

# Doprinos obnovljivih izvora elektro-energetskoj bilanci Republike Hrvatske

---

**Cvitković, Dario**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:242698>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-24**



**Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**  
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**DARIO CVITKOVIĆ**

**DOPRINOS OBNOVLJIVIH IZVORA ELEKTRO-  
ENERGETSKOJ BILANCI REPUBLIKE HRVATSKE**

**DIPLOMSKI RAD**

Rijeka, 2024.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**DOPRINOS OBNOVLJIVIH IZVORA ELEKTRO-  
ENERGETSKOJ BILANCI REPUBLIKE HRVATSKE**

**CONTRIBUTION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN  
ELECTRICAL BALANCE OF THE REPUBLIC OF CROATIA**

**DIPLOMSKI RAD  
MASTER THESIS**

Kolegij: Energetski sustavi

Mentor: doc. dr. sc. Vladimir Pelić

Komentor: Josip Dujmović, dipl. ing.

Student: Dario Cvitković

Studijski smjer: Brodostrojarstvo i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112072972

Rijeka, listopad 2024.

Student: Dario Cvitković

Studijski program: Brodostrojarstvo i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112072972

## IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI DIPLOMSKOG RADA

Kojom izjavljujem da sam diplomski rad s naslovom Doprinos obnovljivih izvora elektro-energetskoj bilanci Republike Hrvatske izradio samostalno pod mentorstvom doc. dr. sc. Vladimir Pelić i komentorstvom Josip Dujmović, dipl.ing.

U radu sam primijenio metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju diplomskog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u diplomskom radu na uobičajen, standardan način citirao sam i povezoao s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student



---

(potpis)

Dario Cvitković

Student: Dario Cvitković

Studijski program: Brodostrojarstvo i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112072972

IZJAVA STUDENTA – AUTORA  
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG DIPLOMSKOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor diplomskog rada dopuštam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa diplomskim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog diplomskog rada kao autorskog djela pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Student – autor



---

(potpis)

Dario Cvitković

## SAŽETAK

Uzimajući u obzir porast cijena fosilnih goriva, kao i sve veću potrebu za provođenjem mjera za očuvanje okoliša, u Hrvatskom kao i u globalnom gospodarstvu dolazi do sve veće svijesti o važnosti korištenja energije iz obnovljivih izvora. Većina zemalja, među kojima je i Hrvatska, imaju cilj povećati udio obnovljivih izvora energije u energetske bilanci, glavni razlozi za to su smanjenje negativnog utjecaja na okoliš, te smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima. Za ostvarenje postavljenog cilja veliki značaj ima primjena energetske sustava u kojim se direktno ili indirektno koristi energija Sunca. Republika Hrvatska ima znatan potencijal za korištenje energije iz obnovljivih izvora, te bi povećanje udjela takvih izvora, doprinjelo energetske neovisnosti i smanjenju emisije štetnih tvari.

U radu je dat pregled tehnologija za dobivanje električne energije iz obnovljivih izvora, kao i pojedinačni i ukupni doprinos obnovljivih izvora energetske bilanci. Na raspoloživost i isplativost korištenja obnovljivih izvora energije znatan utjecaj imaju geografske značajke i klimatski uvjeti. Električna energije iz obnovljivih izvora u Hrvatskoj se uglavnom dobija iz hidroelektrana, vjetroelektrana i solarnih fotonaponskih elektrana, dok ostali obnovljivi izvori imaju zanemarivi udio ili se uopće ne koriste. U radu se analizira pojedinačni i ukupni doprinos energetske bilanci hidroelektrana, vjetroelektrana i solarnih fotoelektričnih elektrana za razdoblje od pet godina. Prikazani su i planovi za dobivanje električne energije iz obnovljivih izvora u Hrvatskoj, gdje će se nastojati poduzimati mjere koje vode prema održivom razvoju. Iz provedene analize proizlaze smjernice za povećanje kapaciteta za dobivanje električne energije iz obnovljivih izvora.

Ključne riječi: obnovljivi izvori energije, energetske sustavi, energetska bilanca.

## **SUMMARY**

Considering the rise of fossil fuel prices, as well as the increasing needs to implement measures for environmental preservation, there is a growing awareness in the Croatian and global economy on importance of using energy from renewable sources. Most countries, including Croatia, have a goal to increase the share of renewable energy in their energy balance, with the main reasons being to reduce negative impact on the environment and reduce dependence on fossil fuels. The implementation of energy systems that directly or indirectly use solar energy is of great importance in achieving this goal. The Republic of Croatia has significant potential for using energy from renewable sources, and increasing the share of such sources would contribute to energy independence and reducing harmful emissions.

This paper provides an overview of technologies for generating electricity from renewable sources, as well as individual and total contributions of renewable sources to the energy balance. The availability and cost-effectiveness of renewable energy sources are greatly influenced by geographical features and climate conditions. Electricity from renewable sources in Croatia is mainly generated from hydroelectric power plants, wind turbines, and solar photovoltaic power plants, while other renewable sources have a negligible share or are not used at all. This paper analyze the individual and total contributions of hydroelectric power plants, wind turbines, and solar photovoltaic power plants to the energy balance over a five-year period. Plans for generating more electricity from renewable sources in Croatia are also presented, and measures leading to sustainable development that will be taken are also presented. The analysis might provide guidelines for increasing the capacity for generating electricity from renewable sources.

**Keywords:** renewable energy sources, energy systems, energy balance.

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ENERGETSKI SUSTAV HIDROELEKTRANE .....</b>	<b>3</b>
2.1. NAČELO RADA I VRSTE HIDROELEKTRANA .....	5
2.2. DIJELOVI HIDROELEKTRANA .....	8
2.2.1. <i>Peltonove turbine</i> .....	10
2.2.2. <i>Francisove turbine</i> .....	11
2.2.3. <i>Kaplanove turbine</i> .....	12
2.3 VRSTE HIDROELEKTRANA .....	13
2.3.1. <i>Akumulacijske hidroelektrane</i> .....	13
2.3.2. <i>Reverzibilne hidroelektrane</i> .....	13
2.3.3. <i>Protočne hidroelektrane</i> .....	15
2.4. HIDROENERGIJA U SVIJETU .....	16
2.5. UTJECAJ HIDROELEKTRANA NA OKOLIŠ .....	18
<b>3. ENERGETSKI SUSTAVI VJETROELEKTRANA .....</b>	<b>19</b>
3.1. NAČELO RADA I VRSTE VJETRENIH TURBINA.....	22
3.2. DIJELOVI VJETRENE TURBINE.....	26
3.3. VRSTE VJETRENIH TURBINA .....	27
3.3.1. <i>Kopnene vjetroelektrane</i> .....	29
3.3.2. <i>Priobalne i morske vjetroelektrane</i> .....	30
3.3.3. <i>Plutajuće vjetroelektrane</i> .....	30
3.3.4. <i>Visinske vjetroelektrane</i> .....	31
3.4. VJETROENERGIJA U SVIJETU .....	32
3.5 UTJECAJ VJETROELEKTRANA NA OKOLIŠ.....	34
<b>4. ENERGETSKI SUSTAVI NA ENERGIJU SUNCA .....</b>	<b>35</b>
4.1. PODJELA SOLARNIH ENERGETSKIH SUSTAVA .....	37
4.1.1. <i>Solarni fotonaponski sustavi</i> .....	37
4.1.3. <i>Solarne termoelektrane</i> .....	40
4.2. SOLARNA ENERGIJA U SVIJETU .....	43
4.3. UTJECAJ SOLARNE ENERGIJE NA OKOLIŠ .....	44
<b>5. UDIO OBNOVLJIVIH IZVORA U ENERGETSKOJ BILANCI REPUBLIKE HRVATSKE.....</b>	<b>46</b>



5.1. HIDROENERGIJA U HRVATSKOJ .....	47
5.1.1. <i>Doprinos hidroelektrana energetske bilanci Republike Hrvatske</i> .....	49
5.1.2. <i>Stupanj iskorištenja hidroelektrana</i> .....	52
5.1.3. <i>Potencijal i plan iskorištenja hidroenergije u Hrvatskoj</i> .....	55
5.2. VJETROENERGIJA U HRVATSKOJ .....	57
5.2.1. <i>Doprinos vjetroelektrana energetske bilanci Republike Hrvatske</i> .....	59
<i>Za prikazivanje kolika je uloga i utjecaj vjetroelektrana i iskorištavanja</i> .....	59
5.2.2. <i>Stupanj iskorištenja vjetroelektrana</i> .....	62
5.2.3. <i>Potencijal i planovi iskorištenja vjetroenergije u Hrvatskoj</i> .....	65
5.3. SOLARNA ENERGIJA U HRVATSKOJ .....	70
5.3.1. <i>Doprinos solarnih fotoelektričnih elektrana energetske bilanci Republike Hrvatske</i> .....	72
5.3.3. <i>Potencijal i planovi iskorištenja solarne energije u Hrvatskoj</i> .....	76
<b>6. ANALIZA DOPRINOSA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGETSKOJ BILANCI HRVATSKE .....</b>	<b>79</b>
<b>7. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>86</b>
<b>POPIS LITERATURE.....</b>	<b>88</b>
<b>POPIS TABLICA .....</b>	<b>92</b>
<b>POPIS GRAFIKONA .....</b>	<b>93</b>
<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>94</b>

## 1. UVOD

Obnovljivim izvorima energije se smatraju izvori energije koji su na Zemlji dostupni u neiscrpnim količinama, te oni potječu iz tri glavna primarna izvora, a to su:

- raspadanje izotopa u dubini Zemlje (geotermalna energija)
- gravitacijsko djelovanje (energija plime i oseke)
- nuklearna fuzijska reakcija (Energija sunca: toplina, svjetlost, vjetar, valovi)

Modeli iskorištavanja obnovljivih izvora energije razvijeni su radi smanjenja korištenja fosilnih goriva, koje uzrokuje emisije štetnih tvari koje imaju negativan utjecaj na klimu i ekosustav, izostavljajući nuklearnu energiju koja ne ispušta štetne emisiju, no ima druge određene nedostatke. Korištenjem obnovljivih izvora smanjuje se i potreba za nuklearnim elektranama kod kojih, unatoč primjene najsuvremenijih tehnologija, uslijed nepredvidljivih vanjskih utjecaja i/ili ljudske pogreške nije u potpunosti otklonjena mogućnost nuklearnog incidenta. Prema Labudović-u „Jedna od prednosti korištenja energetske sustava na obnovljive izvore energije je što su pogonski troškovi puno niži u odnosu na sustave koji koriste fosilna goriva. Energetski sustavi koji koriste obnovljive izvore energije unatoč znatnim prednostima u odnosu na sustave u kojima se koriste fosilna goriva imaju i nedostatke, kao što su smanjena raspoloživost, relativno velika početna ulaganja u odnosu na instaliranu snagu, a u nekim slučajevima potrebne su i promjene koje imaju znatan utjecaj na okoliš". [1]

Hrvatska ima značajan hidroenergetski potencijal, posebno duž rijeke Save, Drave i Dunava, te u planinskim područjima. Hidroelektrane daju velik doprinos energetske bilanci Hrvatske. S obzirom na broj sunčanih sati tijekom godine Hrvatska ima i znatan potencijal za primjenu fotoelektričnih elektrana. Fotoelektrični sustavi još nisu u velikoj mjeri implementirani u energetske sustav Hrvatske, te je u ovom trenutku njihov učinak izrazito skroman s obzirom na navedeni potencijal. U daljnjem djelu radu biti će prezentirani planovi za povećanje implementacije fotoelektričnih sustava u energetske sustav. Obalna područja Hrvatske imaju značajan potencijal za korištenje energije vjetra, naročito područja uz obalu Dalmacije i oko Velebitskog kanala. Implementacija vjetroelektrana u energetske sustav se

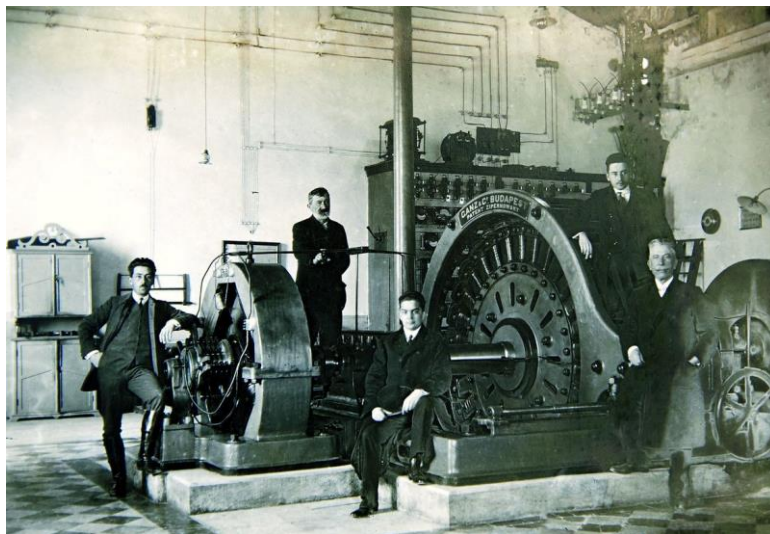
povećala u posljednjih nekoliko godina, te se očekuje da će ona nastaviti rasti. U planu je da vjetroelektrane predstavljaju veliki oslonac u proizvodnji električne energije zemlje.

Budući će na potrebe za električnom energijom značajan utjecaj imati i pomorska orijentacija Hrvatske. Prikupljeni podaci u radu mogu se koristiti i kao podloga za buduća ulaganja radi zadovoljavanja potreba za električnom energijom iz obnovljivih izvora u pomorstvu. Emisija štetnih tvari iz brodskih pogonskih postrojenja može se znatno smanjiti ako se za vrijeme boravka broda u luci ili za punjenje akumulatorskih baterija brodova s električnom propulzijom, osigura električna energija iz obnovljivih izvora. Osim toga za dobivanje ekološki prihvatljivog “zelenog” vodika također je potrebna električna energija dobivena na ekološki prihvatljiv način. Ukoliko bi se energija koja je dobivena iz navedenih energetske sustava koristila za zadovoljavanje potreba brodova, Hrvatska bi ekonomski i ekološki profitirala.

## 2. ENERGETSKI SUSTAV HIDROELEKTRANE

Hidroelektrane su energetska sustavi koji koriste potencijalnu energiju mase vode kao obnovljiv izvor za dobivanje električne energije. Kruženje vode u prirodi omogućuje toplinsko zračenje Sunca, koje zagrijava vodu na površini zemlje. Nastala vodena para se podiže u atmosferu i hladi, te kondenzira stvarajući oblake, te se potom vlaga iz oblaka u obliku padalina (kiša, snijeg, tuča) vraća na Zemlju. Najveći utjecaj na mogućnost korištenja potencijalne energije vode ima konfiguracija terena i količina padalina.

Prema Kale-i „Energija vode se koristi već stoljećima za razne pogone, kao što su mlinovi i pilane, a krajem 19. stoljeća grada se i prve hidroelektrane za dobivanje električne energije. U početku se grade hidroelektrane male snage koje se koriste uglavnom za zadovoljavanje lokalnih potreba za električnom energijom, radi nemogućnosti prijenosa električne energije (istosmjerna struja) na veće udaljenosti. U 20. stoljeću, izgradnja velikih brana i primjena izmjenične struje omogućila je gradnju velikih hidroelektrana, te dobivanje i prijenos velikih količina električne energije do udaljenih korisnika (industrija, kućanstva).”[2] Jedna od najstarijih hidroelektrana u svijetu je izgrađena upravo u Hrvatskoj. Hidroelektrana Jaruga je derivacijska hidroelektrana, gdje se vodeni pad dobiva putem prirodnog vodotoka, u ovom slučaju rijeke Krke. Izgrađena je 1895. godine, što je čini drugom najstarijom na svijetu.



Slika 1. Strojarnica HE Jaruga

Izvor: [4]

Prema Vlahinić Lenz „U posljednjih 30 godina proizvodnja električne energije utrostručena, čemu su značajno pridonjele hidroelektrane. Danas proizvodna snaga hidroelektrana može iznositi od nekoliko stotina kilovata [kW], pa do nekoliko stotina MW dok neke elektrane mogu doseći i do blizu 10 GW. Potrebe za električnom energijom postaju sve veće. Danas ukupna proizvodna snaga hidroelektrana u svijetu iznosi oko 700 GW, što čini približno 22% ukupne godišnje proizvodnje električne energije u svijetu. U Hrvatskoj je taj udio još i veći i iznosi oko 35% ukupne proizvodnje električne energije.” [3]

## 2.1. NAČELO RADA I VRSTE HIDROELEKTRANA

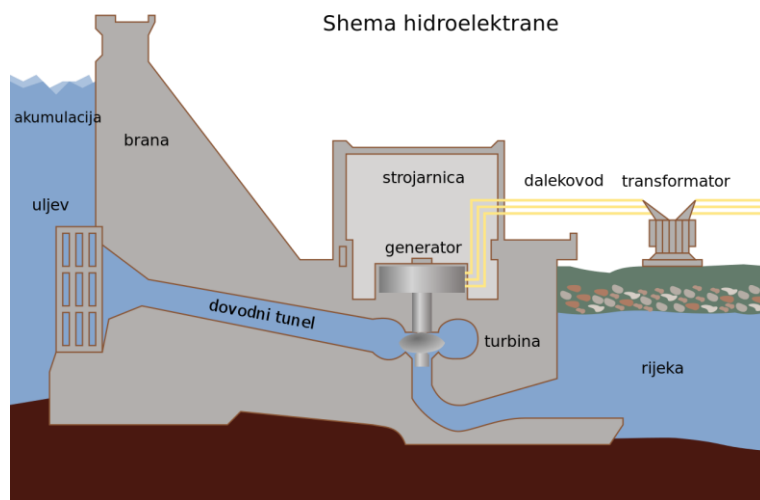
Hidroelektrane su energetske sustavi kod kojih se potencijalna energija mase vode transformira u mehaničku pomoću vodne turbine. Dobivena mehanička energija pokreće generator električne energije. Za rad hidroelektrane potrebno je izgraditi branu ili pregradu, ovisno o vrsti hidroelektrane. Stvara se akumulacija (jezero) u kojem se akumulira voda ili se ostvaruje mogućnost zadržavanja i usmjeravanja vode prema turbini. Prema Munoz Hernandez-u i suradnicima „Kontrola voda je bitan faktor u funkcioniranju sustava jer omogućuje reguliranje protoka prema turbini, nužno za održavanje stabilnog rada i učinkovito iskorištavanje potencijala energije vode. Kada se pojavljuju zahtjevi za proizvodnjom električne energije, otvaraju se vrata brane, što omogućuje protok vode prema turbinama. Pokretanjem rotora turbine pomoću vode, stvara se mehanička energija koja se rotacijom turbine prenosi na generator, gdje se pretvara u električnu energiju, koja se potom kroz električnu mrežu prenosi do potrošača putem transformatora i visokonaponskih vodova.“ [5]

Hidroelektrana se sastoji od građevinskog dijela (brana) i različitih mehaničkih (turbina), elektromehaničkih (generator), električnih (transformator) sklopova i dijelova. Sve komponente moraju biti međusobno usklađene i optimizirane, kako bi se osigurala pouzdanost, sigurnost i efikasnost hidroelektrane. Shematski prikaz prikazan je na slici 2. Zadržavanjem vode u akumulacijskom jezeru stvara se izvor energije. Otvaranjem brane omogućava se protjecanje vode kroz cjevovod, čime se posljedično djeluje na povećanje njene kinetičke energije. Prema Požar-u „Količina generirane električne energije određena je s nekoliko faktora, a dva koja se smatraju najutjecajnijima su maseni protok vode i raspoloživi vodeni pad. Raspoloživi vodeni pad je parametar koji označava udaljenost od akumulacije vode do ulaza u turbinu. S povećanjem raspoloživog vodenog pada i masenog protoka vode, povećava se količina dobivene el. energije. Raspoloživi pad je u većini slučajeva ovisan o količini vode u akumulacijskom jezeru. Razina gornje vode ovisi o dotoku i o dijagramu opterećenja. Razina donje vode ovisi o količini vode koje doteče u odvodni uređaj, te utječe na rad turbine.“ [7]

Masa vode ima potencijalnu energiju koja se koristi za rad turbine, te se voda pod pritiskom dovodi na lopatice hidrauličke turbine koje pretvaraju kinetičku energiju vode i energiju tlaka u mehaničku energiju. Korisnost turbine ovisi o padu vode, i o promjenama navedene gornje i donje razine vode, te o gubicima u dovodu i odvodu vode. Dobivena

mehanička (kinetička) energija se potom se vratilom prenosi na generator, gdje se pod utjecajem stvaranja magnetskog polja pretvara u električnu energiju. Unutar generatora, rotacija osovine turbine pokreće magnetski rotor. Rotacijom magneta unutar zavojnica vodiča (stator) stvara se promjenjivo magnetsko polje, što izaziva struju u vodiču, ten a taj način, po principu elektromagnetske indukcije nastaje izmjenična struja, koja se može transportirati kroz elektroenergetski sustav.

Prema Singh-u „Vodna turbina ima učinkovitost u rasponu od 94–95%, a ukupna učinkovitost hidroelektrana može biti od 88–90%. Rad hidroelektrana trebao bi biti ekonomičan, pouzdan uz najveću moguću energetska efikasnost. Pri radu hidroelektrana moguće je optimizirati učinkovitost, proizvodnju energije i ekonomičnost korištenja vode s neujednačenim dotocima i zahtjevima. Visoki troškovi izgradnje, održavanja i rada hidroelektrana također su potaknuli optimalan dizajn i rad hidroelektrana.”[6]



Slika 2. Shema hidroelektran

Izvor: [8]

Za dobivanje stupnja iskoristivosti potrebno je znati omjer snage vode raspoložive na vratilu turbine i snage vode na ulazu u turbinu. Izraz za snagu mase tekućine na ulazu u turbinu možemo dobiti preko masenog protoka, koji se može izraziti kao produkt volumskog protoka  $Q$  u  $m^3/s$  i gustoće  $\rho$  u  $kg/m^3$ , te se dobije preko izraza (1):

$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot Hh [W] \quad (1)$$

gdje je:

$Q$  - srednja vrijednost protoka, m<sup>3</sup>/s,

$\rho$  - gustoća vode, kg/m<sup>3</sup>

$g$  - ubrzanje sile teže, m/s<sup>2</sup>

$H_h$  – raspoloživi pad, m

Stupanj učinkovitosti transformacije energije možemo prikazati preko izraza (2):

$$\eta = \frac{P_T}{P} \quad (2)$$

Prema Požar-u „Raspoloživa snaga na vratilu manja je od snage vode na ulazu u turbinu za iznos gubitaka koji nastaju uslijed strujanja tekućine (vode) kroz turbinu, što rezultira nastajanjem hidrauličkih gubitaka vodne turbine, te mehaničkim gubicima kao što je trenje u ležajevima, te volumetrijskim gubicima." [7]

Raspoloživu snagu možemo dobiti putem izraza (3):

$$P_T = Q \cdot \rho \cdot g \cdot \Delta H \cdot \eta \quad (3)$$



## 2.2. DIJELOVI HIDROELEKTRANA

Pod osnovne komponente klasičnih hidroelektrana spadaju:

- **Brana** – građevina kojoj je zadaća da osigura akumulaciju vode hidroelektrane.
- **Ulazni presjek** - predstavlja otvor na brani kroz koji voda cjevovodom pod tjecajem gravitacije dolazi do turbine određenim masenim protokom.
- **Turbina** - pod utjecajem mlaza vode rotor turbine se okreće, te dolazi do transformacije (pretvorbe) potencijalne energije mase vode u mehaničku.
- **Izlazni presjek** - voda koja se iskoristila se cjevovodima odvodi u donji tok rijeke ili u more.
- **Generator** – transformira mehaničku energiju u električnu. Osnovni dijelovi generatora su: rotor s uzбудnim namotajima, stator sa statorskim namotajima, vratilo, ležaji i kućište. Pogonski stroj - vodna turbina okreće rotor s uzбудnim namotajima, a anstalo promjenjivo magnetsko polje uzrokuje indukciju električne energije u statorskim namotajima. Generatori se, kao i turbine, nalaze u strojarnici. U hidroelektranama se koriste generatori u vertikalnoj izvedbi i generatori u horizontalnoj izvedbi. Oni se pogone vodnom turbinom izravno preko svojeg vratila. Generatori u vertikalnoj izvedbi su češće u primjeni zbog ekonomičnije izvedbe u hidrauličkom dijelu elektrane. Generatori s horizontalnim vratilom se koriste u sustavima manjih instaliranih snaga, ili u slučajevima kada je jedan generator pogonjen s dvije turbine (Pelton ili Francis). Generatori u vertikalnoj izvedbi (od sporohodnih do brzohodnih) proizvode se s istaknutim polovima u širokom rasponu snaga. U akumulacijskim hidroelektranama česta je izvedba kombinacije turbine, pumpe i generatora na istom vertikalnom vratilu. U takvoj izvedbi sinkroni stroj radi povremeno kao generator a povremeno kao motor. Ima i slučajeva u kojima turbina radi i kao pumpa.
- **Transformator** – koriste se za pretvaranje električne energije koja je proizvedena u generatoru u oblik koji je prenosiv na velike udaljenosti. Električna energija dobivena u generatoru često nema dovoljno visok napon potreban za prijenos na

velike udaljenosti. Stoga se transformatori koriste za povećanje napona na prikladniji nivo za prijenos na velike udaljenosti.

- **Dalekovodi** - omogućuju prijenos električne energije do udaljenih potrošača, a sastoje se od stupova, vodiča i izolatora.

Iz navedenih komponenti i opisa dobivanja električne energije u hidroelektranama proizlazi da su turbine jedan od najbitnijih komponenti svake hidroelektrane. Postoji više vrsta turbina koje se koriste u hidroelektranama, te se one odabiru ovisno o karakteristikama hidroelektrane. Osnovne izvedbe vodnih turbina su: Peltonova, Francisova i Kaplanova. Izvedba i vrsta turbine koja najviše odgovara potrebama hidroelektrane se odabire pomoću specifične brzine, te su one prikazane u tablici 1,

**Tablica 1. Specifične brzine pojedinih izvedbi turbine**

Vrsta turbine	Specifična brzina $N_s$ [ $\text{min}^{-1}$ ]
Peltonova	10-35
Francisova	700-500
Kaplanova	350-1000

Izvor: Izradio student prema **Obnovljivi izvori energije**, Boris Labudović, 2002.

Specifična brzina se određuje prema očekivanoj snazi, odnosno prema međuovisnosti protoka i neto pada vodotoka, te predstavlja potreban broj okretaja turbine za razvitak snage od 1 KS pri padu od 1 m, te se dobiva formulom (4):

$$N_s = n \sqrt{\frac{P_t}{H_n^2 \sqrt{H_n}}} \quad (4)$$

Gdje je:

$N_s$  – specifična brzina

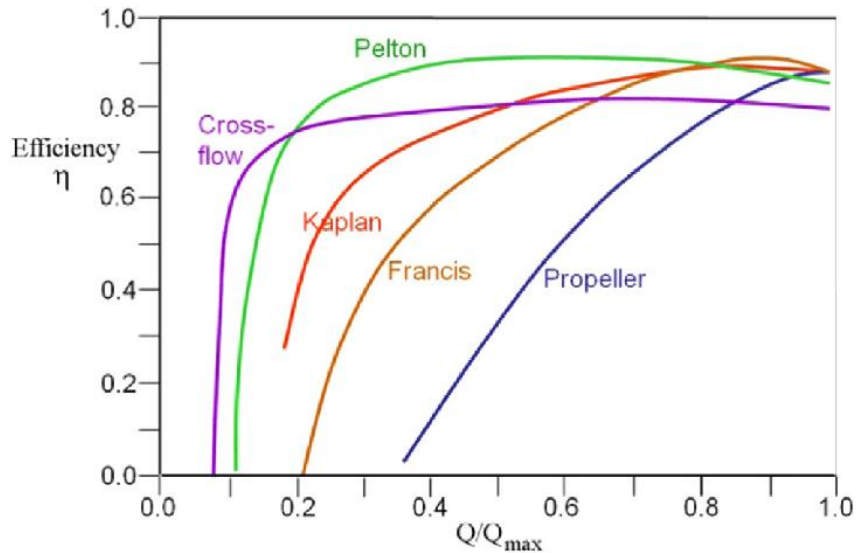
$n$  - brzina vrtnje rotora,  $\text{min}^{-1}$

$P_t$  – snaga turbine, kW

$H_n$  – neto pad vodotoka, m

Servo-motor upravlja protokom u ovisnosti i vrsti turbine sa zasunom, pomičnim lopaticama privodnog kola ili “iglom” mlaznice. Budući da turbina hidroelektrane u pravilu

pogoni sinkroni generator pri promjeni opterećenja regulator nastoji održati konstantnu brzinu vrtnje, kako nebi došlo do promjene frekvencije električne struje. Stupnjevi djelovanja, koji ovise o protoku, su prikazani na slici 3. za svaku vrstu turbine specifično.

