

# Proračun isplativosti fotonaponskih sustava u ovisnosti na promjenu cijene električne energije i goriva

---

Kaić, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:655009>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-24**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

*Završni rad br. 375/PS/2022*

**Proračun isplativosti fotonaponskih sustava u ovisnosti na  
promjenu cijene električne energije i goriva**

**Ivan Kaić, 0195036266**

Varaždin, rujan 2022. godine



**Sveučilište  
Sjever**

**Odjel za Strojtarstvo**

**Završni rad br. 375/PS/2022**

**Proračun isplativosti fotonaponskih sustava u ovisnosti na  
promjenu cijene električne energije i goriva**

**Student**

Ivan Kaić, 0195036266

**Mentor**

dr.sc. Tomislav Veliki, docent

Varaždin, rujna 2022. godine

# Sažetak

**Autor:** Ivan Kaić

**Naslov završnog rada:** Proračun isplativosti fotonaponskih sustava u ovisnosti na promjenu cijene električne energije i goriva

U ovom radu obrađena je Sunčeva energija, insolacija i njena raspršenost (difuzija) na Zemljinu površinu. Također, prikazana je karta Hrvatske u ovisnosti srednje godišnje ozračenosti na vodoravnu plohu, a spominje se i povijest uporabe Sunčeve energije i razvoja fotonaponskih ćelija. Razmatra se i tehnologija, odnosno princip rada fotonaponskih ćelija te je objašnjen fotoelektrični efekt. Na kraju teoretskog dijela rada spominje se podjela fotonaponskih ćelija, od starijih tehnologija, kao što su silicijske ćelije, do novijih, koje imaju veću iskoristivost, ali su znatno skuplje i trenutno preskupe za komercijalnu upotrebu. Također se razmatraju prednosti i mane On-Grid i Off-Grid fotonaponskog sustava.

U drugom dijelu, napravljen je proračun Off-Grid fotonaponskog sustava i usporedba isplativosti takvog sustava za različite cijene goriva i električne energije. Na kraju su izneseni zaključci te moguća poboljšanja koja se mogu uvesti.

**Ključne riječi:** Fotonaponski sustavi, Off-Grid, Otočni sustav, Iskoristivost FN sustava

## **Popis korištenih kratica**

<b>FN</b>	Fotonaponski sustav
<b>kW</b>	kilovat
<b>kW/h</b>	kilovat po satu
<b>MW</b>	megavat
<b>TW</b>	teravat
<b>Ah</b>	amper sat
<b>RH</b>	Republika Hrvatska
<b>KN</b>	kuna
<b>l</b>	litra

# Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Sunčeva energija .....	2
2.1 Insolacija .....	3
3. Povijest fotonaponskih sustava .....	5
4. Tehnologija fotonaponskih ćelija .....	8
4.1 Fotonaponski efekt .....	8
4.2 Fotonaponske ćelije.....	8
4.2.1 Princip rada fotonaponskih ćelija.....	8
4.2.2 Podjela fotonaponskih ćelija s obzirom na materijal .....	11
4.2.2.1 Monokristalne Si ćelije.....	11
4.2.2.2 Polikristalne Si ćelije.....	11
4.2.2.3 Amorfne Si ćelije .....	12
4.2.2.4 Galij arsenidne (GaAs) ćelije .....	13
4.2.2.5 Kadmij telurijeve (CdTe) ćelije.....	14
5. Fotonaponski sustavi .....	15
5.1 On-grid sustavi .....	15
5.2 Off-grid (otočni) sustavi.....	16
6. Projektiranje otočnog fotonaponskog sustava.....	17
6.1 Definiranje potrošnje objekta .....	17
6.2 Odabir akumulatora (baterije) .....	18
6.3 Odabir fotonaponskih modula.....	20
6.4 Odabir generatora.....	22
6.5 Broj fotonaponskih modula.....	23
6.6 Odabir mrežnog izmjenjivača .....	26
6.7 Odabir bidirekcijskog pretvarača .....	27
7. Troškovi sustava.....	28
Sole Max 8000W 48V pretvarač sa MPPT .....	28
Agregat KIPOR KDE6700.....	28
TROJAN SSIG 12 255Ah.....	28
Izmj. Fronius Symo 4.5-3-M, 4.5kW, 3f, IP55, TL 2 MppTracker .....	28
7.1 Energetska obnova .....	28
7.2 Isplativost sustava .....	30
8. Isplativost sustava s obzirom variranja cijena goriva i električne energije.....	31

9.1 Variranje cijena goriva ( 9 – 19 kn) te cijena električne energije (0,77, 1,1, 1,5, 2, 3 kn/kWh).....	31
9. Zaključak.....	34
10. Literatura.....	35
11. Popis slika.....	36
12. Popis Tablica.....	37
13. Popis Grafova.....	38

## 1. Uvod

Danas se suočavamo s različitim ekološkim problemima. Jedan od najvećih svakako je globalno zagrijavanje i povećanje prosječnih temperatura radi korištenja previše ugljikovodika kao izvora energije. Zbog navedenih problema sve više ljudi okreće se obnovljivim izvorima energije. Stoga se češće viđaju različiti fotonaponski sustavi: od čitavih elektrana pa do sustava za obiteljske kuće, vikendice, male sustave za prometnu signalizaciju i slično. Također, postoje državni poticaji za izgradnju fotonaponskih sustava.



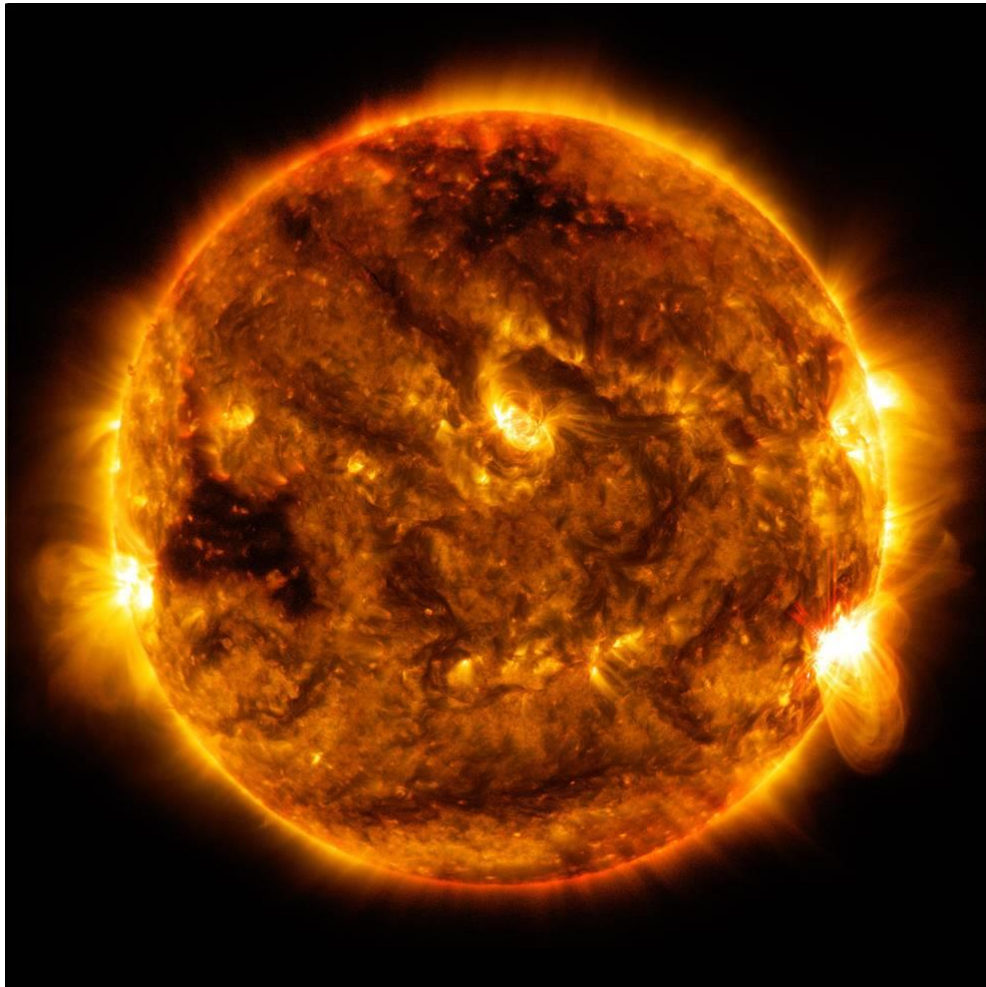
*Slika 1. Primjer fotonaponske elektrane [13]*

U posljednje vrijeme zbog različitih čimbenika i događaja u svijetu dolazi do rasta cijena energenta i materijala. Cilj ovog završnog rada je proračunati Off-grid ili otočni fotonaponski sustav za objekt koji se nalazi u gradu Koprivnici u Podravini. Izračunom će se doći do cijene 1 kWh proizvedenog s tim sustavom koja će se potom usporediti s cijenom 1 kWh iz gradske mreže. Na kraju su proračunate i uspoređene cijene energenata u slučaju kada bi one bile više od sadašnjih.



