

# Analiza isplativosti ugradnje fotonaponskih sustava na obiteljske kuće u RH

---

Pintarić, Filip

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:300497>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

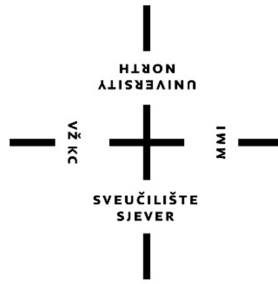
Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-23**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





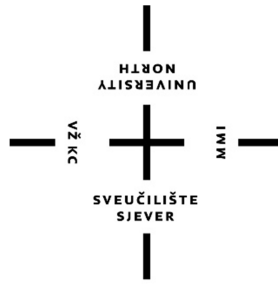
**Sveučilište  
Sjever**

**Završni rad br. 350/GR/2019**

**Analiza isplativosti ugradnje fotonaponskih sustava  
na obiteljske kuće u RH**

Filip Pintarić, 1269/336

Varaždin, Veljača 2019. godine



# Sveučilište Sjever

GRADITELJSTVO

Završni rad br. 350/GR/2019

## **Analiza isplativosti ugradnje fotonaponskih sustava na obiteljske kuće u RH**

**Student**

Filip Pintarić, 1269/336

**Mentor**

Antonija Bogadi, dipl. ing. arh.

Varaždin, Veljača 2019. godine

## **Sažetak**

U ovom radu su opisani fotonaponski sustavi, od početne proizvodnje solarnih ćelija do priključenja fotonaponskog sustava na mrežu. U prvom dijelu opisan je tehnički potencijal i način iskorištavanja Sunčeve energije potreban za rad FN sustava i pojava fotonaponskog efekta. Zatim su opisani kristali koji su sastavni dio solarnih ćelija, njihova proizvodnja u fotonaponski modul, te utjecaj korištenja fotonaponskih modula na okoliš. Drugi dio opisuje opću podjelu fotonaponskih sustava i navedena je klasifikacija FN sistema koja je podijeljena prema osnovnim grupama na koje sve načine možemo ugraditi FN module. U trećem dijelu je provedena analiza isplativosti takvog sustava te navedeni troškovi fotonaponske opreme i njihove bitne karakteristike. Na kraju su navedene norme i potrebna dokumentacija za priključak na mrežu te naknada za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije.

**Ključne riječi:** fotonaponski sustavi, solarne ćelije, ugradnja, analiza, isplativost

## **Abstract**

This paper describes the photovoltaic systems from the initial production of solar cells to the connection of the photovoltaic system to the grid. The first part describes the technical potential and the way of exploiting the Solar energy required for the operation of the PV system and the appearance of the photon effect. Then, the crystals that are part of the solar cells, their photovoltaic module production and the influence of photovoltaic modules on the environment are described. The second part describes the general division of photovoltaic systems and is the classification of the PV system that is divided into basic groups to which we can integrate all the PV modules. In the third part, a cost-benefit analysis of such a system and the cost of photovoltaic equipment and their essential characteristics were carried out. At the end, the standards and necessary documentation for network connection and the incentives to encourage the production of electricity from renewable energy sources are listed.

**Key words:** photovoltaic systems, solar cells, installation, analysis, cost-effectiveness

## Popis korištenih kratica

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <b>CO<sub>2</sub></b>      | Ugljikov dioksid   |
| <b>FN</b>                  | Fotonapon  |
| <b>PV</b>                  | Fotonapon (eng. <i>photovoltaic</i> )  |
| <b>Eng.</b>                | Engleski   |
| <b>a-Si</b>                | Amorfni silicij  |
| <b>GaAs</b>                | Galij-arsenid  |
| <b>Cu<sub>2</sub>S/CdS</b> | Bakar-sulfid/kadmij sulfid   |
| <b>RH</b>                  | Republika Hrvatska   |
| <b>EU</b>                  | Europska Unija   |
| <b>IEC</b>                 | Međunarodna elektrotehnička komisija (eng. <i>International Electrotechnical Commission</i> )                      |
| <b>IEEE</b>                | Institut inženjera elektrotehnike i elektronike (eng. <i>Institute of Electrical &amp; Electronics Engineers</i> ) |
| <b>HEP</b>                 | Hrvatska elektroprivreda   |
| <b>HROTE</b>               | Hrvatski operator tržišta energije   |
| <b>OIE</b>                 | Obnovljivi izvori energije   |
| <b>OIEiK</b>               | Obnovljivi izvori energije i visokoučinkovita kogeneracija   |
| <b>EES</b>                 | Elektroenergetska suglasnost   |
| <b>PEES</b>                | Prethodna elektroenergetska suglasnost   |

## Sadržaj:

|  |    |
|--|----|
| 1. Uvod .....  | 1  |
| 2. Fotonaponske ćelije i moduli .....                                  | 3  |
| 2.1. Kristali i materijali .....                                       | 4  |
| 2.2. Proizvodnja solarnih ćelija .....                                 | 7  |
| 3. Fotonaponski sustavi .....  | 11 |
| 3.1. Autonomni fotonaponski sustavi .....                              | 12 |
| 3.2. Umreženi fotonaponski sustavi .....                               | 13 |
| 3.3. Podjela fotonaponskih sistema prema ugradnji .....                | 15 |
| 4. Analiza isplativosti fotonaponskog sustava .....                    | 23 |
| 4.1. Troškovi fotonaponskog sustava .....                              | 25 |
| 4.1.1. Fotonaponski moduli .....                                       | 27 |
| 4.1.2. Izmjenjivači – inverteri .....                                  | 28 |
| 4.1.3. Nosive konstrukcije .....                                       | 29 |
| 4.1.4. Montiranje fotonaponskih sistema .....                          | 32 |
| 4.1.5. Ostala električna oprema .....                                  | 34 |
| 5. Priključenje fotonaponskog sustava na mrežu .....                   | 36 |
| 5.1. Norme fotonaponskih sustava .....                                 | 36 |
| 5.2. Dokumentacija za priključak na mrežu .....                        | 37 |
| 5.3. Naknada za poticanje proizvodnje električne energije iz OIE ..... | 38 |
| 6. Zaključak .....   | 39 |
| 7. Literatura .....  | 41 |

# 1. Uvod

Poznato nam je prema sve novijim podacima kako su konvencionalni izvori energije (nafta, ugljen, plin) iscrpljivi i ograničeni te zaliha sve manje zbog sve većeg napretka i razvoja tehnologije i potrebno nam je sve više resursa. U današnje vrijeme više od 80 % energije se dobiva iz fosilnih goriva gdje se njihovim izgaranjem doprinosi povećanju koncentracije ugljičnog dioksida ( $\text{CO}_2$ ) u atmosferu koji je razlog nastanka efekta staklenika te dovodi do općeg zagrijavanja atmosfere, globalnog zatopljenja i u konačnici klimatskih promjena što ima katastrofalnih posljedica u ekološkom smislu na ekosisteme tše isto tako vrlo loše posljedice po zdravlje ljudi. Kako se pretpostavlja da će izvori fosilnih goriva za nekoliko desetaka godina presušiti, potrebno je osigurati sklad suvremenog načina čovjekova života i stupnja tehnološkog napretka s prirodom i održivim razvojem za dobrobit sadašnjih i budućih naraštaja te se okrenuti obnovljivim izvorima energije.

Kako bi se riješili problemi povezani s korištenjem fosilnih goriva, države potiču energetska efikasnost i uporabu obnovljivih izvora energije. Europska unija je za 2020. postavila takozvane 20/20/20 klimatske i energetske ciljeve pod nazivom Strategija 2020 kako bi se smanjila emisija stakleničkih plinova za 20 %, povećao udio obnovljivih izvora energije u cjelokupnoj potrošnji energije za 20 % kao i povećala energetska efikasnost za 20 %. [1]

Sunce je glavni izvor elektromagnetskog zračenja koje prolazi atmosferom i zasigurno jedan od najboljih obnovljivih izvora energije i što je najvažnije, omogućuje život na Zemlji. Sunčevo zračenje iznosi oko  $3.8 \cdot 10^{23}$  kW, odnosno  $3.3 \cdot 10^{27}$  kWh/god., od čega samo mali dio stigne na Zemlju. To zračenje koje stigne na Zemlju iznosi oko  $1.75 \cdot 10^{14}$  kW ili  $1.53 \cdot 10^{18}$  kWh/god., uzmimo u obzir da se oko 30 % zračenja reflektira natrag u svemir, Zemlja od sunca godišnje dobiva oko  $1.07 \cdot 10^{18}$  kWh energije. [2]

Ova količina energije nekoliko tisuća puta premašuje ukupnu godišnju potrošnju energije i pedeset je puta veća od zbroja svih zaliha fosilnih i nuklearnih goriva. Trenutačno je tehnički potencijal energije sunčeva zračenja još uvijek veći od svjetske potrošnje energije, koja je prikazana malom plavom kockicom na slici 1.1. Sunce svojim zagrijavanjem uzrokuje isparavanje vodenih površina i tako stvara još obnovljivih izvora energije, a to su vjetar i morske struje.



*Slika 1.1. Godišnje sunčevo zračenje na površini zemlje u usporedbi s godišnjom potrošnjom energije u svijetu te svjetskim zalihama fosilnih i nuklearnih goriva*

Tehnički potencijal energije Sunčeva zračenja koji padne na neku građevinu nekoliko je puta veći od potreba takve zgrade za energijom dok je teoretski potencijal energije Sunčeva zračenja znatno veći od ostalih obnovljivih izvora energije, kao na primjer, vjetar, morske struje i biomasa. [4] Zbog toga se u novije vrijeme gleda na to da bi takva energija mogla postati glavnim nositeljem ekološki održivoga energetskeg razvoja te se istražuju novi stabilni i ekonomski isplativi procesi pretvorbe.

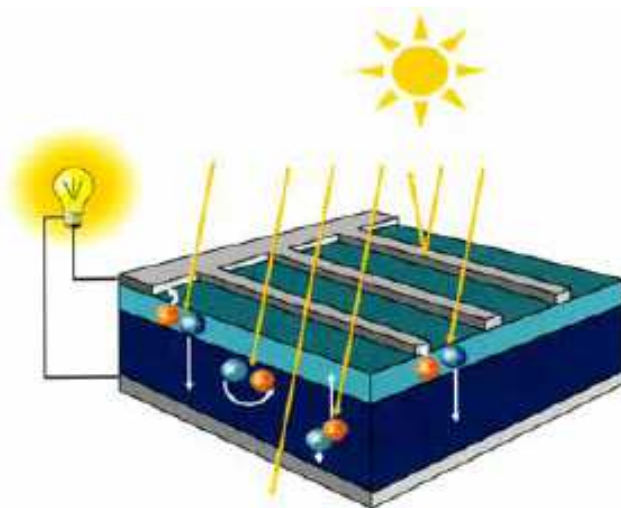
Sunčevu energiju možemo iskoristavati na nekoliko načina, no glavni od njih su pretvorba u toplinsku energiju pomoću solarnih toplinskih kolektora, solarnog hlađenja i električnu pomoću solarnih fotonaponskih sustava koji su i tema ovog rada jer pokazuju velik potencijal za modele energetske neovisnih zgrada.

Postavlja se samo jedno pitanje kako s konstantnim padom cijena fotonaponskih ćelija i baterija za skladištenje električne energije, u kojem trenutku će kombinacija tih dviju tehnologija proizvoditi električnu energiju povoljnije od cijene po kojoj je potrošači kupuju iz mreže.



