

# Pregled i izbor tehnologija za decentraliziranu proizvodnju energije

---

**Blažanović, Anto**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2018**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:742470>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-29**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

**Sveučilišni studij**

**PREGLED I IZBOR TEHNOLOGIJA ZA  
DECENTRALIZIRANU PROIZVODNJU ENERGIJE**

**Diplomski rad**

**Anto Blažanović**

**Osijek, 2018.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMATIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada**

Osijek, 10.12.2018.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada**

<b>Ime i prezime studenta:</b>	Anto Blažanović
<b>Studij, smjer:</b>	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
<b>Mat. br. studenta, godina upisa:</b>	D 1013, 25.09.2018.
<b>OIB studenta:</b>	92483755963
<b>Mentor:</b>	Doc.dr.sc. Danijel Topić
<b>Sumentor:</b>	Matej Žnidarec
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Predsjednik Povjerenstva:</b>	Doc.dr.sc. Goran Knežević
<b>Član Povjerenstva:</b>	Matej Žnidarec
<b>Naslov diplomskog rada:</b>	Pregled i izbor tehnologija za decentraliziranu proizvodnju energije
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak diplomskog rada:</b>	U uvodnom dijelu završnog rada prikazati pregled literature iz područja samostalnih sustava napajanja. Opisati karakteristike i zahtjeve tehnologija za decentraliziranu proizvodnju električne energije. Detaljno opisati pojedine tehnologije s obzirom na karakteristike energetskog izvora, ekonomske karakteristike, prednosti i ograničenja te trenutni status. Napraviti analizu tehnologija koje su pogone za korištenje na području Slavonije i Baranje. Sumentor: Matej Žnidarec, mag.ing. Tema se dodjeljuje u okviru EU projekta: Renewable energy sources and energy efficiency in a function of rural development (RuRES, HUHR/1601/3.1.1/0033 financiran u okviru Interreg V-A Hungary-Croatia Co-operation Programme 2014-2020)
<b>Prijedlog ocjene pismenog dijela ispitna (diplomskog rada):</b>	Izvrstan (5)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
<b>Datum prijedloga ocjene mentora:</b>	10.12.2018.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis: Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 10.01.2019.

**Ime i prezime studenta:**

Anto Blažanović

**Studij:**

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

D 1013, 25.09.2018.

**Ephorus podudaranje [%]:**

15

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Pregled i izbor tehnologija za decentraliziranu proizvodnju energije**

izrađen pod vodstvom mentora Doc.dr.sc. Danijel Topić

i sumentora Matej Žnidarec

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	2
1.1. Opis zadatka.....	2
2. KARAKTERISTIKE DECENTRALIZIRANE PROIZVODNJE ENERGIJE.....	3
3. PREGLED TEHNOLOGIJA ZA DECENTRALIZIRANU PROIZVODNJU ENERGIJE .....	5
3.1. Male hidroelektrane.....	5
3.2. Tehnologije za iskorištavanje biomase.....	7
3.2.1. Izgaranje biomase.....	10
3.2.2. Rasplinjavanje biomase .....	11
3.2.3. Anaerobna digestija .....	12
3.2.4 Biogoriva .....	14
3.3. Tehnologije za iskorištavanje energije sunca.....	16
3.3.1. Fotonaponski sustavi .....	17
3.3.2. Solarne elektrane .....	24
3.4. Vjetroelektrane.....	25
3.5. Tehnologije za iskorištavanje geotermalne energije .....	30
4. POTENCIJAL OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE U OSJEČKO-BARANJSKOJ ŽUPANIJI .....	34
4.1. Energija vjetra.....	34
4.2. Energija Sunca .....	35
4.3. Energija biomase.....	38
4.3.1. Bioplin .....	38
4.3.2. Tekuća biogoriva .....	40
4.3.3. Biomasa iz šumarstva .....	42
4.3.4. Biomasa iz otpada.....	43
4.4. Geotermalna energija .....	44
5. DECENTRALIZIRANA PROIZVODNJA U OSJEČKO-BARANJSKOJ ŽUPANIJI .....	48
6. ZAKLJUČAK.....	52
LITERATURA .....	53
SAŽETAK .....	57
ABSTRACT.....	57
ŽIVOTOPIS .....	58

## **1.UVOD**

U sadržaju ovog diplomskog rada definirati će se koncept i karakteristike decentralizirane proizvodnje energije. Detaljno će se opisati svaka od pojedinih tehnologija za decentraliziranu proizvodnju energije sa energetskeg i ekonomskog stajališta. Korištenjem dostupnih statističkih podataka, utvrditi će se iskoristivi potencijal obnovljivih izvora energije na području Osječko-baranjske županije. Analizirati će se tehnologije za decentraliziranu proizvodnju energije koje se već koriste u Osječko-baranjskoj županiji.

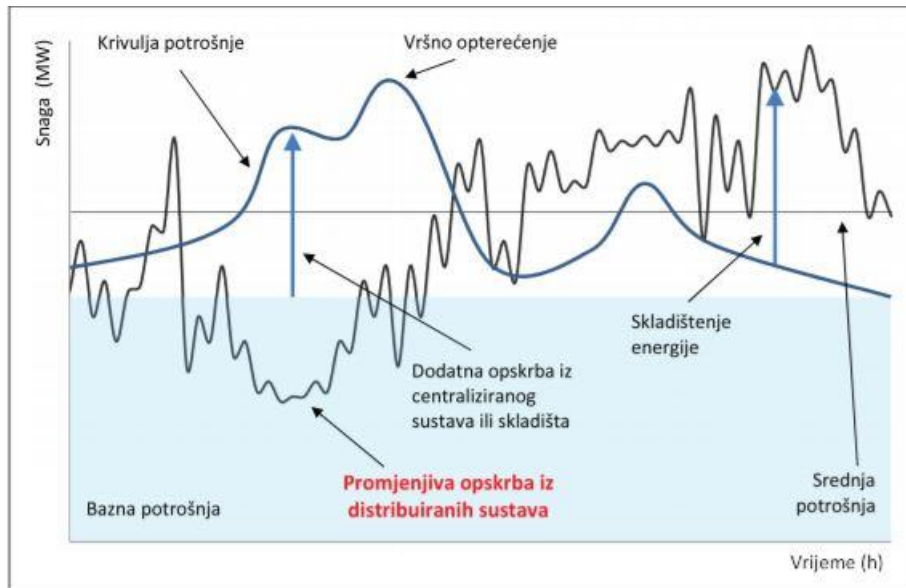
### **1.1. Opis zadatka**

U uvodnom dijelu završnog rada prikazati pregled literature iz područja samostalnih sustava napajanja. Opisati karakteristike i zahtjeve tehnologija za decentraliziranu proizvodnju električne energije. Detaljno opisati pojedine tehnologije s obzirom na karakteristike energetskeg izvora, ekonomske karakteristike, prednosti i ograničenja te trenutni status. Napraviti analizu tehnologija koje su pogodne za korištenje na području Osječko-baranjske županije.

## 2. KARAKTERISTIKE DECENTRALIZIRANE PROIZVODNJE ENERGIJE

Decentralizirana proizvodnja električne energije, poznata i pod nazivom distribuirana proizvodnja, temelji se na dobivanju električne energije iz manjih izvora. Za razliku od prijašnjih trendova dobivanja energije iz velikih konvencionalnih izvora, kao što su npr. elektrane na fosilna goriva, nuklearne elektrane, velike hidroelektrane itd. , decentralizirana proizvodnja nalazi sve širu primjenu u današnje doba. Prema [1] ukupna instalirana snaga elektrana na OIE krajem 2016. godine iznosila je 2.017 GW, čime proizvodnja iz obnovljivih izvora energije zauzima 19,6% u ukupnoj svjetskoj proizvodnji energije. Na današnji razvoj i smjer energetike glavni utjecaj ima sve veća opća svijest pojedinaca i društva općenito o štetnom djelovanju prekomjernih emisija CO<sub>2</sub>. Usvajanjem tzv. plana „20-20-20“ ("2020 climate and energy package"), Europska Unija ima za cilj smanjiti potrošnju energije, smanjiti emisiju CO<sub>2</sub> te povećati udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji primarne energije za 20% do 2020.g. [2] . Donošenjem ovakve odluke, stvoreni su snažni temelji za uvođenje decentralizirane proizvodnje energije, dok su energetske subjektima postavljeni prilično zahtjevni kriteriji s kojima se teško nose.

Državne subvencije, povoljnije otkupne cijene proizvedene električne energije te manje cijene opreme za distribuirane sustave doveli su do sve veće primjene i instalacije takvih sustava različitih snaga. Pritom se nije adekvatno isplanirala implementacija i usklađivanje tih sustava sa postojećom energetske infrastrukturuom. Također, zahtjevi za smanjenjem emisije CO<sub>2</sub> direktno utječu na rentabilnost centralizirane proizvodnje, jer veliki izvori ne rade punom snagom i broj radnih sati im se smanjuje. Na slici 1. prikazani su tipični dijagram dnevne potrošnje te opskrba električnom energijom iz distribuirane proizvodnje. Promatrajući spomenute dijagrame, lako se mogu vidjeti glavni nedostaci ovakvih tehnologija. Sama proizvodnja električne energije je promjenjiva i nepredvidiva te nije u skladu sa potrošnjom. Distribuirana proizvodnja u određenim trenucima postaje prekomjerna, čime dolazi do zagušenja u mreži. To se odnosi na velike izvore distribuirane proizvodnje kao što su velike vjetroelektrane i solarne elektrane, gdje se u povoljnim uvjetima proizvode velike količine energije za koje postojeća mreža nije dimenzionirana i koje ne može preuzeti.



*Slika 2.1. Proizvodnja, potrošnja i skladištenje energije u uvjetima korištenja distribuirane proizvodnje energije [1]*



### **3. PREGLED TEHNOLOGIJA ZA DECENTRALIZIRANU PROIZVODNJU ENERGIJE**

U ovom poglavlju diplomskog rada detaljno će se opisati tehnologije distribuirane proizvodnje koje iskorištavaju energiju vode, Sunca, vjetra, biomase te geotermalnu energiju .

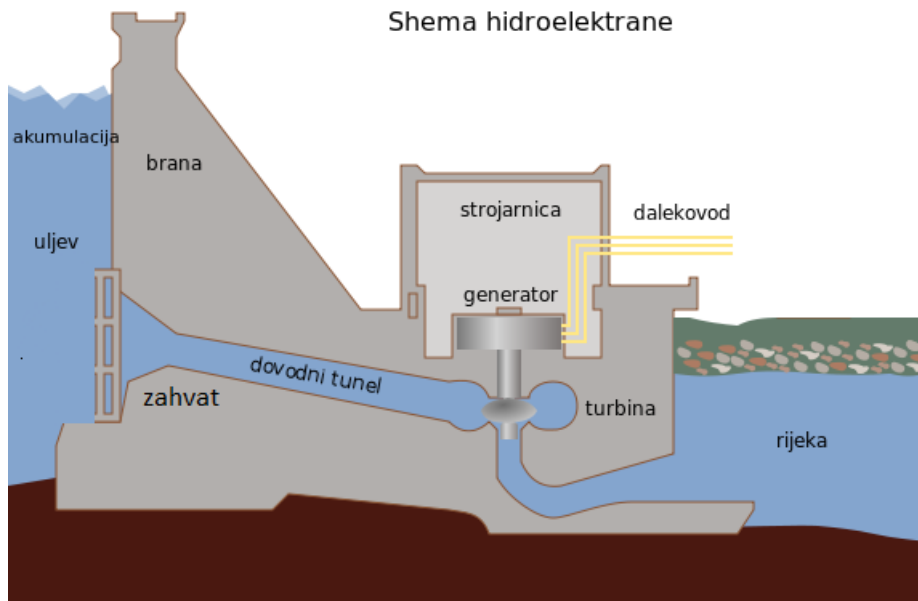
#### **3.1. Male hidroelektrane**

Prema [3], male hidroelektrane (MHE) se definiraju kao postrojenja koja iskorištavaju energiju vodotokova sa izlaznom snagom reda veličine od 10kW do 100kW. Male hidroelektrane nemaju štetan utjecaj na okoliš te predstavljaju učinkovito rješenje za elektrifikaciju izoliranih i ruralnih područja koji su izvan dohvata postojećeg elektroenergetskog sustava.

Dijelovi sustava male hidroelektrane [4] u pravilu su:

- Brana ili pregrada
- Zahvat
- Dovod
- Vodna komora
- Tlačni cjevovod
- Strojarnica
- Odvod

Brane ili pregrade su građevine koje mogu služiti da akumuliraju vodu, povise razinu vode radi većeg pada te preusmjere vodu prema zahvatu hidroelektrane. Zahvat hidroelektrane prima vodu iz brane te ju preusmjerava prema dovodu. Dovod je najčešće tlačni tunel kojim voda pod povišenim tlakom dolazi do strojarnice u kojoj se potencijalna energije vode u turbini najprije pretvara u kinetičku, a zatim u mehanički rad za pogon generatora. Osnovna shema hidroelektrane prikazana je na slici 3.1.



*Slika 3.1. Osnovna shema hidroelektrane [5]*

Postoji nekoliko tipova izvedbi malih hidroelektrana:

- Niskotlačne MHE sa strojarnicom na dnu brane
- Niskotlačne MHE sa sifonskim odvodom
- MHE integrirane unutar kanala za navodnjavanje
- Visokotlačne MHE sa povišenim rezervoarom

Neto snaga MHE je srednja iskoristiva snaga koju hidroelektrana daje na priključcima generatora, a određuje se prema izrazu [6]:

$$P_{sr} = 9,81 \cdot Q_i \cdot \eta_t \cdot \eta_g \quad (1)$$

gdje je:

- $Q_i$  – instalirani protok turbine ( $m^3/s$ )
- $H_n$ - raspoloživi neto pad (m)
- $\eta_t$ -stupanj korisnog djelovanja turbine
- $\eta_g$ - stupanj korisnog djelovanja generatora
- $n$ - broj turboagregata

Jedan od ključnih problema MHE je taj što su one puno skuplje i manje učinkovitije u odnosu na velike hidroelektrane. Troškovi MHE ovise o brojnim faktorima, poput geoloških karakteristika terena, dostupnosti i prometne povezanosti terena, dostupnosti elektromehaničke opreme, veličini postrojenja, vodotoku, udaljenosti potrošača itd. Troškovi se mogu regulirati u određenoj mjeri uspostavljanjem odgovarajućih standarda, kvalitetnim dimenzioniranjem, korištenjem lokalnih materijala i radne snage itd. Prema [7], ulaganje po kW električne energije iznosi od 1136 \$ do 5630 \$, ovisno o ranije navedenim čimbenicima. Prosječno ulaganje po kW iznosi 3085 \$ . S druge strane, troškovi rada i održavanja MHE puno su manji u odnosu na ostale tehnologije. Većina MHE mogu raditi i do 50 godina bez potrebe za obnavljanjem većeg dijela postrojenja. To uvelike pridonosi smanjenju nivelirane cijene električne energije, koja se kreće od 0,1 \$ do 0,2 \$ po kWh električne energije.

### 3.2. Tehnologije za iskorištavanje biomase

Pojam biomasa obuhvaća sve biorazgradive tvari biljnog i životinjskog porijekla, dobivene od otpada i ostataka poljoprivredne i šumarske industrije. Biomasa se pojavljuje u sva tri agregatna stanja: čvrstom, tekućem i plinovitom. Općenito, može se grupirati u tri kategorije: drvenu biomasu, nedrvnu biomasu te životinjski otpad.

Preciznija je sljedeća podjela biomase:

1. drvena biomasa
2. energetska nasadi
3. poljoprivredna biomasa

4. biomasa s farmi životinja
5. biogoriva
6. gradski otpad

Pod pojmom drvene biomase podrazumijeva se šumska biomasa te biomasa iz drvene industrije. Šumsku biomasu čine ostaci i otpad nastao svakodnevnim gospodarenjem šumama te ogrjevno drvo, dok se pod biomasom iz drvene industrije misli na ostatke i otpad koji nastaje tijekom uobičajenih postupaka obrade drveta: brušenja, blanjanja, piljenja itd.

Zbog svoje ekološke prihvatljivosti i bogate energetske vrijednosti, danas je česta pojava uzgajanja energetskih nasada brzorastućih biljaka, poput kineske trske, bambusa, eukaliptusa, trsta (slika 3.2.) , zelenih algi itd.



*Slika 3.2. Energetski nasad trsta [8]*

Poljoprivredna biomasa uključuje sve ostatke poljoprivrednih kultura nastale redovitim gospodarenjem poljoprivrednim površinama. Takvi ostaci su slama, stabljike, oklasak, koštice, ljuške, kukuruzovina itd. Glavni nedostatak ove vrste biomase je to što se najveći dio prilikom oranja poljoprivrednih površina treba vratiti u zemlju, pa je preostali dio koji bi se mogao iskoristiti minimalan i nema veću energetske vrijednost.

Biomasa s farmi životinja podrazumijeva sav otpad nastao na farmama za uzgajanje određenih vrsta životinja. Taj otpad uključuje gnojnicu, stajski gnoj te razni organski otpad nastao na farmama (uginule životinje) . Velika prednost ove vrste biomase je u tome što se njenim

iskorištavanjem smanjuje emisija stakleničkih plinova, a već iskorištena biomasa nakon procesa digestije može poslužiti i kao humus.

Pod pojmom biogoriva misli se na sva goriva koja su nastala preradom biomase, a to su goriva poput bioetanola, biodizela, bioplina itd. , a o kojima će nešto više biti objašnjeno u nastavku ovog diplomskog rada.

