotonaponski moduli, fotonaponski izmjenjivač (inverter), montažna podkonstrukcija, te priključno mjerni ormar sa zaštitnom i



Instalacijskom opremom. Fotonaponski moduli pretvaraju sunčevu energiju u električnu energiju istosmjernog oblika, a fotonaponski izmjenjivač prilagođava tako proizvedenu energiju u oblik u kojem se može predati u javnu elektroenergetsku mrežu. Izmjenični napon se preko zaštitne i mjerne opreme predaje u elektroenergetsku mrežu.

Fotonaponski izmjenjivač (inverter) se najčešće nalazi u zgradi u zatvorenom prostoru, iako postoje i izmjenjivači za vanjsku ugradnju, pri čemu treba paziti da nisu direktno izloženi sunčevom zračenju. Izmjenjivači proizvode kvalitetnu izmjeničnu struju odgovarajućeg napona i pogodni su za mrežne fotonaponske sustave. Mrežni izmjenjivači rade kao i svaki drugi izmjenjivači, s tom razlikom da mrežni izmjenjivači moraju osigurati da će napon koji isporučuju biti u fazi s mrežnim naponom. To omogućava fotonaponskom sustavu da isporučuje električnu energiju u sustav.

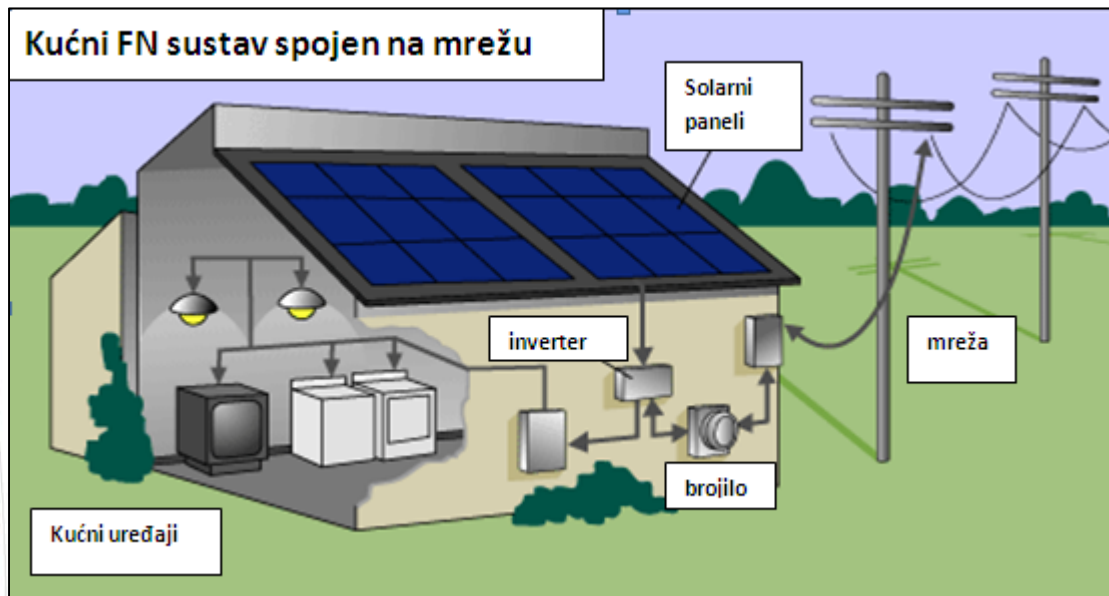
Elektro priključak se najčešće nalazi se u glavnom razvodnom ormariću (GRO), koji je smješten u posebnoj prostoriji, ali se također može nalaziti u svojem mjerno-priključnom ormariću, koji se onda spaja s GRO-om. Na mjestu priključka se instalira brojilo, jednofazno, dvotarifno, elektroničko za jednofazne sustave, te trofazno, dvotarifno, elektroničko za dvofazne i trofazne sustave. Kod takvih instalacija redovito se predlaže postavljanje osigurača ispred i iza brojila kako bi se omogućila zamjena brojila u beznaponskom stanju. Točni uvjeti priključenja se usklađuju s tehničkim uvjetima HEP ODS-a. Potrebno je predvidjeti isklop napajanja pomoću isklonog tipkala sa strane fotonaponskih modula i sa strane priključka na mrežu.

Izlazni napon izmjenjivača mora biti u skladu s Pravilnikom o normiranim naponima za distribucijske niskonaponske električne mreže i električnu opremu. Normirana veličina nazivnog napona iznosi 230 V, između faznog i neutralnog vodiča i 400 V, između faznih vodiča, za četverožilne trofazne mreže nazivne frekvencije 50 Hz, te se u normalnim uvjetima ne treba razlikovati od nazivnog napona više od $\pm 10\%$.

