

# Proizvodnja električne energije iz hibridnog sustava "Hidroelektrana-Solarna Fotonaponska Elektrana" - primjer akumulacije "Varaždinsko jezero"

---

Pejić, Andrej

Master's thesis / Diplomski 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:122:497455>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-27**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)

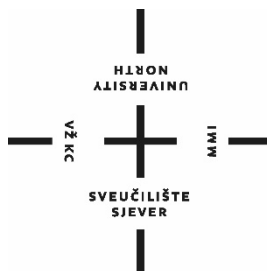


zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**



DIPLOMSKI RAD br. 73/GR/2022

**Proizvodnja električne energije iz hibridnog  
sustava "hidroelektrana-solarna fotonaponska  
elektrana" – primjer akumulacije  
"Varaždinsko jezero"**

Andrej Pejić, 2159/336

Varaždin, rujan 2022. godine



**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**  
**Studij Graditeljstva**



DIPLOMSKI RAD br. 73/GR/2022

**Proizvodnja električne energije iz hibridnog  
sustava "hidroelektrana-solarna fotonaponska  
elektrana" – primjer akumulacije  
"Varaždinsko jezero"**

**Student**

Andrej Pejić, 2159/336

**Mentor**

Izv.prof.dr.sc. Bojan Đurin

Varaždin, rujan 2022. godine

## Prijava diplomskog rada

### Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za graditeljstvo		
STUDIJ	diplomski sveučilišni studij Graditeljstvo		
PRISTUPNIK	Andrej Pejić	JMBAG	0336021487
DATUM	28.09.2022.	KOLEGIJ	Vodni sustavi
NASLOV RADA	Proizvodnja električne energije iz hibridnog sustava "Hidroelektrana-Solarna Fotonaponska Elektrana" - primjer akumulacije "Varaždinsko jezero"		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Electricity production from the hybrid system "Hydropower plant - Solar Photovoltaic Power Plant" - an example of the accumulation "Varaždinsko jezero"		
MENTOR	Bojan Đurin	ZVANJE	Izvanredni profesor
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. doc.dr.sc. Domagoj Nakić 2. izv.prof.dr.sc. Bojan Đurin 3. doc.dr.sc. Željko Kos 4. doc.dr.sc. Danko Markovinović-zamjenski član 5.		

### Zadatak diplomskog rada

BRG: 73/GR/2022

OPIS

Rad prikazuje mogućnost proizvodnje električne energije iz hibridnog sustava, koji se sastoji od hidroelektrane i solarne fotonaponske elektrane. Planira se analizirati zajednički rad hidroelektrane Varaždin i potencijalne solarne fotonaponske elektrane na vodnoj površini akumulacije Varaždinsko jezero.

Okviri sadržaj rada podrazumijeva uvodno poglavlje, teoretske postavke o hidroelektranama i solarim fotonaponskim elektranama, primjer proračuna, analizu dobivenih rezultata i zaključak. Prikazani koncept još nije obrađivan na području Republike Hrvatske.

ZADATAK DOKUČEN 29.09.2022.







Sveučilište  
Sjever



**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.

Proizvodnja električne energije iz hidrologičkog sustava "Hidroelektrana-Golma Potonaponska Elektrana - primjer akumulacije "Varaždinsko jezero"

Ja, Andrej Pejić (*ime i prezime*) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom Proizvodnja električne energije iz hidrologičkog sustava "Hidroelektrana-Golma Potonaponska Elektrana - primjer akumulacije "Varaždinsko jezero" (*upisati naslov*) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(*upisati ime i prezime*)

Andrej Pejić  
(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.

Proizvodnja električne energije iz hidrologičkog sustava "Hidroelektrana-Golma Potonaponska Elektrana - primjer akumulacije "Varaždinsko jezero"

Ja, Andrej Pejić (*ime i prezime*) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom Proizvodnja električne energije iz hidrologičkog sustava "Hidroelektrana-Golma Potonaponska Elektrana - primjer akumulacije "Varaždinsko jezero" (*upisati naslov*) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(*upisati ime i prezime*)

Andrej Pejić  
(vlastoručni potpis)

## **Predgovor**

Zahvaljujem se svom mentoru izv.prof.dr.sc. Bojanu Đurinu na svim savjetima, strpljenju, prenesenom znanju, pruženoj pomoći te dostupnosti u bilo kojem trenutku. Sa velikom odgovornošću vodio me kroz pisanje čitavog rada te pomagao kad god mi je to bilo potrebno.

Također se zahvaljujem i svim profesorima Sveučilišta Sjever koji su mi pružili potrebno znanje, kako za pisanje rada tako i za obavljanje budućeg posla i ispunjavanja svih obaveza.

Zahvaljujem se svojoj obitelji i curi na pruženoj potpori kad god je to bilo potrebno, svojim savjetima i vjerom pomogli su mi da ostvarim ovaj cilj. Zahvalan sam što su mi nesebično omogućili daljnje školovanje i sredstva za završavanje istog.



## **Sažetak**

U diplomskom radu prikazana je mogućnost proizvodnje električne energije iz hibridnog sustava "Hidroelektrana-solarna fotonaponska elektrana" na primjeru akumulacije "Varaždinsko jezero". Kako bi se dokazao potencijal ovakvog hibridnog sustava, izračunate su snage solarnog fotonaponskog sustava te količina proizvedene električne energije i potencijalne plutajuće solarne fotonaponske elektrane na akumulaciji Varaždinsko jezero. Količina proizvedene energije iz solarne elektrane proračunala se uz pomoć programa pod nazivom PVGIS. Iskazana je okvirna cijena izvedbe ovog projekta te prihodi koje bi isti donosio uslijed prodaje proizvedene električne energije. Detaljni opis pozicioniranja, veličine, vrste solarnih panela i učinkovitosti solarne fotonaponske elektrane te njene kombinacije s Hidroelektranom Varaždin prikazani su u radu.

Ključne riječi: Hidroelektrana, Varaždinsko jezero, rijeka Drava, akumulacija, solarna fotonaponska elektrana, hibridni sustav

## **Summary:**

The graduate thesis shows the possibility of producing electricity from the hybrid system "hydroelectric power plant-solar photovoltaic power plant" on the example of "Lake Varazdin". To prove the potential of such a hybrid system, the power of the solar photovoltaic system, as well as the amount of electricity produced from the potential floating solar photovoltaic power plants located on the accumulation of Lake Varazdin, were calculated. The amount of energy produced by the solar power plant was calculated by using an application called PVGIS. The framework price of this project was expressed as revenues would be made due to the sale of electricity produced. A detailed description of positioning, sizes, types of solar panels, and efficiency of solar photovoltaic power plants and their combinations with the hydroelectric power plant Varazdin is shown in the graduate thesis.

Keywords: Hydroelectric power plant, Varazdin lake, Drava river, accumulation, photovoltaic power plant, a hybrid system

## **Popis korištenih kratica**

**HE** Hidroelektrana

**MHE** Mala hidroelektrana

**PVGIS** Photovoltaic Geographical Information System

**HEP** Hrvatska elektroprivreda

**PDV** Porez na dodanu vrijednost

# Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Princip proizvodnje električne energije iz hidroelektrana .....	6
3. Energija Sunca .....	11
4. Solarni fotonaponski sustavi .....	16
4.1 Fotonaponska konverzija.....	18
4.2. Solarne ćelije .....	21
5. Klimatske karakteristike Varaždinske županije .....	25
6. Hidrološke karakteristike .....	27
7. Kombinacija rada hidroelektrane i solarne elektrane.....	34
7.1 Plutajući solarni paneli .....	35
7.2 Prednosti i nedostaci plutajućih solarnih panela .....	37
7.3 Primjeri plutajućih solarnih elektrana u svijetu.....	38
8. Primjer potencijalne solarne fotonaponske elektrane na Varaždinskom jezeru.....	42
8.1 Količina moguće dobivene energije iz postrojenja solarne elektrane na akumulaciji Varaždinsko jezero.....	45
8.2 Turistički potencijal.....	49
9. Zaključak.....	51
10. Literatura .....	52
11. Popis tablica .....	56
12. Popis slika .....	57

## 1. Uvod

Hidroenergija ili "energija vode" je potencijal za proizvodnju električne energije koji voda posjeduje tijekom svog gibanja. Energija vode se može i treba koristiti za proizvodnju drugih oblika energije, kao što je, na primjer, električna energija. U svijetu voda prednjači kao obnovljivi izvor energije pa se ujedno najviše i koristi, zatim ju slijedi Sunčeva i energija vjetra. Prednost dobivanja energije iz obnovljivih izvora energije je u tome što nema štetnog ispuštanja ugljikovog dioksida kao što je to slučaj, na primjer, pri sagorijevanju fosilnih goriva. Uzme li se u obzir sve veće globalno zagrijavanje, sve se više koriste obnovljivi izvori energije koji su ujedno i budućnost za bilo kakvu proizvodnju energije.

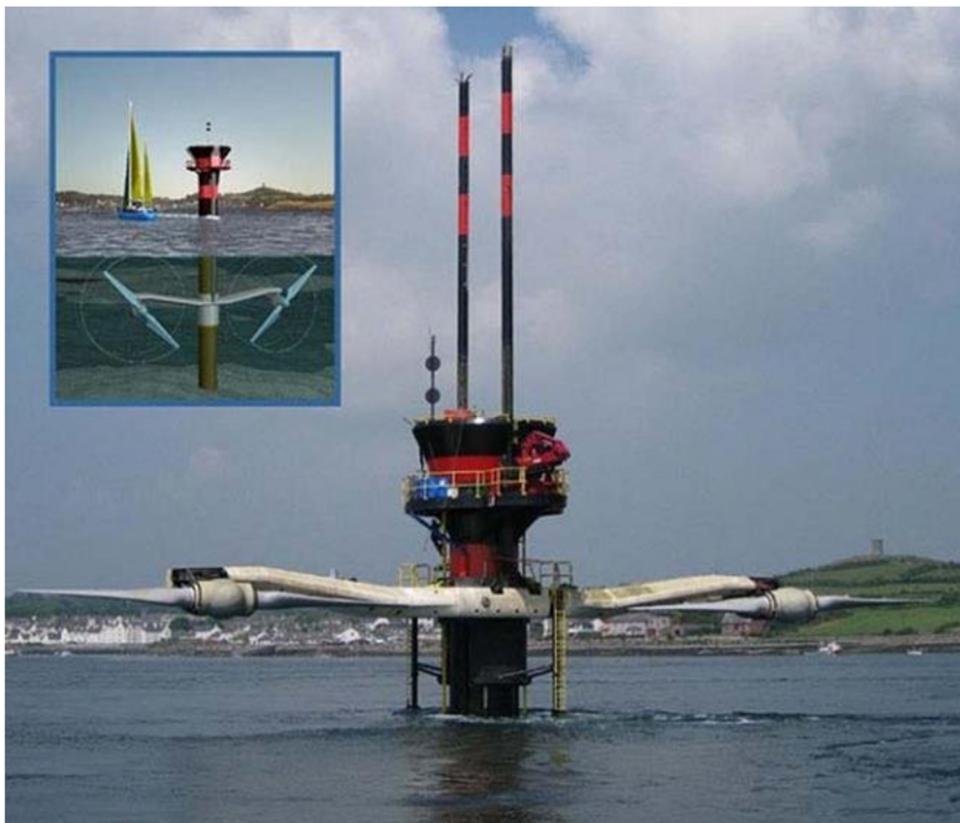
Danas već postoji mnogo oblika iskorištavanja hidroenergije. Korištenje hidroelektrana na rijekama je najzastupljeniji način proizvodnje električne energije pomoću vode (Slika 1), ali se može koristiti i energija valova (Slika 2) i morskih struja (Slika 3).



*Slika 1 Hidroelektrana Varaždin [1]*



*Slika 2 Elektrana koja koristi energiju valova [2]*



*Slika 3 Elektrana koja koristi snagu morskih struja [2]*

Danas moderne hidroelektrane i njihove turbine imaju učinkovitost i do 90% [2].

Razvitkom udruga za zaštitu flore i faune znatno je otežana gradnja hidroelektrana, a naročito velikih pa su se popularizirale male hidroelektrane (manje od 10 MW) sa svojim visokim postotkom učinkovitosti i puno manjim utjecajem na biljni i životinjski svijet, kao što je to MHE Pleternica (Slika 4, Slika 5). Hrvatska je pokazala veliki potencijal za korištenje hidroenergije [3,4].



*Slika 4 Mala hidroelektrana Pleternica [5]*



*Slika 5 Tehnički podaci MHE Pleternica [5]*

Male hidroelektrane imaju gotovo iste karakteristike kao i velike hidroelektrane, samo što imaju manju instaliranu snagu i manje su štetne za okoliš. Razlog manje štetnosti je taj da su po svojim dimenzijama manje u odnosu na velike hidroelektrane te prilikom građenja i rada manje utječu na cjelokupni okoliš. Ovakav tip hidroelektrana pogodan je za mnoge lokacije. Područje gradnje ne mora nužno biti udaljeno i izolirano te je radi toga sve veći intenzitet građenja ovih vrsta hidroelektrana. Životni vijek im je dug, a i prilično je siguran povrat investicije. Male hidroelektrane uz svoju primarnu namjenu mogu biti sagrađene i u obliku turističke atrakcije [4].

Na Zemlji postoji ogroman potencijal obnovljivih izvora energije, a pod iste spadaju Sunce, voda, vjetar, geotermalni izvori, biomasa i slično. Dovoljno je oblika i količine obnovljivih izvora energije da bi svi stanovnici Zemlje energiju dobivali upravo iz njih, a samim tim u okoliš bi se ispuštale manje količine štetnih tvari.



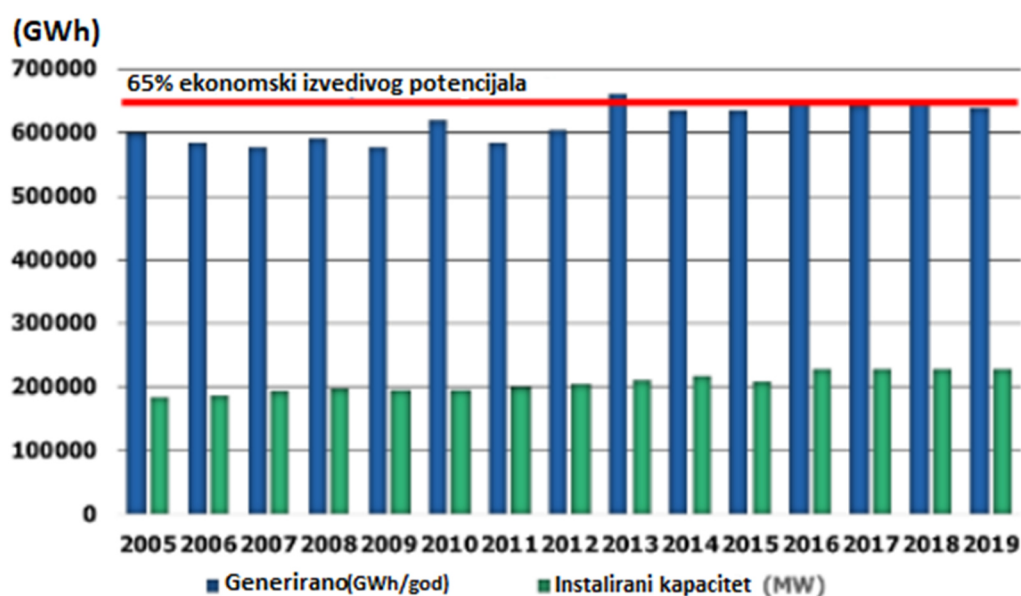
Obnovljivi izvori energije imaju takav naziv upravo zato jer su neiscrpni oblik energije za razliku od fosilnih goriva koja postoje u ograničenim količinama i s obzirom na tu spoznaju lako se da zaključiti što je budućnost i u kojem se smjeru treba krenuti. U ovom radu stavit će se naglasak na korištenje energije vode i Sunca (njihova kombinacija), a isti trenutno predstavljaju najveći potencijal obnovljivih izvora energije.

Sunčevo zračenje pretvara se u električnu energiju uz pomoć solarnih panela. Otkriće mogućnosti proizvodnje električne energije iz Sunčeva zračenja desila se prilikom spoznaje fotonaponskog efekta, a to se pripisuje Alexandru Edmondu Becquerelu u 1839. godini. Prilikom istraživanja on je primijetio da su svjetlom ozračene površine u stanju stvoriti razliku potencijala, odnosno električni napon. Ovo otkriće predstavlja jedno od najbitnijih spoznaja koje su vezane uz obnovljive izvore ako se uzme u obzir da Sunce predstavlja i najveći obnovljivi izvor energije [6].

Hrvatska ima ogroman potencijal za izgradnju hidroelektrana, ali često hidroelektrane zahtijevaju i akumulacijska jezera koja zauzimaju velike površine pa je poželjno da iste budu višenamjenske građevine. Kako bi se već zauzeta površina (sa akumulacijskim jezerom) čim bolje iskoristila, stvorila se ideja o postavljanju plutajućih solarnih panela na površini same akumulacije. Ideja ima veliki potencijal s obzirom da Hrvatska već posjeduje mnogobrojna akumulacijska, ali i prirodna jezera. U nastavku diplomskog rada dat će se primjer mogućeg postavljanja solarnih panela na akumulaciju "Varaždinsko jezero" kako bi se dočarao primjer hibridnog sustava hidroelektrane i solarne fotonaponske elektrane.