## 2. Sunčeva energija

Prije rasprave o Sunčevoj energiji, spominje se kako je Sunce središnja zvijezda istoimenog sustava u kojem se nalazi i planet Zemlja. Oblika je užarene kugle od smjese plinova koja u svojem kemijskom sastavu sadrži uglavnom vodik i helij, ali i kisik, ugljik, željezo, neon, dušik, silicij sumpor te magnezij.[1]

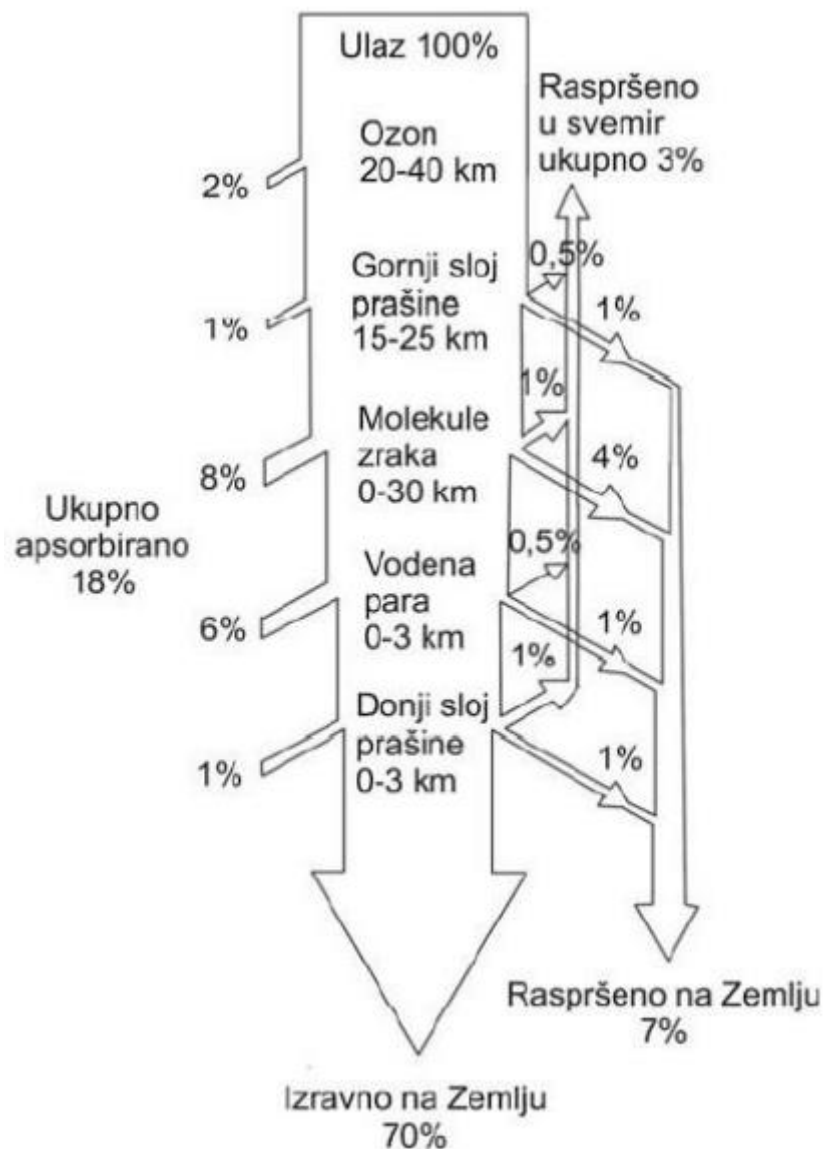


*Slika 2. Sunce kao užarena kugla [12]*

Energija sa Sunca do Zemlje dolazi u obliku Sunčevog zračenja što je važno za život na našem planetu. Naime, u unutrašnjosti Sunca odvijaju se nuklearne reakcije prilikom kojih se fuzijom vodik pretvara u helij uz oslobađanje velikih količina energije. Dio te energije dolazi i do Zemlje te omogućuje odvijanje različitih procesa: od fotosinteze do, za energetiku značajnog, proizvodnje električne energije.[1]

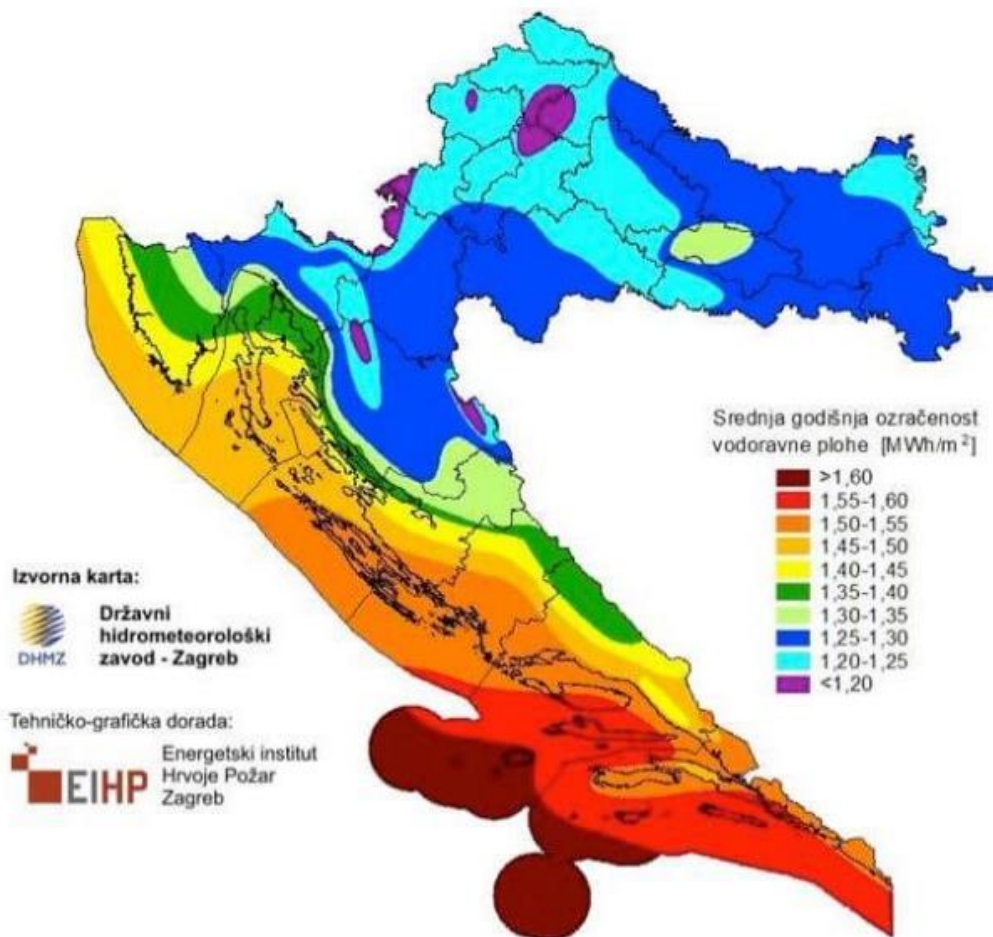
## 2.1 Insolacija

Postoji više vrsta zračenja na Zemlji. Izravno (direktno) Sunčevo zračenje dolazi iz prividnog smjera Sunca. Raspršeno (difuzno) Sunčevo zračenje nastaje raspršenjem Sunčevog zračenja u atmosferi i do tla dopire iz svih smjerova neba. Ukupno (globalno) Sunčevo zračenje na vodoravnoj plohi sastoji se od izravnog i raspršenog Sunčevog zračenja. Nagnuta ploha osim izravnog i raspršenog zračenja prima i od tla odbijeno Sunčevo zračenje.[2]



Slika 3. Raspodjela Sunčevog zračenja na Zemlji [3]

U znanstvenoj zajednici insolacija, odnosno trajanje sunčeve insolacije široko su prihvaćeni pojmovi. Insolacija označava gustoću sunčevih zraka na određenoj plohi uz određenu orijentaciju kroz određeno vrijeme. Mjeri se u ( $\text{Wh/m}^2$ ) ili ( $\text{kWh/m}^2$ ). Umnožak ukupnog zračenja s vremenom daje insolaciju. Energija sunčevog zračenja koja dopire do površine Zemlje prvenstveno ovisi o trajanju insolacije (trajanju sijanja Sunca, odnosno broju sunčanih sati), dok trajanje insolacije ovisi o zemljopisnoj širini, stanju atmosfere (oblaci, zagađenje) i godišnjem dobu. Energija sunčeva zračenja koja dolazi do Zemljine površine iznosi oko 109 TWh godišnje. Ta je energija oko 170 puta veća nego energija u ukupnim rezervama ugljena u svijetu. U Hrvatskoj je prosječna vrijednost insolacije na horizontalnu plohu između 3 i 4,5  $\text{kWh/m}^2$  dnevno, odnosno između 1,2 i 1,6  $\text{MWh/m}^2$  godišnje. Trajanje insolacije, odnosno prosječni broj sunčanih sati godišnje, je između 2.000 i 2.800 sati.[2,3]



Slika 4. . Prostorna razdioba srednje godišnje ozračenosti vodoravne plohe za područje Hrvatske [10]

### 3. Povijest fotonaponskih sustava

Kroz povijest nalazimo niz primjera iskorištavanja Sunčeve energije. Od 7. stoljeća prije Krista i antičkih civilizacija, preko starog vijeka i otkrića heliocentričnog sustava (Nikola Kopernik, 1473.-1543.) kada je otkriveno da je u centru Sunčevog sustava Sunce, a ne Zemlja kao što se do tad mislilo, sve do novijeg doba te pojave solarnih ćelija, kolektora i elektrana. Tako je prvi i vjerojatno najpoznatiji oblik upotrebljavanja Sunca za dobivanje nekog oblika iskoristive energije proces dobivanja vatre korištenjem povećala kojim bi se koncentrirale Sunčeve zrake uz usmjeravanje ogledalom i staklom.

Drevni Kinezi, Grci, Inke i Rimljani vrlo su rano otkrili da zakrivljena ogledala mogu koncentrirati Sunčeve zrake na bilo čemu zapaljivom što je uzrokovalo zapaljenje objekata u trenu. Zbog sposobnosti zapaljivanja stari narodi su ove instrumente, bez obzira kojim jezikom govorili, gotovo jednoznačno nazivali gorućim ogledalima.[1]

Razvoj fotonaponskih ćelija počinje 1839. godine istraživanjima francuskog fizičara Edmonda Becquerela. On je primijetio fotonaponski efekt dok je eksperimentirao s elektrodama u otopini elektrolita prilikom čega se stvorio napon kada su elektrode bile izložene svjetlu. (Bq – SI jedinica za definirana je kao aktivnost onog radioaktivnog izvora u kojem se u 1 sekundi dogodi jedan radioaktivni raspad). Godine 1870. Hertz je proučavajući selen (Se) uspio ostvariti pretvorbu svjetla u elektricitet efikasnosti oko 1 %.



*Slika 5. Portret Edmonda Becquerela [13]*

Za solarnu tehnologiju u Americi važna je 1954. godina kada se silicij pojavljuje kao poluvodički materijal i postiže se učinkovitost pretvorbe od 4%. Sredinom pedesetih godina 20. stoljeća, arhitekti projektiraju prve zgrade koje koriste solarno grijanje vode i pasivni solarni dizajn. Isti solarni sustav u upotrebi je do danas te je ušao u *National Register of Historic Places* kao prvi solarni sustav za grijanje u svijetu.