Zbog velike izloženosti udaru munje, osim spajanjem na gromobransku instalaciju, fotonaponski moduli se štite i odvodnicima prednapona. Odvodnici se postavljaju neposredno nakon modula, da bi se sprječio utjecaj prednapona na instalaciju zgrade.



6.2 Mrežno spojeni kućni sustavi (mogućnost za vlastitu potrošnju)



Slika 11 Kućni mrežni fotonaponski sustav

To su najpopularniji tipovi sunčevih fotonaponskih sustava koji su namjenjeni za kućne i poslovne instalacije u razvijenim i urbanim područjima. Spoj na lokalnu električnu mrežu dopušta prodaju lokalnom distributeru električne energije sve viškove proizvedene električne energije koja se ne koristi u potrošnji same kuće, jer je fotonaponski sustav priključen na mrežu preko kućne instalacije u paralelnom pogonu s distribucijskom mrežom. Isto tako se električna energija za potrebe kuće snabdjeva iz mreže kada nema sunčanog vremena. Izmjenjivač (inverter), kako je već objašnjeno i ovdje se koristi za pretvorbu istosmjerne struje (DC) proizvedene u fotonaponskim modulima u izmjeničnu struju (AC) koja se nalazi u električnoj mreži i koja se koristi za pogon svih kućanskih električnih uređaja. S ovakvim sustavom korisnik ima dva izbora: može prodati cjelokupnu proizvedenu električnu energiju lokalom distributeru, isporukom preko brojila električne energije u mrežu (pogotovo ukoliko postoji poticajna cijena električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora u statusu povlaštenog proizvođača tzv. feed-in tarife) ili može koristiti električnu energiju proizvedenu iz sunčevih fotonaponskih modula za zadovoljavanje aktualnih potreba kućanstva i prodaju eventualnih viškova u električnu mrežu. Ovdje je potrebno spomenuti da HEP-ODS u Republici Hrvatskoj za sada „izbjegava“ ovakva tehnička rješenja, već preferira isključivu isporuku proizvedene električne energije u mrežu, bez mogućnosti za vlastitu potrošnju. Za očekivati je da će se približavanjem cijene električne energije proizvedene na konvencionalan način i one iz obnovljivih izvora energije, povećati i interes za ovakim



načinom priključenja fotonaponskih sustava na električnu mrežu. Za sada se s poticajnim feed-in tarifama preferiraju isključivo mrežne instalacije, premda fotonaponski sustav proizvodi najviše električne energije sredinom dana kada ima najviše sunca, te tako može podmirivati svoje potrebe i time rasteretiti elektroenergetski sustav.

6.3 Mrežno spojene sunčeve elektrane (farme)

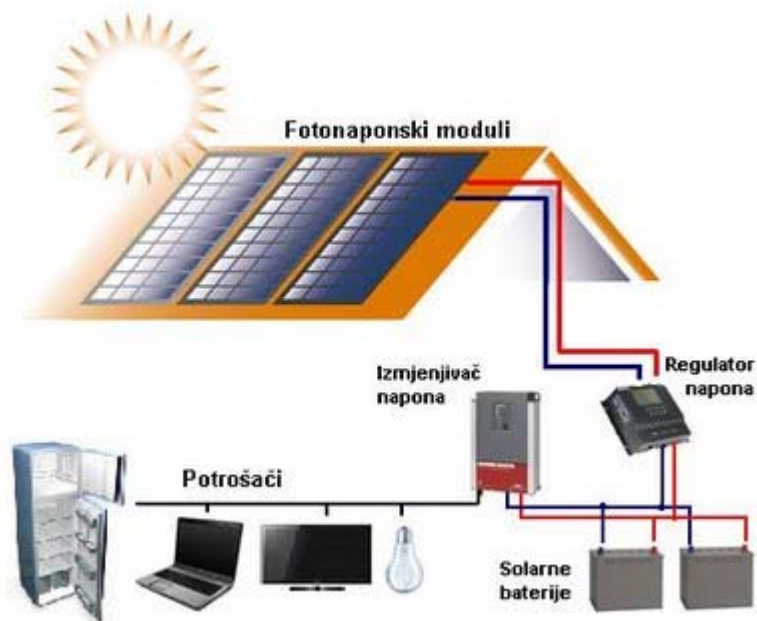


Slika 12 Sunčeva farma

Ovi sustavi, isto tako mrežno spojeni, proizvode velike količine električne energije putem fotonaponskih instalacija na jednom lokaliziranom mjestu. Snaga ovakvih fotonaponskih elektrana kreće se u rasponu od nekoliko stotina kilovata do nekoliko desetaka megavata, u zadnje vrijeme i nekoliko stotina megavata. Neke takve instalacije mogu biti smještene na velikim industrijskim halama i terminalima ali još češće na velikim neplodnim zemljanim površinama. Takve velike instalacije iskorištavaju postojeće prostore za proizvodnju električne energije na predmetnoj lokaciji i na taj način kompenziraju dio potrebe za električnom energijom u tom energetsom području. Zbog osjećaja veličine, kada se govori o sunčevim farmama, navodi se jedan primjer velike solarne farme u bivšoj vojnoj zračnoj luci u Njemačkoj: snaga 40 MWp, tehnologija tanki film, površina 110 hektara što je ekvivalentno površini od 200 nogometnih stadiona, očekivana godišnja proizvodnja 40 milijuna kWh električne energije, ušteda 25000 tona CO₂, i cijena oko 130 milijuna €.



