

# Usporedba energetske učinkovitosti različitih tehnologija proizvodnje električne energije iz OIE

---

Čota, Mislav

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:305521>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-04**

*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Sveučilišni studij**

**USPOREDBA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI  
RAZLIČITIH TEHNOLOGIJA PROIZVODNJE  
ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ OIE**

**Završni rad**

**Mislav Čota**

**Osijek, 2024.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1P: Obrazac za ocjenu završnog rada na sveučilišnom prijediplomskom studiju****Ocjena završnog rada na sveučilišnom prijediplomskom studiju**

<b>Ime i prezime pristupnika:</b>	Mislav Čota
<b>Studij, smjer:</b>	Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
<b>Mat. br. pristupnika, god.</b>	4805, 28.07.2020.
<b>JMBAG:</b>	0165087127
<b>Mentor:</b>	prof. dr. sc. Damir Šljivac
<b>Sumentor:</b>	
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Naslov završnog rada:</b>	Usporedba energetske učinkovitosti različitih tehnologija proizvodnje električne energije iz OIE
<b>Znanstvena grana završnog rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak završnog rada:</b>	Opisati različite tehnologije proizvodnje električne energije iz OIE s obzirom na njihovu energetska učinkovitost i u proračunskom dijelu za odabrani slučaj instalirane snage izvršiti usporedbu njihove energetske učinkovitosti.
<b>Datum prijedloga ocjene završnog rada od strane mentora:</b>	19.09.2024.
<b>Prijedlog ocjene završnog rada od strane mentora:</b>	Vrlo dobar (4)
<b>Datum potvrde ocjene završnog rada od strane Odbora:</b>	27.09.2024.
<b>Ocjena završnog rada nakon obrane:</b>	Vrlo dobar (4)
<b>Datum potvrde mentora o predaji konačne verzije završnog rada čime je pristupnik završio sveučilišni prijediplomski studij:</b>	30.09.2024.



**FERIT**

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

## IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Osijek, 30.09.2024.

Ime i prezime Pristupnika:	Mislav Čota
Studij:	Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. Pristupnika, godina upisa:	4805, 28.07.2020.
Turnitin podudaranje [%]:	6

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Usporedba energetske učinkovitosti različitih tehnologija proizvodnje električne energije iz OIE**

izrađen pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Damir Šljivac

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis pristupnika:

## Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>1.1. Zadatak završnog rada</b> .....	1
<b>2. FOTONAPONSKI SUSTAVI</b> .....	2
<b>2.1. Stupanj djelovanja FN ćelija</b> .....	2
<b>2.2. Faktor iskorištenja vršne snage FN sustava</b> .....	4
<b>2.3 LCOE FN sustava</b> .....	5
<b>3. VJETROELEKTRANE</b> .....	6
<b>3.1. Stupanj djelovanja VE</b> .....	6
<b>3.2. Faktor iskorištenja vršne snage VE na kopnu</b> .....	7
<b>3.3. LCOE VE na kopnu</b> .....	8
<b>3.4. Faktor iskorištenja vršne snage VE na pučini</b> .....	9
<b>3.5. LCOE VE na pučini</b> .....	10
<b>4. TERMOELEKTRANE (KOGENERACIJE) NA OIE</b> .....	11
<b>4.1. Stupanj djelovanja kogeneracijskih TE</b> .....	11
<b>4.2. Faktor iskorištenja vršne snage BTE</b> .....	12
<b>4.3. LCOE BTE</b> .....	13
<b>4.4. Faktor iskorištenja vršne snage GTE</b> .....	14
<b>4.5. LCOE GTE</b> .....	15
<b>4.6. Faktor iskorištenja vršne snage STE</b> .....	16
<b>4.7. LCOE STE</b> .....	17
<b>5. MALE HIDROELEKTRANE I ENERGIJA OCEANA</b> .....	18
<b>5.1. Stupanj djelovanja HE</b> .....	18
<b>5.2. Faktor iskorištenja vršne snage male HE</b> .....	20
<b>5.3. LCOE male HE</b> .....	21
<b>5.4. Elektrane na energiju oceana</b> .....	22
<b>6. USPOREDBA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI I FAKTORA ISKORIŠTENJA ELEKTRANA NA OIE</b> .....	24
<b>7. ZAKLJUČAK</b> .....	27
<b>LITERATURA</b> .....	28
<b>SAŽETAK</b> .....	29
<b>ABSTRACT</b> .....	29
<b>ŽIVOTOPIS</b> .....	30

# 1. UVOD

Posljednjih su godina sve veće cijene fosilnih goriva i zabrinutost zbog ekoloških posljedica klimatskih promjena potaknuli razvoj tehnologije proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora. Tri su glavna pokretača razvoja tehnologija proizvodnje iz obnovljivih izvora: energetska sigurnost, ekonomski učinci te očuvanje okoliša. Energetska učinkovitost ima veliku ulogu u postizanju ciljeva održivog razvoja. Veća učinkovitost smanjuje emisiju štetnih plinova u okoliš, jača industrijsku konkurentnost, doprinosi otvaranju novih radnih mjesta i povećava sigurnost opskrbe energijom. S obzirom na sve niže troškove i poboljšane performanse, obnovljivi izvori energije uvjerljivo predvode energetska tranziciju.

Svako poglavlje odnosi se na različitu tehnologije proizvodnje, pri čemu je naglasak stavljen na stupanj djelovanja, trajanje iskorištenja instalirane snage te LCOE (engl. Levelized Cost of Electricity). Drugo poglavlje odnosi se na FN (fotonaponske) sustave. Treće poglavlje opisuje VE (vjetroelektrane). U četvrtom poglavlju opisane su TE (termoelektrane) na OIE (obnovljive izvore energije), a to su BTE (TE na biomasu i bioplin), GTE (geotermalne elektrane) i STE (TE s koncentriranim Sunčevim zračenjem). Peto poglavlje odnosi se male HE (hidroelektrane) te elektrane na energiju oceana (morsku plimu i oseku, struje i valove).

## 1.1. Zadatak završnog rada

Zadatak završnog rada je usporediti energetske učinkovitosti različitih tehnologija proizvodnje električne energije iz OIE. Naglasak staviti na stupanj djelovanja, trajanje iskorištenja instalirane snage te LCOE, odnosno u prijevodu „Nivelirani troškovi proizvodnje električne energije“. Također, zadatak rada je napraviti usporednu analizu energetske učinkovitosti tehnologija u različitim rasponima snaga, s naglaskom na stupanj djelovanja, faktor iskorištenja te godišnju proizvodnju električne energije.