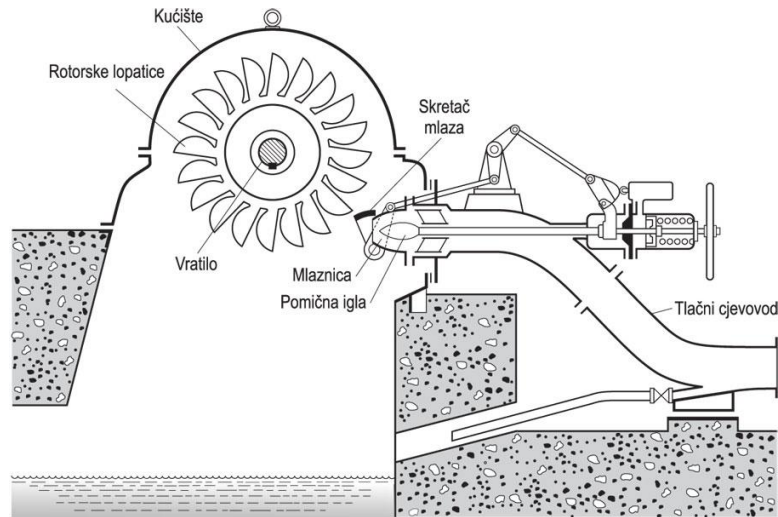


Slika 3. Ovisnost stupnja djelovanja turbine o protoku

Izvor: [9]

### 2.2.1. Peltonove turbine

Peltonova turbina smatra se najučinkovitijim vrstom akcijskih turbina i zadržala je svoje postojanje u hidroenergiji već više od stoljeća otkako ju je 1880. godine izumio Lester A. Pelton. Unatoč svojoj starosti, dizajn Peltonove turbine nastavlja se poboljšavati. Prema Židonis-u „Turbina proizvodi energiju na način da se voda ubrizgava u komoru turbine uz pomoć mlaznice. Mlaz vode sudaranjem sa lopaticama predaje energiju turbini, te se nakon toga odvodi u dovodnu cijev. Pelton turbina je idealna za korištenje pri potrebi proizvodnje velike količine energije pri velikim padovima a malim protocima vode, tj. protoku.”[11]



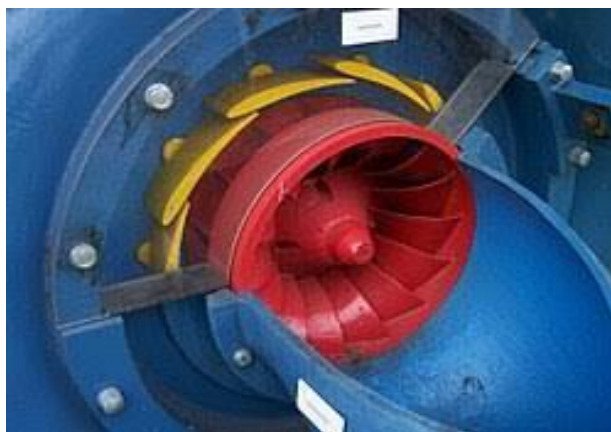
Slika 4. Pelton turbina

Izvor: [12]

### 2.2.2. Francisove turbine

Ova izvedba turbine je jedna od najstarijih na svijetu, te ima tipičnu izvedbu kućišta u obliku puževe kućice. Smatra se vrstom predtlačne turbine, a izumio ju je američki inženjer James Bicheno Francis. Prema Labudović-u „Veličina zakretnog momenta na vratilu turbine ovisi o promjeni količine gibanja vode, tlačnoj razlici, Coriolisovu ubrzanju i centrifugalnom ubrzanju.”[1]

Najčešće se koriste pri malom padu i srednjim protocima vode, dok rijede pri velikim. Voda se dovodi pomoću tlačnog cjevovoda, te se jednolično raspoređuje po obodu radnog kola, pomoću spiralnog kanala. Regulacija snage s vrši zakretanjem lopatica privodnog kola pomoću kojih se mjenja protok.

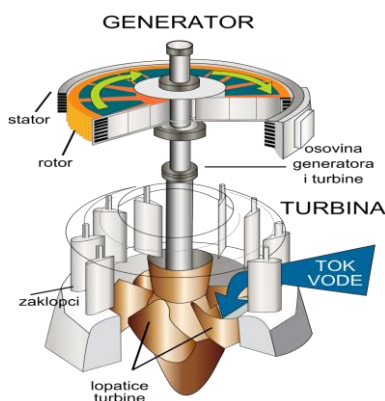


Slika 5. Francisova turbine

Izvor: [44]

### 2.2.3. Kaplanove turbine

Kaplanova turbina je turbina reakcijskog tipa koja je pogodna za hidroelektrane sa malim raspoloživim padom vode i može se koristiti s velikim protocima vode. Voda ulazi u rotor kroz lopatice privodnog kola koje su radijalno postavljene oko ulaza u turbinu i udara pod određenim kutom na lopatice rotora. Prema Abeykoon-u „Za postizanje najveće moguće učinkovitost pri različitim protocima vode, vodilice i lopatice rotora su podesive i mogu se regulirati pomoću upravljačkog uređaja. Rotor turbine s pomičnim lopicama podsjeća na brodski vijak s promjenjivim korakom. Kako voda udara u lopatice, prenosi svoju energiju na njih i istječe kroz odvodnu cijev.”[10]



Slika 6. Kaplanova turbine

Izvor: [44]

## **2.3 VRSTE HIDROELEKTRANA**

Razlikuje se sljedeće vrste hidroelektrana:

- akumulacijske hidroelektrane
- reverzibilne hidroelektrane
- protočne hidroelektrane

Također, u sistematizaciji hidorelektrana izrazito bitan faktor su protočna količini vode i vodeni pad, prema kojima razlikujemo hidroelektrane s: visokim padom (od 50 do 1000 m) i relativno malom protočnom količinom vode, srednjim i niskim padom (od 10 do 700 m) i niskim padom (od 1 do 80 m) i relativno velikom protočnom količinom vode.

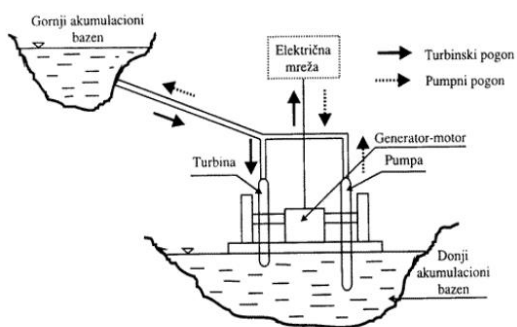
### **2.3.1. Akumulacijske hidroelektrane**

Akumulacijske hidroelektrane su jedan od najčešćih tipova hidroelektrana, te je jedna od njihovih osnovnih karakteristika mogućnost akumulacije ekološki i ekonomski prihvatljivog izvora energije, te planiranje potrošnje istog po potrebi. Snaga akumulacijske hidroelektrane najviše ovisi o visinskoj razlici između površine vode u akumulacijskom jezeru i odvodu koji se nalazi nakon vodene turbine. Prema Vlahinić-Lenz „Glavni princip rada akumulacijske hidroelektrane jest u skladištenju potencijalne energije stvaranjem akumulacijskog jezera. Tlačna cijev unutar elektrane služi za omogućavanje protoka vode između jezera i turbine. Prednost akumulacijskih hidroelektrana je što se akumulirana voda može koristiti u drugim različitim granama gospodarstva kao što su poljoprivreda, turizam i ribarstvo. Problemi u radu elektrane može nastati u ljetnim mjesecima kada dolazi do nestašice prirodnih resursa vode nužnih za rad elektrane.”[3]

### **2.3.2. Reverzibilne hidroelektrane**

Reverzibilne hidroelektrane predstavljaju posebnu vrstu hidroelektrane koja ima mogućnost pumpanja vode natrag u gornje akumulacijsko jezero u doba kada je to najisplativije, uglavnom noću kada su potrebe za električnom energijom manje. Reverzibilne hidroelektrane imaju dva akumulacijska jezera, kao što je prikazano na slici 7. Prvo je gornje

akumulacijsko jezero koje ima istu namjenu kao i kod akumulacijskih hidroelektrana, a to je akumulacija vode koja se po potrebi pušta kroz postrojenje za proizvodnju električne energije. Drugi spremnik je donje akumulacijsko jezero koje prihvaća vodu iz gornjeg jezera, umjesto da se ona vraća u tok rijeke. Prema Požar-u „Reverzibilne hidroelektrane imaju reverzibilni agregat koji se sastoji od turbine-pumpe i generatora-motora i u ovisnosti o potrebi koristi se za dobivanje električne energije ili pumpanje vode. U primjeni su i izvedbe koje imaju odvojene strojeve za svaki od režima rada. U razdoblju kada je potrošnja i cijena struje manja, vrši se pumpanje vode iz nižeg spremnika u viši, a u razdoblju velike potražnje, voda se kroz turbinu propušta natrag u niže akumulacijsko jezero i pritom se proizvodi električna energija." [7] Proizvodnja električne energije i pražnjenje gornje akumulacije se vrši najčešće danju. Ekonomska dobit reverzibilnih hidroelektrana je u razlici cijene struje više i niže tarfne.



Slika 7. Shema reverzibilne hidroelektrane

Izvor: [13]

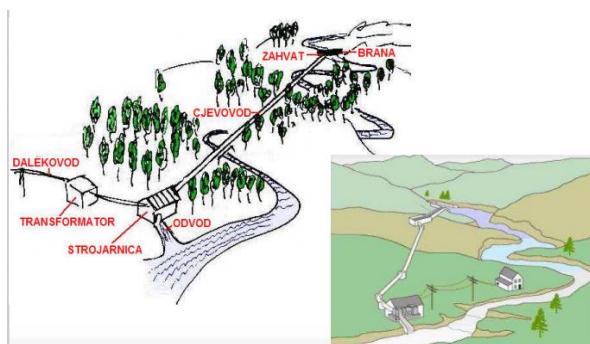
Prema Simić-u „Prilikom ocjene stupnja iskoristivosti reverzibilnih hidroelektrana, nužno je uzeti u obzir gubitke koji nastaju usljed isparavanja akumulirane vode i usljed potrošnje dijela proizvedene električne energije koja se koristi za pumpanje vode u viši bazen. Ovakvi sustavi su trenutno najisplativiji za “skladištenje” velikih količina energije dobivene iz solarnih i vjetroelektrana. Međutim troškovi izgradnje i odabir pogodnog geografskog položaja, s obzirom da visinska razlika akumulacijskih jezera ima bitan faktor u izgradnji i radu, predstavljaju određeni problem.” [14]

Prednost u radu reverzibilnih hidroelektrana je u mogućnosti spremanja velike količine energije koja se naknadno može upotrijebiti za proizvodnju, te u mogućnosti izjednačenju razlike u opterećenju mreže. Također, omogućuju termoelektranama i ostalim

vrstama elektrana rad s vršnom iskorišćivošću, čime dolazi do znatnih ušteda na gorivu. Neodstatak je u velikim investicijskim troškovima. Također, reverzibilne hidroelektrane bi pored ostalog trebale kompenzirati vršna opterećenja, jer one imaju mogućnost skladištenja viškova energije.

### 2.3.3. Protočne hidroelektrane

Protočne hidroelektrane su hidroelektrane koje imaju mogućnost dobivanja električne energije korištenjem samo uzvodne akumulacije u razdoblju manjem od dva sata, ili kod kojih takva akumulacija uopće ne postoji te koriste izravno kinetičku energiju vode za pokretanje turbine. Elektrana se koristi samo za najveća opterećenja mreže, osim ako postoji akumulirana voda, tada se može koristiti za kontinuiranu proizvodnju. Proizvodnja električne energije kod ovakvih vrsta elektrana ovisi o raspoloživom vodenom toku, te se tako one grade najviše na rijekama koje imaju protok tijekom sva četiri godišnja doba. Glavni parametar na osnovi kojeg se planira gradnja protočne hidroelektrane u svim zemljama je instalirana snaga. Prema Vlahinić Lenz „ Najveća prednost ovakvih elektrana jest ta što imaju zanemariv utjecaj na okoliš, iz razloga što nema potrebe za izgradnjom akumulacijskog jezera, što može bi imalo utjecaj na floru i faunu prostora hidroelektrane, već koriste prirodni vodeni tok, kao što je prikazano na slici 8. Nedostatak protočnih hidroelektrana nalazi se u malom vodenom kapacitetu koji onemogućuje proizvodnju velike količine energije." [3]



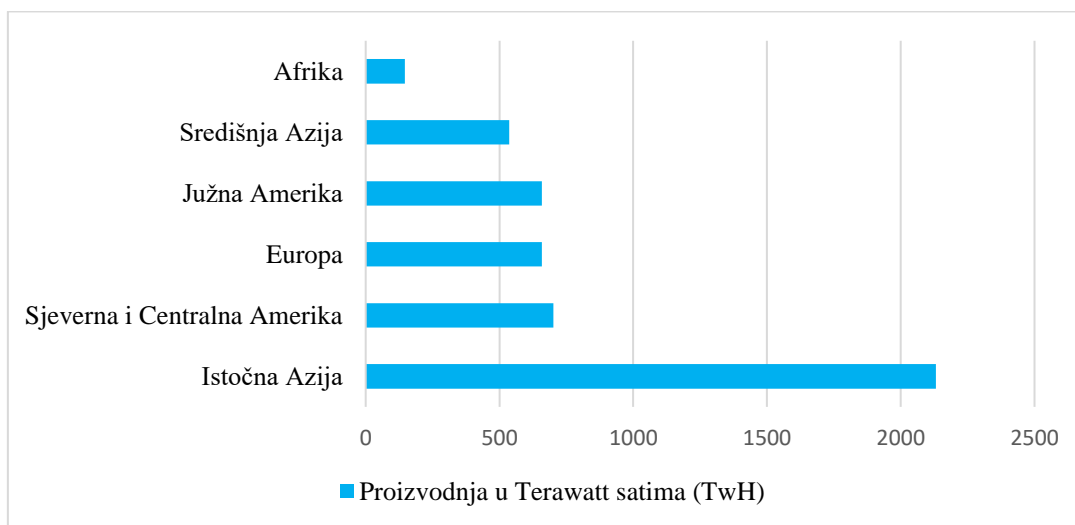
Slika 8. Shema protočne hidroelektrane

Izvor: [15]



## 2.4. HIDROENERGIJA U SVIJETU

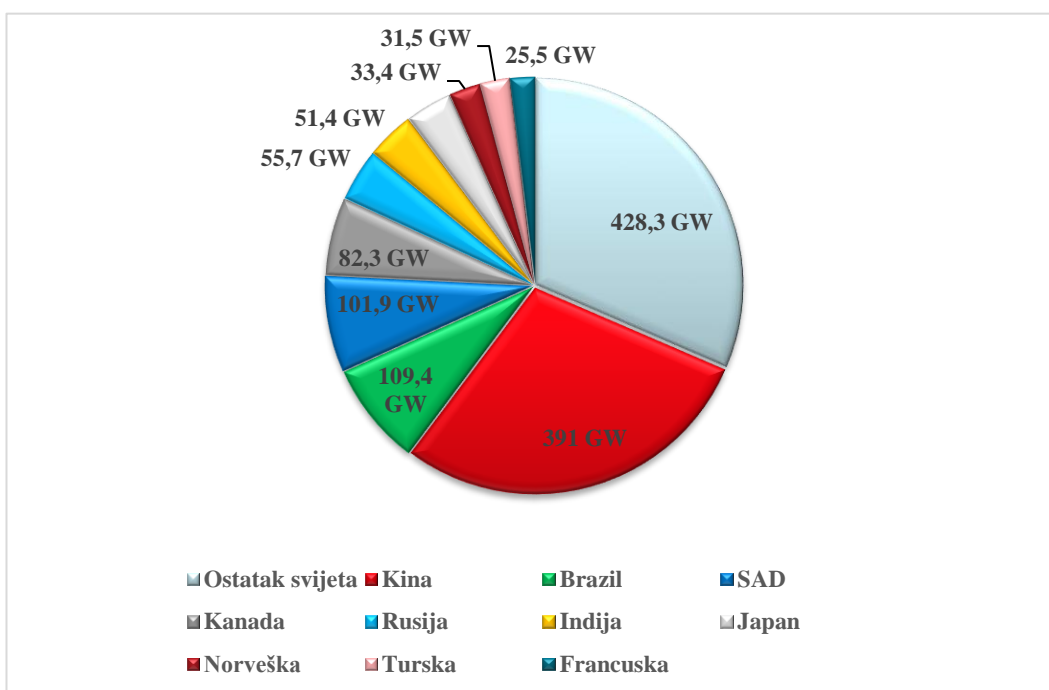
Prema godišnjem izvještaju za 2022. godinu, Međunarodnog udruženja za hidroenergiju (*International hydropower association- IHA*), ukupna instalirana snaga hidroelektrana u svijetu je do kraja 2020. godine iznosila oko 1.308 GW, odnosno približno 16% instalirane snage svih elektrana u svijetu. U 2022. godini, proizvedeno je oko 4.298 TWh, što bi značilo da hidroenergija približno iznosi 61% dobivene električne energije iz obnovljivih izvora. Regija istočne Azije najveći je proizvođač hidroenergije, čineći više od polovice ukupne proizvodnje hidroenergije u svijetu.[17]



**Grafikon 1. Dobivanje električne energije iz energije vode u svijetu po regijama.**

Izvor: Izradio student prema [16]

Temelj koji potiče rast tržišta hidroenergije su inicijative za promicanje korištenja obnovljivih izvora energije radi smanjenje emisije stakleničkih plinova i rastuća potražnja za čistom energijom. Prema Gazal-i „Očekuje se da će vrijednost hidroenergetske industrije nastaviti rasti, kako i potražnja za “zelenom“ energijom bude rasla. Važan dio ove industrije čine i male hidroelektrane, pored dominantnih proizvođača električne energije na globalnom tržištu energije kao što su kompanije Voith GmbH & Co. KGaA, General Electric Company, Alstom SA, i Andritz AG." [16]



**Grafikon 2. Najveći proizvođači električne energije iz energije vode u svijetu**

Izvor: Izradio student prema [17]

U proteklih nekoliko godine znatan je porast investicija u hidroelektrane upravo iz razloga politika koje podržavaju korištenje obnovljivih izvora energije. Prema izvješću Međunarodnog udruženja za hidroenergiju, ukupna investicija u nove hidroenergetske projekte iznosi 35 milijardi dolara za 2020. Godinu. Također, znatno se ulaže i u nadogradnju i modernizaciju postojećih hidroelektrana jer hidroenergija predstavlja najznačajniji izvor obnovljive energije. Krajem 2021. godine, globalni kapacitet proizvodnje energije iz obnovljivih izvora iznosio je 3.064 GW. S udjelom od 1.230 GW, hidroenergija je činila najveći dio ukupne svjetske proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora.

## 2.5. UTJECAJ HIDROELEKTRANA NA OKOLIŠ

Pored mnogih pozitivnih strana koje donosi korištenje hidroenergije za proizvodnju električne energije, kao što su smanjenje štetnih emisija, odsutnost troškova goriva i veliki učinak u transformaciji energije, primarni nedostatak hidroelektrana je njihov utjecaj na lokalne hidrološke sustave i mikroklimu. Brana, kao ključni dio hidroelektrane, predstavlja ujedno i veliku opasnost, iz razloga što njezino urušavanje može dovesti do katastrofe za cijeli ekosustav. Gradnjom brana dijelom dolazi i do uništavanja gospodarskih, kulturoloških i prirodnih dobara. Punjenjem akumulacijskog jezera koje je nužno za rad hidroelektrana, dolazi do potapanja područja akumulacijskog jezera. Posljedica toga jest primoranost faune tog područja na migraciju, kao i ljudi ukoliko ih je bilo. Gradnja akumulacijskog jezera ujedno i ima veliki hidrografski utjecaj na tlo. Voda u akumulaciji je stajaća voda koja ishlapljuje brže od tekuće vode, što uzrokuje stvaranje veće količine sedimenta i hranjivih tvari za višak algi i korova unutar jezera. Također, gradnja velikih brana može utjecati na riječne tokove. Svi navedeni aspekti doveli su do nekoliko prirodnih i tehničkih ograničenja koje investitori i inženjeri moraju uzimati u obzir prilikom gradnje hidroelektrana, a to su:

- razlike geodetske visine i izdašnosti izvora ili protoka vode kroz godinu
- utjecaj promjenjivog vodostaja koji uvjetuje izgradnju brane i akumulacije
- povećanje investicijskih troškova radi izgradnje brane
- dodatne investicije radi smanjenja štetnog utjecaja na okoliš, kao i osiguravanje sigurnosti elektrane od vanjskih utjecaja.

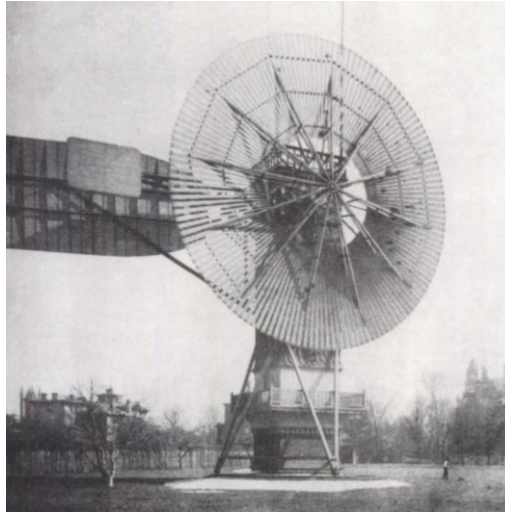
Gradnja brane hidroelektrane uz navedene nedostatke ima i svoje prednosti, kao što su smanjenje mogućnosti poplavlivanja i osiguranje zaliha vode za navodnjavanje, piće i druge potrebe. Općenito gledajući utjecaj gradnje hidroelektrane ima puno više prednosti u aspektu očuvanja okoliša, no potrebno je pažljivo razmotriti sve faktore pri planiranju i izgradnji hidroelektrana te razviti strategije za minimiziranje negativnih utjecaja na okoliš.

### 3. ENERGETSKI SUSTAVI VJETROELEKTRANA

Razvoj i gradnja energetskih sustava za korištenje energije vjetra, u posljednjih desetak godina, promovira se u jednu od najbrže rastućih grana industrije u svijetu. Energija vjetra predstavlja jedan od najčešće korištenih obnovljivih izvora energije. U posljednjih nekoliko godina zaslužna je za znatan udio novoinstalirane snage u energetskom sektoru. Vjetroelektrane su relativno jednostavne izvedbe, te su kompatibilne za sve vrste terena i klimatske uvjete. Također proizvodnja električne energije u vjetroelektranama nema negativnih utjecaja na okoliš, energent je čist i besplatan. Minimalan negativni utjecaj se javlja pri gradnji pristupnih cesta na netaknutu prirodu, pošto se one većinom grade izvan urbanih područja.

Prema Vlahinić Lenz „Vjetar možemo opisati kao strujanje zračnih masa koje nastaje usljed razlika temperatura, odnosno tlakova. Strujanjem zraka dolazi do trenja, odnosno gubitka kinetičke energije u kontaktu sa čvrstom podlogom, što rezultira razlikama u brzini strujanja".[3] Usljed uzdizanja toplog zraka prema Zemljinoj atmosferi, hladni zrak popunjava nastale praznine što uzrokuje nastanak stalnih vjetrova. Postrojenje kao što su vjetroelektrane koriste navedenu nastalu kinetičku energiju za dobivanje električne energije.

Prema Đurišić-u „Energija vjetra prednjači kao jedan od prvih oblika primarne energije koje je čovjek koristio. Prvi pisani tragovi su pronađeni još 200 godina pr. Kr. i odnose se na vjetrenjače koje su se koristile za mljevenje žita u Perzijskom carstvu. Prve vjetrenjače u Europi se pojavljuju oko 12. stoljeća u modificiranom obliku s vodoravnim vratilom. U razvoju vjetrenjača prednjačila je Nizozemska, koje je koristila vjetrenjače za pokretanje pumpi vode, za isušivanje močvara. Polovicom 18. stoljeća, dolazi do razvoja ove tehnologije u Americi, gdje se ona dalje razvija za potrebe pumpanja vode pri poljoprivrednim aktivnostima. Američke vjetrenjače su imale više metalnih lopatica i manju površinu rotora. Prvu vjetroturbinu koja se koristila za proizvodnju električne enregije dizajnirao je James Blyth, 1887. godine, u Škotskoj. Njegov vjetroatregat je bio visok deset metara, sastojao se od platenih jedara, te je služio za punjenje akumulatora za osvjetljenje njegove kolibe." [18]



Slika 9. Prvi vjetroagregat u Americi.

Izvor: [19]

Moderni sustavi vjetroelektrana koji se danas koriste intenzivnije su se počeli koristiti početkom posljednjeg desetljeća prošlog stoljeća i njihova primjena se povećava iz godine u godinu. Dimenzije vjetroagregata se udvostručuju, a snaga se povećala deset puta. Moderne vjetroelektrane se proizvode s promjerima rotora vjetro turbine do 127 m, te imaju mogućnost postizanja snage od 1 do 7 MW po rotoru (elisi). Elisa s tri lopatice ima najrašireniju primjenu, te je u vidu sprečavanja turbulencije zraka i gubitka snage najučinkovitija. Energija vjetra postaje sve više korištena i u novije vrijeme je jedan od uobičajenih izvora energije. Svake godine povećava se instalirana snaga vjetroelektrana kao i broj zaposlenih u toj industriji. Iskorištavanje energije vjetra bilježi najveći porast u periodu od 2000-te do 2010-te godine, prosječnom godišnjom stopom od 20,95%. Veliku ulogu u tome imali su i investicijski troškovi, koji su danas postali jednaki, a i u nekim slučajevima niži, od investicijskih troškova u termoelektrane na ugljen. Prema Kale-i „Vjetroelektrane imaju godišnje iskorištenje od samo 2000 radnih sati godišnje, dok termoelektrane imaju između 6000 i 7000 sati godišnje." [2] Ipak primjena vjetroelektrana radi znatno manjeg negativnog utjecaja na okoliš i manjih investicijskih troškova počinje biti sve više implementirana u elektroenergetskim sektorima, pogotovo članica Europske Unije, što je vidljivo u tablici 2., gdje je prikazana usporedba broja radnih sati vjetroelektrana u zemljama Europske unije iz 2000. godina i 2010. godine. Dovoljno je vidjeti kako je ukupan zbroj radnih sati svih elektrana zemalja članica EU-27 sa 1.913 iz 2000. godine, 2010.godine došao na 12.817.

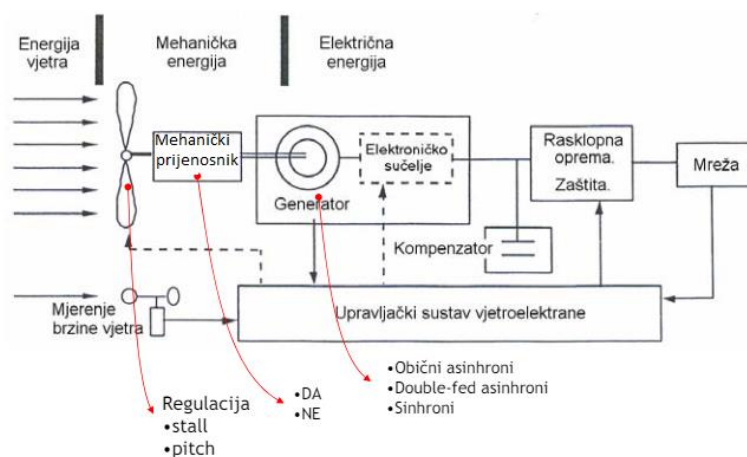
**Tablica 2. Prikaz porasta korištenja vjetroenergije u vidu broja radnih sati godišnje u Europi**

<b>Zemlja</b>	<b>2000. godina (h/god)</b>	<b>2010. godina (h/god)</b>
EU-27	1.913	12.817
Belgija	1	111
Njemačka	804	3.250
Francuska	7	857
Italija	48	785
Hrvatska	0	12

Izvor: Izradio student prema [1]

### 3.1. NAČELO RADA I VRSTE VJETRENIH TURBINA

Vjetroelektrane su postrojenja koje koriste kinetičku energiju vjetra za dobivanje električne energije. Sastoje se od dijelova koji su potrebni za navedenu transformaciju energije, kao što su vjetrena turbina, odnosno rotacijski stroj koji transformira kinetičku energiju u mehaničku, te električni generator koji pretvara mehaničku energiju u električnu. Ulazni tok vjetra se koristi kako bi se pokrenuo rotor i lopatice koje pokreću glavno vratilo i mehanički prijenosnik koji okreće generator.



Slika 10. Shema sustava vjetroelektrane

Izvor: [45]

Rotor putem lopatica na koje djeluje vjetar pretvara kinetičku energiju u okretni moment vratila koji se predaje električnom generatoru preko mehaničkog prijenosnika, kao što je prikazano na slici 10. Proizvedena električna struja može biti istosmjerna ili izmjenična, ovisno o vrsti generatora. Promatrajući vjetroagregate iz perspektive elektroenergetskog sustava, možemo ih sagledati kao izvor električne energije unutar mreže. Ova cjelina obuhvaća dva ključna elementa: generator pokretan vjetrom i transformator, koji prilagođava razinu izlaznog napona. Uz to, prisutan je i kontrolni sustav koji osigurava stabilnost, kao i mrežna oprema koja štiti i povezuje vjetroagregat s elektroenergetskom mrežom. Elektroenergetski sustav je složen zbog prirode električne energije kao prijelaznog oblika, koji se ne može direktno pohraniti i koristiti po potrebi.

Prema Tehničkoj enciklopediji „Spajanje vjetroagregata na elektroenergetsku mrežu započinje u generatoru, te se tamo vrši pretvorba mehaničke energije u električnu. Kako bi se ta energija prenijela u mrežu, mora biti na odgovarajućem naponskom nivou, za što je zadužen transformator koji konvertira izlazni napon generatora na nivo koji mreža zahtijeva. Vjetroagregat i transformator povezani su preko sklopke koja omogućava uključivanje i isključivanje agregata prema potrebi, što je ključno za stabilnost mreže. Nakon povezivanja s mrežom, elektronički uređaji nadgledaju kvalitetu struje i napona, te signaliziraju sve potencijalne probleme. Osim toga, potrebno je regulirati snagu vjetroagregata radi održavanja balansa između proizvodnje i potrošnje u mreži, čime se bavi sustav za upravljanje. Regulacija snage vjetroelektrane i brzine vrtnje vrši se promjenom kuta lopatica rotora, čime se dobiva na prilagodbi upadnog kuta vjetra. Povećanjem upadnog kuta raste i otpornost, dok se istovremeno smanjuje sila uzgona." [32]

Budući da je brzina vjetra ključna za učinkovitost vjetroelektrana, važno je kontinuirano pratiti i analizirati brzinu i smjer vjetra kako bi se procijenila mogućnost njegovog iskorištavanja za proizvodnju električne energije. Ove karakteristike su vrlo promjenjive, pa su potrebna precizna mjerenja tijekom dužeg razdoblja kako bi se donijeli točni zaključci.