6.4 Samostalni sustavi (off-grid) ili otočni sustavi.



U ruralnim područjima gdje ne postoji električna mreža i pripadajuća infrastruktura, koriste se ovakvi sustavi. Sustavi su spojeni na spremnik energije, bateriju (akumulator), preko upravljača punjenja i pražnjanja. Izmjenjivač se također može koristiti kako bi se osigurala izmjenična struja za potrebe standardnih električnih uređaja i

Slika 13 samostalni fotonaponski sustav

aparata. Tipične samostalne fotonaponske instalacije se koriste kako bi osigurale dostupnost električne energije u udaljenim mjestima (planinska mjesta, otoci, ruralna područja u razvoju). Ruralna elektrifikacija znači ili mala kućna sunčeva fotonaponska instalacija koja pokriva osnovne potrebe za električnom energijom u pojedinom kućanstvu, ili veća sunčeva fotonaponska mreža koja osigurava dovoljno električne energije za nekoliko kućanstava.

6.5 Hibridni sustavi.

Sunčevi fotonaponski sustav može biti kombinaciji s nekim drugim izvorom energije, npr. generator na biomasu, vjetroturbina, diesel generator, a sve kako bi se osigurala konstantna i dovoljna opskrba električnom energijom, jer je poznato da su svi obnovljivi izvori energije, pa tako i fotonaponski sustavi, nekonstantni u proizvodnji energije. Dakle kada nema sunčanih dana sustav ne proizvodi električnu energiju, iako je potreba za njom konstantna, pa se stoga mora namiriti iz drugih izvora. Hibridni sustav može biti spojen na mrežu, samostalan ili kao potpora mreži.



6.6 Samostalni sustavi gospodarske namjene

Upotreba električne energije proizvedene u sunčevim fotonaponskim sustavima na instalacijama udaljenim od električne mreže je vrlo česta. Telekomunikacijska oprema, posebice za premoštenje ruralnih područja s ostatkom zemlje s izgrađenom električnom mrežom. Repetitori i stanice za mobilnu telefoniju su pogonjene fotonaponskim ili hibridnim sustavima. Ostale fotonaponske instalacije kao za prometnu signalizaciju i rasvjetu, svjetionike, već su danas konkurentne zbog toga što su troškovi dovođenja električne infrastrukture na ta udaljena mjesta prilično visoki.

7. SUNČEVO ZRAČENJE

Sunce je središnja zvijezda sunčevog sustava, sustava u kojem se nalazi i Zemlja. Ono ima oblik velike užarene plinovite kugle, s kemijskom sastavom pretežno vodika i helija, ali i ostalih elemenata koji se u njemu u manjoj mjeri, kao kisik, ugljik, željezo, neon, dušik, silicij, magnezij i sumpor.

Energija sa Sunca do Zemlje dolazi u obliku sunčevog zračenja. U unutrašnjosti Sunca odvijaju se nuklearne reakcije, prilikom kojih se fuzijom vodik pretvara u helij uz oslobađanje velikih količina energije, gdje temperatura doseže 15 milijuna °C. Dio te energije u obliku topline i svjetlosti dolazi do nas te nam omogućava odvijanje svih procesa, od fotosinteze pa do proizvodnje električne energije u fotonaponskim sustavima.

Pod optimalnim uvjetima, na površini Zemlje može se dobiti 1000 W/m^2 , dok stvarna vrijednost ovisi o lokaciji, dakle zemljopisnoj širini, klimatološkim parametrima lokacije poput učestalosti pojave naoblake i sumaglice, tlaku zraka itd..