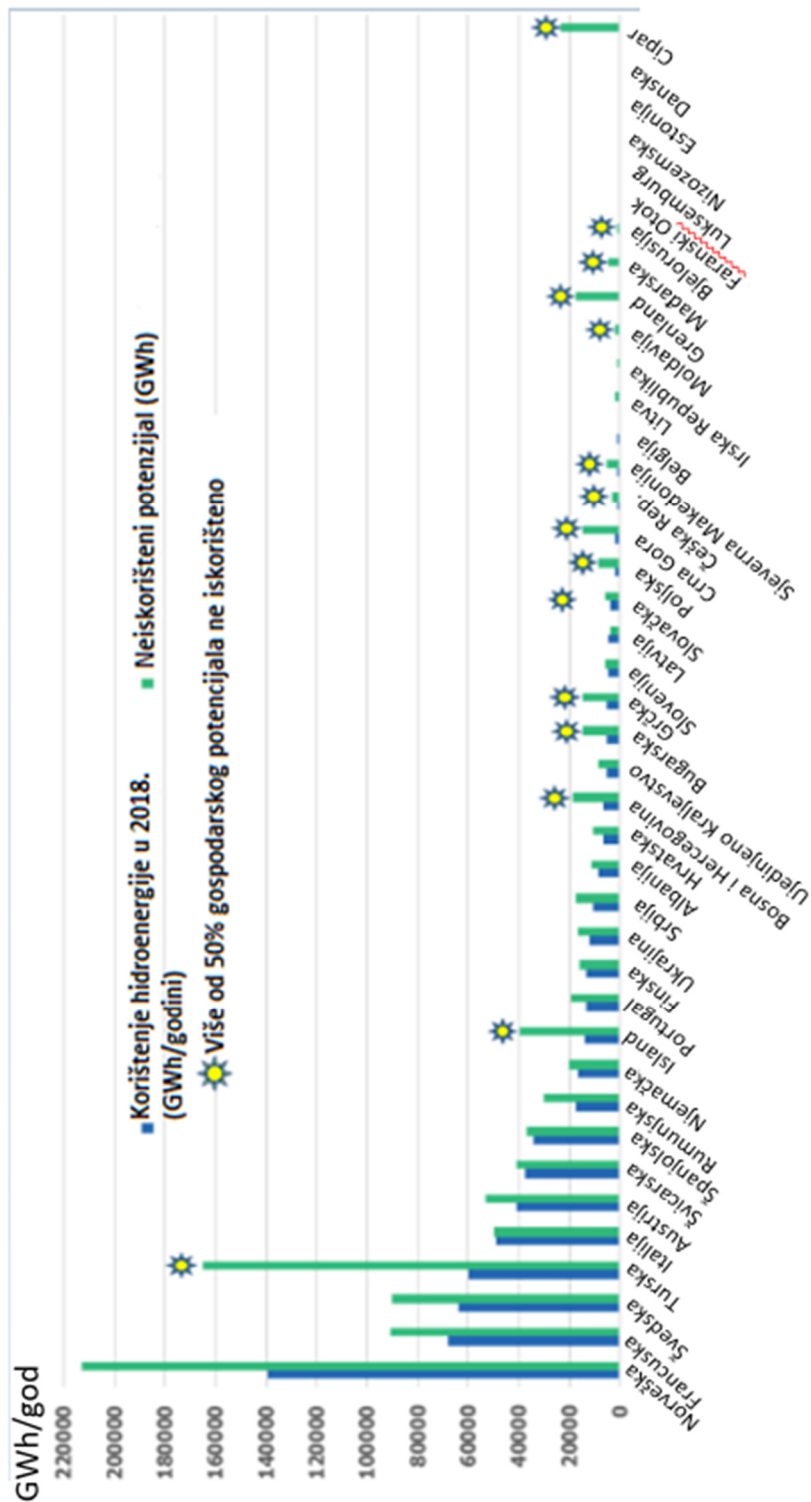
## 2. Princip proizvodnje električne energije iz hidroelektrana

Hidroenergija ima dugu povijest u Europi i u prvoj polovici prošlog stoljeća značajno je pridonijela industrijskom razvoju. Danas se u prosječnoj hidrološkoj godini proizvede gotovo 650 TWh, što je približno 65% ekonomski izvedivog hidroenergetskog potencijala u Europi. Posljednjih nekoliko godina, godišnja proizvodnja hidroenergije stabilizirala se blizu 650 TWh, a ukupni instalirani kapacitet oko 230 GW (Slika 6) [7].



*Slika 6 Razvoj godišnje proizvodnje i instaliranog kapaciteta hidroenergije u Europi od 2005. godine [7]*

Na slici 7 prikazuje se stanje korištenja hidroenergije i neiskorištenog potencijala u različitim zemljama Europe. Može se primijetiti da mnoge zemlje još uvijek imaju značajan potencijal za razvoj. Zemlje istaknute na slici 7, razvile su manje od 50% ekonomski izvedivog potencijala [7].



Slika 7 Potencijal proizvodnje i povećanja hidroenergije u zemljama Europe [7]

Podjela hidroelektrana zavisi o njihovoj instaliranoj snazi pa se tako dijele na velike (> 10 MW), male (500 kW do 10 MW), mini (100 kW do 500 kW), mikro (5 do 100 kW), piko (< 5 kW) [8].

Hidroelektrane najčešće koriste snagu riječnog toka pa se tako dijele na akumulacijske i protočne hidroelektrane. Akumulacijske hidroelektrane, potencijalnu energiju dobivaju iz akumulacijskog jezera, a protočne hidroelektrane kinetičku energiju vode skoro direktno koriste za pokretanje vodnih turbina. Poznato je kako je danas teško moguće sagraditi veliku HE, a samim tim i akumulaciju zbog utjecaja na biljni i životinjski svijet. Modernizacija hidroelektrana dovela je do manjeg utjecaja na floru i faunu, ali se i dalje male hidroelektrane smatraju prihvatljivijim rješenjem.

Hidroelektrane osim što proizvode električnu energiju i na takav način smanjuju korištenje fosilnih goriva, vrše funkciju regulacije rijeka u cilju obrane od poplava. Kod pozicioniranja hidroelektrane promatraju se neki od osnovnih parametara kao, na primjer, srednji protok, pad, udaljenost od dalekovoda, pristupni putevi i slično. Prije izvođenja hidroelektrane analizira se njena izvodljivost, a kao prvi korak u analizi izvodljivosti uzimaju se tehnički kriteriji koji ujedno određuju i tehnički potencijal hidroelektrane, a pod tim se misli na njenu godišnju proizvodnju električne energije [4].

Hidroelektrana može biti građena tako da koristi potencijalnu energiju ili kinetičku energiju vode. Izlazna snaga hidroelektrane kod korištenja potencijalne energije vode može se iskazati formulom [4]:

$$P_{izlazna} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta_{totalna} \text{ [W]} \quad (1)$$

Izlazna snaga hidroelektrane kod korištenja kinetičke energije vode može se iskazati formulom [4]:

$$P_{izlazna} = \rho/2 \cdot A \cdot v^3 \cdot \eta_{totalna} \text{ [W]} \quad (2)$$

Obrazloženje članova formula:

$\rho$  – gustoća vode (1000 kg/m<sup>3</sup>),

$g$  – gravitacijsko ubrzanje (9,81 m/s<sup>2</sup>),

$Q$  – protok (m<sup>3</sup>/s),

$H$  – neto pad (m),

$\eta_{totalna}$  – učinkovitost turbina (bezdimenzionalni koeficijent ),

$A$  – površina vode ( $m^2$ ),

$v$  – brzina ( $m/s$ ) [4].

Princip na koji energija vode prelazi u električnu energiju unutar hidroelektrane je sljedeći: tok vode mora biti usmjeren prema turbini jer upravo taj protok vode uzrokuje okretanje lopatica turbine, a na takav način dolazi do pretvaranja kinetičke energije vode u mehaničku energiju. Mehanička energija iz turbine pretvara se u električnu energiju generatora, a u generatoru vratilo turbine okreće magnet unutar zavojnice od bakrene žice, a uslijed pomaka magneta u blizini vodiča dovodi do nastanka električne energije (Slika 8) [4].

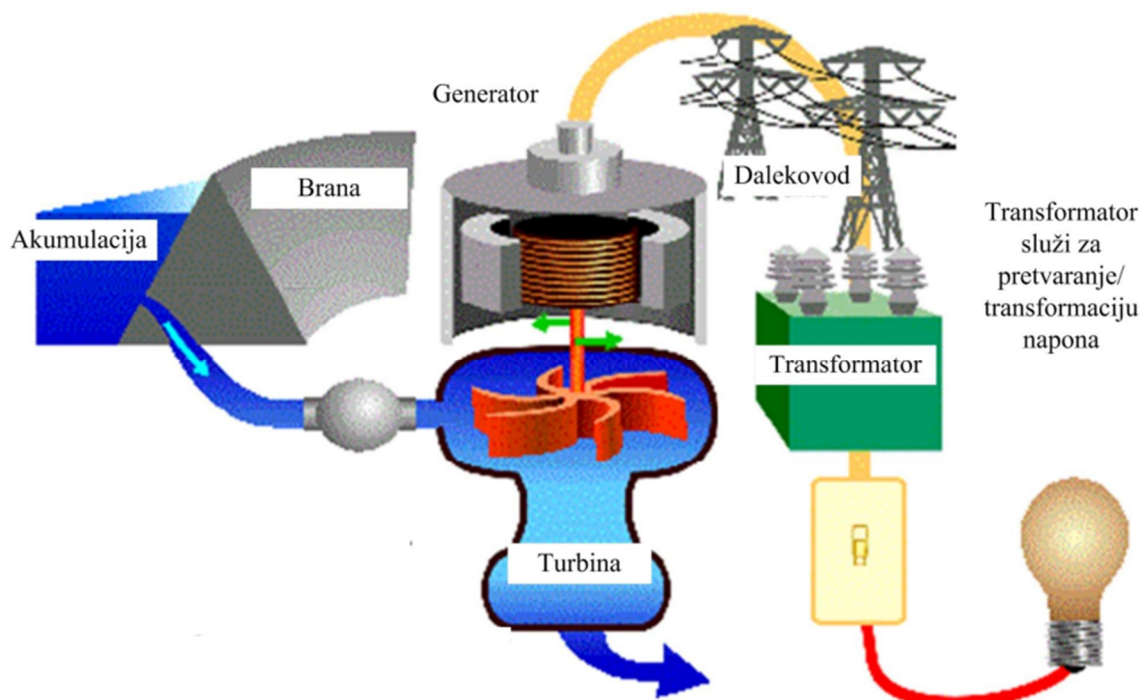
Osnovna podjela turbina su akcijske i reakcijske. Akcijske turbine se dalje dijele na: Pelton, Turgo, Crossflow, a reakcijske su: Francis, Kaplan i Propelerna turbina, iste su prikazane na slici 9.

Osnovne karakteristike reakcijske turbine su [4]:

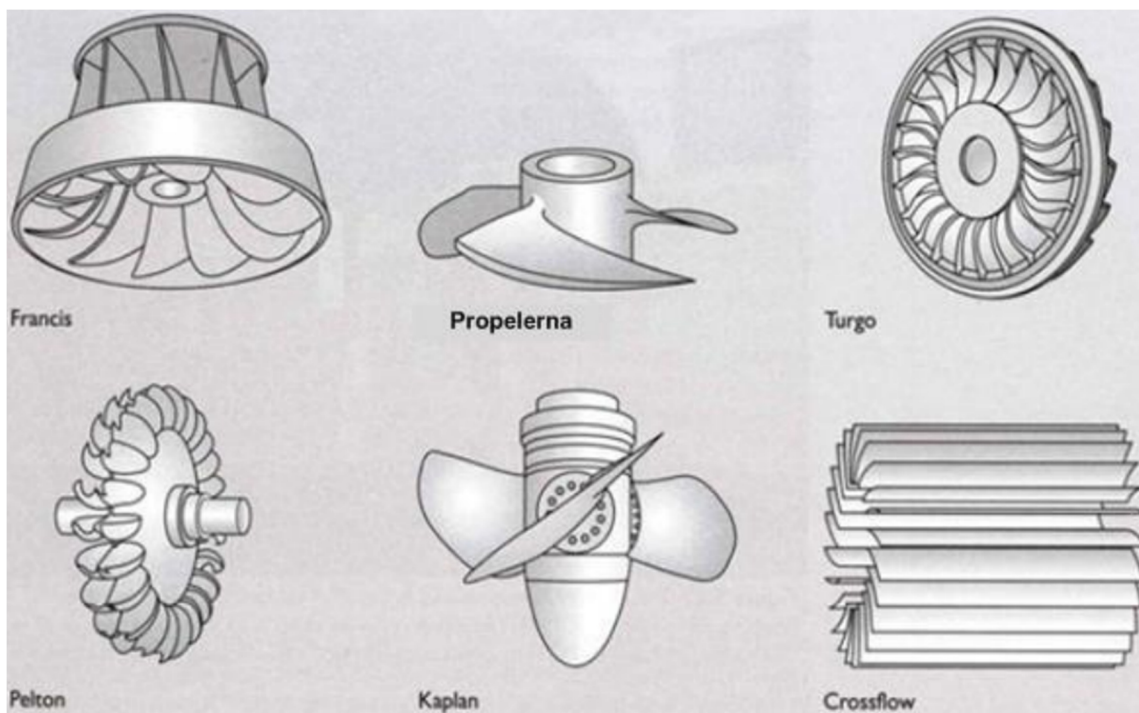
- Turbina je potpuno uronjena u vodu,
- Snaga proizlazi iz pada tlaka na turbini,
- Obodna brzina se pretvara u snagu vratila.

Osnovne karakteristike akcijske turbine su [4]:

- Voda pogađa lopatice turbine i na takav način pretvara kinetičku energiju vode,
- Nema pada tlaka na turbini.



*Slika 8 Prikaz rada i dijelova hidroelektrane [4]*

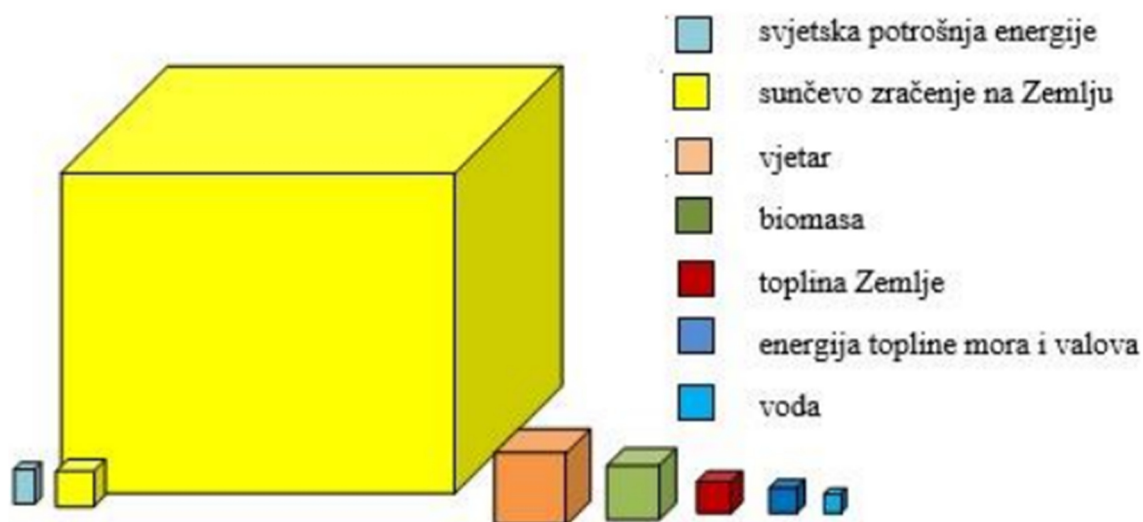


*Slika 9 Prikaz izgleda pojedinih tipova turbina [4]*

Reakcijske turbine koje se danas najčešće koriste su, Francisova i Kaplanova turbina, a od akcijskih Peltonova turbina [4].

### 3. Energija Sunca

Spoznaja koja govori da bi Sunce trebalo biti glavni obnovljivi izvor energije je ta da u jednoj sekundi oslobodi više energije nego što li je naša civilizacija iskoristila tijekom svog čitavog razvoja. Iznos snage Sunčevog zračenja je  $3,8 \cdot 10^{23}$  kW, odnosno,  $3,3 \cdot 10^{27}$  kWh/god, a do vrha Zemljine atmosfere dolazi svega pola milijarditog dijela emitirane energije, točnije  $1,53 \cdot 10^{18}$  kWh/god. Toliki kapacitet energije je veći 100 000 puta od svih elektrana na Zemlji. Jedan sunčani sat bi mogao biti dovoljan za cjelokupne godišnje potrebe za energijom za 7,5 milijardi ljudi. Kada se uzmu u obzir svi obnovljivi izvori energije na Zemlji, dolazi se do zaključka da bi ista trebala biti potpuno neovisna o korištenju konvencionalnih izvora energije (Slika 10) [9].