## 2. FOTONAPONSKI SUSTAVI

Podjela s obzirom na način rada:

- autonomni
- mrežni

FN sustavi (elektrane) su integriran skup FN modula te drugih komponenata koji je osmišljen i projektiran kako bi Sunčevu energiju izravno pretvorio u električnu energiju. Njome osiguravamo rad istosmjernih i/ili izmjeničnih trošila, samostalno ili zajedno s pričuvnim izvorom.

[\[1\]](#)

### 2.1. Stupanj djelovanja FN ćelija

Osnovni, gradivni blok FN sustava jest FN ćelija. Snaga jedne FN ćelije iznosi 1 do 2 W, napona oko 0,6 V, što je nedovoljno za većinu potreba. Zbog toga se električno povezuju u modul, odnosno serijsko-paralelni spoj ćelija koji je zaštićen od vremenskih utjecaja. Tvornički podatci FN modula odnose se na testiranje u standardnim testnim uvjetima (STC) [\[1\]](#):

- Sunčevo zračenje od  $1 \frac{kW}{m^2}$
- temperatura modula od  $25^{\circ}C$

Učinkovitost FN ćelije ovisi o njenoj izvedbi, tj. o materijalu od kojeg je napravljena te o vanjskim utjecajima (jakost zračenja, temperatura). Maksimalni teorijski stupanj djelovanja iznosi 0.35. Izračunava se prema sljedećem izrazu [\[1\]](#):

$$\eta_{FNC} = \frac{P_{MPP}}{G \cdot A_{FNC}} \cdot 100 = F \cdot \frac{U_{PH} \cdot I_{KS}}{G} \cdot 100 [\%] \quad (2-1)$$

gdje je:

- $P_{MPP}$  – maksimalna snaga [W]
- $G$  – snaga Sunčevog zračenja [ $\frac{W}{m^2}$ ]
- $A_{FNC}$  – površina FN ćelije [ $m^2$ ]

dok je faktor punjenja F:

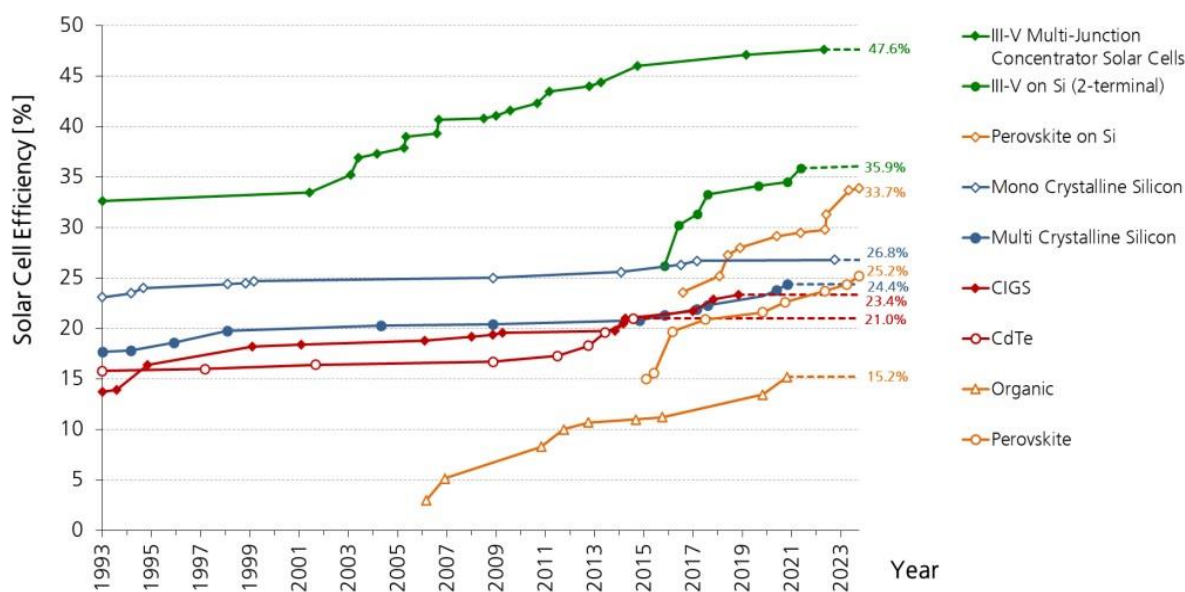
$$F = \frac{P_{MPP}}{U_{PH} \cdot I_{KS}} \cdot 100 = F \cdot \frac{U_{MPP} \cdot I_{MPP}}{U_{PH} \cdot I_{KS}} \cdot 100 \quad (2-2)$$

gdje je:

- $U_{MPP}$  – maksimalni napon [V]
- $I_{MPP}$  – maksimalna struja [A]
- $U_{PH}$  – napon praznog hoda [V]
- $I_{KS}$  – struja kratkog spoja [A]

Kada govorimo o učinkovitosti FN sustava, bitno je napomenuti vremenske čimbenike koji uključuju utjecaj godišnjih doba, tj. broj sati dnevnog svjetla u jednoj sezoni. Sunčevo zračenje promjenjivo je s obzirom na vremenske uvjete, doba dana i godine. Ono što može umanjiti intenzitet zračenja jest pojava oblaka. Različiti tehnološki pravci, odnosno materijali ćelija donose različite učinkovitosti, ali i cijenu. Svaka tehnologija ima cilj postići što veću učinkovitost uz što nižu cijenu. Učinkovitost FN elektrana je načelno niska u odnosu na konvencionalne usporedivih tehnologija zbog manjih snaga. Raspon je 12-16 % za elektrane s kristalno silicijskim modulima te 8-14 % za one s tanko slojnim modulima.

## Development of Laboratory Solar Cell Efficiencies



Data: Solar Cell Efficiency Tables (Versions 1 to 63), Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 1993-2023. Graph: Fraunhofer ISE 2024. Date of data: 10/2023

Slika 2.1. Razvoj učinkovitosti laboratorijskih solarnih ćelija [2]