Ovisno o načinu priključenja na elektroenergetsku mrežu, vjetroagregati mogu biti dizajnirani za rad s konstantnom ili varijabilnom brzinom vrtnje. U slučaju izravnog priključenja, koriste se asinkroni ili sinkroni generatori. Asinkroni generatori su u primjeni najviše u slučaju spajanja na stabilnu mrežu koja zahtijeva održavanje konstantnog napona i frekvencije. Sinkroni generatori se zbog potrebe za uzbudnim sustavom i regulatorom brzine rijetko koriste u stabilnim mrežama. Vjetroagregati s varijabilnom ili djelomično varijabilnom brzinom koriste sinkrone ili asinkrone generatore s pretvaračem u glavnom strujnom krugu. Sustavi s varijabilnom brzinom također uključuju elektroenergetski pretvarač koji regulira izlaznu energiju, održavajući konstantan napon i frekvenciju. Ovi sustavi u velikoj mjeri optimiziraju iskorištavanje dostupne vjetroenergije, čime postižu visoku učinkovitost. Spajanjem različitih tipova generatora i elektroenergetskih pretvarača dobivaju se različite karakteristike, uključujući složenost sustava, dinamičke osobine, kao i regulacijske značajke, što utječe na faktor snage i troškove. Iz razloga smanjenja troškova, vjetrogeneratori se projektiraju na nižim naponskim razinama te su im potrebni transformatori u svrhu podizanja naponske razine izlaznog generatorskog napona kako bi se ona mogla predati u mrežu. Iznimka je ukoliko se koriste istosmjerni generatori, te u tom



slučaju ugradnja transformatora nije potrebna. Dobivena električna energija, nakon što postigne odgovarajući napon i frekvenciju za spajanje na mrežu, prenosi se dalekovodima do krajnjih korisnika.

Koriste se različite izvedbe vjetrenih turbina, a najčešća je izvedba s tri lopatice, zbog toga što se prilikom okretanja inercijski moment ne mijenja, te je samim time lako upravljiva. Prema Vlahinić Lenz „Spoj između vjetroturbine i električnog generatora ostvaruje se pomoću mehaničkog prijenosnika koji prilagođava brzinu vrtnje rotora vjetroturbine i brzine rotora generatora. Za pretvorbu kinetičke enrgije, potrebna je brzina rotora generatora od 1500 okretaja u minuti, te s obzirom da se rotor turbine okreće između 30 i 50 okretaja, nužan je prijenosnik snage koji sporu rotirajuću silu pretvara u brzu rotaciju koja je nužna za rad generatora." [3]

Energija koja se transformira u mehaničku energiju pomoću vjetrene turbine predstavlja razliku energije vjetra ispred i nakon rotora vjetrene turbine. Masa zraka u pokretu nosi određenu količinu energije, i data je izrazom (5) za ukupna raspoloživu kinetičku energiju:

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2} \text{ (J)} \quad (5)$$

Gdje je:

$E_k$  – kinetička energija, J

$m$  – masa zraka, kg

$v$  – brzina vjetra, m/s.

Teoretska snaga vjetra je izrazito bitan faktor u radu trubine, te se dobiva putem izraza(6):

$$P_v = \frac{\rho \cdot A \cdot v^3}{2} \text{ [W]} \quad (6)$$

Gdje je:

$\rho$  – gustoća zraka,  $\text{kg/m}^3$ ,

$A$  - površina rotora,  $\text{m}^2$ ,

$v$  - brzina vjetra,  $\text{m/s}$ .

Turbina ne može u potpunosti iskoristiti energiju vjetra. Kada zrak prolazi kroz turbinu, dio svoje kinetičke energije prenosi na rotor, dok zrak koji izlazi nosi ostatak te energije. Prava snaga koju rotor generira ovisi o učinkovitosti prijenosa energije iz vjetra na rotor. Ova učinkovitost se naziva koeficijent snage (CP). Dakle, koeficijent snage rotora može se definirati kao odnos između stvarne snage koju rotor proizvodi i teoretske snage koja je dostupna u vjetru, te se dobija putem izraza (7):

$$C_P = \frac{2 \cdot P_T}{\rho \cdot A \cdot v^3} \quad (7)$$

Snaga vjetrovne turbine se dobiva izrazom (8):

$$P_T = \frac{\rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_P}{2} [\text{W}] \quad (8)$$

Prema Đurišić-u „Stupanj učinkovitosti, odnosno koeficijent snage CP, zavisi od dizajna turbine i brzine vjetra. Teoretski, koeficijent snage za idealnu turbinu iznosi 0,593, poznat kao Betzova granica, što znači da bi idealna turbina mogla pretvoriti najviše 59% dostupne vjetroenergije u mehanički rad. U praksi, stvarne vjetroturbine mogu iskoristiti do 40% te dostupne energije.”[18]

### 3.2. DIJELOVI VJETRENE TURBINE

Pod osnovne komponente klasičnih vjetroelektrana spadaju:

- **Rotor** – sastoji se od glavčine i lopatica. Regulacija napadnog kuta rotora vrši se postavljanjem profila u optimalni položaj, što se postiže zakretanjem lopatica. Lopatice rotora su najčešće duljine su od 25 do 30 metara, no mogu biti i veće, te su izvedbe ovakvih rotora izrazito kompleksne i skupe. Za primjenu u vjetroelektranama danas se najčešće koriste rotori s tri lopatice, na čijim se vrhovima postižu obodne brzine od 50 do 70 m/s.
- **Lopatice rotora** - pokreću se koristeći uzgon vjetra, te imaju učinak pretvorbe energije vjetra u mehanički rad. Broj i izvedba lopatica ovise o dizajnu samog rotora, odnosno turbine. Za izradu lopatica koriste se razni, najčešće kompozitni materijali na bazi polimera, ojačani staklenim ili ugljičnim vlaknima, drvo, čelik ili aluminij. Najveći dio lopatice se proizvodi od stakloplastike. Vanjski dio lopatice oblikovan je tako da zadovolji aerodinamičke kriterije, a unutar profila su nosivi elementi koji daju potrebnu čvrstoću i krutost.
- **Mehanička kočnica** – nalazi se na vratilu generatora ili prije prijenosnika. Najčešće se primjenjuje disk kočnica. Mogu imati hidrauličku i elektromagnetsku aktivaciju, a nužne su u sustavu u slučaju ispada mreže ili u slučaju prekoračenja brzine vrtnje.
- **Prijenosnik** – koristi se za prilagođavanje nižih brzina vrtnje rotora vjetroturbine višim brzinama rotora električnog generatora. Sustav za zakretanje lopatice regulira snagu turbine. U pravilu se izvodi kao zupčanički, te ima prijenosni omjer od 1:30 do 1:50.
- **Kućište**- Ima dvije funkcije. Izrađeno je radi zaštite generatora i drugih djelova od vanjskih utjecaja, te u današnja vremena radi zaštite okoliša od buke koju generira reduktor.
- **Stup** - najčešće se koriste stupovi cjevaste izvedbe, ali mogu biti i rešetkaste. Unutar stupa se nalaze elektroenergetski kabeli, te stepenice za pristup radnika za održavanje sustava. U podnožju stupa se instalira transformator koji povezuje vjetroagregat s električnom mrežom, kao i kontrolna i mjerna oprema.

### 3.3. VRSTE VJETRENIH TURBINA

Vjetrene turbine se dijele s obzirom na položaj osi rotora, te tako razlikujemo vjetroelektrane s vodoravnom osi rotora (HAWT – engl. *Horizontal Axis Wind Turbine*) i vjetroelektrane s uspravnom osi rotora (VAWT – engl. *Vertical Axis Wind Turbine*)

Koncept vjetroelektrana s vodoravnom osi rotora koristi se od davnih vremena, čak od 5000. godina pr. Kr. gdje su ljudi koristili energiju vjetra kako bi pomicali brodove duž rijeke Nil. Od tada do danas, vjetroelektrane su doživjele inovacije u njihovoj izvedbi i radu. HAWT se sastoji od lopatica koje prikupljaju energiju vjetra na vodoravnom osi i paralelne su s tlom. Okretanjem prema protoku vjetra okomito, lopatice rade i okreću se zbog aerodinamičkog uzgona. HAWT ima veću učinkovitost od VAWT-a pri samom prikupljanju energije iz vjetra zbog svog dizajna koji mu omogućuje prikupljanje energije kroz punu rotaciju lopatica kad su postavljene pod stalnim protokom vjetra. Prema Khudri-u i suradnicima „HAWT ima nedostatak, a to je činjenica da se uvijek mora usmjeravati prema smjeru vjetra kako bi učinkovito radio. S nepredvidivim smjerom vjetra, potreban je dodatni mehanizam kako bi se osiguralo da će lopatice uvijek biti okrenute prema smjeru vjetra kako bi se dobila najveća snaga. Male vjetroelektrane obično koriste jednostavni usmjerivač kako bi se postavile u smjeru strujanja vjetra. Za veće vjetroturbine potreban je sustav za zakretanje koji se sastoji od davača (senzora, osjetnika) smjera vjetra i položaja kućišta vjetrene turbine i mehanizma za zakretanje s elektromotorom koji zakreće vjetroturbinu u odgovarajući položaj u odnosu na smjer vjetra. Zbog ovih karakteristika, HAWT izvrsno funkcionira u okruženjima s konstantnim i niskim turbulencijama vjetra jer mu nije potrebno često mijenjati orijentaciju. Općenito su ovi sustavi funkcionalno, tehnički i aerodinamički usavršeni. Imaju velike obodne brzine, kao i stupanj iskoristivosti, te veliku pouzdanost u radu.”[20]



Slika 11. Vjetroturbina s horizontalnom osi vrtnje rotora (HAWT)

Izvor: [46]

VAWT sustavi sadrže lopatice koje se okreću oko vertikalne osi, kao što je vidljivo na slici 12. Ovaj tip turbine koristi trenje ili uzgon ili kombinaciju oboje kako bi radio. Iako VAWT nije u primjeni i nije toliko razvijen i istražen koliko i HAWT, ima nekoliko prednosti. Za razliku od HAWT-a koji mora uvijek biti okrenut prema struji vjetra kako bi vršio optimalnu pretvorbu energije, VAWT može primati vjetar iz bilo kojeg smjera. VAWT je najbolji izbor za instalaciju u sporim i turbulentnijim vjetrovitim okolinama poput urbanih područja jer obično može početi proizvoditi energiju pri tako niskim brzinama vjetra. Sustav za VAWT poput prijenosnika i drugih opreme može se upakirati zajedno i instalirati bliže tlu, čime se eliminira potreba za dodatnim troškovima održavanja i olakšava nadzor. Konačno, VAWT su također tiši od HAWT-a. Međutim, VAWT vjetroturbine imaju dosta nedostataka u odnosu na HAWT, te se samim time i manje zastupljene, primarno zbog manje iskoristivosti i manjih brzina vjetra koje se postižu pri tlu. Glavni nedostatak predstavlja manja brzina vjetra, usljed manjih nadmorskih visina na kojima se koriste, što samim time znači i manje raspoložive energije za pretvorbu. Također, samim time što su bliže tlu i ostalim objektima dolazi do pojave turbulencijskog strujanja zraka, te posljedično i vibracija, što znači da se brže troše ležajevi i imaju kraći vijek trajanja.



Slika 12. Vjetroturbine s vertikalnom osi rotora (VAWT)

Izvor: [47]

### 3.3.1. Koprne vjetroelektrane

Koprne vjetroelektrane predstavljaju prevladavajući tip u proizvodnji električne energije i najduže se koriste. Njihova lokacije je najčešće u brdovitim područjima, udaljenim od gradova i naselja. Najčešće su smještene na vrhovima brda ili padina zbog iskorištavanja topografske akceleracije i zbog dodatne brzine vjetra u tim područjima, kako bi se maksimalno iskoristio njegov potencijal za proizvodnju električne energije.

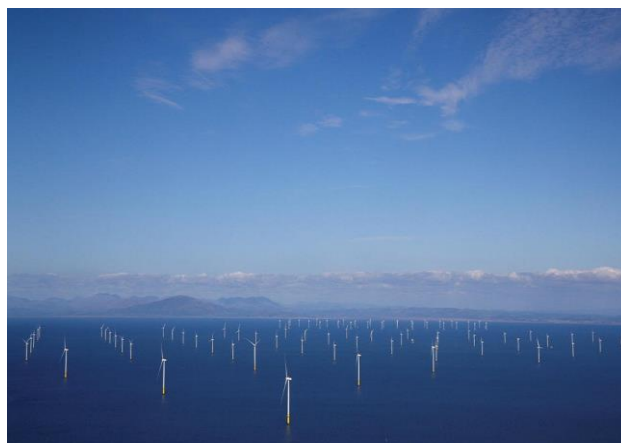


Slika 13. Primjer koprne vjetroelektrane

Izvor: [48]

### 3.3.2. Priobalne i morske vjetroelektrane

Priobalne i morske ili prema engl.offshore elektrane su vrsta elektrana koja se gradi na moru, primjerom prikazano na slici 13. , u priobalnim područjima na dubinama manjim od 70 metara. Glavna prednost je u činjenici da voda ima manje površinskih prepreka, što omogućava veće brzine vjetra nego na kopnu. Samim time treba naglasiti kako su instalacije ovih vjetroelektrana puno kompleksnije, i skuplje od kopnenih. Proizvedena energija iz ovih vrsta elektrana se do kopna prenosi podmorskim kabelima.



Slika 14. Najveća offshore vjetroelektrana na svijetu (Walney extension)

Izvor: [49]

### 3.3.3. Plutajuće vjetroelektrane

Plutajuće ili pučinske vjetroelektrane se postavljaju na plutajućim strukutrama, na većim morskim dubinama. Njihova instalacija je izrazito kompleksna, te zahtjeva veće početne troškove, no prema najnovijim istraživanjima mogu biti vrlo isplative radi povoljnih vjetrorenih prilika. Uobičajena praksa je povezivanje više plutajućih vjetroagregata u jednoj vjetroelektrani kako bi se omogućilo zajedničko korištenje podvodnih kabela za prijenos električne energije.



Slika 15. Simulacija plutajuće vjetroelektrane

Izvor: [49]

### 3.3.4. Visinske vjetroelektrane

Načelo rada visinskih vjetroelektrana temelji se na iskorištavanju vjetroenergije iz viših slojeva atmosfere. Dizajnirane tako da se mogu podignuti u visinu bez potpore tornja. Njihova glavna prednost je ta što su u potpunosti ekološki prihvatljive, te mogu proizvoditi energiju 90% vremena, dok one na zemlji to čine oko 35% vremena. Najveći problem izgradnje ovih vrsta elektrane predstavlja ugrožavanje zrakoplovnog prometa i opasnost od grmljavine.



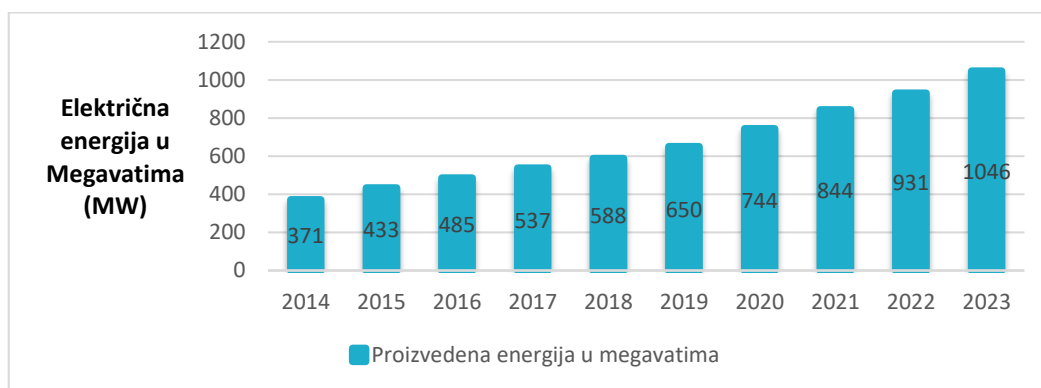
Slika 16. Visinske vjetroelektrane

Izvor: [53]



### 3.4. VJETROENERGIJA U SVIJETU

U 2023. godini zabilježen je znatan porast u proizvodnji električne energije iz vjetroelektrana, od 116 GW više u odnosu na predhodnu godinu. Prema preliminarnim statistikama koje je objavila Svjetska udruga za energiju vjetra, kao što je vidljivo u grafikonu 3, globalni kapacitet vjetroelektrana u 2023. godini iznosio je 1.046 GW.



**Grafikon 3. Prikaz proizvedene električne energije putem energije vjetra u svijetu tijekom godina**

Izvor: Izradio student prema [21]

Prema podacima objavljenim u godišnjem izvještaju za 2023. godinu, od strane Svjetske organizacije za energiju vjetra (*World wind energy association - WWEA*) [21], kapaciteti proizvedene energije uvećani su za 34 % u odnosu na 2022. godinu, kada je stopa rasta bila 12,5 % u odnosu na predhodnu godinu. Među zemljama koje imaju najveću stopu rasta su: Brazil (20,8%), Kina (19%), Nizozemska (34%), Finska (22%) i Vijetnam (24%). S 1047 GW instalirane snage, svijet je dosegao novu prekretnicu. Prag od 1 milijun MW ukupne instalirane snage vjetroelektrana prijeđen je 25 godina nakon što je instalirano 10 GW i 15 godina nakon što je dosegao 100 GW. Mnoge su zemlje pojačale svoje ambicije izgradnje vjetroelektrana u velikim razmjerima, kako na kopnu tako i na moru, uz podršku političkih mjera. Rekonstrukcija postojećih (engl. *Repowering*), te zamjena većim i učinkovitijim strojevima, važna je opcija za daljnje povećanje proizvodnje energije vjetra s velikim potencijalom. Ukupni instalirani kapacitet vjetroelektrana u svijetu sada zadovoljava oko 10% globalne potražnje za električnom energijom. Više od deset zemalja sada ima udio energije vjetra u svojoj energetskej bilanci proizvodnje energije od više od 20%, predvođen

Danskom, koja proizvodi nevjerojatnih 56% svoje električne energije iz vjetra. Njemačka, Nizozemska, Portugal, Ujedinjeno Kraljevstvo i Urugvaj su među zemljama koje oko trećine ili više električne energije proizvode iz vjetra. Navedene zemlje, što je vidljivo u tablici 3. su vodeći proizvođači električne energije putem energije vjetra u svijetu i pokazuju da se na lokacijama odabranim lokacijama u cjelini može postići od 40% do 50% udjela energije vjetra u ukupnoj proizvodnji električne energije. Takvih lokacija nema u izobilju, te stoga navedene brojke nisu izvedive u određenim dijelovima svijeta. Uzrok tome je intermitencija, iz razloga što brzina vjetra nije konstantna. Vjetrovi niske brzine, kao i periodi bez vjetra, mogu se javiti svakog dana u bilo koje doba godine. Akumulacija energije vjetra, poput one u hidroelektranama, nije moguća. Zbog varijabilnosti brzine vjetra, energetska iskorištavanje vjetra za proizvodnju električne energije zahtijeva akumulaciju ili dodatne izvore. Za manja postrojenja (s nekoliko kilovata) moguće je koristiti akumulatore za pohranu energije. U SAD-u se instaliraju manja postrojenja s generatorima prosječne snage od 2 kW, koja koriste vjetar za opskrbu farmi i seoskih kućanstava. Za veće snage, korištenje akumulatora nije izvedivo, pa je potrebno osigurati paralelan rad s dodatnim agregatom ili priključak na elektroenergetski sustav koji može neprekidno preuzimati energiju iz vjetroelektrana. U Danskoj su postavljene brojne vjetroelektrane snage između 30 i 50 MW, koje rade paralelno s dizelskim agregatima za opskrbu ruralnih područja. S obzirom na trend elektrifikacije u sektorima transporta te za potrebe grijanja i hlađenja, energija vjetra će igrati sve značajniju ulogu u budućoj globalnoj opskrbi energijom.[21]

**Tablica 3. Najveći svjetski proizvođači vjetroenergije**

Zemlja	Proizvedena energija u 2023. godini (MW)	Stopa rasta u odnosu na 2022. (%)
Kina	470.630	19
SAD	150.455	4,4
Brazil	28.580	20,8
Vietnam	4.910	23,8
Danska	7.107	2,3
Nizozemska	11.015	34,1
Njemačka	69.475	4,9
Ujedinjeno Kraljevstvo	30.215	5
Indija	44.736	7,5

Izvor: Izradio student prema [21]

### 3.5 UTJECAJ VJETROELEKTRANA NA OKOLIŠ

Primarni negativan efekt koji pobornici protiv gradnje vjetroelektrana ističu jest buka koju stvaraju vjetroelektrane svojim radom. Konstruktori vjetroturbina pronalaze mogućnosti za smanjenje razine buke vjetrorenih turbina u radu na najmanje vrijednosti, pošto je bešuman rad ipak nemoguć. Izgradnja infrastrukture, pristupnih cesta i dalekovoda je također još jedan faktor koji ima utjecaj na okoliš, kao i na živi svijet. Određeno područje na kojem se vrše radovi i mijenja priroda može biti prirodno stanište mnogim životinjskim vrstama, koje su putem posljedično primorana na promjenu istoga. Prema Kale-i „Parametri koji utječu na širenje buke su: visina izvora, topografija tla, koeficijent apsorpcije zvuka okolnih objekata te veličina i spektralni sastav zvučnog izvora”. [2] Buka koju emitiraju vjetroturbine može biti iz dva izvora, te ju tako dijelimo na mehaničku i aerodinamičku. Mehanička buka nastaje na rotirajućim dijelovima, ponajprije u prijenosniku i generatoru. Najveće svojstvo mehaničke buke je izraziti tonalitet koji je u nekim slučajevima veći od aerodinamičke buke. Prijenosnik se smatra ujedno i najosjetljivijim dijelom cijelog postrojenja, zbog velikih mehaničkih opterećenja kojima je izložen.

Aerodinamička buka nastaje usljed vrtnje lopatica rotora koje presjecaju struju zraka. Ovisna je o brzini rotora, te raste proporcionalno koeficijentu vršne brzine. Izvorima nastajanja aerodinamičke buke smatraju se stražnji rub lopatice, turbulencija ulazne struje vjetra i vrhovi lopatica. Snaga zvučnog izvora je osnovna veličina kojom utvrđujemo količinu buke koju proizvodi vjetroatregat, te se ona dobiva putem izraza (9) :

$$L_w = 10 \log \frac{P}{P_0} \quad (9)$$

Gdje je:

$L_w$  - snaga zvučnog izvora, dB

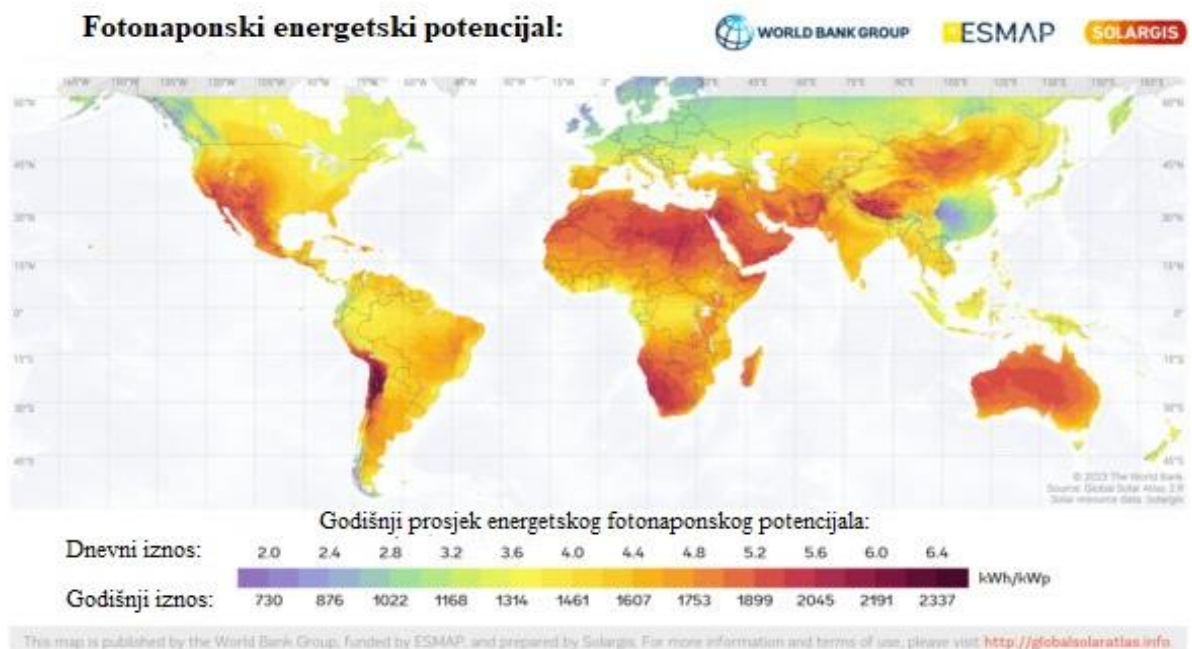
$P$  - zvučna snaga izvora, pW

$P_0$  - referentna vrijednost zvučne snage

## 4. ENERGETSKI SUSTAVI NA ENERGIJU SUNCA

Sunce predstavlja Zemlji izvor gotovo sve raspoložive energije (toplina, svjetlost, vjetar). Sunčeva energija je produkt nuklearnih reakcija u njegovoj jezgri, gdje temperature dosežu  $15 \cdot 10^6$  °C. Energija koja nastaje unutar jezgre Sunca oslobađa se kroz fuzijske procese u obliku svjetlosti i topline, širi se svemirom, pri čemu dio te energije dolazi do Zemlje. Od ukupne energije od  $3,8 \cdot 10^{26}$  W koju Sunce emitira, Zemlja primi oko  $1,7 \cdot 10^{17}$  W. Oko 30% te energije reflektira se natrag u svemir, dok 47% ostaje zadržano kao toplina, a 23% se gubi tijekom procesa kruženja vode.

Prema istraživanju Solargis-a ukupna solarna energija apsorbirana u Zemljinoj atmosferi, oceanima i kopnu iznosi oko 3 850 000 EJ godišnje. U optimalnim uvjetima na površini Zemlje bi se mogao dobiti približno  $1 \text{ kW/m}^2$ . Potrebno je razlikovati prikupljanje toplinske energije (kolektori) i transformaciju npr. svjetlosne energije u električnu (fotoelektrični efekt). Energetska učinkovitost solarnih energetskih sustava povezana je s količinom primljenih fotona i intezitetom sunčevog zračenja lokacije na kojoj se sustav nalazi. Vrijednost navedenog ovisi o lokaciji, godišnjem dobu, dobu dana i vremenskim uvjetima. Lokacijski potencijal na Zemlji prikazan je na slici 11. [22]



Slika 17. Lokacijski fotonaponski potencijal planeta Zemlje

Izvor: [22]

Prema Kale-i „, Mogućnost iskorištavanja sunčeve energije prvi su prepoznali drevni Grci, koji su je koristili za pasivno grijanje svojih domova. Sokrat je opisao optimalnu orijentaciju kuća za učinkovito grijanje zimi i smanjenje zagrijavanja ljeti. Rimski arhitekt Vitruvius bio je prvi koji je izgradio javno kupalište s pasivnim solarnim dizajnom za grijanje zgrade. U 18. stoljeću, Joseph Priestly je koristio sunčevo zračenje za svoja istraživanja i izolaciju kisika. Tijekom 19. stoljeća pojavili su se prvi oblici solarnih sustava koji su skupljali sunčevu energiju za poljoprivredne svrhe, što je dovelo do razvoja tehnologija fotonaponskih ćelija i solarnih kolektora kakve poznajemo danas." [2]

## 4.1. PODJELA SOLARNIH ENERGETSKIH SUSTAVA

Moderni solarni sustavi se može dijele na pasivne i aktivne solarne sustave. Pasivni solarni sustavi koriste sunčevo zračenje bez uporabe dodatne energije, te se uglavnom koriste na stambenim zgradama radi osiguravanja osvjetljenja i smanjenja uporabe dodatne energije za grijanje i hlađenje. Najmodernija izvedba ovakve vrste sustava su zračni solarni kolektori, koji služe za zagrijavanje zgrada preko zraka koji cirkulira kroz kolektor i unutrašnji dio stambene jedinice. Za razliku od pasivnih, aktivni solarani sustavi se osim za prikupljanje toplinske energije mogu koristiti i za dobivanje električne energije pomoću fotoelektričnih ili solarnih termoelektrana.