Sljedećih godina znanstvenici postižu povećanje električne učinkovitosti fotonaponskih ćelija. Godine 1956. postignuta je učinkovitost od 8%, sljedeće godine ona se povećala na 9%, a potom i na 10 %. Godine 1960. postignuta je učinkovitost od 14%. Danas je preko 95% svih u svijetu proizvedenih solarnih ćelija od silicija.[1]

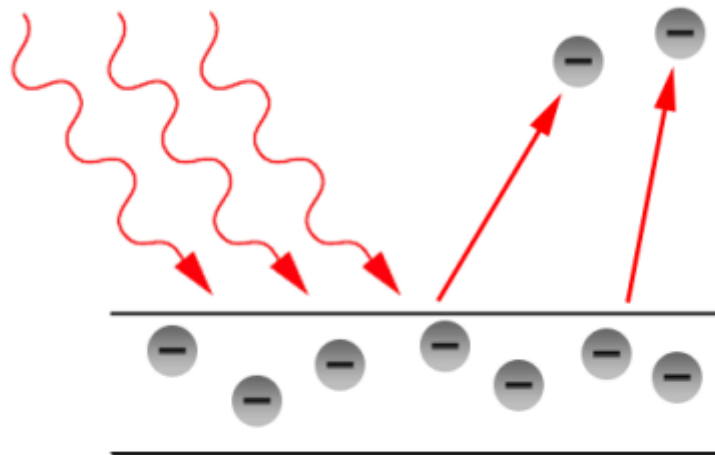
Najčešće se koriste solarne ćelije od monokristalnog silicija. Takav monokristalni silicij sastoji se od silicija u kojem je kristalna rešetka cijele krutine kontinuirana, neprekinuta do svojih rubova i bez ikakvih granica zrna (tj. jednog kristala). Monokristalni silicij se općenito stvara jednom od nekoliko metoda koje uključuju taljenje silicija visoke čistoće, poluvodičkog razreda (samo nekoliko dijelova na milijun nečistoća) i korištenje sjemena za pokretanje stvaranja kontinuiranog monokristala. Ovaj se proces obično izvodi u inertnoj atmosferi, kao što je argon, i u inertnom lončiću, kao što je kvarc, kako bi se izbjegle

nečistoće koje bi utjecale na ujednačenost kristala. Najčešća proizvodna tehnika je metoda Czochralskog , koja umače točno orijentirani sjemenski kristal montiran na šipku u rastaljeni silicij. Šipka se zatim polako povlači prema gore i istovremeno rotira, dopuštajući da se povučeni materijal skruti u monokristalni cilindrični ingot do 2 metra duljine i težine nekoliko stotina kilograma. Magnetska polja se također mogu primijeniti za kontrolu i suzbijanje turbulentnog toka, dodatno poboljšavajući ujednačenost kristalizacije. [14]

## 4. Tehnologija fotonaponskih ćelija

### 4.1 Fotonaponski efekt

Fotonaponski ili fotoelektrični efekt je pojava kada svjetlost određene valne dužine padne na površinu metala (npr. cinka, natrija ili bakra) i iz njega izbija elektrone. Najvažnija osobina fotoelektričnog efekta povezana je s ovisnošću fotoelektričnog efekta o valnim dužinama i intenzitetu svjetlosti kojom se osvjetljava metalna ploča. Ako je valna duljina manja od neke granice (koja ovisi o vrsti tvari), intenzitet efekta (količina el. naboja koji se pojavljuje na ploči) raste s povećanjem intenziteta. Međutim, ako valna dužina svjetlosti prelazi tu granicu, fotoelektrični efekt nestaje, bez obzira koliko intenzivna bila svjetlost. Druga opažena osobina efekta vezana je za gibanje električnih naboja koji napuštaju metalnu ploču. To gibanje može se zaustaviti ako se električni naboji koče vanjskim električnim poljem.



Slika 6. Shema fotonaponskog efekta [2]

### 4.2 Fotonaponske ćelije

#### 4.2.1 Princip rada fotonaponskih ćelija

Solarne ćelije zasnovane su na fotonaponskom efektu. Solarne ćelije izgrađene su od dva sloja: pozitivnog i negativnog, a razlika potencijala između ta dva sloja ovisi o intenzitetu solarnog zračenja. Solarna energija stiže na Zemlju u obliku fotona. Prilikom pada na površinu solarne ćelije ti fotoni predaju svoju energiju panelu i tako izbijaju negativno

nabijene elektrone iz atoma. Izbijeni elektroni kreću se prema drugoj (negativnoj) strani panela i tako dolazi do razlike potencijala, tj. generira se električna energija.

Najvažniji materijal za izgradnju današnjih fotonaponskih ćelija je silicij. On je poluvodič. Poluvodiči su izolatori na temperaturi apsolutne nule, s porastom temperature eksponencijalno se povećava broj nosilaca naboja koji mogu provoditi električnu struju. Poluvodiče dijelimo na n-tip s elektronima i p-tip sa šupljinama kao osnovnim nosiocima naboja. Danas se u kristal silicija legira mala količina elementa iz drugih skupina. Ako se legira s elementima iz 5. skupine (fosfor ili arsen) tada oni moraju otpustiti jedan elektron kako bi se sačuvala kovalentna veza. Otpušteni elektron postaje slobodni nosilac naboja jer je negativan, takav poluvodič se naziva n-tip. Ako se pak kristal silicija legira s elementima iz 2. skupine (npr. bor), on se ugrađuje u kristalnu rešetku te mu za potrebnu konfiguraciju nedostaje jedan elektron pa postaje pozitivno nabijena čestica. Takva čestica naziva se šupljina i takav poluvodič je p-tipa.

Pojava posljedice koje su "oslobađanje" slobodnih nosioca naboja pod djelovanjem svjetlosti i stvaranje električnog toka naziva se fotonaponski efekt. Prvi korak na slici [1] prikazuje stanje fotonaponske ćelije prije nego što se p-tip i n-tip poluvodiča spoje. Iako su oba poluvodička materijala električki neutralna, spajanjem p-tipa i n-tipa poluvodiča nastaje takozvani p-n spoj koji za posljedicu ima stvaranje električnog polja. U trenutku kada se n-tip Si poluvodiča i p-tip Si poluvodiča spoje, višak elektrona od strane n-tipa kreće se k p-tip strani. Rezultat navedenih događaja je nagomilavanje pozitivnog naboja na n-tip strani ćelije, odnosno nagomilavanje negativnog naboja na p-tip strani ćelije (korak 2). Kada fotoni pogode fotonaponsku ćeliju oni se mogu reflektirati, proći direktno kroz nju ili biti apsorbirani. Samo apsorbirani fotoni daju energiju za proizvodnju struje. Kada poluvodič apsorbira dovoljno svjetla elektroni se istiskuju iz atoma materijala, sele se k prednjem (negativnom) kontaktu ćelije dok se u isto vrijeme šupljine kreću u suprotnom smjeru k donjem (pozitivnom) kontaktu ćelije gdje očekuju elektrone (korak 3). Napon na vanjskim kontaktima p-n spoja može se povezati s potrošačima pri čemu će se stvarati naboj i teći istosmjerna struja sve dok postoji upadni tok svjetlosti (korak 4).[3]





**1 Korak**



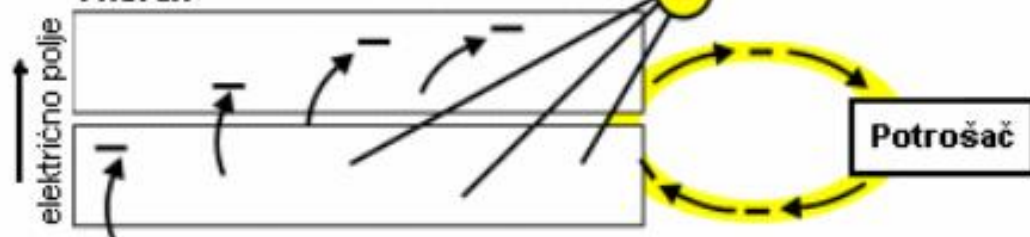
**2 Korak**



**3 Korak**



**4 Korak**



Slika 7. Princip rada fotonaponske ćelije [3]

## 4.2.2 Podjela fotonaponskih ćelija s obzirom na materijal

Danas se fotonaponske ćelije izrađuju od različitih kombinacija poluvodiča i tehnologija proizvodnje.

### 4.2.2.1 Monokristalne Si ćelije

Monokristalne Si ćelije mogu pretvoriti  $1000 \text{ W/m}^2$  sunčevog zračenja u  $140 \text{ W}$  električne energije s površinom ćelija od  $1 \text{ m}^2$ . Za njihovu proizvodnju potreban je apsolutno čisti poluvodički materijal. Monokristalni štapići izvade se iz rastaljenog silicija i režu na tanke pločice. Takav način izrade omogućuje relativno visoki stupanj iskoristivosti.[2]



*Slika 8. Monokristalna Si ćelija [5]*

### 4.2.2.2 Polikristalne Si ćelije

Polikristalne Si ćelije mogu pretvoriti  $1000 \text{ W/m}^2$  sunčevog zračenja u  $130 \text{ W}$  električne energije s površinom ćelija od  $1 \text{ m}^2$ . 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 manju iskoristivost. [2]