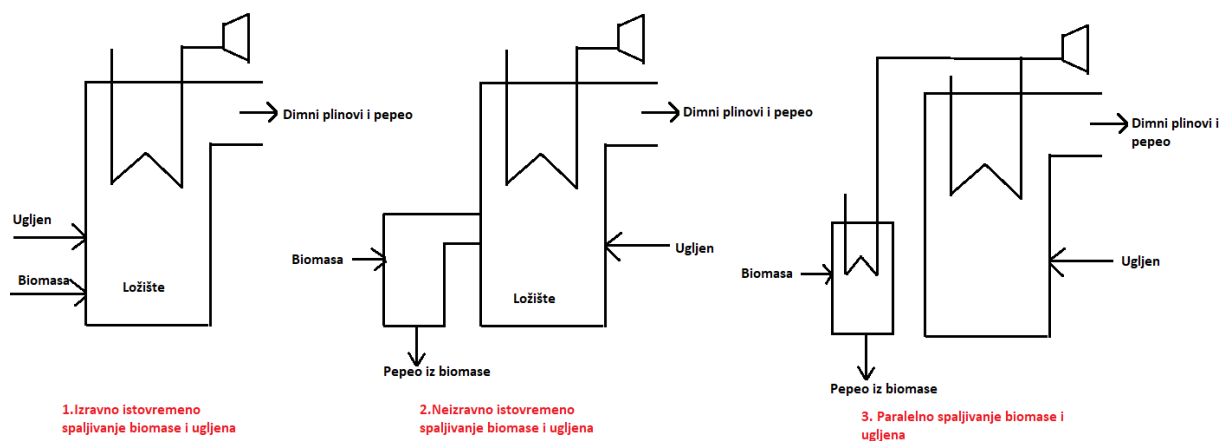
Gradski otpad uključuje dio recikliranog kućnog otpada, biomasu sa javnih zelenih površina u gradovima, te mulj iz kolektora otpadnih voda kanalizacijskog sustava.

Promatrajući biomasu kao izvor energije za budućnost, važno je shvatiti prednosti i nedostatke koji karakteriziraju ovaj oblik energije. Najveća prednost biomase je njezin neosporno obilni potencijal, uzevši u obzir ogromne površine pod šumskom biomasom te široki spektar djelatnosti iz kojih se dobivaju ostale vrste biomase. Također, ekološki gledano, velika je prednost svojevrsna CO<sub>2</sub> neutralnost, odnosno da je količina emitiranog CO<sub>2</sub> prilikom izgaranja i razgradnje jednaka količini CO<sub>2</sub> koji biljke, odnosno buduća biomasa, uzima za proces fotosinteze. Razvoj tehnologija za iskorištavanje donosi i brojne društvene koristi u smislu zapošljavanja velikog broja ljudi te razvijanja novih znanja. S druge strane, glavni nedostatak ove vrste obnovljivih izvora energije je u tome što biomasa nije neograničen resurs u usporedbi sa solarnom energijom ili energijom vjetra. Ukoliko se biomasom ne raspolaže na adekvatan način, a pritom se misli na to da godišnji prinosi moraju biti barem jednaki godišnjoj potrošnji, tada će se s vremenom smanjiti količina i potencijal biomase kao obnovljivog izvora energije. Također, kao nusprodukti spaljivanja biomase pojavljuju se i drugi štetni plinovi te dolazi do zagađenja vode. Osim toga, ekonomski gledano, troškovi proizvodnje električne energije su visoki zbog dosta niske energetske vrijednosti i gustoće, visokih troškova transporta biomase, te skupe i još uvijek nedovoljno razvijene tehnologije za iskorištavanje.

Biomasa se može iskoristiti na nekoliko načina: izgaranjem, rasplinjavanjem, anaerobnom digestijom te u obliku biogoriva [9].

### 3.2.1. Izgaranje biomase

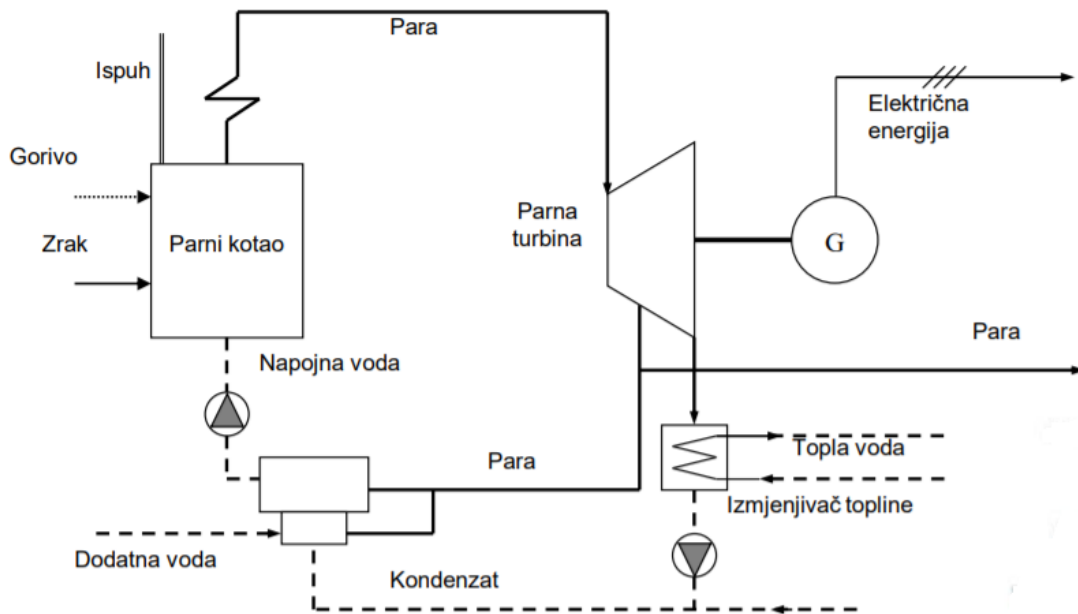
Jedan od načina iskorištavanja biomase je istovremenim spaljivanjem biomase s ugljenom u ložištima velikih termoelektrana. Udio biomase u ložištu pritom može dosegnuti i do 20%. Osim izravnog spaljivanja, gdje se kruta biomasa nalazi u ložištu zajedno sa ugljenom, također postoje i izvedbe gdje se biomasa prethodno rasplinjava a zatim u plinovitom obliku izgara sa ugljenom u ložištu. Moguća je i izvedba sa dva paralelna ložišta i kotla. Glavni razlog primjene ovakvih postrojenja je smanjenje štetnog djelovanja velikih termoelektrana na okoliš, odnosno smanjenje emisije CO<sub>2</sub>. Na slici 4.3. prikazani su različite tehnologije istovremenog spaljivanja biomase i ugljena.



Slika 3.3. Različiti koncepti istovremenog spaljivanja biomase i ugljena [11]

Češći oblik korištenja biomase je u kogeneracijskim postrojenjima. Kogeneracijska postrojenja su takva postrojenja u kojima se istovremeno proizvodi i električna i toplinska energija. Pritom se oslobođena toplina najčešće koristi za grijanje objekata i naselja, a može poslužiti i za sušenje drvne biomase. Za razliku od konvencionalnih elektrana čiji je korisni stupanj djelovanja između 30-50% , učinkovitost kogeneracijskih postrojenja iznosi 70-85%. Najčešća primjena kogeneracijskih postrojenja se očituje u velikim parnoturbinskim postrojenjima na drvnu

biomasu. Pri korištenju drvene biomase u velikim ložištima, važno je da ta drvena biomasa prođe kroz proces sušenja. Procesom sušenja smanjuje se udio vlažnosti, a samim time povećava se i ogrjevna vrijednost biomase. Princip rada (slika 3.4.) ovakvih postrojenja kreće od izgaranja biomase u ložištu, prilikom čega se oslobađa toplinska energija. Toplinskom energijom se zagrijava voda u kotlu, prilikom čega nastaje vodena para koja zatim odlazi u sustave pregrijača pare. Pregrijana para pokreće lopatice turbine koja je povezana s generatorom, čime nastaje električna energija. Preostali višak toplinske energije se odvodi cjevovodima u obliku vrele vode te se dalje koristi u objektima za grijanje ili u sušarama. Kogeneracijska postrojenja često nisu isplativa ukoliko toplinski konzum, odnosno toplinsko opterećenje ne prelazi 3500-5000h godišnje.

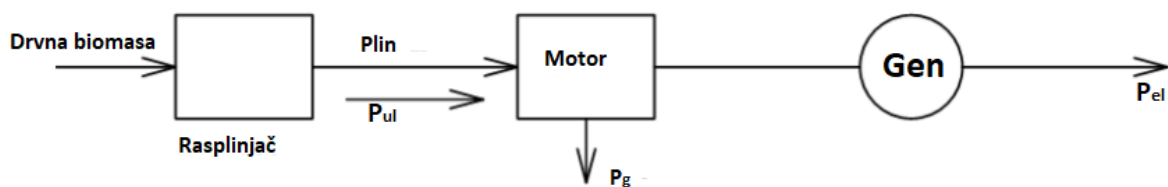


Slika 3.4. Princip rada parnoturbinskog kogeneracijskog postrojenja na drvnu biomasu [9]

### 3.2.2. Rasplinjavanje biomase

Rasplinjavanje ili gasifikacija je termokemijski postupak kojim se od krute biomase dobiva tzv. sintetski plin. Ovisno o kemijskim značajkama krute biomase koja se koristi, ogrjevna vrijednost dobivenog sintetskog plina kreće se u rasponu od 20-50% ogrjevnosti prirodnog plina. Ogrjevna vrijednost ovisiti će o količini ugljikovog monoksida i vodika koji nastaju postupkom

gasifikacije. U odnosu na kruta goriva, prednost rasplinjavanja je u lakšoj i efikasnijoj regulaciji snage postrojenja te u smanjenju štetnog utjecaja na okoliš. Proces gasifikacije sastoji se od nekoliko faza: zagrijavanja biomase, proces pirolize, rasplinjavanja biomase te izgaranja. Plin koji se dobije u rasplinjačima se može koristiti u toplinske svrhe za direktno izgaranje u motorima s unutrašnjim izgaranjem te u plinskim turbinama, što bi zbog mogućnosti korištenja plina visoke temperature bilo veoma efikasno. Međutim, dobiveni plin nije potpuno čist, a troškovi čišćenja su izrazito visoki. Plinske turbine su izrazito osjetljive na nečistoće u plinu pri visokim temperaturama, pa se stoga ova još uvijek nedovoljno istražena primjena dobivenog plina ne koristi toliko često. Češća primjena dobivenog plina je u motorima s unutrašnjim izgaranjem (slika 3.5.).



Slika 3.5. Shema procesa dobivanja električne energije rasplinjavanjem biomase [11]

### 3.2.3. Anaerobna digestija

Anaerobna digestija je biokemijski proces nakon kojeg kao krajnji produkt nastaje bioplina. Bioplina se u najvećoj mjeri sastoji od metana ( $\text{CH}_4$ ) i ugljikovog dioksida ( $\text{CO}_2$ ), ali i od drugih plinova u tragovima poput dušika, amonijaka ( $\text{NH}_3$ ), sumporovodika ( $\text{H}_2\text{S}$ ) itd. . Anaerobna digestija je naziv za veći broj procesa u kojima se bez prisutnosti kisika posredstvom mikroorganizama razlažu biorazgradive tvari, najčešće biljni i životinjski otpad. Osim bioplina korisni produkt je i digestat koji može poslužiti kao gnojivo. Anaerobna digestija sastoji se od sljedećih procesa: hidrolize, acidogeneze, acetogeneze te metanogeneze. Hidroliza je proces razlaganja velikih polimernih lanaca biomase u prvotnom stanju na manje dijelove, tzv. monomere. Hidroliza zapravo predstavlja otapanje kompleksnih molekula u jednostavnije aminokiseline, masne kiseline i šećere. Acidogenezom nastaju hlapljive masne kiseline uz oslobađanje većih količina  $\text{CO}_2$ , a na taj proces izravno se nastavlja proces acetogeneze kojim iz



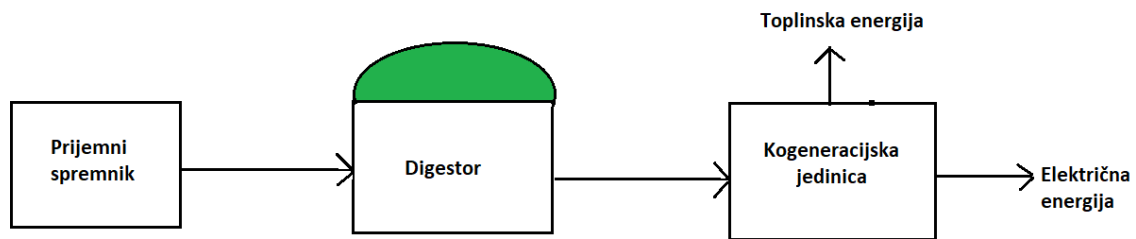
dobivenih masnih kiselina nastaju acetati. U završnoj fazi metanogeneze produkti iz prethodnih faza pretvaraju se u najvećem dijelu u metan, ugljikov dioksid i vodu. Za proces metanogeneze ključno je da je PH vrijednost ulazne biomase između 6,5 -7, a temperatura u digestoru između 25-35° C. Digestor (slika 3.6.) je naziv za bioreaktor, odnosno najčešće kupolastu strukturu unutar koje se nalazi biomasa, a čiji je cilj osigurati anaerobne uvjete, tj. uvjete bez kisika.



*Slika 3.6. Digestor u bioplinskom postrojenju Mala Branjevina pored Osijeka [12]*

U današnje vrijeme sve je češća pojava izgradnje novih bioplinskih postrojenja, naročito na području Slavonije i Baranje. Bioplinska postrojenja se u pravilu sastoje od prijemnog spremnika, digestora (bioreaktora ili fermentatora) te kogeneracijske jedinice za proizvodnju električne energije i odvođenje preostale toplinske energije. Princip rada (slika 3.7.) ovakvih postrojenja kreće od prikupljanja biomase koja će se koristiti u procesu anaerobne digestije. U sastavu biomase nalaze se izmet svinja, goveda i peradi, iznutrice, sirutka, slama, trava, razni biljni otpadi, ostaci hrane itd. Prikupljena biomasa nalazi se u prijemnom spremniku gdje se miješa kako bi se dobila homogena smjesa. Iz spremnika se biomasa odvodi u digestor, gdje se uz specifične uvjete odvija proces anaerobne digestije, prilikom čega nastaje bioplin i ostatak

tekuće gnojnice. Dobiveni bioplin se dovodi do kogeneracijske jedinice, gdje izgara u bioplinskom motoru koji pogoni generator. Time se dobiva električna energija. Dio proizvedene električne energije služi kako bi se pokrila vlastita potrošnja postrojenja, a višak se isporučuje u mrežu. Višak toplinske energije odvodi se iz kogeneracijske jedinice te dalje koristi u svrhu grijanja kuća, staja itd.



*Slika 3.7. Pojednostavljeni princip rada bioplinskog postrojenja [11]*

### 3.2.4 Biogoriva

Kao alternativa po okoliš štetnim neobnovljivim fosilnim gorivima, u posljednje vrijeme se sve više javlja proizvodnja biogoriva. Biogoriva su tekuća ili plinovita goriva nastala iz biomase koja se koriste za potrebe prijevoza. Obično se biogoriva dijele na biogoriva prve generacije i biogoriva druge generacije. U biogoriva prve generacije ubrajaju se biodizel, bioetanol i biljna ulja. Od biogoriva druge generacije najpoznatija su biohidrogen, biometanol, biodimetileter itd.

Biodizel je vrlo vjerojatno najpoznatiji oblik biogoriva, te ujedno i najrašireniji. Biodizel, ili metilester, je tekuće nemineralno, neotrovno i biorazgradivo gorivo koje se koristi kao zamjena za fosilna goriva u dizelskim motorima. Osnovna sirovina za proizvodnju biodizela najčešće je ulje uljane repice, a često se koristi i sojino ulje te palmino ulje. Kemijska osnova za nastanak biodizela je transesterifikacija. Transesterifikacija je kemijski proces u kojem biljno ulje reagira s metanolom uz prisutnost katalizatora, pri čemu kao sporedni proizvod nastaje glicerol. U usporedbi sa fosilnim dizelskim gorivima, biodizel ima gotovo jednake energetske karakteristike,

ali ima puno bolju mazivost što značajno produžava radni vijek motora. Glavna prednost u odnosu na fosilna goriva je svakako smanjena emisija štetnih plinova. Biodizelska goriva se u pravilu mogu koristiti u svim dizelskim motorima bez potrebe za bilo kakvim preinakama motora. Preinake su potrebne jedino kod korištenja čistog 100%-tnog biodizela. Inače se biodizel najčešće miješa sa konvencionalnim dizelskim gorivima, pa tako postoje B20, B5 i B2 goriva, gdje brojka uz slovo B predstavlja udio biodizela u ukupnoj smjesi goriva (slika 3.8).

Bioetanol se najčešće proizvodi od biljaka bogatih šećerom, škrobom i celulozom. U te biljke ubrajamo kulture poput šećerne trske, kukuruza, melase, raznolikog vrsta drveća itd. Najčešće se koriste kulture bogate šećerom, jer se iz njih procesom fermentacije može direktno dobiti etanol. Kod biljaka bogatih škrobom ili celulozom potrebno je prije fermentacije provesti dodatne kemijske procese, što povećava troškove proizvodnje. Kao i biodizel, bioetanol se najčešće miješa sa benzinskim gorivima. Kod goriva sa udjelom bioetanola manjim od 20%, nisu potrebne nikakve preinake motora. Ukoliko se želi koristiti gorivo s većim ili potpunim udjelom bioetanola, potrebno je modificirati motor, čime se povećavaju troškovi vozila. Bioetanol ima nešto manju energetska vrijednost, što znači da bi vozilo koje koristi čisti bioetanol prešlo za trećinu manje puta od vozila koje koristi benzinsko gorivo, naravno uz uvjet da su im spremnici za gorivo jednaki.