## 2.2. Faktor iskorištenja vršne snage FN sustava

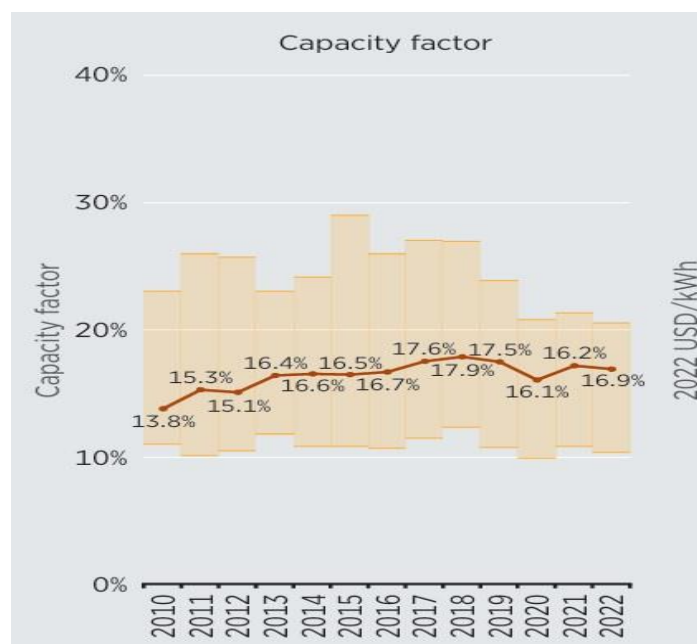
Faktor iskorištenja vršne snage (engl. Capacity Factor CF) predstavlja omjer proizvedene električne energije u godini i električne energije koja bi se mogla proizvesti da je elektrana tokom cijelog navedenog razdoblja bila pod vršnim opterećenjem. Izračunava se prema sljedećem izrazu [3] :

$$CF = \frac{W_g}{8760 \cdot P_{g,max}} \quad (2-3)$$

gdje je:

- $W_g$  – proizvodnja elektrane u godini u MWh
- $P_{g,max}$  –vršno opterećenje elektrane u godini u MW

Budući da je učinkovitost FN sustava niska u usporedbi s ostalim tehnologijama, tako je i faktor iskorištenja vršne snage niži. Na slici 2.2. možemo vidjeti kako je faktor iskorištenja instalirane snage porastao u razdoblju od 2010. do 2022. godine sa 13.8% na 16.9%. Rastući trend vidljiv je između 2010. i 2018. godine, kada je dosegao najveću vrijednost od 17.9%. Uzrok takvog trenda pretežito je povećani udio postavljanja/raspoređivanja FN sustava na sunčanije lokacije. Nakon toga, rastući trend se preokrenuo. Uzrok je razvoj tehnologije koji je omogućio veće iskorištavanje solarne energije iz dostupnih izvora. Također, dodavanje uređaja koji prate kretanje Sunca (engl. Tracking system), faktor iskorištenja raste.

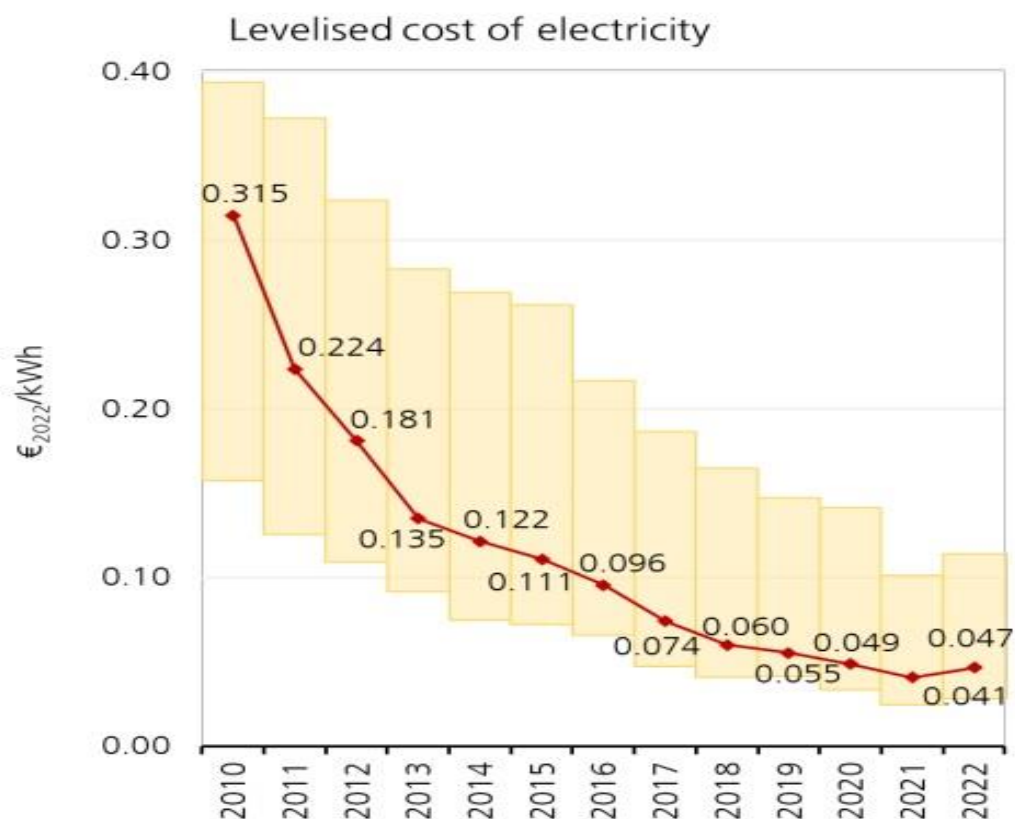


*Slika 2.2.* Faktor iskorištenja vršne snage u razdoblju od 2010. do 2022. godine [4]

## 2.3 LCOE FN sustava

LCOE predstavlja nivelirane troškove proizvodnje električne energije. To je alat kojim računamo prosječne troškove proizvodnje jednog kilovatsata (kWh) električne energije izraženih u neto sadašnjoj vrijednosti (NPV) kroz vijek trajanja elektrane. Izvrstan alat za usporedbu troškova proizvodnje električne energije iz različitih izvora upravo je LCOE. [5]

Drastični padovi cijena instalacijskih te troškova rada i održavanja utjecali su i na smanjenje LCOE-a za FN sustave. Na slici 2.3. možemo vidjeti prosječni globalni LCOE velikih FN sustava u razdoblju od 2010. do 2022. godine. U 2022. godini, prosječni globalni LCOE iznosio je 0.047 €/kWh (=47€/MWh). Peti percentil za 2022. godinu iznosio je 0.029 €/kWh (=29€/MWh), odnosno 5% podataka nalazilo se ispod te vrijednosti. Devedeset i peti percentil iznosio je 0.114 €/kWh (=114€/MWh), odnosno 5% podataka imalo je veću vrijednost. U navedenom razdoblju, LCOE je opadao otprilike 15% na godišnjoj razini.