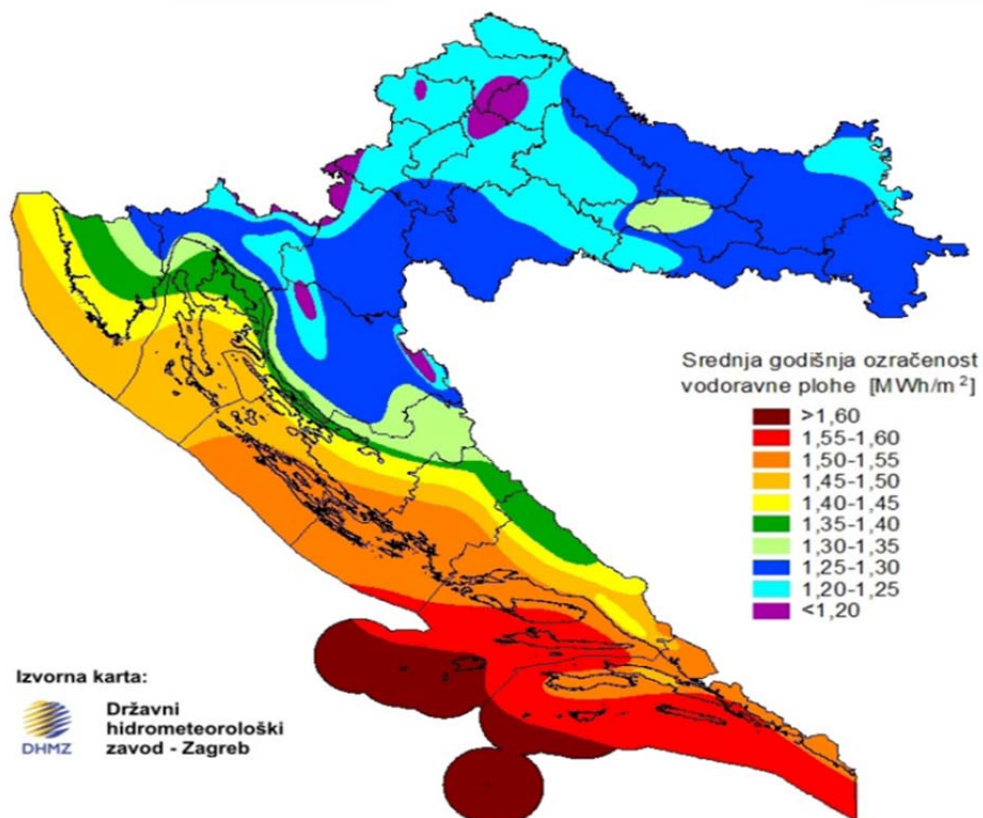
Kada se govori o sunčevom zračenju i proizvodnosti fotonaponskih sustava nužno je razumjeti sljedeće pojmove:

- Ozračenje, kao srednju gustoću dozračene snage sunčevog zračenja koje je jednako omjeru snage sunčevog zračenja i površine plohe okomite na pravac toga zračenja, (W/m^2).
- Ozračenost, koja predstavlja onu količinu energije sunčevog zračenja koja je dozračena na jediničnu površinu plohe u određenom vremenu, (Wh/m^2) ili (J/m^2).



Također se pored satne vrijednosti vrlo često govori o dnevnoj , mjesečnoj ili godišnjoj ozračenosti, ovisno o vremenskom intervalu.

Na putu kroz zemljinu atmosferu sunčevo zračenje slabi zbog međusobnog djelovanja s plinovima i parom iz atmosfere, te do zemljine površine dolazi kao izravno i raspršeno. Izravno ili direktno sunčevo zračenje dolazi direktno iz smjera sunca, a raspršeno ili difuzno zračenje na zemlju dopijeva iz svih smjerova. Kada uzmemo u obzir izravno i raspršeno zračenje gledano na ranoj plohi, tada govorimo o ukupnom zračenju. Ako se radi o nagnutoj plohi tada za ukupno zračenje treba izravnom i raspršenom dodati još i odbijeno ili reflektirano zračenje. Odbijeno zračenje odbija se od tla ili od vodenih površina na zemlji.



Slika 14 Srednja godišnja ozračenost vodoravne plohe u RH



Najveća komponenta sunčevog zračenja je izravna, pa bi najveće ozračenje trebalo tražiti na plohi okomitoj na pravac sunčevih zraka. Najveće ozračenje u svakom trenutku moguće je jedino, ako se s navedenom plohom konstantno prati kretanje sunca na nebu.

Sljedom navedenog fotonaponski moduli mogu biti montirani na razne načine, fiksirani na određeni kut, ili mogu biti pomični za bolje praćenje kuta nagiba sunca tijekom dana za veći energetske prinos, odnosno bolje rezultate u proizvodnji električne energije. Za fiksno postavljani fotonaponski modul određuje se vrijednost optimalnog kuta nagiba njegove plohe. Optimalni kut nagnute plohe fotonaponskog modula, je kut pod kojim je on nagnut u odnosu na vodoravnu površinu kako bi se dobila najveća moguća godišnja ozračenost. Također se može izračunati optimalni kut nagiba za dio godine ili neki određeni mjesec u godini.