### 4.1.1. Solarni fotonaponski sustavi

Fotonaponski efekt je oblik izravne pretvorbe sunčeve energije u električnu. Pretvorba se vrši pomoću fotoelektričnih (fotonaponskih) panela koji su sastavljeni od fotoelektričnih ćelija izrađenih od poluvodiča. Unutar poluvodiča elektroni se nalaze u valentnom pojasu, te ukoliko se oni pobude pod utjecajem energije dolaze u vodljivi pojas i provode električnu energiju. Kada solarna ćelija primi svjetlost i apsorbira sunčevo zračenje, dolazi do fotonaponskog efekta koji generira elektromotornu silu (napon) na njezinim krajevima. Na taj način solarna ćelija postaje izvor električne energije. Opisom navedenog procesa, sunčevo zračenje možemo okarakterizirati kao snop čestica ili fotona. Svaki foton nosi određenu količinu energije. Cijelokupni raspon zračenja koje nastaje u svemiru time se naziva elektromagnetski spektar. Elektromagnetska zračenja se razlikuju po frekvenciji. Svjetlost se stvara kretanjem električnih naboja unutar elektromagnetskog polja. Atom emitira svjetlost kada jedan od njegovih elektrona primi dodatnu energiju iz okoline. Prema Stanković-u „Fotoelektrični efekt predstavlja proces transformacije energije fotona (Sunčeve energije) u električnu energiju. Nastaje kada se u prijelaznom području dviju sredina (metal – poluvodič, metal – elektrolit,  $n$  poluvodič –  $p$  poluvodič) apsorbiraju fotoni, elektroni budu prebačeni u više energetske stanje ili oslobođeni iz matičnog atoma pa se taj višak transformira u električnu energiju.”[24] Energiju fotona možemo prikazati pomoću Einsteinove relacije (10), te ona iznosi:

$$E = hf = h \frac{c_0}{\lambda} \quad (10)$$

Gdje je:

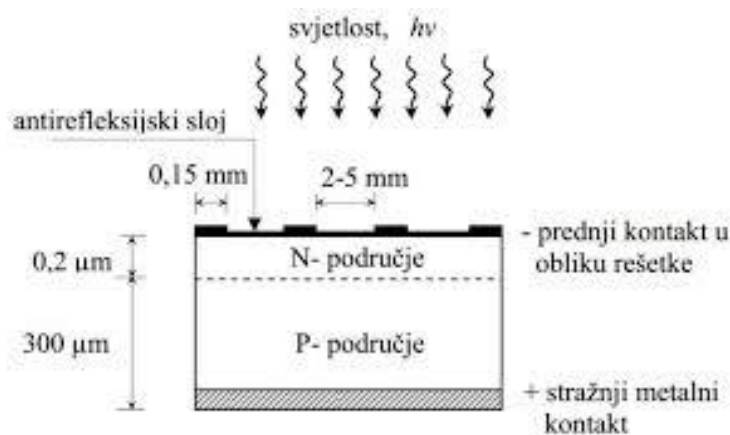
$h$  - Planckova konstanta ( $6,625 \cdot 10^{-34}$  Js)

$f$  - frekvencija elektromagnetskog zračenja, Hz

$c_0$  – brzina svjetlosti ( $3 \cdot 10^8$  m/s)

$\lambda$  – valna duljina, m.

Prema Majdanžiću „Izrada fotoelektričnih ćelija danas se zasniva na monokristaličnom i polikristaličnom siliciju. Ona je debljine od 0,20 do 0,25 mm, te se oblikuje od kristala silicija vrlo visoke čistoće tako da se jedna strana obogaćuje atomima bora, te se ona naziva p-strana, dok se druga strana, n-strana, stvara difuzijom fosfora, pa se takve vrste ćelija nazivaju n-p fotonaponske ćelije. Shema n-p fotonaponske ćelije je prikazana na slici 12.” [25]



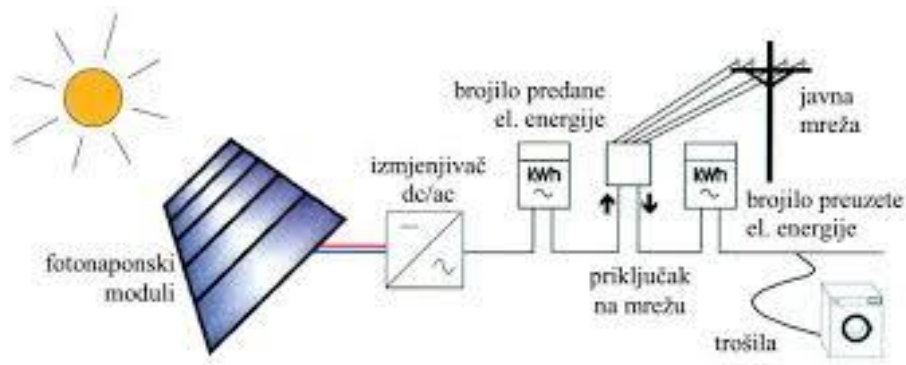
Slika 18. Shema n-p fotonaponske ćelije

Izvor: [24]

Tijekom osvjetljavanja ćelije, apsorbirani fotoni stvaraju parove elektron-šupljina. Ako do apsorpcije dođe daleko od PN-spoja, ti parovi se brzo rekombiniraju. Međutim, kada se apsorpcija dogodi unutar ili blizu PN-spoja, unutarnje električno polje odvaja nastale elektrone i šupljine. Elektroni se kreću prema N-strani, dok se šupljine pomiču prema P-

strani. Kada je ćelija osvijetljena, kontakt na P-dijelu postaje pozitivan, a na N-dijelu negativan. Ako su kontakti ćelije spojeni s vanjskim opterećenjem, kroz njega će teći struja, čime solarna ćelija postaje izvor električne energije.

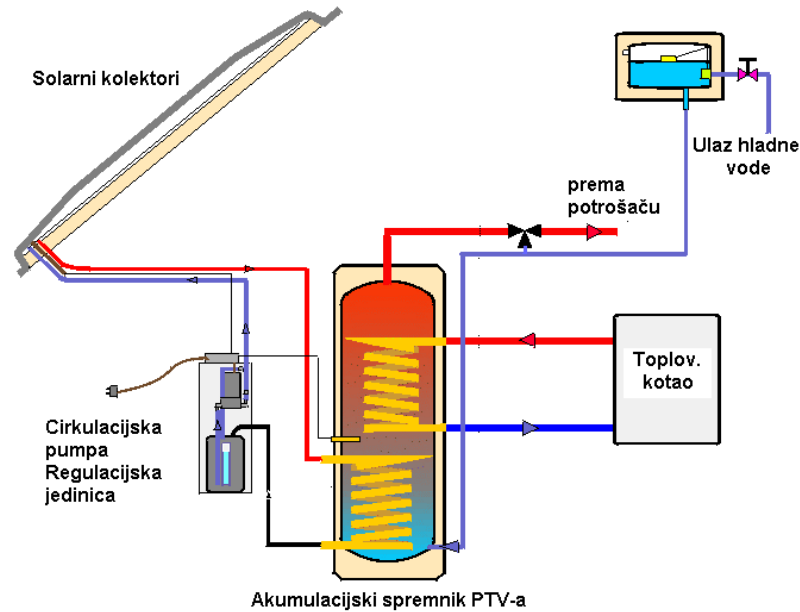
Prema Labudović-u „Razlikujemo dvije vrste fotoelektričnih sustava: sustavi koji su priključeni na javnu mrežu i sustavi koji nisu priključeni na mrežu. Sustavi koji su priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu mogu biti priključeni preko kućne instalacije koja je projektirana, opremljena i izvedena sukladno propisima i pravilima struke. Temeljne komponente ovakvih vrsta sustava su fotonaponski moduli, spojna kutija sa zaštitnom opremom, kabeli istosmjernog razvoda i glavna sklopka za odvajanje, DC/AC inverter, kabeli izmjeničnog razvoda i brojlara predane i preuzete električne energije. Shema opisanog sustava prikazana je na slici 19. Fotoelektrični sustavi koji nisu priključeni na mrežu mogu biti s pohranom energije ili bez nje, ovisno o vrsti primjene i načinu korištenja energije. "[1]



Slika 19. Shema fotonaponskog sustava priključenog na javnu mrežu

Izvor: [26]





Slika 20. Shema sustava sa solarnim kolektorima

Izvor: [27]

#### 4.1.3. Solarne termoelektrane

U usporedbi na konvencionalnu termoelektranu, gdje se toplinska energija dobiva izgaranjem nekog fosilnog goriva, kod solarnih termoelektrana toplinska energija se dobiva iz energije sunčeva zračenja, a zatim se termodinamičkim procesima kao i kod konvencionalnih termoelektrana, dobija mehanička energija koja se transformira u električnu energiju. Solare elektrane koriste energiju toplinskog zračenja Sunca za dobivanje pregrijane pare za pogon turbo-generatora. Za pretvorbu topline u mehaničku energiju koriste se termodinamički procesi kao što su Rankienov, Stirlingov ili Braytonov proces. Termodinamički stupanj djelovanja  $\eta_T$  određuje se pomoću izraza (13):

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (13)$$

Gdje je:

$Q_1$  - toplinska energija ogrjevnog spremnika, J

$Q_2$  - toplinska energija rashladnog spremnika, J

$W$  - rad toplinskog stroja, J.

Kod običnih ravnih kolektora moguće je postići temperature do oko 150 °C. Međutim, to nije dovoljno za rad solarnih termoelektrana. Za postizanje viših temperatura radnog medija potrebnih za efikasan pogon, koriste se koncentrirajući kolektori. Ovi kolektori, uz pomoć zrcala ili leća, fokusiraju Sunčevo zračenje na određenu točku ili područje, što rezultira znatno višim temperaturama.

Ključni faktor za određivanje koncentriranja Sunčevog zračenja, odnosno karakteristika koncentrirajućih kolektora, je omjer koncentriranja. U radu Quaschnig-a i suradnika omjer koncentriranja definiran je kao „Omjer između površine kolektora koji prima Sunčevo zračenje i površine apsorbera koji prima koncentrirano zračenje. Iz toga se može zaključiti kako je omjer koncentriranja za ravni kolektor jednak jedan, dok za koncentrirajuće kolektore može biti u rasponu od 2 do 1000.”[29] Kao mjerilo za karakteristiku koncentrirajućeg kolektora koristimo stupanj djelovanja kolektora ( $\eta_k$ ), koji se dobiva sljedećim izrazom(14):

$$\eta_k = F_R \left( \rho \gamma (\tau \alpha)_{ef} - \frac{\varepsilon \sigma T^4}{R G_b} \right) \quad (14)$$

Gdje je:

$F_R$ - emisijski faktor,

$\rho$  - refleksijski faktor površine reflektora (zrcala),

$\gamma$ - faktor koji određuje koliki dio reflektirane energije od reflektora dođe na apsorber,

$(\tau \alpha)_{ef}$ - efektivni produkt transmisijskog faktora cijevi u kojoj je apsorber i apsorpcijskog faktora apsorbera,

$R$  - omjer koncentriranja kolektora,

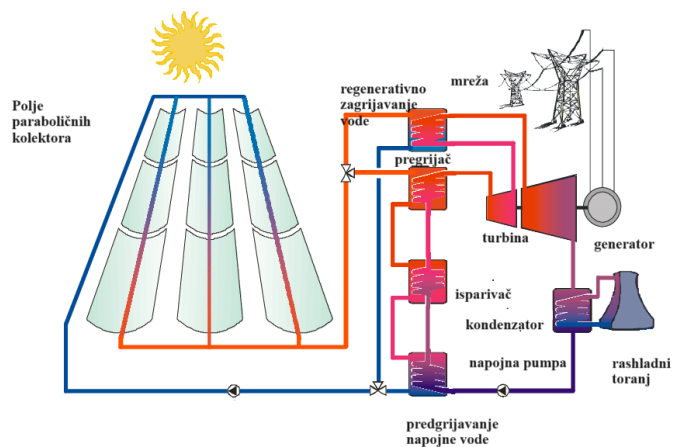
$G_b$  - izravno sunčevo zračenje (W/m<sup>2</sup>K),

$\varepsilon$  - toplinski emisijski faktor apsorbera,

$\sigma$  - univerzalna konstanta zračenja crnog tijela koja iznosi W/m<sup>2</sup>,

$T$  - radna temperatura (K).

Prema Majdanžić-u „Za postizanje većih temperatura radnog medija potreban je veći koncentrirajući omjer. Razvijeno je više sustava solarnih termoelektrana od kojih su najkorišteniji sustavi sa paraboličnim žljebastim kolektorima. Sustav solarnih termoelektrana s paraboličnim kolektorima (slika 18.) koriste duga paralelna zrcala postavljena od istoka prema zapadu koja su savijena u žlijeb i prate Sunce u osi sjever - jug, te se time postiže koncentracija energije Sunca prema cijevi smještenoj u žarištu zrcala kroz koju cirkulira radni medij.”[25]

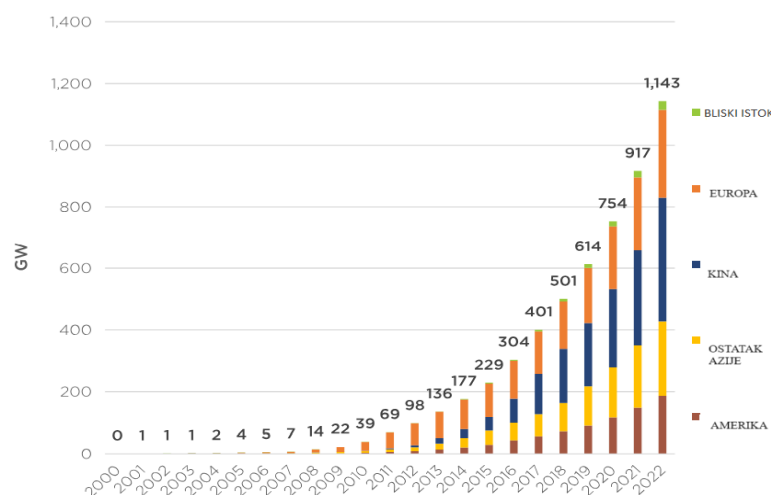


Slika 18. Shema solarne termoelektrane s paraboličnim žljebastim kolektorima

Izvor: [25]

## 4.2. SOLARNA ENERGIJA U SVIJETU

Korištenje solarne energije u svijetu je dobilo zamah pokretanjem programa poticaja u zemljama poput Japana i Njemačke. U početku su se fotoelektrični paneli koristili na krovovima, uglavnom u stambenim područjima. Kasnije se pojavljuje tržište velikih solarnih FE elektrana zbog smanjenja troškova i poticaja. Do 2008. godine instalirani FE kapacitet premašio je 10 GW, te dosegno 100 GW 2013., a 500 GW 2018. godine. Do proljeća 2022. dostignuta je prekretnica od 1000 GW (1 teravat TW). Danas je većina solarnih FE kapaciteta priključena na mrežu. Solarni sustavi značajni su za osiguranje pristupa čistoj, pouzdanoj i pristupačnoj energiji, u skladu s ciljevima održivog razvoja. Njihova važnost dodatno je naglašena zbog nedavnog porasta broja osoba koje nemaju pristup električnoj energiji. Do 2010. godine solarna termalna industrija instalirala je 245 GW(th) rastući sporije nego FE sustavi. Njezin rast tijekom posljednjeg desetljeća bio je znatno sporiji od rasta FE tehnologije, te je njezin kumulativni kapacitet iznosio 542 GW(th) do kraja 2022. godine. Međutim, trenutno je ovaj pristup znatno manje korišten u usporedbi sa solarnom fotoelektričnom tehnologijom i solarnim termalnim grijanjem. Od početka rada prve solarnog FE panela priključenog na mrežu, ovaj kapacitet narastao je na 1.143 GW do kraja 2022. godine, kao što je vidljivo na slici 16.



Slika 21. Proizvodnja električne energije iz solarnih sustava po regijama u razdoblju od 2000 do 2022.

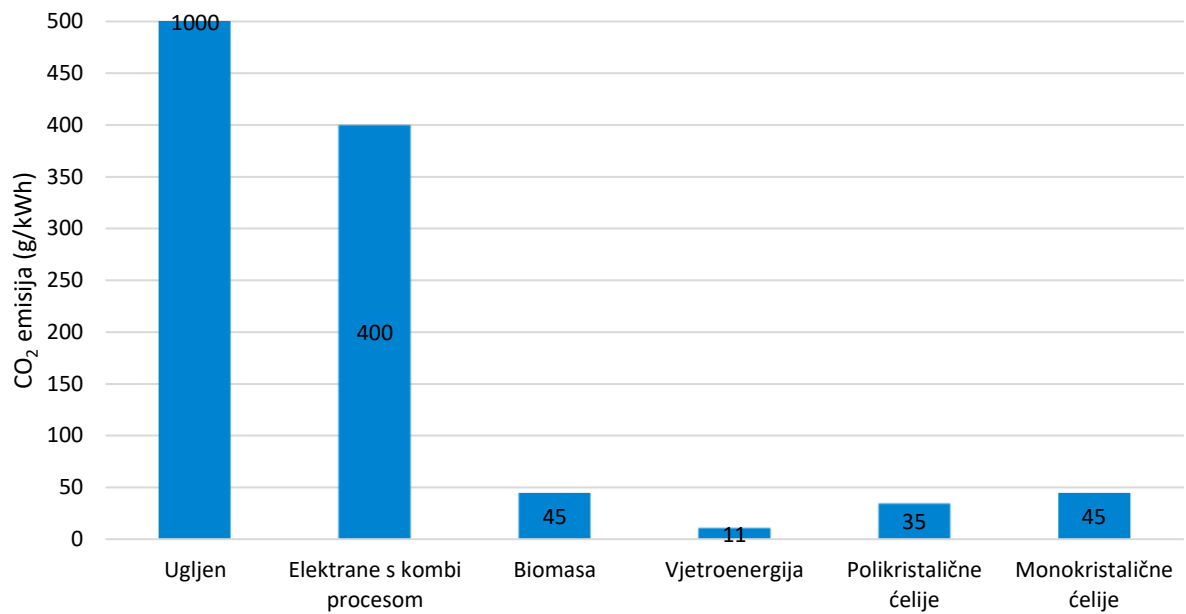
Izvor : [28]

### 4.3. UTJECAJ SOLARNE ENERGIJE NA OKOLIŠ

Solarna energija predstavlja jedan od najčišćih i ekološki najprihvatljivijih izvora energije, no ima i određenih nedostataka. Najveći nedostatak je taj što je instalacija solarnih sustava relativno skupa. Prema Vlahinić Lenz „Tehnička izvedba samih uređaja i postrojenja koja iskorištavaju solarnu energiju ima visoku cijenu, kao i sama izrada solarnih kolektora i fotonaponskih ćelija. Problem u iskorištavanju solarne energije predstavlja i neravnomjerni raspored sunčeva zračenja na planeti Zemlji. Poznato je da lokacije dalje od ekvatora imaju puno više oblačnijih i manje sunčanih dana, što predstavlja ograničenje za uporabu solarnih sustava. Pozitivna strana korištenja solarne energije je što se njezinim korištenjem smanjuje potreba za korištenjem drugih izvora energije koji imaju znatno veći negativni utjecaj na okoliš, no iskoristivost solarnih sustava još uvijek nije na razini kao kod sustava koji koriste druge izvore energije." [3]

Prema Rabaia-u i suradnicima „Fotoelektrični sustavi su poznati po niskim emisijama ugljika ili stakleničkih plinova; za njihov rad nisu potrebna fosilna goriva, iako neki proizvodni procesi još uvijek djelomično ovise o fosilnim gorivima, što utječe na to koliko su fotoelektrični sustavi ekološki prihvatljivi. Nakon proizvodne faze i potpune instalacije, fotoelektrični sustavi su potpuno sigurni za okoliš. Međutim, proizvodnja solarnih ćelija i panela ima određene zdravstvene i ekološke utjecaje. Iako se u proizvodnom procesu štetne i zapaljive tvari koriste u relativno malom količinama, oni mogu i dalje predstavljati okolišne i industrijske rizike. Proces transporta, instalacije i odlaganja FE-modula zahtijevaju značajne količine energije, a nemogu se zanemariti i negativni utjecaji na okoliš." [30]

Proizvodnja fotoelektričnih ćelija, kao i proces proizvodnje poluvodiča, uključuje znatnu uporabu kemikalija poput kiselina i otapala, koje se svrstavaju u kategoriju opasnih i štetnih tvari. Grafikon 4. prikazuje emisije CO<sub>2</sub> tijekom životnog ciklusa konvencionalnih tehnologija opskrbe energijom i nekih obnovljivih izvora energije te ih uspoređuje s monokristaličnim i polikristaličnim tehnologijama. Ukupne emisije iz različitih faza proizvodnje fotoelektričnih ćelija bile su znatno manje od onih iz ugljena i plinskih turbina s kombiniranim ciklusom. Emisije su bile usporedive s onima iz biomase kombiniranom toplinom i energijom (CHP).



**Grafikon 4. Usporedba emisije stakleničkih plinova Fotonaponskih ćelija i drugih tehnologija za dobivanje električne energije**

Izvor: Izradio student prema: [3]

## 5. UDIO OBNOVLJIVIH IZVORA U ENERGETSKOJ BILANCI REPUBLIKE HRVATSKE

Statistički podaci pokazuju kako je udio obnovljivih izvora u Hrvatskoj velik, čak i veći od ponekih zapadno europskih zemalja. Dobri statistički pokazatelji temelje se ponajprije na velikom udijelu proizvodnje energije iz hidroelektrana i na značajnoj potrošnji ogrijevnog drva. Ukoliko se uzme u obzir povoljan geografski položaj Hrvatske i prirodni resursi kojima raspolaže, još uvijek potencijali Hrvatske u pogledu iskorištavanja energije iz obnovljivih izvora nisu u potpunosti iskorišteni. Ponajprije, iskorištavanje sunčeve energije, koja je ograničena uglavnom na kućanstva i manje ugostiteljske objekte, dok solarnih termoelektrana gotovo da i nema. Najveći dio solarnih sustava je postavljen u priobalnom području, dok su u ostalim dijelovima Hrvatske rijetki. U pogledu vjetroelektrana, njihova implementacija u energetske sustav Hrvatske je doživjela porast u posljednjih deset godina, no prva vjetroelektrana je izgrađena tek u proljeće 2002. godine. Provođenjem politike održivog razvoja, obnovljivi izvori energije postaju sve značajniji u ukupnoj opskrbi energijom Republike Hrvatske. Bitan faktor za proizvodnju električne energije su instalirani kapaciteti koji su prikazani u tablici 5. S povećanjem instalirane snage povećana je i proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora, te je njihov udio u ukupnoj proizvodnji u 2022. godini je iznosio 63,6 posto.

**Tablica 4. Instalirani kapaciteti za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora u Republici Hrvatskoj u protekloj godini**

Vrsta izvora	Instalirani kapacitet
Vodne snage	2.203
Vjetar	987
Sunce	222

Izvor: Izradio student prema [38]

U ovom dijelu rada fokus će biti na proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora, kao što su energija vode – hidroelektrane, energija vjetra – vjetroelektrane i energija sunca – solarne elektrane. Navedena postrojenja su odabrana iz razloga što imaju najveći doprinos na energetske bilancu Hrvatske, u pogledu obnovljivih izvora.

## **5.1. HIDROENERGIJA U HRVATSKOJ**

U Hrvatskoj se planiraju nova ulaganja i povećanje udjela korištenja obnovljivih izvora iz vodnih snaga. Početak elektroenergetskog korištenja energije vode započeo je izgradnjom HE Jaruga na rijeci Krki. Najveći broj hidroelektrana je izgrađen nakon Drugog svjetskog rata snage veće od 10 MW, njih 16, od kojih se ističu HE Vinodol snage 84 MW, te HE Lešće snage 41,8 MW, koja je dovršena 2010. godine. Time danas Hrvatska u svom sastavu ima 18 velikih hidroelektrana, 8 malih, te još 6 malih koji su izvan sastava Hrvatske elektroprivrede d.d. (HEP). Najveći broj je akumulacijskih hidroelektrana, njih 11, protočnih je 7, dok je reverzibilnih 3. Reverzibilne hidroelektrane imaju mogućnost skladištenja viška energije, proizvedene preko noći za vrijeme male potražnje. Navedeni viškovi se mogu iskoristiti idući dan kada je potražnja veća, te tako reverzibilne elektrane predstavljaju obnovljivi izvor energije. Ukupna instalirana snaga velikih hidroelektrana u Hrvatskoj iznosi 2.199 MW.



**Tablica 5. Proizvedena električna energija u hidroelektranama u Hrvatskoj od 2018. do 2022.g.**

Naziv elektrane	Raspoloživa snaga u MW	Proizvedena električna energija u GWh				
		2018.	2019.	2020.	2021.	2022.
<b>Akumulacijske</b>						
HE Zakučac	538,0	1.892,5	1.665,2	1.661,0	1 880,1	1 260,9
HE Orlovac	237,0	421,0	323,2	305,7	470,4	258,4
HE Senj	216,0	994,7	1008,6	800,4	792,5	655,6
HE Dubrovnik	235,0	1.537,1	45,5	811,6	1.202,4	1 153,0
HE Vinodol	90,0	139,6	144,2	112,7	152,3	119,8
HE Kraljevac	46,4	63,9	54,7	47,3	59,4	46,6
HE Peruća	61,2	160,1	130,9	102,0	137,1	114,4
HE Đale	40,8	153,8	129,8	93,4	146,0	103,0
HE Sklope	22,5	86,4	82,4	29,7	34,0	48,3
<b>Ukupno</b>	<b>1.485,7</b>	<b>5.449,1</b>	<b>3.584,5</b>	<b>3.463,8</b>	<b>4.874,3</b>	<b>3.760,0</b>
<b>Protočne</b>						
HE Varaždin	94,6	486,8	455,2	514,3	487,7	311,5
HE Čakovec	77,4	404,8	385,5	446,2	407,5	265,0
HE Dubrava	79,8	401,5	394,4	458,7	402,9	268,2
HE Gojak	56,0	192,7	208,2	154,0	209,0	181,1
HE Rijeka	36,8	90,2	97,5	83,4	86,8	71,9
HE Miljacka	20,0	106,3	101,5	88,0	99,6	90,1
HE Lešće	42,2	80,8	88,8	62,2	89,6	80,4
<b>Ukupno</b>	<b>405,3</b>	<b>1.763,1</b>	<b>1.731,1</b>	<b>1.806,8</b>	<b>1.783,1</b>	<b>1.268,2</b>
<b>Crpne</b>						
RHE Velebit	270/(-240)	454,3	498,7	437,8	451,0	422,1
RHE Fužine	4,6/(-5,7)	3,5	2,9	2,7	4,5	3,5
RHE Lepenica	0,8/(-1,2)	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4
<b>Ukupno</b>	<b>275,4</b>	<b>458,3</b>	<b>502,0</b>	<b>440,9</b>	<b>456,1</b>	<b>426,0</b>
<b>Male HE</b>	<b>34,3</b>	<b>114,4</b>	<b>115,0</b>	<b>98,9</b>	<b>115,2</b>	<b>119,6</b>
<b>UKUPNO</b>	<b>2.199,7</b>	<b>7.784,9</b>	<b>5.932,6</b>	<b>5.810,4</b>	<b>7.228,7</b>	<b>5.573,7</b>

Izvor: [37]

Prema istraživanju Jerkić-a, Ukoliko se iskoristivost hidroenergetskog potencijala povezuje s lokacijom HE, vidljivo je da najveći iskorišteni riječni potencijal imaju rijeke Cetina, od 2,75 TWh/god, Drava, od 1,23 TWh/god i rijeke Lika i Gacka, od 1 TWh/god. Redoslijed izgradnje hidroelektrana tempira se prema kriteriju minimiziranja ulaganja uz maksimiziranje snage i proizvodnje, kao i višestrukom iskorištavanju vodnih resursa na pojedinim vodotocima kroz izgradnju vodnih stepenica. Na svim hrvatskim vodotocima je ukupno tehnički iskorišteno 12,5 TWh, što je zadovoljavajuća brojka, s obzirom da sveukupni potencijal vodotoka Hrvatske se kreće između 3700 i 4250 MW. Lokacije iskorištenja vodotoka Hrvatske i izgradnje hidroelektrana su prikazani na slici 22. [31]



Slika 22. Lokacije hidroelektrana u Hrvatskoj

Izvor: [31]

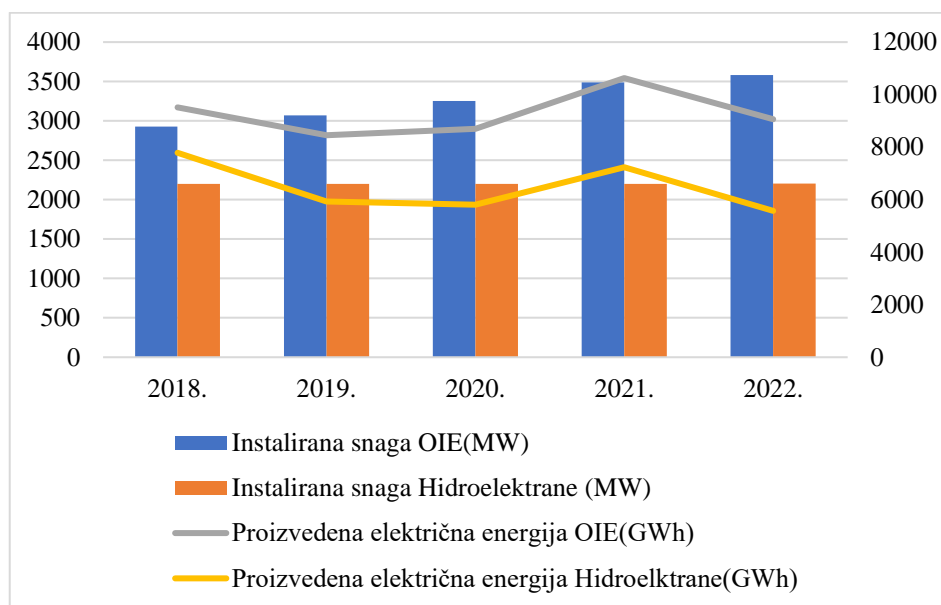
### 5.1.1. Doprinos hidroelektrana energetske bilanci Repulike Hrvatske

Za uvid u doprinos hidroelektrana energetske bilanci i korištenje hidropotencijala u Hrvatskoj u Tablici 7. prikazani su podaci za proizvodnju sveukupne električne energije, kao i dobivene energije iz obnovljivih izvora i hidroelektrana u razdoblju od 2018. Do 2022. godine.