*Slika 2.3.* Prosječni globalni LCOE u razdoblju od 2010. do 2022. godine [2]

### 3. VJETROELEKTRANE

Vjetroelektrane (VE) su postrojenja koja kinetičku energiju vjetra pretvaraju u električnu energiju. Pretvorba se odvija na način da se kinetička energija vjetra prenosi na lopatice rotora. Rotor pogoni sporookretnu osovinu koja preko prijenosnika pogoni brzookretnu osovinu čime se mehanička energija prenosi osovini električnog generatora koji generira električnu energiju. Sastoji se od [1] :

- jednog ili više agregata (vjetrogeneratora)
- elektroenergetskog postrojenja za priključak na mrežu

Podjela prema lokaciji:

- kopnene (engl. onshore)
- priobalne (engl. offshore)

#### 3.1. Stupanj djelovanja VE

Maksimalna učinkovitost rotora VE iznosi  $\frac{16}{27} = 0.593 = 59.3\%$  i naziva se Betzovim limitom. Odnosno, moguće je iskoristiti maksimalno 59% energije vjetra. Izlazna snaga koju daje generator određuje se pomoću izraza [1] :

$$P_{VE} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p \cdot \eta_m \cdot \eta_e \quad (3-1)$$

gdje je:

- $\rho$  – gustoća zraka [ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ]
- $A$  – površina koju opisuju lopatice motora [ $\text{m}^2$ ]
- $v$  – brzina vjetra [ $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ ]
- $C_p$  – koeficijent snage
- $\eta_m$  – ukupni mehanički stupanj korisnog djelovanja
- $\eta_e$  – stupanj korisnog djelovanja električnog generatora

Ako se pretpostavi da je stupanj djelovanja pogonskog mehanizma 0.65, a stupanj djelovanja električnog generatora 0.8 za maksimalnu energiju VE, maksimalni teorijski stupanj djelovanja VE iznosio bi oko 31%. Odnosno, 31% kinetičke energije vjetra teorijski se može pretvoriti u električnu energiju. [1]

### 3.2. Faktor iskorištenja vršne snage VE na kopnu

Bitna karakteristika vjetra je njegova varijabilnost, odnosno promjenjivost u brzini i smjeru. Stoga, faktor iskorištenja vršne snage pretežito ovisi o karakteristikama vjetra, dizajnu vjetroturbine te sustavu za uravnoteženje rada vjetroelektrana (engl. Balance of Plant) koji pruža podršku za stabilan i učinkovit rad postrojenja. Razvoj naprednijih i učinkovitijih tehnologija vjetroturbine s većim promjerom i visinom rotora uvelike su utjecali na porast snage vjetra koja se može iskoristiti i faktora iskorištenja. Također, napredak u daljinskom istraživanju i računalstvu omogućio je izbor bolje lokacije te minimizirao gubitke vrtloženja (engl. wake losses) (rezultirajući optimalnom izlaznom snagom). Tablica 3.1. prikazuje novije promjene faktora iskorištenja u 15 zemalja za 2010. , 2021. i 2022. godinu. Izuzev Meksika, prosječni faktor iskorištenja porastao je u svim zemljama. Ukupno, 7 od 15 prikazanih zemalja zabilježilo je porast od najmanje 32%, a 10 od 15 zemalja zabilježilo je porast od najmanje 21%.

**Tablica 3.1.** Prosječni faktori iskorištenja VE na kopnu, 2010. , 2021. i 2022. godine [4]

Country-specific average capacity factors for new onshore wind, 2010, 2021 and 2022

	2010	2021	2022
	%		
Brazil	36	52	50
Canada	32	45	47
China	25	36	35
Denmark	27	39*	39*
France	26	34	32
Germany	24	28	28
India	25	35	33
Italy	25	33	33
Japan	24	24	25
Mexico	40	37	33
Spain	27	43	32
Sweden	29	37	35
Türkiye	26	39	38
United Kingdom	30	41	38
United States	33	45	44

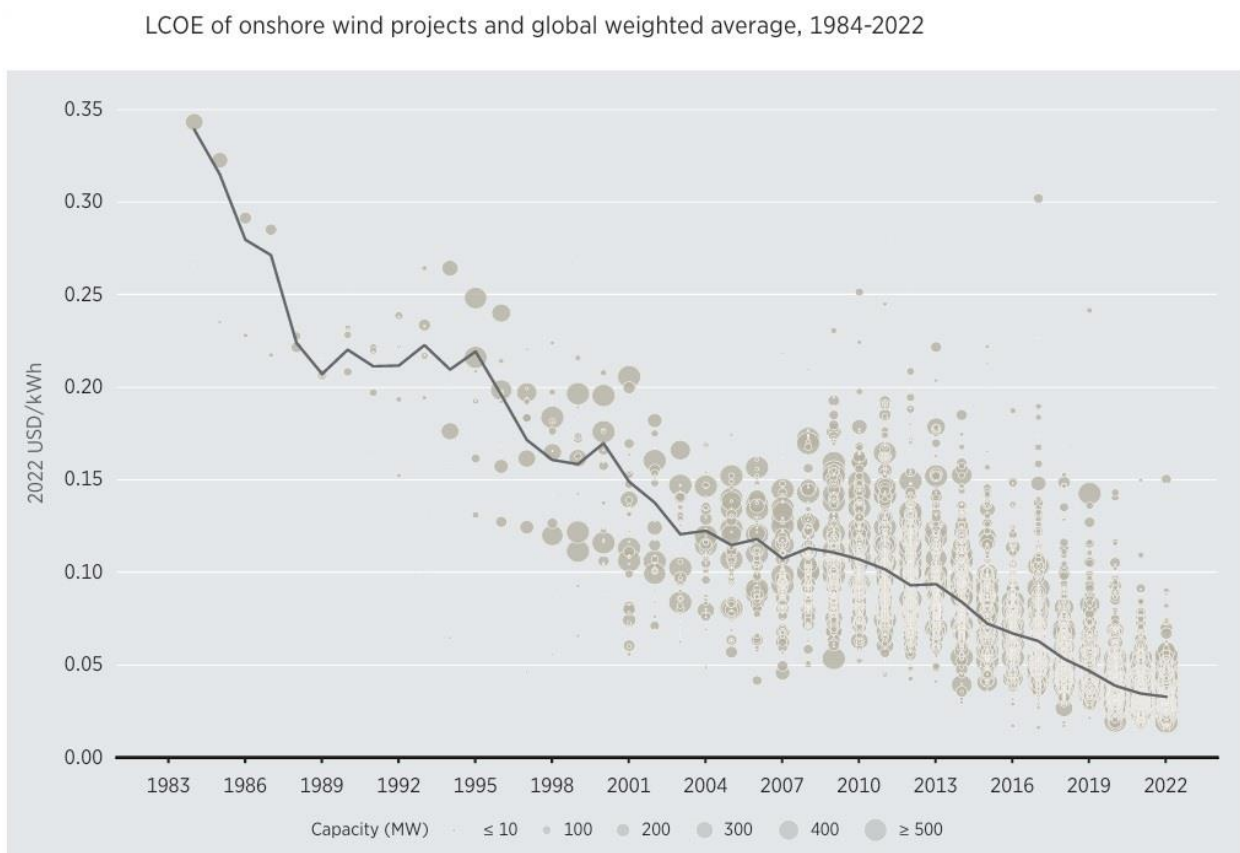
\* Countries with data only available for projects commissioned in 2020.