Najveći energetske prinos kod fiksno postavljenih sustava ostvaruje se stavljanjem modula pod optimalnim godišnjim kutem. Kako je sunčevo zračenje izrazito sezonski ovisna veličina, srednje dnevne vrijednosti ozračenosti nagnute plohe kreću se od oko 1 kWh/m² u prosincu, do 7 kWh/m² u lipnju. Što znači da postavljanjem modula pod manjim kutem, imamo veći energetske prinos ljeti i obrnuto.



Slika 15 Fotonaponski moduli sa aktivnim praćenjem kretanja suna, Tracker



Utjecaj zasjenjenja na sunčevu elektranu: najviše električne energije se proizvede kada sunčeve zrake direktno prelaze preko FN modula. Sjena koju stvaraju objekti na samom krovu, okolna drva ili druge zgrade i neboderi bitno utječe na proizvodnju električne energije. Sjena također loše utječe i na stabilnost sustava, jer moduli koji se nalaze djelomično u sjeni nemaju linearnu proizvodnju električne energije, a to rezultira promjenom napona i smetnjama na izmjenjivaču. Ako se samo jedna ćelija u modulu nalazi u sjeni to može smanjiti snagu cijelog modula za 75 %.

8. ZAKONODAVNI I INSTITUCIONALNI OKVIR ZA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ OBNOVLJIVIH IZVORA



Dva su osnovna zakona kojima se uređuje pitanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije (OIE) i visokoučinkovite kogeneracije (K), a to su *Zakon o energiji* (nn 68/01, 177/04, 76/07) i *Zakon o tržištu električne energije* (nn 177/04, 76/07). Zakon o energiji utvrđuje da je korištenje OIE u interesu RH, definira povlaštenog proizvođača

(PP) kao energetska subjekt koji u pojedinačnom proizvodnom objektu proizvodi OIE. U zakonu se navodi da se sva pitanja vezana uz korištenje OIE uređuju posebnim pravilnikom. *Pravilnik o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije* (nn 67/07) određuje uvjete korištenja OIE i Kogeneracijskih postrojenja, definira grupe postrojenja OIE i kogeneracije, utvrđuje uvjete za upis u *Registar projekata i postrojenja za korištenje OIE i kogeneracije, te povlaštenih proizvođača* te definira sve korake koje je energetska subjekt dužan poduzeti kako bi ishodio odobrenje za izgradnju novog postrojenja. Za vođenje registra odgovorno je Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva (MINGORP). Na temelju Zakona o energiji donesen je i *Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz OIE i kogeneracije* (nn 33/07) . Povlašteni proizvođači imaju pravo na poticajnu cijenu koja je definirana ovim tarifnim sustavom, a ta cijena ovisi o tipu i veličini postrojenja. Povlašteni proizvođač ima pravo na poticajnu cijenu temeljem ugovora o otkupu električne energije kojeg je sklopio s operatorom tržišta energije (HROTE).



Prema Zakonu o tržištu električne energije operator prijenosnog sustava ili operator distribucijskog sustava dužan je osigurati preuzimanje ukupno proizvedene električne energije od povlaštenog proizvođača prema propisanim uvjetima. Status povlaštenog proizvođača električne energije stječe se na temelju rješenja Hrvatske energetske regulatorne agencije (HERA) u skladu s uvjetima i procedurom koju propisuje *Pravilnik o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača* (nn 67/07).

Uz MINGORP i HERA-u ključna institucija u sustavu poticanja proizvodnje električne energije iz OIE i K je Hrvatski operator tržišta energije (HROTE). Zakonom o tržištu električne energije definiraju se i njegove obveze, koje između ostalog, uključuju sklapanje ugovora sa svim opskrbljivačima, prikupljanje naknade za poticanje OIE i K , obračun i razdiobu sredstava prikupljenih iz naknade na povlaštene proizvođače.

9. NOVE TEHNOLOGIJE I PERSPEKTIVE RAZVOJA SUNČEVIH FOTONAPONSKIH PANELA

Još od 2004. godine Europa je predvodnik na globalnom tržištu fotonaponskih instalacija. U 2010. godini Europa zauzima oko 40 % globalnog tržišta, a zemlje koje su razvile najbolje sustave potpore za fotonaponske instalacije su: Njemačka, Španjolska Italija, Francuska, Češka itd.

Za sada na tržištu prevladavaju ćelije od kristalnog silicija, dok se predviđa da će u budućnosti sve veći udio pripasti tankom filmu. Tehnologija tankog filma omogućuje znatnu uštedu materijala, mnogo fleksibilniju ugradnju fotonaponskih ćelija, pošto ih je moguće saviti. Nadalje, solarne ćelije napravljene tehnologijom tankog filma imaju znatno kraće vrijeme povrata uložene energije dok im je s druge strane korisnost nešto niža.