### Tablica 6. Instalirana snaga i proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora i hidroelektrana

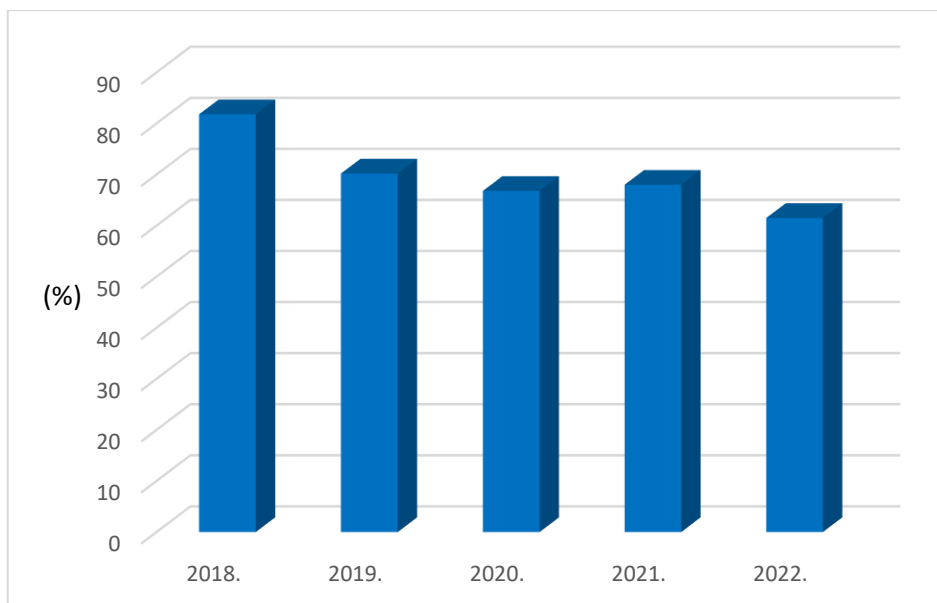
Godina	Instalirana snaga		Proizvedena električna energija		Udio proizvedene el. energije iz HE u proizvodnji iz OIE(%)
	Obnovljivi izvori energije (MW)	Hidroelektrane(MW)	Obnovljivi izvori energije (GWh)	Hidroelektrane (GWh)	
2018.	2.928,3	2.199,5	9.510,4	7.784,9	81,8
2019.	3.068,2	2.199,7	8.453,0	5.932,6	70,2
2020.	3.254,5	2.199,4	8.698,5	5.810,4	66,8
2021.	3.490,0	2.200,5	10.628,9	7.228,7	68,0
2022.	3.582,8	2.203,4	9.064,9	5.573,7	61,5

Izvor: Izradio student prema [33, 34, 35, 36, 37]



Izvor: Izradio student prema [33, 34, 35, 36, 37]

**Grafikon 5. Instalirana snaga i proizvodnja električne energije u hidroelektranama i drugim OIE**



Izvor: Izradio student prema [33, 34, 35, 36, 37]

### **Grafikon 6. Prikaz udjela proizvedene električne energije iz hidroelektrana u odnosu na OIE**

U Hrvatskoj je, kao što je prikazano u podacima, u 2022. godini proizvedeno 9.064,9 GWh električne energije iz obnovljivih izvora, od čega čak 5.573,7 GWh iz hidroelektrana, što čini udio od 61,5%. Podaci pokazuju da hidroenergija predstavlja najveći i najiskorišteniji izvor za proizvodnju električne energije od svih obnovljivih izvora u promatranom periodu. Udio proizvedene energije iz hidroelektrane se povećava i smanjuje proporcionalno s ukupnom proizvodnjom iz obnovljivih izvora, iz čega proizlazi da se Hrvatska većinom oslanja na svoj hidropotencijal. Međutim, pitanje je li on u potpunosti iskorišten. Kako bi se ukazalo na značaj hidropotencijala i hidroelektrana u proizvodnji električne energije i energetske bilanci Hrvatske, u Tablici 8. su prikazani podaci proizvodnje električne hidroelektrana u odnosu na sveukupnu proizvodnju električne energije iz svih izvora.

**Tablica 7. Usporedba ukupne proizvodnje EE iz svih OIE s EE proizvedenom u hidroelektranama**

<b>Godina</b>	<b>OIE (GWh)</b>	<b>Hidroelektrane (GWh)</b>	<b>Ukupna proizvodnja EE (GWh)</b>	<b>Udio hidroelektrana u ukupnoj proizvodnji EE (%)</b>
<b>2018.</b>	9.510,4	7.784,9	13 631,7	57,1
<b>2019.</b>	8.453,1	5.932,6	12.760,1	46,5
<b>2020.</b>	8.698,5	5.810,4	13.385,3	43,4
<b>2021.</b>	10.628,9	7.228,7	15.210,4	47,5
<b>2022.</b>	9.064,9	5.573,7	14.220,5	39,2

Izvor: Izradio student prema [33, 34, 35, 36, 37]

Iz podataka u tablici, izrađenoj prema izvještajima o energiji za razdoblje od 2018. do 2022. godine, Vuk-a i suradnika, je vidljivo kako je u 2022. godini ukupno proizvedeno 14.220,5 GWh električne energije iz svih izvora. U obzir su uzeti podaci i proizvodnje energije iz obnovljivih izvora, kao što je prije svega Nuklearna elektrana Krško, te termoelektrane na ugljen, prirodni plin, i termoelektrane koje koriste loživa ulja. Pored navedenih termoelektrana u obzir su uzeti i udjeli iz ostalih obnovljivih izvora kao što su vjetroelektrane, solarne elektrane, geotermalni izvori, te termoelektrane na biomasu i biopljin. Uz sve navedene izvore, udio proizvedene energije iz hidroelektrana je iznosio 39%, dok je u predhodnim godinama bio i preko 40%, iz navedenog proilazi kako Hrvatska u praksi provodi direktive Europske Unije kojima je cilj da korištenje obnovljivih izvora energije u ukupnoj proizvodnji bude preko 50%. No, ipak s obzirom na izrazito veliki hidropotencijal i veliki broj izgrađenih hidroelektrana koje Hrvatska ima u svom energetsom sastavu, taj broj bi mogao biti i veći. [33] [34] [35] [36] [37]

### **5.1.2. Stupanj iskorištenja hidroelektrana**

Ukoliko se promatra učinkovitost i iskorištavanje potencijala hidroelektrana u Hrvatskoj, u obzir uzimamo instaliranu snagu i stupanj iskorištenja. Prema Tehničkoj enciklopediji „Instalirana snaga je glavno obilježlje svake elektrane, te se definira kao

aritmetička suma nazivnih snaga generatora mjerenih na stezaljkama generatora. Instaliranu snagu time smatramo nazivnom snagom elektrane. Stupnjem iskorištenja smatra se omjer ukupno proizvedene električne energije u promatranom vremenskom razdoblju i instalirane snage elektrane." [32]

Globalni trendovi usmjereni su na smanjenje rasta instaliranih kapaciteta tradicionalnih elektrana. U Republici Hrvatskoj, instalirane snage konvencionalnih elektrana stagniraju ili se ostvaruju samo manje nadogradnje određenih tehnologija. Hidroelektrane imaju najveću instaliranu snagu u Hrvatskoj u odnosu na sve ostale energetske sustave. Doprinos proizvodnji električne energije iz hidroelektrana u Republici Hrvatskoj se mogu izraziti pomoću stupnja iskorištenja. Stupanj iskorištenja se dobiva putem izraza(15). Navedeni izraz se može koristiti i za izračun stupnja iskorištenja energetskih sustava na druge obnovljivi izvore (vjetar, Sunce):

$$n = \frac{W_{god}}{8760 \cdot P_i} \quad (15)$$

gdje je:

$W_{god}$  - ukupna električna energija proizvedena u promatranjoj godini,

$P_i$  – instalirana snaga elektrane.

**Tablica 8. Stupnjevi iskorištenja hidroelektrana**

Godina	Stupanj iskorištenja %
2018.	40,4
2019.	30,7
2020.	30,1
2021.	37,5
2022.	28,8

Izvor: Izradio student

U tablici 9. su prikazani faktori iskorištenja hidroelektrana, izračunati prema izrazu (15), u koji su uneseni podaci za instaliranu snagu i godišnju proizvedenu električnu energiju iz godišnjeg energetskeg pregleda Energije u Hrvatskoj 2022.[37]

S obzirom da proizvodnja električne energije u različitim elektranama iste instalirane snage nije jednaka, faktor iskorištenja daje informaciju kolika je količina energije koja se dobila proizvelo u elektranama u odnosu na energiju koja bi se mogla dobiti u scenariju u kojem elektrana čitavo vrijeme radi pri maksimalnoj snazi. Primjetan je pad u faktorima iskorištenja u odnosu na protekle godine, izrazito kod akumulacijskih i crpno akumulacijskih hidroelektrana, što je posljedica zadovoljavanja energetske potreba iz drugih izvora i manjoj proizvodnji električne energije u odnosu na proteklo razdoblje. Velik broj hidroelektrana u Hrvatskoj ima duži životni vijek, te zahtjevaju nadogradnje i obnovu postojeće tehnologije, kao i implementaciju novih. Razlog pada faktora iskorištenja se može pripisati i velikom korištenju konvencionalnih elektrana, kao što je Nuklearna elektrana Krško. Ona godišnje proizvodi oko 5.300 GWh električne energije, te 50% proizvedene energije iz NE Krško pripada Hrvatskoj, što bi činilo oko 2.600 GWh, odnosno učinak od 12% u zadovoljanje energetske potreba u odnosu na sve ostale izvore. Također, veliki je skok u razvoju korištenja vjetroelektrana, koje su doživjele najveći porast u instaliranoj snazi tijekom proteklih godina, kao i solarne elektrane. Krivca za pad stupnjeva iskorištenja hidroelektrana moguće je pronaći i u klimatskim promjenama. Svjedoci smo velikih promjena u proteklo razdoblje, pod utjecajem globalnog zatopljenja. Temperature rastu iz godine i godinu, što rezultira povećanjem sušnih razdoblja. Takvi scenariji stvaraju loše hidrološke prilike koje otežavaju rad hidroelektranama, što je jedan dodatan razlog za navedeni pad i implementaciju drugih obnovljivih izvora u energetske sektor.

Dodatni način na koji se može prikazati učinkovitost instalirane snage hidroelektrana u proizvodnji električne energije jest putem izračuna trajanja iskorištenja hidroelektrana. U tablici 9. izračunati su radni sati trajanja iskorištenja hidroelektrana u posljednjih 5 godina. Za metodu izračuna su uzimani ostvareni podaci o instaliranoj snazi i proizvodnji električne energije, te je izračun trajanja iskorištenja hidroelektrana dobiven putem izraza (16). Navedeni izraz se može koristiti i za izračun trajanja iskorištenja energetske sustava na druge obnovljivi izvore (vjetar, Sunce).

$$T = 2 \cdot \frac{W_i}{P_i + P_{i-1}} \quad (16)$$

Gdje je :

$W_i$  – godišnja proizvodnja HE u i-toj godini

$P_i$  – instalirana snaga hidroelektrana na kraju i-te godine

$P_{i-1}$  – instalirana snaga hidroelektrana na kraju (i-1)-ve godine.

**Tablica 9. Trajanje iskorištenja hidroelektrana u razdoblju od 2018. do 2022. g.**

Godina	W(GWh)	P(MW)	T(h/god)
2018.	2.199,5	7.784,9	3.534,0
2019.	5.932,6	2.199,7	2.697,0
2020.	5.810,4	2.199,4	2.641,0
2021.	7.228,7	2.200,5	3.286,0
2022.	5.573,7	2.203,4	2.532,0

Izvor: Izradio student

U obzir treba uzeti i određene faktore koji znatno utječu na rad hidroelektrana i na broj radnih sati, te potrebe za električnom energijom. Hidrološke prilike su jedan od najutjecajnijih čimbenika na broj radnih sati hidroelektrane.

### 5.1.3. Potencijal i plan iskorištenja hidroenergije u Hrvatskoj

Gledajući geografsku veličinu Hrvatske, moguće je zaključiti kako s obzirom na veliki broj rijeka i vodotoka naspram malu geografsku površinu zemlje, Hrvatska ima izrazito veliki hidropotencijal. U tablici 10. su prikazani tehnički hidro potencijali Hrvatske. Prema tablici 10. uspoređujući ukupni hidropotencijal RH, koji iznosi između 3700 i 4250 MW s installiranom snagom hidroelektrana u 2022. Godini koja je iznosila 2.203,4 MW i iz kojih je proizvedeno 5.573,7 GWh električne energije. Vidljivo je i moguće je zaključiti kako Hrvatska u dobroj mjeri iskorištava svoj hidropotencijal.



**Tablica 10. Potencijali vodotoka Hrvatske**

<b>Vrste vodotoka</b>	<b>Potencijali vodotoka (MW)</b>
<b>Veliki vodotoci (Velike HE &gt; 10 MW)</b>	3500 – 4000
<b>Mali vodotoci (Male HE &lt;= 10 MW)</b>	200 – 250
<b>Potencijal vodotoka- ukupno</b>	3700 – 4250

Izvor: Izradio student prema [1]

Prema podacima prikazanim u Strategiji energetskeg razvoja RH do 2030. s prognozama razvoja do 2050. koju je donio Hrvatski sabor na prijedlog Vlade Republike Hrvatske prikazana su dva moguća scenarija. Unatoč gradnji novih hidroelektrana i apsolutnom povećanju njihove proizvodnje, udio hidroelektrana u domaćoj proizvodnji opada. S razine od 46,0 % u 2017. godini, udio proizvodnje hidroelektrana opada na 44,0 % u 2030. i na 32,3 % u 2050. godini u scenariju S2 i na 41,8 % u 2030. i na 33,1 % u 2050. godini u scenariju S1. Potrebno je dodati i da njihov udio može značajno varirati ovisno o hidrološkim prilikama pojedine godine. Udio proizvodnje električne energije iz hidroelektrana u ukupnoj proizvodnji električne energije iz OIE smanjit će se sa 24,1% u 2017. godini na 22,3% u 2030. godini i na 20,7% do 2050. godine u scenariju S2 te na 23,3% u 2030. godini i na 22,9% do 2050. godine u scenariju S1. [38]

## 5.2. VJETROENERGIJA U HRVATSKOJ

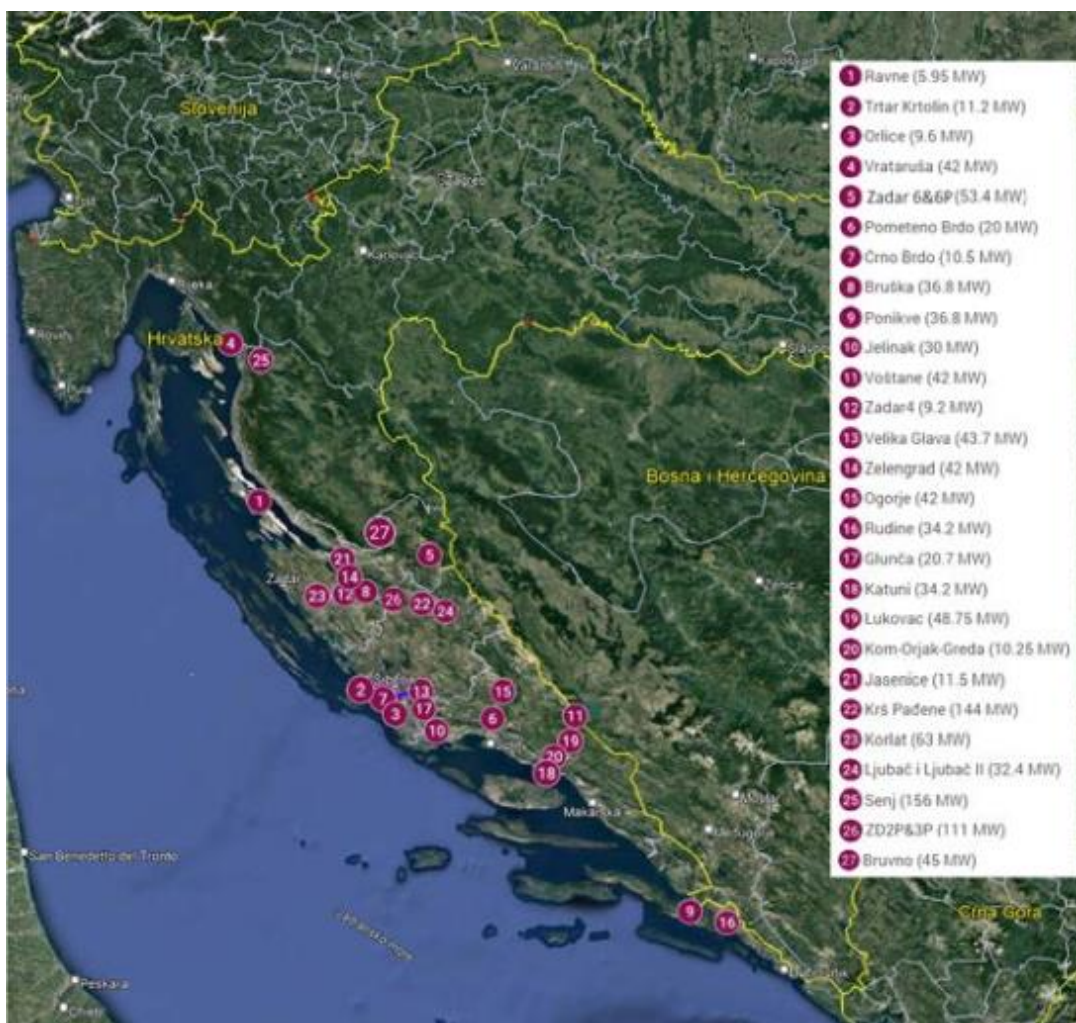
Provođenjem višegodišnjih reformi u svrhu sve veće integracije obnovljivih izvora energije u elektroenergetski sustav, gradnja vjetroelektrana u Hrvatskoj doživjela je zamah i dosegla vrijednosti koje donose značajan doprinos u proizvodnji električne energije. U budućnosti se očekuje kako će ta uloga nastaviti rasti. Ispravna integracija u elektroenergetski sustav, uz istovremeno očuvanje sigurnog i stabilnog rada, predstavlja značajan izazov za Hrvatskog operatora prijenosnog sustava i cijeli energetska sektor. U Hrvatskoj je u 2023. Godini u redovnom pogonu bilo 25 vjetroelektrana, s ukupnom instaliranom snagom od 834,15 MW. Početak korištenja vjetroenergije u Hrvatskoj počinje relativno kasno, prva vjetroelektrana je puštena u rad 2004. Godine (VE Ravne).

**Tablica 11. Vjetroelektrane u Hrvatskoj**

Vjetroelektrana	Odobrena snaga (MW)	U pogonu od	Napon priključenja (KW)
VE Ravne	5,95	Prosinca 2006.	10
VE Trlat-Krtolin	11,2	Prosinca 2007.	30
VE Orlice	9,6	Lipnja 2009.	30
VE Vrataruša	42	Srpnja 2009.	110
VE Crno Brdo	10	Ožujka 2011.	10
VE ZD 2	18	Studenog 2011.	110
VE ZD 3	18	Studenog 2011.	110
VE Pometeno Brdo	20	Studenog 2011.	110
VE Ponikve	34	Listopada 2012.	110
VE Jelinak	30	Prosinca 2012.	110
VE ST 1-2 Kamensko	20	Lipnja 2013.	110
VE ST 1-1 Voštane	20	Lipnja 2013.	110
VE ZD 4 faza I.	9,2	Srpnja 2013.	10
VE Velika Glava, Bubrig i Crni Vrh	43	Prosinca 2013.	110
VE Zelengrad – Obrovac	42	Ožujka 2014.	110
VE Ogorje	44	Srpnja 2015.	110
VE Rudine	35	Srpnja 2015.	110
VE Katuni	39	Studenog 2016.	110
VE Glunča	22	Listopada 2016.	110
VE ZD 6P + ZD6	54	Lipnja 2017.	110
VE Lukovac	48	Srpnja 2017.	110
VE Kom-Orjak-Greda	10	Studenog 2018.	35
VE Krš Pađene	142	Srpnja 2019.	220
VE Jasenice	10	Kolovoza 2019.	35
VE Korlat	58	Ožujka 2020.	110

Izvor: Izradio student prema [38]

Prema Ivanković-u i suradnicima „Jedna od specifičnosti integracije vjetroelektrana u Hrvatskoj je njihova mala međusobna udaljenost. Najveća udaljenost između dviju vjetroelektrana iznosi oko 300 km, dok je 19 od ukupno 22 vjetroelektrane koje čine 81% ukupno instalirane snage VE, izgrađeno na području sličnih vjetrorenih prilika. Na sveukupnu proizvodnju i rad vjetroelektrana, te posljedično i na upravljanje elektroenergetskog sustava veliki utjecaj ima izražena promjenjivost smjera i brzine vjetra.”[39]



Slika 23. Lokacije vjetroelektrana u Hrvatskoj

Izvor: [38]

Ispravna integracija vjetroelektrana u elektroenergetski sustav je vrlo važna iz razloga što je kod priključka u sustav potrebno voditi računa o brojnim faktorima. Prvi faktor na koji je potrebno obratiti pozornost je vjetropotencijal lokacije na kojoj se gradi vjetroelektrana. Najveći vjetropotencijal imaju primorska i gorska Hrvatska, gdje je locirana i većina dosadašnjih vjetroelektrana (Slika 23). Vjetar koji je konstantan i odgovarajuće brzine nužan je za optimalan rad vjetroelektrana zbog stabilnog rada elektroenergetskog

sustava. Pouzdana prognoza vjetra za dovoljno vremena unaprijed vrlo je značajna za planiranje proizvodnje.

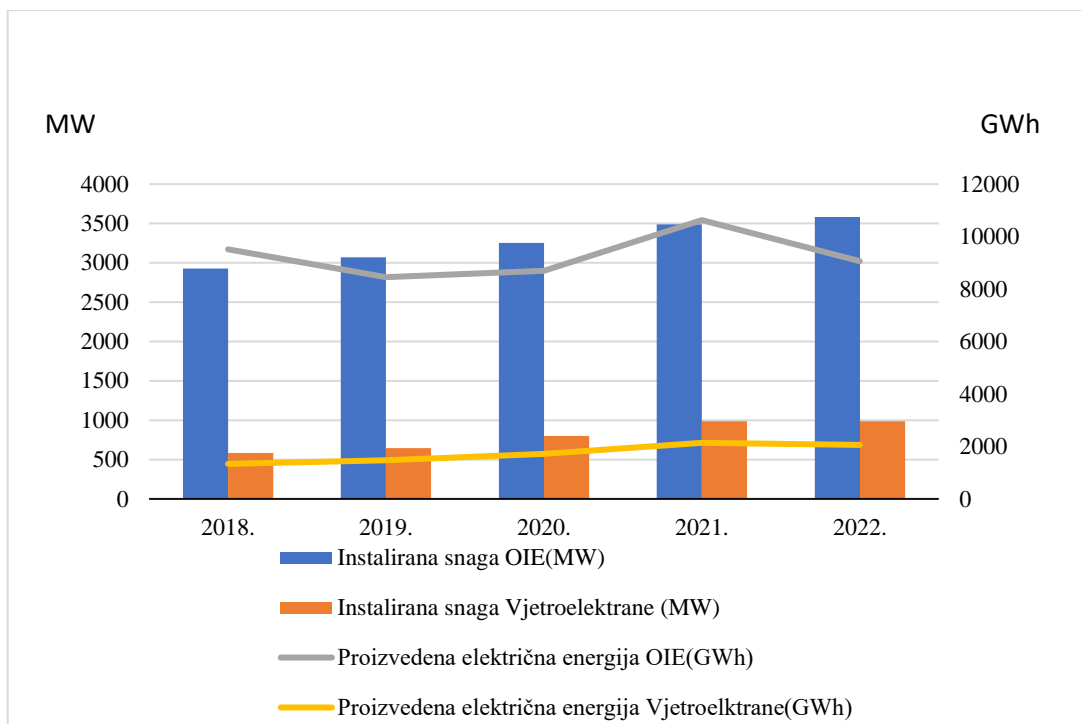
### 5.2.1. Doprinos vjetroelektrana energetskej bilanci Republike Hrvatske

Za prikazivanje kolika je uloga i utjecaj vjetroelektrana i iskorištavanja vjetroenergije u Hrvatskoj na sveukupnu energetskej bilanci Republike Hrvatske i proizvodnju električne energije prikazani su podaci za proizvodnju sveukupne električne energije. U tablici 12 je prikazana usporedba dobivene energije iz obnovljivih izvora i vjetroelektrana u razdoblju od 2018. do 2022. godine.

**Tablica 12. Instalirana snaga i proizvedena električna energija iz vjetroelektrana i obnovljivih izvora od 2018. do 2022.**

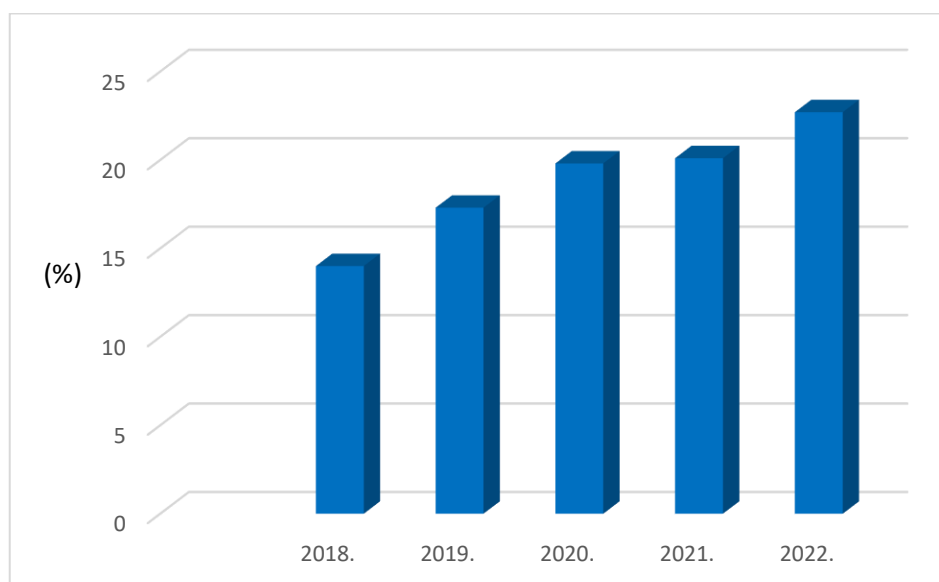
Godina	Instalirana snaga		Proizvedena električna energija		Udio proizvedene el. energije iz VE u proizvodnji iz OIE (%)
	OIE (MW)	Vjetroelektrane (MW)	OIE (GWh)	Vjetroelektrane (GWh)	
2018.	2.928,3	586,3	9.510,4	1.335,4	14,0
2019.	3.068,2	646,3	8.453,0	1.467,3	17,3
2020.	3.254,5	801,3	8.698,5	1.720,7	19,8
2021.	3.490,0	986,9	10.628,9	2.137,8	20,1
2022.	3.582,8	986,9	9.064,9	2.061,8	22,7

Izvor: Izradio student prema [33,34,35,36,37]



Izvor: Izradio student prema [33,34,35,36,37]

**Grafikon 7. Usporedba instalirane snage i proizvedene električne energije iz vjetroelektrana i obnovljivih izvora**



Izvor: Izradio student prema [33,34,35,36,37]

**Grafikon 8. Prikaz udjela proizvodnje vjetroelektrana u odnosu na obnovljive izvore energije**

U Hrvatskoj je, kao što je vidljivo iz podataka u 2022. godini, iz vjetroelektrana proizvedeno 2.061,8 GWh, što čini udio od 22,7%. Iz podataka proizlazi da vjetroenergija predstavlja jedan od najvećih izvora za proizvodnju električne energije u Hrvatskoj, nakon hidroelektrana i termoelektrana na prirodni plin. Preko podataka iz proizvodnje vjetroelektrana moguće je još jednom potvrditi činjenicu da Hrvatska se okreće zelenoj politici i nastoji provoditi politiku niskougljične proizvodnje i smanjenja emisije stakleničkih plinova. Integracija vjetroelektrana u elektro-energetski sustav se povećava iz godine u godinu. Kako bi dodatno prikazali navedeni porast implementacije vjetroelektrana u energetski sustav Hrvatske, u tablici 14. su prikazani podaci o proizvodnji električne energije iz vjetroelektrana u odnosu na sveukupnu proizvodnju električne energije iz svih izvora. Vidljivo je da udio proizvodnje vjetroelektrana raste, te je dovoljno usporediti činjenicu da je u 2022. godini on iznosio 14,4% od ukupno proizvedene energije, dok je 10 godina ranije taj udio iznosio samo 2%.