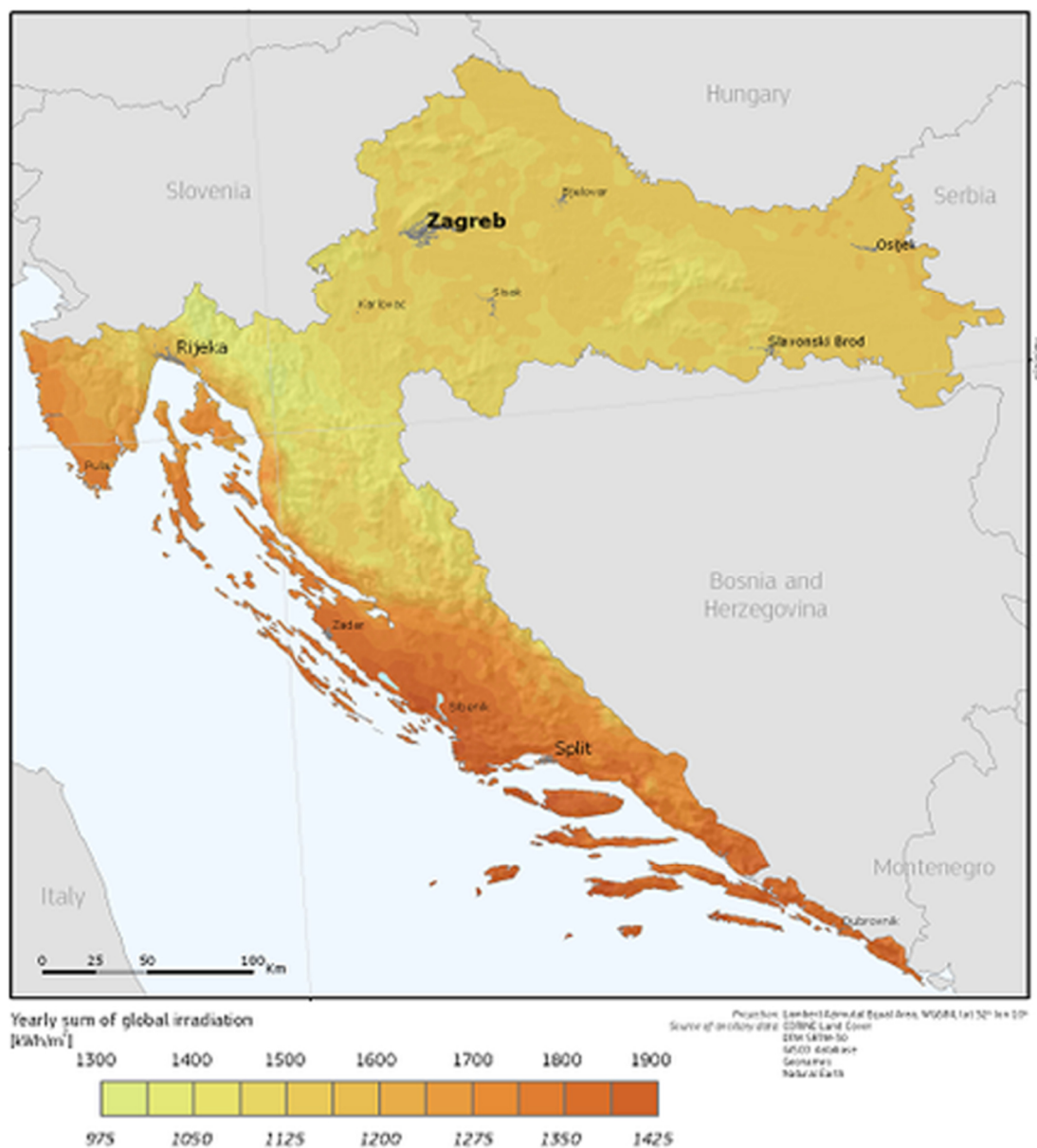
Slika 10 Prikaz obnovljivih izvora na Zemlji i količine svjetske potrošnje energije [9]

30% Sunčeva zračenja je reflektirano natrag u svemir, ali i dalje Zemlja dobiva oko  $1,07 \cdot 10^{18}$  kWh energije, što predstavlja nekoliko tisuća puta više energije od ukupne godišnje potrošnje iste iz primarnih izvora [9].

Hrvatska je država Srednje i Južne Europe, što znači da ima dobar položaj za korištenje Sunčeve energije. Prema izvješću iz 2020. godine, poznato je da instalirana električna snaga proizvodnih postrojenja koja koriste Sunčevu energiju iznosi 108,5 MW, dok instalirana toplinska snaga iznosi 201,6 MW.

Kada je riječ o instaliranoj električnoj snazi, njihova proizvodnja je 2020. godine iznosila 95,5 GWh električne energije [3].

Na slici 1 može se vidjeti karta koja pokazuje Sunčevo ozračenje pojedinih dijelova Republike Hrvatske [6].



Slika 11 Karta ozračenja Republike Hrvatske [6]

Za primjer Hrvatske uzima se podatak da je moguće primiti od 1300 do 1900 kWh/m<sup>2</sup> Sunčeve energije koja se može pretvoriti u jednoj sunčanoj elektrani snage 1 vršnog vata, tj. najveće potencijalne (teoretski moguće) snage kWp u 975 do 1425 kWh električne energije godišnje.



Kada se određuje moguća količina proizvodnje električne energije jednog postrojenja, mora se uzeti u obzir lokacija tog postrojenja, nagib i orijentacija površine gdje su smješteni solarni paneli [6].

Jedan od pokazatelja potencijala korištenja Sunčeve energije u Hrvatskoj je taj da najjače osunčan period Njemačke odgovara najslabije osunčanom predjelu u Hrvatskoj [6].

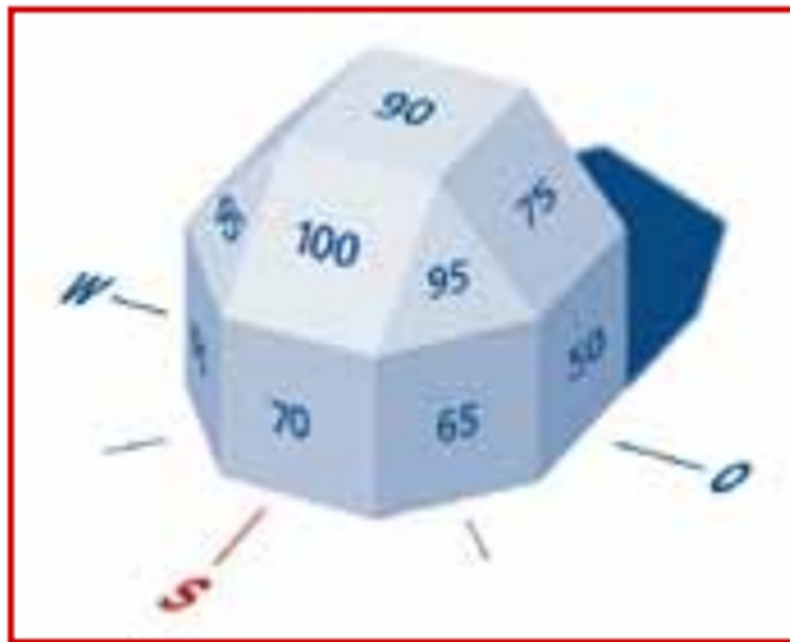
Uzme li se primjer tipske elektrane od 9,55 kW za lokaciju Zagreb s optimalnim nagibom krova od 34° uz idealnu orijentaciju krova prema jugu, elektrana će godišnje proizvoditi 10 700 kWh.

Ista elektrana preseljena je i u ostale gradove kako bi se vidio omjer količine proizvedene električne energije, ali uz uvjet da su se poštivali optimalni kutovi nagiba solarnog panela i slično. Rezultati koji su dobiveni za pojedine gradove su sljedeći: Dubrovnik 13 100 kWh, Split 12 900 kWh, Rijeka 11 300 kWh, Osijek 11 200 kWh, Varaždin 10 900 kWh [6].

Sjeverni dio Hrvatske je vodeći u državi po izgrađenim sunčanim elektranama. Jedan od primjera isplativosti gradnje velike solarne elektrane na ovim prostorima je sunčana elektrana u Trnovcu Bartolovečkom pokraj Varaždina. Snaga ove elektrane iznosi 999 kW i samim tim predstavlja najveću integriranu sunčevu elektranu u Hrvatskoj. Godišnja proizvodnja ekološki čiste električne energije iznosi 1.113 MWh. Izračuni pokazuju kako će ta elektrana unutar 30 godina ispustiti oko 10.260 tona manje ugljičnog dioksida u odnosu na istu količinu proizvedene energije u nekoj od elektrana na fosilna goriva. Ovaj projekt preuzela je čakovečka Solektra koja već duži niz godina gradi ovakve elektrane, ali i sama ulaže u iste [10].

Insolacija predstavlja energiju koju Zemlja primi od Sunčevog zračenja. Insolacija ovisi o mnogim parametrima, a neki od njih su: promjena položaja Zemlje s obzirom na Sunce, zagađenost atmosfere, količinu oblaka u određenom trenutku, utjecaj zgrada, drveća i slično. Navedeni razlozi uzrok su postavljanja solarnih panela pod određenim kutom, kako bi obuhvatili što više Sunčevog zračenja. Ako površine solarnih panela nisu idealno postavljene prema jugu, njihova efikasnost se smanjuje.

Slikovito se može prikazati što se dešava ako površine nisu točno pozicionirane prema jugu, to jest, kako onda njihova produktivnost opada (Slika 12) [6].



*Slika 12 Efikasnost solarnog panela s obzirom na njegov nagib i pozicioniranje prema stranama svijeta [6]*

Na slici 12 može se vidjeti da idealan nagib proizvodi 100% energije, a bilo koje drugo pozicioniranje solarnog panela proizvodi manje energije. Idealan nagib solarnog panela nije za sve dijelove Zemlje isti. Ova slika samo u grubo daje mogućnost brze procjene odgovarajuće pozicije panela. Važna stavka je da površine moraju biti tako pozicionirane da na njima nema sjena okolnih predmeta [6].

U određenom postotku različit nagib solarnog panela ima utjecaj na povećanje proizvodnje el. energije od ljetnih do zimskih mjeseci, dok sama orijentacija solarnog panela prema istoku ili zapadu može utjecati na proizvodnju tokom dana i na takav način povećati proizvodnju u jutarnjem ili večernjem periodu.

Najčešća varijanta postavljanja solarnog panela je da se odabere stalni kut i na takav način postoji samo jedna kombinacija koja doprinosi najvećoj proizvodnji električne energije, a na takav način se smanjuju i troškovi instalacije.

Pad Sunčevih zraka na solarni panel trebao bi biti, što je to više moguće, okomit na isti jer je tako mogućnost apsorpcije najveća kao i učinkovitost. Jednostavno se može reći da je najbolji onaj kut pri kojem je modul najviše izložen Suncu [9].

## 4. Solarni fotonaponski sustavi

Kako kod hidroenergije tako je i potencijal iskorištavanja Sunčeve energije u Republici Hrvatskoj velik. Emitirana Sunčeva energija može se koristiti za dobivanje toplinske ili električne energije. U solarnom fotonaponskom postrojenju odvija se pretvaranje Sunčevog zračenja u električnu energiju [6]. Princip je vrlo jednostavan, što se više Sunčevog zračenja primi, toliko će se više električne energije proizvesti [6]. Sunce je velik izvor energije i kao takav šteta ga je ne iskoristiti.

Osnovni element za pretvorbu energije Sunčeva zračenja u električnu energiju je solarni fotonaponski modul. Materijali potrebni za izradu bilo kakvih solarnih fotonaponskih ćelija su u obliku monokristala, poli kristala ili su amorfne tvari [9]. Slučaj kada se čitav aktivni obujam ćelija sastoji od samo jednog kristala onda se takva ćelija naziva monokristalna, a ako se u procesu rasta kristala većih dimenzija formira više kristala onda takve ćelije nazivamo polikristalne ili multikristalne [9].

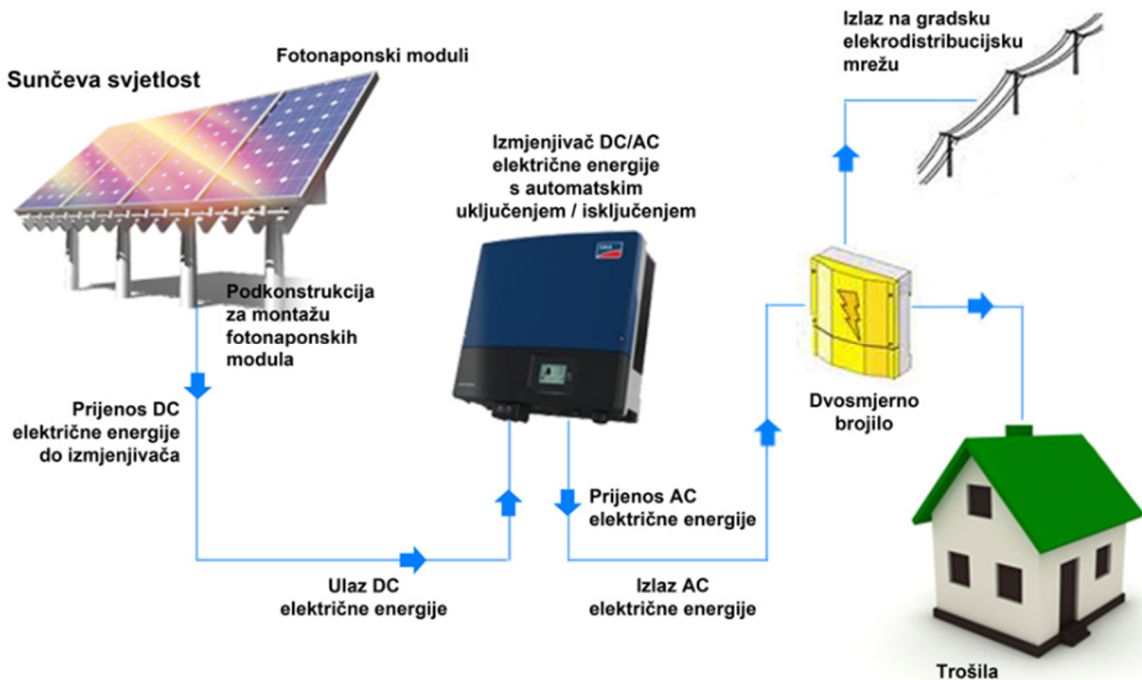
Funkcija solarnog fotonaponskog modula je da u trenutku kada je osvijetljen proizvodi istosmjerni napon, a ako je taj modul spojen na trošilo poteći će istosmjerna struja. Najčešće se veći broj modula povežu u serijski niz, a onda se takvi serijski nizovi povezuju paralelno. Razlog tome je da se dobiju optimalni uvjeti za rad elektroničkih sklopova koji ili pune bateriju ili istosmjerni napon direktno pretvaraju u izmjenični [6].

Moduli koji su spojeni u paralelu daju ukupni napon jednak svakom od pojedinih modula, dok serijski spojeni moduli daju ukupan napon kao zbroj svih pojedinih modula. Kod paralelno spojenih sustava sve pozitivne strane su spojene na jedan, a negativne na drugi pol i ta će se struja zbrajati i biti nešto veća nego kod serijski spojenih sustava. Snaga će biti veća kod paralelno spojenih modula jer će uz povećanje električne energije svaki modul imati i jednak napon, a na primjer, snaga na izlazu iz serijskog spoja bit će manja, jer će najmanja proizvodnja modula utjecati na sve preostale na način da će njome poteći struja koja ograničava snagu proizvodnje preostalih modula. S obzirom na to može se zaključiti da u slučaju različitih snaga je bolje module povezati paralelno jer će se dobiti veća krajnja izlazna snaga.

Postoje dva glavna tipa solarnih fotonaponskih postrojenja [6]:

1. Mrežni sustavi – to su postrojenja koja su spojena na javnu mrežu,
2. Otočni sustavi – to su postrojenja koja nisu spojena na javnu mrežu.

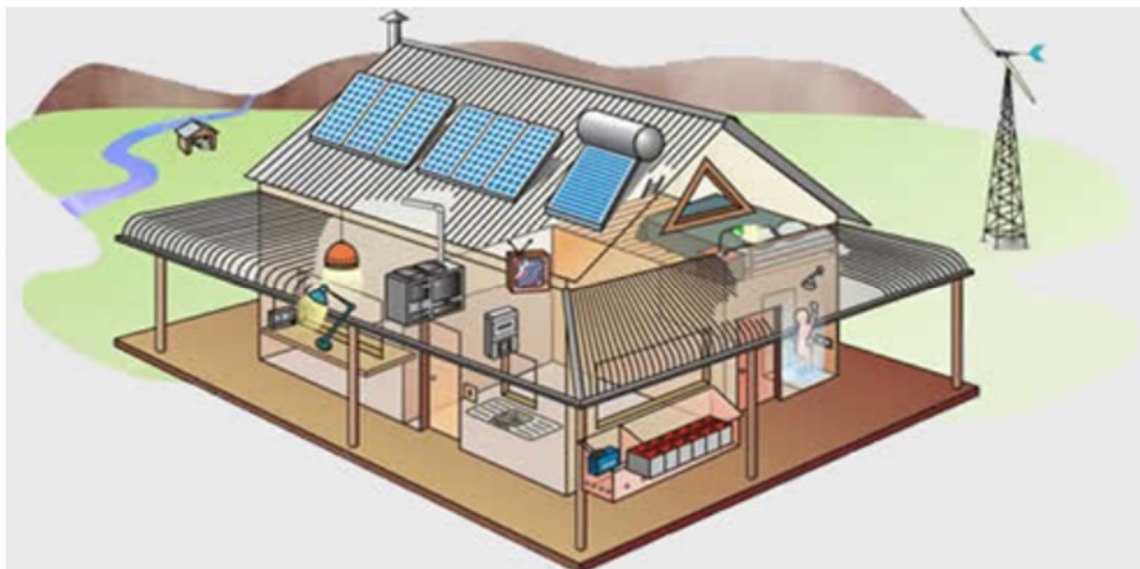
Postrojenja koja su spojena na javnu mrežu moraju zadovoljavati one uvjete koje je postavila distribucija električne energije na toj mreži. Najčešći cilj mrežnih sustava je prodaja proizvedene električne energije pa je to i razlog da u pravilu nemaju bateriju koja bi predstavljala spremnik proizvedene električne energije (Slika 13).