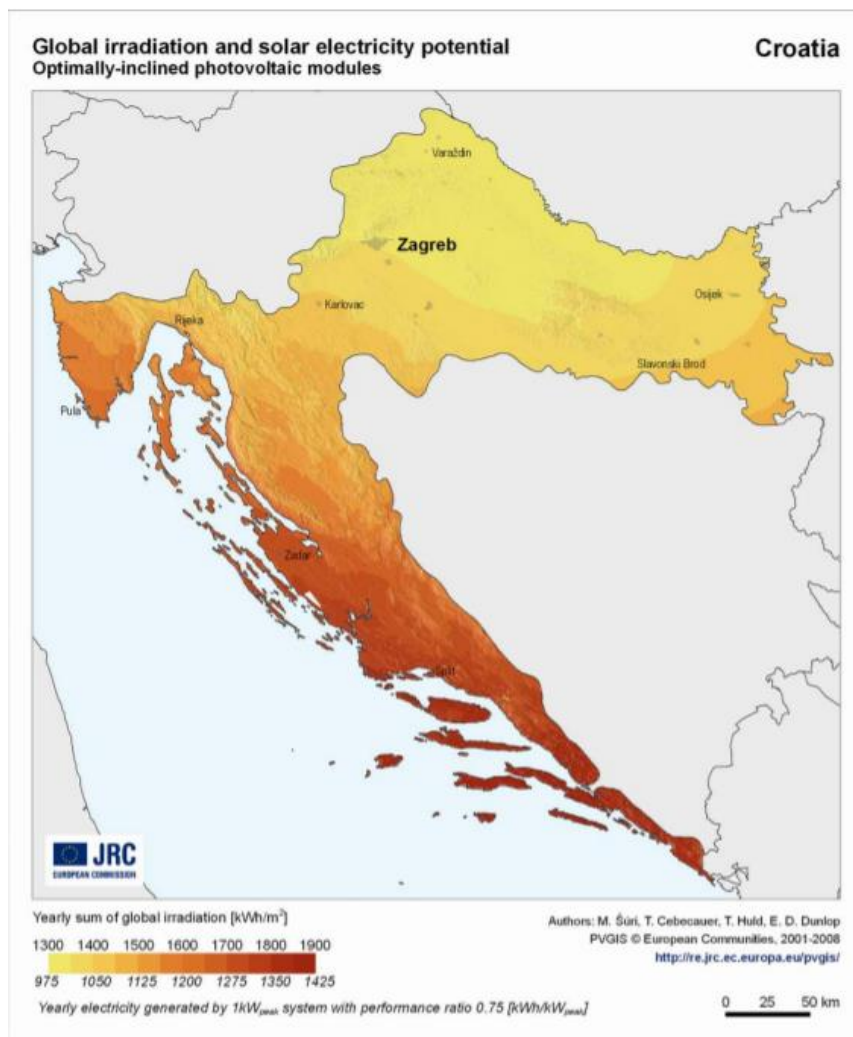


Slika 3.8. Različite vrste biogoriva na benzinskoj postaji u SAD-u [13]

### 3.3. Tehnologije za iskorištavanje energije sunca

Osim nuklearne energije, sva preostala energija na Zemlji potječe izravno ili neizravno od energije Sunca. Nejednolikim zagrijavanjem Zemlje dolazi do pojave velikih strujanja zraka, čime nastaje vjetar. Zagrijavanjem Sunčevom toplinom morska voda isparava, a zatim se ponovno kondenzira i u obliku oborina pretvara u potencijalnu hidroenergiju. Bez prisutnosti Sunca ne bi postojali uvjeti za proces fotosinteze, a samim time ne bi se mogla razviti ni fosilna goriva niti biomasa iz biljnih kultura.

Energija Sunčevog zračenja koja dopire do vanjskog ruba Zemlje varira u rasponu od 1307-1399 W/m<sup>2</sup> na plohu okomitu na smjer zračenja. Prema [14] srednja vrijednost Sunčeva zračenja, poznatija i kao solarna konstanta, iznosi  $E_{0sr}=1353$  W/m<sup>2</sup>. Na slici 3.9. prikazana je prostorna raspodjela energije Sunčeva zračenja za prostor Republike Hrvatske.



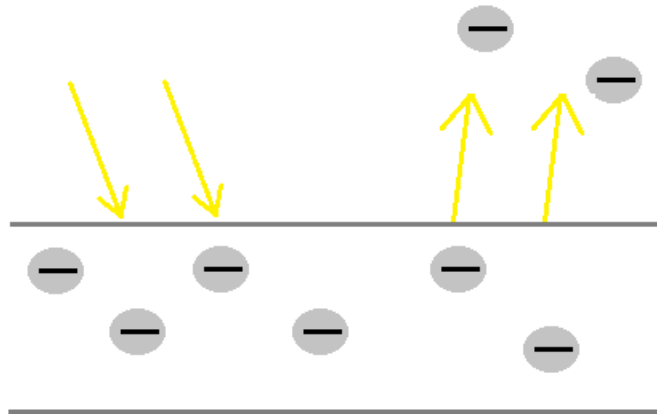
Slika 3.9. Energija Sunčeva zračenja za prostor RH [15]

Potencijal Sunčeve energije nevjerojatno je obilan. Gotovo 4 milijuna EJ ( $1\text{EJ}=10^{18}\text{ J}$ ) godišnje dolazi do Zemlje, od čega se procjenjuje da je  $5\cdot 10^4$  EJ potencijalno iskoristivo [16]. Pored ovako neosporno obilnog potencijala, postavlja se pitanje mogućnosti iskorištavanja takve količine energije. Brojna su ograničenja tehnologija za iskorištavanje energije Sunčevog zračenja. Energetski tok gustoće zračenja je nizak i oscilatoran. Intenzitet zračenja neprestano se mijenja tijekom dana u ovisnosti o promjenjivima klimatskim uvjetima. Proizvodnja je ograničena vremenskim uvjetima i oscilira, pa često ne pokriva zahtjeve potrošnje. Također, Sunčevu energiju nije moguće skladištiti. Tehnologije za iskorištavanje su još uvijek nedovoljno razvijene kako bi bile konkurentne u usporedbi s ostalim načinima proizvodnje energije.

Energija Sunčevog zračenja može se koristiti za proizvodnju toplinske energije i električne energije. Pritom se toplinska energija može dobiti na aktivan ili pasivan način. Pasivni način podrazumijeva izravno grijanje zgrada na koje pada Sunčevo zračenje. Aktivno grijanje uključuje uporabu solarnih kolektora. Istovremena proizvodnja toplinske i električne energije moguća je kod sustava solarnih termoelektrana. Električnu energiju moguće je proizvesti tehnologijom fotonaponskih ćelija.

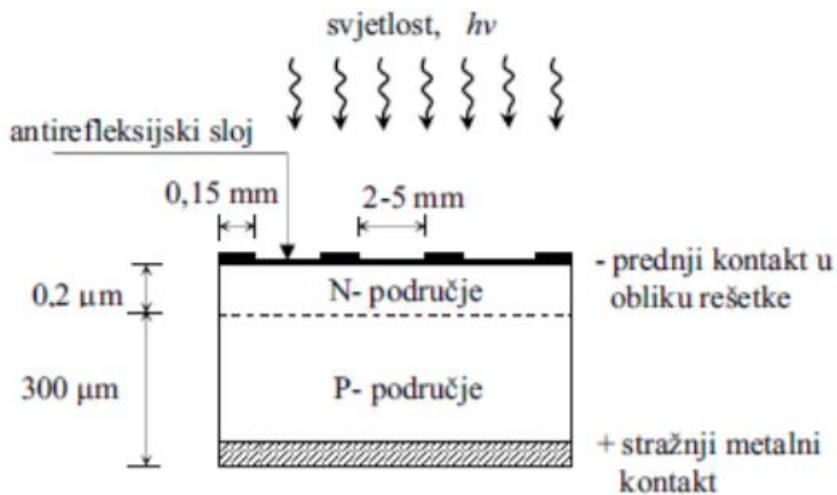
### **3.3.1. Fotonaponski sustavi**

Fotoelektrični efekt (slika 3.10.) je fizikalna pojava kod koje djelovanjem elektromagnetskog zračenja dovoljno male valne duljine dolazi do izbivanja elektrona iz obasjanog materijala, najčešće metala. Ukoliko bi zračenje bilo veće valne duljine od granične, ne bi došlo do izbivanja elektrona jer elektroni ne bi dobili dovoljno energije za raskidanje veze s atomom. Na fotoelektričnom efektu temelje se današnji fotonaponski sustavi u kojima se događa direktna pretvorba solarne energije u električnu energiju.



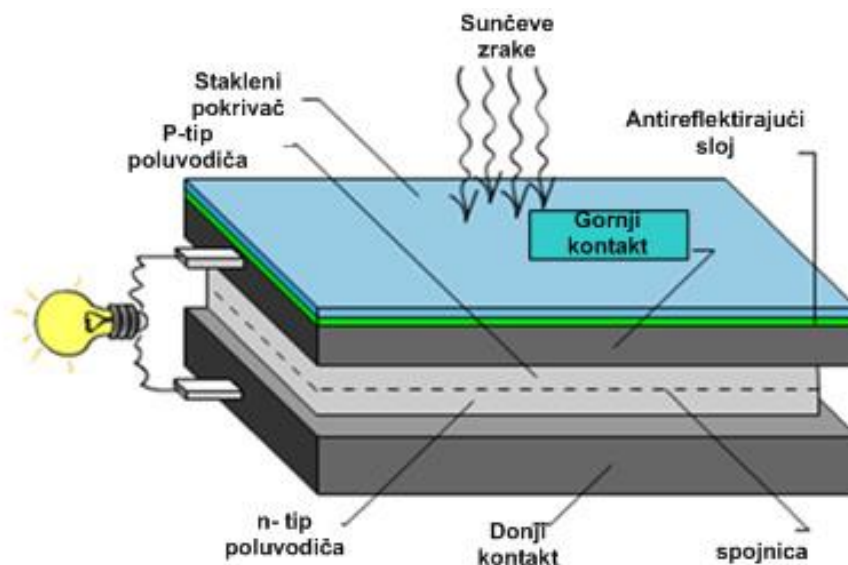
Slika 3.10. Prikaz fotoelektričnog efekta [11]

Fotonaponska pretvorba se vrši na solarnim ćelijama izrađenim od P i N poluvodičkih materijala. U silicijskoj solarnoj ćeliji na površini pločice P-tipa silicija postoji tanki sloj primjese, npr. fosfora, tako da na tankom površinskom sloju nastane područje N-tipa poluvodiča. Kako bi se skupili naboji nastali apsorbicijom fotona iz solarnog zračenja, na prednjoj površini ćelije nalazi se metalna rešetka koja zauzima minimalni dio površine, tako da praktički nema nikakav utjecaj na apsorbiciju zračenja. Stražnja strana ćelije prekrivena je metalnim kontaktom. Prozirni antirefleksijski sloj smanjuje refleksiju Sunčeve svjetlosti. Shema PN solarne ćelije prikazana je na slici 3.11.



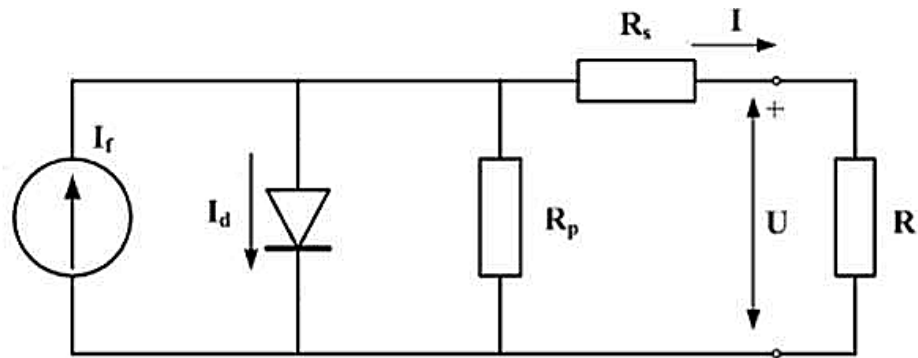
Slika 3.11. Shematski prikaz fotonaponske ćelije [17]

Ukoliko se FN ćelija osvijetli, odnosno ukoliko apsorbira Sunčevo zračenje, na njenim se krajevima uslijed fotoelektričnog efekta pojavljuje napon. Kada se ćelija osvijetli, apsorbirani fotoni proizvode parove elektron-šupljina. Ukoliko apsorpcija nastane daleko od PN-spoja, nastali par se ubrzo rekombinira. Međutim, ukoliko apsorpcija nastane u blizini ili unutar samog PN spoja, unutrašnje električno polje odvaja novonastali elektron i šupljinu. Elektron se kreće prema N-strani, a šupljina prema P-strani. Uslijed skupljanja elektrona i šupljina na suprotnim stranama spoja dolazi do pojave napona na krajevima fotonaponske ćelije. Ako se krajevi, odnosno kontakti ćelije spoje na neko trošilo, ćelija će postati izvor električne energije, a kroz trošilo će poteći struja (slika 3.12).



Slika 3.12. Fotonaponska pretvorba [18]

Solarna ćelija se ponaša kao izvor istosmjerne struje te se može predstaviti shemom na slici 3.13:



Slika 3.13. FN ćelija kao izvor istosmjerne struje [17]

gdje je:

$I_d$  - struja povratne difuzije,

$I_f$  - fotostruja,

$I$  - struja kroz trošilo,

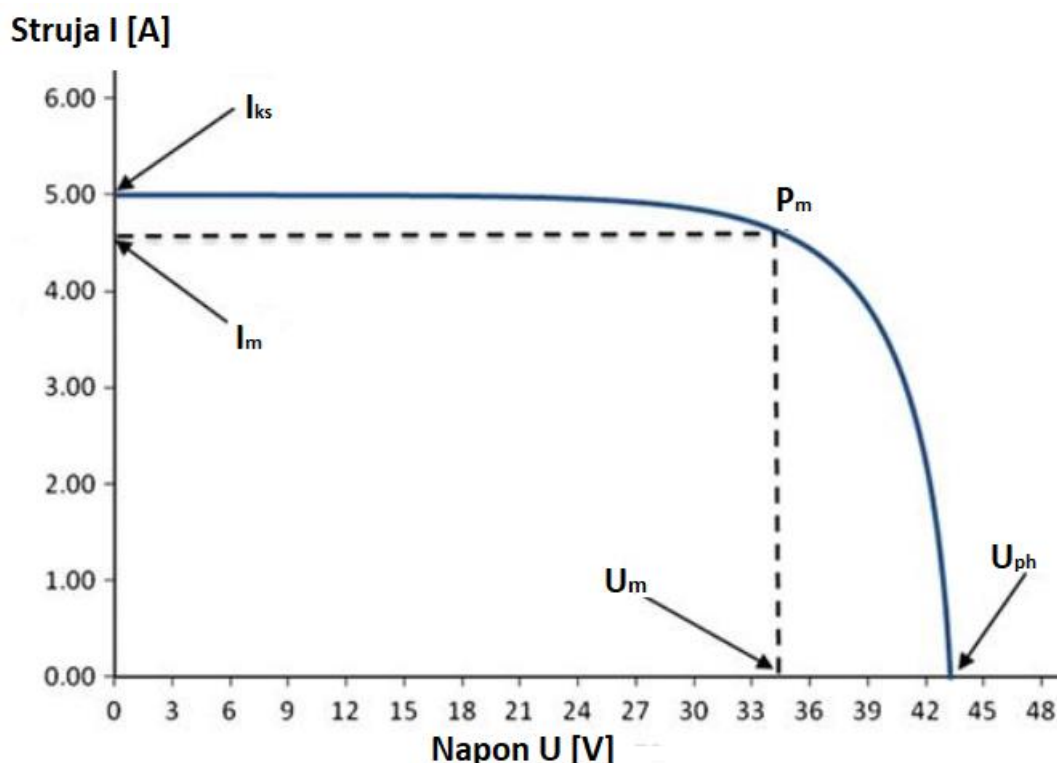
$R_s, R_p$  - serijski i paralelni otpor,

$R$  - otpor trošila,

$U$  - napon ćelije .

$U/I$  karakteristika FN ćelije prikazana je na slici 3.14. Vidi se kako je maksimalna snaga u točki  $P_m$ , pri  $I = I_m$ ;  $U = U_m$ .

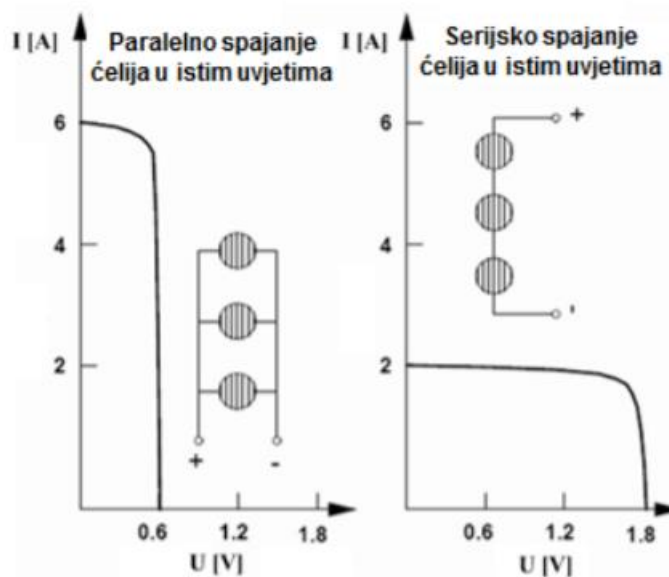




Slika 3.14. U/I karakteristika fotonaponskog sustava[17]

Najčešće se FN ćelije izrađuju od monokristalnog ili polikristalnog silicija. Monokristalne silicijske ćelije su izrazito skupe, ali im je zato efikasnost do 18%. Također, postoje i tehnologije nanošenja tankih slojeva silicija na staklo ili neku drugu podlogu. Takve ćelije su jeftinije, ali im je stupanj korisnosti oko 8-10%. U novije vrijeme, pojavljuju se i tehnologije višeslojnih ćelija, čija je učinkovitost u rasponu 25-40%, ali još uvijek ne nalaze široku primjenu zbog izrazito visokih cijena. [19]

Snaga jedne FN ćelije je izrazito mala gledajući s aspekta opskrbe većeg broja potrošača. U prosjeku, jedna FN ćelija generira napon od oko 0,6V te struju od 3A, čime se dolazi do zaključka kako je snaga jedne ćelije nešto manje od 2W. Stoga se solarne ćelije u praksi spajaju u solarne module, a moduli zatim čine panele kojima se proizvode veće količine električne energije. Ukoliko se od nekog broja  $n$  ćelija treba dobiti što veća struja, tada će se ćelije povezivati paralelno, gdje će struja iznositi  $I_{uk} = n \cdot I$ , gdje  $I$  predstavlja struju jedne ćelije. Ukoliko se treba dobiti što veći napon na stezaljkama modula, tada ćelije treba povezati serijski, pri čemu će napon iznositi  $U_{uk} = n \cdot U$ , gdje je  $U$  napon jedne ćelije (slika 3.15.)