*Slika 9. Polikristalna Si ćelija[5]*

#### **4.2.2.3 Amorfne Si ćelije**

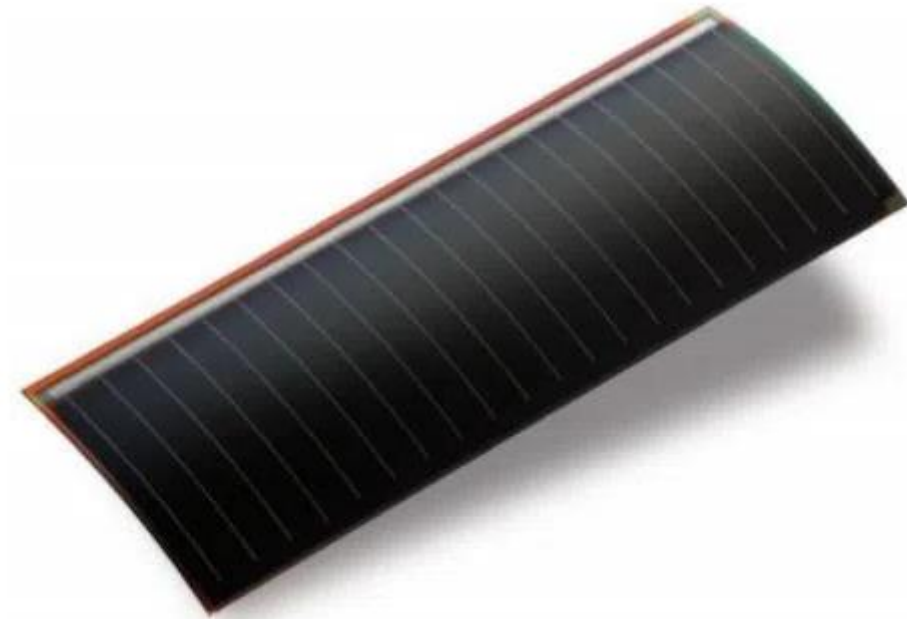
Amorfne Si ćelije mogu pretvoriti  $1000 \text{ W/m}^2$  sunčevog zračenja u  $50 \text{ W}$  električne energije s površinom ćelija od  $1 \text{ m}^2$ . Ako se tanki film silicija stavi na staklo ili neku drugu podlogu dobiva se amorfna ili tankoslojna ćelija. Njihova debljina sloja iznosi manje od  $1 \mu\text{m}$ , stoga su troškovi proizvodnje manji što je u skladu s niskom cijenom materijala. Međutim, iskoristivost amorfni ćelija je puno niža u usporedbi s drugim tipovima ćelija. Prvenstveno se koristi u opremi gdje je potrebna mala snaga (satovi, džepna računala) ili kao element fasade. [2]



*Slika 10. Amorfna Si ćelija [11]*

#### **4.2.2.4 Galij arsenidne (GaAs) ćelije**

Galij arsenid je poluvodič napravljen iz mješavine galija i arsena. Pogodan je za upotrebu u višeslojnim i visoko učinkovitim ćelijama. Širina zabranjene vrpce (band gap) je pogodna za jednoslojne solarne ćelije. Ima visoku apsorpciju pa je potrebna debljina od samo nekoliko mikrona da bi apsorbirao sunčeve zrake. Relativno je neosjetljiv na toplinu u usporedbi sa Si ćelijama te na zračenja. Zbog visoke cijene koristi se u svemirskim programima i u sustavima s koncentriranim zračenjem gdje se štedi na ćelijama. Projekti koncentriranog zračenja su još u fazi istraživanja. Galij indijumfosfidna/galij arsenid (GaInP)/GaAs dvoslojna ćelija ima iskoristivost od 30% i koristi se u komercijalne svrhe za svemirske aplikacije. Ovaj tip ćelije može pretvoriti  $1000 \text{ W/m}^2$  sunčevog zračenja u  $300 \text{ W}$  električne energije s površinom ćelija od  $1 \text{ m}^2$ . [7]



*Slika 11. GaAs ćelija [11]*

#### **4.2.2.5 Kadmij telurijeve (CdTe) ćelije**

Kadmij telurijeve ćelije mogu pretvoriti  $1000 \text{ W/m}^2$  sunčevog zračenja u  $160 \text{ W}$  električne energije s površinom ćelija od  $1 \text{ m}^2$  u laboratorijskim uvjetima. Kadmij telurid je spoj metala kadmija i polumetala telurija. Pogodan za upotrebu u tankim PV modulima zbog fizikalnih svojstava i jeftinih tehnologija izrade. Usprkos navedenim prednostima zbog kadmijeve otrovnosti i sumnje na kancerogenost nije u širokoj upotrebi.

## 5. Fotonaponski sustavi

Fotonaponski sustavi su sustavi koji služe za proizvodnju električne i toplinske energije pomoću fotonaponskih ćelija odnosno modula. Svaki fotonaponski sustav se u osnovi sastoji od fotonaponskih ćelija i potrošača. Fotonaponske sustave dijelimo na On-grid i Off-grid (otočne) sustave.

### 5.1 On-grid sustavi

On-Grid solarni sustav je vezan izravno na mrežu lokalnog komunalnog poduzeća koju koristite za svoje svakodnevne potrebe. Koristi se za većinu stambenih objekata diljem svijeta zbog toga što su potpuno pokriveni u slučaju prevelike ili nedovoljne proizvodnje električne energije. U osnovi, on-Grid sustav je fleksibilan i kompenzira varijacije snage bez izlaganja riziku. Prednost On-grid sustava je i odsustvo skupih baterija pa je trošak u početku manji za razliku od onog u Off-grid sustavu.



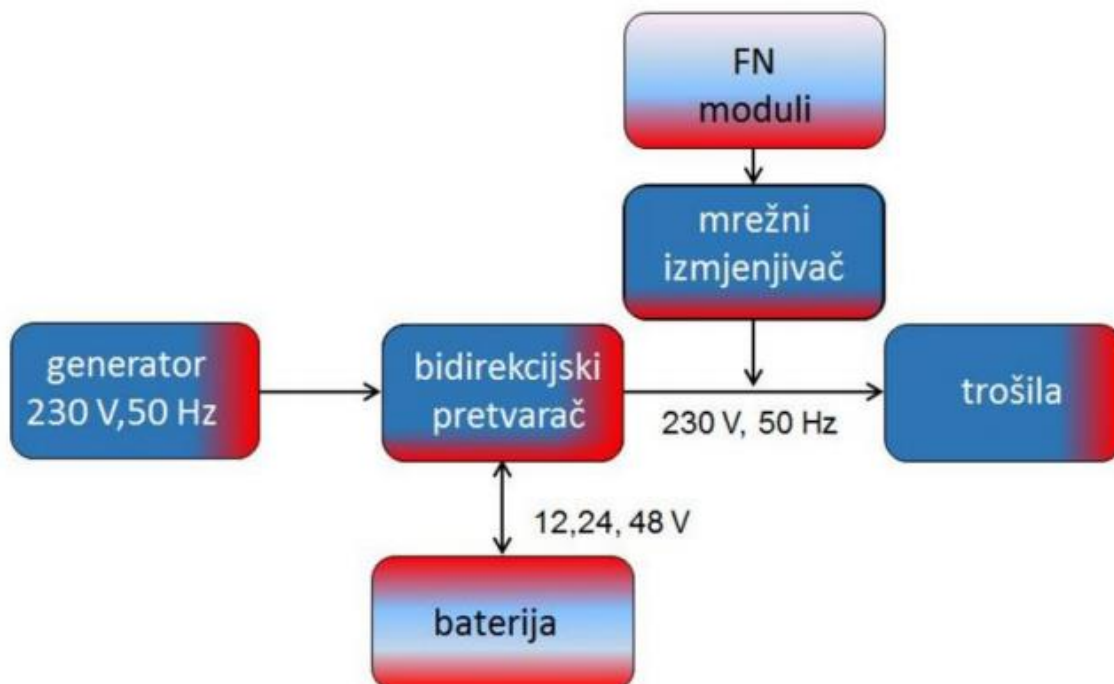
Slika 12. Shema On-grid sustava [7]

## 5.2 Off-grid (otočni) sustavi

Kod otočnog fotonaponskog sustava postavlja se dodatni izvor energije (benzinski generator) jer se pokušava ostvariti 100%-tna pouzdanost napajanja objekta električnom energijom. Kada se iz nekog razloga potroši energija u baterijama automatski se uključuje generator koji osigurava dodatnu energiju. Također, generator se uključuje kada je potrošnja iz baterije veća od zadane razine. Osnovni dijelovi otočnog fotonaponskog sustava su:

- Fotonaponski moduli
- Mrežni izmjenjivač
- Bidirekcijski pretvarač
- Baterija
- Generator

Slika 13. pokazuje shematski prikaz dijelova otočnog fotonaponskog sustava.



Slika 13. Otočni fotonaponski sustav[3]

Ovakav sustav je najkompleksniji kada nema podrške od mreže, odnosno kada nema pristupa spajanja na mrežu. On je idealan za vikendice koje nisu u blizini mrežnog sustava.

## 6. Projektiranje otočnog fotonaponskog sustava

Sustav je projektiran i proračunat za kuću u gradu Koprivnici. Na kraju proračuna napravljena je usporedba cijene jednog kW/h koji se dobiva iz otočnog fotonaponskog sustava i iz električne mreže.

### 6.1 Definiranje potrošnje objekta

U prvom koraku potrebno je popisati sva trošila u objektu i izračunati maksimalnu potrošnju energije u jednom danu u Wh. Pritom se za svako trošilo pronalazi snaga (W) koju potroši u jednom danu. Potom se snaga svakog trošila množi s vremenom (h) uključenosti u danu. U izračun za trošila poput perilice, koja ima snažan grijač koji nije uključen cijelo vrijeme, dodaje se i koeficijent. Sljedeća tablica prikazuje popis trošila, njihovu uključenost i snagu koju troše tijekom jednog dana. Na dnu tablice nalazi se ukupna potrebna energija u Wh.