Silicij kao osnovni materijal apsolutno dominira s udjelom 98,3%, i to pretežito tehnologija kristaliničnog silicija s 93,7% udjela u ukupnoj proizvodnji. Sve do nedavno (2000. g.) prevladavala je tehnologija proizvodnje monokristaliničnog silicija dobivenog tzv. Czochralskijevim postupkom ili tehnologijom lebdeće zone (eng. float zone). Proizvodnja monokristaliničnog silicija je skuplja, no učinkovitosti ćelija su veće. Danas ta tehnologija sve više gubi korak u usporedbi s tehnologijom multikristaliničnog silicija (Mc-Si). Prednosti multikristaliničnog silicija su manja kapitalna ulaganja za proizvodnju vafera (tanki ploča poluvodičkog materijala), veća iskoristivost silicija zbog korištenja četvrtastih vafera koji daju veću aktivnu površinu modula u usporedbi s okruglim ili kvazi-okruglim oblikom monokristaliničnog vafera. U Mc-Si tehnologiji lakše se proizvode ćelije većih površina



veličina 150×150 i 200×200 mm, što pojednostavljuje njihovu ugradnju u module. Mc-Si tehnologije u ukupnoj proizvodnji sunčanih ćelija u 2003. g. su sudjelovale s 57.2%.

Trakasti silicij, (ribber) ima prednost što je u njegovom procesu proizvodnje izbjegnuta potreba rezanje vafera, čime se gubilo i do 50% materijala u procesu piljenja. Međutim, kvaliteta i mogućnost proizvodnje nije takva da bi ova tehnologija preuzela vodstvo u bliskoj budućnosti. Najveći tehnološki nedostatak kristaliničnog silicija je svojstvo da je poluvodič s tzv. indirektnim zabranjenim pojasom zbog čega su potrebne relativno velike debljine aktivnog sloja kako bi se u najvećoj mjeri iskoristila energija sunčeva zračenja. U tehnologiji tankog filma primjenjuju se poluvodiči s tzv. direktnim zabranjenim pojasom i njihove debljine mogu biti znatno manje, uz značajno manji utrošak materijala, što obećava nisku cijenu i mogućnost proizvodnje velikih količina ćelija. Nažalost, iako dugo najavljivane, tehnologije sunčanih ćelija u tankom filmu s amorfnim silicijem, CIS, CdTe i druge, zbog cijene, niske učinkovitosti, stabilnosti modula ili okolišne prihvatljivosti još uvijek nisu pokazale svoju tržišnu sposobnost i trebat će značajna ulaganja da postanu konkurentne kristaliničnom siliciju. Udio tehnologija tankog filma (amorfni silicij, CdTe, CIS), unatoč značajnim naporima uložnim u istraživanja ostao je za sada relativno skroman. Međutim, snažan rast proizvodnje sunčanih ćelija s kristaliničnim silicijem može prouzročiti porast cijene i nestašicu sirovog silicija pa je moguć i veći proboj ovih tehnologija u budućnosti.

Iako su fotonaponski sustavi komercijalno dostupni i široko prošireni, daljne istraživanje i razvoj fotonaponske tehnologije je ključan kako bi se omogućilo da ona postane glavni izvor električne energije. Kada se govori o naznakama u istraživanju sunčevih fotonaponskih ćelija, što se tiče ćelija od kristaliničnog silicija, tehnologije koja je dominirala od samih početaka razvijanja fotonapona, šest je bitnih odrednica

1. Smanjenje specifične potrošnje silicija i materijala u finalnom modulu
2. Nova i poboljšana silicijska sirovina koja ima povoljniji omjer cijene i kvalitete
3. Povećanje učinkovitosti ćelija i modula, te dugoročno upotreba novih i integriranih koncepata
4. Novi i poboljšani materijali u svim djelovima proizvodnog lanca
5. Visoka propusnost, visoki prinos, integrirana industrijska obrada
6. Pronalazak novih sigurnijih tehnika obrade sa smanjenim negativnim djelovanjem na okoliš i s postizanjem dužeg životnog vijeka modula.

Kada se radi o tehnologiji tankog filma, koja je relativno nova i ima veliki potencijal postoji nekoliko razvojnih odrednica:

1. Pouzdanost i bolji omjer cijene i kvalitete za proizvodnu opremu
2. Smanjenje troškova pakiranja za krute i fleksibilne module.



3. Pouzdaniji moduli preko boljih procedura za osiguranje kvalitete (unaprijeđenje testiranja modula i unaprijeđenje procjene učinkovitosti modula)
4. Recikliranje materijala i starog modula
5. Zamjena za rijetke kemijske elemente kao što su indij, galij, telurij

Krucijalno je za sve tehnologije fotonaponskih ćelija i za cijelu fotonaponsku industriju da se u narednom razdoblju od nekoliko godina osigura veći pad cijena. Taj cilj će se tim prije ostvariti, što se prije, na svim društvenim nivoima, osiguraju pretpostavke za nove tehnološke inovacije i poboljšanja koja će povećati stupnjeve djelovanja fotonaponskih ćelija i produžiti njihov životni vijek a samim tim posredno i smanjiti troškove proizvodnje.