Slika 3.15. Paralelni i serijski spoj ćelija s pripadajućim  $I/U$  karakteristikama [17]

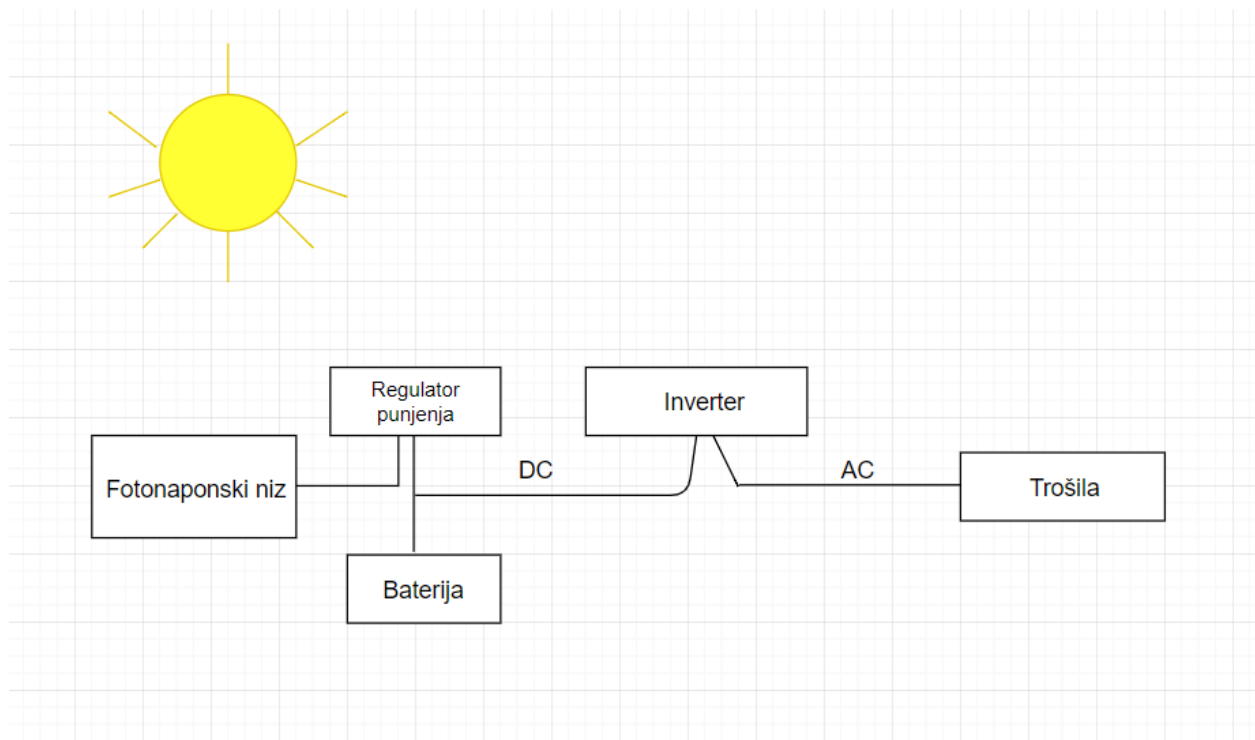
Fotonaponski sustavi su takvi sustavi kojima je moguće opskrbljivati potrošače istosmjernom i izmjeničnom električnom energijom.

Solarni fotonaponski sustavi mogu se podijeliti na dvije vrste:

1. fotonaponski sustavi koji nisu priključeni na elektroenergetsku mrežu (tzv. off-grid sustavi)
2. fotonaponski sustavi koji su priključeni na elektroenergetsku mrežu (tzv. on-grid sustavi).

Samostalni ili off-grid sustavi (slika 3.16.) mogu odlično poslužiti kao alternativni izvor električne energije u kućama izrazito udaljenima od priključka na mrežu, kao i za kamp kućice, telekomunikacijske objekte itd. Uobičajeni off-grid fotonaponski sustav sastoji se od sljedećih dijelova:

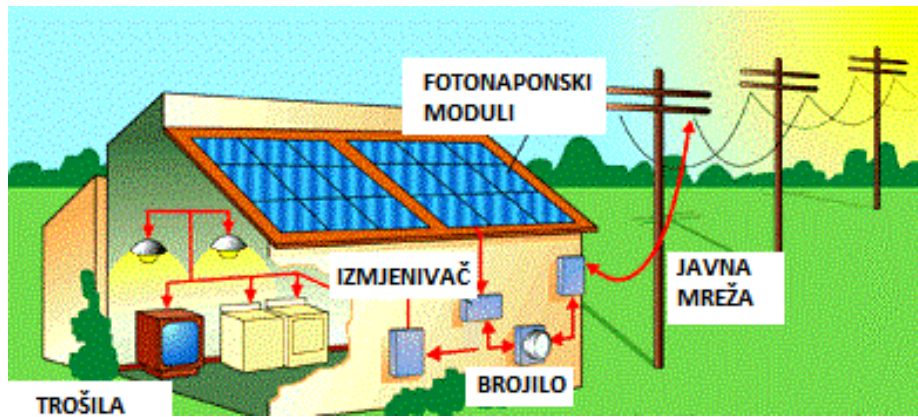
1. fotonaponski moduli
2. regulator punjenja
3. tragač maksimalne snage
4. trošila (DC ili AC)
5. izmjenjivač (u slučaju izmjeničnih trošila)



Slika 3.16. Shematski prikaz off-grid fotonaponskog sustava [20]

Budući da je cijena baterija izrazito visoka, a zahtjevi za pohranom energije neizbježni zbog oscilatornog Sunčevog zračenja, umjesto dodavanja većeg broja baterija često se u ovakve sustave dodaje još jedan izvor energije, najčešće dizelski agregat, vjetroelektrana ili gorive ćelije. Za takve sustave često se kaže da su hibridni fotonaponski sustavi.

On-grid fotonaponski sustavi (slika 3.17.) su takvi sustavi koji su priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu te u nju isporučuju višak električne energije. U pravilu se ovakvi sustavi priključuju na niskonaponsku distributivnu mrežu preko kućne instalacije. On-grid sustavi su u paralelnom radu s mrežom, pri čemu im je primarni cilj opskrbljivanje trošila unutar objekta, dok se višak električne energije šalje u mrežu. Problem nestabilne, promjenjive i često puta nedovoljne proizvodnje fotonaponskih sustava može se riješiti tako da se trošila mogu u bilo kojem trenutku napajati iz mreže.



Slika 3.17. On-grid fotonaponski sustav [21]

### 3.3.2. Solarne elektrane

Koncept solarnih elektrana baziran je na pretvorbi energije Sunčevog zračenja u toplinsku, tako da se preuzetom toplinskom energijom zagrijava fluid ili kruta tvar, koja se zatim dalje koristi u kružnom procesu za dobivanje električne energije. Najčešće se koriste rastopljene soli, sintetička ulja ili različiti plinovi. Kako bi se tvari korištene u procesu mogle zagrijati do dovoljne temperature, potrebno je zračenje koje pada na širokom prostoru koncentrirati na manju površinu. Stoga je u praksi za ovu vrstu elektrana zaživio naziv koncentrirajuće solarne termoelektrane. Također, najpovoljniji kut upada Sunčevog zračenja neprestano se mijenja, pa je tako potrebno i ugraditi sustave koji će zakretati i prilagođavati položaj zrcala.

Postoji više vrsta koncentrirajućih solarnih termoelektrana, ali najčešće se koriste parabolični kolektori, solarni tornjevi te solarni tanjuri. Princip rada je isti ili vrlo sličan za svaku od ovih tehnologija. Ovakve elektrane se sastoje od velikog broja zrcala koje koncentriraju Sunčevo zračenje u obliku toplinske energije, a zatim tom toplinskom energijom zagrijavaju fluide u spremnicima. Zagrijani fluidi zatim prolaze kroz turbine spojene na generator, čime se proizvodi električna energija.

Parabolični kolektori čine veliku većinu primjene solarnih termoelektrana. Snage kapaciteta 10-100 MW, nalaze široku primjenu na mjestima sa visokom insolacijom. Parabolični kolektori se sastoje od zrcala za prihvaćanje zračenja, te spremnika fluida koji se nalaze iznad njih (slika 3.18.). Efikasnost ovakvih sustava najčešće se kreće u rasponu od 15-20%.



*Slika 3.18. Parabolični kolektori[22]*

### 3.4. Vjetroelektrane

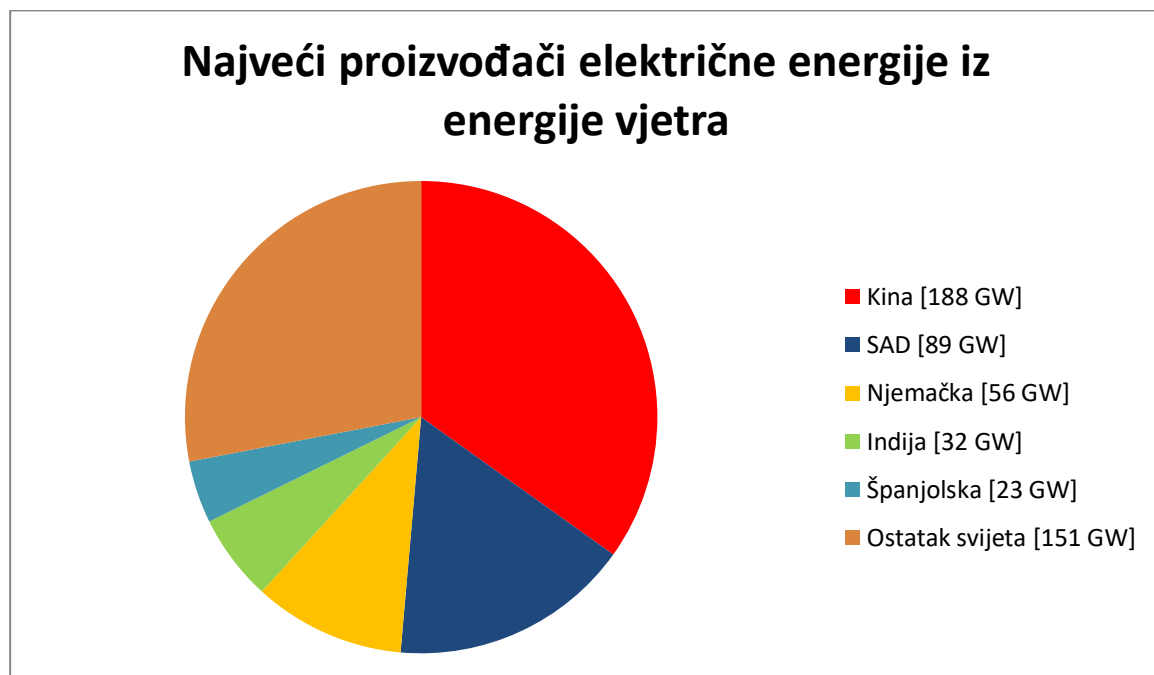
Teorijska snaga vjetra koji prolazi kroz vjetroturbinu ovisi o trećoj potenciji brzine vjetra  $v^3$  [m/s], gustoći zraka  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] te o površini  $A$  [m<sup>2</sup>]:

$$P_v = \frac{1}{2} \cdot v^3 \cdot \rho \cdot A \text{ (W)} \quad (2)$$

U praksi, ovaj izraz je vrlo složen zbog nekoliko ograničavajućih čimbenika. Brzina vjetra na određenoj lokaciji je izrazito promjenjiva tijekom vremena. Ovisi i o visini, gdje brzina vjetra raste s porastom visine, pa se stoga vjetroelektrane grade na sve većim visinama. Gustoća zraka

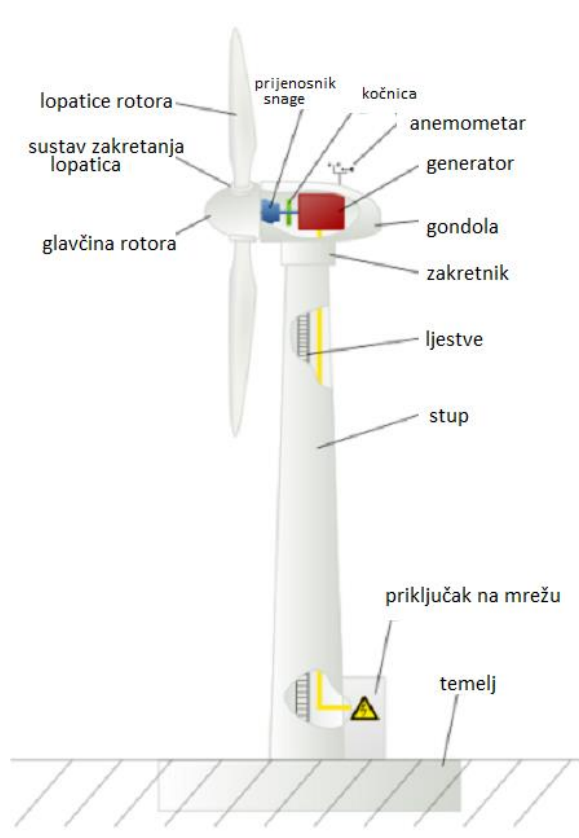
ovisi o brojnim klimatskim uvjetima poput temperature, vlažnosti i tlaka zraka, nadmorskoj visini itd.

Povijest korištenja energije vjetra započela je prije gotovo 5500 godina, kada su se pojavili prvi brodovi s jedrima. Ljudi su uvidjeli kako bi mogli iskoristiti energiju vjetra za transport robe i ljudi, ali i otkrivanje novih neistraženih područja. Početkom 13. stoljeća, pojavile su se prve vjetrenjače sa horizontalnom osi vrtnje, a koje su služile prvo za mljevenje, a zatim za pokretanje pumpi za navodnjavanje. Procjenjuje se da je početkom 20.stoljeća u SAD-u postojalo gotovo 6 milijuna takvih vjetrenjača u svrhu navodnjavanja poljoprivrednih površina. Prvi vjetroagregat pojavljuje se 1887. godine u Škotskoj, a nakon toga se počelo raditi na konstrukciji većih, snažnijih i kvalitetnijih vjetroagregata. Razvoj tehnologija za iskorištavanje energija vjetra kroz 20. stoljeće usporile su izrazito niske cijene i dostupnost fosilnih goriva. Tek pred kraj 20.stoljeća započinje ponovni uspon vjetroelektrana, pri čemu najveći se najveći napredak dogodio kroz posljednjih 15-ak godina. Samo kroz 2017. godinu, instalirana snaga vjetroelektrana je porasla za 10% u odnosu na prethodnu godinu, te sada iznosi 539 GW električne energije [23]. Najveći proizvođač električne energije iz vjetroelektrana je Kina sa 18 GW, a slijede ju SAD, Njemačka, Indija itd (slika 3.19.). Danska je zemlja sa najvećim udjelom proizvodnje iz vjetroelektrana u ukupnoj proizvodnji, gdje vjetroelektrane proizvode gotovo 50% ukupno proizvedene električne energije u državi.



Slika 3.19. Najveći svjetski proizvođači električne energije iz vjetroelektrana [24]

Vjetroelektrane su postrojenja koja pretvaraju kinetičku energiju vjetra u električnu energiju, a mogu se sastojati od jednog ili više vjetroagregata. Vjetroagregat je jedinica koja se sastoji od vjetroturbine koja pogoni generator, a zatim generator proizvodi električnu energiju. Osnovni dijelovi vjetroelektrane su: stup, kućište (gondola), rotor (lopatice i glavčina), pogonski mehanizam, generator, prijenosnik snage ili multiplikator, sustav za zakretanje, sustav za zakretanje lopatica, mehanička kočnica, anemometar za mjerenje brzine vjetra te upravljački sustav za upravljanje i nadzor (slika 3.20.). Vjetroelektrane se mogu podijeliti s obzirom na nekoliko kriterija. Prema snazi, mogu se podijeliti na vjetroelektrane male, srednje i velike snage. Prema osi vrtnje, dijele se na vjetroelektrane s horizontalnom osi vrtnje te vjetroelektrane s vertikalnom osi vrtnje. Prema vrsti korištenog generatora, mogu se dijeliti na vjetroelektrane sa istosmjernim, asinkronim ili sinkronim generatorom. Također, prema brzini vrtnje dijele se na one s promjenjivom brzinom i vrtnje i sa stalnom brzinom vrtnje. Prema lokaciji na kojoj se nalaze, dijele se na one na kopnu (tzv. onshore), te one na pučini (tzv. offshore).



Slika 3.20. Dijelovi vjetroelektrane [25]

Vjetroelektrane su se posljednjih godina toliko razvile da mogu proizvoditi ogromne količine električne energije. Trenutno najsnažniji vjetroagregat na tržištu je snage 8,9 MW tvrtke MHI Vestas. Promjer rotora iznosi čak 164 m.[26].