### 3.3. LCOE VE na kopnu

LCOE VE na kopnu određen je ukupnim troškovima instalacije, pogona i održavanja, faktorom iskorištenja vršne snage te kapitalnim ulaganjima. Troškovi pogona i održavanja uključuju kvarove opreme i udare groma. Kapitalna ulaganja odnose se na cijene dijelova, izgradnju dodatne infrastrukture, troškove prijevoza i ostale troškove. Iako svi čimbenici utječu na LCOE, ipak neki imaju značajniji utjecaj, a to su trošak stupa i vjetroturbine. Čimbenici koji utječu na pad prosječnog globalnog LCOE-a su:

- razvoj tehnologije vjetroturbine
- ekonomija razmjera
- troškovi pogona i održavanja
- konkurentna nabava

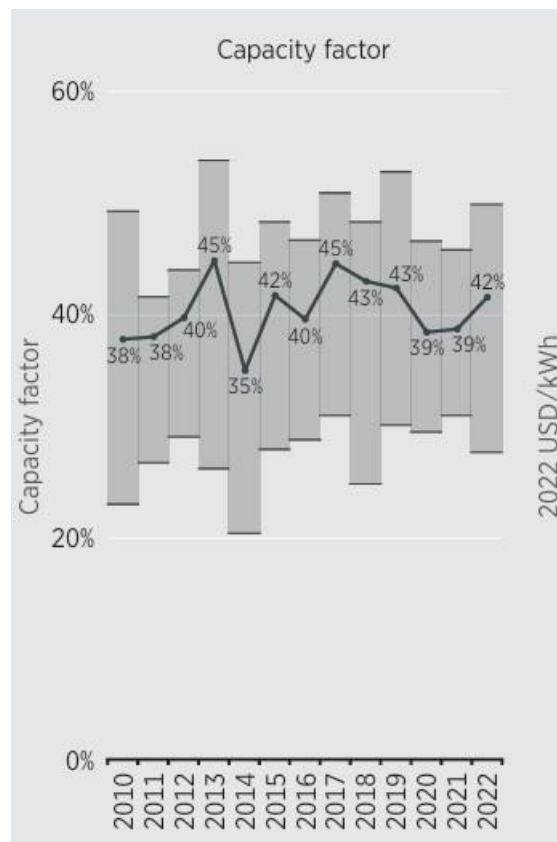
Na slici 3.1. možemo vidjeti trend smanjenja prosječnog globalnog LCOE-a u razdoblju od 1984. do 2022. godine. LCOE u 1984. godini iznosio je 0.339 \$/kWh, a 2022. godine 0.033 \$/kWh. Tijekom tog razdoblja, LCOE je pao za 90% .



**Slika 3.1.** Prosječni globalni LCOE VE na kopnu u razdoblju od 1984. do 2022. godine [\[4\]](#)

### 3.4. Faktor iskorištenja vršne snage VE na pučini

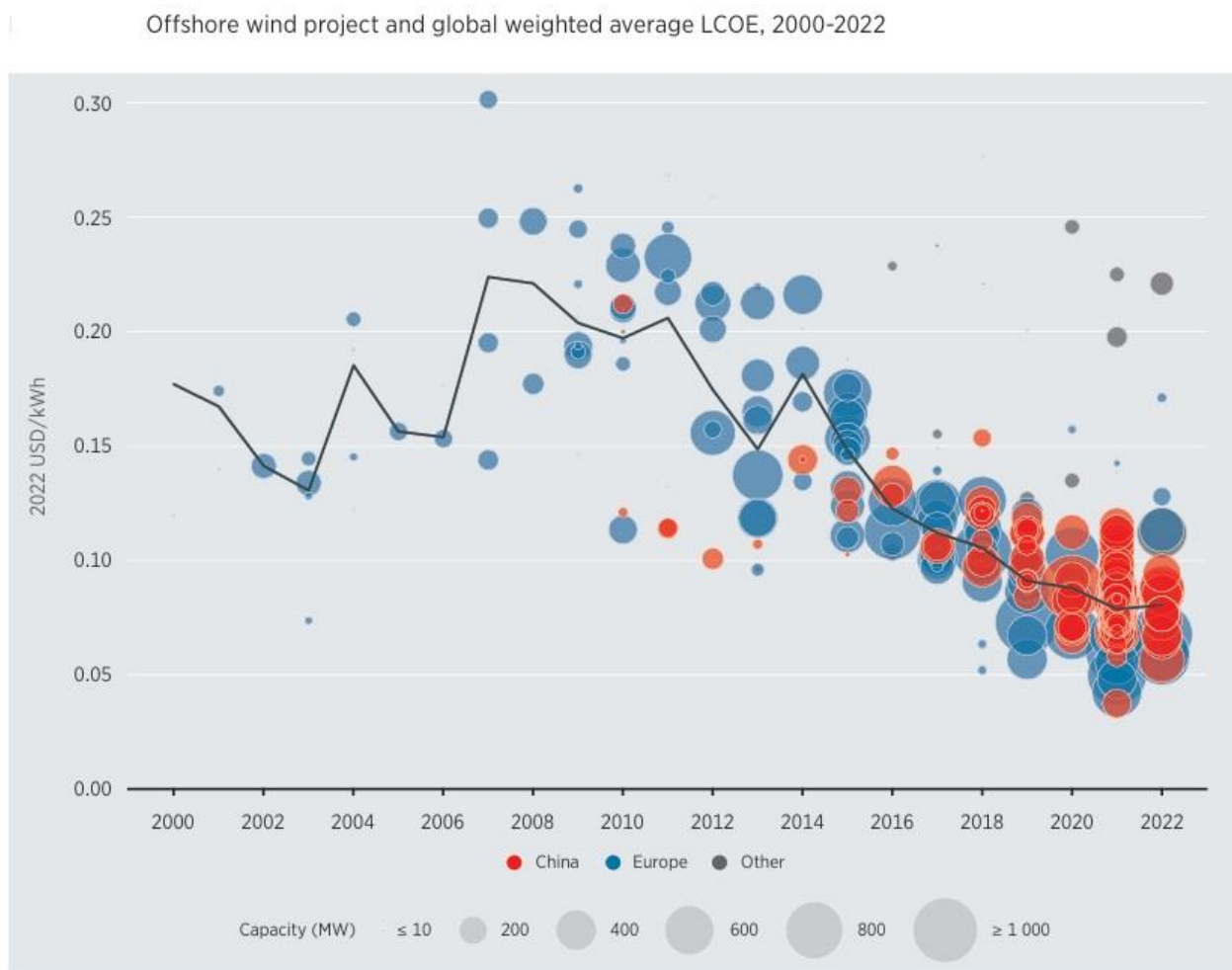
Povećanje prosječnog globalnog faktora iskorištenja pretežito ovisi o razvoju tehnologije, uključujući veće vjetroturbine, duže lopatice s većom visinom rotora i poboljšanje temelja. Poboljšani temelji omogućuju povećanje udaljenosti od obale što donosi bolje resurse vjetra. Slika 3.2. prikazuje trend kretanja faktora iskorištenja u razdoblju od 2010. do 2022. godine. Od 2010. do 2017. godine porastao je sa 38% na 45%, a 2022. godine iznosio je 42%. U 2022. godini, raspon faktora iskorištenja novo instaliranih projekata bio je između 28% i 50%. Padajući trend između 2017. i 2021. godine rezultat je povećanog udjela Kine u novo instaliranim kapacitetima (oko 54%). Naime, resursi vjetra u Kini su znatno siromašniji u odnosu na Sjeverno more, čak i daleko od obale. Također, kineski projekti nisu koristili velike vjetroturbine kao u Europi i drugdje. Budući da su se promjeri rotora povećavali brže od vjetroturbine i visine rotore, specifična snaga vjetroturbine [ $\frac{W}{m^2}$ ] je s vremenom opala, osobito u Europi. Manja specifična snaga rezultirat će većim faktorima iskorištenja.