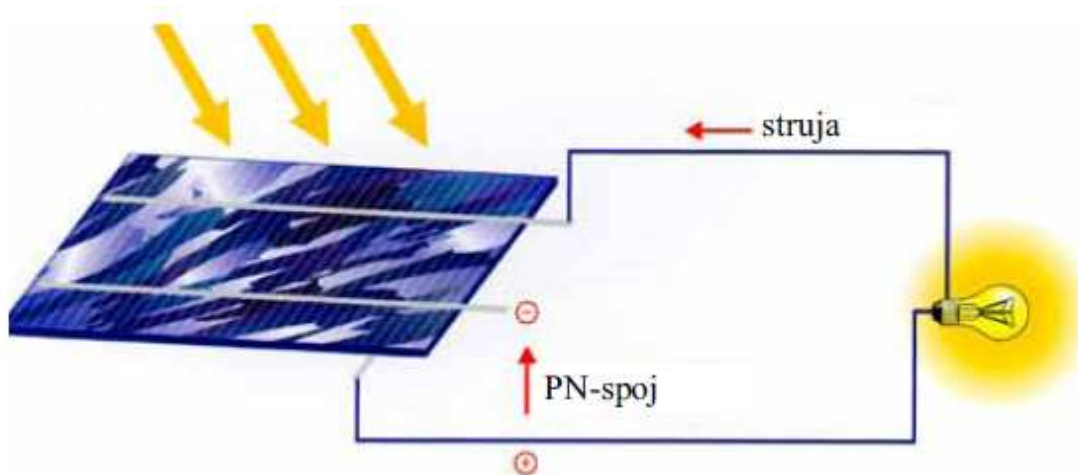
## 2. Fotonaponske ćelije i moduli

Da bismo razumjeli kako električna energija dolazi u objekte preko sunčeve energije potrebno je prvo objasniti pojavu koja se naziva fotonaponski efekt. Fotonaponski efekt je pojava kod koje na krajevima prikladno oblikovanog poluvodičkog elementa pri izloženosti svjetlosti nastaje elektromotorna sila tj. napon čime on postaje izvor električne struje te se tako omogućava izravna pretvorba svjetlosti u električnu energiju. [3]



*Slika 2.1. Prikaz pojave napona uslijed fotonaponskog efekta u solarnoj ćeliji*

Fotonaponska ćelija (eng. *photovoltaic*, PV) je ustvari poluvodička dioda tzv. PN - spoj. PN - spoj nastaje kada se jednom dijelu kristala čistog poluvodiča dodaju trovalentne (akceptorske) primjese, tako da nastane p - tip poluvodiča, a drugom dijelu peterovalentne (donorske) primjese, te nastaje n - tip poluvodiča. Na granici između tih dvaju područja, kao posljedica gradijenta koncentracije, nastaje difuzija elektrona iz n - područja prema p - području i šupljina iz p - područja prema n - području. Dakle, PN - spoj radi kao dioda, i propušta struju samo u jednom smjeru. [2]



*Slika 2.2. Fotonaponska ćelija kao izvor električne energije*

Kada se fotonaponska ćelija, odnosno PN - spoj osvjetli, apsorbirani fotoni proizvode parove elektron-šupljina. Ako apsorpcija nastane daleko od PN - spoja, nastali par ubrzo se rekombinira. Međutim, nastane li apsorpcija unutar, ili blizu PN - spoja, unutrašnje električno polje, koje postoji u osiromašenom području, odvaja nastali elektron i šupljinu. Elektron se giba prema N - strani, a šupljina prema P - strani. Zbog skupljanja elektrona i šupljina na odgovarajućim suprotnim stranama PN - spoja dolazi do pojave elektromotorne sile na krajevima solarne ćelije. [4]

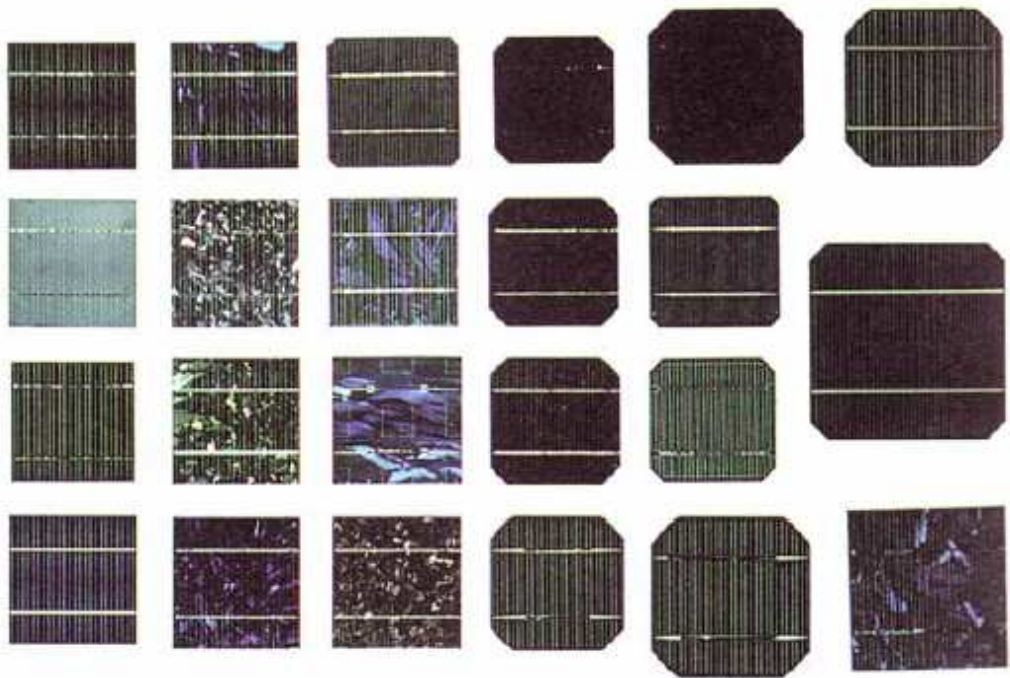
Kada se solarna ćelija osvjetli, kontakt na P - dijelu postaje pozitivan, a na N - dijelu negativan. Ako su kontakti ćelije spojeni s vanjskim trošilom, kao što je prikazano na slici 2.2. proteći će električna struja, a solarna ćelija postaje izvorom električne energije. [2]

## **2.1. Kristali i materijali**

Kristali su čvrste tvari sačinjeni od atoma i iona koji svojim rastom čine pravilan trodimenzionalni raspored gdje tako posloženi atomi u uređen raspored tvore kristalnu rešetku. Materijali za izradu fotonaponskih solarnih ćelija dolaze u obliku monokristala, polikristala (multikristala) ili kao amorfne tvari. Ako se čitav aktivni obujam ćelija sastoji od samo jednog kristala, onda je takva ćelija monokristalna. Ako se u procesu rasta kristala većih dimenzija formira više kristala (obično zajednički orijentiranih), i iz takva kristalnog bloka izreže pločica za izradu solarne ćelije, onda takve ćelije nazivamo polikristalnim ili multikristalnim.

Amorfne tvari su tvari koje nemaju veliku uređenost kao kristali što znači da nemaju pravilan raspored atoma duljeg doseg. Tehnologije kojima se dobivaju tanki amorfni filmovi su putem nanošenja raspršivanjem ili depozicijom iz pare kemijskih reaktanata na površinu podloge. [2]

Nanokristalni silicij je materijal budućnosti za izradu solarnih ćelija. Ima povoljnija svojstva od amornog silicija (a-Si) te zbog veće pokretljivosti elektrona, povećane apsorpcije fotona u crvenom i infracrvenom području sunčevog zračenja i zbog znatno veće otpornosti prema degradaciji svojih fotoelektroničkih svojstava. [4]



*Slika 2.3. Kristalne ćelije različitih boja i dimenzija*

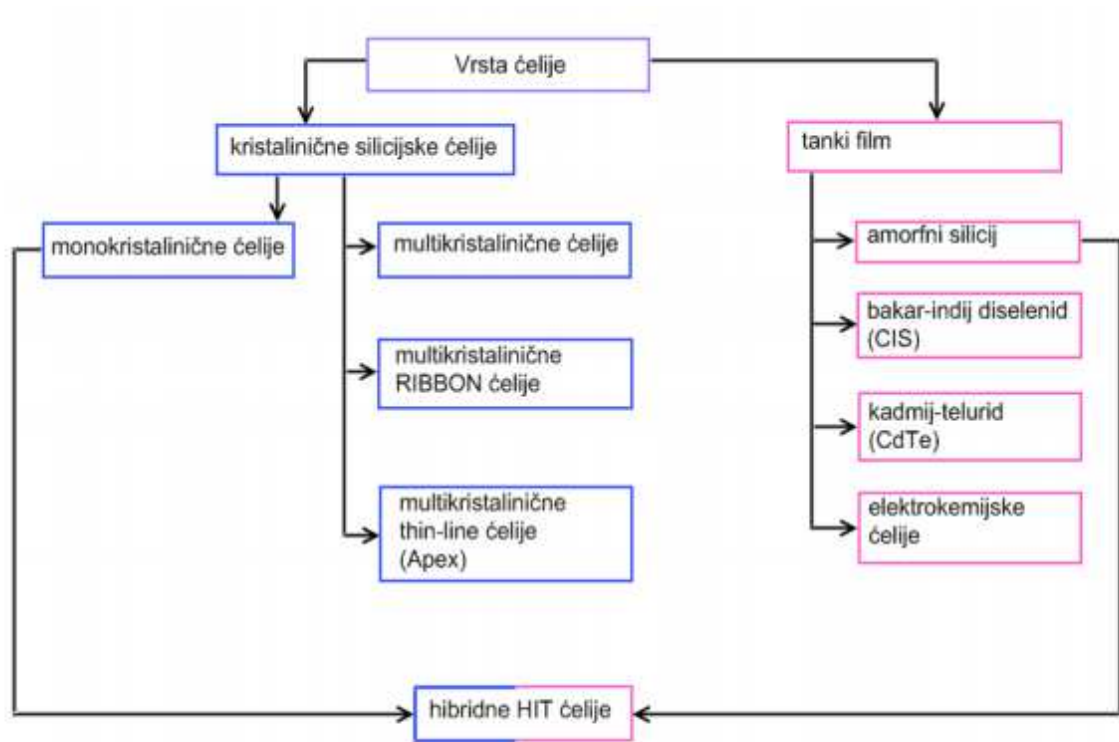
Danas postoji mnogo proizvođača FN ćelija te se na tržištu mogu naći različite solarne ćelije, različitih boja i dimenzija. Na slici 2.3. možemo vidjeti uobičajene dimenzije kristalnih ćelija poput; 10 cm × 10 cm, 12,5 cm × 12,5 cm, 15 cm × 15 cm, 21 cm × 21 cm. [2]

## Vrste solarnih ćelija

Solarne ćelije se danas najčešće proizvode na bazi monokristalnog, polikristalnog i amornog silicija koji čine oko 90% zastupljenosti trenutno na tržištu. Osim spomenutih tri najzastupljenijih vrsta solarnih ćelija postoje još od galij-arsenida ( GaAs ) i bakar-sulfida/kadmij sulfida (  $\text{Cu}_2\text{S}/\text{CdS}$  ). [6]

Ovisno o materijalu za njihovu izradu, ali i o tehnologiji koja se pri tome koristi, ćelije se mogu podijeliti u četiri osnovne skupine:

- ćelije od kristalnog silicija,
- tankoslojne ćelije,
- hibridne ćelije i
- nanostrukturne ćelije.



Slika 2.4. Vrste solarnih ćelija

## 2.2. Proizvodnja solarnih ćelija

Solarne ćelije imaju vrlo ubrzan tehnološki napredak u istraživanju materijala za izradu solarnih ćelija i procesa proizvodnje kao rijetko koja druga tehnologija danas. Silicij, kao osnovni materijal za izradu solarnih ćelija, apsolutno dominira, s udjelom od oko 98%, i to pretežito u tehnologiji kristalnog silicija. Uglavnom prevladava tehnologija proizvodnje monokristalnog silicija dobivenog tzv. Czochralskim postupkom. [2]

FN ćelije od kristalnog silicija su one ćelije kod kojih se tehnologija same izrade osniva na primjeni kristalnog silicija kao osnovne sirovine, a mogu biti od:

- monokristalnog silicija,
- polikristalnog silicija,
- trakastog polikristalnog silicija: EFG i
- laminirane sa stražnjim kontaktima.

Postupak proizvodnje FN ćelija od monokristalnog silicija započinje rezanjem monokristala silicija. Zatim slijedi rast kristala tehnologijom lebdeće zone pri čemu se jezgra kristala uranja u kalup rastaljenog silicija i potom iz nje izvlači uz polaganu rotaciju. Time se dobivaju monokristali promjera oko 30 cm i duljine nekoliko metara koji se nakon toga režu u šipke kvadratičnog, kružnog ili pseudokvadratičnog poprečnog presjeka, a potom na tanke pločice debljine do 0,3 mm. Nakon toga slijedi difuzija fosfora u posebnim pećima na temperaturama 800 – 1200 °C, a zatim nanošenje antirefleksijskog sloja na prednju stranu pločice koji služi uvećanju iskorištenosti količine svjetlosti u ćeliji. Pločici se zatim dodaje metalni kontakt na stražnjoj površini i mrežasti metalni kontakt. Stražnji kontakt se formira tiskanjem metalne paste na zaslon i to u većini slučajeva aluminijske. Pasta se zatim grije na nekoliko stotina stupnjeva Celzijusa da formira metalne elektrode i time je ugradnja električnih kontakata završena. [3]



*Slika 2.5. Postupak proizvodnje FN ćelije od kristalnog silicija*

Nakon cijelog postupka proizvodnje gotove jedne solarne ćelije, one se međusobno povezuju u seriju ponajviše radi postizanja veće izlazne snage, plosnatim žicama ili metalnim trakama. Zatim uslijedi laminiranje i postavljanje solarnih ćelija u okvir te takav sustav tvori fotonaponski modul tzv. solarni panel.

FN modul je dakle skup solarnih ćelija odnosno element strujnog kruga koji nastaje međusobnim električnim povezivanjem više FN ćelija koje se mogu međusobno spajati serijski ili paralelno.

U svijetu zbog sve veće potražnje za ovom tehnologijom postoji mnogo proizvođača. Najpoznatiji proizvođači FN ćelija od kristalnog silicija su (po zemljama):

- Belgija: Photovoltech
- Češka: Solartec
- Francuska: Photowatt
- Indija: Moser Baer
- Italija: Eni Power
- Japan: Mitsubishi Electric, Sanyo i Sharp
- Južna Koreja: KPE
- Kanada: Arise Technologies
- Kina: China Sunergy, CSI Solar Products, DelSolar, Helios, MAGI Solar, Ningbo Solar, Shanghai JA Solar Technology, Shanghai Topsolar, Solarfun, Suntech Power, Trina Solar i Yingli Solar
- Nizozemska: Solland
- Norveška: REC Solar
- Njemačka: Bosch Solar, Conergy, Deutsche Cell, Q – Cells, Schott Solar i Sunways
- SAD: GE Energy
- Španjolska: Isofoton
- Švedska: Eco Supplies
- Tajvan: E – TON Solar, Gintech, Motech, NSP i Solartech Energy
- Velika Britanija: BP Solar. [3]

Proizvodnja monokristalnog silicija je skuplja, no učinkovitost ćelija je veća i kreće se u rasponu od 14-18% te se može reći da je u širokoj komercijalnoj upotrebi to najučinkovitija fotonaponska ćelija. Najveći nedostatak kristalnog silicija je taj što je poluvodič s neizravnim zabranjenim pojasom, što ima za posljedicu da su potrebne veće debljine aktivnog sloja da bi se u što većoj mjeri iskoristila energija Sunčeva zračenja.