Konkretni ciljevi za učinkovitost izdani od strane EPIA-e (European Photovoltaic Industry Association) do 2020. godine:

Komercijalne ćelije od kristaličnog silicija:

- Mono-kristalični silicij, ćelije moraju dostići učinkovitost od 22 %, iako se već danas u nekim komercijalnim ćelijama ona kreće u rasponu od 19 do 22%
- Multi-kristalični silicij, ćelije moraju dostići prosječnu učinkovitost od 20%

Komercijalni moduli u tehnologiji tankog filma

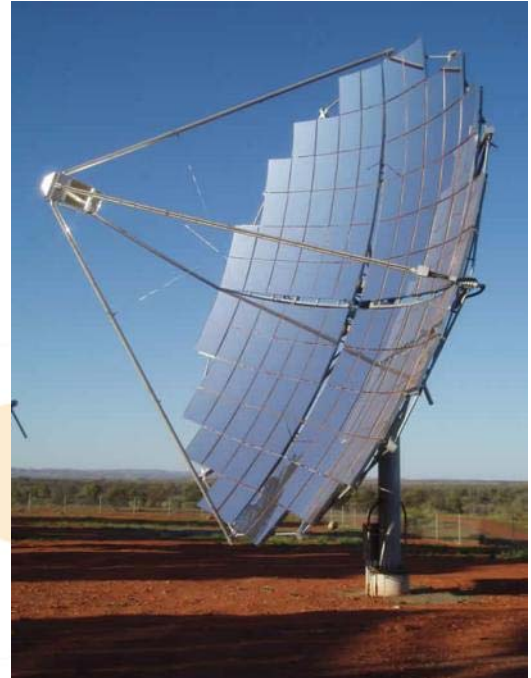
- Amorfni silicij (a-Si), moraju dostići učinkovitost od 10 do 16%
- Kadmij telurij (CdTe) , moraju dostići učinkovitost od 15 do 20%
- Bakar indij galij selenide (CIS, CIGS), moraju dostići učinkovitost od 16 do 22 %



9.1 Koncentrirajući fotonaponski sustavi

Istraživanja koncentrirajućih fotonaponskih sustava započela su još u sedamdesetim godinama dvadesetog stoljeća. Danas se koriste malo, srednje i visoko koncentrirajući fotonaponski sustavi, koji povećavaju sunčevo zračenje od 2 pa do čak 300 puta.

Koncentrirajući fotonaponski sustavi, koriste se u optičkim lećama za koncentriranje velike količine sunčevog zračenja na malo područje fotonaponskog modula za proizvodnju električne energije. Također redovito koriste sustave za aktivno praćenje kretanja sunca. Za razliku od tradicionalnih fotonaponskih sustava, koncentrirajući sustavi su često jeftiniji za proizvodnju, zbog toga što koncentracijom sunčevog zračenja dozvoljavaju puno manju površinu



Slika 16 koncentrirajući fotonaponski sustav

fotonaponskih ćelija za istu proizvedenu energiju. Kako je poznato iz fotoelektričnog efekta, fotonaponske ćelije proizvode toliko više električne energije, koliko su više izložene sunčevu zračenju. Problem se pojavljuje kod učinkovitosti ćelije, jer se povećanjem temperature njihova učinkovitost smanjuje.

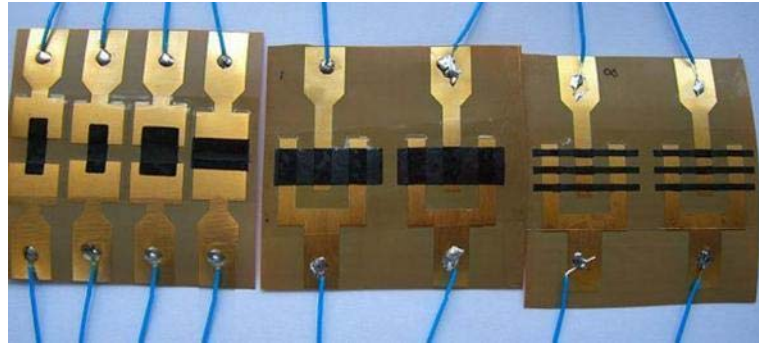
To znači da ako bi se htjelo povećavati proizvodnju, povećanjem sunčevog zračenja, trebalo bi osigurati smanjenje temperature koja pritom nastaje. Drugi problem kod koncentrirajućih fotonaponskih sustava je cijena optičkih leća i cijena sustava za praćenje kretanja sunca, koja nerijetko premašuje uštedu u broju ćelija koji postoji u odnosu na tradicionalne fotonaponske sustave.