**Slika 3.2.** Prosječni globalni faktor iskorištenja VE na pučini u razdoblju od 2010. do 2022. godine [4]

### 3.5. LCOE VE na pučini

Instalacijski procesi VE na pučini znatno su skuplji u odnosu na kopnene VE. Razlog tomu su dopremanje dijelova i instalacija spojne mreže kao i povećanje udaljenosti od obale i dubine vode. Također, proces proizvodnje stupova zahtijeva povećanu zaštitu od korozije, stoga je i znatno veći LCOE VE na pučini u odnosu na VE na kopnu. Slika 3.3. prikazuje kretanje prosječnog globalnog LCOE-a u razdoblju od 2000. do 2022. godine. LCOE u 2010. godini iznosio je 0.197 \$/kWh, a 2022. godine 0.081 \$/kWh. Tijekom tog razdoblja, LCOE je pao za 59%.



Slika 3.3. Prosječni globalni LCOE VE na pučini u razdoblju od 2000. do 2022. godine [4]

## 4. TERMOELEKTRANE (KOGENERACIJE) NA OIE

Među ostale OIE spadaju kogeneracijska postrojenja: TE na biomasu i bioplin (BTE), geotermalne elektrane (GTE) na energiju Zemlje i TE s koncentriranim Sunčevim zračenjem (STE) na Sunčevu energiju.

### 4.1. Stupanj djelovanja kogeneracijskih TE

Kogeneracijska postrojenja omogućuju istodobnu proizvodnju topline i električne energije. Ukupna učinkovitost je omjer sume mehaničke energije, proizvedene električne energije te korisne topline i utrošene primarne energije goriva. Postižu izrazito visoku učinkovitost oko 90% , a izračunava se prema sljedećem izrazu [3] :

$$\eta_{CHP} = \left[ \frac{E+T}{GOR} \right] \cdot 100\% \quad (4-1)$$

gdje je:

- $\eta_{CHP}$  – učinkovitost kogeneracije
- $E$  – neto izlazna električna energije
- $T$  – korisna toplinska energija
- $GOR$  – ulazna energija goriva

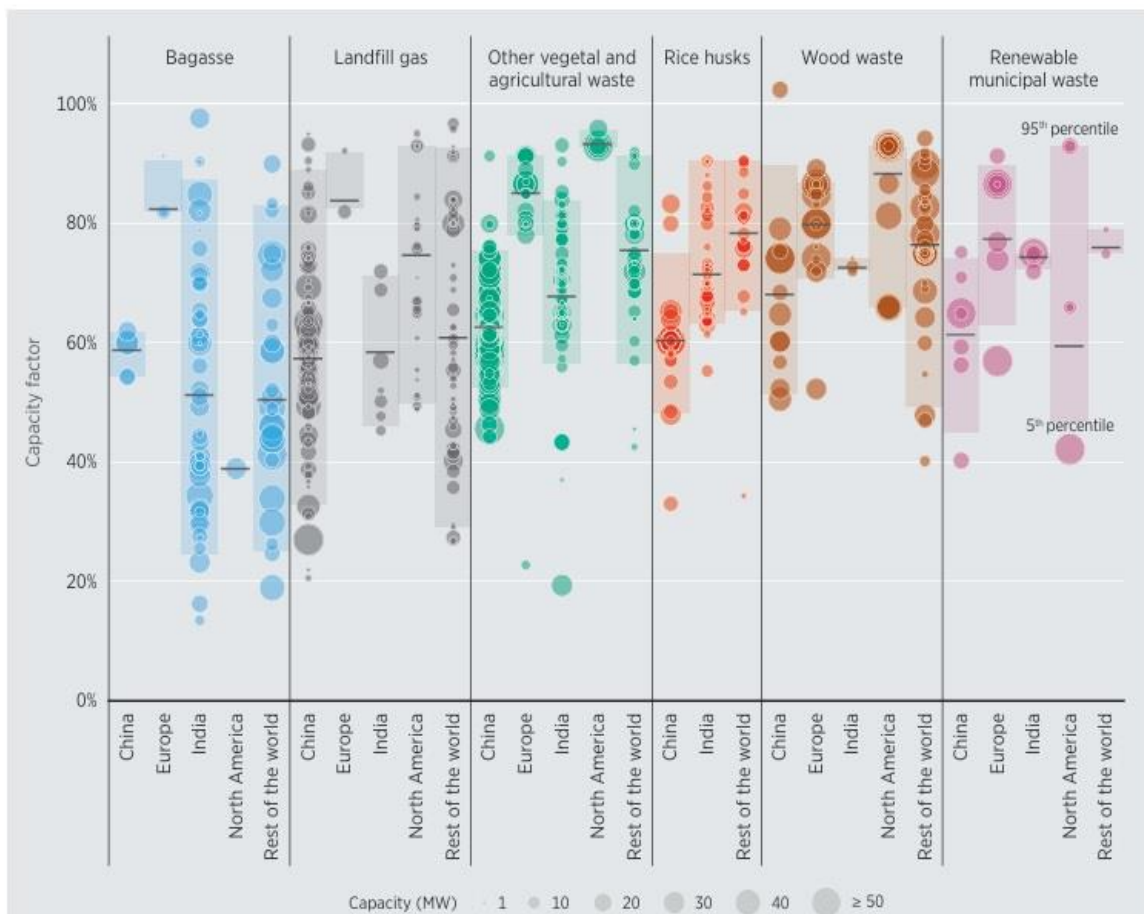
Kogeneracijsko postrojenje čine 4 glavna elementa. To su: električni generator, pogonski stroj, sustav za regulaciju topline i upravljački mjerni sustav. [6]