[7]

## **Utjecaj korištenja fotonaponskih modula na okoliš**

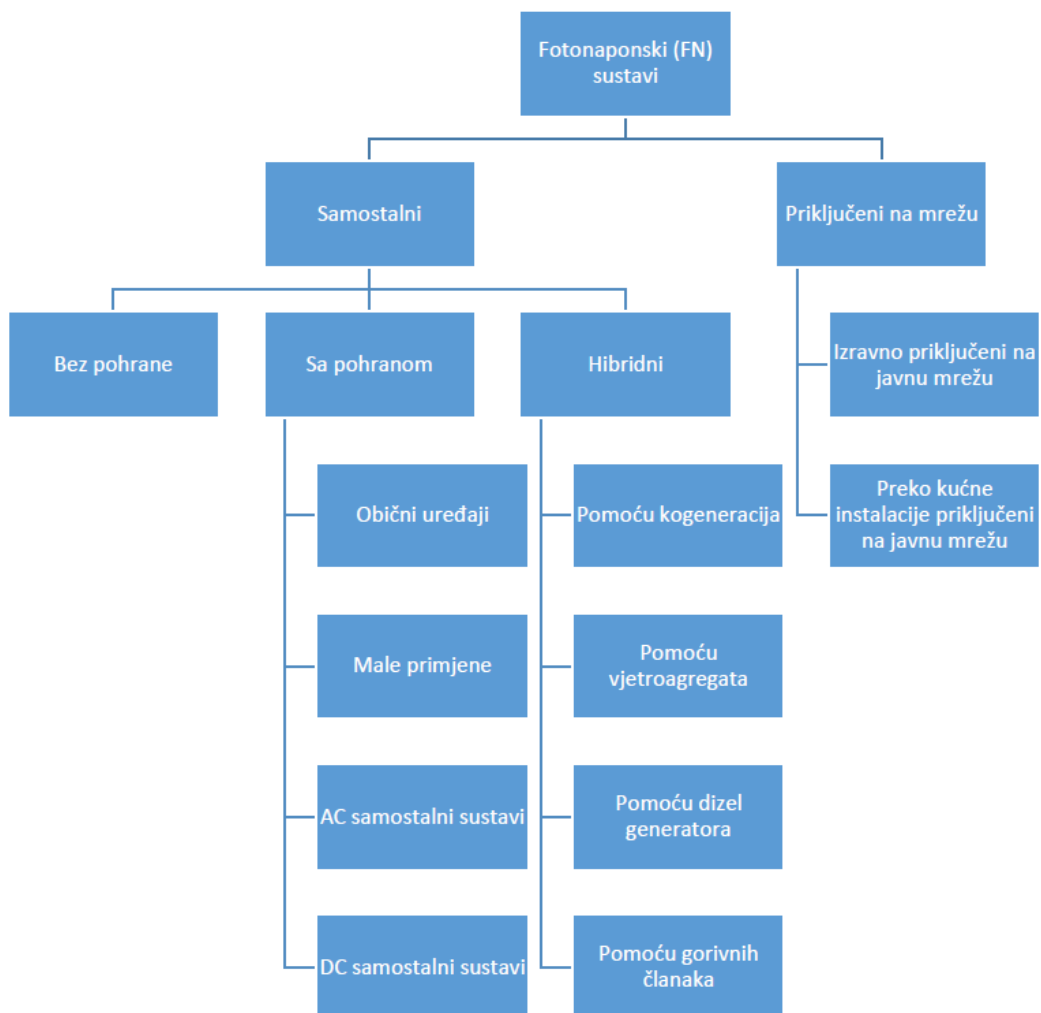
O solarnim ćelijama se uglavnom priča u kontekstu obnovljivih izvora energije kao gotovog proizvoda u svrhe proizvodnje električne energije, no što je s proizvodnjom i recikliranjem ćelija kao otpad nakon što im istekne rok trajanja. Kod proizvodnje solarnih modula korišteni su otrovni teški metali poput olova, kadmija i žive, koji su iznimno štetni po zdravlje čovjeka i okoliš. Recikliranje solarnih modula je s druge strane vrlo složen postupak zbog različitih vrsta materijala koji su ugrađeni u sam modul poput stakla, silicija, aluminijska, indija, galija te spomenutih teških metala, a koje je sve potrebno posebno odvojiti i tek onda na siguran način zbrinut. No problem je u tome što takav sustav reciklaže nije uveden još nigdje u svijetu. Za sada takav opasan otpad uglavnom završava na običnom otpadu gdje se skladišti sve dok se ne pronade adekvatno rješenje. [5]



### 3. Fotonaponski sustavi

Postoje dvije osnovne skupine fotonaponskih sustava:

- Fotonaponski sustavi koji nisu priključeni na mrežu (*off grid*), a često se nazivaju i autonomnim, samostalnim ili otočnim sustavima (*stand-alone systems*) i
- Fotonaponski sustavi koji su priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu (*On-grid*).



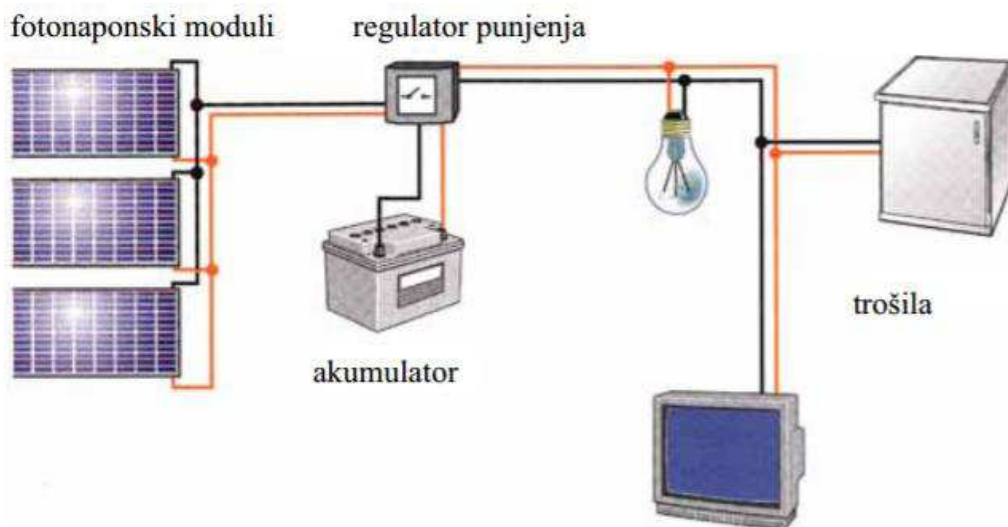
**Slika 3.1.** Podjela fotonaponskih sustava

### 3.1. Autonomni fotonaponski sustavi

Autonomni sustavi se koriste kada opskrba potrošača električnom energijom iz javne elektroenergetske mreže nije moguća kao što, npr. za kampove, vikendice, objekte na otocima ili u planinama, telekomunikacijska i prometna postrojenja itd. Oni mogu biti projektirani s ili bez pohrane energije ili kao hibridni sustavi.

Temeljne komponente autonomnog fotonaponskog sustava su:

- FN moduli,
- priključni ormarić,
- regulator punjenja,
- akumulator,
- trošila i
- izmjenjivač (za trošila na izmjeničnu struju).



*Slika 3.2. Osnovni prikaz autonomnog fotonaponskog sustava*

Autonomni FN sustavi se najčešće opremaju spremnikom energije (akumulatorom), zbog toga što je pohrana energije bitna u pokrivanju potreba za energijom kada nema sunca ili kada je iz nekog razloga veća potreba za električnom energijom te Sunčevo zračenje nije dovoljno za proizvodnju električne energije. Mogu

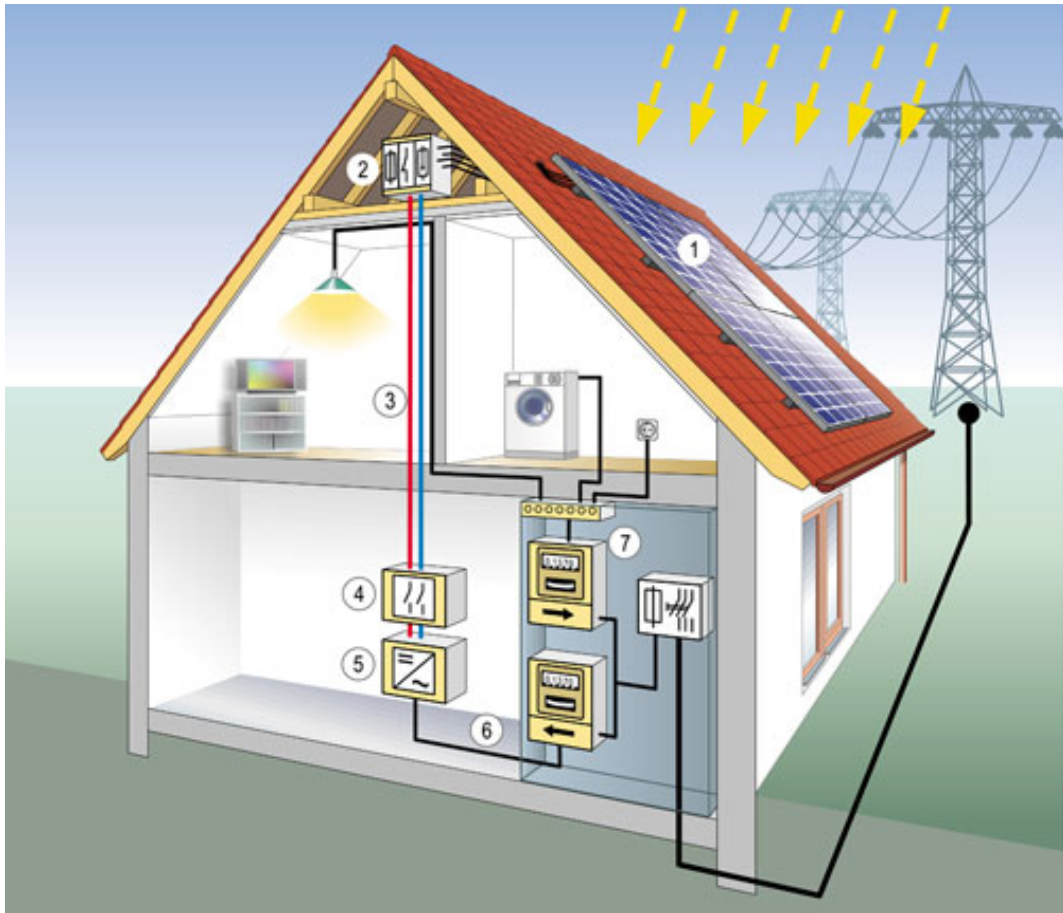
se još koristiti neki dodatni izvori napajanja kao npr. pomoću vjetroagregata, dizel generatora, gorivnih članaka itd., a takvi sustavi se tada nazivaju hibridnima.

### **3.2. Umreženi fotonaponski sustavi**

Umreženi fotonaponski sustavi su sustavi priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu. Mogu biti izravno priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu ili preko kućne instalacije. Kod umreženih sustava ulogu spremnika energije ima upravo javna elektroenergetska mreža, što znači da, kada je proizvodnja električne energije veća od vlastitih potreba objekta (obiteljske kuće, hotela, stambene, poslovne ili javne zgrade), viškovi se isporučuju u javnu električnu mrežu, a kada proizvodnja nije dovoljna za potrebe objekta, ta potrebna energija se nadomješćuje uzimanjem iz javne mreže.

Temeljne komponente umreženog fotonaponskog sustava su:

- FN moduli,
- priključni ormarić,
- vodovi istosmjerne struje,
- glavni prekidač,
- izmjenjivač,
- vodovi izmjenične struje,
- brojila predane i preuzete električne energije,
- elektroenergetska mreža i
- trošila.



*Slika 3.3. FN sustav priključen na javnu elektroenergetsku mrežu preko kućne instalacije*

Sunčevo zračenje pada na FN module (1) koji proizvode istosmjernu struju i šalju je do priključnog ormarića sa zaštitnom opremom (2), nakon čega putem kablova istosmjernog razvoda (3) struja dolazi do glavne sklopke za odvajanje (4) i izmjenjivača tj. invertera (5) koji transformira istosmjernu u izmjeničnu struju u oblik u kojem se može predati u javnu elektroenergetsku mrežu i u kojem se može koristiti u kućanstvima. Na kraju kablova izmjeničnog razvoda (6) do brojila predane i preuzete električne energije (7) koji distribuira struju dobivenu iz FN modula i iz mreže do trošila. U situacijama kada se ne troši sva električna energija, brojilo će se početi okretati unazad predajući električnu energiju javnoj elektroenergetskoj mreži po određenim tarifama.