Izazovi kod rada koncentrirajućih fotonaponskih sustava su kako raditi s najvećom učinkovitošću kod koncentrirajućeg zračenja, što znači kako osigurati adekvatno hlađenje sustava. Također jedan od izazova je nemogućnost koncentriranja difuznog zračenja, kada na raspolaganju nemamo direktno zračenje, npr. tijekom oblačnog vremena. Iz čega proizlazi da su takvi sustavi optimalni i isplativi samo na onim lokacijama koje raspolažu s dovoljno direktnog sunčevog zračenja na godišnjoj razini.



9.2 CNT

Ugljična nanocijev (CNT) je nano struktura koja se sastoji od atoma ugljika (C) u obliku praznog cilindra. Cilindri su obično zatvoreni na krajevima polu-fulerenskim strukturama.



Slika 17 CNT fotonaponska ćelija

Nanocijevi su konstruirane s omjerom dužine i promjera, čak do 132.000.000:1, što je više nego kod bilo kojeg drugog materijala.

Postoje tri tipa ugljičnih nanocijevi i to tzv. "armchair" (fotelja), zig-zag i spiralne (helical) nanocijevi. Ova tri tipa imaju različite simetrije. Karbonske nanocijevi mogu biti duge i nekoliko stotina nanometara. Neki ih smatraju posebnim formama fulerena. Za proizvodnju makroskopskih materijala koji su građeni od ugljičnih nanocijevi, ugljične nanocijevi se slažu ili u snopove, jedna do druge tako da sačinjavaju trokutastu rešetku. To su jednozidne nanocijevi (Single-Walled Carbon Nanotubes (SWNTs)).

Druga vrsta su višezidne cijevi (Multi-Walled Carbon Nanotubes - MWNTs) i one se dobijaju kada se cijev manjeg promjera stavlja u cijev većeg promjera, pa onda unutar treće cijevi još većeg promjera itd. Ugljične nanocijevi se već koriste u pojedinim komercijalnim tehnologijama poput display-a.

Ugljične nanocijevi su jedan od najviše spominjanih gradivnih blokova nanotehnologije. Imaju stotinu puta veću otpornost na istezanje od čelika, toplinsku provodljivost bolju od najčistijeg dijamanta i električnu provodljivost sličnu bakru.

Dosadašnja istraživanja su uspjela proizvesti nanocijevi koje reagiraju na svjetlo određenog spektra, ali nikad na cijeli vidljivi spektar. Nanocijevi su popunjene s tri vrste kromofora koji mijenjaju oblik kada ih se obasja svjetlom određene boje. Svaka vrsta reagira na jednu boju: crvenu, zelenu ili plavu. Promjena oblika kromofora mijenja električnu vodljivost nanocijevi koja se može izmjeriti i pretvoriti u digitalnu informaciju.



Iako je određeni potencijal CNT-a za fotonaponske sustava primjetan, još uvijek nije proizvedena ćelija sa učinkovitošću većom od 6,5%. CNT tehnologija još je uvijek u incijalnim fazama istraživanja, te ostaje dovoljno mjesta za budući napredak.

10. LITERATURA

1. Energetski Institut Hrvoje Požar, dostupno na www.eihp.hr
2. EREC, Renewable energy in europe, 2010.
3. Kulišić, P. : Novi izvori energije, Školska knjiga Zagreb, 1991.
4. Boris Labudović, Osnovne primjene fotonaponskih sustava, Energetika marketnig
5. Ljubomir Majdandžić, Solarni sustavi-Teorijske osnove, Graphis Zagreb
6. Wikipedia.org
7. Izvorienergije.com

11. POPIS SLIKA

Slika 1 Fotonaponske ćelije.....	3
Slika 2 Princip rada sunčeve fotonaponske ćelije	7
Slika 3 Fotonaponska ćelija	9
Slika 4. Tipične monokristalne ćelije	10
Slika 5 Shematski prikaz obrade silicija za nastajanje snučevih fotonaponskih sustava.....	11
Slika 6 Tthin-film, amorfni silicij.....	12
Slika 7 CdTe thin-film	12
Slika 8 CIS thin-film	13
Slika 9 Energetska amortizacija	14
Slika 10 Mrežni fotonaponski sustav	15
Slika 11 Kućni mrežni fotonaponski sustav.....	17
Slika 12 Sunčeva farma.....	18
Slika 13 samostalni fotonaponski sustav.....	19
Slika 14 Srednja godišnja ozračenost vodoravne plohe u RH	21
Slika 15 Fotonaponski moduli sa aktivnim praćenjem kretanja suna, Tracker	22
Slika 16 Koncentrirajući fotonaponski sustav	27
Slika 17 CNT fotonaponska ćelija.....	28