**Tablica 13. Usporedba ukupne proizvodnje električne energija s proizvodnjom iz obnovljivih izvora i vjetroelektrana**

<b>Godina</b>	<b>OIE (GWh)</b>	<b>Vjetroelektrane (GWh)</b>	<b>Ukupna proizvodnja energije (GWh)</b>	<b>Udio proizvedene energije vjetroelektrana u ukupnoj proizvodnji energije (%)</b>
2018.	9.510,4	1.335,4	13.631,7	9,8
2019.	8.453,0	1.467,3	12.760,1	11,5
2020.	8.698,5	1.720,7	13.385,3	12,8
2021.	10.628,9	2.137,8	15.210,4	14,0
2022.	9.064,9	2.061,8	14.220,5	14,4

Izvor: Izradio student prema [33,34,35,36,37]

## 5.2.2. Stupanj iskorištenja vjetroelektrana

Ukoliko se promatra učinkovitost i iskorištavanje vjetropotencijala u Hrvatskoj, kao i kod hidroelektrana u obzir uzimamo instaliranu snagu elektrana i stupanj iskorištenja. Prirast instaliranih snaga vjetroelektrana u Hrvatskoj u posljednjih 10 godina je doživio veliki porast. Navedena činjenica je izrazito bitna iz razloga što je elektroenergetski sustav Hrvatske okarakteriziran sa: visokim udjelom hidroenergije, visokom stopom uvoza i visokim omjerom maksimalnog i minimalnog opterećenja (3:1), i potrebom za većim brojem elektrana u sustavu uz slabije iskorištenje. Prednost koje vjetroelektrane imaju u odnosu na ostale izvore energije, kao što su hidro i solarne elektrane je broj vjetrovitih dana na odabranim lokacijama i relativno visok stupanj djelovanja od približno 34%. Doprinos vjetroelektrana u proizvodnji električne energije u Republici Hrvatskoj se može izraziti prikazom stupnja iskorištenja prema jednažbi(15), te je prikazan u tablici 15.

**Tablica 14. Stupnjevi iskorištenja vjetroelektrana u Hrvatskoj**

Godina	Stupanj iskorištenja [%]
2018.	26,0
2019.	25,9
2020.	24,5
2021.	24,7
2022.	23,8

Izvor: Izradio student

Iz tablice je vidljivo kako stupanj iskorištenja nije toliko velik, te je vrlo promjenjiv. Razlog tome može se pripisati prirodnoj nestabilnosti vjetra, koja je stohastička. Pojava vjetra ne ovisi o faktoru koji bi se periodički ponavljao i ima visoki stupanj odstupanja od prosječne veličine. Statistički gledano proizvodnja električne energije iz vjetroelektrana iznosi oko 22%, u odnosu na ostale obnovljive izvore energije. Današnja tehnologija dopušta da se lopatice agregata okreću samo kada je brzina vjetra iznad 6 m/s i ispod 25 m/s. Režim rada vjetroagregata u ovisnosti o brzini vjetra mijenja se tako da je:

- do 3 m/s, generator isključen s mreže
- od 3 m/s do 13-15 m/s, snaga je proporcionalna brzini vjetra na treću potenciju

- od 15-17 m/s do 25 m/s, snaga je jednaka nazivnoj uz blagi pad na nešto manje od 90%
- od 25 m/s, generator isključen s mreže [1]

Iz tog razloga trajanje iskorištenja instalirane snage, koji je jedan od bitnih parametara za prikaz učinkovitosti instalirane snage vjetroelektrana u proizvodnji električne energije je vrlo skromno. U tablici 16. je prikazano trajanje iskorištenja instalirane snage vjetroelektrana za posljednjih 5 godina, izračunato prema jednažbi (15). Vidljivo je da je trajanje iskorištenja instalirane snage vjetroelektrana u 2022. godini iznosilo 2089 h/god, iz čega proizlazi da bi vjetroelektrane pri radu s nazivnom snagom isporučile ukupnu godišnju količinu energije za približno 3 mjeseca. Slikovito je moguće reći kako vjetroelektrane rade svaki četvrti dan punom snagom, a tri dana miruju, no u stvarnosti to nije slučaj.

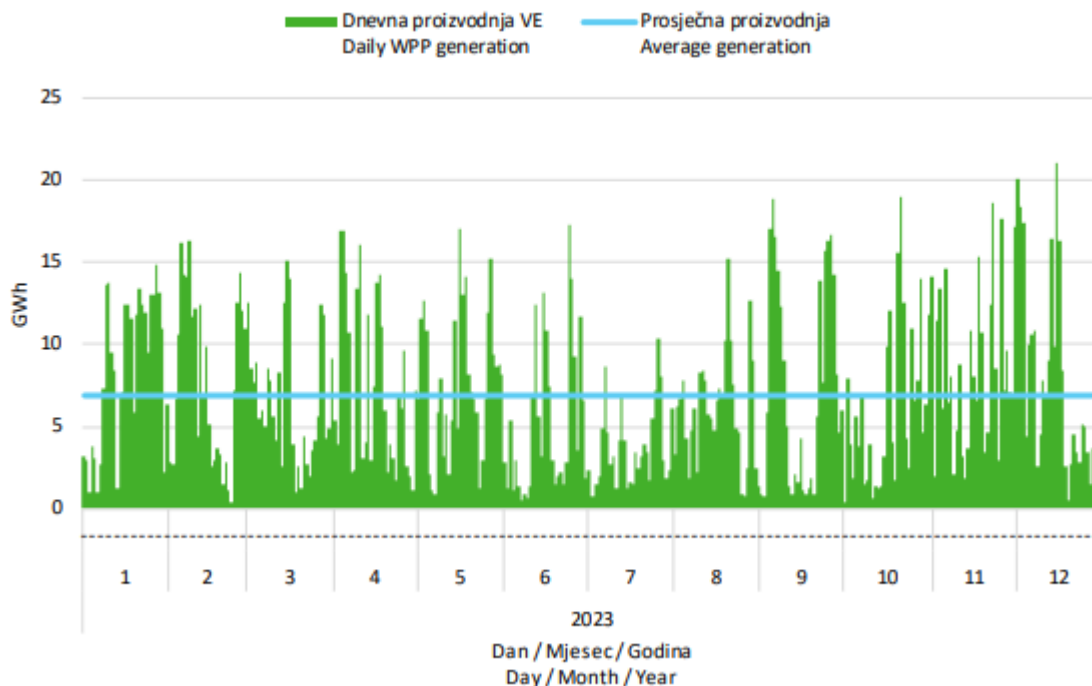
**Tablica 15. Trajanje iskorištenja vjetroelektrana u Hrvatskoj od 2018. do 2022.g.**

<b>Godina</b>	<b>W (GWh)</b>	<b>P (MW)</b>	<b>T (h/god)</b>
2018.	1.335,4	586,3	2.298,0
2019.	1.467,3	646,3	2.381,0
2020.	1.720,7	801,3	2.377,0
2021.	2.137,8	986,9	1.924,0
2022.	2.061,8	986,9	2.089,0

Izvor: Izradio student

Radi nemogućnosti kontinuiranog rada, javlja se nužnost rezerve u konvencionanom energetsom sustavu. Najtočniji prikaz rada vjetroelektrana se dobije iz prikaza satne i dnevne proizvodnje, koja je prikazana na slici 24. Kod vjetroelektrana je moguće samo statističko predviđanje njihove proizvodnje, na osnovi proizvodnje iz predhodnih godina i njihove instalirane snage u promatranoj godini. U stvarnosti će biti većeg ili manjeg odstupanja, ovisno koliko se promatrana godina razlikuje po vjetrovitosti.

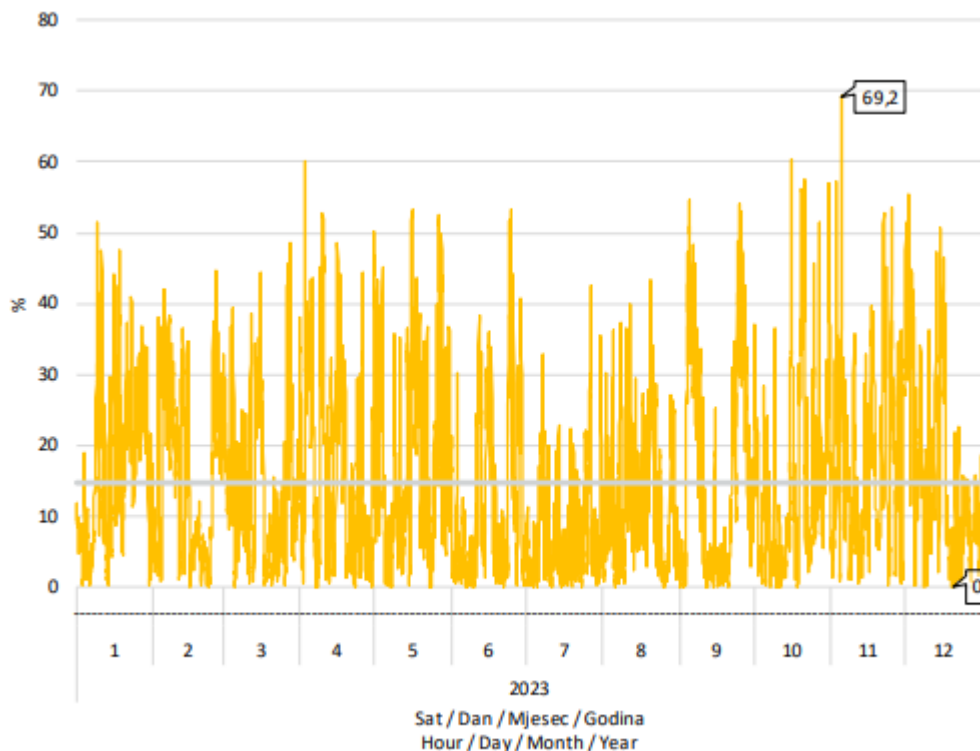




Slika 24. Dnevna proizvodnja svih vjetroelektrana u Hrvatskoj u 2023. godini

Izvor: [39]

Prema godišnjem izvještaju o proizvodnji vjetroelektrana u Hrvatskoj, Ivakovića i suradnika, Ukupna proizvodnja svih VE u Hrvatskoj u 2023. godini bila je 2.532,5 GWh. Pri tom je najveća ostvarena satna proizvodnja iznosila 969,15 MWh i ostvarena je 15.12.2023 godine u 12 h, a najmanja 0,02 MWh ostvarena 19.12.2023 godine u 12 h. Satna proizvodnja veća od 300 MWh ostvarena je tijekom 3602 sati. Prosječna satna proizvodnja svih VE u zadnjih 12 mjeseci iznosila je 289,13 MWh. Budući da se instalirana snaga VE mijenjala tijekom godine krivulja trajanja angažirane snage svih VE izražena je u odnosu na instaliranu snagu VE. Predhodno su navedeni utjecaji na manji broj radnih sati vjetroelektrana naspram nekih konvencionalnih elektrana. Međutim, potrebno je ipak istaknuti kako u posljednje vrijeme VE imaju sve veću ulogu u pokrivanju opterećenja elektroenergetskog sustava Hrvatske, te se smatraju jednim od sustava s najvećim razvojem razvoj u posljednjih deset godina. Navedenu činjenicu potvrđuje slika 25. koja prikazuje koliki udio energije su proizvodile vjetroelektrane za pokrivanje satnog opterećenja energetske sustava. [39]



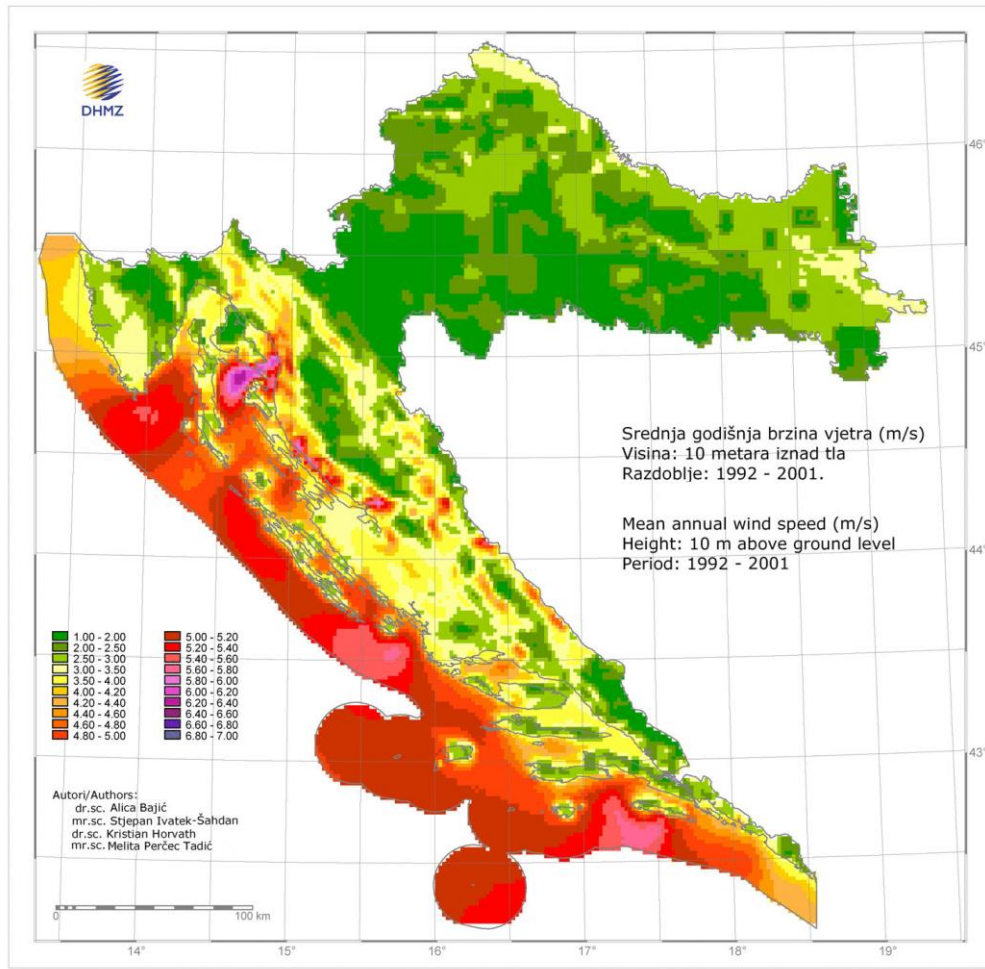
Slika 25. Udio proizvodnje vjetroelektrana u pokrivanju satnog opterećenja elektroenergetskog sustava

Izvor: [39]

### 5.2.3. Potencijal i planovi iskorištenja vjetroenergije u Hrvatskoj

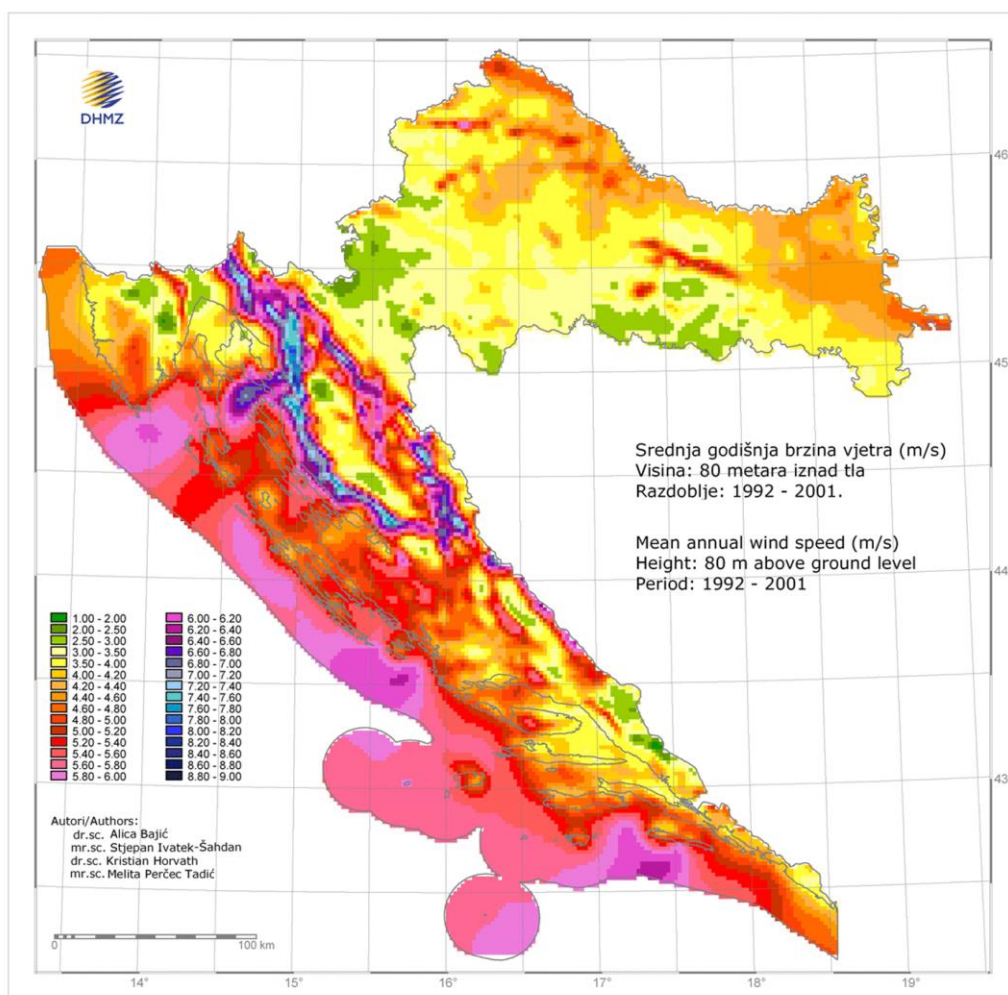
Prilikom planiranja i izgradnje vjetroelektrane bitno je pronaći pogodnu lokaciju za izgradnju, te zbog toga potrebno je obratiti pažnju na određene faktore kao što su:

**Dobar vjetropotencijal** – koji se prvo provjerava u atlasima vjetra ili koristeći podatke iz obližnjih meteoroloških stanica. Ovaj način provjere pruža samo osnovnu orijentaciju, dok je za precizniju procjenu potrebno minimalno godišnje mjerenje vjetropotencijala na odabranoj lokaciji. To se provodi pomoću anemometara i smjerokaza postavljenih na mjernim stupovima na dvije različite visine. Istraživanja su pokazala da Hrvatska ima značajan vjetropotencijal, posebno u obalnom području (slike 26. i 27.).



Slika 26. Srednja godišnja brzina vjetra 10 metara iznad tla

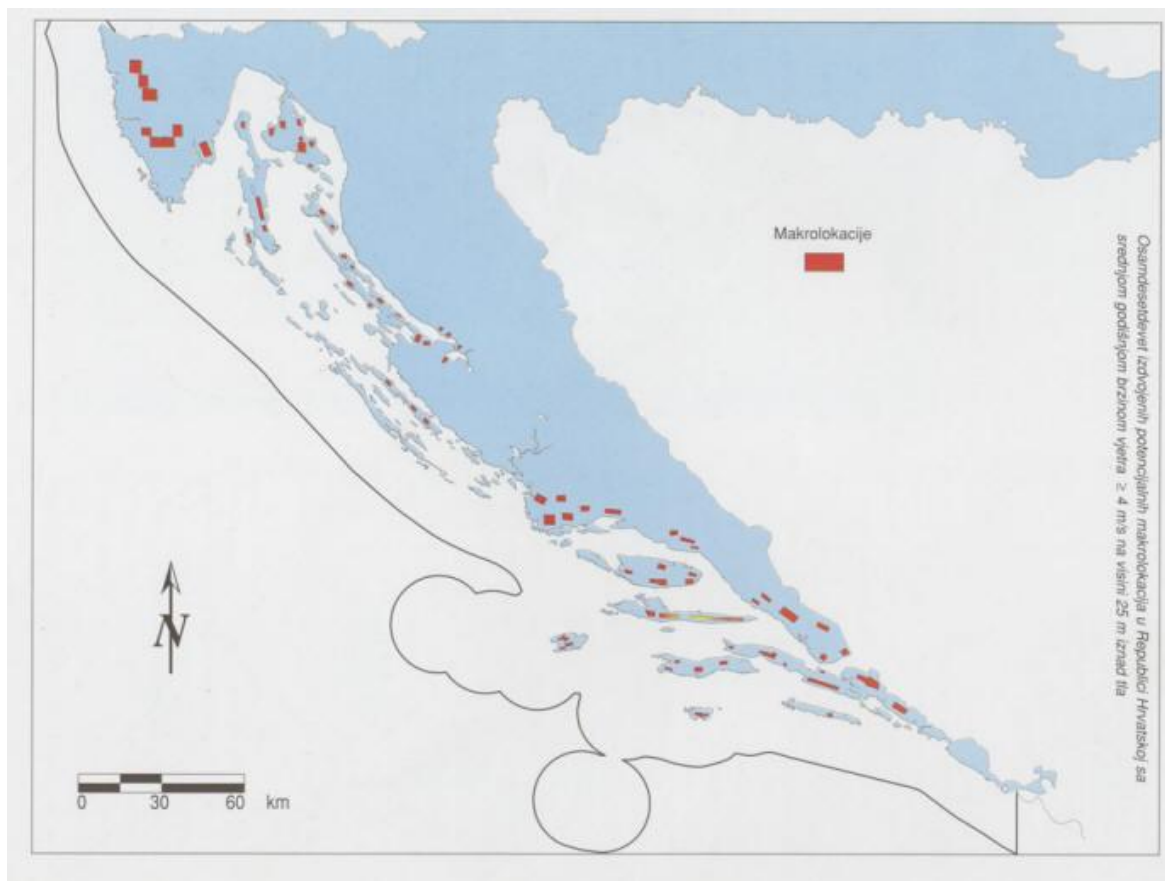
Izvor: [41]



Slika 27. Srednja godišnja brzina vjetra 80 metara iznad tla

Izvor: [41]

Najviše potencijalnih lokacija se nalazi u Dubrovačko-neretvanskoj, Splitsko – dalmatinskoj, Zadarskoj i Šibensko-kninskoj županiji. Na slici 28. prikazano je 29 lokacija pogodnih za izgradnju vjetroelektrana u Hrvatskoj, 19 lokacija nalazi se na otocima te poluotoku Pelješcu, a deset u priobalnom području. Potencijalna godišnja proizvodnja električne energije na ovim lokacijama iznosila bi od 0,375 do 0,80 TWh na godinu. Bitan faktor kod odabira lokacije vjetroelektrane su i klimatski uvjeti na lokaciji, primarno je potrebno obratiti pozornost na ekstremne vjetrove i padaline. Na niskim temperaturama prijete opasnost od nakupljanja leda na lopaticama, te može doći do njihova oštećenja. Udari vjetra i velike brzine vjetra također mogu uzrokovati oštećenja i nepravilan rad vjetrogeneratora radi prevelikih naprezanja u pojedinim dijelovima konstrukcije.



Slika 28. Potencijalne lokacije vjetroelektrana u Hrvatskoj

Izvor: [50]

**Konfiguracija i pokrov terena** također su bitan faktor. Nužno je da teren na kojem je izgradnja planirana bude što prikladniji s obzirom na turbulentno strujanje i pristupačan radi lakše montaže i transporta. Pritom je potrebno birati dostupna mjesta koja ne treba krčiti ili ravnati, osim ako se radi o lokaciji sa izrazito s dobrim vjetropotencijalom gdje se koriste kompleksniji načini transporta i postavljanja. Potrebno je i provjeriti namjenu zemljišta prije određivanja točne lokacije vjetroelektrane, s obzirom da postoji mogućnost da je lokacija zaštićeno područje. U tom slučaju prenamjena prostora vjerojatno neće biti moguća. Prema Vlahinić Lenz „ Loši utjecaji na prirodu i okoliš su faktori o kojima je potrebno voditi računa. Obavezno je provesti istraživanje borave li na lokaciji neke od zaštićenih vrsta ptica, biljaka i slično, te obratiti pozornost na blizinu naselja (buka i zasjenjenje).”[3]

U planu Republike Hrvatske prema Strategiji energetskog razvoja do 2030. s pogledom na 2050. je da se trend sve veće implementacije vjetroelektrana u elektroenergetski sustav nastavi i da one čine još veći udio u energetskoj bilanci Republike Hrvatske. U cilju je da novi proizvodni kapaciteti koriste najnovija tehnološka dostignuća

koja će povećati učinkovitost pretvorbe, a postojeća postrojenja treba zamijeniti novima većih instaliranih snaga i učinkovitosti. Prateći tri scenarija koja su opisana u strategiji u planu je da se proizvodnja vjetroelektrana, skupa s fotoelektričnim elektranama poveća s 1,2 TWh u 2017. na 4,6 TWh u 2030. i na 11,5 TWh u 2050. godini u scenariju S2 te na 5,7 TWh u 2030. i na 15,7 TWh u 2050. godini u scenariju S1. Udio njihove proizvodnje od 0,7 % u 2017. godini, raste na 27,4 % u 2030. i na 44,9 % u 2050. godini u scenariju S2 te na 32,6 % u 2030. i na 53,1 % u 2050. godini u scenariju S1. [38]

U planu je povećanje instalirane snage vjetroelektrana na oko 1360 MW u 2030., tj. na oko 2800 MW u 2050. godini u scenariju S2, a što je oko 1000 MW manje u odnosu na scenarij S1. U prosjeku je tijekom tridesetogodišnjeg razdoblja potrebno izgraditi oko 80 MW novih VE godišnje u scenariju S2 odnosno oko 110 MW u scenariju S1. Povećanje snaga iz ovih izvora je nužno s obzir da se u strategiji uzimaju u obzir ciljevi iz sektora cestovnog i pomorskog prometa. Navedeni ciljevi uzrokovat će znatno povećanje potreba za električnom energijom. Proces i ciljevi veće implementacije električnih i hibridnih vozila u cestovnom prometu, kao i sve većeg korištenja alternativnih goriva u pomorskom prometu, rezultirat će i većim zahtjevima za električnom energijom. Prema scenariju S1 očekuje se da će primjenom alternativnih goriva u navedenim sektorima, doći do smanjenja emisije štetnih plinova od 37,5% do 2030. godine, odnosno 74,4% do 2050. godine. Prema scenariju S2 do 2030 se očekuje smanjenje od 35,4%, dok se do 2050. očekuje smanjenje od 64,3%. [38]

### 5.3. SOLARNA ENERGIJA U HRVATSKOJ

Opisani rastući trend implementacije vjetroelektrana u elektro energetske sustav Republike Hrvatske, također prati i solarna energija. Zahvaljujući povoljnom geografskom položaju i klimatskim uvjetima Hrvatska ima veliki potencijal za korištenje energije Sunca. U ukupnoj potrošnji hrvatskih kućanstava električna energija prevladava s oko 40%, što se najvećim dijelom koristi za grijanje prostora, pripremu tople vode i termičku obradu hrane. S obzirom da se oko 1/3 svih kućanstva Hrvatske nalazi u priobalju, zaobalju i na otocima opravdano je i ekonomski isplativa zamjena fosilnih goriva Sunčevom energijom. Danas se energija Sunčevog zračenja u Hrvatskoj najvećim dijelom iskorištava u vidu fotoelektričnih elektrana. Vrlo značajan utjecaj na odluku o ulaganju u fotoelektrične sustave imaju ekonomske prilike i informiranost korisnika, tako da je najviše fotoelektričnih sustava u uporabi na sjeverozapadu Hrvatske, dok ih u Dalmaaciji ima znatno manje, unatoč povoljnijim uvjetima s obzirom na geografski položaj. Prosjek sunčevog zračenja koje dnevno pada na površinu Hrvatske iznosi 3,6 kWh/(m<sup>2</sup>d), što bi značilo da sunce svaki dan na površinu Hrvatske dozračuje oko 200 TWh energije. Što se tiče neintegriranih elektrana, u Hrvatskoj je u 2022. godini u radu bilo 7 solarnih elektrana, koje su navedene u tablici 17.

Tablica 16. Neintegrirane solarne elektrane u Hrvatskoj

Solarna elektrana	Priključna snaga (MW)	Lokacija	Proizvedena električna energija u 2022. (GWh)
SE KAŠTELIR	1	Istarska županija	1,5
SE KAŠTELIR 2	2	Istarska županija	3,1
SE VIS	3,5	Splitsko Dalmatinska županija	4,9
SE MARIĆI	1	Istarska županija	1,3
SE KOSORE JUG	2,1	Splitsko Dalmatinska županija	3,6
SE STANKOVCI	2,5	Zadarska županija	4,6
SE OBROVAC	7,35	Zadarska županija	11,3
SE DONJA DUBRAVA	9,9	Međimurska županija	14,8

Izvor: Izradio student prema [52]

Osim neintegriranih, prilikom prikaza stanja iskorištenja solarne energije u Hrvatskoj potrebno je uzeti u obzir i integrirane solarne elektrane, prikazane u tablici 18., koje su instalirane na određenim javnim objektima, pod upravom HEP Proizvodnje. Razlika između neintegriranih i integriranih solarnih elektrana jest ta da su neintegrirane samostalni solarni sistemi instalirani na tlu, dok su integrirane sistemi koji se ugrađuju u građevinske konstrukcije. Svaka od navedenih elektrana je priključena na mrežu opskrbe te sadrži status kupca s vlastitom proizvodnjom, što bi značilo da višak energije koji se proizvode a ne potroši za potrebe objekta, odlazi u mrežu.