### **3.3. Podjela fotonaponskih sistema prema ugradnji**

U ovom poglavlju ćemo navesti i podijeliti prema osnovnim grupama na koje sve načine možemo ugraditi FN module, zbog toga što postoji više parametara na osnovu kojih se može izvršiti klasifikacija fotonaponskih sistema. Tako imamo tri temeljne podjele:

- podjela prema prilagođavanju kretanju Sunca,
- podjela prema mjestu ugradnje u odnosu na građevinski objekt i
- podjela fotonaponskih sistema koji se ugrađuju na samom objektu.

Između ostalog postoji i daljnja opširnija klasifikacija fotonaponskih sistema koji se ugrađuju na samom objektu na krovne i fasadne fotonaponske sisteme (u ovom radu ćemo se više orijentirati na krovne sisteme, mada prema njihovim podjelama postoje sličnosti), te tako njihova daljnja podjela u odnosu na njihovu poziciju u sklopu oplošja zgrade, prema oblikovno-funkcionalnim karakteristikama krova i prema načinu montiranja.

#### **Podjela prema prilagođavanju kretanju Sunca**

Prema prilagođavanju kretanju Sunca FN sistemi mogu se podijeliti na:

- fiksne fotonaponske sisteme i
- pomične fotonaponske sisteme.

#### **Fiksni fotonaponski sistemi**

Fiksni FN sistemi kao što nam i sama riječ sugerira, imaju stalni položaj i ne mogu automatski mijenjati svoj položaj u odnosu na sunčevo zračenje. Prednost fiksnih FN modula u odnosu na pomične je u tome što su jeftiniji jer zahtijevaju manji broj materijala za nosivu konstrukciju i samim time ih je lakše ugraditi. Isto tako veća je i pouzdanost zbog toga što nemaju pokretne dijelove koji bi zbog eventualnih kvarova zahtijevali popravak i daljnje ulaganje. Međutim zbog nemogućnosti praćenja kretanja

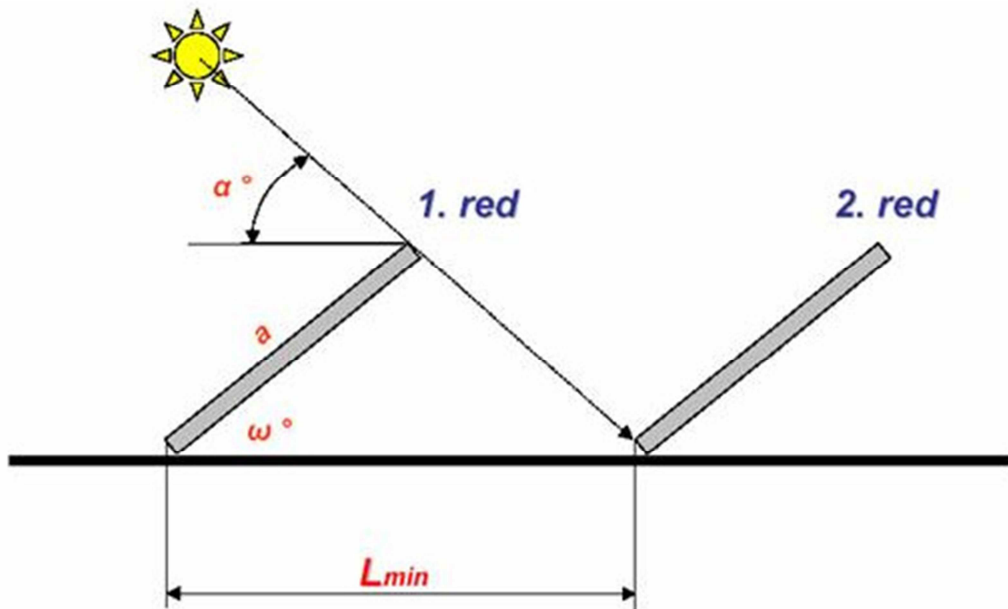
sunca, fiksni FN moduli proizvode manje električne energije, ali taj nedostatak nadoknađuju nižom cijenom. [15]

Fiksni FN moduli mogu se ugraditi bilo da se radi o krovu ili fasadi, paralelno s tom površinom ili pod nekim kutem. Ako se ugrađuju pod nekim kutem, potrebno je voditi računa o minimalnom razmaku između modula (slika 3.4.), zbog toga da prethodni modul ne pravi sjenu na sljedeći i tako mu uskraćuje efikasnost. Razmak između modula možemo izračunati pomoću sljedeće formule:

$$L_{\min} = a \left( \frac{\sin \omega}{\tan \alpha} + \cos \omega \right)$$

Gdje je:

- $a$  – dužina modula,
- $\omega$  – kut nagiba modula,
- $\alpha$  – kut upada Sunčevog zračenja.



Slika 3.4. Minimalan razmak između modula

## **Pomični fotonaponski sistemi**

Pomični FN sistemi mogu se rotirati te im to omogućuje da prate (eng. *track*) kretanje Sunca. Pri praćenju Sunca u toku dana proizvodi se znatno veća količina električne energije ako je Sunčevo zračenje većim dijelom direktno. U odnosu na rotaciju mogu se podijeliti na dvije grupe:

- pomične FN sisteme s jednom osi rotacije koji prate Sunce rotacijom oko svoje osi u smjeru istok-zapad i
- pomične FN sisteme s dvije osi rotacije koji prate Sunce rotirajući se u pravcu istok-zapad i mijenjajući kut nagiba u odnosu na horizontalu, tako da će moduli uvijek biti optimalno okrenuti prema Suncu.



*Slika 3.5. Pomični fotonaponski sistemi*

## **Podjela prema mjestu ugradnje u odnosu na građevinski objekt**

Klasifikacija FN sistema se prema mjestu ugradnje u odnosu na građevinski objekt može podijeliti na dvije osnovne grupe:

- fotonaponski sistemi koji se ugrađuju pored objekta i
- fotonaponski sistemi koji se ugrađuju na samom objektu.

## **Fotonaponski sistemi koji se ugrađuju pored objekta**

Fotonaponski sistemi koji se ugrađuju pored objekta su preko različitih sistema držača postavljeni na betonske temelje koji se nalaze na tlu. Ovakav način ugradnje na tlu se najčešće koristi za rješenja nekih većih sistema. Nizovi sastavljeni od osam ili više modula su obično najpogodnija tehnika postavljanja na tlu, jer je veoma pouzdano i praktično rješenje zbog lakog i brzog postavljanja. [15]

## **Podjela fotonaponskih sistema koji se ugrađuju na samom objektu**

Fotonaponski sistemi koji se ugrađuju na samom objektu, klasificiraju se dodatno na dvije osnovne grupe s obzirom na mjesto postavljanja u okviru oplošja objekta na:

- krovne fotonaponske sisteme i
- fasadne fotonaponske sisteme.

## **Podjela krovnih fotonaponskih sistema**

Prema vrsti ugradnje krovnih fotonaponskih sistema u odnosu na njihovu poziciju u sklopu oplošja zgrade koji čine dva karakteristična dijela objekta, a to su krov i fasadni zid mogu se podijeliti na dvije osnovne grupe:

- integrirani fotonaponski sistemi (eng. *integrated pv systems*) i
- neintegrirani fotonaponski sistemi (eng. *stand off pv systems* ili *building attached pv systems*).

Pod integriranim fotonaponskim sistemima se smatraju fotonaponski sistemi koji se nalaze u sklopu oplošja zgrade i predstavljaju njegov završni sloj, što znači da direktno zamjenjuju krovni pokrov. Dok pod neintegriranim fotonaponskim sistemima se smatraju fotonaponski sistemi koji se nalaze u sklopu oplošja zgrade, ali za razliku od integriranih sistema ne predstavljaju direktno njegov završni sloj već se ugrađuju preko završnog sloja oplošja objekta, bilo da se radilo o krovnom pokrovu ili fasadnom zidu. [15]



Daljnja podjela krovnih fotonaponskih sistema će biti izvršena u odnosu na sljedeće parametre:

- prema načinu montiranja fotonaponskih sistema i
- prema oblikovno-funkcionalnim karakteristikama krova.

U skladu s prethodno nabrojanim parametrima za klasifikaciju krovnih fotonaponskih sistema, sljedeća potpoglavlja će biti bazirana na tim podjelama zbog toga što obadvije navedene klasifikacije sadrže integriranu i neintegriranu verziju ugradnje.

### **Podjela krovnih fotonaponskih sistema prema načinu montiranja**

Podjela krovnih fotonaponskih sistema u odnosu na način montiranja fotonaponskih modula će biti izvršena na dvije osnovne vrste sistema:

- krovni integrirani fotonaponski sistemi i
- krovni neintegrirani fotonaponski sistemi.

### **Krovni integrirani fotonaponski sistemi**

Integrirani fotonaponski sistemi se najčešće ugrađuju na novoprojektiranim objektima. Prema načinu ugradnje postoje moduli koji se ne fiksiraju za strukturu krova i koji se mehanički fiksiraju za strukturu krova. Krovni integrirani fotonaponski sistemi koji se ne fiksiraju za strukturu krova obuhvaćaju razne vrste *solarnih krovnih modula*. Koncept solarnih krovnih modula podrazumijeva da takvi elementi u sebi sadrže vodonepropusne slojeve i toplinske izolacijske slojeve kao npr. ekstrudirani polistiren. Postavljaju se preko krovne ploče i međusobno se spajaju vezom na pero i žlijeb. Između spojeva postavljenih krovnih modula se ugrađuju vezivni elementi koji pokrivaju i osiguravaju kontinuitet površine krova. [15]

U krovne integrirane fotonaponske sisteme koji se mehanički fiksiraju za strukturu krova spadaju razni elementi koji se postavljaju po principu postavljanja nekih klasičnih krovnih pokrova, kao što su:

- solarni crijep,
- fotonaponska šindra i
- solarne ploče.

*Solarni crijep* ima integriranu solarnu ćeliju u sam crijep ili je izveden od fleksibilnog tankoslojnog fotonaponskog materijala i u potpunosti ima oblik crijepa te su dimenzionalno kompatibilni s klasičnim crjepovima i u potpunosti ih zamjenjuju. Postavljaju se preko krovnih letvica te su crjepovi međusobno spojeni na preklop u pravcu paralelnim sa strehom krova kao i kod klasične izvedbe crjepova. Solarni crijep se sastoji od staklene i glinene osnove i solarnih ćelija od amornog silicija (a-Si). [15]



**Slika 3.6.** Primjeri različitih oblika solarnih crjepova

*fotonaponska šindra* koje još nazivaju i solarna šindra je izvedena u obliku pločica u kojima se nalazi fotonaponska ćelija. Postavljaju se na kontinuiranu podlogu na isti način kao i klasična šindra. Solarne šindre izrađuju se od istih materijala korištenih u izradi solarnih panela, kao što su električni vodiči, vanjski vodootporni slojevi koji štite panel od vanjskih utjecaja i materijali koji pretvaraju sunčevu svjetlosnu energiju u električnu energiju. [15]



*Slika 3.7. Primjeri solarne šindre ugrađene u kombinaciji s klasičnom šindrom*

*solarne ploče* se postavljaju preko letvica postavljenih paralelno sljemenu. Jedan modul solarnih krovnih ploča zamjenjuje šest crjepova po širini i jedan crijep po visini te je zbog toga brža i jednostavnija montaža.

### **Krovni neintegrirani fotonaponski sistemi**

Postavljanjem neintegriranih fotonaponskih sistema možemo postići velike efikasnosti jer se FN moduli mogu nesmetano postavljati pod optimalnim nagibom u odnosu na sunčevo zračenje. Najčešće se postavljaju na već izvedenim objektima koji se koriste za namjenu za koju su izgrađeni zbog energetske neovisnosti. Sistemi postavljanja neintegriranih fotonaponskih sistema na ravnim krovovima su efikasniji i imaju bolje performanse u odnosu na sisteme postavljanja na kosim krovovima koji se montiraju preko nižih profila zbog toga što se kod ravnih krovova moduli montiraju tako da se nalaze 10 cm do 100 cm iznad ravnog krova, te se tako postiže adekvatno hlađenje sa zadnje strane modula. Kao i kod integriranih sistema prema načinu montaže i neintegrirani se dijele na one koji se ne fiksiraju za strukturu krova i koji se mehanički fiksiraju za strukturu krova. Te isto tako kod fotonaponskih sistema koji se ne fiksiraju za strukturu krova obuhvaćaju različite solarne krovne module koji se preko postolja oslanjaju na krov. [15]

*Solarni krovni moduli* se lako postavljaju i mogu se pomicati prema potrebi jer nisu mehanički pričvršćeni za strukturu krova, već su samo prislonjeni na nju. Primjenjuju se uglavnom na ravnim krovovima. Postoje dvije vrste sistema prema

načinu montiranja ovakvih sistema. Prvi način je da se koriste betonski elementi koji doprinose stabilnosti zbog svoje težine, a i poprilično su isplativi. Drugi način je da se koriste metalna ili plastična postolja koja se ispunjavaju postojećim šljunkom na ravnim krovovima koji će doprinijeti masi i povećati stabilnost. [15]

Krovni neintegrirani fotonaponski sistemi koji se mehanički fiksiraju za strukturu krova moguće je razlikovati prema sljedećim mjestima postavljanja:

- koji se fiksiraju na ravni krov,
- koji se fiksiraju na kosi krov i
- elementi za zaštitu od sunčevog zračenja.