*Slika 13 Mrežni solarni fotonaponski sustav, princip korištenja dobivene energije iz Sunčevog zračenja [11]*

Otočna postrojenja u pravilu nemaju doticaj s mrežom već imaju bateriju kao spremnik proizvedene električne energije. Ovakvi solarni fotonaponski sustavi se najčešće koriste na onim mjestima gdje zbog određenih razloga nije moguće ili isplativo izgraditi električnu mrežu. Ovakva postrojenja koriste naselja s malim brojem stanovnika ili se radi o teško pristupačnom terenu sa slabo razvijenom infrastrukturom. Radi malog broja stanovnika očekivana je i mala potrošnja el. energije pa je neisplativo izgraditi i održavati elektroenergetsku mrežu.

U Hrvatskoj se ovakvi sustavi mogu viđati na otocima ili planinskim domovima odnosno područjima koja su bogata Sunčevim zračenjem [11]. Moguća je kombinacija otočnih (Slika 14) i mrežnih sustava [12].



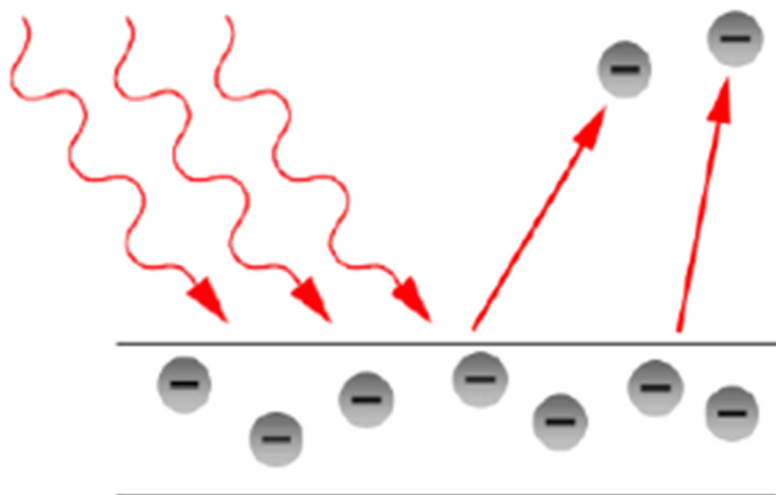
*Slika 14 Prikaz otočnog solarnog fotonaponskog sustava [13]*

Osnovni elementi solarnog fotonaponskog sustava su [13]:

- Fotonaponski modul,
- Akumulator,
- Regulator napona,
- Inverter (pretvarač).

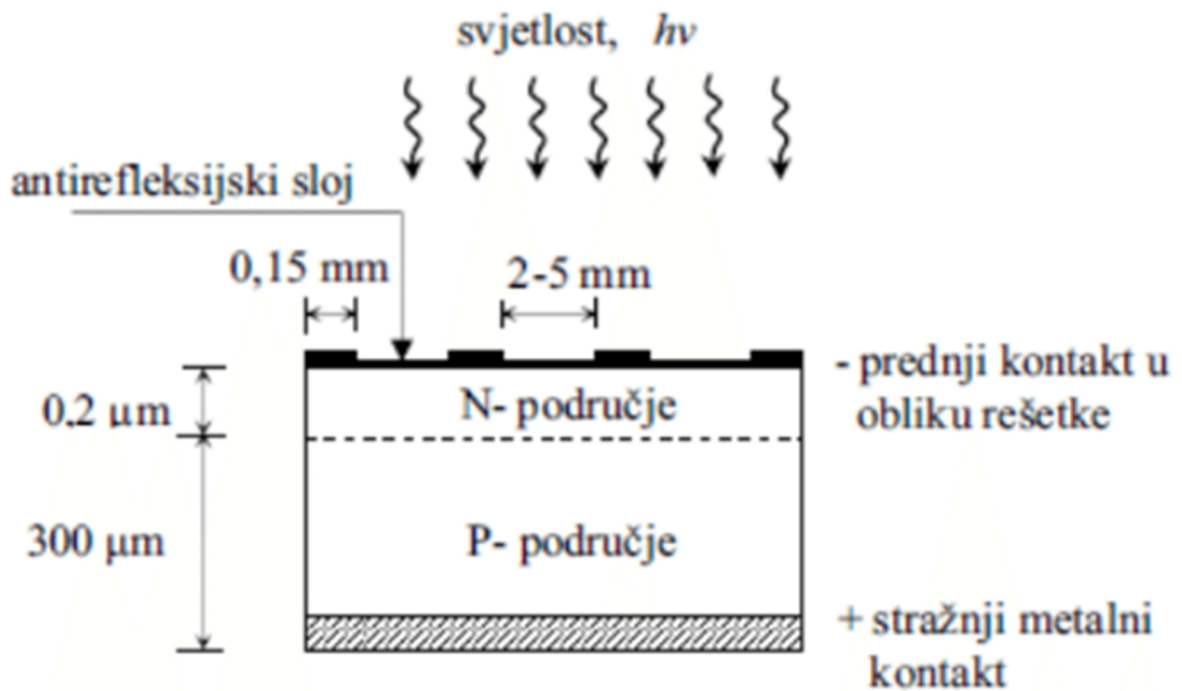
#### **4.1 Fotonaponska konverzija**

Fotonaponska konverzija predstavlja direktnu pretvorbu solarne energije u električnu energiju putem fotoelektričnog efekta. Fotoelektrični efekt je naziv za fizikalnu pojavu, kod koje uslijed djelovanja elektromagnetnog zračenja dovoljno male valne dužine dolazi do izbijanja elektrona iz obasjanog materijala (npr. metala), kao što je to prikazano na slici 15 [12].



*Slika 15 Fotoelektrični efekt [12]*

Uslijed zračenja valnom dužinom koja je veća od granične nije moguće izbiti elektrone, jer elektroni ne mogu dobiti dovoljno energije za raskidanje veza s atomom. Fotonaponska konverzija se dešava na solarnim ćelijama koje su izrađene od P i N poluprovodničkih materijala. U silicijskoj solarnoj ćeliji na površini pločice koja je P-tipa silicija, postoji tanki sloj primjese kao što je, na primjer, fosfor tako da na tankom površinskom sloju nastane područje N-tipa poluvodiča [12]. Kako bi bilo moguće skupljanje naboja nastalih apsorbicijom fotona iz Sunčevog zračenja, na prednjoj strani ćelije nalazi se metalna rešetka koja pokriva nešto manje od 5% površine te tako praktički ne utječe na apsorbiciju zračenja. Stražnja strana ćelije prekrivena je metalnim kontaktom. Prozirni antirefleksivni sloj ima funkciju smanjenja refleksije Sučeve svjetlosti. Na slici 16 prikazana je shema PN solarne ćelije s osnovnim dijelovima i dimenzijama [12].



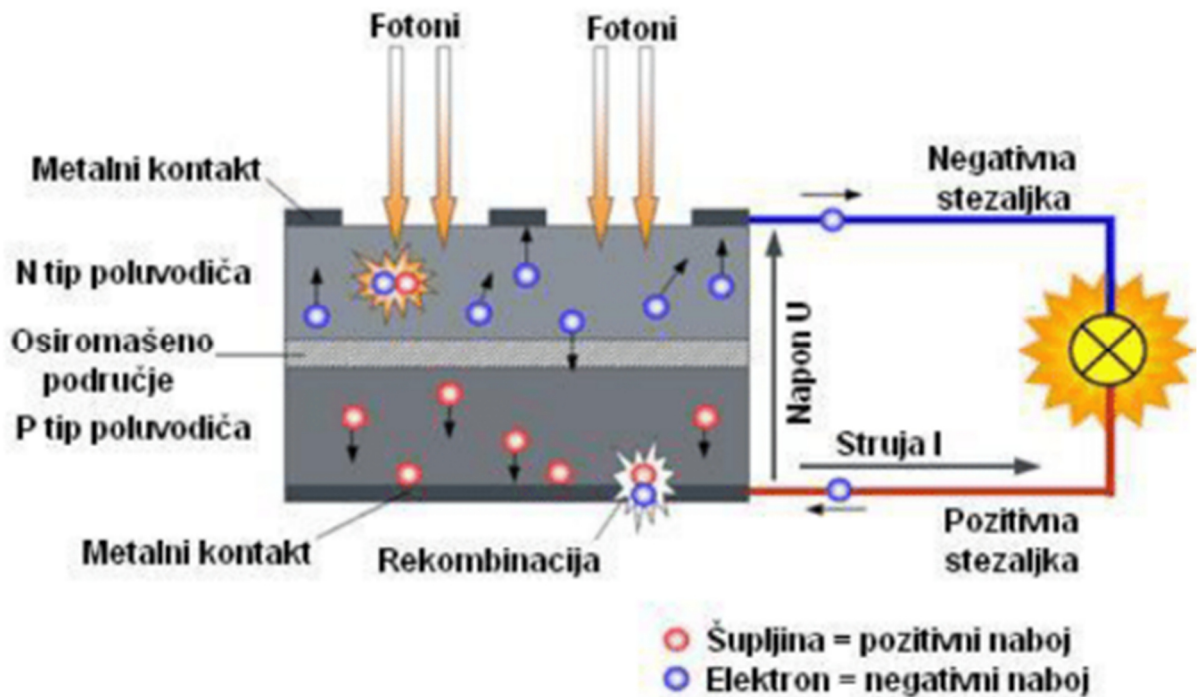
Slika 16 PN solarna ćelija sa osnovnim dijelovima i dimenzijama [12]

Kada se solarna ćelija obasja tada apsorbira Sunčevo zračenje, a uslijed fotonaponskog efekta na njenim krajevima javlja se napon. Tokom takvog procesa ćelija postaje poluvodička dioda, odnosno PN-spoj i ponaša se kao ispravljački uređaj koji propušta struju samo u jednom smjeru [12].

Kada se PN-spoj, tj. solarna ćelija osvijetli, apsorbirani fotoni proizvode parove elektron-šupljina. Slučaj kada apsorpcija nastane daleko od PN-spoja, nastali par se vrlo brzo rekombinira, a ako apsorpcija nastane unutar ili blizu PN-spoja, unutrašnje električno polje koje postoji u osiromašenom području odvaja nastali elektron i šupljinu [12]. Šupljina se kreće prema P-strani, dok se elektron kreće prema N-strani.

Do pojave napona na krajevima solarne ćelije dolazi radi skupljanja elektrona i šupljina na odgovarajućim suprotnim stranama PN-spoja. Uslijed obasjavanja solarne ćelije Sunčevim zračenjem, kontakt na P-dijelu postaje pozitivan, a na N-dijelu negativan. Uslijed spajanja kontakta ćelije s vanjskim trošilom, poteći će električna energija, a solarna ćelija tako postaje izvor iste. Dokle god je solarna ćelija obasjana smatra se stalnim izvorom električne energije. Princip rada solarne ćelije prikazat će se na slici 17 [12].





Slika 17 Prikaz procesa nastanka električne energije fotonaponskom konverzijom preko solarne PN ćelije [12]

## 4.2. Solarne ćelije

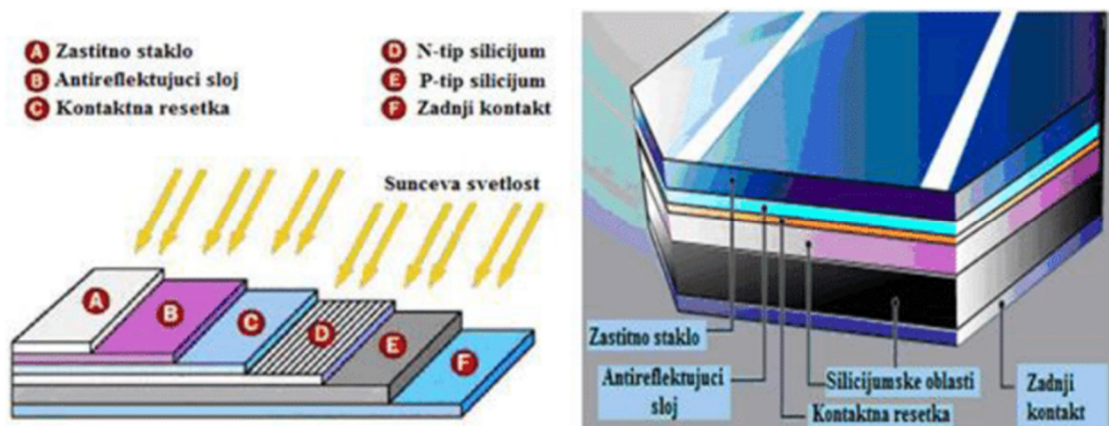
Solarne ćelije izrađuju se od raznih tipova poluvodičkih materijala, a mogu se slagati u različite strukture s ciljem postizanja što većeg faktora korisnosti prilikom transformacije energije Sunčevog zračenja u električnu energiju. Svaki materijal drugačije utječe na njihov rad, ali i cijenu.

Materijali od kojih se izrađuju solarne ćelije, a klasificiraju se prema kristalografskoj strukturi su [12]:

- amorfni,
- monokristalni,
- polikristalni.

Amorfne solarne ćelije imaju najnižu efikasnost u iznosu od 8% i cijena im je zato najniža. Monokristalne solarne ćelije su najskuplje, ali je i efikasnost najveća, od 18%. Polikristalne ćelije su se našle u sredini što se tiče efikasnosti, a ona iznosi 15% [12]. Efikasnost kod visokokvalitetnih solarnih panela može premašiti i 22% učinkovitosti pa čak doseći i 23%, ali većina dostupnih panela ne premašuje 20% [12].

Poprečni presjek uobičajene solarne ćelije prikazan je na slici 18.

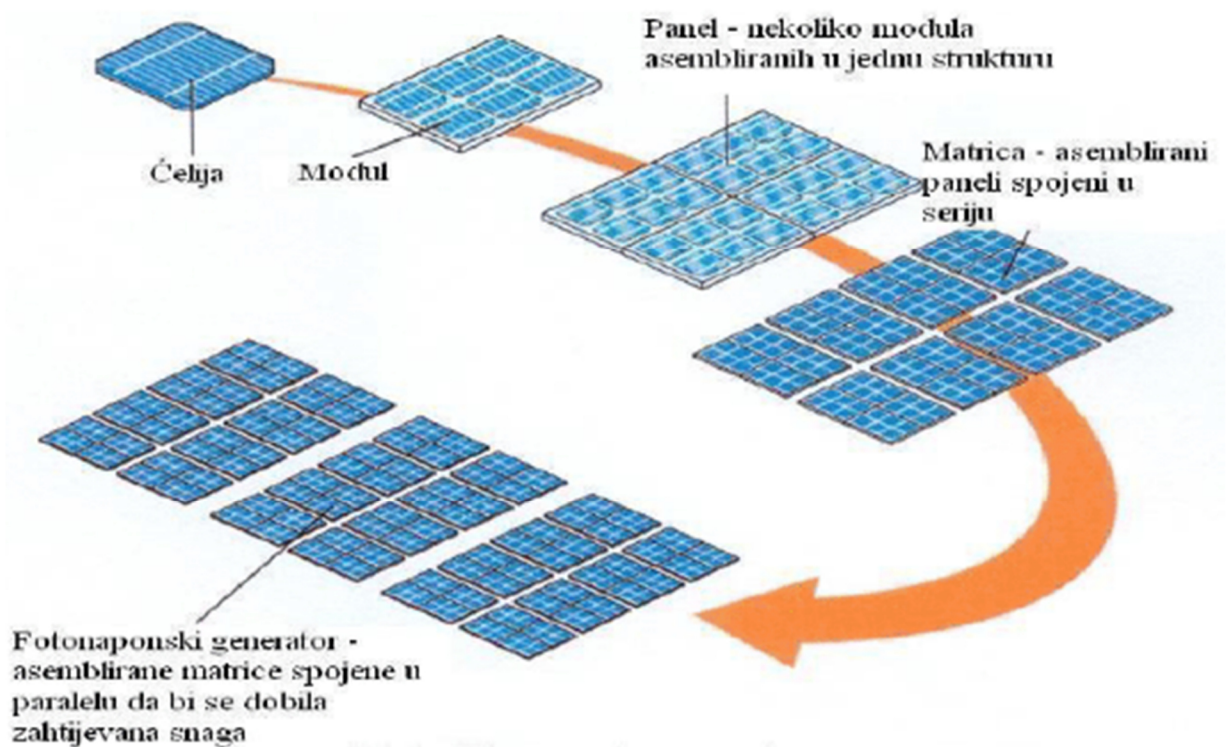


Slika 18 Poprečni presjek solarne ćelije [12]

Prvi sloj solarne ćelije predstavlja zaštitno staklo, a to je zapravo  $SiO_2$  (silicij dioksid), koji štiti ćeliju od raznih vanjskih utjecaja. Drugi sloj je antirefektirajući sloj čija je funkcija smanjenja refleksije svjetlosti kako bi čim više energije dospjelo do poluprovodnika i na takav se način povećala iskoristivost ćelije.