Kao što je prethodno već spomenuto, vjetroelektrane se s obzirom na os vrtnje dijele na one sa horizontalnom osi vrtnje, te one sa vertikalnom osi vrtnje [27]. Za vjetroelektrane sa horizontalnom osi vrtnje karakteristično je da osovinu leži vodoravno. Na osovinu se spaja rotor s lopaticama koje koriste silu uzgona za pokretanje rotora. Pritom se ove vjetroelektrane dalje mogu dijeliti s obzirom na broj lopatica (najčešće 2 ili 3), postavljanju rotora uz ili niz vjetar, načinu zakretanja gondole itd. Nedostatak ovakvih vjetroelektrana se primijeti pri radu na manjim visinama i pri turbulentnim vjetrovima. Stoga se ove vjetroelektrane postavljaju na većim visinama, što sa sobom nosi povećanje troškova izgradnje.

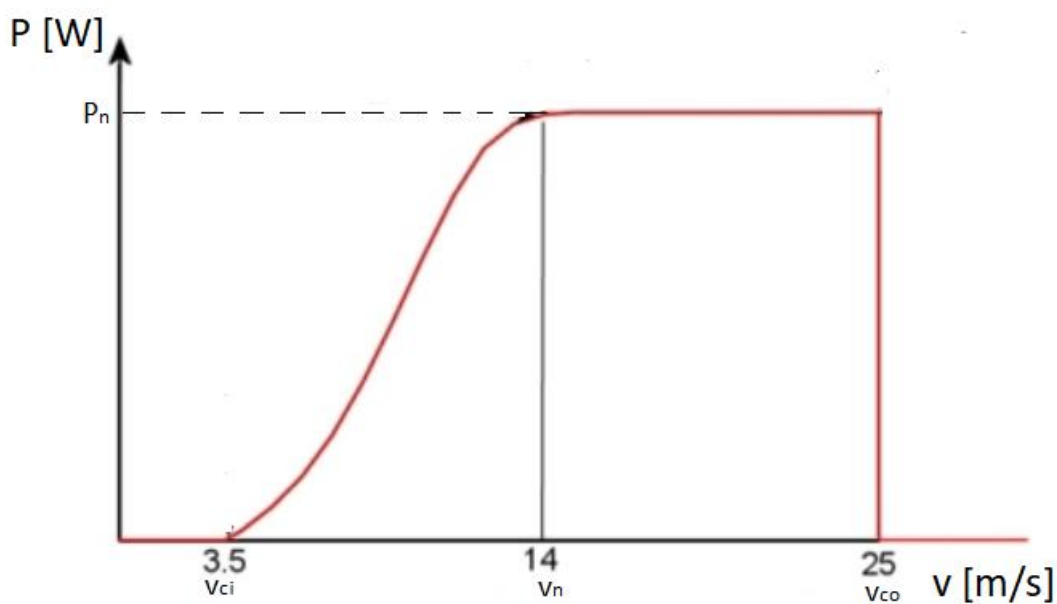
Vjetroelektrane s okomitom osi vrtnje sadrže okomito postavljenu osovinu. Glavna prednost ove tehnologije je što može iskorištavati vjetrove iz svih smjerova, te nije potreban mehanizam za zakretanje. Pošto se postavljaju na manjim visinama, ili gotovo pri tlu, prednost je dostupnost generatora. Glavni nedostatak ovakvih vjetroelektrana je gotovo upola manja korisnost u usporedbi s vjetroelektranama s vodoravnom osi vrtnje. Najčešće korištene izvedbe ovakvog tipa vjetroelektrana su Savoniusov tip, Darriuesov tip (slika 3.21.), H-tip itd.



*Slika 3.21. Darriuesov tip vjetroelektrane [28]*



Za implementaciju sustava vjetroelektrana jako je važna krivulja snage vjetroelektrane u ovisnosti o brzini vjetra (slika 3.22.). To je krivulja koja govori kako se s promjenom brzine vjetra mijenja izlazna snaga vjetroelektrane na nekoj lokaciji. Na grafu se vidi kako će vjetroelektrana početi proizvoditi električnu energiju tek kada brzina vjetra dosegne vrijednost  $v_{ci}$ , koja iznosi od 3,5-4 m/s. Nazivna brzina vjetra  $v_n$  je ona brzina vjetra kod koje će vjetroelektrana razviti nazivnu snagu, te ona obično iznosi od 12-15 m/s. Brzina isključenja  $v_{co}$  je brzina pri kojoj mora doći do zaustavljanja vjetroelektrane zbog mehaničkih ograničenja, te ona iznosi od 25-30 m/s.

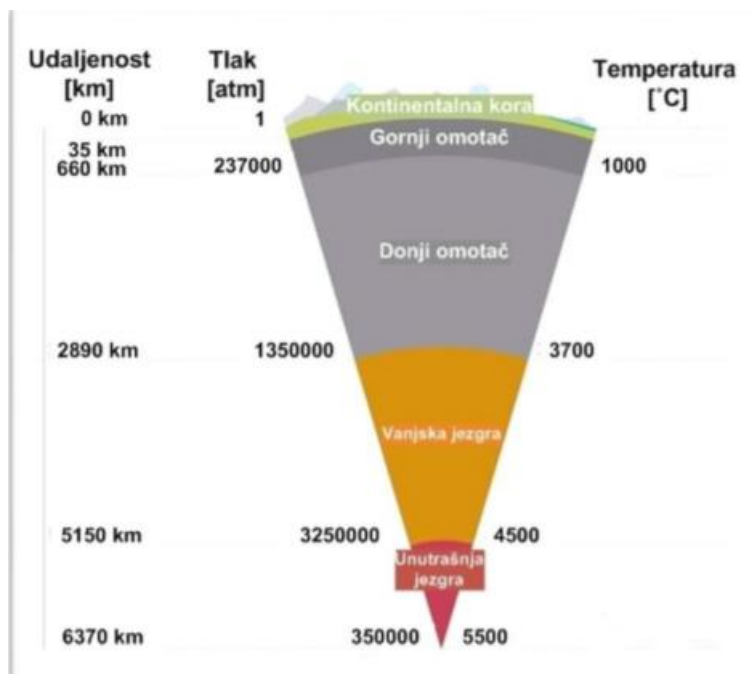


Slika 3.22. Krivulja snage vjetroelektrane u ovisnosti o brzini vjetra [27]

Vjetroelektrane se također mogu razlikovati prema načinu regulacije snage, odnosno lopatica rotora. Jedan od načina je aktivna regulacija kuta zakreta lopatica rotora, hidraulički mehanizmi zakreću lopatice oko vlastite te time reguliraju snagu vjetroelektrane. To se radi kako bi lopatice manjim iskorištavanjem većih brzina vjetra pratile vlastitu krivulju snage. Ovakav sustav implementiran je u većini današnjih velikih vjetroelektrana. Također, postoji i pasivna regulacija gubitkom brzine. U ovom slučaju se lopatice ne zakreću, nego su one tako dizajnirane da povećanjem brzine vjetra one smanjuju svoju učinkovitost, a samim time i snagu, prateći krivulju snage.

### 3.5. Tehnologije za iskorištavanje geotermalne energije

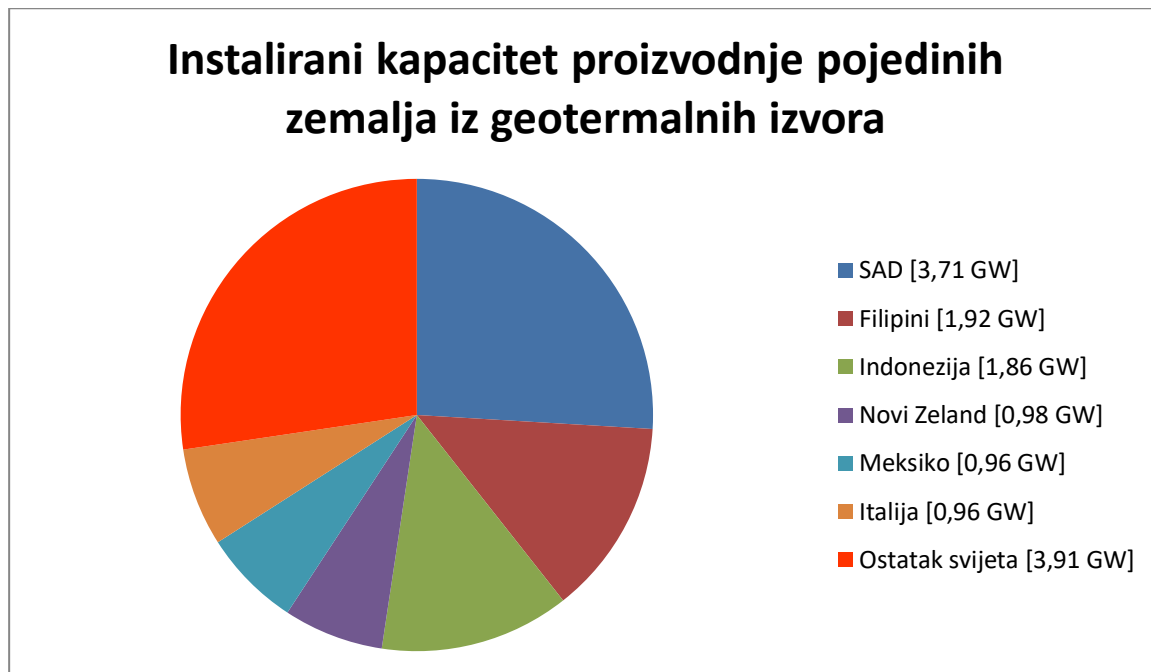
Naziv geotermalna energija dolazi od grčke riječi geo, što znači zemlja, te riječi therme, što znači toplina. Dakle, riječ je o toplinskoj energiji koja se oslobađa u Zemljinoj unutrašnjosti raspadanjem radioaktivnih elemenata poput urana, kalija i torija, interferencijom tektonskih ploča te drugim kemijskim reakcijama. Pri tome se javljaju ogromni tlakovi i temperature do 5500 °C (slika 3.23.). Budući da je količina energije koja nastaje toliko ogromna da se praktički smatra neiscrpnom, geotermalna energija se smatra obnovljivim izvorom energije. Gledajući s praktičnog aspekta, geotermalnu energiju nije moguće iskoristiti na bilo kojem području. Ona se iskorištava iz geotermalnih izvora, područja gdje su zadovoljeni uvjeti za ekonomičnu i praktičnu eksploataciju energije. Najvažniji faktor pri odabiru geotermalnog izvora je toplinski gradijent. Toplinski gradijent govori za koliko se °C poveća temperatura sa svakim kilometrom bliže Zemljinoj jezgri. Toplinski gradijent varira u području od 10°C/km do 60°C/km. Dakle, ukoliko je toplinski gradijent nizak, bušotina za eksploataciju energije bi se morala nalaziti na izrazito velikoj dubini, što bi povećalo troškove investicije.



Slika 3.23. Raspodjela temperature i tlaka s obzirom na dubinu [29]

2017. godine, u svijetu je kapacitet instalirane proizvodnje električne energije iz geotermalnih izvora iznosio 14,30 GW. [23]. Pri tome su najveći proizvođači SAD, Filipini, Indonezija, Novi

Zeland, Meksiko, Italija itd. Udio pojedinih zemalja može se vidjeti na slici 3.24. Predviđa se da bi se kroz 2018. godinu instalirani kapacitet proizvodnje trebao povećati gotovo za 90%.



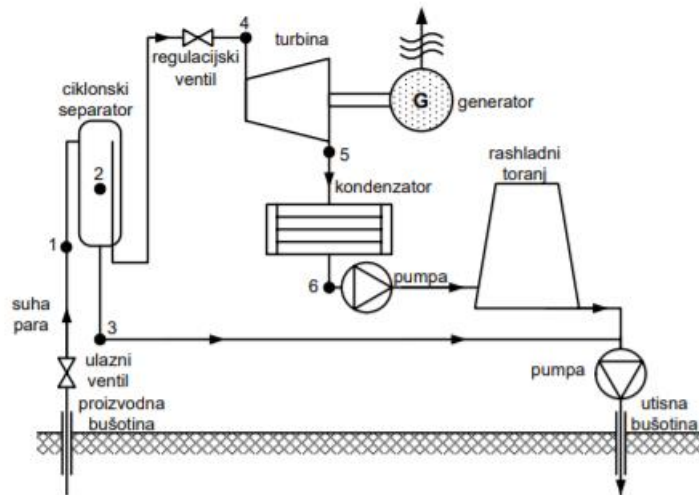
*Slika 3.24. Instalirani kapacitet proizvodnje pojedinih zemalja iz geotermalnih izvora [24]*

S obzirom na termodinamičke i hidrološke karakteristike, geotermalne izvore moguće je podijeliti na izvore vruće vode, izvore vodene pare, visokotlačne izvore tople vode te vruće i suhe stijene. Izvori vruće vode karakterizira tekuća voda na relativno malim dubinama, uz prosječan toplinski gradijent, te zapravo čini većinu geotermalnih izvora. Puno rjeđi su izvori vodene pare, koji se najčešće nalaze u područjima blizu aktivnih vulkana.

Geotermalna energija može se iskoristiti izravno, kao toplina, ili se može uz daljnje pretvorbe i gubitke pretvoriti u električnu energiju. Izravno iskorištavanje nalazi široku primjenu, od grijanja prostora do primjena u poljoprivrednoj i kemijskoj industriji.

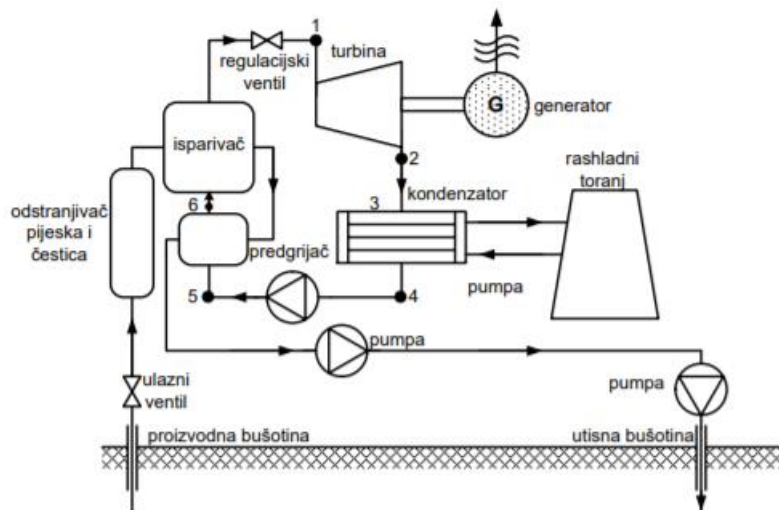
Kako bi se mogla proizvoditi električna energija, prvo je potrebno naći kvalitetni geotermalni izvor koji nije na prevelikoj dubini. Postoje tri tipa geotermalnih elektrana: elektrane na suhu paru, elektrane s isparavanjem (jednostrukim i dvostrukim) te elektrane s binarnim ciklusom. Elektrane na suhu paru se rjeđe primjenjuju, jer su rijetka i nalazišta geotermalnih izvora suhe pare. Više od polovice ukupnih geotermalnih postrojenja su elektrane sa vrućom vodom, odnosno isparavanjem. Voda koja se koristi u proizvodnji energije je u tekućem stanju. Vruća voda se preko proizvodne bušotine izvlači prema površini gdje joj naglo pada tlak, a kao

posljedica većina vode isparava u vodenu paru. Smjesa vruće vode i vodene pare, temperature oko 200 °C, dolazi u poseban separator gdje dodatni dio vode prelazi u vodenu paru. Zatim se sva para odvodi do turbine, a kondenzirana voda nakon ekspanzije pare u turbini te preostala voda iz separatora se odvode utisnom bušotinom nazad u zemlju. Postoje izvedbe sa jednostrukim i dvostrukim isparavanjem u separatoru. Osnovna shema geotermalne elektrane sa isparavanjem prikazana je na slici 3.25.



Slika 3.25. Osnovna shema geotermalne elektrane sa isparavanjem [9]

Geotermalne elektrane s binarnim ciklusom koriste se kod izvora kod kojih temperatura izvora nije dovoljno visoka kako bi postojala dovoljna količina vodene pare. Temperature takvih izvora iznose 100-200 °C. Kod binarnih postrojenja, geotermalni fluid iz izvora prolazi kroz izmjenjivač topline, gdje se zatim njegova toplina prenosi na binarni fluid (najčešće ugljikovodici, propan, pentan, itd.) čija je točka vrenja niža. Tako će se binarni fluid pretvoriti u paru koja dalje ekspandira u turbini. Nakon ekspanzije, para se odvodi u kondenzator, a kondenzat koji je nastao pumpom se ponovno utiskuje u izmjenjivač topline (slika 3.26.) .Glavna razlika u odnosu na prve dvije vrste geotermalnih elektrana je što geotermalni fluid ne dolazi u kontakt sa turbinom, već samo služi za prijenos topline.



Slika 3.26. Princip rada geotermalne elektrane s binarnim ciklusom [9]

Gledajući sa ekonomskog i tehnološkog aspekta, geotermalne elektrane su relativno visokog stupnja djelovanja (do 35%) , ali su investicijski troškovi puno veći u odnosu na ostale elektrane zbog troškova iskapanja bušotine. Također, geotermalna energija se ne može skladištiti kao npr. fosilna goriva. Ekološki gledano, emisije štetnih plinova su izrazito manje nego kod konvencionalnih tipova elektrana. Ipak, česte su pojave propadanja tla i miješanja geotermalne vode sa podzemnim vodama u blizini ovih postrojenja.