Kod ovakvih sistema FN moduli se montiraju preko raznih vrsta metalnih nosača veće i manje visine, te pomoću vijaka i drugih spojnih elemenata i fiksiraju se za strukturu krova. Ovisno o vrsti krovnog pokrova moguće je razlikovati postavljanje preko tri osnovne vrste pokrova:

- krov pokriven crijepom,
- krov pokriven šindrom i
- krov pokriven limom.

### **Podjela krovnih fotonaponskih sistema prema oblikovno-funkcionalnim karakteristikama krova**

Fotonaponski sistemi koji se ugrađuju na krovne površine se u odnosu na oblikovno-funkcionalne karakteristike krova mogu podijeliti na više vrsta:

- fotonaponske sisteme postavljene na ravne krovove i nadstrešnice,
- fotonaponske sisteme postavljene na kose krovove,
- fotonaponske sisteme postavljene na terasaste krovove,
- fotonaponske sisteme postavljene na zakrivljene (valovite) krovove.

## 4. Analiza isplativosti fotonaponskog sustava

Ukupni troškovi ulaganja se u mnogočemu razlikuju za svaki pojedini fotonaponski sustav, jer je svaki projekt FN sustava jedinstven i individualan, što zbog same veličine FN sustava, načina priključka, odabira opreme, mjesta postavljanja s obzirom na intenzitet Sunčeva zračenja...itd. Za potrebe analize isplativosti FN sustava istražili smo tržište da bismo dobili okviran pregled cijene i ponude.

Najvažnija i trenutno najskuplja komponenta svakog fotonaponskog sustava su fotonaponski moduli. Moraju zadovoljiti odgovarajuća tehnička svojstva, što znači da mora postojati sva potrebna tehnička dokumentacija kojom se dokazuju kvaliteta, funkcionalnost, ispitivanja, i godišnja proizvodnja. Kriteriji za odabir opreme su:

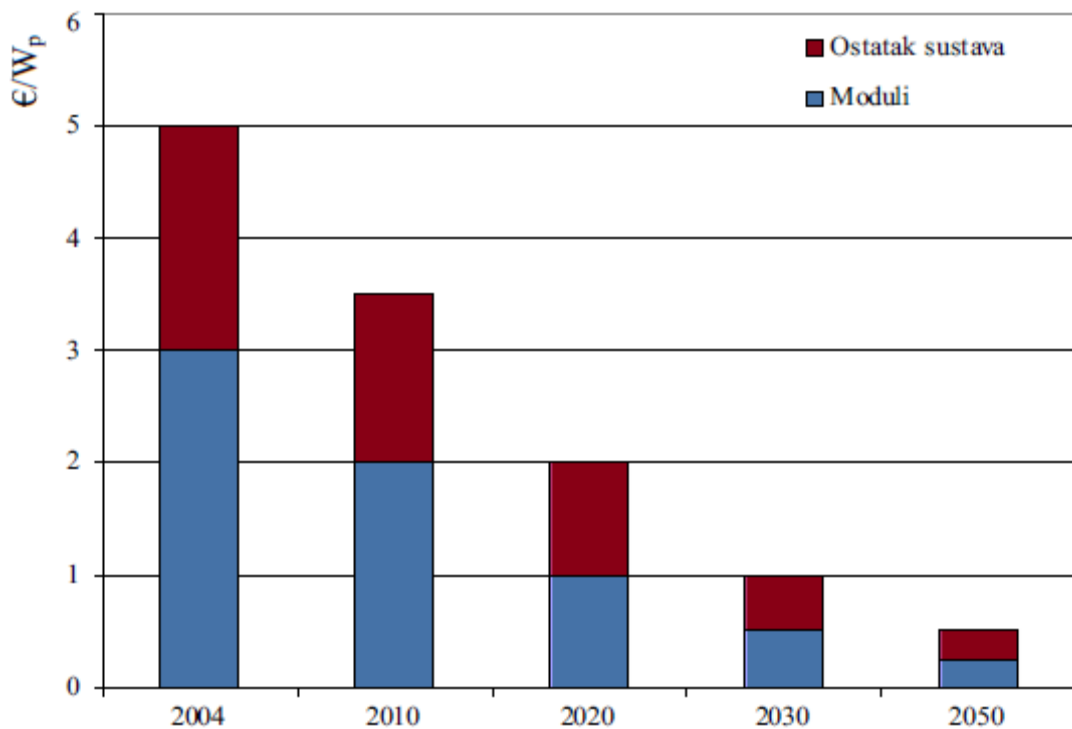


*Slika 4.1. Kriteriji za odabir opreme*

Ostale komponente FN sustava još su uvijek ispod 50% ukupne investicije. Na slici 4.2. možemo vidjeti udio cijene modula u ukupnoj cijeni FN sustava kao i realna predviđanja do 2050. godine. Na tržištu u 2004. godini cijena jednog modula bila je približno 3 €/W<sub>p</sub> (eura po vatu vršne snage), a 2 €/W<sub>p</sub> ostatak opreme fotonaponskog sustava. [4]

Cijena opada dramatično unazad 20 godina, te se tako predviđa da će se 2020. godine cijene modula i ostale komponente fotonaponskog sustava izjednačiti, odnosno biti jednake i iznositi oko 1 €/W<sub>p</sub>, a 2030. godine da će cijene pasti čak za 50% u odnosu na 2020. godinu, tako da će cijena modula iznositi oko 0,5 €/W<sub>p</sub>, koliko i ostale komponente fotonaponskog sustava. [4]

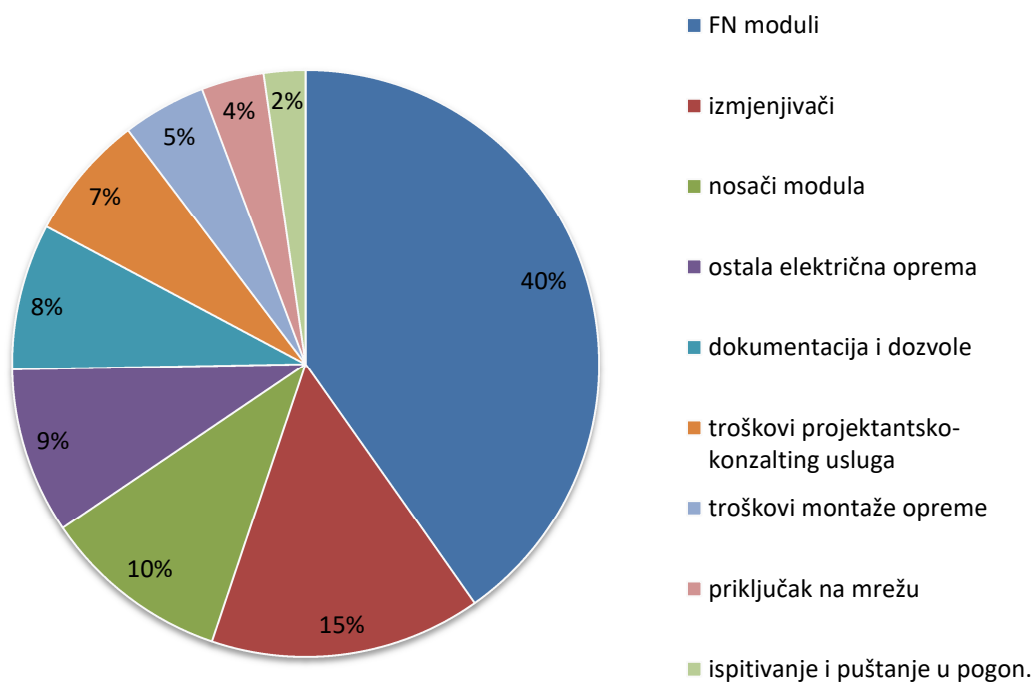
Dugoročno se predviđa da će ukupna cijena fotonaponskog sustava (moduli i ostala oprema sustava) iznositi oko 0,5 €/W<sub>p</sub>, što će dati daleko najpovoljniju proizvodnu cijenu električne energije u odnosu na bilo koji izvor energije, bio on obnovljiv ili neobnovljiv. [4]



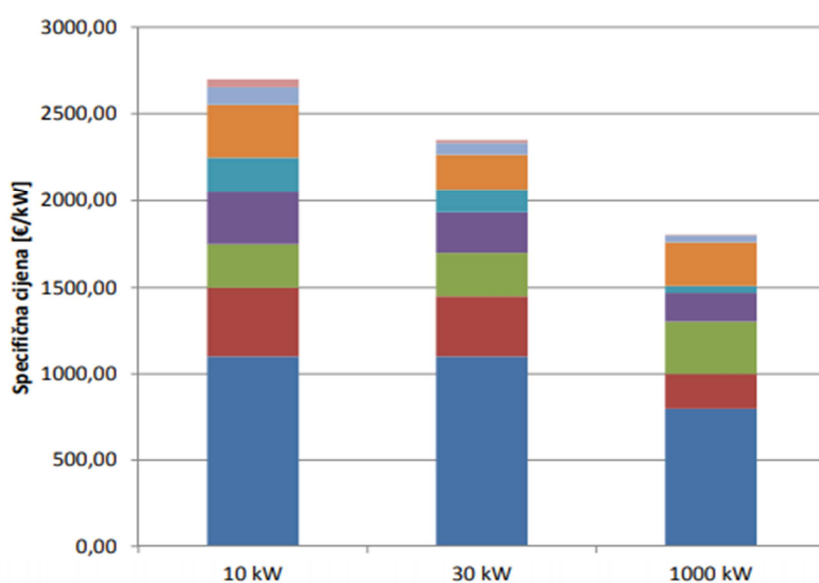
*Slika 4.2. Udio cijene modula u ukupnoj cijeni FN sustava*