Zatim slijedi sistem transparentnih elektroda čija je funkcija stvaranja kontakta poluprovodnika s PN spojem u kome se vrši zahvaćanje fotona Sunčeve svjetlosti. S donje strane nalazi se metalizacija, tj. zadnji kontakt [12].

Jedna ćelija proizvodi relativno malu snagu. U nekakvim standardnim uvjetima pogona solarnih sistema (temperatura  $25\text{ }^\circ\text{C}$  te snaga zračenja  $1000\text{ w/m}^2$ ), solarna fotonaponska ćelija proizvodi struju od svega 3 A i napon oko 0,6 V, odnosno, snagu u iznosu 2W. Zato se solarne ćelije grupiraju u solarne module kako bi se dobile veće brojke. Spajanjem više modula u jednu strukturu dobiva se solarni panel. Kada su paneli spojeni u seriju čine matricu, a više spojenih matrica čine fotonaponski generator. Proces nastanka fotonaponskog generatora prikazan je na slici 19 [12].



Slika 19 Prikaz nastanka fotonaponskog generatora [14]

Proizvodnja električne energije pomoću Sunca iz solarnih fotonaponskih elektrana sve je češća, jer tehnologija nije komplicirana, lako se postavljaju i svakim danom sve su pristupačnije jer im cijena opada i imaju zanemariv utjecaj na okoliš. Razvitkom tehnologije učinkovitost im sve više raste. Troškovi proizvodnje solarnih panela znatno su se smanjili u posljednjem desetljeću, što je povećalo njihovu pristupačnost.

Ovaj oblik energije često se smatra najjeftinijim oblikom električne energije. Životni vijek im je u razdoblju od otprilike 30 godina [15].

Izračun prosječne snage solarnog fotonaponskog sustava,  $P_S$  [W], može se odrediti prema [16]:

$$P_S = A \cdot \eta_S \cdot 1000 \quad [16], \quad (3)$$

gdje su:

$A$  [m<sup>2</sup>] površina fotonaponskog panela,

$\eta_S$  je učinkovitost sustava.

Izračun dnevne proizvodnje električne energije,  $E_s$  [kWh], iz fotonaponske elektrane, može se odrediti prema[16]:

$$E_s = I_s \cdot A \cdot \eta_s [16], (4)$$

gdje  $I_s$  [Wh/m<sup>2</sup>/dan] predstavlja dnevni intenzitet insolacije. Proizvodnja energije se može izračunati za bilo koje analizirano vrijeme.

## **5. Klimatske karakteristike Varaždinske županije**

Temperaturne karakteristike predstavljaju vrlo važne parametre koji upućuju na isplativost gradnje solarne elektrane na navedenom području. Klimatski parametri izmjereni na području Varaždinske županije (Tablica 1) daju spoznaju da lokacija Varaždinskog jezera spada u umjereno toplu vlažnu klimu s toplim ljetima, čija su obilježja srednje temperature najtoplijeg mjeseca manje od 22°C. U najhladnijem mjesecu temperature se kreću između -1,0°C i -1,3°C. Srednja temperatura iznosi 10°C i to u mjesecu lipnju.

U dijelu godine za koji se smatra da je topli dio, srednja temperatura je viša od godišnjeg prosjeka te je njezino trajanje od sredine travnja do sredine listopada. Srednja godišnja temperatura zraka iznosi 10°C. Najtopliji mjesec je srpanj sa srednjom temperaturom u iznosu od oko 20,4°C, dok je siječanj jedini mjesec u godini čija je srednja temperatura ispod 0°C [17,18]. Navedeni podaci potvrđuju optimalne uvjete za rad solarne elektrane na području Varaždinske županije.

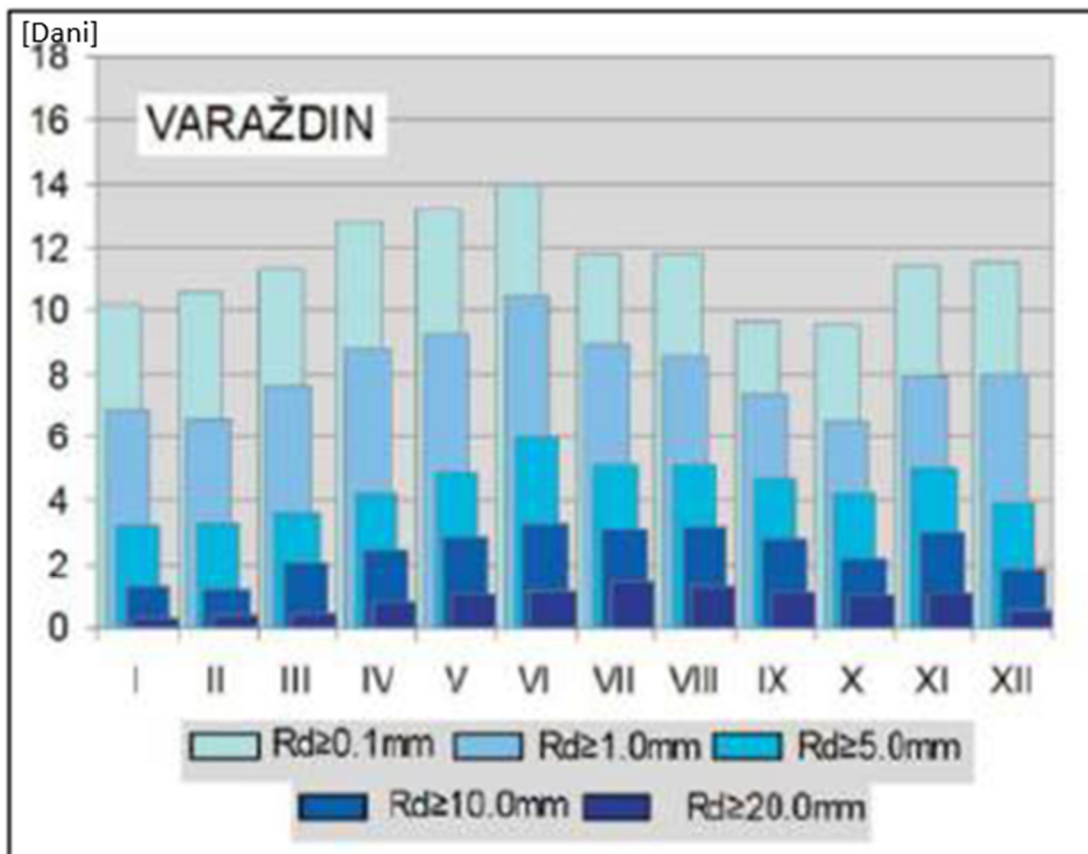
Tablica 1 Klimatski parametri izmjereni na području Varaždina za razdoblje 1949-2015. [17]

	siječanj	veljača	ožujak	travanj	svibanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan	listopad	studenj	prosinac
<b>TEMPERATURA ZRAKA</b>												
Srednja [°C]	-0.5	1.4	5.7	10.7	15.4	18.9	20.4	19.6	15.5	10.4	5.5	1.1
Aps. maksimum [°C]	19.1	21.6	25.3	30.4	33.2	36.0	39.3	39.4	32.9	27.7	24.3	21.4
Datum(dan/godina)	29/2002	16/1998	31/1989	29/2012	27/2008	23/2003	5/1950	8/2013	11/2011	6/2009	16/1963	17/1989
Aps. minimum [°C]	-26.8	-28.0	-23.4	-5.5	-2.3	2.2	4.7	3.2	-3.1	-7.5	-19.6	-22.7
Datum(dan/godina)	16/1963	16/1956	1/1963	4/1970	12/1978	5/1962	6/1962	25/1980	29/1977	30/1997	24/1988	22/1969
<b>TRAJANJE OSUNČAVANJA</b>												
Suma [sati]	75.0	102.0	148.6	186.6	240.8	252.5	282.8	259.6	190.2	144.6	82.4	62.7
<b>OBORINA</b>												
Količina [mm]	43.8	44.1	49.3	65.4	80.7	93.7	94.7	91.1	89.8	75.3	80.1	58.3
Maks. vis. snijega [cm]	52	57	76	10	4	-	-	-	-	3	60	52
Datum(dan/godina)	1/1970	5/1963	8/1955	3/1970	6/1957	- / -	- / -	- / -	- / -	28/2012	30/1993	1/1993
<b>BROJ DANA</b>												
vedrih	3	4	4	4	4	4	7	9	7	6	2	2
s maglom	9	5	3	1	1	1	1	2	6	9	8	8
s kišom	6	6	9	12	13	14	12	11	10	10	11	9
s mrazom	10	10	10	3	1	0	0	0	0	5	9	12
sa snijegom	6	5	4	1	0	0	0	0	0	0	2	5
ledenih (tmin ≤ -10°C)	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
studenih (tmax < 0°C)	9	4	1	0	0	0	0	0	0	0	1	6
hladnih (tmin < 0°C)	24	19	12	3	0	0	0	0	0	3	10	21
toplih (tmax ≥ 25°C)	0	0	0	1	6	14	20	19	7	1	0	0
vrućih (tmax ≥ 30°C)	0	0	0	0	0	3	6	5	1	0	0	0

Temperatura vode Varaždinskog jezera viša je od optimalne što dovodi do raznih procesa koji smanjuju kvalitetu biljnog i životinjskog svijeta. Uslijed povišene temperature dolazi do bujanja algi i ostalog zelenila, što predstavlja uzrok pretvaranja akumulacije u močvaru, a nakon ugibanja istih postaju dio taloga i mulja koji zatim smanjuje korisni volumen akumulacije. U višim temperaturama vode, smanjuje se i količina otopljenog kisika. Uslijed intenzivnijeg zatrpavanja takvih jezera potrebna je češća intervencija osoblja koje je zaduženo za čišćenje i održavanje istih. Solarni paneli koji bi se postavili na vodu onemogućili bi izravno obasjavanje vode Sunčevim zrakama. Rezultat toga bila bi manja temperatura vode, a samim tim smanjili bi se malo prije navedeni problemi, a uz to bila bi i manja evaporacija vode. Područje akumulacije Varaždinskog jezera ubraja se u srednje osunčano s oko 2000 sati sijanja Sunca godišnje [17,18].

## 6. Hidrološke karakteristike

Očekivani maksimum oborina je u proljeće, dok je sekundarni u jesen. Ovaj hod količine oborina odgovara kontinentalnom tipu. Srednja godišnja količina padalina u razdoblju od 1949. do 2015. iznosit će 866 mm. Najmanja količina oborina je u siječnju i veljači, dok je snježni pokrivač prisutan u periodu od listopada do svibnja te traje između 30 i 45 dana. Za navedeno područje, najveće visine snježnog pokrivača iznose do 57-70 cm. Na godišnjoj razini zabilježeno je oko 16% vedrih dana, što bi bilo svega 55-65 dana, dok su oblačni dani dvostruko češći. Područje se može svrstati u srednje osunčano. Na slici 20 prikazana je količina dnevnih oborina (Rd) u određenom vremenu [17].



Slika 20 Godišnji hod srednjeg broja dana s količinom oborina  $Rd \geq 0,1\text{mm}$ ,  $Rd \geq 5,0\text{mm}$ ,  $Rd \geq 10\text{mm}$ ,  $Rd \geq 20\text{mm}$  [10]

Količina padalina promjenjiva je od godine do godine.

Područje akumulacije Varaždinsko jezero bogato je vlagom tokom cijele godine, dok prosječna mjesečna vrijednost relativne vlage zraka iznosi više od 70%, a očekivani maksimum je u studenom i prosincu [17].

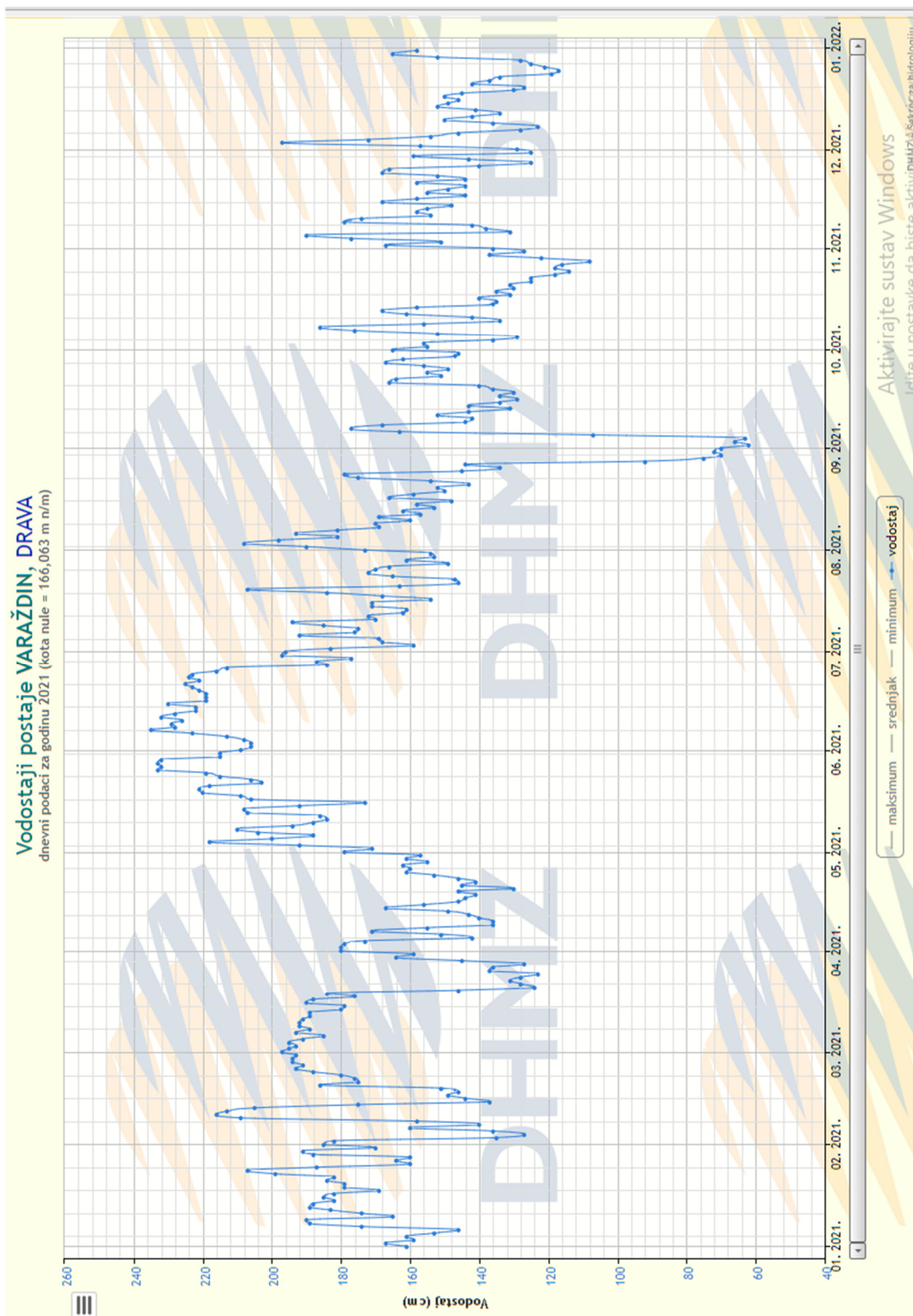
Mjerna postaja na rijeci Dravi (Slika 62) omogućava praćenje vodostaja kao važnog parametra za bilo kakvo gospodarenje vodama. Protok se proračunava korištenjem protočne krivulje, a u kombinaciji s vodostajem daje potpunu sliku režima tečenja nekog vodotoka.