Trošila	Snaga (W)	Vrijeme uključenosti u danu (h)	Koeficijent: od maksimalne do srednje snage	Količina	Potrebna energija (Wh)
Laptop	80	8	1	2	1280
TV Samsung	100	5	1	1	500
TV Quadro	48	2	1	1	96
Monitor	45	8	1	1	360
Klima uređaj	3100	3	0,4	1	3720
Pećnica	850	2	0,5	1	850
Perlica rublja	1300	2	0,2	1	520
Perlica za suđe	1100	3	0,7	1	2310
Kuhinjska napa	150	1	1	1	150
Hladnjak	450	24	0,1	1	1080
Mikrovalna	1200	1	0,5	1	600
Digitalni sat	2	24	1	2	96
Wifiruter	4	24	1	1	96
Svijetlo LED	150	4	1	1	600
Svijetlo	300	4	1	1	1200
<b>Ukupno:</b>	<b>8.879</b>				<b>18.008</b>

Tablica 1. popis trošila i potrebna energija



## 6.2 Odabir akumulatora (baterije)

Iz maksimalne snage i potrebne energije za rad objekta tijekom jednog dana odabire se napon akumulatora, projektirani stupanj pražnjenja akumulatora, stupanj korisnog djelovanja u procesu punjenja akumulatora, trajanje autonomije sustava, trajanje samooporavka sustava te koeficijent korištenja objekta. Napon se uglavnom odabire prema nazivnoj snazi izmjeničnih trošila. Napon od 12 V uzima se za snage trošila do 1,2 kW. Za snagu iznad 1,2 kW sve do 5 kW uzima se napon akumulatora od 24 V, a za više od 5 kW koristi se napon od 48 V. Kako u ovom projektu maksimalna snaga iznosi 8,9 kW, uzet je napon akumulatora od 48 V. Kod životnog vijeka akumulatora valja obratiti pozornost na dubinu pražnjenja. Što se akumulator „dublje“ prazni to može izdržati kraći broj pražnjenja. Odabrani akumulator ima koeficijent dubine pražnjenja od 0.5, odnosno može se prazniti do 50% svojeg kapaciteta. Kod punjenja sva energija neće se uskladištiti u akumulatoru zbog čega treba preuzeti stupanj korisnog djelovanja punjenja akumulatora. U ovom slučaju taj stupanj iznosi 0.9 što znači da će se 90% privedene energije zapravo uskladištiti. Trajanje autonomije sustava mjeri se u danima i označava broj dana potrošnje koji će biti pokriveni iz akumulatora u slučaju bez dopunjavanja akumulatora (jako oblačno vrijeme, kvar fotonaponskih modula i slično). Za ovaj projekt odabrano je da će trajanje autonomije biti jedan dan. Koeficijent korištenja objekta u ovom slučaju iznosi jedan jer se objekt koristi tijekom cijele godine, no kod drugih objekta, primjerice vikendica, taj koeficijent nije jedan jer se vikendice koriste samo nekoliko mjeseci u godini. Trajanje samooporavka sustava je u ovom slučaju 10 dana, a ovaj broj pokazuje za koliko dana projektirano očekujemo da će se sustav moći oporaviti do 100%.

Napon baterije (V)	48
Koeficijent dubine pražnjenja $t_z$	0,5
Stupanj korisnog djelovanja punjenja	0,9
Trajanje autonomije (dana)	1
Potpuni oporavak sustava (dana)	10
Koeficijent korištenja sustava	1

*Tablica 2. parametri za odabir akumulatora*

Nakon toga moramo izračunati kapacitet akumulatora i dnevno punjenje.

Račun:

Dnevna potrošnja ( $E_v$  - potrebna energija po danu)

$$E_D = h_B \cdot E_v = 1 \cdot 18000 = 18000 \text{ [Wh]} \text{ (1.)}$$

Dnevna potrošnja

$$Q_D = \frac{E_D}{U_s} = \frac{18000}{48} = 375 \text{ [Ah]} \text{ (2.)}$$

Kapacitet idealnog akumulatora ( $U_s$  - napon akumulatora)

$$K_N = \eta_A \cdot \frac{E_v}{U_s} = 1 \cdot \frac{18000}{48} = 375 \text{ [Ah]} \text{ (3.)}$$

Minimalni kapacitet realnog akumulatora

$$K = \frac{K_N}{t_z} = \frac{375}{0.5} = 750 \text{ [Ah]} \text{ (4.)}$$

Potrebno dnevno punjenje

$$Q_L = \left(\frac{1}{\eta_{Ah}}\right) \cdot \left(Q_D + \frac{K_N}{n_E}\right) = \left(\frac{1}{0.9}\right) \cdot \left(375 + \frac{375}{10}\right) = 459 \text{ [Ah]} \text{ (5.)}$$

Projektirana dnevna potrošnja (Wh)	18.000
Dnevna potrošnja (Ah)	375
Kapacitet idealnog akumulatora (Ah)	375
Minimalni kapacitet realnog akumulatora (Ah)	750
Potrebno dnevno punjenje (Ah)	459

Tablica 3. potreban kapacitet i dnevno punjenje akumulatora

Odabrani akumulator : TROJAN SSIG 12 255 Ah



TROJAN SSIG 12 255Ah SOLAR & MARINE

**JAMSTVO 3 GODINE**

TROJAN SSIG 12 255 Deep-Cycle Battery | SOLAR & MARINE

TROJAN SSIG 12 255 Deep-Cycle Battery

12 Volt

- Polypropylene
- Deep-Cycle Flooded/Lead Acid Battery
- Braided Ropes Handles

Solar Signature Line Trojan Deep-Cycle Flooded Batteries - 1,200 Cycles @ 50% DOD

Slika 14. Specifikacije akumulatora [8]

Pošto odabrani akumulator ima kapacitet 255 Ah te napon od 12 V, a potrebno je da akumulator ima minimalni kapacitet 750 Ah i napon od 48 V, potrebno je 8 takvih akumulatora spojiti serijski i paralelno kako bismo dobili odgovarajući kapacitet i napon (kapacitet bi bio  $4 \cdot 255 = 1020$  Ah).

### 6.3 Odabir fotonaponskih modula

Iz proračuna potrebnog dnevnog punjenja koji iznosi 459 Ah znamo koliko Ah moramo dnevno energije donijeti akumulatoru. Odabrani fotonaponski moduli imaju snagu od 340W, te su monokristalni. Module ćemo spajati u niz (engl. String) koji će se sastojati od 16 modula. Rezultat je snaga fotonaponskog polja od  $340 \cdot 16 = 5440$ W.



EAN-Code	9004840878707
Neto duljina	1658,00mm
Neto širina	996,00mm
Neto visina	35,00mm
Neto masa	18,00kg
Proizvođač	EXE Solar
Tip ćelije	Monokristalni
Broj ćelija po modulu	60
Snaga	340W
Mehaničko opterećenje	8000N
Bypass diode	5
Tolerancija	0 bis +5W
Masa	18kg

*Slika 15. Specifikacije FM modula [5]*

## 6.4 Odabir generatora

Pretpostavljamo da je snaga generatora približno jednaka kao i fotonaponskog polja, što znači da ona iznosi približno 5440W.

Odabrani generator ima snagu 5700 Wh što je približno snazi fotonaponskog polja. Pretpostavka je da će generator raditi jedan sat dnevno i proizvesti 5700W dnevno.

Odabrani dizelski generator : KIPOR KDE6700



### [Obilježja](#) [Specifikacije](#) [Preuzimanja](#)

#### Izlaz

Deklarirana frekvencija	50hz
Deklarirani napon	240 V
Deklarirana struja	18.8 A
Deklarirani izlaz	4.5 kVa
Maksimalni izlaz	5.0 kVa
Istosmjerni izlaz	12V x 8.3 A
Broj faza	Jedna
Izlazna utičnica	240 V
Izlaz	115/230 V

#### Motor

Model	KM186FAGET
Vrsta motora	Jedan cilindar, okomita osovina, 4-taktni zrakom hlađeni diesel motor s direktnim ubrizgavanjem
Kapacitet ulja	1.65 L
Premještanje	418 cc
<b>Maksimalna snaga</b>	<b>5.7 KW</b>
Faktor snage	1.0
Provrta x hod	86x72 mm
Rashladni sustav	Zračno hlađenje
Kapacitet baterije	12V 36 Ah
Sustav podmazivanja	Pod pritiskom
Općenito	

Kapacitet spremnika za gorivo	15 L
Neprekidno vrijeme rada	6.5 h
Razina buke	72 db @7m
Dimenzije	915x547x742 mm
Težina	177 kg
Ulja	SAE 10W 30 E
Gorivo	

Slika 16. Specifikacije dizelskog generatora [8]

## 6.5 Broj fotonaponskih modula

Pomoću stranice PVGIS možemo dobiti koliko kWh energije možemo dobiti u pojedinom mjesecu na ciljanoj lokaciji uz zadanu orijentaciju i nagib modula. PVGIS ili eng. Photovoltaic Geographical Information System je software koji je svima besplatan te daje informacije o sunčevoj zračenju te učinkovitosti fotonaponskih sustava u Europi i Africi , te velikom dijelu Azije i Amerike. Ovaj alat je razvijen na Europskom centru za zajedničko istraživanje u Italiji. Sam alat koristi satelite za dobivanje visoko preciznih podataka za solarnu radijaciju te temperaturu zraka i brzinu vjetrova. Za procjenu dobivene energije iz raznih solarnih ćelija koristi se Europska testna solarna instalacija koja je standardizirana prema ISO 17025 u kojoj su uključeni svi materijali za izradu solarnih ćelija. [15]

Sam alat je jednostavan za korištenje te osim biranja samih materijala solarnih ćelija , možemo dobiti procijene za Off-grid, On-grid i sustave kod kojih ćelije prate položaj sunca. Također možemo mijenjati da li je sustav na krovu ili na nekoj podlozi, kut nagiba samih ćelija, jačinu ćelija, potrošnju energije, kapacitet baterije te samu lokaciju na kojem planiramo izgradnju sustava.