#### 4.1. Troškovi fotonaponskog sustava

##### Fotonaponska oprema prema troškovima ulaganja

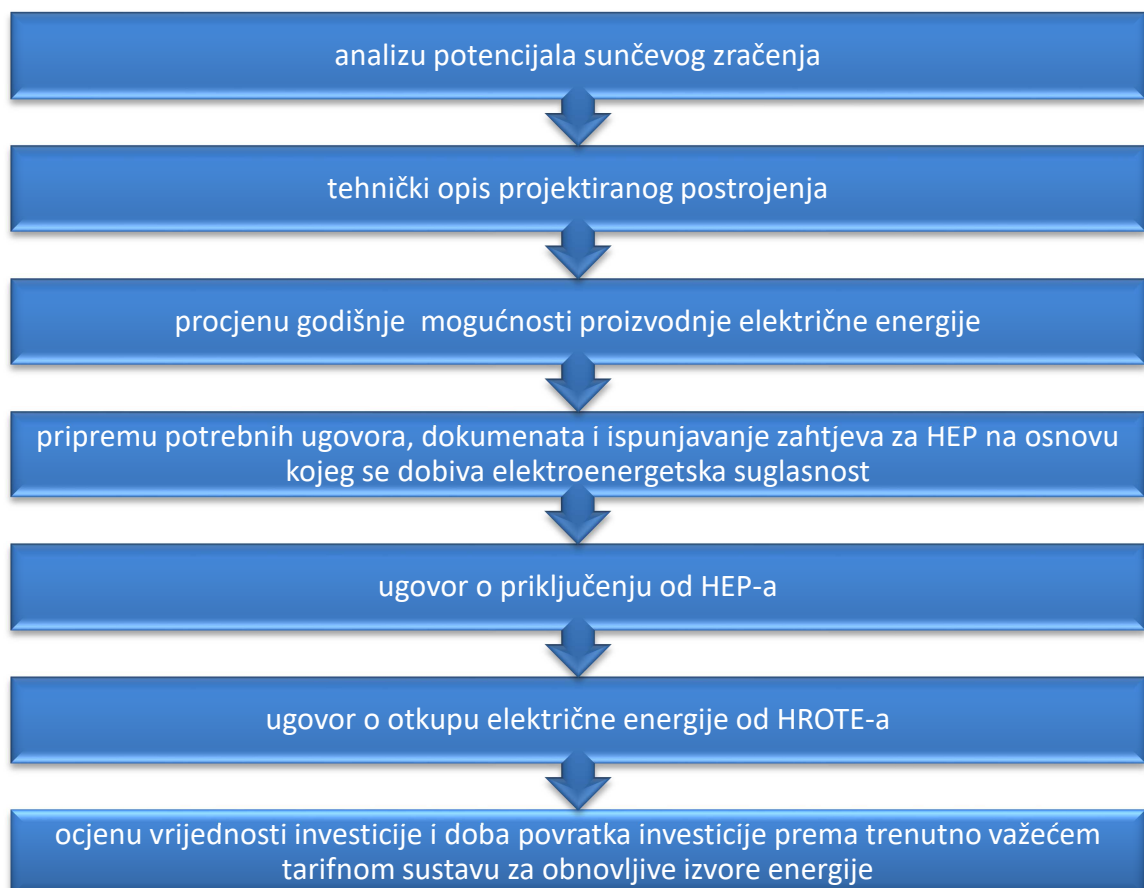


Slika 4.3. FN oprema prema troškovima ulaganja



Slika 4.4. Specifična cijena FN sustava

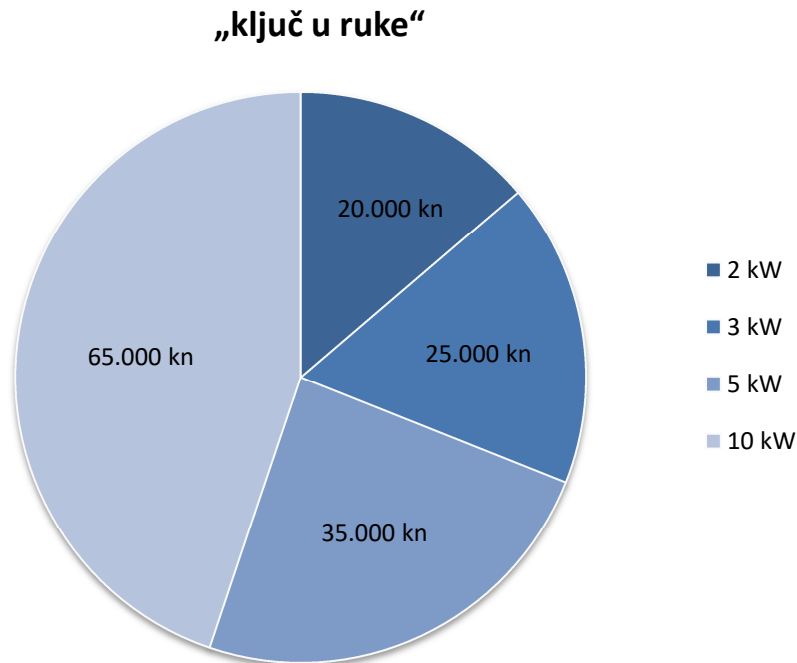
Kada govorimo o troškovima cijelog sustava od opreme pa sve do montiranja i puštanja u pogon postoji čitav niz proizvođača i tvrtki na tržištu kako u svijetu tako i u Hrvatskoj koji nude svoje cijene. Danas se u praksi sve više koristi opcija po sistemu tzv. „ključ u ruke“ (eng. *key in hand*) gdje tvrtke nude gotova tehnička rješenja za projekte manjih i većih FN sustava. Kako smo već ranije spomenuli da su projekti FN sustava jedinstveni i individualni zbog same kompliciranosti pristupa i šarolike ponude opreme. Razne tvrtke su se odlučile na ovaj tip sistema zbog pojednostavljivanja potencijalnim investitorima jer kompletan posao izrade, izračuna, procjena, puštanja u pogon te pribavljanja potrebne dokumentacije prepuštate stručnjacima koji garantiraju kvalitetom. Po ovom sistemu od opreme dolazi sve što vam je potrebno za projektiranog fotonaponskog sustava do 10 kW od solarnih panela, mrežnih pretvarača, nosača za krov, kablova, konektora, montiranja opreme, puštanja u pogon i ostale sitne opreme. Isporuka i ugradnja predviđena unutar 24 h. Idejni projekt ovakvog sistema uključuje:



**Slika 4.5.** Idejni projekt sistema „ključ u ruke“



Troškovi ovakvog sistema „ključ u ruke“ solarnih elektrana priključenih na javnu elektroenergetsku mrežu preko kućne instalacije instalirane snage do 10 kW, pretpostavljeni su na osnovi sličnih ponuda na području Republike Hrvatske.



*Slika 4.6. Troškovi sistema „ključ u ruke“*

Međutim zbog potrebe analize i samog individualnog poznavanja cijene opreme i montiranja FN sustava, u sljedećim poglavljima ćemo navesti i opisati ključnu fotonaponsku opremu i njihove bitne karakteristike, gdje su troškovi isto tako pretpostavljeni na osnovi sličnih ponuda na području Republike Hrvatske.

#### **4.1.1. Fotonaponski moduli**

U Hrvatskoj po proizvodnji i prodaji FN modula, ali i ostale opreme, na tržištu se ističe tvrtka SOLVIS – Hrvatski proizvođač solarnih fotonaponskih modula koja se nalazi u Varaždinu. Oni nude module od početne snage 50 W<sub>p</sub> do 240 W<sub>p</sub>, te tako cijene rastu sa snagom FN modula. Na svoje fotonaponske module daju 5 godina jamstva na proizvod i 25 godina jamstva na izlaznu snagu, što je uobičajena ponuda i kod ostalih proizvođača. Navest ćemo neke module:

SLC50 – 50 Wp - mono/polycrystalline, dimenzija 676 x 666mm, 5.2kg

- iznosi 1.500 kn

SLD100 – 100 Wp - mono/polycrystalline, dimenzija 1335 x 664mm, 9.8 kg

- iznosi 2.800 kn

SLB145 – 145 Wp mono/polycrystalline, dimenzija 1494 x 664 mm, 11 kg

- iznosi 4.000 kn

SLA210M – 210 Wp (60 cells) monocrystalline , sa kablovima i konektorima Tyco, dimenzija 1650 x 990 mm, 19.5 kg

- iznosi 4.600 kn

SLA240M – 240 Wp (60 cells) monocrystalline, sa kablovima i konektorima Tyco, dimenzija 1650 x 990 mm, 19.5 kg

- iznosi 5.200 kn

*Slika 4.7. Cijena FN modula*

#### **4.1.2. Izmjenjivači – inverteri**

Izmjenjivači pretvaraju istosmjernu struju FN modula u izmjeničnu struju reguliranog iznosa i frekvencije, sinkronizirane s naponom mreže. Izmjenjivači koji se primarno koriste za povezivanje fotonaponskog sustava s mrežom, dijele se na strujne i naponske izmjenjivače. Dok se s obzirom na regulaciju dijele na strujno upravljane i naponski regulirane izmjenjivače. Većina izmjenjivača je standardno opremljena sa:

- sustavom za praćenje rada mreže,
- uređajem za automatsku sinkronizaciju,
- zaštitnim uređajem,
- sustavom zaštite od istosmjerne struje i
- uređajem za uključenje i isključenje na mrežu.

Tvrtka SOLVIS u svojoj ponudi također nudi i izmjenjivače proizvođača SMA iz Njemačke koji proizvodi izmjenjivače – invertere za solarne umrežene sisteme. Imaju

3 vrste u ponudi, obične, s ravnotežom snage (eng. *power balancer*) i zaštitom prenapona (eng. *overvoltage protection*).

#### Obični FN izmjenjivači SMA Sunny Boy

- cijene se kreću od početne 5.330 kn do 15.810 kn

#### FN izmjenjivači SMA Sunny Mini Central sa ravnotežom snage

- cijene se kreću od početne 16.843 kn do 23.231 kn

#### FN izmjenjivači SMA Sunny Tripower

- cijene se kreću od početne 28.813 kn do 32.911 kn

*Slika 4.8. Cijena izmjenjivača proizvođača SMA*

### 4.1.3. Nosive konstrukcije

Nosiva konstrukcija je vrlo važan dio opreme FN sustava jer se na nju montiraju FN moduli. Zbog toga da bi se tijekom životnog vijeka osigurao siguran i neprekidan rad fotonaponskog sustava, potrebno je ugraditi što kvalitetniju opremu, te s obzirom na to da nosiva konstrukcija dolazi s uputama za upravljanje i montažu, da se taj dio posla postavljanja prepusti certificiranim radnicima zbog što kvalitetnije izvedbe. Elementi konstrukcije se uglavnom izrađuju od aluminija, međutim izrađuju se i od bakra, pocinčanog čelika, plemenitog čelika i nehrđajućeg čelika zbog otpornosti na koroziju. Elementi konstrukcija koji se ugrađuju na zemlji za montažu fotonaponskih elektrana, izrađeni su od konstrukcijskog čelika, a zaštita od korozije izvedena je vrućim cinkanjem.

U slučaju kada je element konstrukcije izložen slanoj atmosferi, te u cilju ispunjenja zahtjeva u pogledu duljeg životnog vijeka za vijčane elemente iz nehrđajućeg čelika potrebno je koristiti čelik klase V4A. U tom slučaju može se očekivati pojava korozije na spojevima (pogotovo na mjestima dodira elemenata konstrukcije izrađenih od aluminijских legura i elemenata konstrukcije izrađenih od nehrđajućeg čelika).

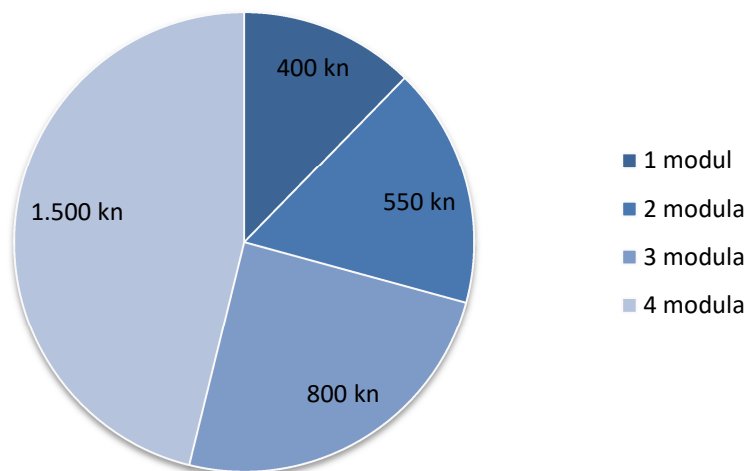
Ukoliko se pojavi, nastala korozija neće narušiti integritet konstrukcije i uzrokovati značajno oslabljenje konstrukcije, osim možda vizualnih promjena. Elementi izrađeni od čelika, a koji su izvedeni vrućim cinčanjem za primjenu u slanoj atmosferi, preporučuje se da elementi konstrukcije dodatno zaštitite bojanjem za zaštitu od korozije. Na slici 4.9. možemo vidjeti elemente konstrukcije koji se koriste pri montaži.



*Slika 4.9. Elementi nosive konstrukcije za montažu FN modula*

Prilikom kupnje nosača solarnih panela odnosno nosive konstrukcije, dolaze skupa sa vijcima, konstrukcijom i podloščima. U ponudi dolaze s 1, 2, 3 ili kompletna konstrukcija za 4 fotonaponska modula:

## nosači solarnih panela



*Slika 4.10. Cijena nosača solarnih panela*

Nabrojani nosači se pretežito koriste za krovne površine ili fasade, međutim postoje i nosive konstrukcije koje se montiraju na podu, odnosno zemlji (slika 4.11.). Nosač solarnih panela za zemljište koji čini kompletnu konstrukciju s 12 fotonaponskih modula dolazi u dvije varijante različitih dimenzija:

- 1580 x 808 mm iznosi 5.000 kn i
- 1650 x 992 mm iznosi 6.000 kn.



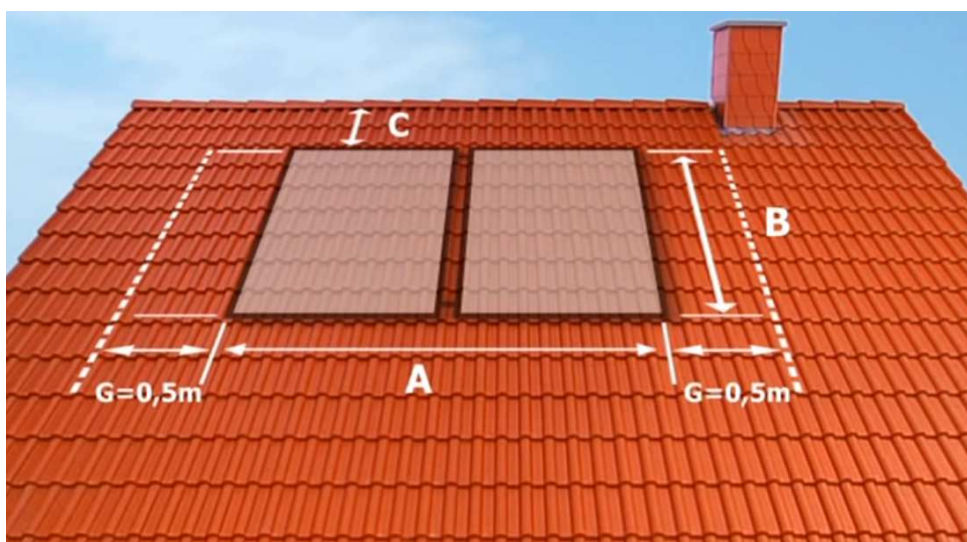
*Slika 4.11. Sustav za montažu na zemlji*

#### 4.1.4. Montiranje fotonaponskih sistema

Prilikom montiranja elemenata nosive konstrukcije uvijek je potrebno pridržavati se danih uputa i uvjeta montaže, jer ovisno o proizvođaču, različiti su načini montaže pojedinih konstrukcija. Stoga je nužno poštivati pravila montiranja, jer u suprotnom može se desiti prilikom loše izvedbe konstrukcije da fotonaponski moduli popuste ili popucaju i tako smanjuju vijek trajanja FN modula, a i samog sustava. U većini slučajeva proizvođači uz nosivu konstrukciju nude i usluge izvođenja koje mogu iznositi od 700 kn pa prema gore s obzirom na obujam posla.