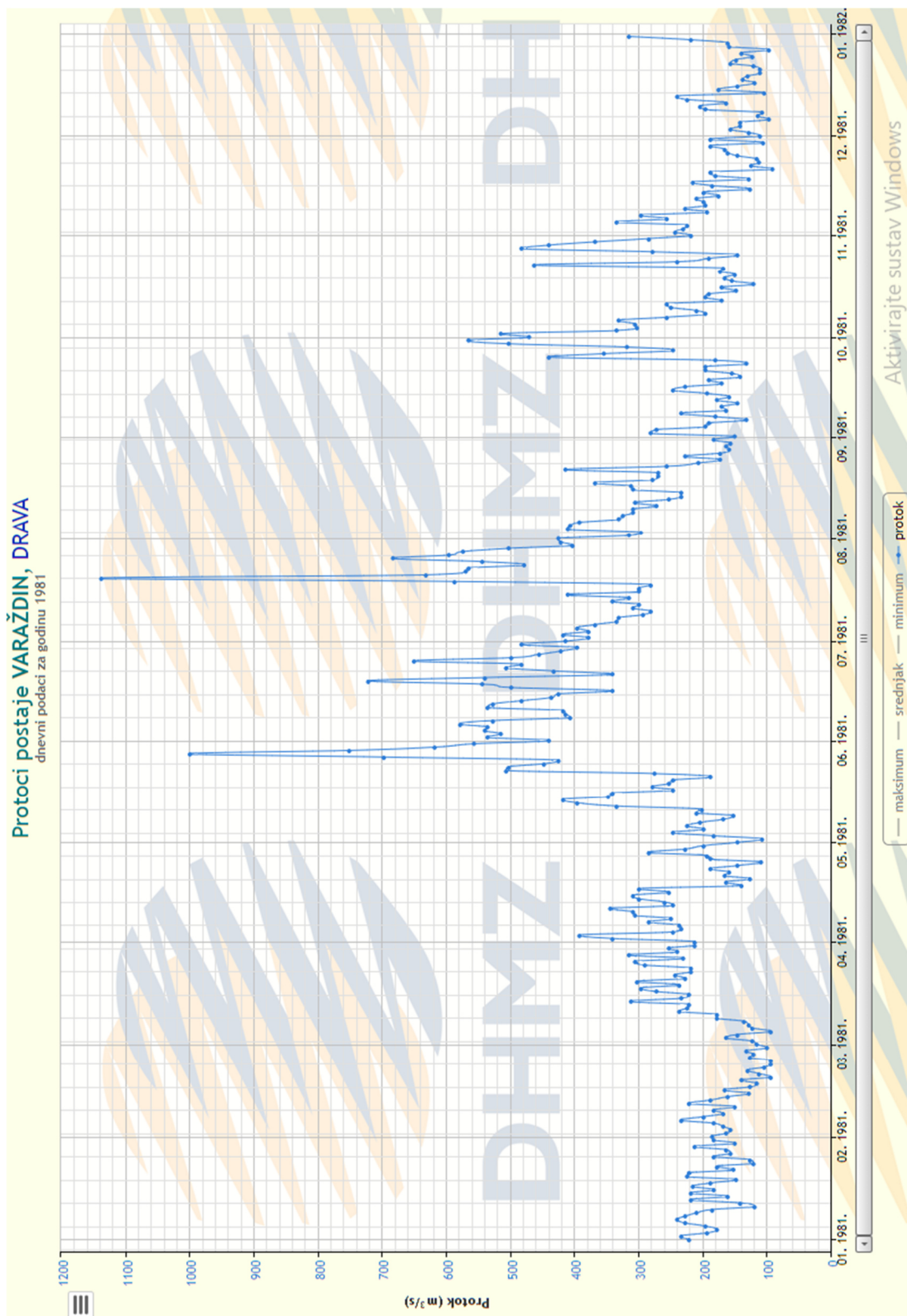
*Slika 21 Hidrološka postaja na rijeci Dravi [19]*

Vrijednosti vodostaja i protoka, kao i njihova međusobna veza (protočna krivulja), predstavljaju osnovu na temelju koje se provode sve aktivnosti vezane uz vodu. Pod ove aktivnosti smatra se skup djelatnosti vezanih uz energetiku, ekologiju, poljoprivredu i vodno gospodarstvo. Vrijednosti vodostaja (Slika 22) i protoka (Slika 23) koje zabilježi hidrološka postaja na rijeci Dravi, dostupne su na web stranici Državnog hidrometeorološkog zavoda.





Slika 22 *Vodostaji postaje Varaždin, Drava [20]*



Slika 23 Protoci postaje Varaždin, Drava

Podaci dobiveni mjerenjem su vrlo važni, ali posebno se stavlja naglasak na ekstreme. Minimalni vodostaj (za godine mjerenja: 1900.-2021.) zabilježen je, 9.12.1978. godine te je iznosio, -106 cm, a maksimum 5.9.1965. godine s iznosom od 424 cm (Slika 24).

Vrsta mjerenja	Info
VODOSTAJ	<b>Ekstremi</b>
	<b>Razdoblje:</b> 1900. - 2021. Kota nule: 166,063 m n/m Minimum: 9. 12. 1978. -106 cm Maksimum: 5. 9. 1965. 424 cm
	<b>Godine mjerenja:</b> 1900-1912 1920-1944 1946-2021

*Slika 24 Ekstremne vrijednosti vodostaja*

Minimalni protok (za godine mjerenja: 1957.-1981.) zabilježen je, 25.12.1977. godine te je iznosio 22,13 m<sup>3</sup>/s, a maksimum 21.8.1966. godine s iznosom od 2842 m<sup>3</sup>/s (Slika 25).

PROTOK	<b>Ekstremi</b>
	<b>Razdoblje:</b> 1957. - 1981. Minimum: 25. 12. 1977. 22,13 m <sup>3</sup> /s Maksimum: 21. 8. 1966. 2842 m <sup>3</sup> /s
	<b>Godine mjerenja:</b> 1957-1981

*Slika 25 Ekstremne vrijednosti protoka*

Najniža temperatura (za godine mjerenja: 1954.-2021.) zabilježena je, 2.1.1954. godine te je iznosila, 0,0 °C, a najviša je zabilježena 21.7.1964. godine s iznosom od 27,0 °C (Slika 6.6).

TEMPERATURA	<b>Ekstremi</b>
	<b>Razdoblje:</b> 1954. - 2021. Minimum: 2. 1. 1954. 0,0 °C Maksimum: 21. 7. 1964. 27,0 °C
	<b>Godine mjerenja:</b> 1954-1985 2007-2010 2012-2021

*Slika 26 Ekstremne vrijednosti temperature*

Najniža koncentracija (za godine mjerenja: 1967.-1984.) zabilježena je, 6.12.1975. godine, a iznosila je 0,020 g/m<sup>3</sup>, maksimum je bio 10.9.1967. godine s iznosom od 496,0 g/m<sup>3</sup> (Slika 26).

KONCENTRACIJA	<b>Ekstremi</b>
	<b>Razdoblje:</b> 1967. - 1984. Minimum: 6. 12. 1975. 0,020 g/m <sup>3</sup> Maksimum: 10. 9. 1967. 496,0 g/m <sup>3</sup>
	<b>Godine mjerenja:</b> 1967-1984

*Slika 27 Ekstremne vrijednosti koncentracije*

Minimalni pronos (za godine mjerenja: 1967.-1981.) zabilježen je, 6.12.1975. godine, a iznosio je 0,430 t, maksimum je bio 26.9.1973. godine s iznosom od 45164 t (Slika 27).

PRONOS	<b>Ekstremi</b>
	<b>Razdoblje: 1967. - 1981.</b> Minimum: 6. 12. 1975. 0,430 t Maksimum: 26. 9. 1973. 45164 t
	<b>Godine mjerenja:</b> 1967-1981

*Slika 28 Ekstremne vrijednosti pronosa*

Omjer sunčanih dana i količine oborina uravnotežen je što predstavlja opravdanost postavljanja solarne elektrane na akumulaciju Vraždinsko jezero. Sunčanih dana je dovoljno kako bi se poroizvodila pristojna količina električne energije, dok oborina ne nedostaje za uravnotežen rad i funkciju jezera. Oborine ne utječu na značajno povećanje volumena vode u akumulaciji na način da bi mogle uzrokovati preljevanje preko rubova brane akumulacije [17]. Ekstremni manjak padalina uzrokovao bi spuštanje razine vode u akumulaciji što bi dovelo do značajnog poremećaja u funkciji iste, a samim tim ni ostale građevine koje su ovisne o njoj (HE) ne mogu raditi u očekivanom potencijalu.

Voda u akumulaciji ne bi smjela pasti ispod one razine za osiguravanje biološkog minimuma, odnosno, neophondo je sačuvati količinu vode za normalno snabijevanje potrošača. Razina vode u jezeru promjenjiva je tokom vremena, ali ne smije pasti do one razine ili se zadržati na njoj, onoliko koliko to nije predviđeno tokom planiranja za gradnju iste [17]. Uslijed spuštanja razine vode u akumulacijama, potrebno je istu koristiti racionalno i odgovorno i koliko god je to moguće osigurati da se potrebne količine vode vremenski preraspodjele na način koji je prihvatljiv s obzirom na raspoloživost resursa.

## 7. Kombinacija rada hidroelektrane i solarne elektrane

U Hrvatskoj se nalaze brojna umjetna, ali i prirodna jezera (Slika 29) koja bi se mogla iskoristiti za postavljanje plutajuće solarne elektrane. Glavna prednost postavljanja solarnih panela na površinu jezera je ta da se ne zauzima dodatno nova površina već se samo višenamjenski koristi postojeća. Ovakve solarne elektrane nisu previše zastupljene u svijetu, dok ih u Hrvatskoj nema, što znači da bi se mogla stvoriti i turistička atrakcija na tom području.



*Slika 29 Jezera u Republici Hrvatskoj (imena jezera plavom bojom-prirodna, imena jezera crnom bojom-umjetna ) [21]*

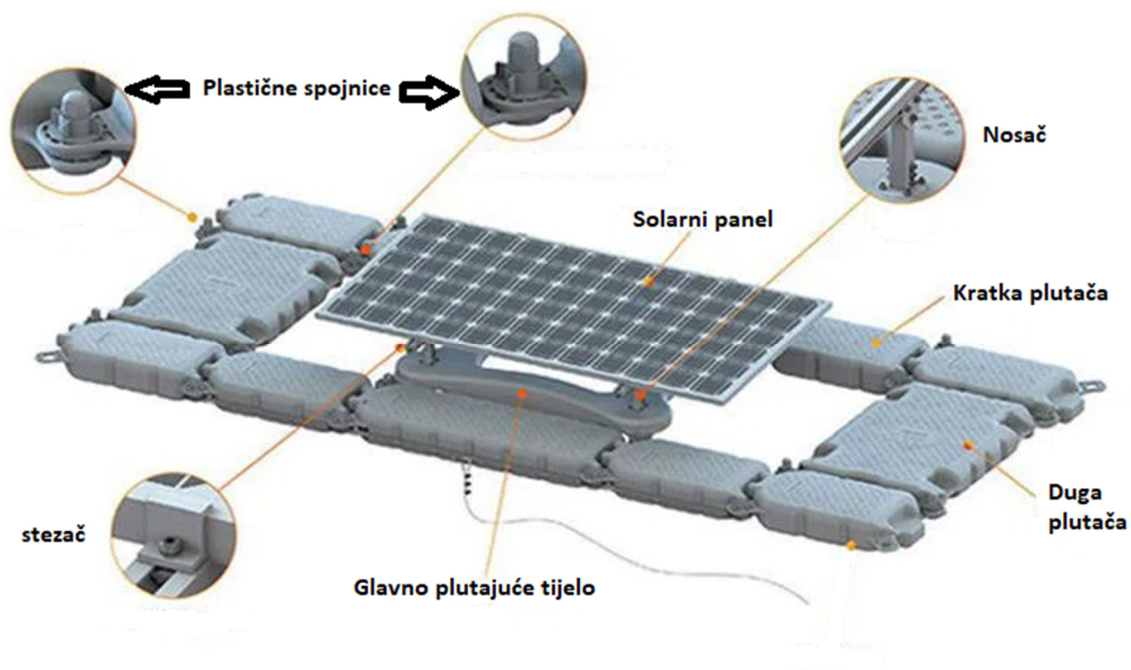
Važna spoznaja je ta da se kombinacijom dobivanja električne energije iz solarne i hidro energije omogućava konstantan izvor "zelene energije" bez obzira na period godine.

Tijekom ljeta vodostaji rijeka najčešće su niski pa je tako i manja proizvodnja električne energije iz hidroelektrane radi slabijeg protoka, ali je zato veća proizvodnja u solarnoj elektrani radi količine Sunčevog zračenja. Tako i obratno, kada je vrijeme oblačno i kišno manja je proizvodnja električne energije u fotonaponskoj elektrani, ali zato hidroelektrana radi s puno većim kapacitetom pa se lako da zaključiti dobrobit ovakve kombinacije dva obnovljiva izvora energije [16].

### **7.1 Plutajući solarni paneli**

Akumulacijska jezera zauzimaju velike površine pa je cilj iste iskoristiti na čim funkcionalniji način pa se radi toga i razvila ideja za plutajuću solarnu elektranu. Uz osnovne načine iskorištavanja akumulacijskih jezera (za potrebe hidroelektrane, regulacija vodnog režima, zaštita od poplava, osiguravanje potrebne količine vode korisnicima, povećanje ribljeg fonda, turizam...), moguće ih je iskoristiti i na još jedan efikasan, ali ne toliko zastupljen način. Površina Varaždinskog jezera iznosi 10,5 km<sup>2</sup> te bi se ista mogla koristiti za to da se na nju postave plutajući solarni paneli koji bi iz Sunčevog zračenja proizvodili električnu energiju i samim tim bi se uz Hidroelektranu Varaždin dobio još jedan način proizvodnje energiju iz obnovljivih izvora.

Plutajući sustav solarnih panela se sastoji od solarnih fotonaponskih modula koji su postavljeni na platforme koje plutaju na površini vode (Slika 30). Izgradnja jednog ovakvog sustava je zahtjevna i skupa, ali povrat investicije je brz i efikasan. Primjer jednog izvedenog ovakvog sustava prikazan je na slici 31.



Slika 30 Plutajući sustav solarnih panela [22]



Slika 31 Primjer izvedenog sustava plutajućih solarnih fotonaponskih panela [22]



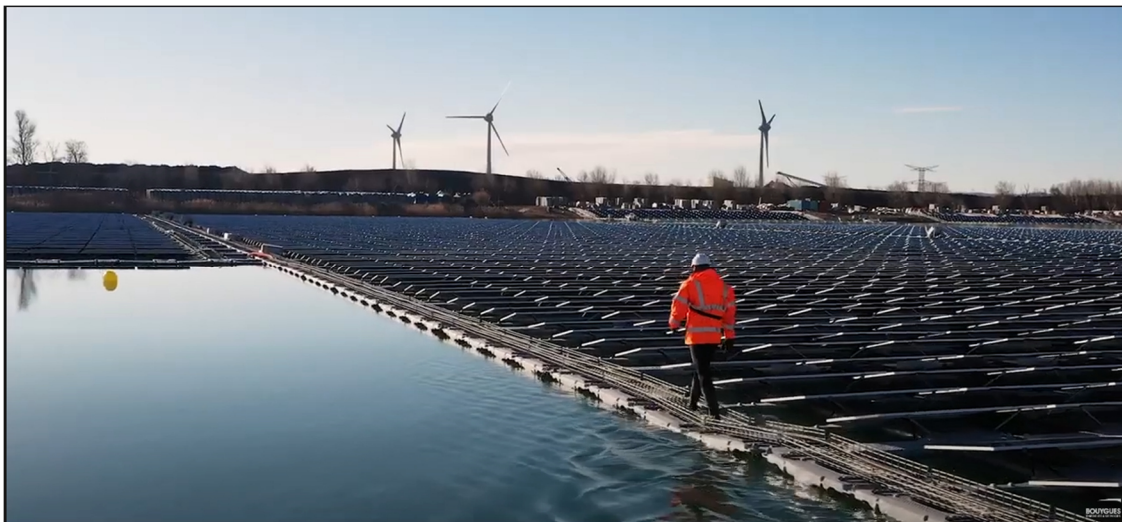
Ovakvi sustavi plutajućih solarnih panela najčešće se postavljaju na jezera ili brane jer su općenito mirniji od oceana. Električna energija koja se dobije iz ovih sustava se transportira podvodnim kablovima do prijenosnog tornja. Plutajuće solarne ploče sastoje se od solarnog modula, materijala protiv hrđe, uzgonskog tijela, vertikalnih i horizontalnih okvira i sklopa nosača modula [22]. Pošto se čitav sustav nalazi u predjelu visoke vlažnosti on mora biti otporan na istu, kao i na prašinu, bez čestica olova i dobro zaštićen od djelovanja vode. Uzgonsko tijelo je izrađeno od polietilena, a može držati i do 2,5 puta veću težinu od one kojom se zapravo u praksi opterećuje sustav. Plutajuća struktura zaštićena je premazom od magnezijske legure što stvara visoku otpornost na koroziju [22].

## **7.2 Prednosti i nedostaci plutajućih solarnih panela**

Kao i sve tako i plutajući solarni paneli imaju svoje prednosti i nedostatke.

Prednosti ovih sustava su [22]:

- Ne gubi se vrijedno kopneno zemljište koje se može koristiti u neke druge svrhe. Solarni paneli se tako mogu postavljati na razna vodna tijela, na primjer, postrojenje za pročišćavanje otpadnih voda, rezervoari hidroelektrana ili rezervoari pitke vode. Uslijed postavljanja solarnih panela na vodna tijela, smanjuje se potreba za krčenjem šuma,
- Solarni paneli smanjuju količinu isparene vode iz vodnih tijela,
- Smanjuje se cvjetanje algi,
- Solarni paneli proizvode energiju iz obnovljivih izvora, a samim tim se smanjuje potreba za korištenjem fosilnih goriva, a tako i emisija stakleničkih plinova,
- Solarni paneli dobro funkcioniraju pri visokim temperaturama, ali te temperature ipak mogu smanjiti njihovu učinkovitost pa se tako voda na kojoj se nalaze može koristiti za hlađenje i tako povećati njihova učinkovitost,
- Pristupačnost do panela je vrlo laka (Slika 32) jer se može hodati po modularnim plovcima, a to omogućava čišćenje panela ili njihov popravak ako do istog dođe.



*Slika 32 Prikaz lakog pristupa svakom panelu [23]*

Nedostatci ovih sustava su [22]:

- Skupa investicija, postavljanje solarnih panela na plutajuću konstrukciju skuplje je nego klasično postavljanje. Tehnologija je nova pa nema puno primjera ovakvih sustava, a još manje ljudi koji imaju spoznaju ili iskustva o ovakvoj vrsti gradnje,
- Ovakvi sustavi najčešće se rade velikih razmjera pa samim tim i energiju koju proizvode pružaju velikim zajednicama koje onda dalje prodaju tu energiju korisnicima. Za obične ljude i dalje su praktičnije krovne instalacije,
- Potrebno je ishođenje raznih dozvola prije gradnje jednog ovakvog sustava,
- Potrebno znanje raznih struka,
- Smanjenje učinkovitosti uslijed nakupljanja prašine na površini solarnog panela.