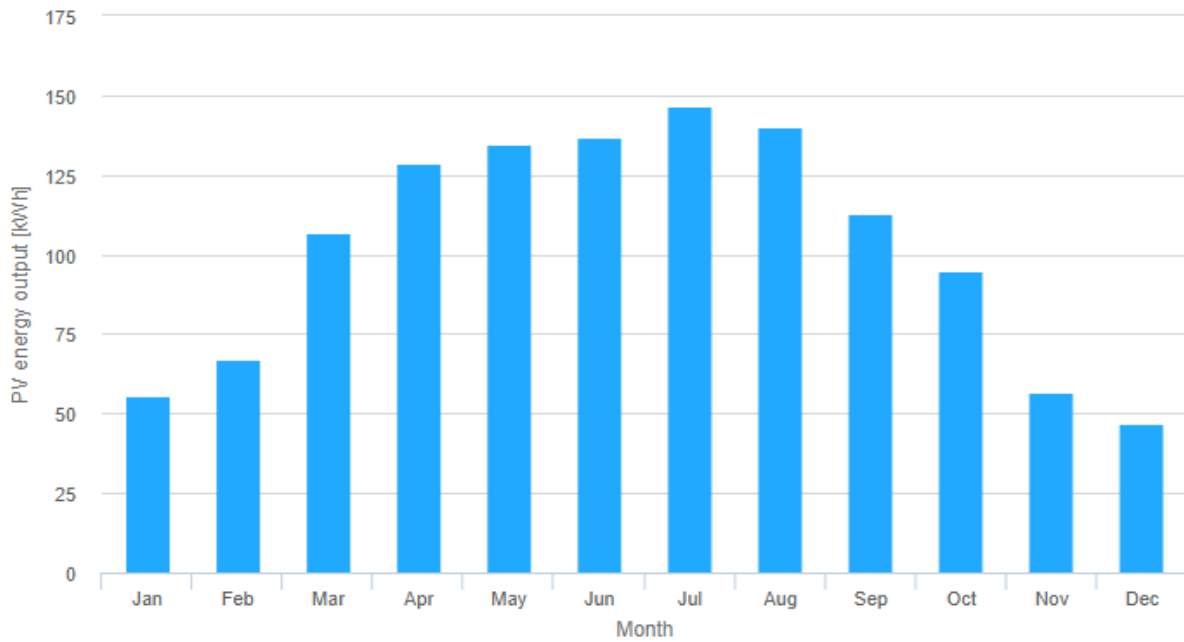
The screenshot displays the PVGIS web application interface. At the top, it features the European Commission logo and the title 'PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM'. Below the header, there is a navigation menu with options like 'Home', 'Tools', 'Downloads', 'Documentation', and 'Contact us'. The main area is divided into a map on the left and a control panel on the right. The map shows a topographic view of a region in Croatia, with a blue location pin. The control panel includes a 'Cursor' section with coordinates (46.142, 16.801), elevation (143m), and PVGIS version (5.2). It also has a 'Use terrain shadows' section with a checked 'Calculated horizon' option. The 'PERFORMANCE OF OFF-GRID PV SYSTEMS' section contains several input fields: 'Solar radiation database' (set to PVGIS-SARAH2), 'Installed peak PV power [Wp]' (544), 'Battery capacity [Wh]' (1020), 'Discharge cutoff limit [%]' (50), and 'Consumption per day [Wh]' (18000). There are also buttons for 'Visualize results', 'csv', and 'json' at the bottom of the control panel.

Slika 17. Alat PVGIS [9]

Kada unesemo sve potrebne podatke , na kraju dobivamo graf mogućeg dobitka kWh energije iz odabranog fotonaponskog sustava.

Link alata: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html)

Za grad Koprivnicu to izgleda ovako:



*Graf 1. prikaz mogućeg dobitka kWh energije pomoću FM modula za grad Koprivnicu tokom godine [9]*

S tim podacima proračunamo broj potrebnih paralelnih nizova s po 16 fotonaponskih modula snage 340 W. U tablici 4. prikazan je proračun za odabranu lokaciju.

$P_{mo}$ (Wp)	340											
Napon baterije US (V)	48											
Modula / Stringu	16											
	sij	velj	ožu	trav	svib	lip	srp	kolo	ruj	list	stud	pros
Potrebno dnevno punjenje $Q_L$ (Ah)	459	459	459	459	459	459	459	459	459	459	459	459
Izvor pomoćne energije $E_h$ (Ah)	4700	4700	4700	4700	4700	4700	4700	4700	4700	4700	4700	4700
Pomoćni izvor $Q_H = E_H / (1,1 \cdot U_s)$ (Ah)	89,01	89,01	89,01	89,01	89,01	89,01	89,01	89,01	89,01	89,01	89,01	89,01
Energija iz panela $Q_{PV} = Q_L - Q_H$ (Ah)	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370
Energija „iz“ 1Wp $Y_F$ (Wh/Wp) iz PVGISa	1,73	2,3	3,36	4,24	4,36	4,56	4,7	4,64	3,61	2,95	1,86	1,48
Energija „iz“ stringa $E_{pc-s} = n_{MS} \cdot P_{Mo} \cdot Y_F$ (Wh)	9411,2	12512,0	18278,4	23065,6	23718,8	24806,4	25568,0	25241,6	19638,4	16048,0	10118,4	8051,2
Energija „iz“ stringa $Q_S = E_{pc-s} / (1,1 \cdot U_s)$ (Ah)	178,24	236,97	346,18	436,85	449,21	469,81	484,24	478,06	371,94	303,95	191,64	152,48
Broj potrebnih paralelnih stringova $n_{SP} = Q_{PV} / Q_S$	2,08	1,56	1,07	0,85	0,82	0,78	0,76	0,77	0,99	1,22	1,93	2,43



U zadnjem retku vidimo da s ovim fotonaponskim poljem i generatorom možemo u potpunosti pokriti potražnju električne energije u travnju, svibnju, lipnju, srpnju, kolovozu i rujnu. Ako bi htjeli pokriti u više mjeseci trebali bi ili staviti više modula u niz ili povećati broj sati rada generatora u danu.

## 6.6 Odabir mrežnog izmjenjivača

Mrežni izmjenjivač trebao bi imati ulazni napon minimalno jednak naponu fotonaponskog polja koje u ovom slučaju iznosi  $15 \cdot 39,33V = 590$  V. Također, snaga mrežnog izmjenjivača mora biti približno jednaka snazi fotonaponskog polja, a ona iznosi 5440 W. Snaga odabranog izmjenjivača iznosi 4500 W dok je ulazni napon 1000 V.



EAN-Code	9004840097610
Neto duljina	645,00mm
Neto širina	431,00mm
Neto visina	204,00mm
Neto masa	19,90kg
Proizvođač	Fronius
Dimenzije	5kW
Nazivna snaga	4500W
Napajanje	3 fazno
Napon	150-800V
Maks. ulazni napon	1000V
Maks. ulazna struja	16A
MPP-tracker	2
DC prekidač	Integriran
Korisnost	98%
Izvedba izmjenjivača	Bez transformatora
IP stupanj zaštite	IP55
Schrack pakiranje	1 Kom

Slika 18. Specifikacije izmjenjivača [5]

## 6.7 Odabir bidirekcijskog pretvarača

Bidirekcijski pretvarač mora biti odabran prema istosmjernom naponu akumulatorske banke. U ovom slučaju napon iznosi 48 V. Bidirekcijski pretvarač u sebi objedinjuje i punjač baterije i izmjenjivač. Punjač mora osigurati potrebnu istosmjernu struju punjenja akumulatora što iznosi 10 – 15 % kapaciteta. U ovom slučaju on mora osigurati od 75 do 112,5 A. Odabrani bidirekcijski pretvarač ima napon od 48 V i osigurava punjenje od 80 A.



Sole Max 8000W 48V pretvarač sa MPPT

### Axpert MAX Off-Grid Inverter

Sole MAX 8000-48-230, 7200VA/7200W , 230VA/50Hz, Battery Voltage 48VDC , Max. PV Input 8000W W/MPPT solar charger (I/P: 120~430VDC, 80A) , W/80A AC charger, Max Charging Current 80A

Axpert MAX is high performance off-grid inverter with 80A MPPT solar charger and customizable status LED bar with RGB lights.

Customizable status LED bar with RGB lights

Built-in Wi-Fi for mobile monitoring (Android/iOS App is available)

Supports USB On-the-Go function

Reserved communication port for BMS (RS485, CAN-BUS or RS232)

Replaceable fan design for ease of maintenance

Battery independent design

Configurable AC/PV output usage timer and prioritization

Selectable input voltage range for home appliances and personal computers

Built-in anti-dust kit

Optional DC output for DC fan, LED bulb, router and so on.

Parallel operation with 6 units for 7200VA model

Slika 19. Specifikacije bidirekcijskog pretvarača [5]

## 7. Troškovi sustava

Komponente sustava	Količina	Cijena (kn)
Sole Max 8000W 48V pretvarač sa MPPT	1	9.500,00
FN panel 340W, 60 mono, IEC, 5 Busbars, 8kPal, palpakiranje	16	25.520,00
Agregat KIPOR KDE6700	1	6.400,00
TROJAN SSIG 12 255Ah	8	26.496,00
Izmj. FroniusSymo 4.5-3-M, 4.5kW, 3f, IP55, TL 2 MppTracker	1	16.650,00
Nadzorni panel ColourControl GX	1	5.092,00
Ostala oprema	-	10.000,00
Montaža	1	3.950,00
<b>Ukupno:</b>		<b>103.608,00 kn</b>

Tablica 5. Popis cijena po komponenti

U ukupnu cijenu sustava ulazi, osim već prije navedene opreme, cijena montaže, kontrolni panel za akumulator te ostala oprema poput potrebnih nosača FM modula, raznih kablova i sličnog. Ukupna cijena sustava iznosi 103.608,00 kuna.

### 7.1 Energetska obnova

Energetska obnova obiteljskih kuća program je Vlade RH s ciljem povećanja energetske učinkovitosti obiteljskih kuća, a smanjenja potrošnje energije i emisije CO<sub>2</sub> u atmosferu.

Poticaji za energetska obnovu obiteljskih kuća obuhvaćaju:

Toplinsku zaštitu ovojnice grijanog prostora (vanjskog zida, krova ispod kojeg je grijani prostor, stropa iznad kojeg je hladni prostor, ukopanih dijelova i poda, i zamjenu vanjske stolarije)

Ugradnju sustava za korištenje obnovljivih izvora energije (sunčani toplinski pretvarači - kolektori (solarni paneli), sustavi na drvenu sječku/pelete (kotlovi na biomasu), dizalice topline i fotonaponski pretvarači/paneli).

Bespovratno do 60% opravdanih troškova, tj. do 204.000 kn.

Toplinsku zaštitu ovojnice grijanog prostora (samo točka 1.a)

Bespovratno do 60% opravdanih troškova, tj. do 120.000 kn.