U prethodnom poglavlju smo detaljnije opisali osnovnu podjelu fotonaponskih sistema prema načinu montiranja, a za naš primjer montiranja opisat ćemo postupak montaže krovnih neintegriranih fotonaponskih sistema koji se mehanički fiksiraju za strukturu krova. Iako ovaj postupak danas predstavlja najstariji način montaže, kod nas je u praksi još uvijek najpopularniji, a sastoji se od sljedećih koraka:

- prvi korak pri profesionalnom izvođenju radova je izmjera krovne površine. (slika 4.12.) Na slici A i B označavaju širinu i dužinu modula, C označuje minimalnu udaljenost modula od vrha krova koja se najčešće uzima kao 2 slobodna reda pokrova od modula, a G označuje udaljenost od minimalno pola metra s lijeve i desne strane modula zbog slobodnog prostora za spajanje konektora i kablova



*Slika 4.12. Prikaz izmjere krovne površine*

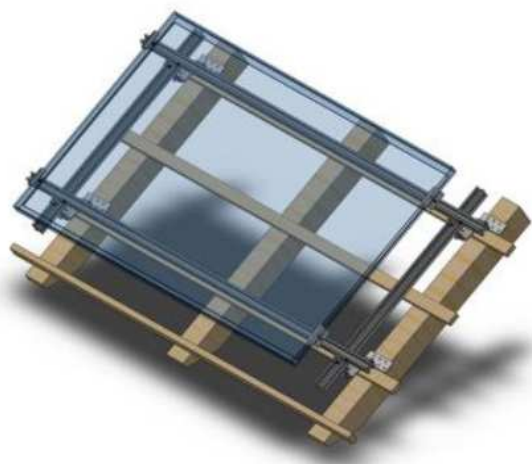
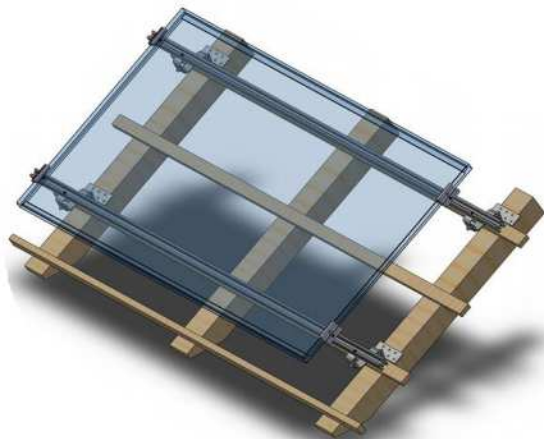
- nakon što smo izmjerili krovnu površinu i utvrdili pozicije modula, sljedeći korak je privremeno uklanjanje pokrova na mjesto gdje dolaze kuke. Podesive kuke od nehrđajućeg čelika za prihvat nosača montiramo na letvice i pričvršćujemo ih vijcima za drvo 8 x 100 mm, materijala od nehrđajućeg čelika. Kada smo kuke montirali možemo vratiti dijelove pokrova koje smo prethodno uklonili
- Prije montiranja nosača potrebno je pojedine elemente pripremiti i spojiti na tlu zbog sigurnosti i zaštite na radu. Na nosače je potrebno instalirati pred-montirani element za prihvat fotonaponskih modula koji služe kao sigurnost pri klizanju. Ako se radi o većem broju nosača za 2, 3 ili više FN modula na tlu je potrebno spojiti i spojnice za produljenje osnovnog nosača
- Ako su svi elementi spremni za postavljanje i pravilno spojeni, montiramo nosače na prethodno postavljene podesive kuke i pričvršćujemo ih specijalnim samorezajućim vijcima za nosače s finim navojem od nehrđajućeg čelika, no ne pričvršćujemo ih još do kraja da bi nosače poslije mogli poravnat prilikom montiranja modula na njih. Izmjerimo gornje i donje nosače da potvrdimo da su pod pravim kutem. (slika 4.13.)



*Slika 4.13. Prikaz pravilno montiranih nosača*

- Sada možemo montirati FN module na nosače. Pažljivo ih dopremimo na krov i postavimo na pred-montirane elemente za prihvat fotonaponskih modula. Kada sjednu na svoje mjesto krajeve modula pričvršćujemo elementima za međusobno spajanje nosača tzv. solarnim stezaljkama
- na kraju jedan ili više komada pokrova ovisno o veličini sustava, zamijenimo ventilacijskim tipom pokrova kroz kojeg će se provući konektori i kablovi potrebni za spajanje modula na priključni ormarić

Prema tipu nosača postoje još jednostruki i dvostruki nosači (slika 4.14.). Jednostruki nosači primjereno se koriste za krovne površine u regijama s nižim vrijednostima referentnih opterećenja od snijega i vjetra, dok dvostruki pružaju veću stabilnost i otpornost te se koriste za krovne površine u regijama s većim vrijednostima referentnih opterećenja od snijega i vjetra.



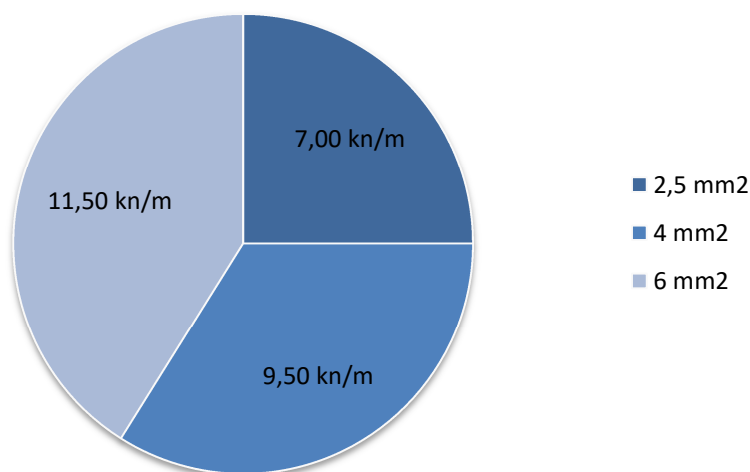
**Slika 4.14.** Jednostruki nosač (lijevo) i dvostruki nosač (desno)



#### 4.1.5. Ostala električna oprema

Pod ostalu električnu opremu spadaju kablovi i konektori. Kablovima se međusobno spajaju FN moduli zbog atmosferskih utjecaja, sunčevog zračenja, kiše i visoke temperature. Kod projektiranja FN sustava kabel mora biti otporan pri srednjim i teškim mehaničkim opterećenjima, u suhim i vlažnim uvjetima, u uvjetima s viših temperatura od standardnih i velikom Sunčevom zračenju. Cijene kablova prema presjeku žica su sljedeće:

**Cijene kablova prema presjeku žica**



*Slika 4.15. Cijene kablova prema presjeku žica*

Konektori su komponente koje služe za priključenje fotonaponske opreme preko kablova. Prilikom elektroinstalaterskih radova potrebno je da se konektori dobro spoje kako bi se izbjegle moguće smetnje i kvarovi. MC4 je standardni konektor koji se koristi za priključivanje solarnih fotonaponskih modula. Kompletan set se sastoji od muškog i ženskog ulaza. Cijena jednog konektora može iznositi od početnih 20 kn do 250 kn ovisno o kvaliteti materijala i broju ulaza.

## 5. Priklučenje fotonaponskog sustava na mrežu

### 5.1. Norme fotonaponskih sustava

Norme su važne da bi se proizvod mogao tehnički definirati i kako bi se utvrdile zahtijevane karakteristike i ispitivanja, te koji su kriteriji za uspješno ispitivanje. Nositelji normizacije na području fotonaponskih sustava su IEC i IEEE-SA, a ključne norme na području fotonaponskih sustava su:

- IEC 61730 Photovoltaic Module Safety,
- IEC 61215 Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval i
- IEC 61646 Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval.

Norma IEC 61730 opisuje temeljne konstrukcijske zahtjeve za fotonaponske module. Njihov cilj je osigurati siguran mehanički i električni rad tijekom predviđenog životnog vijeka. Norma IEC 61215 i norma IEC 61646 opisuje tip modula i zajedno sa normom IEC 61730 definira temeljne zahtjeve na konstrukciju fotonaponskih modula.

IEEE SCC21 je razvio niz normi, smjernica i preporuka u svezi funkcionalnih i pogonskih zahtjeva za rad fotonaponskih sustava i opreme. [17]

- IEEE 1262 Recommended Practice for Qualification of Photovoltaic (PV) Modules,
- IEEE 1374 Guide for Terrestrial Photovoltaic Power System Safety i
- IEEE 928 Recommended Criteria for Terrestrial Photovoltaic Power System.

## 5.2. Dokumentacija za priključak na mrežu

Prilikom priključenja na mrežu neke elektrane potrebno je ishoditi zahtjeve i zadovoljiti sve potrebne uvjete za priključak na elektroenergetsku mrežu u obliku definiranih zakona, propisa, pod-zakonskih akata, i normi. Na samom početku potrebno je uvijek ustvrditi isplativost neke elektrane koja se radi u sklopu projekta. u idejnom projektu moraju biti provedena istraživanja i analize pomoću raznih računalnih programa i proračuna solarnih elektrana. Potrebno je rješenje o upisu u registar projekata i postrojenja za korištenje obnovljivih izvora energije, elektroenergetska suglasnost, ugovor o korištenju mreže, ugovor o opskrbi električnom energijom, rješenje o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača električne energije i ugovor o otkupu električne energije. U nastavku je nabrojana procedura i sva potrebna dokumentacija od samog početka idejnog projekta pa sve do priključka na elektroenergetsku mrežu:

- elektrotehnički projekt: idejni i glavni projekt sunčane elektrane,
- PEES – Prethodna elektroenergetska suglasnost dobivena od HEP-a prema uvjetima danim iz idejnog projekta,
- EES – elektroenergetska suglasnost dobivena od HEP-a za priključak na elektroenergetsku mrežu,
- ugovor o priključenju i odobrenju za instaliranje fotonaponskog postrojenja,
- ugovor o otkupu električne energije iz postrojenja Sunčane elektrane,
- Izjava o suglasnosti,
- HEP – zahtjev za trajni pogon s priložima,
- izvješće o pregledu i ispitivanju sunčane elektrane,
- Izvještaj o provedenom ispitivanju mjerene kvalitete električne energije prema HRN EN 50160:2012,
- ugovor o korištenju javne usluge na mreži,
- HEP – dozvola za trajni pogon,
- izjava izvođača radova o izvedenim radovima i uvjetima održavanja građevine,
- građevinski dnevnik,
- zapisnik o izgradnji sunčane elektrane i
- izvješće nadzornog inženjera. [18]

### 5.3. Naknada za poticanje proizvodnje električne energije iz OIE

Jedan od strateških ciljeva energetske politike EU je poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije (OIE). Svaka država članica EU postavlja svoj cilj za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i visokoučinkovite kogeneracije (OIEiK). Tako i Hrvatska kada je postala članica EU, Vlada Republike Hrvatske je 1. srpnja 2007. donijela Uredbu o minimalnom udjelu električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije ("Narodne novine", br. 67/2007). Prema toj Odluci, svi kupci električne energije u Republici Hrvatskoj od 2007. godine. moraju plaćati Naknadu za obnovljive izvore energije i visokoučinkovitu kogeneraciju (OIEiK) u iznosu od 0,105 kn/kWh. [21]

Naknadu zatim prikupljaju svi opskrbljivači električnom energijom na području Republike Hrvatske i prosljeđuju Hrvatskom operatoru tržišta energije (HROTE-u). Hrvatski operator tržišta energije (HROTE), temeljem ugovora, povlaštenim proizvođačima koji električnu energiju proizvode iz obnovljivih izvora energije iz hidroelektrana, vjetroelektrana, elektrana na biomasu, elektrana na krutu biomasu, geotermalnih elektrana, elektrana na bioplin, elektrana na deponijski plin, elektrana na ostale obnovljive izvore (morski valovi, plima i oseka...) i u našem slučaju iz sunčanih elektrana isplaćuje naknadu za električnu energiju isporučenu u mrežu. Prema tarifnom sustavu za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije - ("Narodne novine", br. 33/2007) poticajna cijena dana je u tablici 1. u protekle tri godine za sunčane elektrane do 10 kW, od 10 kW do 30 kW i veće od 30 kW. [21]

**Tablica 1.** Poticajna cijena električne energije iz obnovljivih izvora energije

| Tip postrojenja  | u 2016.g.<br>(kn/kWh) | u 2017.g.<br>(kn/kWh) | u 2018.g.<br>(kn/kWh) |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Sunčana elektrana instalirane snage do uključivo 10 kW | 4,1656                | 4,1198                | 4,1651                |
| Sunčana elektrana instalirane snage od 10 kW do 30 kW  | 3,6755                | 3,6351                | 3,6751                |
| Sunčana elektrana instalirane snage veće od 30 kW      | 2,5728                | 2,5445                | 2,5725                |

## 6. Zaključak

U zadnje vrijeme obnovljivi izvori energije polako se počinju probijati u svijetu u opskrbi električnom energijom. Iako neograničen, besplatan i čist izvor energije koji smanjuje onečišćenje, još uvijek ne mogu konkurirati tradicionalnim fosilnim gorivima koji su i dalje dominantni izvori energije u većini država diljem svijeta. Razlog tomu su sredstva i poticaji od strana država i političara koji su usmjereni u obnovljive izvore energije izuzetno mali u odnosu na sredstva koja se izdvajaju za kupovinu, rafiniranje, transport i distribuciju fosilnih goriva te isto tako slaba tehnološka podrška sektoru obnovljivih izvora energije. Republika Hrvatska zemlja je iznimno siromašna fosilnim energentima, ali zato ima veliki potencijal u korištenju i proizvodnji svih obnovljivih izvora energije, a najviše Sunčeve energije zbog dobrog geografskog položaja.