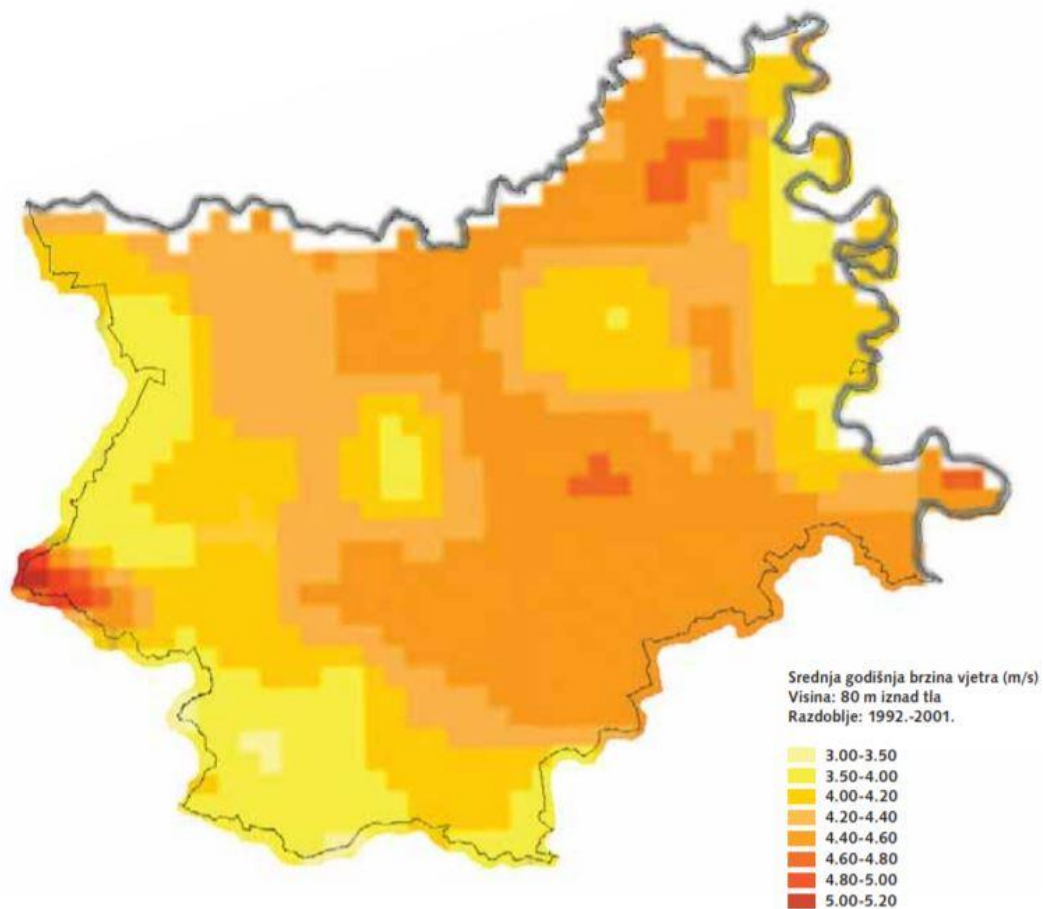
## 4. POTENCIJAL OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE U OSJEČKO-BARANJSKOJ ŽUPANIJI

Pod pojmom potencijal obnovljivih izvora misli se na analitičku procjenu prirodnog potencijala svih oblika obnovljivih izvora energije (OIE) u Osječko-baranjskoj županiji. Osječko-baranjska županija nalazi se u sjeveroistočnom dijelu Hrvatske u panonskom prostoru i s brojem od ukupno 304.899 stanovnika čini 7,1% stanovništva Republike Hrvatske. Županija prostorno zauzima površinu od 4.152 km<sup>2</sup> ili 7,34% kopnenoga teritorija Republike Hrvatske. Prostor Osječko-baranjske županije pripada sjeveroistočnom, pretežito nizinskom i ravničarskom dijelu istočne Slavonije. Na reljefne i geološke uvjete najviše su utjecali riječni tokovi Drave, Dunava i Save zajedno sa njihovim pritocima. Za prostor županije karakteristična je umjereno kontinentalna klima. Osnovne značajke ovog tipa klime su prosječne mjesečne temperature više od 10°C, tijekom više od barem četiri mjeseca godišnje, prosječne temperature najtoplijeg mjeseca ispod 22°C te prosječne temperature najhladnijeg mjeseca između -3°C i +18°C. Također je karakteristično da tijekom godine u pravilu najčešće nema suhih mjeseci. Oborina je najviše u toplom dijelu godine, a njezine prosječne godišnje količine kreću se od 700-800 mm. Na prostoru županije često se dogodi da vjetar ne puše, a ukoliko puše vjetar je najčešće slab i promjenjivog smjera. Karakteristika klime u županiji je svojevrsna homogenost, odnosno predvidivost klimatskih prilika, što je posljedica prethodno spomenutih geografskih obilježja. Na području Osječko-baranjske županije, odnosno na širem području istočne Slavonije godišnje se može očekivati prosječno 1.800-1.900 sunčanih sati. [30]

### 4.1. Energija vjetra

Na osnovu poznatih podataka i rezultata mjerenja, može se zaključiti kako je prirodni potencijal vjetra na području Osječko-baranjske županije minimalan. Na području županije karakteristični su sjeverozapadni vjetar koji puše u toplijem dijelu godine, te jugoistočni vjetar koji se pojavljuje češće tijekom zimskih, hladnijih perioda. Intenzitet vjetrova jači je zimi nego ljeti. Međutim, s energetskeg stajališta, i takav pojačani intenzitet zimi je nedovoljan za značajniju proizvodnju električne energije.

Najveći potencijal energije vjetra u Osječko-baranjskoj županiji (slika 4.1.) može se očekivati u njezinom sjevernom i istočnom dijelu. Prema dostupnoj karti vjetra na 80 m iznad razine tla, najveći potencijal za iskorištavanje energije vjetra je na obroncima Dilja i Krndije, što je i logično zbog veće nadmorske visine.. Karta brzina vjetra je dobivena korištenjem modela ALADIN/HR2 [31]. Prema dostupnim podacima, u Osječko-baranjskoj županiji je s energetskog stanovišta potencijal energije vjetra minimalan, jer srednje godišnje brzine vjetra ne prelaze 5,2 m/s na 80 m iznad tla.



Slika 4.1. Karta brzine vjetra za Osječko-baranjsku županiju [30]

## 4.2. Energija Sunca

Potencijal Sunčeve energije nekog područja ili lokacije najbolje se može procijeniti iz godišnje ozračenosti vodoravne plohe. Ozračenost je količina energije Sunčevog zračenja dozračena na jediničnu površinu plohe u nekom vremenskom razdoblju (sat, dan, mjesec, godina). Ozračenost vodoravne plohe ne nekom većem području ovisna je o geografskoj dužini, topografiji terena te o

klimatološkim značajkama samoga prostora. Osječko baranjsku županiju karakterizira relativno stalna razdioba potencijala Sunčevog zračenja. Na gotovo cijelom području županije vrijednost ozračenosti se kreće između  $1,25 \text{ MWh/m}^2$  do  $1,30 \text{ MWh/m}^2$ . Nešto manja ozračenost može se očekivati na području Baranje. Prostorna razdioba srednje godišnje ozračenosti najbolje se može vidjeti iz slike 4.2.



*Slika 4.2. Karta srednje godišnje ozračenosti vodoravne plohe na području Osječko-baranjske županije [32]*

Podaci i proračuni o Sunčevom zračenju na području Osječko-baranjske županije dostupni su za mjerne postaje Osijek i Brestovac-Belje. Zbog prethodno spomenute homogenosti i uglavnom stalne prostorne razdiobe Sunčevog ozračenja, podaci prikupljeni u mjernoj postaji Osijek mogu se smatrati mjerodavnima za cijelo područje Županije. Upravo na osnovu podataka iz mjerne stanice Osijek, izračunate su srednje dnevne vrijednosti ozračenosti vodoravne plohe u  $\text{kWh/m}^2$  koje se mogu vidjeti u tablici 4.1 [30].



**Tablica 4.1.** Srednje dnevno ozračenje vodoravne plohe po mjesecima

Lokacija	Osijek		
Mjesec	Ukupno	Raspršeno	Izravno
Siječanj	1,17	0,74	0,43
Veljača	1,93	1,11	0,82
Ožujak	3,24	1,67	1,57
Travanj	4,46	2,18	2,28
Svibanj	5,39	2,63	2,76
Lipanj	5,71	2,81	2,90
Srpanj	5,93	2,65	3,28
Kolovož	5,17	2,34	2,83
Rujan	3,71	1,79	1,92
Listopad	2,58	1,29	1,29
Studeni	1,25	0,82	0,43
Prosinac	0,85	0,61	0,24
Ukupno (MWh/m <sup>2</sup> )	1,26	0,63	0,63

Fotonaponski sustavi u velikoj većini koriste se za opskrbu električnom energijom onih objekata koji su udaljeni od postojeće elektroenergetske mreže, ali u novije vrijeme sve češće se i povezuju na samu mrežu zbog boljih otkupnih cijena takve energije. Fotonaponski sustavi direktno pretvaraju energiju Sunčeva zračenja u električnu energiju, a zasnivaju se na fotoelektričnom efektu. Osnovni elementi ovakvog sustava su ćelije. Različitim izvedbama spajanja ćelija nastaju fotonaponski moduli.

Fotonaponski moduli generiraju istosmjernu električnu struju, a zatim se za pretvaranje istosmjerne u izmjeničnu uz zadovoljenje mrežnih zahtjeva za kvalitetom koriste izmjenjivači.

Ukoliko se ugradi fotonaponski sustav snage 10 kW, te se postavi pod optimalnim kutom i bez zasjenjenja, tada će se ukupna godišnja proizvodnja moći izračunati po izrazu:

$$E = A \cdot R \cdot H \cdot PR \quad (\text{kWh}) \quad (3)$$

gdje je:

$E$  – procijenjena godišnja proizvodnja (kWh)

$A$  – ukupna površina sustava ( $m^2$ )

$R$  – efikasnost jednog modula

$H$  – prosječno godišnje ozračenje vodoravne plohe ( $W/m^2$ )

$PR$  – učinkovitost sustava

Za potrebe proračuna pretpostavljeno je da se fotonaponski sustav sastoji od 40 modula snage 250W, gdje je površina svakog od njih 1,6  $m^2$ . Dakle, ukupna površina sustava je 64  $m^2$ . Efikasnost jednog modula je 15,6 %. Pretpostavljeno je da je učinkovitost sustava 75%. Za prosječno godišnje ozračenje vodoravne plohe uzet će se 1260 kWh/ $m^2$ . Ubace li se navedeni podaci u prethodno navedenu formulu, dobiva se podatak kako će ovakav fotonaponski sustav godišnje proizvoditi oko 9,47 MWh električne energije. Slična proizvodnost se može očekivati za područje cijele Osječko-baranjske županije.

### 4.3. Energija biomase

Pojam biomasa podrazumijeva sve organske tvari biljnog i životinjskog porijekla, dobivene redovitim gospodarenjem poljoprivrednim i šumarskim dobrima. U sljedećim poglavljima detaljno će se opisati potencijal pojedinih oblika energenata iz biomase na području Osječko-baranjske županije.

#### 4.3.1. Bioplin

Kako bi se mogao izračunati potencijal proizvodnje bioplina u Osječko-baranjskoj županiji, prvo je potrebno izračunati indeks težine GV preko broja grla  $N$ , mase jednog grla  $m$  te vremena provedenog u staji  $t$  :

$$GV = N \cdot m \cdot \frac{t}{500} \quad (4)$$

Sljedeći korak je izračun godišnjeg volumena stajskog gnoja koji nastaje:

$$V_a = \sum(GV \cdot V_{GV}) \text{ (m}^3\text{)} \quad (5)$$

Količina gnojiva ovisi o vrsti životinje koja se uzgaja, pri čemu će se izračunati potencijal samo za stajski gnoj krava i svinja jer su te dvije vrste najzastupljenije. Volumen bioplina  $V_{BP}$  koji se može dobiti računa se pomoću faktora suhe tvari  $D_x$ , faktora organske tvari  $O_x$ , te faktora  $X_{DM}$  koji ovise o vrsti koja se uzgaja.

$$D_m = V_A \cdot D_x \cdot O_x \quad (6)$$

$$V_{BP} = D_m \cdot X_{DM} \text{ (m}^3\text{)} \quad (7)$$

Na osnovu dobivenog podatka o volumenu bioplina, može se izračunati potencijalna energija koja se može dobiti iz tog bioplina:

$$P = V_{BP} \cdot E_{BP} \cdot \frac{\eta}{1 + \omega} \text{ (W)} \quad (8)$$

Parametri korišteni u proračunu dani su u tablici 4.2.[33].

**Tablica 4.2.** Parametri korišteni u proračunu

Veličina	Vrijednost	Mjerna jedinica
t	90	%
m	725	kg
O <sub>X</sub>	80	%
D <sub>X</sub> (krava)	8	%
D <sub>X</sub> (svinja)	6	%
V <sub>GV</sub> (krava)	17	m <sup>3</sup> /(GV*a)
V <sub>GV</sub> (svinja)	11	m <sup>3</sup> /(GV*a)
X <sub>DM</sub> (krava)	0,37	m <sup>3</sup> /kg
X <sub>DM</sub> (svinja)	0,45	m <sup>3</sup> /kg
E <sub>BP</sub>	6,5	kW/m <sup>3</sup>
ω	0,57	

Prema podacima za 2013. godinu, u Osječko-baranjskoj županiji uzgajalo se 25.699 krava, čime ukupni potencijal za proizvodnju električne energije iznosi 31,87 GWh. Uzgajalo se i 257.421 svinja, prema čemu potencijal za proizvodnju električne energije iznosi 27,15 GWh . Proračun je napravljen na temelju studije "Biogas potential in Croatian farming sector" [33] .

Potrebno je istaknuti kako veliki dio uzgoja krava i svinja otpada na manja obiteljska gospodarstva s malim brojem grla stoke. Samim time, potencijal iskoristive energije opada jer su bioplinska postrojenja ekonomski isplativa jedino ako se nalaze u blizini velikih farmi. Stoga je realan iznos potencijala za proizvodnju bioplina puno manji u odnosu na onoga navedenoga u ovom radu.

#### 4.3.2. Tekuća biogoriva

Pod pojmom tekuća biogoriva podrazumijeva se gorivo proizvedeno iz biomase koje služi za pogon motornih vozila, bilo kao čisto gorivo ili u mješavini sa benzinom ili dizelskim gorivom. U svjetskom prometu, biogoriva poput bioetanol i biodizela zauzimaju nešto manje od 3% u

ukupnom korištenju goriva za pogon. Prema tehnologiji proizvodnje razlikuju se biogoriva prve, druge i treće generacije. Pojam biogoriva prve generacije se odnosi na proizvodnju biodizela iz uljarica te bioetanol iz poljoprivrednih kultura bogatih škrobom i šećerom, dok se biogoriva druge i treće generacije tek u začetku te se postupno razvijaju.

U tablici 4.3. prikazan je godišnji energetska potencijal proizvodnje tekućih biogoriva na području Osječko-baranjske županije. Na osnovu podataka o strukturi obrađenog poljoprivrednog zemljišta objavljenih od strane Odsjeka za poljoprivredu Hrvatske gospodarske komore Osječko-baranjske županije [34] preuzeti su podaci o godišnjim prinosima pojedinih kultura koje se mogu iskoristiti za proizvodnju biogoriva. Preuzeti su podaci o prinosima kukuruza i šećerne repe za proizvodnju bioetanol, te podaci o prinosima uljane repice i soje u svrhu proizvodnje biodizela. Na osnovu proračuna iz studije "Potencijal obnovljivih izvora u Osječko-baranjskoj županiji" napravljenog unutar REPAM projekta EU [30] preuzeti su podaci o količini biogoriva koja potencijalno može nastati iz pojedinih kultura. Koristeći podatke o energetska vrijednosti bioetanol i biodizela izračunat je teoretski potencijal proizvodnje energije iz tekućih biogoriva na području Osječko-baranjske županije, prikazan u tablici 4.3.

**Tablica 4.3.** Godišnji energetska potencijal proizvodnje tekućih biogoriva na području Osječko-baranjske županije

Sirovina	Masa sirovine (t/god)	Količina biogoriva (t/god)	Energetska vrijednost (GJ/t)	Teoretski energetska potencijal (TJ/god)
<b>Bioetanol</b>				
Kukuruz	672.000	202.409	27	5.465
Šećerna repa	660.000	51.162	27	1.381
<b>Biodizel</b>				
Uljana repica	22.500	9.183	37	339,71
Soja	22.500	4.261	37	157,66

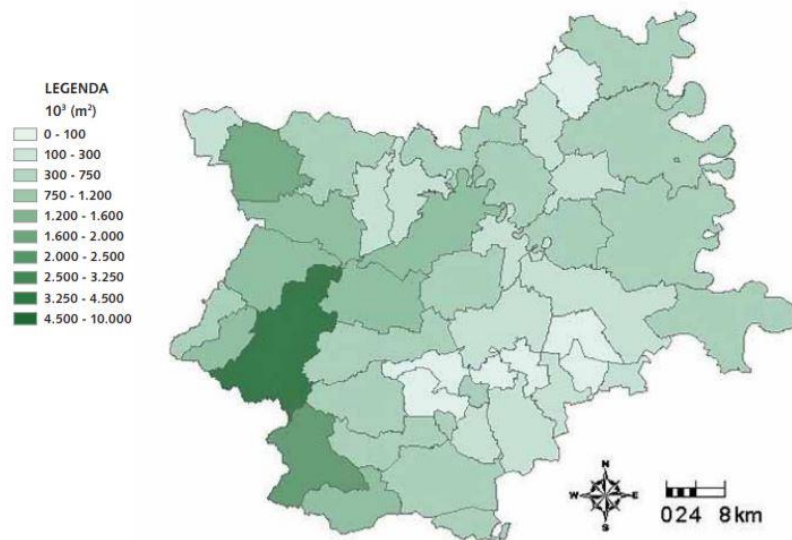
Izračunati potencijal bi bio realan jedino kada bi se sve proizvedene količine pojedinih kultura koristile samo u svrhu proizvodnje biogoriva, međutim, velika većina proizvedenih količina koristi se u prehrambene, industrijske i razne druge svrhe. Stoga je realan potencijal proizvodnje

biogoriva u praksi izrazito manji.