### **7.3 Primjeri plutajućih solarnih elektrana u svijetu**

U Francuskoj je 2019. godine puštena u rad solarna elektrana od 47 000 plutajućih solarnih panela (Slika 33) koja napaja 5 000 kućanstava. Jedan od pokazatelja dobrobiti ovakvih sustava je da će elektrana rezultirati smanjenje emisija od 1096 tona ugljikovog dioksida godišnje. Ova elektrana nalazi se u gradu Piolenc. Elektrana se zove "O'MEGA1" i predstavlja najveću europsku plutajuću solarnu elektranu koja opskrbljuje gotovo 10 000 ljudi električnom energijom.

Ideja za nastanak ovakvog projekta javila se gradonačelniku Louisu Driey kada je razmišljao kako da iskoristi površinu jezera od 50 hektara koje je nastalo na mjestu zatvorenog kamenoloma (Slika 32) [24].



*Slika 33 Jezero prije postavljanja plutajuće elektrane Omega1 [23]*



*Slika 34 Jezero sa instaliranom plutajućom elektranom Omega1 [24]*

Elektrana je snage 17 MW i njena izgradnja odvila se relativno brzo. Radovi su započeli 1. kolovoza 2018., a kraj radova je bio u ožujku 2019. godine.

Za izgradnju ove elektrane koristila se najnovija tehnologija plutajućih struktura Hyfrelio tvrtke Ciel & Terre. Tvrtka Ciel & Terre specijalizirana je isključivo za gradnju plutajućih solarnih elektrana i grade ih diljem svijeta [24].

Jedna od velikih prednosti ovih elektrana je ta da uslijed refleksije Sunčevih zraka na vodi, učinkovitost solarnih panela se znatno povećava u odnosu na one koje su postavljene na kopnu. Voda na kojoj se paneli nalaze ima funkciju hlađenja i samim tim povećava njihovu učinkovitost za 5 do 10% [24]. Za izgradnju jednog ovakvog sustava bilo je potrebno uložiti 17 000 000 eura. Reakcija građana na čitav projekat bila je pozitivna kada su čuli da su prvi grad u Francuskoj koji proizvodi višak zelene energije i sam tim drastično smanjuje količinu ugljikovog dioksida u atmosferi.

Istraživanja su pokazala kako plutajuća solarna elektrana ne ostavlja nikakve značajne negativne posljedice već se nastavlja nesmetani razvoj flore i faune te se jezero i dalje može koristiti kao ribnjak. Uz ovakav projekat dodatno se iskoristilo i tlo oko jezera, točnije 3 hektara za uzgoj organskog voća i povrća za potrebe lokalnog tržišta i školskih kantina. Površina oko jezera će se dodatno koristiti i za edukaciju stanovništva te za unaprjeđenje poljoprivrede.

Ovo je primjer kako se neko područje treba višenamjenski koristiti jer elektrana OMEGA1 će na takav način poticati regionalno gospodarstvo, a sama proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora će se kombinirati s razvojem organske poljoprivredne proizvodnje. Ona energija koja će se proizvesti, a predstavljat će višak, prodat će se u iznosu od 62,50 eura po kWh [24].



*Slika 35 Solarni paneli na plutajućoj platformi elektrane OMEGA1 [25]*

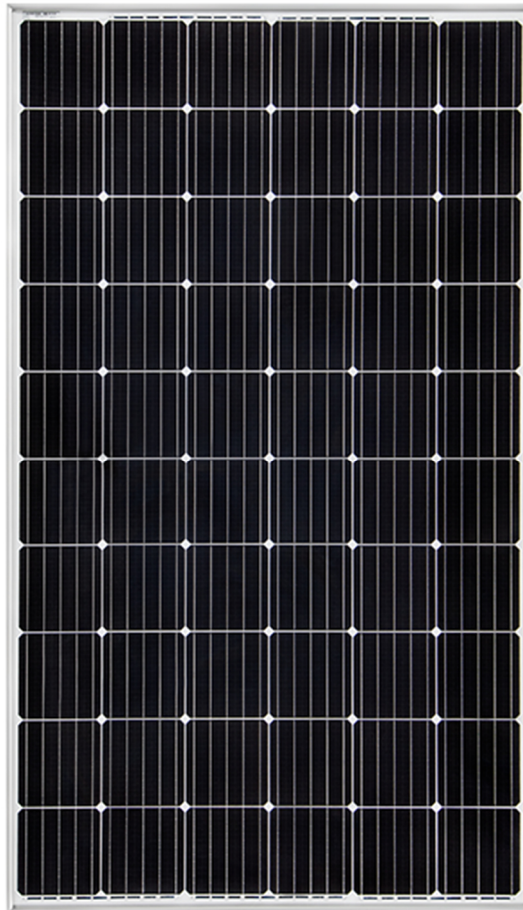
Tijekom gradnje elektrane morali su bit zadovoljeni svi propisani parametri kojima se potvrđuje mali i prihvatljiv utjecaj na biljni i životinjski svijet kako tijekom gradnje tako i u fazi korištenja. Tijekom provođenja ispitivanja i analiza nije pronađen nijedan značajan štetni utjecaj elektrane koji bi mogao ugroziti biljnu i životinjsku vrstu tog područja.

Singapur je predstavio jednu od najvećih plutajućih solarnih elektrana na svijetu. Površina na kojoj će se projekt protezati je veličine 45 nogometnih terena. Elektrana će proizvoditi dovoljno električne energije za pogon pet pročišćivača vode na tom otoku [26].

Neki od primjera ovakvih instaliranih sustava su: Saemangeum plutajući projekt solarne energije na Žutom moru u Južnoj Koreji s instaliranom snagom od 2,1 GW, Plutajuća solarna farma brane Omkareshwar u Indiji s instaliranom snagom od 600 MW, Cirata Reservoir plutajući fotonaponski projekt napajanja u Ujedinjenim Arapskim Emiratima s instaliranom snagom od 145 MW [22] i brojni drugi.

## 8. Primjer potencijalne solarne fotonaponske elektrane na Varaždinskom jezeru

Prema uzoru na solarnu elektranu OMEGA1, mogu se odabrati monokristalni moduli (Slika 36) koji najviše i odgovaraju ovakvoj elektrani. Odabir ovakvih modula osigurava visoku gustoću snage, udovoljava zahtjevima visoke kvalitete koji su propisani za ovakve solarne fotonaponske sustave. Jedan od primjera ovakvog modula je i Dumax M Plus s dvostrukim stalkom. Ovaj modul dostupan je s 1500V UL/IEC oznakom koja je vodeća u industriji, a ima vrhunsku učinkovitost i velike gustoće snage koji osiguravaju maksimalnu izlaznu energiju i u izazovnim uvjetima okoline, što je itekako potrebno u ovom slučaju primjene panela [25].



*Slika 36 Prikaz monokristalnog panela [27]*

Struktura ovog panela je od izdržljivog dvostrukog stakla koja su izrađena od visokokvalitetnog solarnog stakla i inkapsulacije što štiti solarne ćelije od jakog utjecaja vlage, a to je posebno bitno u ovom slučaju gdje bi se paneli postavljali iznad vode [25].

Modularni plovci na kojima leže paneli se slažu vrlo jednostavno po "lego" principu i postavljaju u redove. Plovci su izrađeni od plastike koja se može reciklirati, a odupiru se vjetru jačine i do 210 km/h što je za lokaciju Varaždinskog jezera i više nego prihvatljivo [28]. Prednost postavljanja elektrane na akumulaciju je ta da je tok vode kroz istu cijelo vrijeme reguliran od strane hidroelektrane i s obzirom na to nema straha od mogućeg vodenog vala koji bi na bilo koji način mogao naštetiti elektrani. Dio radova obavljaju i ronionci koji modularne plovke sidre, a i svi ostali kablovi protežu se ispod površine vode.

Ovakve vrste elektrana spadaju pod novu tehnologiju građenja što stvara problematiku u nalaženju izvođača radova. Jedna od tvrtki koja se duži niz godina bavi isključivo gradnjom ovakvih elektrana diljem svijeta je Bouygues Energies Services [24]. Ova tvrtka dosadašnjim projektima potvrđuje zrelost i odgovornost za izvedbu ovakvih projekata. Činjenice govore kako bi i neka tvrtka sa sjedištem bliže Varaždinu također mogla izvesti bar dio radova jer sam princip izvođenja je pojednostavljen do maksimalne razine. Svi modularni plovci povezuju se isto na "lego" principu, a solarni paneli postavljaju se na za to predviđene nosače što omogućava lako i brzo izvođenje radova.

Varaždinsko jezero je savršen lokalitet s ogromnim potencijalom za izvedbu ovakve solarne elektrane. Investicija bi bila velika, ali rizika od neisplativosti projekta gotovo da i nema. Prednost ovakvog projekta je ta da se elektrana ne mora odmah izvesti u punom svom potencijalu što bi izazvalo velike troškove. Moguće je postaviti dio elektrane pa ju proširivati po potrebi i željama kako se bude investicija vraćala. Troškovi projekta bi se vratili relativno brzo, a nakon toga bi krenula samo zarada. Kod ovakvih projekata naglasak se ne stavlja samo na zaradu već i na količinu smanjenja ugljikovog dioksida u atmosferi i cjelokupno poboljšanje kvalitete života.

Plutajuću solarnu elektranu potrebno je zaštititi od razne plivajuće materije koja se zatekne u jezeru.

Princip zaštite bio bi u obliku rešetaka ili dodatnih modularnih plovaka koji bi onemogućili pristup te materije solarnim panelima. Problematika ove vrste zaštite je u tome da je potrebno čišćenje istih od nanosa koji bi se na njima zadržavao. Nanos bi se mogao čistiti automatizirano ili ručno od strane osobe koja bi bila zadužena za obavljanje tog posla. Elektranu je potrebno pričvrstiti kako bi se spriječili njeni pomaci, a ujedno ostvarila zaštita od potencijalne krađe. Solarna elektrana lancima bi se vezala za obalu i dno akumulacije, a udaljena je od obale kako bi pristup bio moguć jedino čamcima i ovlaštenim osobama.

Europska unija prihvaća bilo kakav oblik projekta koji uključuje obnovljive izvore energije i smanjenje količine štetnih stakleničkih plinova u atmosferi. Samim tim EU daje visoka novčana nepovratna sredstva što bi znatno pomoglo u realizacije ideje ovog projekta.

Iz tablice 2, vidljivo je da akumulacija spada u vode 4. vrste. Razlog tome je prevelika opterećenost štetnim i toksičnim tvarima. Jezero izaziva uspor rijeke i na taj način dobiva funkciju taložnice, a upravo to predstavlja razlog njegova onečišćenja [29].

*Tablica 2 Pokazatelj kategorije u koju spada akumulacija Varaždinsko jezero [29]*

<b>pokazatelj</b>	<b>Stanje</b>
<b>režim kisika</b>	<b>II vrsta</b> osim na lokacijama s <b>III vrstom</b> : - desnom drenažnom kanalu HE Čakovec i HE Dubrava - na postajama stare Drave u sustavima HE Čakovec i HE Dubrava
<b>hranjive tvari</b>	<b>II vrsta</b> osim na lokacijama: - odvodni kanal HE Varaždin: koncentracija nitrita za <b>IV vrstu</b> - stara Drava u sustavu HE Čakovec: amonijak i nitriti za <b>III vrstu</b>
<b>mikrobiološki (NBK vrijednost)</b>	<b>III vrsta</b> za koliformne bakterije na većini postaja
<b>indeks saprobnosti</b>	<b>IV vrsta</b> na postajama svih triju akumulacijskih jezera <b>II vrsta</b> na desnim drenažnim kanalima akumulacijskih jezera i starom koritu u sustavu HE Varaždin



## 8.1 Količina moguće dobivene energije iz postrojenja solarne elektrane na akumulaciji Varaždinsko jezero



*Slika 37 Prikaz šire lokacije oko akumulacije Varaždinsko jezero [31]*

Solarna elektrana zauzele bi površinu u iznosu od 5 km<sup>2</sup> (Slika 38) od ukupne površine jezera koja iznosi 10,5 km<sup>2</sup> te bi se na takav način ostavilo dovoljno prostora za nesmetanu plovidbu, kao i život flore i faune. Zauzetost površine solarnim panelima ovisi i o raspoloživim sredstvima.



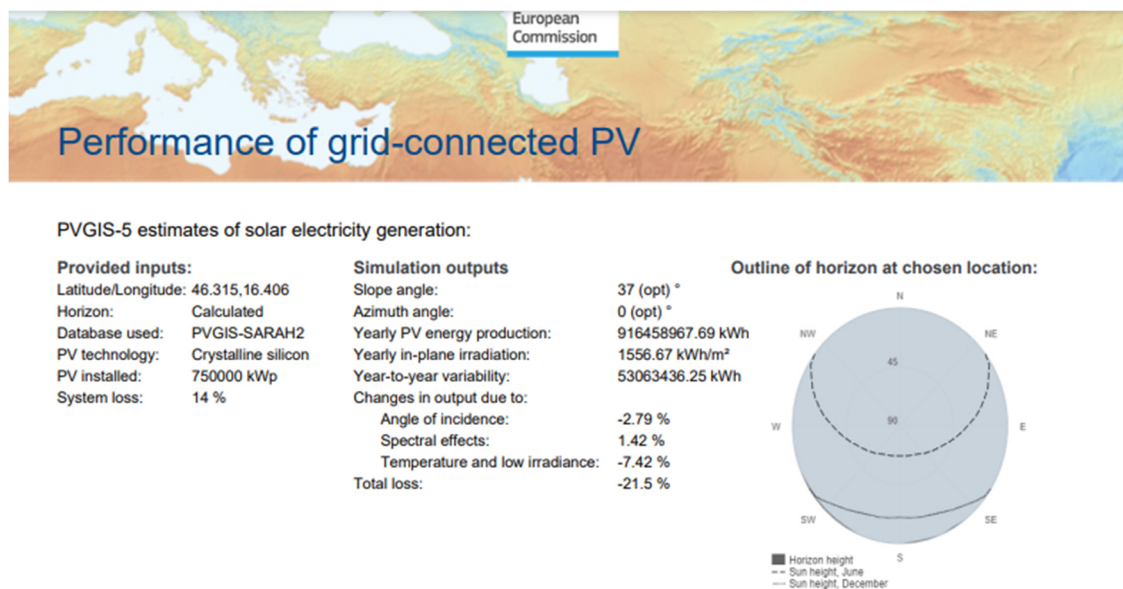
*Slika 38 Prikaz zauzete površine solarnim panelima [31]*

U programu za proračun količine dobivene energije (PVGIS) prvo se mora odabrati lokacija na kojoj se planira izgraditi solarna elektrana [32].

Odabrani su kristalno silicijski solarni paneli s gubitkom energije u iznosu od 14% [14]. Odabran je optimalni nagib  $37^\circ$ , a azimut u iznosu od  $0^\circ$  jer je odabrana orijentacija panela prema jugu. Snaga fotonaponske elektrane izračunava se preko formule (3):

$$PV = 5000\ 000\ \text{m}^2 \cdot \frac{15}{100} \cdot 1000\ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 75000\ 0000\ \text{W} = 750\ 000\ \text{kWp}$$

Nakon unosa svih potrebnih parametara u aplikaciju (Slika 39), ista daje količinu proizvedene energije u solarnoj elektrani za svaki mjesec u godini (Slika 40, tablica 3). Procijenjeni gubici u sustavu su svi gubici koji uzrokuju da je stvarno isporučena snaga u elektroenergetsku mrežu niža od snage koju proizvode solarni moduli. Postoji nekoliko uzroka za ovaj gubitak, kao što su gubici u kablovima, pretvaračima snage, prljavština (ponekad snijeg) na modulima i slično. Tijekom godina moduli također gube dio svoje snage, tako da će prosječna godišnja proizvodnja tijekom životnog vijeka sustava biti nekoliko posto niža od proizvodnje u prvim godinama. Iz navedenih razloga uzima se gubitak u sustavu 14% (Slika 39).



Slika 39 Odabrani ulazni parametri za izračun snage solarne elektrane korištenjem aplikacije Photovoltaic Geographical Information System [32]



*Slika 40 Mjesečne vrijednosti izlazne energije iz solarnog fotonaponskog sustava, dobivene korištenjem aplikacije Photovoltaic Geographical Information System [32]*

Radi boljeg uvida u konkretne vrijednosti količine proizvedene energije, one su prikazane tablično u Tablici 3.

*Tablica 3 Brojčani prikaz mjesečnih vrijednosti izlazne energije iz solarnog fotonaponskog sustava [32]*

Mjeseci	Izlazna energija
Siječanj	42 885 186,72 kWh
Veljača	47 812 023,58 kWh
Ožujak	79 074 303,46 kWh
Travanj	96 195 205,83 kWh
Svibanj	100 844 561,48 kWh
Lipanj	100 621 745,49 kWh
Srpanj	107 994 460,41 kWh
Kolovoz	104 209 628,59 kWh
Rujan	84 362 499,58 kWh
Listopad	70 948 479,26 kWh
Studen	43 887 431,63 kWh
Prosinac	37 623 441,78 kWh

Dobiveni su rezultati proizvodnje električne energije elektrane za svaki mjesec u godini. Najveća proizvodnja električne energije je u mjesecu srpnju kada bi elektrana proizvela 107994460,41 kWh električne energije [14].