## 4.2. Faktor iskorištenja vršne snage BTE

Kada je raspoloživost sirovine ujednačena tijekom cijele godine, BTE mogu imati vrlo visok faktor iskorištenja, u rasponu od 85% do 95%. Ako dostupnost sirovine ovisi o sezonskoj poljoprivrednoj žetvi, faktor iskorištenja obično je niži. Problem koji se pojavljuje utjecaj je klimatskih promjena na dostupnost sirovine kao i na njenu distribuciju tijekom godine. Ovo je područje gdje je potreba za istraživanjem stalna, posebice zbog klimatskih promjena. Slika 4.1. prikazuje kako BTE koje se oslanjaju na ostatke šećerne trske (engl. bagasse), deponijski plin i druge bioplinove obično imaju niži prosječni faktor iskorištenja između 50% i 60%. BTE koje se oslanjaju na biomasu iz drvne industrije, rižine ljuske, ostatke godišnjih kultura i biorazgradivi komunalni otpad imaju prosječni faktor iskorištenja u rasponu od 60% do 93%.

Project capacity factors and weighted averages of selected feedstocks for bioenergy power generation projects by country and region, 2000-2022



**Slika 4.1.** Rasponi faktora iskorištenja i težinski prosjeci elektrana na biomasu po sirovinama i zemljama ili regijama u razdoblju od 2000. do 2022. godine [4]

### 4.3. LCOE BTE

Širok raspon tehnologija proizvodnje električne energije iz biomase, troškova instalacije i sirovina te faktora iskorištenja utječe na varijabilnost LCOE-a. Ako su kapitalni troškovi od 7,5% do 10%, a troškovi sirovina između 1 \$/GJ i 9 \$/GJ, težinski prosjek LCOE-a iznosio je 0.061 \$/kWh za projekte ostvarene u 2022. godini. Ukoliko su kapitalna ulaganja niska te su dostupne jeftine zalihe sirovina, bioenergija može pružiti vrlo konkurentnu cijenu električne energije s LCOE-om koji iznosi 0.040 \$/kWh. Na slici 4.2. možemo vidjeti kako se kreću LCOE i težinski prosjeci BTE po sirovinama i zemljama ili regijama u razdoblju od 2000. do 2022. godine. Najniži težinski prosjek LCOE-a zabilježen je u Indiji te je iznosio 0.060 \$/kWh.

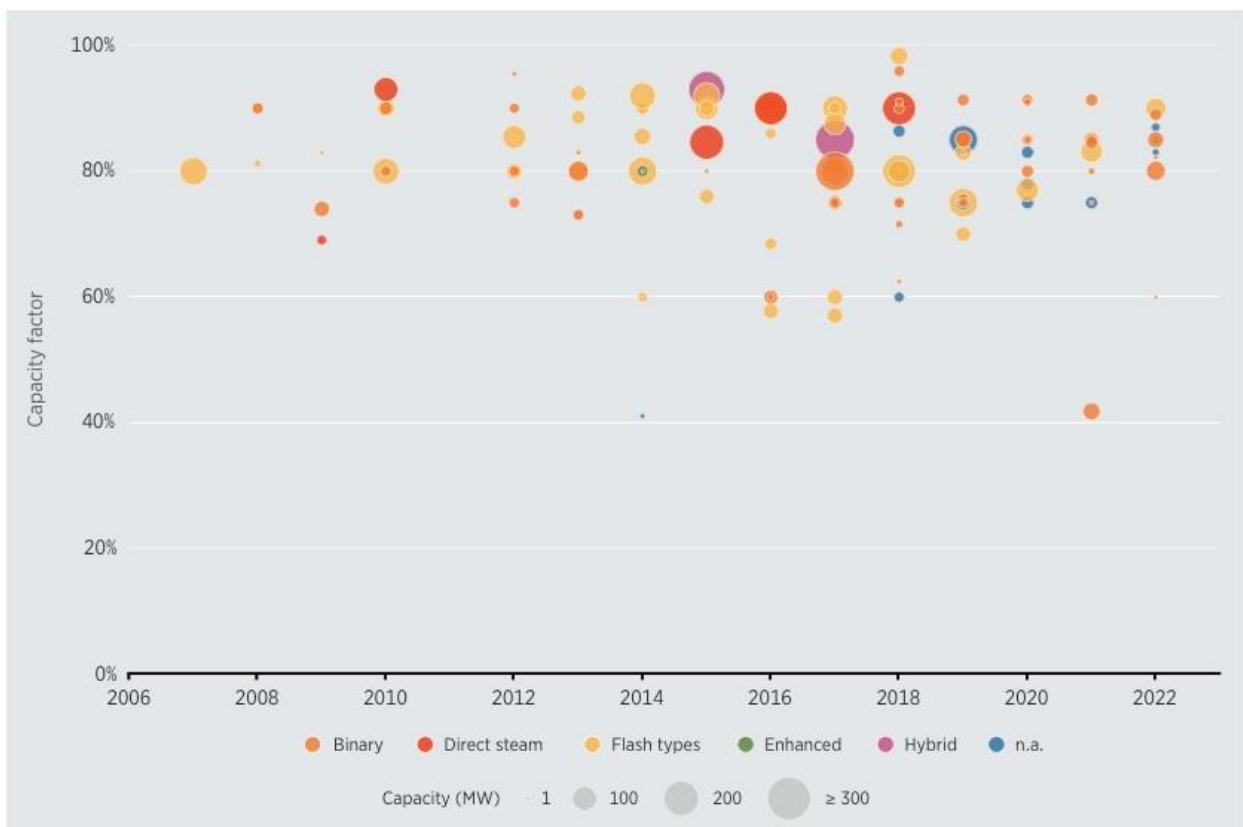


**Slika 4.2.** Rasponi LCOE-a i težinski prosjeci elektrana na biomasi po sirovinama i zemljama ili regijama u razdoblju od 2000. do 2022. godine [4]