### 4.3.3. Biomasa iz šumarstva

Najčešće korišteni oblici drvene biomase koji se danas koriste su ogrjevno drvo, drvena sječka, drvena kora, piljevina, briketi i peleti. Od svih tehnologija za energetska iskorištavanje biomase najrazvijenija je i najčešće se koristi izgaranje.

Na osnovu baze podataka projekta WISDOM Croatia [35], analizirane su raspoložive količine drvene biomase na području Osječko-baranjske županije. Na slici 4.3. prikazana je prostorna raspodjela drvnih zaliha na području županije. U tablici 4.4. prikazan je teoretski potencijal, odnosno teoretski moguća proizvodnja energije iz energenata drvene biomase za područje Osječko-baranjske županije, izračunat na osnovu studije "Potencijal obnovljivih izvora u Osječko-baranjskoj županiji" [30]. Pojam teoretski potencijal podrazumijeva raspoloživi potencijal koji se računa kao umnožak ukupne količine drvene biomase (u kg) te donje ogrjevne vrijednosti biomase (MJ/kg).



Slika 4.3. Prostorna raspodjela raspoloživih zaliha drvene biomase na području Osječko-baranjske županije [35]

**Tablica 4.4.** Teoretski potencijal proizvodnje energije iz drvne biomase za područje Osječko-baranjske županije

Ostvarena sječa(m <sup>3</sup> )	Teoretski energetski potencijal godišnjeg posječenog prostornog drva	
	GWh	TJ
239.089	417,75	1.504

Iz tablice se vidi kako bi se godišnje teoretski moglo proizvoditi čak 1.504 TJ energije iz drvne biomase. Prema podacima Upravnog odjela za poljoprivredu i ruralni razvoj Osječko-baranjske županije za 2015. godinu ostvarena sječa iznosila je 239.089 m<sup>3</sup>. [36]. Taj potencijal se smanjuje uzevši u obzir tržišne uvjete u drvnjoj industriji, različite primjene posječenih drva te učinkovitost samih postrojenja koji će iskorištavati biomasu kao gorivo (kogeneracijska postrojenja).

#### 4.3.4. Biomasa iz otpada

Potencijal biomase iz otpada izračunat je na temelju podataka iz Registra otpada te Izvješća o komunalnom otpadu Agencije za okoliš i prirodu [37]. U tablici 4.5. dani su podaci o godišnjim količinama klaoničkog otpada, ostataka iz drvne industrije te biorazgradivog dijela komunalnog otpada te je izračunata potencijalna vrijednost energije koja bi se mogla proizvesti uporabom takvog otpada za proizvodnju. Proračun je napravljen na osnovu studije "Potencijal obnovljivih izvora u Osječko-baranjskoj županiji" [30].

**Tablica 4.5.** Teoretski potencijal proizvodnje energije iz otpada na području Osječko-baranjske županije

Vrsta otpada	Raspoloživost otpada (t/god)	Teoretski energetska potencijal (MWh/god)	Teoretski energetska potencijal (TJ/god)
Klaonički otpad	4.651	23.255	84,7
Ostaci iz drvne industrije	321	1.509	5,4
Biorazgradiva komponenta komunalnog otpada	42.623	28.772	103,61

Iz tablice 4.5. može se zaključiti kako značajniji energetska potencijal imaju klaonički otpad te biorazgradivi dijelovi komunalnog otpada. Pod ostacima iz drvne industrije ne misli se na otpad iz industrija proizvodnje namještaja, nego taj pojam obuhvaća otpad od prerade drva i pluta, te proizvodnje namještaja iz slame ili pletarskih materijala. Stoga je i količina takvog otpada manja, pa je i energetska potencijal višestruko manji u odnosu na ostale navedene vrste otpada. Podaci o biorazgradivom dijelu komunalnog otpada preuzeti su iz Izvješća o komunalnom otpadu za 2016. godinu [37].

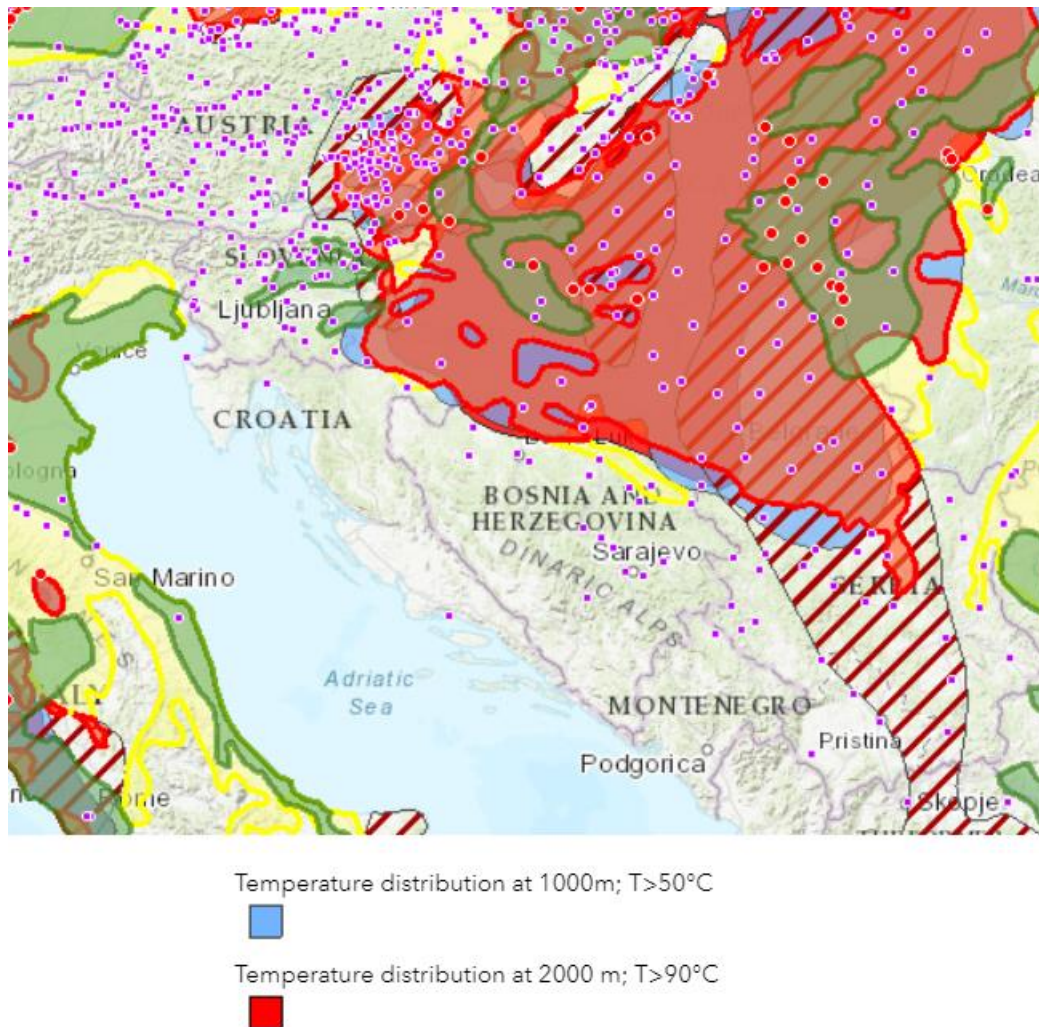
Osim velikog energetska potencijala, iskorištavanje ovakvih vrsta otpada doprinijelo bi boljem zbrinjavanju otpada te smanjenju same količine otpada koja se odlaže na odlagalištima. Od 2016. godine na snagu je stupio novi pravilnik koji zabranjuje odlaganje komunalnog otpada ukoliko mu maseni udio biorazgradive komponente premašuje 35%. Pravilnik preporuča korištenje takvoga otpada u svrhu proizvodnje energije te dozvoljava mogućnost izgradnje proizvodnih postrojenja u blizini odlagališta. Pravilnik također zabranjuje odlaganje animalnog, odnosno životinjskog otpada iz klaonica na odlagalištima.

#### 4.4. Geotermalna energija

Općenito, prostor Republike Hrvatske se prema toplinskom gradijentu može podijeliti na tri područja: panonsko područje, centralno područje i područje Dinarida. Osječko-baranjska

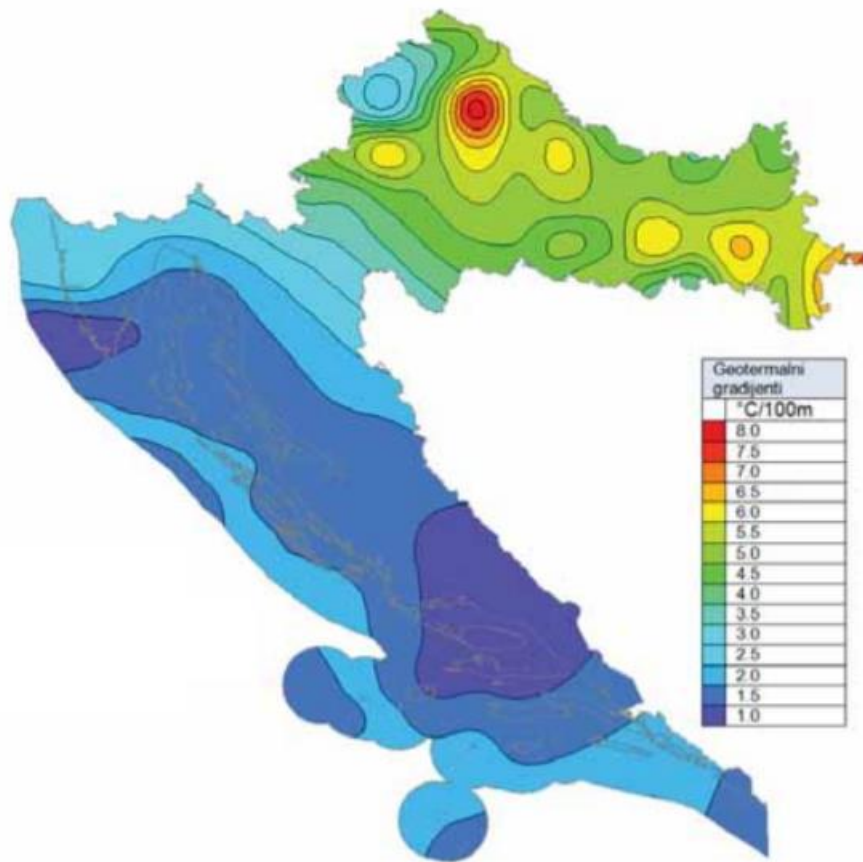


županija pripada panonskom području, za koje su karakteristični visoka vrijednost gustoće toplinskog toka te visoki termalni gradijent. Osječko-baranjska županija pripada dijelu nekadašnjeg Panonskog bazena, a kojeg karakteriziraju uglavnom eolske i aluvijalne naslage. Nastanku termalnih izvora u županiji posredovali su pokreti tektonskih ploča tijekom neogena i kvartara. Glavni čimbenik pri određivanju geotermalnog potencijala je geotermalni gradijent. Geotermalni gradijent na području RH ponajprije ovisi o dubini Mohorovičićevog diskontinuiteta. Mohorovičićev diskontinuitet definira se kao granica između Zemljine kore i plašta. Na prostoru Osječko-baranjske županije dubina Mohorovičićevog diskontinuiteta iznosi od 25-30 km što je puno manje u odnosu na centralno područje RH i područje Dinarida. Manja dubina Mohorovičićevog diskontinuiteta posljedično znači i manju debljinu kore, a samim time veću gustoću toplinskog toka i veći geotermalni gradijent ( slika 4.4) . Upravo zbog navedenih uvjeta ne čudi pronalazak velikog broja geotermalnih izvora na području istočne Hrvatske.



Slika 4.4. Temperaturna raspodjela na 1km i 2km dubine za područje jugoistočne Europe[38]

Na prostoru Osječko-baranjske županije vrijednosti geotermalnih, odnosno toplinskih gradijenata kreću se između 40-50°C/km (slika 4.5).



Slika 4.5. Karta geotermalnih gradijenata RH [39]

Najpoznatija lokacija pronalaska geotermalnog izvora vode je Bizovac, mjesto udaljeno 19 km od grada Osijeka. Geotermalni izvor pronađen je 1967. godine prilikom ispitivanja zemljišta u svrhu pronalaska izvora nafte ili zemnog plina. Iste godine izrađena je i druga bušotina nazvana Bizovac-2 u kojoj su otkrivene još veće količine termalne vode. 1969. godine iskopana je bušotina Bizovac-4 iz koje se termalna voda crpi na dubini od 1841m. Temperatura vode na ušću bušotine je 96,8 °C, dok je kapacitet u bušotini 3,3 l/s. Najveći dio vode koristi se u balneološke svrhe u Bizovačkim toplicama, dok se dio energije koristi i za grijanje prostora. Također, u blizini je otkrivena i bušotina Madrinci-1 na dubini od oko 2600m s kapacitetom u bušotini 2,8 l/s i temperaturi vode na ušću bušotine od 96 °C. [30] Unatoč relativno visokim temperaturama i velikom toplinskom potencijalu, potencijal za proizvodnju električne energije je minimalan. Minimalan je zbog toga što je potrebna temperatura vode veća od barem 100 °C kako bi

proizvodnja bila isplativa. Na području Osječko-baranjske županije takav izvor još uvijek nije otkriven, iako u RH postoji nekoliko izvora sa temperaturom vode iznad 100 °C: Velika Ciglana kod Bjelovara (170°C), Ferdinandovac (125°C), Lunjkovec (125°C), Rečica (120 °C) i Babina Greda (125°C).

## 5. DECENTRALIZIRANA PROIZVODNJA U OSJEČKO-BARANJSKOJ ŽUPANIJI

U sljedećem poglavlju biti će nabrojana i opisana postrojenja distribuirane proizvodnje koja se mogu pronaći na području Osječko-baranjske županije. Od prethodno navedenih tehnologija na prostoru županije mogu se pronaći bioplinska postrojenja, postrojenja na biomasu te fotonaponske elektrane. Na području Osječko-baranjske županije nalazi se gotovo polovica svih bioplinskih postrojenja u RH. U tablici 5.1. nabrojano je 11 bioplinskih postrojenja koja se mogu pronaći na prostoru županije. [40]

**Tablica 5.1.** Bioplinska postrojenja na području Osječko-baranjske županije

Naziv objekta	Električna snaga [kWe]	Lokacija
Osatina grupa d.o.o. Bioplinsko postrojenje TOMAŠANCI	1.000	Tomašanci
Farma Tomašanci d.o.o Bioplinsko postrojenje TOMAŠANCI 2.	1.000	Tomašanci
Farma Mala Branjevina d.o.o. Bioplinsko postrojenje MALA BRANJEVINA 2	1.000	Vuka
Novi agrar d.o.o. Bioplinsko postrojenje MALA BRANJEVINA1	1.000	Vuka
Energija Gradec d.o.o Bioplinsko postrojenje MITROVAC	2.000	Kneževi Vinogradi
Osatina grupa d.o.o. Bioplinsko postrojenje SLAŠČAK	1.000	Viškovci
Energija Gradec d.o.o.	1.800	Popovac

Bioplinsko postrojenje POPOVAC		
Miagro Energo d.o.o. Bioplinsko postrojenje KUĆANCI	490	Magadenovac
Farma muznih krava Orlovnjak Bioplinsko postrojenje ORLOVNJAK	1.700	Antunovac
Osilovac d.o.o. Bioplinsko postrojenje	999	Feričanci
Osatina grupa d.o.o. Bioplinsko postrojenje SLAŠČAK 2	1.000	Viškovci

Ukupna instalirana snaga kogeneracijskih sustava na području županije iznosi 13,16 MW. Takvih je sustava ukupno sedam, a podaci o njima dani su u tablici 5.2.