**Tablica 17. Integrirane solarne elektrane u Hrvatskoj**

<b>Solarna elektrana</b>	<b>Lokacija</b>	<b>Instalirana snaga [MW]</b>
SE Ogulin	HE Gojak, Ogulin	10
SE Bisko	Centar proizvodnje Dalmacija, Bisko	19
SE Split	HEP Proizvodnja, Split	16
SE Dubrovnik	HEP Proizvodnja, Dubrovnik	10
SE Sjever	Proizvodno područje, HE Sjever, Varaždin	50
SE Dubrava	HE Dubrava	75
SE Rijeka	TE Rijeka	138
SE Zagreb	TE-TO Zagreb	212
SE Plomin	TE Plomin	370
SE Sisak	TE-TO Sisak	215
SE Osijek	TE-TO Osijek	200

Izvor: Izradio student prema [52]

Broj sunčanih elektrana kontinuirano se povećava, razlog tome su prepoznate prednosti solarne energije, koja omogućuje vlasnicima značajno smanjenje troškova električne energije, kao i politika koju ministarstvo Republike Hrvatske provodi putem raznih poticaja i promidžbi za instalaciju kućnih fotoelektričnih sustava



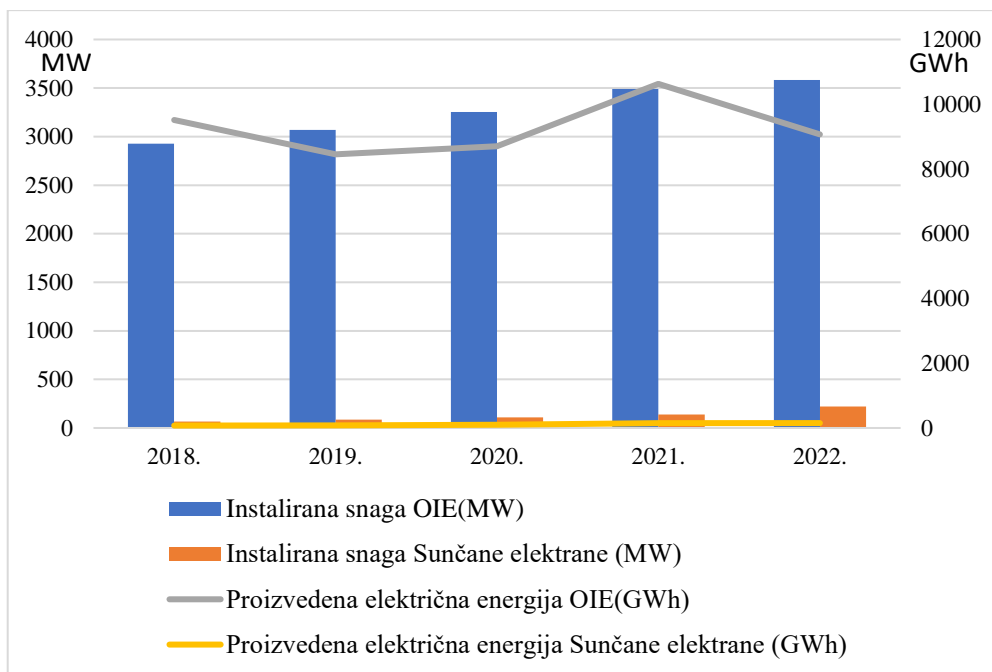
### 5.3.1. Doprinos solarnih fotoelektričnih elektrana energetskej bilanci Republike Hrvatske

U tablici 18. prikazani su podaci za proizvodnju sveukupne električne energije, kao i dobivene energije iz obnovljivih izvora i solarnih elektrana u razdoblju od posljednjih pet godina. Navedeni podaci su korisni za prikazivanje doprinosa i utjecaja solarnih elektrana i iskorištavanja energije Sunčevog zračenja u Hrvatskoj.

**Tablica 18. Instalirana snaga i proizvedena električna energija iz solarnih elektrana i obnovljivih izvora od 2018. do 2022.**

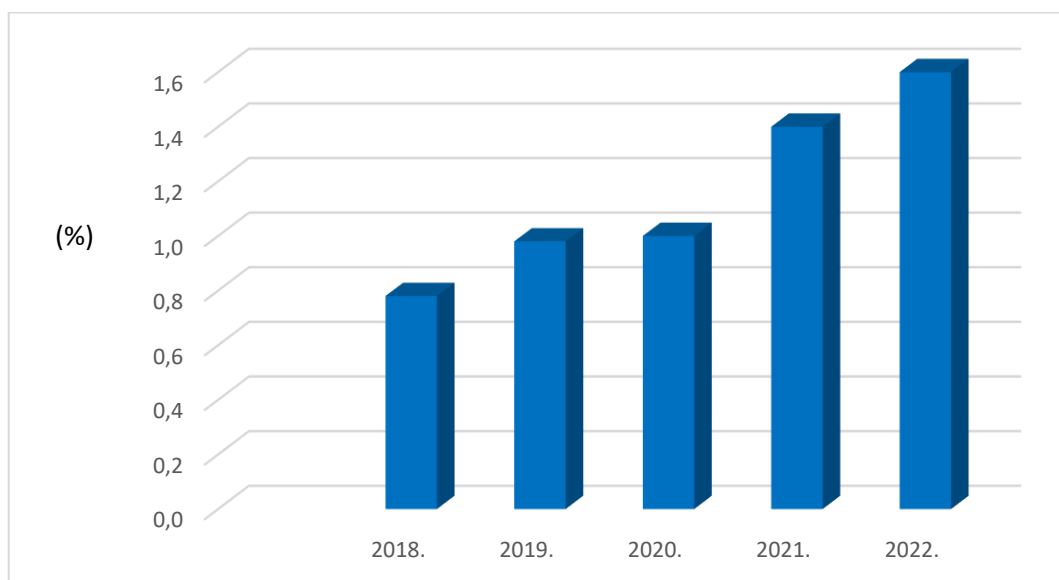
Godina	Instalirana snaga		Proizvedena električna energija		Udio proizvedene el. energije iz SE u proizvodnji iz OIE (%)
	OIE (MW)	Solarne elektrane (MW)	OIE (GWh)	Solarne elektrane (GWh)	
2018.	2.928,3	67,7	9.510,4	74,9	0,8
2019.	3.068,2	84,8	8.453,0	83,1	1,0
2020.	3.254,5	108,5	8.698,5	95,5	1,0
2021.	3.490,0	138,3	10.628,9	148,9	1,4
2022.	3.582,8	222,0	9.064,9	151,9	1,6

Izvor: Izradio student prema [33,34,35,36,37]



Izvor: Izradio student prema [33,34,35,36,37]

**Grafikon 9. Usporedba instalirane snage i proizvedene električne energije solarnih elektrana u odnosu na obnovljive izvore**



**Grafikon 10. Udio proizvodnje el. energije iz SE u ukupnoj proizvodnji iz obnovljivih izvora**

U Hrvatskoj je u solarnim elektranama 2022. godine proizvedeno 151,9 GWh, što čini udio od 1,6 %. Prema podacima moguće je zaključiti da solarna elektrane nemaju veliki doprinos u energetske bilanci Hrvatske, pogotovo uspoređujući s doprinosom drugih obnovljivih izvora kao što su hidro i vjetroelektrane. Prema Labudović-u „Neiskorišteni potencijal je jedan od glavnih argumenata za povećanje relativno malog udjela korištanja solarne energije u proizvodnji, no potrebno je i iskazati bitno svojstvo fotonaponskih sustava, a to je da ne doprinose pokrivanju večernjeg vršnog opterećenja elektroenergetskog sustava. Bitan je faktor da noću uopće nema sunčeva zračenja, u pravilu kada je najveća potražnja kućanstava za električnom energijom, stoga je sustav prisiljen oslanjati se na druge izvore. Povećanje broja i instalirane snage FE elektrana u Hrvatskoj ima značajan gospodarski utjecaj. Ova tranzicija energetske sektora donosi niz ekonomskih i ekoloških prednosti, kao što je smanjivanje troškova energije za domaćinstva, ali i tvrtki te industrijskih subjekata. Navedeni aspekti koji utječu na korištenje solarne energije su dodatno prikazani kroz tablicu 20. Prikazom udjela solarne energije u proizvodnji naspram svih ostalih izvora energije.”[1]

**Tablica 19. Usporedba ukupne proizvodnje električne energije s proizvodnjom iz obnovljivih izvora i solarnih elektrana**

Godina	OIE (GWh)	Solarne elektrane (GWh)	Ukupna proizvodnja energije (GWh)	Udio proizvedene energije vjetroelektrana u ukupnoj proizvodnji energije (%)
2018.	9.510,4	74,9	13 631,7	0,5
2019.	8.453,0	83,1	12.760,1	0,7
2020.	8.698,5	95,5	13.385,3	0,7
2021.	10.628,9	148,9	15.210,4	1,0
2022.	9.064,9	151,9	14.220,5	1,0

Izvor: Izradio student prema [33,34,35,36,37]

### 5.2.2. Energetska učinkovitost solarnih elektrana u Republici Hrvatskoj u proizvodnji električne energije

Stupanj djelovanja pri transformaciji energije iz solarnih FE elektrana je relativno malen, manji nego kod konvencionalnih elektrana, te on kod fotoelektričnih sustava iznosi

od 6% do 16%. Tijekom posljednjeg desetljeća u Hrvatskoj se događa rast u proizvodnji električne energije iz solarnih sustava, te je on prikazan putem faktora iskorištenja solarnih elektrana, izračunatim prema jednadžbi (15).

**Tablica 20. Stupnjevi iskorištenja solarnih elektrana**

Godina	Stupanj iskorištenja (%)
2018.	12,7
2019.	11,1
2020.	10,0
2021.	12,2
2022.	7,8

Izvor: Izradio student

Mnogi različiti faktori utječu na rad i učinkovitost fotoelektričnih sustava, što posljedično utječe i na proizvodnju električne energije iz solarnih elektrana. Ti faktori povezani su s lokacijom instalacije fotoelektrične elektrane, uključujući klimatske uvjete i prostornu orijentaciju sustava. Pod klimatskim uvjetima podrazumijeva se broj sunčanih dana u godini, stanje atmosfere (vedro, poluoblačno, oblačno) i razina onečišćenja. S obzirom na to da na te uvjete nije moguće utjecati, važno je posvetiti posebnu pažnju prostornoj orijentaciji fotoelektričnih sustava. Ta orijentacija određuje se putem nekoliko kutova u odnosu na Zemlju i Sunce. Pozicija solarnog prijemnika u odnosu na Zemlju definira se kutom orijentacije površine  $\gamma$  (azimut) i kutom nagiba površine  $\beta$  (inklinacija), dok se pozicija prijemnika u odnosu na Sunce određuje kutom upada solarnih zraka. Svi navedeni faktori znatno utječu na korištenje instalirane snage solarnih elektrana u proizvodnji električne energije. U tablici 22. prikazano je trajanje godišnjeg iskorištenja instalirane snage solarnih elektrana, izračunato prema jednadžbi (16), kako bi se prikazao učinak proizvodnje energije iz solarnih elektrana u ukupnoj proizvodnji.

**Tablica 21. Trajanje iskorištenja solarnih elektrana od 2018. do 2022.**

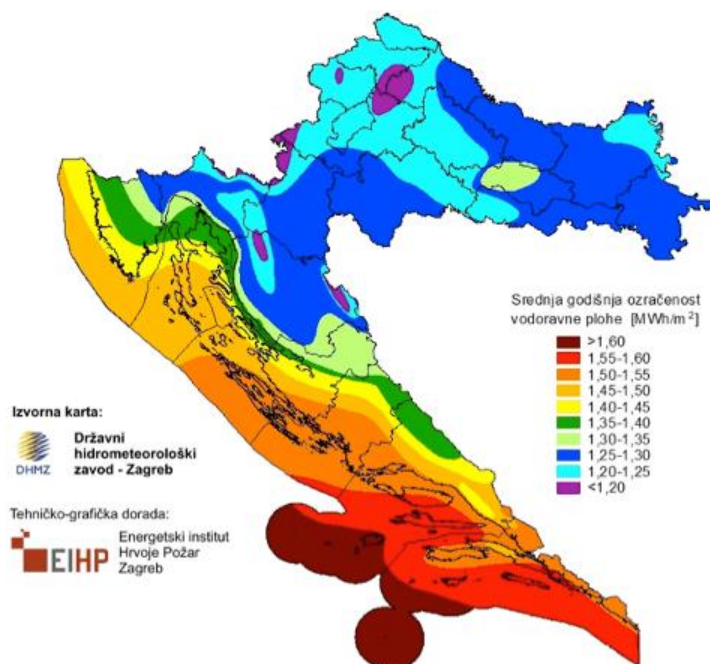
<b>Godina</b>	<b>W (GWh)</b>	<b>P (MW)</b>	<b>T (h/god)</b>
2018.	74,9	67,7	1.180,0
2019.	83,1	84,8	1.095,0
2020.	95,5	108,5	988,0
2021.	148,9	138,3	1.206,0
2022.	151,9	222,0	843,0

Izvor: Izradio student

Promjenjivost dostupnosti i oscilacija prirodnog dotoka zbog utjecaja vremenskih uvjeta jedna od glavnih karakteristika navedenog izvora energija. Ipak ona je manja u odnosu na vjetar, s toga se očekuje kako će korištenje solarne energije i fotonaponskih sustava nastaviti rasti. Navedeni faktor je taj koji utječe na iskoristivost solarnih elektrana i iskorištavanje njihove instalirane snage, te na njihovu manju implamentaciju u elektroenergetski sustav Republike Hrvatske.

### **5.2.3. Potencijal i planovi iskorištenja solarne energije u Hrvatskoj**

Zbog povoljnog geografskog položaja Republika Hrvatska ima velik potencijal za primjenu Sunčeve energije. Potencijal iskorištenja instalirane fotoelektrične elektrane na području Hrvatske se kreće na oko 5300 MW. Kako je navedeno najveći potencijal za iskorištavanje Sunčeve energije ima primorski dio Hrvatske, kao što je vidljivo na slici 29., posebno područje Dalmacije s otocima gdje se ozračenost kreće do 1,50 MWh/m<sup>4</sup> dok u kontinentalnom dijelu Hrvatske ozračenost iznosi do 1,30 MWh/m<sup>4</sup>. Unatoč velikom potencijalu i dobrim uvjetima za korištenje solarne energije Hrvatska se po instaliranim fotoelektričnim sustavima nalazi pri dnu u usporedbi s drugim članicama Europske Unije te iz toga proizlazi da u Hrvatskoj solarna energija nije dovoljno iskorištena za proizvodnju električne energije.



Slika 29. Srednja godišnja ozračenost Hrvatske

Izvor: [41]

Prema Umihanić-u i suradnicima „Tehnološki napredak u sektoru solarnih tehnologija predstavlja veoma bitan faktor u implementaciji solarnih sustava i iskorištavanju potencijala solarne energije. Inovacije u razvoju fotoelektričnih panela i napredak u skladištenju energije omogućuju veću efikasnost i pouzdanost solarnih sustava., [40]

U predhodnom poglavlju je navedeno kako je prostorna orijentacija panela i kut upada sunčevih zraka imaju znatan utjecaj na efikasnost FE energetskog sustava . Iz tog razloga u tablici 23. prikazani su optimalni kutevi orijentacije i inklinacije za područja priobalne Hrvatske, koji su dobiveni korištenjem online software-a PVGIS (eng. *Photovoltaic Geographical Information System*). U PVGIS-u kut azimuta se odnosi na kut orijentacije solarnih panela u odnosu na pravi sjever. Obično se mjeri u stupnjevima od sjevera u smjeru kazaljke na satu. Kut azimuta je važan faktor u projektiranju i optimizaciji solarnih fotovoltaičkih sustava jer utječe na količinu sunčeve svjetlosti koju panele primaju tijekom dana. Za optimalne performanse na sjevernoj hemisferi, solarni paneli obično su nagnuti prema jugu (azimut  $180^\circ$ ). Na južnoj hemisferi, paneli su obično nagnuti prema sjeveru.. Kut inklinacije se odnosi na kut pod kojim su solarni paneli nagnuti u odnosu na horizontalnu površinu tla. Nagib solarnih panela je od ključne važnosti za optimizaciju proizvodnje energije. Ispravno odabran nagib može povećati izloženost panela sunčevoj svjetlosti tijekom godine, maksimizirajući prikupljanje energije iz solarne radijacije.

Općenito, optimalni nagib za fiksne solarne panele može varirati ovisno o geografskoj lokaciji, lokalnoj klimi i specifičnoj primjeni FE sustava. [52]

**Tablica 22. Optimalni kutevi orijentacije i inklinacije za instalaciju fotonaponskih sustava na hrvatskoj obali**

Grad	Geografska lokacija	Kut inklinacije $\beta(^{\circ})$	Kut azimuta $\gamma(^{\circ})$
Split	43°52' sjeverno, 16°44' istočno	38	-1
Šibenik	43°72' sjeverno, 15°90' istočno	38	1
Zadar	44°12' sjeverno, 15°26' istočno	38	1
Rijeka	45°34' sjeverno, 14°42' istočno	38	-2
Pula	44°87' sjeverno, 13°88' istočno	38	3

Izvor: Izradio student prema [52]

U planu Republike Hrvatske prema Strategiji energetskeg razvoja do 2030. s pogledom na 2050. je da se trend rasta u primjeni solarnih sustava nastavi, te da oni čine značajniji udio u energetskeg bilanci Republike Hrvatske. Do 2030. godine predviđeno je priključenje oko 768 MW u fotoelektričnim projektima u scenariju S2, odnosno 1.039 MW u scenariju S1. U oba scenarija, oko 350 MW se odnosi na integrirane fotoelektrične projekte, a preostala snaga podjednako na objekte na mreži distribucije i prijenosa. Do 2050. godine ukupna snaga fotoelektričnih elektrana dostigla bi oko 2.700 MW (1100 MW manje u odnosu na S1).

## **6. ANALIZA DOPRINOSA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGETSKOJ BILANCI HRVATSKE**

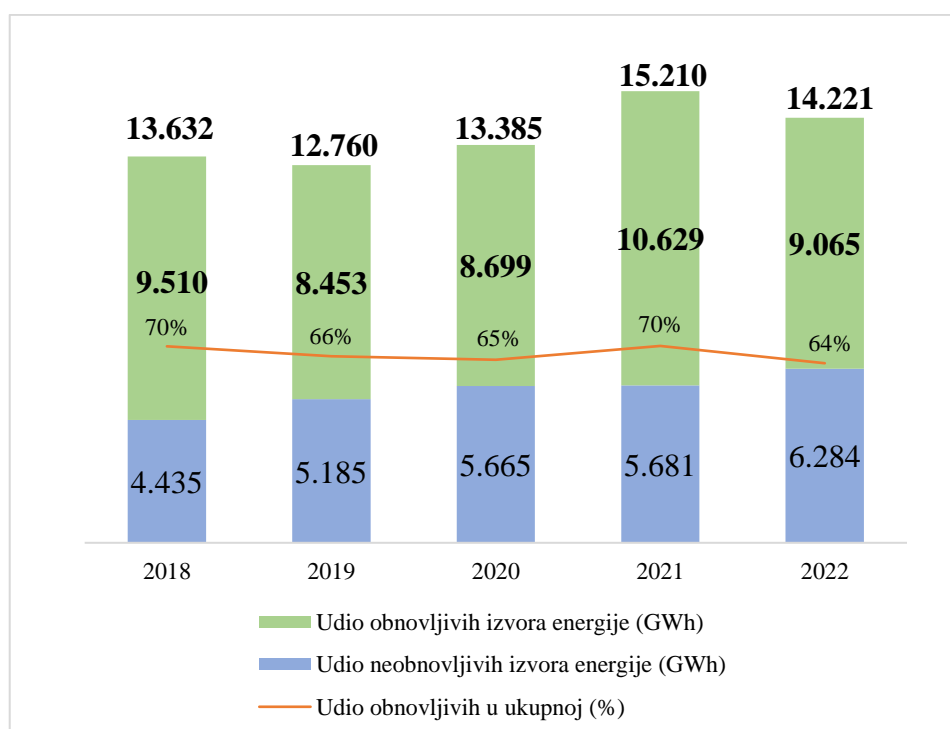
Svi navedni procesi i postrojenja koja su navedeni u ovom radu spadaju pod sferu industrije, koji ima zadatak zadovoljiti energetske potrebe jedne države, njezinih stanovnika kao i industirjskih i raznih drugih objekata. Pritom je nužno voditi računa o poštivanju propisa i zakona, te o očuvanju okoliša. Iz tog razlog i industrija proizvodnje električne energije funkcionira na osnovi sustava ponude i potražnje. Potražnja uvjetuje proizvodnju i cijenu. Iz tog razloga u tablici 24. prikazani su podaci o proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora, kao i o ukupnoj proizvodnji električne energiju, u odnosu na potrošnju i zahtjevima za električnom energijom Hrvatske u posljednjih 5 godina. Iz tih podataka proizlazi udio obnovljivih izvora energije u energetske bilanci Republike Hrvatske, te kako Hrvatska uspješno provodi politiku povećanje iskorištenja energije iz obnovljivih izvora. Udio od 63,7 posto u proizvodnji je povoljan i nadmašuje očekivanja koja su bila postavljena prije nekoliko godina, no ostaje pitanje zadovoljava li on, skupa s ostalim izvorima energije, potrebe za električnom energijom. Odgovor je najlakše prikazati pomoću podataka o potrošnji električne energije, koji su također prikazani u tablici.



**Tablica 23. Bilanca električne energije Hrvatske u razdoblju od 2018. do 2022.**

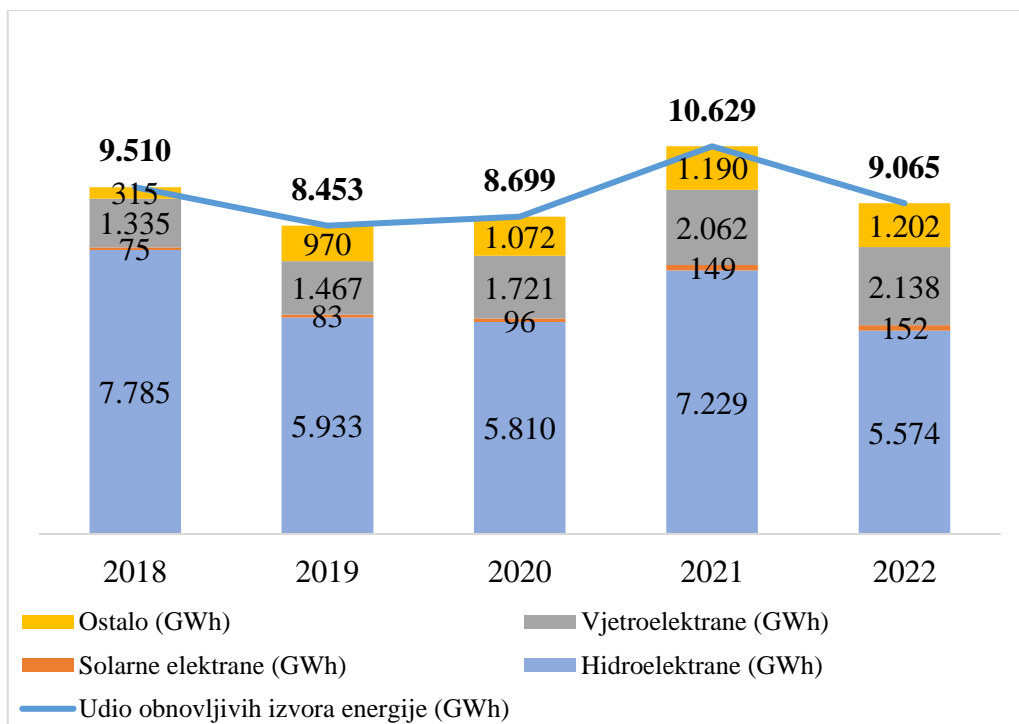
Izvor	Proizvedena električna energija					Udio u ukupnoj proizvede	Udio u ukupnoj potrošnji
	2018.g. GWh	2019.g. GWh	2020.g. GWh	2021.g. GWh	2022.g. GWh		
Hidroelektrane	7.784,9	5.932,6	5.810,4	7.228,7	5.573,7	39,2	30,6
Vjetroelektrane	1.335,4	1.467,3	1.720,7	2.061,8	2.137,8	15,0	11,7
Solarne elektrane	74,9	83,1	95,5	148,9	151,9	1,0	0,8
Ostalo	315	970	1.072	1.190	1.202	0,2	0,1
<b>Obnovljivi izvori energije sveukupno</b>	<b>9.510,4</b>	<b>8.453,0</b>	<b>8.698,5</b>	<b>10.628,9</b>	<b>9.064,9</b>	<b>63,7</b>	49,7
Neobnovljivi izvori energije	4.434,5	5.185,4	5.665,0	5.681,3	6.284,4	44,2	34,5
<b>Ukupna proizvedena električne energija iz svih izvora</b>	<b>13.631,7</b>	<b>12.760,3</b>	<b>13.385,3</b>	<b>15.210,4</b>	<b>14.220,5</b>	-	<b>78,0</b>
Ukupna potrošnja energije	19.019,3	18.893,3	18.024,6	19.171,4	18.228,3	-	-

Izvor: Izradio student prema [33,34,35,36,37]



Izvor: Izradio student prema [33,34,35,36,37]

**Grafikon 11. Ukupna proizvodnja električne energije po izvorima**

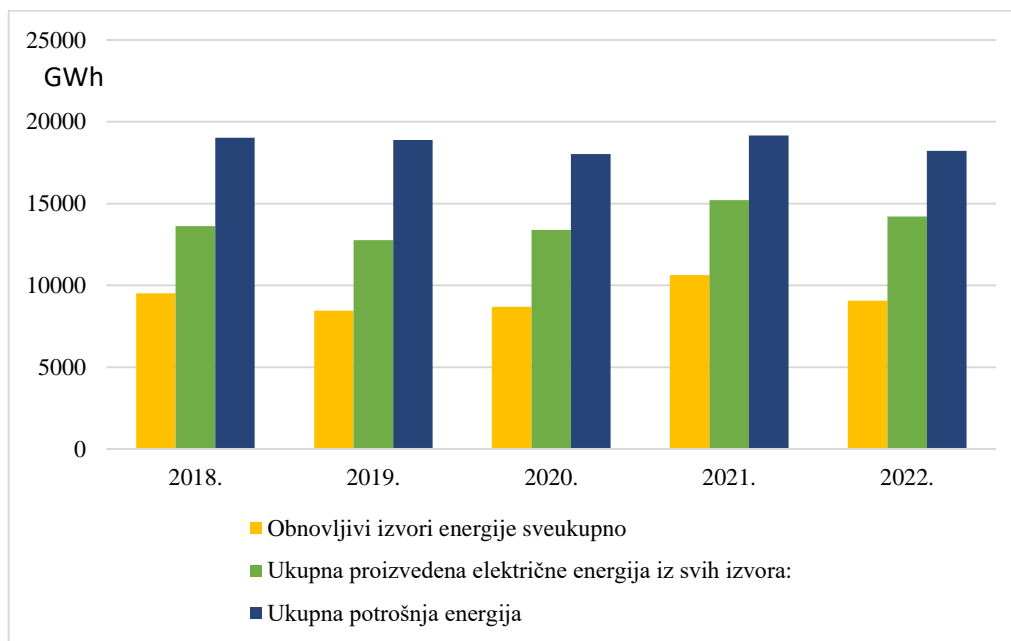


Izvor: Izradio student prema [33,34,35,36,37]

### Grafikon 12. Ukupna proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora po izvorima pojedinačno (u GWh)

Iz tablice 24 i iz grafikona 11. moguće je očitati kako je ukupna proizvodnja električne energije u Republici Hrvatskoj u 2022. godini iznosila je 14.220,5 GWh, pri čemu je iz obnovljivih izvora energije, uključujući i velike hidroelektrane, proizvedeno 63,7% (9.064,9 GWh). U proizvodnji električne energije hidroelektrane su sudjelovale s 39,2% (5573,7 GWh), a 24,5% (3491,2 GWh) električne energije proizvedeno je iz ostalih obnovljivih izvora (energija vjetra, biomasa, geotermalna energija, bioplin i fotoelektrični sustavi). Udio obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije u 2022. godini veći je od udjela korištenja neobnovljivih izvora, što predstavlja pozitivan trend u energetske sektoru. Očekuje se da će trend nastaviti rasti, izrazito s planskim povećanjem instaliranih snaga vjetroelektrana i fotonaponskih sustava u narednom razdoblju koje sljedi. Međutim, neobnovljivi izvori energije još uvijek imaju izrazito veliki udio u energetskej bilanci, od 41%. Neobnovljivi izvori su znatno pouzdaniji jer nema promjena prirodnog dotoka, te se pomoću njih može planski proizvoditi električna energija, prema potrebi neovisno o vremenskim uvjetima i klimatskim promjenama. Njihov negativan utjecaj na okoliš kao i veći operativni troškovi su glavni razlog zbog kojeg se potiče smanjenje njihov udjela u energetskej bilanci i povećanje obnovljivih, koje je uspješno, kao što proizlazi iz

prikazanih podataka. Preostaje pitanje zadovoljavaju li navedeni izvori energetske potrebe u Hrvatskoj i mogu li oni proizvesti dovoljnu količinu električne energije koja će zadovoljiti potrebe potrošača u Hrvatskoj, koje su prikazane u grafikonu 14., ili Hrvatska još uvijek je primorana uvoziti dio energije kako bi zadovoljila svoje potrebe.



Izvor: Izradio student prema [33,34,35,36,37]

### **Grafikon 13. Usporedba sveukupne proizvodnje i proizvodnje iz obnovljivih izvora u odnosu na potrošnju električne energije**

Iz grafikona 14. je moguće očitati podatak kako Hrvatska još uvijek ne proizvodi dovoljno energije za svoje potrebe. U 2022. godini potrošnja električne energije je iznosila 18.228,3 GWh, dok je Hrvatska pritom proizvela 14.220,5 GWh električne energije. S obzirom da Hrvatska energetska potencijal od 18700 MW iz obnovljivih izvora koji su prikazani u radu, koji još uvijek nije u potpunosti iskorišten, te ovaj podatak predstavlja motiv za razvoj navedenih planova koji su opisani u Strategiji energetskog razvoja Hrvatske. Iz navedenog razloga Hrvatska je još uvijek prisiljena na uvoz i izvoz električne energije, iako se te potrebe u posljednjih godina smanjuju, te se povećava količina izvezene energije, što je pohvalno. Podaci o uvozu i izvozu električne energije za razdoblje od 2018. do 2022. godine su prikazani u tablici 25.