Međutim trendovi i poticaji su u porastu te tako ulaskom u EU, Hrvatska je postala članica zajednice koja zagovara poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije te je tako i Hrvatska donijela na snagu Odluku gdje isplaćuje naknadu povlaštenim proizvođačima koji električnu energiju proizvode iz obnovljivih izvora energije. Isto tako, banke potiču tako što nude tzv. „zelene kredite“. Namijenjeni su investiranju u zelenu gradnju i povećanju energetske učinkovitosti stambenih nekretnina u smislu kupnje i ugradnje fotonaponskih sustava. Cijena opada dramatično unazad 20 godina, te se tako predviđa da će se 2020. godine cijene modula i ostale komponente fotonaponskog sustava izjednačiti, odnosno biti jednake i iznositi oko 1 €/W<sub>p</sub>. Prilikom investicije i instalacije FN sustava, oko 50% od ukupne investicije potrebno je izdvojiti samo na fotonaponske module dok dakle polovicu na ostatak cijelog sustava koji uključuje od elektroničke opreme, dozvola i dokumentacije pa sve do priključenja na mrežu. Zbog toga trendovi na tržištu su takvi da se investicija najviše isplati na FN sustave preko 100 kW, dakle objekte veće površine poput javnih ili poslovnih objekata preko kojih se još mogu povući i poticajna bespovratna sredstva EU fondova.

Najčešći način ugradnje solarnih panela instalirane snage do 10 kW je postupak montaže krovnih neintegriranih fotonaponskih sistema koji se mehanički fiksiraju za

strukturu krova. Iako ovaj postupak danas predstavlja najstariji način montaže, kod nas je u praksi još uvijek najpopularniji, a razlog tomu je jednostavnost ugradnje i pristupačna cijena.

Korisnici obiteljskih kuća, FN sustava instalirane snage do 10 kW, rijetko se odlučuju zbog neisplativosti i njihov broj danas je simboličan. Okvirni trošak ugradnje solarne elektrane od 5 kW za montažu, projekt, svu potrebnu opremu i puštanje u pogon s uključenim PDV-om iznosi oko 70.000 kuna, te uzmemo u obzir da je njihova rata za struju godišnje 4.000 kuna. Potrebno je 18 godina da se vrati uloženo u solarnu elektranu. Međutim u tu cijenu nije uključen priključak HEP-a koji varira od 6.000 pa sve do 20.000 kuna i to predstavlja velik problem potencijalnim građanima koji žele postaviti solarnu elektranu jer iz novog pravilnika nemoguće je iščitati kako će se vršiti mjerenje i koliko će koštati priključenje. Hoće li imati jedno brojilo, dva ili tzv. pametno, dvostrano brojilo koje je skupo i hoće li im se onaj višak koji isporuče u mrežu vratiti kako bi bili na nuli, a bez toga se ne može znati hoće li solarna elektrana biti isplativa. Važno je da kućanstvo proizvodi električnu energiju i da višak preda natrag u mrežu, a kad nedostaje, da energiju preuzme iz mreže. Na godišnjoj razini da se postane energetski učinkovit važno je da taj zbroj bude nula ili što bliže nuli. Stoga je nezamislivo da HEP ima cjenik po kojem prodaje električnu energiju korisniku po otprilike jednu kunu, koji je ujedno i proizvođač, a kupuje od proizvođača po 0,28 - 0,30 kuna. Što je praktički zanemariva cijena prodavanja viška u mrežu.

Tehnologija je pojeftinila i takvi projekti mogu biti isplativi, međutim najveći problem i dalje leži u birokratskoj proceduri. Glavni je razlog sporost i nepripremljenost cijelog zakonodavnog sustava i operatora. Problem našeg zakonodavnog sustava jest previše zakona i njihovo međusobno ispreplitanje i često mijenjanje pravilnika te to znatno utječe na klimu ulaganja u solarne sustave.

U Varaždinu, \_\_\_\_\_

## 7. Literatura

- [1] European Commission: Europe 2020: A strategy for smart, sustainable and inclusive growth, Brussels, 2010.
- [2] Lj. Majdandžić: Solarni sustavi, Zagreb, 2010.
- [3] B. Labudović: Osnove primjene fotonaponskih sustava, Zagreb, 2011.
- [4] Lj. Majdandžić: Fotonaponski sustavi, Zagreb, 2010.
- [5] B. Labudović: Obnovljivi izvori energije, Zagreb, 2002.
- [6] German Solar Energy Society: Planning and Installing Photovoltaic Systems, London, 2005.
- [7] P. Kulišić: Sunčane ćelije, Školska knjiga, Zagreb, 1994.
- [8] <http://www.itrs.hr/solarni-fotonaponski-sustavi/>, dostupno 22.11.2018.
- [9] <http://flamtron.hr/solar/index.php/hr/fotonaponski-sustavi/79-solarna-energija/fotonaponski-sustavi>, dostupno 22.11.2018.
- [10] <http://solarna.besplatna-energija.com/fotonaponski-moduli/cjenik/fotonaponski-moduli/solaris-fotonaponski-moduli.html>, dostupno 22.11.2018.
- [11] <http://www.solarni-paneli.hr/pdf/cjenik.pdf>, dostupno 23.11.2018.
- [12] <http://www.solarno.hr/katalog/proizvod/KLJUC10KW/solarne-elektrane-1-15kw-kljuc-u-ruke>, dostupno 23.11.2018.
- [13] <http://flamtron.hr/solar/index.php/hr/solarne-elektrane-kljuc-u-ruke/83-solarna-energija/solarne-elektrane>, dostupno 23.11.2018.
- [14] <http://www.nika-konstrukcije.hr/katalozi/Konstrukcije-za-montazu-suncanih-fotonaponskih-elektrana.pdf>, dostupno 23.11.2018.
- [15] V. Kosorić: Aktivni solarni sistemi, Beograd, 2008.
- [16] A. Tunjić: Tehnički uvjeti za priključak mikro sunčanih elektrana na niskonaponsku mrežu, Šibenik, 2008.
- [17] T. Pehar: Smjernice za izradu projektne dokumentacije fotonaponskog sustava spojenog na elektroenergetsku mrežu, Diplomski rad, FER, Zagreb, 2009.
- [18] D. Pajan: Utjecaj solarne elektrane na mrežu u točki priključenja, Završni rad, UNIN, Varaždin, 2016.
- [19] A. Žihner: Analiza utjecaja izgradnje fotonaponskih sustava na opterećenje elektroenergetskog sustava i cijenu električne energije na otoku Korčuli, Završni rad, FER, Zagreb, 2014.
- [20] <http://www.energetika-net.com/vijesti/energetsko-gospodarstvo/hep-ov-trzisni-audio-raste-25514>, dostupno 11.12.2018.
- [21] <http://www.hep.hr/elektra/kupci/cesta-pitanja/sto-je-naknada-za-poticanje-proizvodnje-elektricne-energije-iz-obnovljivih-izvora/1541>, dostupno 11.12.2018.

## Popis slika

|  |    |
|--|----|
| <b>Slika 1.1.</b> Godišnje sunčevo zračenje na površini zemlje u usporedbi s godišnjom potrošnjom energije u svijetu te svjetskim zalihama fosilnih i nuklearnih goriva..... | 2  |
| <b>Slika 2.1.</b> Prikaz pojave napona uslijed fotonaponskog efekta u solarnoj ćeliji.....   | 3  |
| <b>Slika 2.2.</b> Fotonaponska ćelija kao izvor električne energije.....   | 4  |
| <b>Slika 2.3.</b> Kristalne ćelije različitih boja i dimenzija.....  | 5  |
| <b>Slika 2.4.</b> Vrste solarnih ćelija.....   | 6  |
| <b>Slika 2.5.</b> Postupak proizvodnje FN ćelije od kristalnog silicija.....   | 8  |
| <b>Slika 3.1.</b> Podjela fotonaponskih sustava.....   | 11 |
| <b>Slika 3.2.</b> Osnovni prikaz autonomnog fotonaponskog sustava.....   | 12 |
| <b>Slika 3.3.</b> FN sustav priključen na javnu elektroenergetsku mrežu preko kućne instalacije.....   | 14 |
| <b>Slika 3.4.</b> Minimalan razmak između modula.....  | 16 |
| <b>Slika 3.5.</b> Pomični fotonaponski sistemi.....  | 17 |
| <b>Slika 3.6.</b> Primjeri različitih oblika solarnih crjepova.....  | 20 |
| <b>Slika 3.7.</b> Primjeri solarne šindre ugrađene u kombinaciji s klasičnom šindrom.....  | 21 |
| <b>Slika 4.1.</b> Kriteriji za odabir opreme.....  | 23 |
| <b>Slika 4.2.</b> Udio cijene modula u ukupnoj cijeni FN sustava.....  | 24 |
| <b>Slika 4.3.</b> FN oprema prema troškovima ulaganja.....   | 25 |
| <b>Slika 4.4.</b> Specifična cijena FN sustava.....  | 25 |
| <b>Slika 4.5.</b> Idejni projekt sistema „ključ u ruke“.....   | 26 |
| <b>Slika 4.6.</b> Troškovi sistema „ključ u ruke“.....   | 27 |
| <b>Slika 4.7.</b> Cijena FN modula.....  | 28 |
| <b>Slika 4.8.</b> Cijena izmjenjivača proizvođača SMA.....   | 29 |
| <b>Slika 4.9.</b> Elementi nosive konstrukcije za montažu FN modula.....   | 30 |
| <b>Slika 4.10.</b> Cijena nosača solarnih panela.....  | 31 |
| <b>Slika 4.11.</b> Sustav za montažu na zemlji.....  | 31 |
| <b>Slika 4.12.</b> Prikaz izmjere krovne površine.....   | 33 |
| <b>Slika 4.13.</b> Prikaz pravilno montiranih nosač.....   | 33 |
| <b>Slika 4.14.</b> Jednostruki nosač (lijevo) i dvostruki nosač (desno).....   | 34 |
| <b>Slika 4.15.</b> Cijene kablova prema presjeku žica.....   | 35 |

## Popis tablica

|  |    |
|--|----|
| <b>Tablica 1.</b> Poticajna cijena električne energije iz obnovljivih izvora energije..... | 38 |
|--|----|



# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za graditeljstvo

STUDIJ preddiplomski stručni studij Graditeljstvo

PRISTUPNIK Filip Pintarić

MATIČNI BROJ 1269/336

DATUM 22.02.2019.

KOLEGIJ Završni radovi i instalacije u graditeljstvu

NASLOV RADA Analiza isplativosti ugradnje fotonaponskih sustava na obiteljske kuće u RH

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Cost- Benefit Analysis for PV Modules Implementation on Family Houses in Croatia

MENTOR Antonija Bogadi

ZVANJE predavač

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. prof.dr.sc. Božo Soldo
2. mr.sc. Vladimir Jakopec, predavač
3. Antonija Bogadi, predavač
4. dr.sc. Aleksej Aniskin, viši predavač
5. \_\_\_\_\_

## Zadatak završnog rada

BROJ 350/GR/2019

OPIS

Pristupnik u Radu treba istražiti tekuće trendove implementacije fotonaponskih modula u Republici Hrvatskoj. Potrebno je opisati tehnologiju različitih načina ugradnje i funkcioniranja PV modula, s građevinskog i ekonomskog aspekta, te aspekta zaštite okoliša.

S građevinskog aspekta potrebno je opisati karakteristične elektroinstalacijske sheme te postupak ugradnje fotonaponskih modula na obiteljsku kuću.

S ekonomskog aspekta potrebno je opisati najčešće korištene poslovne modele za ugradnju modula i prodaju viška električne energije, te odnose dobivenih i uloženih financijskih sredstava na studiji slučaja. Potrebno je predstaviti i trenutnu zakonsku regulativu u Republici Hrvatskoj i smjernice za upravljanje električnom energijom na studiji slučaja obiteljske kuće.

U Radu je potrebno analizirati i utjecaj korištenja fotonaponskih modula na okoliš i njihovu ulogu na smanjivanje utjecaja klimatskih promjena.

ZADATAK URUČEN

01.03.2019

POTPIS MENTORA



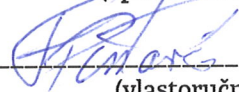
*[Handwritten signature]*

IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Filip Pintarić (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/~~ica~~ završnog/~~diplomskog~~ (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Analiza isplativosti ugradnje fotonaponskih sustava na obiteljske kuće u RH (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

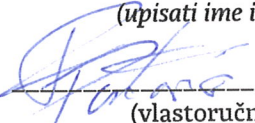
Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

  
-----  
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Filip Pintarić (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/~~diplomskog~~ (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Analiza isplativosti ugradnje fotonaponskih sustava na obiteljske kuće u RH (upisati naslov) čiji sam autor/~~ica~~.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

  
-----  
(vlastoručni potpis)