Tablica 5.2. Kogeneracijska postrojenja na biomasu na području Osječko-baranjske županije

Naziv postrojenja	Lokacija	Instalirana snaga [kW]
Kogeneracijsko postrojenje na bazi izgaranja drvene biomase "Strizivojna Hrast"	Strizivojna	3.000
Kogeneracija na drvenu biomasu "Darda 1"	Darda	495
Plinifikacijsko kogeneracijsko postrojenje na biomasu	Belišće	1.070
Kogeneracija Nard-Valpovo	Valpovo	499
Kogeneracijska elektrana na biomasu BE-TO Osijek 3 MWe/10 MWt	Osijek	3.000

Kogeneracijsko postrojenje na bazi izgaranja drvene biomase Đakovo	Đakovo	3.300
Kogeneracija Tomašanci 1 MW + 1MW	Tomašanci	1.800

Što se tiče fotonaponskih sustava, implementiran je veliki broj takvih sustava širom Osječko-baranjske županije. Svakako treba istaknuti fotonaponsku elektranu u sklopu Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek snage 10kW. 2016. godine je na području županije predano 60 projekata za instaliranje fotonaponskih sustava. [41]

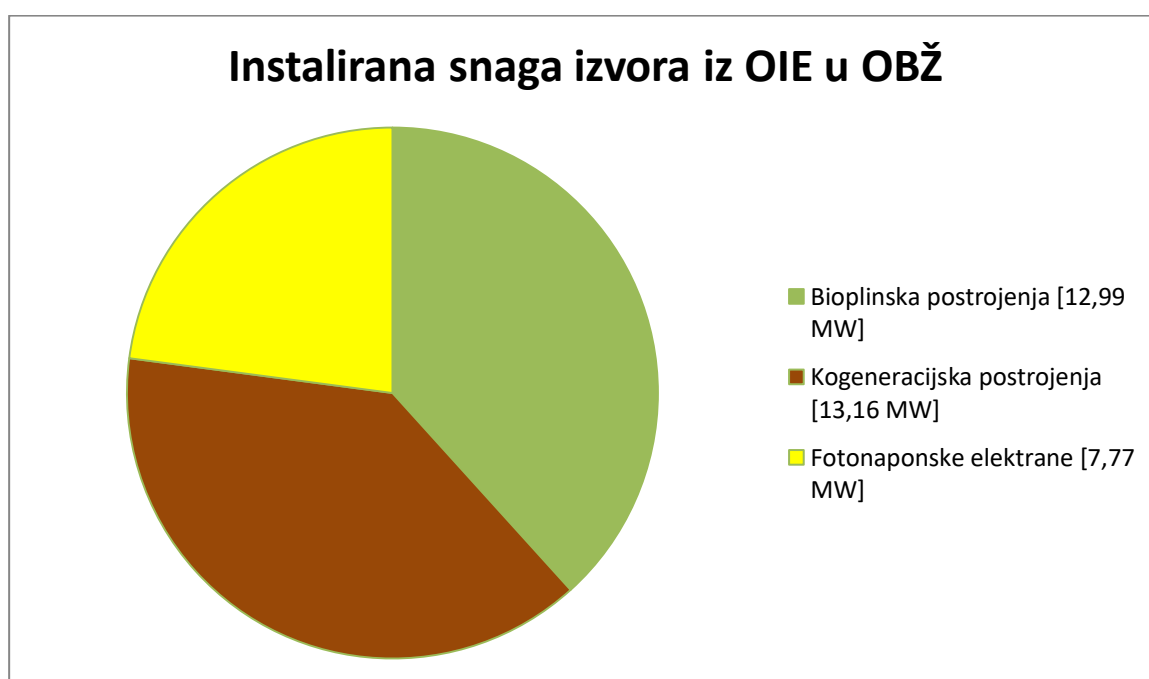
Prema podacima dobivenim od Hrvatskog operatora tržišta električne energije (HROTE) iz Registra obnovljivih izvora energije i kogeneracije te povlaštenih proizvođača [42] na području Osječko-baranjske županije instalirano je 7.765 kW električne snage iz ukupno 239 fotonaponskih sustava za proizvodnju električne energije različitih snaga. Na području županije instalirano je 140 sustava snage do 10 kW, 87 sustava snage 10-30 kW, te 12 sustava snage veće od 30 kW. Tih 12 najvećih sustava nabrojano je u tablici 5.3.

Tablica 5.3. Najveće fotonaponske elektrane na području Osječko-baranjske županije

Naziv postrojenja	Lokacija	Instalirana snaga [kW]
Sunčana elektrana TOPOLIK	Darda	200
Sunčana elektrana RICARDO ENERGIJA	Darda	300
Sunčana elektrana JOSIP	Đakovo	300
Sunčana elektrana DUVNJAK 4	Đakovo	300 (neintegrirano)
Sunčana elektrana ČVEK 6	Đakovo	300 (neintegrirano)
Sunčana elektrana ELCO 1	Drenje	300 (neintegrirano)
SE FOTONAPONSKA ENERGIJA 2	Marijanci	300
SE PVI SUNCE 20	Osijek	100

SE PVI SUNCE 19	Osijek	100
Sunčana elektrana Krčevina 1	Čeminac	300 (neintegrirano)
Sunčana elektrana Krčevina 2	Čeminac	300 (neintegrirano)
Sunčana elektrana Durus	Čeminac	300 (neintegrirano)

Ukupna instalirana snaga postrojenja za proizvodnju iz obnovljivih izvora energije na području županije iznosi 33,91 MW, što je prikazano na slici 5.1.



*Slika 5.1. Instalirana snaga postrojenja za proizvodnju iz obnovljivih izvora energije u OBŽ*

## 6.ZAKLJUČAK

Brzim razvojem tehnologija za iskorištavanje obnovljivih izvora energije u posljednja dva desetljeća stvoreni su uvjeti za sve veću implementaciju takvih sustava unutar samoga elektroenergetskog sustava. Dolazi do svojevrsne decentralizacije proizvodnje, odnosno težište proizvodnje se polako pomiče od velikih konvencionalnih izvora (TE na fosilna goriva, velike HE) ka već spomenutim izvorima iz obnovljivih izvora energije. Udio proizvodnje iz OIE u ukupnoj proizvodnji svake godine progresivno raste, a 2016. godine iznosio je 19,6%. Stoga ne čudi što je i na prostoru RH implementacija ovakvih sustava u uzlaznom trendu. U ovom diplomskom radu opisane su tehnologije takve, decentralizirane proizvodnje, gledano sa energetskog, ekološkog i ekonomskog stajališta. Iako je većina ovakvih sustava ekološki gotovo neutralna, odnosno nema zagađivanja okoliša, proizvodnja energije je često oscilatorna i ovisi o brojnim uvjetima koje treba zadovoljiti. Potencijal decentralizirane proizvodnje neke države ili prostora unutar države ovisi o brojnim geografskim, geološkim, klimatološkim i industrijskim čimbenicima. Za nizinski i šumoviti prostor Osječko-baranjske županije s velikim brojem poljoprivrednih površina, velikom stočarskom proizvodnjom te velikim brojem sunčanih dana i relativno velikom snagom Sunčeva zračenja posljedično je za očekivati kako je taj prostor pogodan za ugradnju fotonaponskih sustava te sustava na biomasu. S druge strane, pošto je prostor uglavnom nizinski, ne postoje uvjeti za veću proizvodnju iz vjetroelektrana.

Na kraju, može se zaključiti kako na prostoru Osječko-baranjske županije postoje kvalitetni energetske uvjeti za povećavanje kapaciteta decentralizirane proizvodnje, čemu svjedoči i učestalo otvaranje novih takvih postrojenja za proizvodnju električne energije.



## LITERATURA

- [1] Renewables 2017 Global status report, dostupno na : [http://www.ren21.net/gsr-2017/chapters/chapter\\_01/chapter\\_01/#target\\_31](http://www.ren21.net/gsr-2017/chapters/chapter_01/chapter_01/#target_31) (posljednji pristup ostvaren na datum 04.09.2018.)
- [2] 2020 climate and energy package, dostupno na : [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en) (posljednji pristup ostvaren na datum 04.09.2018.)
- [3] Hidroenergija-male hidroelektrane, dostupno na : <http://oie.mingo.hr/UserDocsImages/Male%20HE%20prezentacija.pdf> ( posljednji pristup ostvaren na datum 08.09.2018.)
- [4] Damir Šljivac, Nekonvencionalne hidroelektrane, dostupno na: [https://loomen.carnet.hr/pluginfile.php/284719/mod\\_resource/content/5/OIelen\\_2016\\_2017\\_2poglavlje.pdf](https://loomen.carnet.hr/pluginfile.php/284719/mod_resource/content/5/OIelen_2016_2017_2poglavlje.pdf) (posljednji pristup 20.11.2018.)
- [5] Hidroelektrana, Wikipedia,slobodna enciklopedija, dostupno na: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrana> (posljednji pristup: 08.09.2018.)
- [6] Paul Breeze, Hydropower, Academic Press, 2018.
- [7] Subhes C. Bhattacharyya, Rural Electrification Through Decentralised Off-grid Systems in Developing Countries, Springer, 2012.
- [8] Energy plantation, dostupno na: <https://www.arundo-donax.com/energy-plantation/> ( posljednji pristup ostvaren na datum 10.09.2018.)
- [9] Damir Šljivac, Termoelektrane (kogeneracije) na OIE, dostupno na: [https://loomen.carnet.hr/pluginfile.php/284615/mod\\_resource/content/7/OIelen\\_2016\\_2017\\_5poglavlje.pdf](https://loomen.carnet.hr/pluginfile.php/284615/mod_resource/content/7/OIelen_2016_2017_5poglavlje.pdf) (posljednji pristup ostvaren na datum 15.09.2018.)
- [10] Flemming Frandsen, Co-firing of Coal with Biomass and Waste in Full-Scale Suspension-Fired Boilers, preuzeto sa: [https://www.researchgate.net/figure/Different-concepts-of-co-firing-of-biomass-with-fossil-fuels-1\\_fig2\\_288320557](https://www.researchgate.net/figure/Different-concepts-of-co-firing-of-biomass-with-fossil-fuels-1_fig2_288320557)
- [11] Samostalno nacrtano u programskom paketu Paint

- [12] Ivan Ostheimer, Pogon bioplinskog postrojenja Mala Branjevina, završni rad
- [13] Forbes: Biofuel Pumps At All Gas Stations, Treehugger, preuzeto sa:  
<https://www.treehugger.com/cars/forbes-biofuel-pumps-at-all-gas-stations.html>
- [14] Solar energy glossary, dostupno na: <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-energy-glossary> (posljednji pristup ostvaren na datum 16.09.2018.)
- [15] Klimatske informacije i obnovljivi izvori energije, DHMZ, preuzeto sa  
[http://klima.hr/razno/projekti2013/climrun\\_radionica1/WS\\_suncevo\\_zracenje.pdf](http://klima.hr/razno/projekti2013/climrun_radionica1/WS_suncevo_zracenje.pdf)
- [16] Ehsanul Kabira, Pawan Kumarb, Sandeep Kumar, Adedeji A. Adelodund, Ki-Hyun Kime, Solar energy: Potential and future prospects, dostupno na :  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117313485> (posljednji pristup ostvaren na datum 20.09.2018.)
- [17] Ljubomir Majdandžić, Fotonaponski sustavi, dostupno na: [http://www.solarni-paneli.hr/pdf/01\\_handbook\\_fotonapon.pdf](http://www.solarni-paneli.hr/pdf/01_handbook_fotonapon.pdf) (posljednji pristup ostvaren na datum 21.09.2018.)
- [18] Obnovljivi izvori energije: Moderni načini pretvorbe energije Sunca u električnu energiju - fotonapon - Fotonaponski sustavi, Preuzeto sa: <http://www.obnovljivi.com/energija-sunca/53-moderni-nacini-pretvorbe-energije-sunca-u-elektricnu-energiju-fotonapon?start=1>
- [19] Damir Šljivac, Fotonaponski sustavi, dostupno na:  
[https://loomen.carnet.hr/pluginfile.php/1061320/mod\\_resource/content/2/OIelen\\_2017\\_2018\\_3p\\_oglavlje.pdf](https://loomen.carnet.hr/pluginfile.php/1061320/mod_resource/content/2/OIelen_2017_2018_3p_oglavlje.pdf) (posljednji pristup ostvaren 25.11.2018.)
- [20] Samostalno nacrtano u programskom alatu Draw.io
- [21] Fotonaponski sustavi, preuzeto sa: [http://www.com-eng.hr/?page\\_id=427](http://www.com-eng.hr/?page_id=427)
- [22] New parabolic trough collector from 3M and Gossamer, preuzeto sa:  
<http://www.sunwindenergy.com/news/new-parabolic-trough-collector-3m-and-gossamer>
- [23] BP Renewable energy - 2017, dostupno na:  
<https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-renewable-energy.pdf> (posljednji pristup ostvaren na datum 25.09.2018.)
- [24] Samostalno izrađeno u programskom paketu MS Word

- [25] Vjetroelektrane, Wikipedija, preuzeto sa:  
[https://hr.wikipedia.org/wiki/Dijelovi\\_vjetroagregata](https://hr.wikipedia.org/wiki/Dijelovi_vjetroagregata)
- [26] V164 – 9,5MW, MHI Vestas Offshore wind, dostupno na:  
<http://www.mhivestasoffshore.com/category/v164-9-5-mw> (posljednji pristup 28.09.2018.)
- [27] Danijel Topić, Vjetroelektrane, dostupno na:  
[https://loomen.carnet.hr/pluginfile.php/284661/mod\\_resource/content/4/OIelen\\_2016\\_2017\\_4po\\_glavlje.pdf](https://loomen.carnet.hr/pluginfile.php/284661/mod_resource/content/4/OIelen_2016_2017_4po_glavlje.pdf) (posljednji pristup na datum 01.10.2018.)
- [28] Dornier Darrieus 55, preuzeto sa: <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/93-dornier-darrieus-55>
- [29] Proizvodni kapaciteti hidrotermalnih ležišta Republike Hrvatske, diplomski rad, Josipa Ravenšćak, preuzeto  
sa: <https://repozitorij.gfv.unizg.hr/islandora/object/gfv%3A190/datastream/PDF/view>
- [30] Renewable Energy Policies Advocacy and Monitoring projekt (REPAM),, zajednički projekt EU u suradnji Energetskog instituta Hrvoje Požar, Društva za oblikovanje održivog razvoja iz Zagreba i društva Focus iz Slovenije, 2013.godina
- [31] Državni hidrometeorološki zavod, dostupno na: <http://prognoza.hr/karte.php?id=aladin> (posljednji pristup 21.10.2018.)
- [32] Zdeslav Matić, Sunčevo zračenje na području Republike Hrvatske, Priručnik za energetske korištenje Sunčevog zračenja
- [33] Pukšec Tomislav, Duić Neven, Biogas potential in Croatian farming sector, 2010. , dostupno na: [https://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id\\_clanak\\_jezik=96658](https://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=96658) (posljednji pristup 18.11.2018.)
- [34] Stanje gospodarstva Osječko-baranjske županije, Hrvatska gospodarska komora, 2017.godina, dostupno na: <https://www.hgk.hr/documents/stanje-gospodarstva-obzrujan-201759ef01f2cf62d.pdf> (posljednji pristup 25.11.2018.)
- [35] Spatial woodfuel production and consumption analysis applying the Woodfuels Integrated Supply/Demand Overview Mapping (WISDOM) methodology, WISDOM Croatia , dostupno na: [www.wisdomprojects.net/pdf/?file=WISDOM\\_Croatia.pdf](http://www.wisdomprojects.net/pdf/?file=WISDOM_Croatia.pdf) (posljednji pristup 25.11.2018.)

- [36] Informacija o stanju, gospodarenju i zaštiti šuma na području Osječko-baranjske županije, Upravni odjel za poljoprivredu i ruralni razvoj Osječko-baranjske županije ,dostupno na: [http://www.obz.hr/hr/pdf/2016/21\\_sjednica/12\\_informacija\\_o\\_stanju\\_gospodarenju\\_i\\_zastiti\\_suma\\_na\\_podrucju\\_obz.pdf](http://www.obz.hr/hr/pdf/2016/21_sjednica/12_informacija_o_stanju_gospodarenju_i_zastiti_suma_na_podrucju_obz.pdf) (posljednji pristup 20.11.2018.)
- [37]Izvešće o komunalnom otpadu, Hrvatska agencija za okoliš i prirodu, 2016., dostupno na: [http://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021\\_otpad/Izvjesca/komunalni/OTP\\_Izve%C5%A1%C4%87e%20o%20komunalnom%20otpadu\\_2016..pdf](http://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021_otpad/Izvjesca/komunalni/OTP_Izve%C5%A1%C4%87e%20o%20komunalnom%20otpadu_2016..pdf) (posljednji pristup 20.11.2018.)
- [38] Karta preuzeta sa: [https://map.mbfisz.gov.hu/geo\\_DH/](https://map.mbfisz.gov.hu/geo_DH/) (posljednji pristup 25.11.2018.)
- [39] Grupa autora: GEOEN: Program korištenja geotermalne energije-prethodni rezultati i buduće aktivnosti, Zagreb, Energetski institut Hrvoje Požar, 1998.
- [40] Ivanović, Milan; Glavaš, Hrvoje; Vukobratović, Marko , Bioplinke elektrane u Slavoniji i Baranji, Osijek, 2017.
- [41] D.Šljivac, Predavanja FN sustavi, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Osijek, 2017.
- [42] Registar obnovljivih izvora energije i kogeneracije te povlaštenih proizvođača, HROTE, podaci dobiveni na uvid

## SAŽETAK

U ovom diplomskom radu opisane su pojedine tehnologije decentralizirane proizvodnje električne energije, zajedno s njihovim prednostima i nedostacima. Na osnovu podataka o geografskim, klimatološkim i industrijskim uvjetima, napravljen je proračun potencijala proizvodnje energije iz obnovljivih izvora energije za područje Osječko-baranjske županije. Prema napravljenom proračunu vidi se kako je potencijal velik i kako postoje uvjeti za povećanje kapaciteta proizvodnje. Prikazana je i trenutna proizvodnja energije na području županije iz obnovljivih izvora energije.

**Ključne riječi:** decentralizirana proizvodnja, električna energija, obnovljivi izvori energije, Osječko-baranjska županija, potencijal, kapacitet

## ABSTRACT

This thesis describes different technologies of distributed generation while specifying their advantages and disadvantages. The possible production from renewable energy sources in Osječko-baranjska county was calculated, considering geographical, climatological and industrial conditions. The production from renewable energy sources could be huge and there are good conditions for expanding the capacity of production from renewables. Also, in this thesis the current energy production from renewables in the Osječko-baranjska county is described.

**Key words :** distributed generation, electrical energy, renewable energy sources, Osječko-baranjska county, potential, capacity

## ŽIVOTOPIS

Anto Blažanović rođen je u Osijeku 14. siječnja 1994. U Babinoj Gredi, 2008. završava osnovnu školu s odličnim uspjehom, zatim se upisuje u „Gimnaziju Županja“, opći smjer, koju završava 2012, također s odličnim uspjehom. 2012. godine upisuje preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku. Preddiplomski studij završava uz temu završnog rada „Pogon elektrane na biomasu Uni Viridas d.o.o. Babina Greda“. Svoje školovanje nastavlja na diplomskom studiju istog fakulteta na smjeru Elektrotehnika (Održiva elektroenergetika). U sklopu diplomskog studija stručnu praksu odradio je u tvrtki Electronic Center d.o.o.. Tečno govori engleski jezik te posjeduje znanje osnova njemačkog jezika. Informatički je pismen te se dobro služi programskim paketom Microsoft office (Excell, Word, PowerPoint). Slobodno vrijeme provodi u druženju s prijateljima, gledanju filmova i sportskim aktivnostima.

U Osijeku, prosinac 2018.

Anto Blažanović

---