Ugradnju sustava za korištenje obnovljivih izvora energije (samo točka 1.b)

Bespovratno 40-80% opravdanih troškova. [6]

<b>SUSTAV SA SUNČANIM TOPLINSKIM KOLEKTORIMA</b>	-	36.250	<b>60%</b> (pod uvjetom da se koristi i barem jedna mjera zamjene vanjske ovojnice)  <b>U SLUČAJU KORIŠTENJA SAMO OVE MJERE:</b> <b>80%</b> za područja posebne državne skrbi i 1. skupina otoka, <b>60%</b> za brdsko-planinska područja i 2. skupinu otoka, <b>40%</b> za ostala područja RH	14.500 (40%) 21.750 (60%) 29.000 (80%)
<b>KOTAO NA DRVNU SJEČKU/PELETE, ILI PIROLOTIČKI KOTAO NA DRVA ZA GRIJANJE PROSTORA, ILI PROSTORA I POTROŠNE VODE</b>	-	36.250		14.500 (40%) 21.750 (60%) 29.000 (80%)
<b>DIZALICE TOPLINE ZA GRIJANJE POTROŠNE VODE I GRIJANJE/HLAĐENJE PROSTORA</b>	-	48.750		19.500 (40%) 29.250 (60%) 39.000 (80%)
<b>IZGRADNJA FOTONAPONSKE ELEKTRANE ZA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA VLASTITU POTROŠNJU, U SAMOSTALNOM (OFF-GRID), ILI MREŽNOM RADU</b>	-	91.250		36.500 (40%) 54.750 (60%) 73.000 (80%)
<i>Tablica 1: iznos poticaja za energetska obnovu obiteljskih kuća 2021.</i>				

*Slika 20. Tablica energetske obnove [6]*

Na slici 20. možemo vidjeti da za izgradnju fotonaponske elektrane za proizvodnju električne energije za vlastitu potrošnju možemo dobiti do 80% poticaja. Pošto ovaj objekt ne spada u područja posebne državne skrbi te se ne nalazi u planinsko-brdskom području, već u Podravini, može se dobiti 40% poticaja za ovaj projekt. Što znači da cijena proračunatog sustava ne bi iznosila 103.608,00 kuna, već **62.164,8 kuna**.

## 7.2 Isplativost sustava

Pretpostavimo li da sustav radi 15 godina i da zamjenjujemo akumulatore svake 4 godine, morali bi zamijeniti akumulatore 3 puta. To znači da bi morali potrošiti dodatnih  $3 \cdot 26.496,00 = 79.488,00$  kuna. Osim toga, rad generatora ima svoj trošak. Ako bi generator radio 300 dana u godini po 1 sat, a cijena rada jednog sata generatora je oko 13 kuna po satu to znači da bi za rad generatora u 15 godina potrošili dodatnih  $13 \cdot 300 \cdot 15 = 58.500,00$  Kn. Kada sve to zbrojimo potrošili bi ukupno 200.152,8 kn. U tih 15 godina proizveli bismo, ako bismo trošili 18 kWh po danu i ako bi sustav radio 250 dana, 67500 kWh.

Tako dobivamo cijenu 1 kWh u kunama koja iznosi 2,97 kn/kWh.

Usporedimo li ovaj iznos sa sadašnjom potrošnjom koja iznosi oko 1,1 kn/kWh, zaključujemo da je ovakav sustav na ovoj lokaciji neisplativ.

Potrošnja ovog objekta za 5. mjesec 2022. godine iznosi 432 kWh, dok račun za struju iznosi 475,18 kn.

Opis	Jed.mjere	Količina	Jed.cijena	Iznos kn
Električna energija viša dnevna tarifna stavka	kWh	322	0,9535	307,03
Električna energija niža dnevna tarifna stavka	kWh	110	0,4465	49,12
Naknada za obračunsko mjerno mjesto i opskrbu	mjesec	1,00	19,00	19,00
<b>Iznos za električnu energiju</b>				<b>375,15</b>
Naknada za poticanje proizvodnje iz obnovljivih izvora	kWh	432	0,1050	45,36
Solidarna naknada	kWh	432	0,03	12,96
Popust za solidarnu naknadu				-12,96
Porezna osnovica				420,51
PDV 13 % (osnovica 420,51)				54,67
<b>UKUPAN IZNOS RAČUNA</b>				<b>475,18</b>

Oslobođeno od plaćanja trošarine sukladno članku 105. stavku 8. točki 5. Zakona o trošarinama

**Na dan izdavanja računa, podmireni su svi Vaši dospjeli računi. Hvala!**

ČLAN HEP GRUPE

Slika 21. Obračun struje za 5. mjesec 2022. godine

## 8. Isplativost sustava s obzirom variranja cijena goriva i električne energije

Kao što vidimo iz prethodnog odlomka, s trenutnim cijenama električne energije i goriva, ovakav FN sustav se ne bi isplatio za navedeni objekt jer je dosadašnji način opskrbe električne energije jeftiniji za gotovo dvije kune po kWh.

No, s obzirom na događanja u svijetu i raznim drugim faktorima, možemo primijetiti trend rasta cijena goriva i električne energije u cijeloj Europi. Već u travnju 2022. godine, u RH cijena električne energije je porasla za 4%. U sljedećim poglavljima je proračunato nekoliko varijanta istog FN sustava, ali uzevši u obzir moguće povećanje cijena.

### 8.1 Variranje cijena goriva ( 9 – 19 kn) te cijena električne energije (0,77, 1,1, 1,5, 2, 3 kn/kWh)

Ako uzmemo da je cijena goriva 9 kuna, a električne energije 0,77 kn/kWh tada bi proračun izgledao ovako: za rad generatora potrošili bismo  $9 \cdot 300 \cdot 15 = 40.500,00$  Kn. Tada bi cijena sustava iznosila 182.152,80 kn, a cijena 1 kWh bila bi 2,7 kn/kWh. Ako uzmemo da je cijena električne energije iz mreže 0,77 kn/kWh tada nam se ovakav sustav ne isplati. U nastavku je izračunata isplativost za sve varijante cijena goriva i električne energije te je prikazana u tablicama i grafu. Isplativost je prikazana kao omjer cijena električne energije iz sustava te cijene električne energije iz mreže.

Cijena goriva (kn)	Cijena 1kW iz sustava (kn)	Isplativost
9	2,7	3,5
10	2,77	3,6
11	2,83	3,7
12	2,9	3,8
13	2,97	3,86
14	3,03	3,93
15	3,1	4,02
16	3,17	4,11
17	3,23	4,19
18	3,3	4,3
19	3,37	4,38

Tablica 6. Proračun isplativosti ako je cijena električne energije 0,77kn/kWh

Cijena goriva (kn)	Cijena 1kW iz sustava (kn)	Isplativost
9	2,7	2,43
10	2,77	2,5
11	2,83	2,55
12	2,9	2,61
13	2,97	2,68
14	3,03	2,73
15	3,1	2,8
16	3,17	2,86
17	3,23	2,91
18	3,3	2,97
19	3,37	3,04

Tablica 7. Proračun isplativosti ako je cijena električne energije 1,11kn/kWh

Cijena goriva (kn)	Cijena 1kW iz sustava (kn)	Isplativost
9	2,7	1,8
10	2,77	1,85
11	2,83	1,87
12	2,9	1,93
13	2,97	1,98
14	3,03	2,02
15	3,1	2,07
16	3,17	2,11
17	3,23	2,15
18	3,3	2,2
19	3,37	2,25

Tablica 8. Proračun isplativosti ako je cijena električne energije 1,5kn/kWh

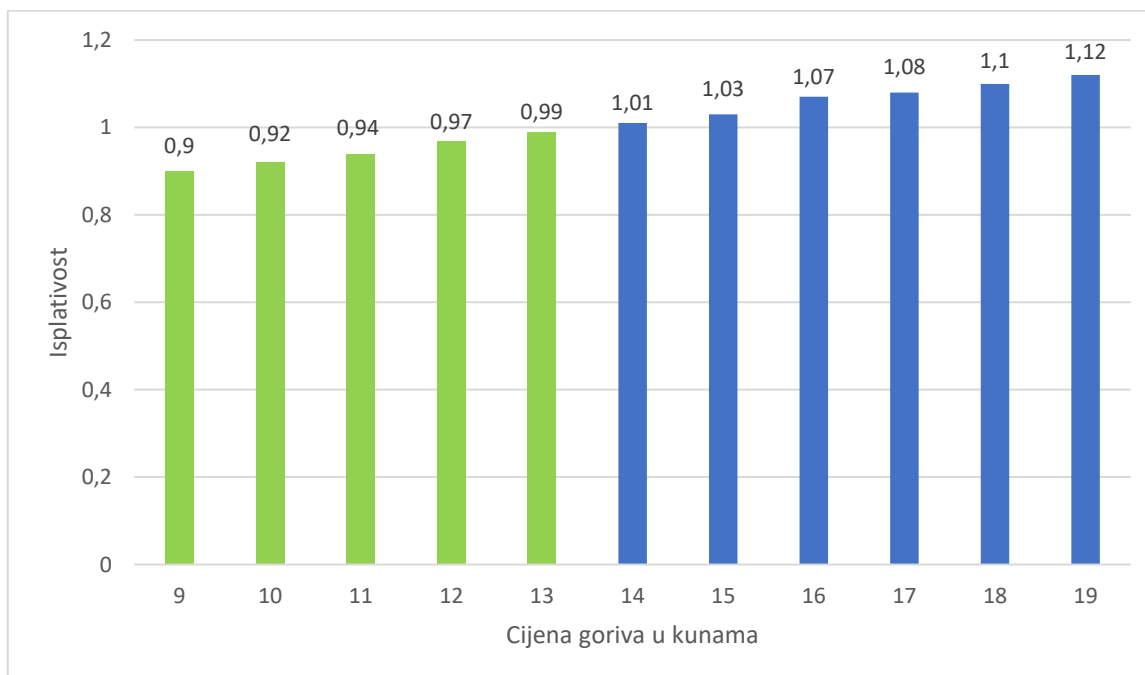
Cijena goriva (kn)	Cijena 1kW iz sustava (kn)	Isplativost
9	2,7	1,35
10	2,77	1,39
11	2,83	1,42
12	2,9	1,45
13	2,97	1,49
14	3,03	1,52
15	3,1	1,55
16	3,17	1,59
17	3,23	1,62
18	3,3	1,65
19	3,37	1,69

Tablica 9. Proračun isplativosti ako je cijena električne energije 2kn/kWh

Cijena goriva (kn)	Cijena 1kW iz sustava (kn)	Isplativost
9	2,7	0,9
10	2,77	0,92
11	2,83	0,94
12	2,9	0,97
13	2,97	0,99
14	3,03	1,01
15	3,1	1,03
16	3,17	1,07
17	3,23	1,08
18	3,3	1,1
19	3,37	1,12

Tablica 10. Proračun isplativosti ako je cijena električne energije 3kn/kWh

Možemo primijetiti da bi nam se ovakav sustav isplatio kada bi cijena goriva bila 13 kuna i manja, a kada bi električna energija iz mreže stajala 3 kune po kWh. Ovakav ishod smo mogli i očekivati pošto u ovom računu na cijenu električne energije iz sustava utječe samo cijena goriva, te što je ona manja sam sustav je isplativiji. Najisplativiji slučaj bi bio kada bi cijena goriva bila što manja, a cijena električne energije iz mreže što veća. (Cijena goriva = 9kn , cijena el. energije iz mreže = 3kn ; ovakvim FN sustavom bi proizvodili struju jeftiniju 10%).