**Tablica 24. Iznosi uvezene i izvezene električne energije od 2018.g. do 2022.g.**

<b>Godina</b>	<b>Uvoz (GWh)</b>	<b>Izvoz (GWh)</b>	<b>Pokrivenost uvoza s izvozom (%)</b>
2018.	12.693,4	7.305,8	57,6
2019.	11.400,8	5.267,8	46,2
2020.	10.491,0	5.851,7	55,8
2021.	11.504,7	7.543,7	65,6
2022.	11.919,7	7.224,9	60,6

Izvor: Izradio student prema [37]

Iz tablice 24. je moguće očitati kako osim što uvozi velike količine električne energije, Hrvatska je i veliki izvoznik. Jedno od najpovoljnijih rješenja za skladištenje viškova EE i smanjenja potreba za uvozom su reverzibilne elektrane ili dobivanje zelenog vodika. Zeleni vodik predstavlja jedno od alternativnih goriva, koje ima potencijal za korištenje u cestovnom i pomorskom prometu. Prema izvještaju Vuk-a i suradnika [37], u 2022. godini u Hrvatskoj je na promet utrošeno 93125,62 TJ energije, od toga 288,6 GWh električne energije. S time promet predstavlja jednu od gospodarskih grana koja je najveći potrošač energije, i ima najveću emisiju štetnih tvari. Također, s obzirom da se trenutno jako malo električne energije troši u prometu vidljiv je veliki prostor u povećanju prikazane brojke, s obzirom da je u 2022. godini proizvedeno 14220,5 GWh električne energije. S primjenom navedenih rješenja Hrvatska bi ekonomski i ekološki profitirala, s obzirom da bi se povećanjem potrošnje energije u ovom sektoru, smanjilo korištenje fosilnih goriva, te posledično znatno smanjile emisije štetnih plinova. Utjecaj bi još bio učinkovitiji ukoliko bi se električna energija za potrošnju u prometu dobavljala iz obnovljivih izvora. [

Kada se govori o velikoj potrošnji energije i velikim emisijama štetnih tvari koje donosi promet, primarno se misli na pomorski i cestovni. Hrvatska u posljednjih nekoliko godin nastoji provoditi mjere smanjenja navedenih faktora, primarno elektrifikacijom cestovnog prometa. Direktiva EU 2014/94 / EU o postavljanju infrastrukture za alternativna goriva (IAG) zahtijeva od država članica da osiguraju odgovarajući broj električnih punionica i punionica prirodnog plina. Zahtijeva se da budu dostupna javnosti, stoga se postavljaju u urbane i prigradske naseljene zone, kao i uz temeljnu transeuropsku prometnu mrežu. Prema Bošnjak-u „Alternativna goriva koja zahtijevaju specifična infrastrukturna rješenja, a za koja je IAG direktiva postavila buduće ciljeve zemljama članicama, uključuju

električnu energiju, stlačeni prirodni plin (CNG), ukapljeni prirodni plin (LNG) i vodik Hrvatska korištenjem alternativnih goriva u prometu, elektrifikacijom cestovnog prometa i razvojem inteligentnih i integriranih urbanih prometnih sustava nastoji povećati udio OIE u djelatnosti prometa." [42]

Prema strategiji energetskeg razvoja u Hrvatskoj u planu je kontinuirano investiranje u razvoj inteligentnih i integriranih urbanih i javnih prometnih sustava. Pod razvoj navedenih sustave se podrazumjeva razvoj urbanih modernih biciklističkih staza, optimizacija gradske logistike za prijevoz tereta, inteligentno upravljenje javnim prometom i gradskim parkirnim područjima i razvoj inovacija u gradskom prometu s fokusom na smanjenje štetnih plinova. Ključno je i osigurati infrastrukturu za alternativna goriva u gradskim područjima, što bi znatno doprinjelo smanjenju štetnih emisija. Svi navedeni planovi i mjere će povećati potrošnju i zahtjeve za električnom energijom. Stoga su ulaganja i planovi za povećanjem kapaciteta sustava koji koriste obnovljive izvore energije za dobivanje električne energije opravdani, te moglo bi se reći i nužni. Hrvatska bi trebala se ugledati na određene članice Europske Unije, te početi ulagati i razvijati sustave koji direktno koriste izvore obnovljive energije u prometu. Navedeno rješenje bi znatno rasteretilo elektroenergetski sustav i zahtjeve za električnom energijom. [38]

Također, potrebno je istaknuti kako na navedene faktore potrošnje i emisije štetnih plinova veliki utjecaj ima i pomorski promet. Ova činjenica je veoma značajna za Hrvatsku, jer je pomorski promet jedna od najrazvijenijih gospodarskih djelatnosti, što je omogućio njen povoljan geografski položaj. Mnoge Hrvatske luke, ističući luku Rijeka i luku Ploče su vrlo prometne luke u vidu globalnog pomorskog prometa. Samim time je potrebno obratiti veliku pažnju na utjecaj na okoliš, odnosno onečišćenja s brodova, te se iz tog razloga javlja nužnost osiguranja opskrbe brodova električnom energijom, što predstavlja još jedan izazov za elektro-energetski sustav. Luke koje omogućuju brodovima opskrbu EE s kopna postaju privlačnije za brodarske tvrtke jer na taj način mogu smanjiti emisije štetnih tvari. Najvažniji razlog za spajanje brodova na električnu energiju u luci je sprječavanje onečišćavanja zraka.

Prema Pavlović „Svake se godine uvodi sve više propisa s ciljem smanjenja onečišćenja, a najznačajniju ulogu u tome ima International Maritime Organization (IMO). Istraživanja pokazuju kako se korištenjem električne mreže od strane brodova za vrijeme boravka u luci, emisije ugljikova dioksida (CO<sub>2</sub>) smanjuju za 30% dok se emisije dušikovih oksida smanjuju za čak 95%. Također, isto istraživanje je došlo do rezultata kako gašenje kruzera na 10 sati

smanjuje količinu emisija CO<sub>2</sub> sa 72,2 tone na 50,1 tonu, a emisije sumporovih oksida (SO<sub>x</sub>) sa 1,23 tone na 0,04 tone. Međutim, nužno je da luka kao i brod budu adekvatno opremljeni kako bi povezivanje bilo moguće. Luka mora biti opremljena s visokonaponskim ili niskonaponskim priključkom, pretvaračima frekvencije, transformatorima, upravljačkim pločama i priključnim ormarima, te koloturima za kabele i konektore, a brod s transformatorom, sustavom distribucije električne energije, upravljačkom pločom, frekvencijskim pretvaračem visoke fleksibilnosti, konektorima i koloturima za kabele.”[43]

Korištenje kopenenog priključka električne energija za vrijeme boravka u luci jedno je od najboljih načina za smanjenje onečišćenja s brodova. Navedene ugradnje sustava predstavljaju veliki financijski i infrastrukturni izazov, kako za izgradnju, tako i za distribucije električne energije i samu mrežu. No, ipak donosi ekološke, te poslovne benefite, s obzirom da malo Europskih luka pruža tu vrstu usluge. Ukoliko bi se električna energija osigurala iz obnovljivih izvora, imalo bi značajan utjecaj na smanjenje onečišćenja s brodova, kao i doprinos strategiji energetskeg razvoja Republike Hrvatske.

## 7. ZAKLJUČAK

Iz analize podataka je moguće zaključiti kako Hrvatska uspješno provodi politiku povećanja korištenja obnovljivih izvora energije, te time prati i politiku Europske unije koja svojim direktivama i poticajima potiče svoje članice da povećaju korištenje obnovljivih izvora energije. Hidroenergija i dalje dominira među obnovljivim izvorima električne energije, zahvaljujući obilju rijeka i vodnih resursa. Prosječni udio hidroenergije u energetske bilanci u posljednjih pet godina iznosi 46,7%. Faktor iskorištenja hidroelektrana u posljednjih 5 godina se kreće između 28 i 40%. Prikazanim izračunima faktora iskorištenja i vremenskog trajanja iskorištenja, kao i udjelu proizvedene električne energije u posljednjih pet godina, vidljiva je dominantna uloga hidroelektrana u elektro energetske sektoru Republike Hrvatske. U 2022. Godini hidroelektrane su imale udio od 39,2% u proizvodnji električne energije, te unatoč padu u proteklom vremenskom razdoblju još uvijek imaju dominantnu ulogu. Instalirana snaga hidroelektrana, koja je u 2022. Godini iznosila 2203,4 MW, kao i količina proizvedene energije korištenjem energije vode je puno veća u odnosu na ostale obnovljive izvore.

U posljednjim godinama zabilježen je značajan porast instaliranih kapaciteta vjetroelektrana, te je on u 2022. godini iznosio 986,9 MW, no on je još uvijek puno manji u odnosu na hidroelektrane i navedene tehnologije imaju veliki potencijal za daljnji razvoj. Potrebno je ipak istaknuti kako u posljednje vrijeme vjetroelektrane imaju sve veću ulogu u pokrivanju opterećenja elektroenergetskog sustava Hrvatske, te se smatraju jednim od sustava koji je doživio najveći razvoj u posljednjih deset godina. Prosječni udio vjetroenergije u energetske bilanci u posljednjih pet godina iznosi 12,5%. Faktor iskorištenja vjetroelektrana u posljednjih 5 godina se kreće između 23 i 26%. Vjetroelektrane imaju veliku ulogu u pokrivanju satnog opterećenja energetske sustava, te su u 2022. Godini imale udio od 15% u proizvodnji električne energije. Broj sunčanih elektrana također kontinuirano raste iz dana u dan, te su u 2022.godini imale instaliranu snagu od 222 MW. Razlog tome su prepoznate prednosti solarne energije, koja omogućuje vlasnicima značajno smanjenje troškova električne energije, kao i politika koju ministarstvo Republike Hrvatske provodi putem poticajnih mjera. Njihova utjecaj je ipak trenutno jako malen u pokrivanju potreba za električnom energijom. U posljednjih pet godina imaju prosječni udio od 0,78% u energetske bilanci. Faktor iskorištenja solarnih elektrana se kreće između 7,8 i 12,1% u posljednjih pet godina.

Vlada Republike Hrvatske i Europska unija pružaju različite oblike financijske potpore i subvencija kako bi potaknule investicije u obnovljive izvore energije. Prema Strategiji niskougljičnog razvoja koju je donjela Vlada Republike Hrvatske, HEP do 2050. godine planira povećati udjel obnovljivih izvora energije na više od 80 posto. Podatak o trenutnih 63,6% proizvedene električne energije iz obnovljivih izvora pokazuje da je moguće znatno smanjenje uporabe fosilnih goriva. Time se omogućuje i znatno smanjenje emisije stakleničkih plinova koji su štetni za okoliš. Prema predviđanjima autora, ukoliko se mjere porasta instaliranih snaga vjetroelektrana i solarnih elektrana nastave provoditi, Hrvatska će ispuniti navdeni cilj. U planu je smanjiti utjecaj i veliki oslonac na hidroelektrane i hidroenergiju, što je prema podacima koji su dati u radu nepotrebno, s obzirom da hidroenergija kao izvor koje nema oscilaciju prirodnog dotoka, ima puno manju ovisnost o klimatskim uvjetima, te je iz tog razloga puno pouzdaniji izvor što se tiče planske proizvodnje. Prema stupnjevima iskorištenja i prema tehničkom hidropotencijalu i resursima, postoji još prostora za napredak, te za dodatnim povećanjem proizvodnje električne energija iz hidroelektrana. Planovi znatnog povećanja implementacije vjetroelektrana i fotoelektričnih sustava su u potpunosti opravdani, a iz analize stupnja iskorištenja postojećih elektrana i potencijala ovih izvora energije proizlazi da ima puno prostora za napredak. Ukoliko bi se ovi ciljevi ispunili, smanjila bi se potreba za uvozom električne energije, te bi Hrvatska postala energetska manje ovisna. U 2022. Godini Hrvatska je uvezla 11.919,7 GWh električne energije, dok je u istoj godini izvezeno 7.224,9 GWh, što bi značilo da je pokrivenost uvoza s izvozom 60,6%. Navedeni viškovi energije u proizvodnji bi se mogli skladištiti, te koristiti po potrebi. U prometu bi se znatno smanjio utjecaj i korištenje fosilnih goriva, te bi se omogućilo oslanjanje na alternativna goriva. U 2022. godini je na cestovni i pomorski promet utrošeno 288,6 GWh električne energije, što i nije veliki iznos i pokazuje koliko je u prometu oslonac na fosilna goriva. Za primjer, u istoj godini je potrošeno 5.753,3 GWh motornog benzina, što pokazuje koliko je prostora za prelazak na zelenu energiju iz ovog sektora. Naravno, isto bi rezultiralo povećanjem zahtjeva za električnom energijom, te bi stoga trebalo debelo povećati proizvodnju, s obzirom da ukupna potrošnja iz prometa iznosi 25.868 GWh. Ukoliko bi se potrebna alternativna goriva, prije svega električna energija i zeleni vodik, dobili iz vlastitih resursa, korištenjem obnovljivih izvora znatno bi se smanjile emisije štetnih tvari i omogućilo očuvanje okoliša i održivi razvoj.



## POPIS LITERATURE

- [1] Boris Labudović, Franjo Barbir, 2002, *Obnovljivi izvori energije*, Zagreb
- [2] Kalea, M., 2014. *Obnovljivi izvori energije, energetski pogled*, Zagreb.
- [3] Nela Vlahinić Lenz, Saša Živković, Ivan Gržeta, 2019. *Novi izazovi u energetici, ekonomska perspektiva*, Rijeka.
- [4] *Na današnji dan, 1895. godine puštena je u pogon hidroelektrana 'Krka'*, 2022, online: <https://www.morski.hr/na-danasnji-dan-1895-godine-pustena-je-u-pogon-hidroelektrana-krka/> (2.5.2024)
- [5] German Ardul Munoz-Hernandez, Sa'ad Petrous Mansoor, Dewi Ieuan Jone, 2012. *Modelling and Controlling, Hydropower Plants*. London: Springer.
- [6] Singh, Vineet Kumar & Singal, S.K., 2017. "Operation of hydro power plants-a review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, Svezak. 69, pp. 610-619.
- [7] H. Požar, 1983. *Snaga i energija u elektroenergetskim sistemima*, Zagreb.
- [8] Hidroelektrane, 2014, online: [https://www.slideserve.com/isanne/hidroelektrane#google\\_vlg](https://www.slideserve.com/isanne/hidroelektrane#google_vlg) (7.5.2024)
- [9] Tiwari, G., 2020. Utility of CFD in the design and performance analysis of hydraulic turbines: A review. *Energy reports*, Svezak 6, pp. 2410-2429.
- [10] Chamil Abeykoon, Tobi Hantsch, 2017. *Design and Analysis of a Kaplan Turbine Runner Wheel*. Rome, MCM'17.
- [11] Audrius Židonis, George A. Aggidis, 2015. State of the art in numerical modelling of Pelton turbines. *Renewable and sustainable energy reviews*, Svezak 45, pp. 135-144.
- [12] *Peltonova turbina*, 2007, online: <https://tehnicki.lzmk.hr/clanak/peltonova-turbina> (13.5.2024)
- [13] *Reverzibilne Hidroelektrane*, 2021, online: <https://www.ecoportal.me/reverzibilne-hidroelektrane/> (14.5.2024)
- [14] Simić, J., 2012. *Reverzibilne hidroelektrane*,. *INFOTEH-JAHORINA*, 11(1081).
- [15] *Male hidroelektrane*, 2017, online: <https://www.menea.hr/wp-content/uploads/2013/12/6-hidroelektrane.pdf> (18.5.2024)
- [16] Gazala, R., 2023. *Hydro Power: Growth, Production Trends, and Major Players in the Global Industry*, Insights by worldref, media release, 17 April 2023, online: <https://insights.worldref.co/hydro-power-growth-trends-major-players/> (20.5.2024)

- [17] 2022 *Hydropower Status Report*, 2022, online: <https://www.hydropower.org/status-report> ( 22.5.2024)
- [18] Đurišić, Ž. R., 2019. *Vjetroelektrane*, Akademska misao, Beograd.
- [19] Robert W. Righter, 1996, *Wind Energy in America: A History*.
- [20] Muhd Khudri Johari, Muhammad Azim A Jalil, Mohammad Faizal Mohd Shariff, 2018. *Comparison of horizontal axis wind turbine (HAWT) and vertical axis wind turbine (VAWT)*. International Journal of Engineering & Technology, 7(4.13), pp. 74-80.
- [21] WWEA, 2023. *Annual Report 2023*.
- [22] *Solar resource maps & GIS data*, Solargis, 2021, online: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/world> (25.5.2024)
- [24] Stanković, A.T. 2017, *Tehnologije solarnih ćelija*, 27.siječnja, Energetski institut Hrvoje Požar, online: [https://aolab.fer.hr/\\_download/repository/Tehnologije\\_solarnih\\_celija\\_20170127\\_ATS.pdf](https://aolab.fer.hr/_download/repository/Tehnologije_solarnih_celija_20170127_ATS.pdf) (27.5.2024)
- [25] Majdanžić, L., 2010. *Solarni sustavi*. Zagreb.
- [26] *Fotonaponski sustavi*, 2012., online: <https://dokumen.tips/documents/fotonaponski-sustavi-ljubomir-majdandzic.html> (29.5.2024)
- [27] *Solarni toplinski sustavi*, 2017., online: <https://www.hsuse.hr/?tehnologija> (1.6.2024)
- [28] International solar alliance, 2023. *World solar market report 2023*.
- [29] Volker Quaschnig; Norbert Geuder, Christoph Richter, Franz Trieb, 2003. *Contribution of concentrated solar thermal power for a competitive sustainable energy supply*, Stuttgart.
- [30] Malek Kamal Hussien Rabaia, Mohammad Ali Abdelkareem, Enas Taha Sayed, Khaled Elsaid, Kyu-Jung Chae, Tabbi Wilberforce, A.G. Olabi, 2021. *Environmental impacts of solar energy systems: A review*. Science of total Environment, 754(141989).
- [31] *Obnovljivi izvori energije*, Jerkić L., 2010., online: <https://www.obnovljivi.com/energija-vode/55-iskoristavanje-energije-vodotoka-u-energetici?showall=1> (4.6.2024)
- [32] *ekstrakcija-elektrane*, 2017., online: <https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/elektrane.pdf> (5.6.2024)
- [33] B. Vuk i suradnici, 2019. *Energija u Hrvatskoj 2018, godišnji energetski pregled*, Zagreb: Ministarstvo zaštite okoliša i energetike Republike Hrvatske.
- [34] B. Vuk i suradnici, 2020. *Energija u Hrvatskoj 2019. godišnji energetski pregled*, Zagreb: Ministarstvo zaštite okoliša i energetike Republike Hrvatske.

- [35] B. Vuk i suradnici, 2021. *Energija u Hrvatskoj 2020. godišnji energetske pregled*, Zagreb: Ministarstvo zaštite okoliša i energetike Republike Hrvatske.
- [36] B. Vuk i suradnici, Zagreb, 2022., *Energija u Hrvatskoj 2021. godišnji energetske pregled*, Zagreb: Ministarstvo zaštite okoliša i energetike Republike Hrvatske.
- [37] B. Vuk i suradnici, 2023. *Energija u Hrvatskoj 2022. godišnji energetske pregled*, Zagreb: Ministarstvo zaštite okoliša i energetike Republike Hrvatske.
- [38] Hrvatski sabor, 2021. *Strategija niskougličnog razvoja republike hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu*. Narodne novine, 127(19), Zagreb.
- [39] I. Ivanković i suradnici, 2023. *Godišnji izvještaj o proizvodnji vjetroelektrana u Hrvatskoj*, Hrvatski operator prijenosnog sustava, Zagreb.
- [40] Midhat Umihanić, Nurđin Ćehajić, Nevres Salihović, 2015. *Usporedna analiza proizvodnje električne energije fiksnih fotonaponskih sustava u različitim dijelovima BiH*. Tehnički glasnik, Svezak 9., Sarajevo.
- [41] DHMZ, (Državni hidrometeorološki zavod.), *Atlas Vjetra*, online: [https://meteo.hr/klima.php?section=klima\\_hrvatska&param=k1\\_8](https://meteo.hr/klima.php?section=klima_hrvatska&param=k1_8) (17.6.2024)
- [42] D.Bošnjak, 2020., *Alternativna goriva u prometu i obnovljivi izvori energije kao budućnost niskougličnog energetske sektora Republike Hrvatske*, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- [43] M.Pavlović, 2023., *Kopneni priključak električne energije za brodove na vezu u luci*, Diplomski rad, Sveučilište u Dubrovniku, Dubrovnik.
- [44] *Vodna turbina*, 2023., online: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Vodna\\_turbina](https://hr.wikipedia.org/wiki/Vodna_turbina) (17.6.2024)
- [45] *Energija vjetra*, online: <http://marjan.fesb.hr/~rgoic/oe/p3.pdf> (19.6.2024)
- [46] Horizontal-Axis Wind Turbine (HAWT) Working Principle, Single Blade, Two Blade, Three-Blade Wind Turbine, online: <https://electricalacademia.com/renewable-energy/horizontal-axis-wind-turbine-hawt-working-principle-single-blade-two-blade-three-blade-wind-turbine/> (20.6.2024)
- [47] What Is A Vertical Axis Wind Turbine (VAWT), online: [What Is A Vertical Axis Wind Turbine \(VAWT\)? - WindCycle](#) (20.6.2024)
- [48] *Vjetroelektrane – dvosjekli mač?*, 2018, online: <https://rimeteo.com/vjetroelektrane-dvosjekli-mac/> (22.6.2024)

- [49] *Priobalna vjetroelektrana Walney Extension najveća je na svijetu*, 2018., online: <https://www.ekovjesnik.hr/clanak/929/priobalna-vjetroelektrana-walney-extension-najveca-je-na-svijetu> (22.6.2024)
- [50] *Vjetroelektrane*, online: [http://ipaq.petagimnazija.hr/wp-content/uploads/2013/10/Obnovljivi\\_Vjetroelektrane\\_slozeno.pdf](http://ipaq.petagimnazija.hr/wp-content/uploads/2013/10/Obnovljivi_Vjetroelektrane_slozeno.pdf) (23.6.2024)
- [52] *Neintegrirane sunčane elektrane*, online: <https://www.hep.hr/projekti/obnovljivi-izvori-energije/neintegrirane-suncane-elektrane/3422> (24.6.2024)
- [52] *Photovoltaic geographical information system*, online: [www.pvgis.com](http://www.pvgis.com) (26.6.2024)
- [53] *General Electric gradi vjetrenjaču visoku 260 metara, bit će najveća na svijetu*, 2019., online: <https://www.bug.hr/energetika/general-electric-gradi-vjetrenjacu-visoku-260-metara-bit-ce-najveca-na-svijetu-7742> (27.6.2024)

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Specifične brzine pojedinih izvedbi turbine .....	9
Tablica 2. Prikaz porasta korištenja vjetroenergije u vidu broja radnih sati godišnje u Europi.....	21
Tablica 3. Najveći svjetski proizvođači vjetroenergije.....	33
Tablica 4. Instalirani kapaciteti za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora u Republici Hrvatskoj u protekloj godini.....	46
Tablica 5. Proizvedena električna energija u hidroelektranama u Hrvatskoj od 2018. do 2022.g.....	48
Tablica 6. Instalirana snaga i proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora i hidroelektrana.....	49
Tablica 7. Usporedba ukupne proizvodnje EE iz svih OIE s EE. proizvedenom u hidroelektranama .....	52
Tablica 8. Stupnjevi iskorištenja hidroelektrana .....	53
Tablica 9. Trajanje iskorištenja hidroelektrana u razdoblju od 2018. do 2022. g. ....	55
Tablica 10. Potencijali vodotoka Hrvatske .....	56
Tablica 11. Popis vjetroelektrana u Hrvatskoj.....	57
Tablica 12. Instalirana snaga i proizvedena električna energija iz vjetroelektrana i obnovljivih izvora od 2018. do 2022.g.....	59
Tablica 13. Usporedba ukupne proizvodnje električne energija s proizvodnjom iz obnovljivih izvora i vjetroelektrana.....	61
Tablica 14. Stupnjevi iskorištenja vjetroelektrana u Hrvatskoj.....	62
Tablica 15. Trajanje iskorištenja vjetroelektrana u Hrvatskoj od 2018. do 2022.g....	63
Tablica 16. Neintegrirane solarne elektrane u Hrvatskoj .....	70
Tablica 17. Integrirane solarne elektrane u Hrvatskoj.....	71
Tablica 18. Instalirana snaga i proizvedena električna energija iz solarnih elektrana i obnovljivih izvora od 2018. do 2022.g.....	72
Tablica 19. Usporedba ukupne proizvodnje električne energije s proizvodnjom iz obnovljivih izvora i solarnih elektrana.....	74
Tablica 20. Stupnjevi iskorištenja solarnih elektrana.....	75
Tablica 21. Trajanje iskorištenja solarnih elektrana od 2018. do 2022.g.....	76
Tablica 22. Optimalni kutevi orijentacije i inklinacije za instalaciju fotonaponskih sustava na hrvatskoj obali .....	78
Tablica 23. Bilanca električne energije Hrvatske u razdoblju od 2018. do 2022. godine.....	80
Tablica 24. Iznosi uvezene i izvezene električne energije od 2018.g. do 2022.g. ....	83

## POPIS GRAFIKONA

<b>Grafikon 1. Dobivanje električne energije iz energije vode u svijetu po regijama. ....</b>	<b>16</b>
<b>Grafikon 2. Najveći proizvođači električne energije iz energije vode u svijetu.....</b>	<b>17</b>
<b>Grafikon 3. Prikaz proizvedene električne energije putem energije vjetra u svijetu tijekom godina .....</b>	<b>32</b>
<b>Grafikon 4. Usporedba emisije stakleničkih plinova Fotonaponskih ćelija i drugih tehnologija za dobivanje električne energije.....</b>	<b>45</b>
<b>Grafikon 5. Instalirana snaga i proizvodnja električne energije u hidroelektranama i drugim OIE.....</b>	<b>50</b>
<b>Grafikon 6. Prikaz udjela proizvedene električne energije iz hidroelektrana u odnosu na OIE.....</b>	<b>51</b>
<b>Grafikon 7. Usporedba instalirane snage i proizvedene električne energije iz vjetroelektrana i obnovljivih izvora.....</b>	<b>60</b>
<b>Grafikon 8. Prikaz udjela proizvodnje vjetroelektrana u odnosu na obnovljive izvore energije .....</b>	<b>60</b>
<b>Grafikon 9. Usporedba instalirane snage i proizvedene električne energije solarnih elektrana u odnosu na obnovljive izvore .....</b>	<b>73</b>
<b>Grafikon 10. Udio proizvodnje el. energije iz SE u ukupnoj proizvodnji iz obnovljivih izvora .....</b>	<b>73</b>
<b>Grafikon 11. Ukupna proizvodnja električne energije po izvorima (u GWh).....</b>	<b>80</b>
<b>Grafikon 12. Ukupna proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora (u GWh) .....</b>	<b>81</b>
<b>Grafikon 13. Udjeli obnovljivih izvora energije u ukupnoj proizvodnji električne energije za 2022. Godinu.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Grafikon 14. Usporedba sveukupne proizvodnje i proizvodnje iz obnovljivih izvora u odnosu na potrošnju električne energije .....</b>	<b>82</b>

## POPIS SLIKA

Slika 1. HE Jaruga .....	3
Slika 2 Shema hidroelektran.....	6
Slika 3. Ovisnost stupnja djelovanja turbine o protoku.....	10
Slika 4. Kaplanova turbine .....	12
Slika 5. Francisova turbine .....	12
Slika 6. Pelton turbina .....	11
Slika 7. Shema reverzibilne hidroelektrane .....	14
Slika 8. Shema protočne hidroelektrane .....	15
Slika 9. Prvi vjetroagregat u Americi. ....	20
Slika 10. Shema sustava vjetroelektrane .....	22
Slika 11. Vjetroturbina s horizontalnom osi vrtnje rotora (HAWT) .....	28
Slika 12. Vjetroturbine s vertikalnom osi rotora (VAWT).....	29
Slika 13. Primjer kopnene vjetroelektrane .....	29
Slika 14. Najveća offshore vjetroelektrana na svijetu (Walney extension).....	30
Slika 15. Simulacija plutajuće vjetroelektrane .....	31
Slika 16. Visinske vjetroelektrane .....	31
Slika 17. Lokacijski fotonaponski potencijal planeta Zemlje.....	35
Slika 18. Shema n-p fotonaponske ćelije.....	38
Slika 19. Shema fotonaponskog sustava priključenog na javnu mrežu.....	39
Slika 20. Shema sustava sa solarnim kolektorima.....	40
Slika 21. Proizvodnja električne energije iz solarnih sustava po regijama u razdoblju od 2000 do 2022. ....	43
Slika 22. Lokacije hidroelektrana u Hrvatskoj .....	49
Slika 23. Lokacije vjetroelektrana u Hrvatskoj .....	58
Slika 24. Dnevna proizvodnja svih vjetroelektrana u Hrvatskoj u 2023. godini.....	64
Slika 25. Udio proizvodnje vjetroelektrana u pokrivanju satnog opterećenja elektroenergetskog sustava.....	65
Slika 26. Srednja godišnja brzina vjetra 10 metara iznad tla .....	66
Slika 27. Srednja godišnja brzina vjetra 80 metara iznad tla .....	67
Slika 28. Potencijalne lokacije vjetroelektrana u Hrvatskoj.....	68
Slika 29. Srednja godišnja ozračenost Hrvatske.....	77