Godišnja proizvodnja solarne elektrane bila bi 916 458 967,75 kWh, dok je prosječna godišnja proizvodnja HE Varaždin je 450 000 000 kWh. Solarne elektrane uvelike bi smanjila količinu stakleničkih plinova jer energija koju proizvodi dovoljna je za 229 115 kućanstava, ako se uzme da je prosječna potrošnja električne energije po kućanstvu 4000 kWh godišnje [14]. Hidroelektrana više utječe na floru i faunu nego solarne elektrane.

Spoznaja da je sirovina za proizvodnju električne energije iz konvencionalnih izvora sve manje te da bi se do 2035. godine potrošnja električne energije mogla udvostručiti, raste važnost u proizvodnji iste iz obnovljivih izvora [9].

Ukupna godišnja proizvodnja električne energije iz solarne elektrane iznosila bi 916 458 967,75 kWh, a tarifa po kojoj HEP otkupljuje 1 kWh iznosi 0,60 kn (cijena s PDV-om). Dobiva se rezultat da bi elektrana godišnje mogla prodati električne energije u iznosu od 549875380,7 kn [14]. Dodaje se i mjesečna opskrbna naknada u iznosu 8,36 kn (cijena s PDV-om). Cijena koštanja solarne elektrane na ovim prostorima kreće se između 1 i 1.5 američki dolar za 1 W instalirane snage. Ako se uzme neka srednja vrijednost od 1,25 dolara, kapitalni troškovi elektrane iznosili bi 9375 00000 dolara, odnosno 7 275 000 000 kuna [33].

## 8.2 Turistički potencijal

Građevine kao što je solarna elektrana na akumulaciji Varaždinsko jezero zasigurno bi postale i turističke destinacije jer je takav oblik građevina još uvijek rijedak u svijetu. Mogla bi se omogućiti plovidba s turistima i stručnim vodičem po akumulaciji koji bi im objašnjavao način gradnje i sve dobrobiti akumulacije te tako educirao ljude o novim tehnologijama i važnosti ovakvih projekata.

S obzirom na široko prostranstvo i prirodu koja se nalazi oko jezera (Slika 30) ista bi se mogla iskoristiti za gradnju turističkog naselja s raznim sadržajima koji bi još više privukli turiste.



*Slika 41 Varaždinsko jezero [30]*

Turistička naselja mogla bi sadržavati kućice za odmor i spavanje. Unutar naselja nalazili bi se razni sadržaji kao što su, parkovi za tjeļovježbu, igrališta za djecu, bazeni koji bi mogli koristiti pročišćenu vodu iz akumulacije, šetališta. Turisti bi mogli odlaziti na pecanje ili ploidbu akumulacijom. Cijelo naselje bi moglo biti opskrbljeno strujom upravo iz solarne elektrane. Turizam bi se također mogao nastaviti i zimi s obzirom da je ovo područje često prekriveno snijegom, a bazeni unutar turističkih naselja mogli bi se nastaviti koristiti uz grijanu vodu koju bi osigurala električna energija elektrane. Uz odgovarajuće pročišćavanje vode akumulacije ista bi se mogla koristiti i za higijenu ljudi unutar kućica.

Gradnja jednog ovakvog kompleksa još više opravdava i postojanje same akumulacije jer ako se ista koristi u više svrha isplativost joj raste. Kod ovakvih građevina kao što su umjetne akumulacije bitno je da je građevina višenamjenska, a uz ovakvu vrstu turizma funkcionalnost bi joj se povećala na novu razinu. Poznato je da građevine kao što su akumulacijska jezera utječu na psihu ljudi koji žive u blizini istih radi straha od popuštanja brane, ali uslijed razvitka ovog projekta i povećanja turista na tom prostoru smanjio bi se taj psihološki teret.

Poznato je kako je sve teže dobiti dozvolu gradnje građevina kao što su velike hidroelektrane uz njihove akumulacije, ali što se iste koriste u više svrha kako je opisana mogućnost korištenja Varaždinskog jezera, povećava se šansa dobivanja dozvole za gradnju istih, unatoč činjenici da je u konkretnom primjeru riječ o postojećoj hidroelektrani.

## 9. Zaključak

Budućnost dobivanja energije je upravo iz obnovljivih izvora. Danas je fotonaponska jedna od najbrže rastućih tehnologija izvora energije jer ima najveći potencijal u proizvodnji „zelene“ energije. S obzirom na globalno zatopljenje jasno je da se atmosfera previše zagađuje uporabom konvencionalnih izvora energije. Energiju vode danas je teško iskorištavati radi udruga koje sprječavaju gradnju bilo kakve hidroelektrane na rijekama pa se nade ponajviše pridodaju solarnoj energiji. Sunce predstavlja najveći nekonvencionalni izvor energije pa se ponajviše stavlja fokus na povećanje učinkovitosti solarnih panela. Hibridni sustavi proizvodnje električne energije, kao što je bio i primjer u ovom radu, predstavljaju moderni način kombiniranja proizvodnje energije iz vode i Sunca. Plutajuće solarne elektrane predstavljaju fantastičan način iskorištavanja površine vode i pri tome smanjuju zagađenost atmosfere radi manjka ispuštanja ugljičnog dioksida. Ideja ovog rada bila je dati spoznaju o važnosti korištenja obnovljivih izvora energije te prikazati na primjer kako se određene građevine i sustavi mogu višenamjenski koristiti , npr. površina akumulacije Varaždinskog jezera. S obzirom na količinu obnovljivih izvora energije, trebala bi se stvoriti potpuna neovisnost o konvencionalnim izvorima pa se zato teži da se korištenje istih svede na minimum, a u budućnosti možda čak i potpuno izbaci iz upotrebe.

## 10. Literatura

[1] Hep proizvodnja, Raspoloživo na:

<https://www.hep.hr/opskrba/poduzetnistvo/cesta-pitanja/sto-je-naknada-za-obnovljive-izvore-energije-oie/1434> , dostupno 23.6.2022.

[2] Minikar, Raspoloživo na:

<https://minikar.ru/bs/children/kak-poluchit-energiyu-iz-molniya-alternativnye-istochniki-energii-plyusy/> , dostupno 25.6.2022.

[3] Zgradonačelnik.HR, Raspoloživo na:

<https://www.zgradonacelnik.hr/vijesti/znate-li-koliko-je-uopce-suncanih-elektrana-u-hrvatskoj-i-gdje-ih-je-najvise-saznali-smo/613> , dostupno 25.6. 2022.

[4] Male hidroelektrane, Energetski institut Hrvoje Požar, Raspoloživo na:

<https://www.menea.hr/wp-content/uploads/2013/12/6-hidroelektrane.pdf> ,

dostupno 26.6.2022.

[5] Enerkon, Raspoloživo na:

<https://www.enerkon.hr/mhe-pleternica/> , dostupno 26.6.2022.

[6] Fotonaponska postrojenja, Mrežni i otočni fotonaponski sustavi, Raspoloživo na:

[https://www.schrack.hr/fileadmin/f/hr/Bilder/pdf\\_dokumenti/w\\_p-fnpon-13\\_hr.pdf](https://www.schrack.hr/fileadmin/f/hr/Bilder/pdf_dokumenti/w_p-fnpon-13_hr.pdf) , dostupno 27.6.2022.

[7] Hydropower Europe, Raspoloživo na:

<https://hydropower-europe.eu/about-hydropower-europe/hydropower-energy/> ,

dostupno 7.7.2022.

[8] Wikipedija, Hidroelektrana, Raspoloživo na:

<https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrana> , dostupno 11.7.2022.



- [9] J. Nekić, Određivanje optimalnog nagiba i orijentacija fotonaponskih modula, Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek, 2017.
- [10] Tportal.hr, Raspoloživo na:  
<https://www.tportal.hr/biznis/clanak/kraj-varazdina-pustena-u-pogon-golema-solarna-elektrana-20131028> , dostupno 12.7.2022.
- [11] Solarne elektrane, Raspoloživo na:  
<https://www.solarna-elektrana.hr> , dostupno 12.7.2022.
- [12] N. Hodžić: Solarna (Sunčeva) Energija, Seminarski rad, Elektrotehnički fakultet Sarajevo, Sarajevo, 2015.
- [13] Tritec, South-East Europe, Raspoloživo na:  
<http://free-vz.t-com.hr/klokkan/New-Page.html> , dostupno 15.7.2022.
- [14] Photovoltaic geographical information system (PVGIS), Raspoloživo na:  
[https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/) , dostupno 20.7.2022.
- [15] B. Đurin, S. Lajqi, N. Kranjčić, B. Soldo: Sustainable Energy Production, Small Hydropower Plant and Solar Photovoltaic Power Plant Hybrid System, str. 1-14
- [16] B. Đurin, N. Kranjčić, A. Muhar: Smart hydro-energy hybrid system potential in Croatia-Bednja river case study, 5/2020. , str. 39-50
- [17] M. Hrgarek: Elaborat zaštite okoliša u postupku ocjene o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš rekonstrukcije industrijskog dvorišta – izgradnja reciklažnog dvorišta za građevni otpad sa skladitem otpada željeza na k.č.br. 8673/5 k.o. Varaždin, Varaždin 2018.
- [18] M. Mesarić, Strateška studija utjecaja na okoliš Plan navodnjavanja Varaždinske županije, Zagreb, veljača 2019.
- [19] B. Đurin, Privatna zbirka autorskih fotografija, 2022.
- [20] Državni hidrometeorološki zavod, Raspoloživo na:

<https://hidro.dhz.hr/> , dostupno 1.8.2022.

[21] Unutarnja jezera, Raspoloživo na:

<https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/8d605cca-5663-4353-bdfa-0a33f4a94414/umjetna-jezera-1.html> , dostupno 1.8.2022.

[22] DS New Energy, Plutajući sustavi solarnih panela, Raspoloživo na:

<https://hr.dsnsolar.com/info/floating-solar-panels-67069719.html> , dostupno 8.8.2022.

[23] YouTube, O'MEGA1: France's first floating solar power plant is built in Piolenc, Raspoloživo na:

<https://www.youtube.com/watch?v=LzQHwyjgu9M> , dostupno: 8.8.2022.

[24] Ekovjesnik, Raspoloživo na:

<https://www.ekovjesnik.hr/clanak/2222/47000-plutajucih-solarnih-panela-napaja-5000-kucanstava> , dostupno 16.8.2022.

[25] NS Energy, Raspoloživo na:

<https://www.nsenergybusiness.com/news/trina-solar-supplies-17mw-modules-to-omega-1-floating-p> , dostupno 16.8.2022.

[26] Politika.rs, Plutajuća solarna elektrana veličine 45 nogometnih terena, Raspoloživo na:

<https://www.politika.rs/sr/clanak/483562/Plutajuca-solarna-elektrana-velicine-45-fudbalski-terena> , dostupno 17.8.2022.

[27] Asel WEBshop, Raspoloživo na:

<https://asel.hr/webshop/proizvod/440w-monokristalni/> , dostupno 17.8.2022.

[28] Woodme, Raspoloživo na:

<https://woodme.site/omega1-the-largest-floating-photovoltaic-park-in-europe-inaugurated/> , dostupno 30.8.2022.

[29] D. Hajduk-Vučić: Službeni vjesnik Varaždinske županije, Varaždin 2007.

[30] Google.com, Raspoloživo na:

[https://www.google.com/maps/uv?pb=!1s0x4768ab3748b9a513%3A0x8215dc771a5d92f3!3m1!7e115!4shttps%3A%2F%2Fih5.googleusercontent.com%2Fp%2FAF1QipNW071yWSpmusofHLY0n0BVYGGmv8bqKpUxBUFB%3Dw260-h175-n-k-no!5sakumulacija%20vara%C5%BEEdinsko%20jezero%20-%20Google%20pretra%C5%BEivanje!15sCgIgAQ&imagekey=!1e10!2sAF1QipMVNpFE0gNOEtv\\_V-noNeYMITx9nYKv4blACTEP&hl=hr&sa=X&ved=2ahUKEwiT7Ia0tr5AhXLrsIHqkAV4Q7ZgBKAB6BAgIEAI](https://www.google.com/maps/uv?pb=!1s0x4768ab3748b9a513%3A0x8215dc771a5d92f3!3m1!7e115!4shttps%3A%2F%2Fih5.googleusercontent.com%2Fp%2FAF1QipNW071yWSpmusofHLY0n0BVYGGmv8bqKpUxBUFB%3Dw260-h175-n-k-no!5sakumulacija%20vara%C5%BEEdinsko%20jezero%20-%20Google%20pretra%C5%BEivanje!15sCgIgAQ&imagekey=!1e10!2sAF1QipMVNpFE0gNOEtv_V-noNeYMITx9nYKv4blACTEP&hl=hr&sa=X&ved=2ahUKEwiT7Ia0tr5AhXLrsIHqkAV4Q7ZgBKAB6BAgIEAI), dostupno 5.9.2022.

[31] Geoportal DGU, Raspoloživo na:

<https://geoportal.dgu.hr/>, dostupno 10.9.2022.

[32] Photovoltaic geographical information system, Raspoloživo na:

[https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/), dostupno 20.9.2022.

[33] Solar.com, Solar Panel Cost, Raspoloživo na:

<https://www.solar.com/learn/solar-panel-cost/>, dostupno 27.9.2022.

## 11. Popis tablica

Tablica 1 Klimatski parametri izmjereni na području Varaždina za razdoblje 1949-2015. [17] .....	26
Tablica 2 Pokazatelj kategorije u koju spada akumulacija Varaždinsko jezero [29] .....	44
Tablica 3 Brojčani prikaz mjesečnih vrijednosti izlazne energije iz solarnog fotonaponskog sustava [32].....	48

## 12. Popis slika

Slika 1 Hidroelektrana Varaždin [1] .....	1
Slika 2 Elektrana koja koristi energiju valova [2].....	2
Slika 3 Elektrana koja koristi snagu morskih struja [2] .....	2
Slika 4 Mala hidroelektrana Pleternica [5].....	3
Slika 5 Tehnički podaci MHE Pleternica [5] .....	4
Slika 6 Razvoj godišnje proizvodnje i instaliranog kapaciteta hidroenergije u Europi od 2005. godine [7] .....	6
Slika 7 Potencijal proizvodnje i povećanja hidroenergije u zemljama Europe [7]	7
Slika 8 Prikaz rada i dijelova hidroelektrane [4].....	10
Slika 9 Prikaz izgleda pojedinih tipova turbina [4].....	10
Slika 10 Prikaz obnovljivih izvora na Zemlji i količine svjetske potrošnje energije [9] .....	11
Slika 11 Karta ozračenja Republike Hrvatske [6].....	12
Slika 12 Efikasnost solarnog panela s obzirom na njegov nagib i pozicioniranje prema stranama svijeta [6] .....	14
Slika 13 Mrežni solarni fotonaponski sustav, princip korištenja dobivene energije iz Sunčevog zračenja [11] .....	17
Slika 14 Prikaz otočnog solarnog fotonaponskog sustava [13] .....	18
Slika 15 Fotoelektrični efekt [12] .....	19
Slika 16 PN solarna ćelija sa osnovnim dijelovima i dimenzijama [12].....	20
Slika 17 Prikaz procesa nastanka električne energije fotonaponskom konverzijom preko solarne PN ćelije [12].....	21
Slika 18 Poprečni presjek solarne ćelije [12].....	22
Slika 19 Prikaz nastanka fotonaponskog generatora [14].....	23
Slika 20 Godišnji hod srednjeg broja dana s količinom oborina $R_d \geq 0,1\text{mm}$ , $R_d \geq 5,0\text{mm}$ , $R_d \geq 10\text{mm}$ , $R_d \geq 20\text{mm}$ [10] .....	27
Slika 21 Hidrološka postaja na rijeci Dravi [19].....	28
Slika 22 Vodostaji postaje Varaždin, Drava [20].....	29
Slika 23 Protoci postaje Varaždin, Drava .....	30
Slika 24 Ekstremne vrijednosti vodostaja .....	31
Slika 25 Ekstremne vrijednosti protoka .....	31

Slika 26 Ekstremne vrijednosti temperature .....	32
Slika 27 Ekstremne vrijednosti koncentracije.....	32
Slika 28 Ekstremne vrijednosti pronosa.....	33
Slika 29 Jezera u Republici Hrvatskoj (imena jezera plavom bojom-prirodna, imena jezera crnom bojom-umjetna ) [21].....	34
Slika 30 Plutajući sustav solarnih panela [22] .....	36
Slika 31 Primjer izvedenog sustava plutajućih solarnih fotonaponskih panela [22] .....	36
.....	
Slika 32 Prikaz lakog pristupa svakom panelu [23].....	38
Slika 33 Jezero prije postavljanja plutajuće elektrane Omega1 [23] .....	39
Slika 34 Jezero sa instaliranom plutajućom elektranom Omega1 [24].....	39
Slika 35 Solarni paneli na plutajućoj platformi elektrane OMEGA1 [25].....	41
Slika 36 Prikaz monokristalnog panela [27] .....	42
Slika 37 Prikaz šire lokacije oko akumulacije Varaždinsko jezero [31].....	45
Slika 38 Prikaz zauzete površine solarnim panelima [31] .....	45
Slika 39 Odabrani ulazni parametri za izračun snage solarne elektrane korištenjem aplikacije PVGIS [32] .....	46
Slika 40 Mjesečne vrijednosti izlazne energije iz solarnog fotonaponskog sustava, dobivene korištenjem aplikacije PVGIS [32] .....	47
Slika 41 Varaždinsko jezero [30].....	49