Graf 2. Isplativost FN sustava kada je cijena el. energije 3 kn/kW



## 9. Zaključak

Ovakav Off-grid ili otočni fotonaponski sustav isplatio bi se tek kada bi cijene električne energije porasle iznad 3 kune po kWh. Trenutno cijene nisu ni blizu tome, ali trend rasta cijena energenata govori da to nije nemoguće. U trenutnoj situaciji više bi se isplatio On-grid sustav za ovu lokaciju. Ako bi htjeli da nam se ovakav sustav više isplati trebali bi ili povećati broj solarnih ćelija ili produžiti rad generatora. Ovako sustav pokriva otprilike 50% potreba za električnu energiju godišnje.

U proračunu sustava koriste se konvencionalne monokristalne fotonaponske ćelije. One imaju dobar stupanj iskoristivosti, ali je sama proizvodnja skuplja od polikristalnih. Također, danas postoje i fotonaponske ćelije koje imaju puno viši stupanj iskoristivosti od konvencionalnih monokristalnih i polikristalnih. No takve ćelije su danas još uvijek preskupe za ugradnju u običnu elektranu za obiteljske objekte. Galij arsenidne ćelije (ćelije 3. generacije) imaju gotovo duplo bolju iskoristivost u usporedbi s monokristalnim silicijskim ćelijama. Takve ćelije se danas koriste za projekte u svemiru i vojne svrhe.

U proračunu troškova ovog fotonaponskog sustava može se primijetiti da najskuplji dio nisu same ćelije već akumulatori odnosno baterije. One su neizbježne za Off-grid sustave i stvaraju najveći trošak. Danas su baterije u puno industrija najveći problem, pa tako i u jednoj od najvećih industrija na svijetu, autoindustriji. Pošto se javlja sve više hibridnih i električnih automobila tako se javlja i pojačana potreba za razvojem boljih i naprednijih baterija koje će također imati veliki utjecaj na fotonaponske sustave.

Ovakav fotonaponski sustav isplatio bi se više na nekim obalnim i priobalnim područjima, gdje je broj osunčanih sati mnogo veći te bolje raspoređen tijekom čitave godine.

## 10. Literatura

- [1] <https://www.obnovljivi.com/energija-sunca/50-povijest-koristenja-energije-sunca?showall=1>, dostupno 15.06.2022.
- [2] Filip Lemić: Solarna ćelija, Seminarski rad, FER, Zagreb, 2011.
- [3] Tomislav Veliki: Proračun fotonaponskog susatava, interna skripta iz kolegija Obnovljivi izvori energije, Unin, Varaždin, 2021.
- [4] <https://eko-sustav.hr/strucni-clanci/fotonaponski-sustavi/>, dostupno 16.06.2022.
- [5] <https://www.schrack.hr/know-how/fotonapon-pohrana-energije/projektiranje-otocnog-sustava>, dostupno 15.06.2022.
- [6] <http://energetska-obnova.hr/>. Dostupno 19.06.2022.
- [7] Ante Žiher: Analiza utjecaja izgradnje fotonaponskih sustava na opterećenje elektroenergetskog sustava i cijenu električne energije na otoku Korčuli, Završni rad, FSB, Zagreb, 2014.
- [8] <https://www.solarno.hr/>, dostupno 23.06.2022.
- [9] [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html), dostupno 23.06.2022.
- [10] Priručnik za energetska korištenje Sunčevog zračenja, 2007.
- [11] <https://dsegom.com/en/>, dostupno 16.06.2022.
- [12] <https://www.nasa.gov/>, dostupno 16.06.2022.
- [13] <https://en.wikipedia.org>, dostupno 16.06.2022.
- [14] [https://hmn.wiki/hr/Monocrystalline\\_silicon](https://hmn.wiki/hr/Monocrystalline_silicon), dostupno 17.09.2022.
- [15] [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system_en), dostupno 19.09.2022.

## 11. Popis slika

Slika 1. Primjer fotonaponske elektrane.....	1
Slika 2. Sunce kao užarena kugla.....	2
Slika 3. Raspodjela Sunčevog zračenja na Zemlju.....	3
Slika 4. Prostorna razdioba srednje godišnje ozračenosti vodoravne plohe za područje Hrvatske.....	4
Slika 5. Portret Edmonda Becquerela.....	6
Slika 6. Shema fotonaponskog efekta.....	8
Slika 7. Princip rada fotonaponske ćelije.....	10
Slika 8. Monokristalna Si ćelija.....	11
Slika 9. Polikristalna Si ćelija.....	12
Slika 10. Amorfna Si ćelija .....	13
Slika 11. GaAs ćelija.....	14
Slika 12. Shema On-grid sustava.....	15
Slika 13. Otočni fotonaponski sustav.....	16
Slika 14. Specifikacije akumulatora.....	19
Slika 15. Specifikacije FM modula.....	21
Slika 16. Specifikacije dizelskog generatora.....	22
Slika 17. Alat PVGIS.....	23
Slika 18. Specifikacije izmjenjivača.....	26
Slika 19. Specifikacije bidirekcijskog pretvarača.....	27
Slika 20. Tablica energetske obnove.....	29
Slika 21. Obračun struje za 5. mjesec 2022. godine.....	30

## 12. Popis Tablica

Tablica 1. popis trošila i potrebna energija.....	17
Tablica 2. parametri za odabir akumulatora.....	18
Tablica 3. potreban kapacitet i dnevno punjenje akumulatora.....	19
Tablica 4. Izračun potrebnih panela.....	25
Tablica 5. Popis cijena po komponenti.....	28
Tablica 6. Proračun isplativosti ako je cijena električne energije 0,77kn/kWh.....	31
Tablica 7. Proračun isplativosti ako je cijena električne energije 1,11kn/kWh.....	32
Tablica 8. Proračun isplativosti ako je cijena električne energije 1,5kn/kWh.....	32
Tablica 9. Proračun isplativosti ako je cijena električne energije 2kn/kWh.....	32
Tablica 10. Proračun isplativosti ako je cijena električne energije 3kn/kWh.....	33

## 13. Popis Grafova

Graf 1. prikaz mogućeg dobitka kWh energije pomoću FM modula za grad Koprivnicu tokom godine.....	24
Graf 2. Isplativost FN sustava kada je cijena el. energije 3 kn/kW.....	33

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za strojarstvo

STUDIJ preddiplomski stručni studij Proizvodno strojarstvo

PRISTUPNIK Ivan Kaić

MATIČNI BROJ 0195036266

DATUM 09.05.2022.

KOLEGIJ Obnovljivi izvori energije

NASLOV RADA Proračun isplativosti fotonaponskih sustava u ovisnosti na promjenu cijene električne energije i goriva

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Cost-effectiveness Calculation of Photovoltaic Systems Depending on the Price of Electricity and Fuel

MENTOR dr.sc. Tomislav Veliki

ZVANJE docent

### ČLANOVI POVJERENSTVA

1. Prof. dr. sc. Ante Čikić, predsjednik
2. Doc. dr. sc. Tomislav Veliki, mentor
3. Damir Mađerić, v. pred., član
4. doc.dr.sc. Matija Bušić, rezervni član
- 5.

VŽKC

MMI

## Zadatak završnog rada

BROJ 375/PS/2022

### OPIS

U radu je potrebno obraditi sljedeće teme:

Teoretski dio

- način rada fotonaponskih sustava, razlika između integriranih i otočnih sustava, učinkovitost komercijalnih sustava i sustava koji se baziraju na novim tehnologijama
- topologija otočnog fotonaponskog sustava, opis i funkcija komponenti
- algoritam proračuna fotonaponskog sustava, opis utjecajnih veličina (u prvom redu dani autonomije sustava) za stvarni objekt za koji postoje računi za električnu energiju

Praktični dio

-izračunati isplativost sustava korištenjem aktualnih tržišnih cijena komponenata za uzevši u obzir:

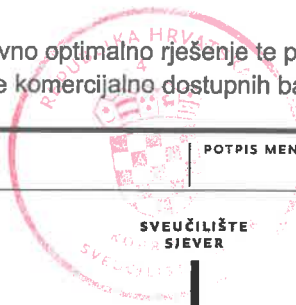
1. pokrivanje sustava fotonaponom 50%-100%, ostalo na agregat
2. cijenu goriva varirati od 9-20 kn/l
3. variranje cijene električne energije od 0,77 kn/kWh do 5 kn/kWh

U zaključku prokomentirati troškovno optimalno rješenje te posebno obraditi konflikt između autonomije sustava i visoke cijene komercijalno dostupnih baterija.

ZADATAK URUČEN

19.09.2022.

POTPIS MENTORA



SVEUČILIŠTE  
SJEVER

Sveučilište  
SjeverSVEUČILIŠTE  
SJEVERIZJAVA 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, IVAN KAIĆ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom PRORAČUN ISPLATIVOSTI FOTONAPONSKA SUSTAVA (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

IVAN KAIĆ Ivoić  
(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, IVAN KAIĆ (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom PRORAČUN ISPLATIVOSTI FOTONAPONSKA SUSTAVA (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

IVAN KAIĆ Ivoić  
(vlastoručni potpis)