#### 4.4. Faktor iskorištenja vršne snage GTE

Izvori vruće vode i pare blizu Zemljine površine omogućuju da GTE imaju stalni izvor energije te su u pogonu velik broj sati godišnje. U razdoblju od 2007. do 2022. godine, podatci pokazuju kako je faktor iskorištenja bio u rasponu od 50% do više od 95% , uz neke iznimke. Kvaliteta i dinamika geotermalnih izvora i ekonomski faktori znatnu utječu na varijacije faktora iskorištenja. Slika 4.3. prikazuje raspone faktora iskorištenja po tehnologijama i veličini projekta u razdoblju od 2007. do 2022. godine. Prosječni faktor iskorištenja elektrane na suhu paru (engl. direct steam) je oko 85% , dok je za elektrane sa separiranjem mokre pare (engl. flash steam) 82%. Za elektrane s binarnim ciklusom (engl. binary-cycle) koje koriste geotermalne izvore nižih temperatura, faktor iskorištenja iznosi 80% . Prosječni globalni faktor iskorištenja iznosio je 85% za projekte ostvarene u 2022. godini. Jedno tursko postrojenje predstavlja iznimku s faktorom iskorištenja od 42% kojim je uzrokovan pad u 2021. godini. Veliki faktori iskorištenja amortiziraju visoke troškove, uz činjenicu da je trajanje godišnjeg iskorištenja instalirane snage također visoko.

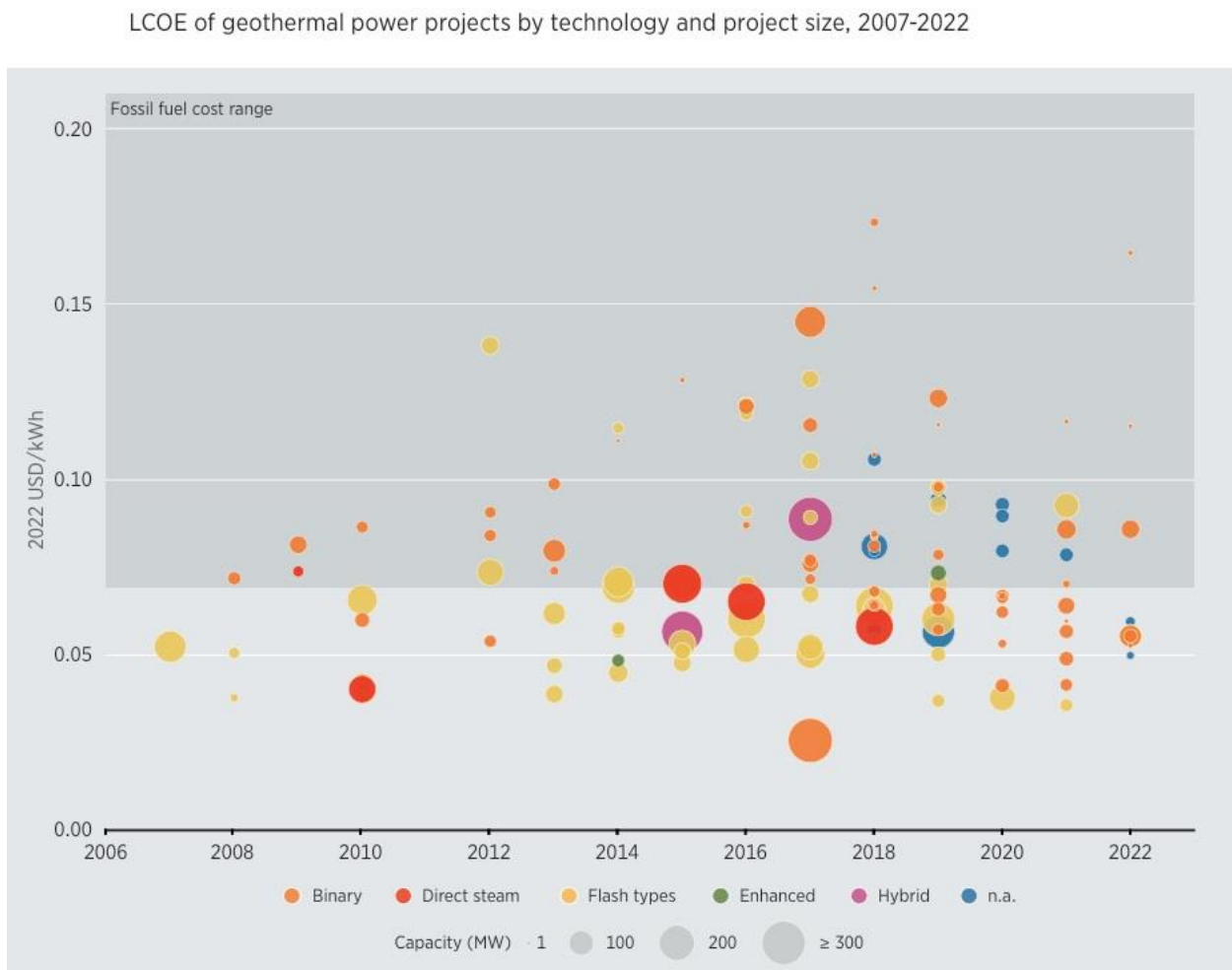
Capacity factors of geothermal power plants by technology and project size, 2007-2022



**Slika 4.3.** Rasponi faktora iskorištenja po tehnologijama i veličini projekta u razdoblju od 2007. do 2022. godine [4]

## 4.5. LCOE GTE

LCOE geotermalnih elektrana ovisi o: troškovima instalacije, pogona i održavanja, životnom vijeku postrojenja i kapitalnim ulaganjima. GTE zahtijevaju kontinuiranu optimizaciju tijekom cijelog životnog vijeka uz sofisticirano upravljanje ležištima i procesima bušenja. Slika 4.4. prikazuje raspone LCOE-a po tehnologijama i veličini projekta u razdoblju od 2007. do 2022. godine. Tijekom tog razdoblja, LCOE je varirao od 0.026 \$/kWh do 0.171 \$/kWh. U 2022. godini, prosječni globalni LCOE iznosio je 0.056 \$/kWh. Vidljivo je kako je LCOE bio prilično stabilan (0.071 \$/kWh-0.075 \$/kWh) u razdoblju od 2016. do 2021. godine. Iznimka je 2020. godina, kada je vrlo konkurentni kenjski projekt označio vrlo niski LCOE od 0.060 \$/kWh.



**Slika 4.4.** Rasponi LCOE-a po tehnologijama i veličini projekta u razdoblju od 2007. do 2022. godine [\[4\]](#)

## 4.6. Faktor iskorištenja vršne snage STE

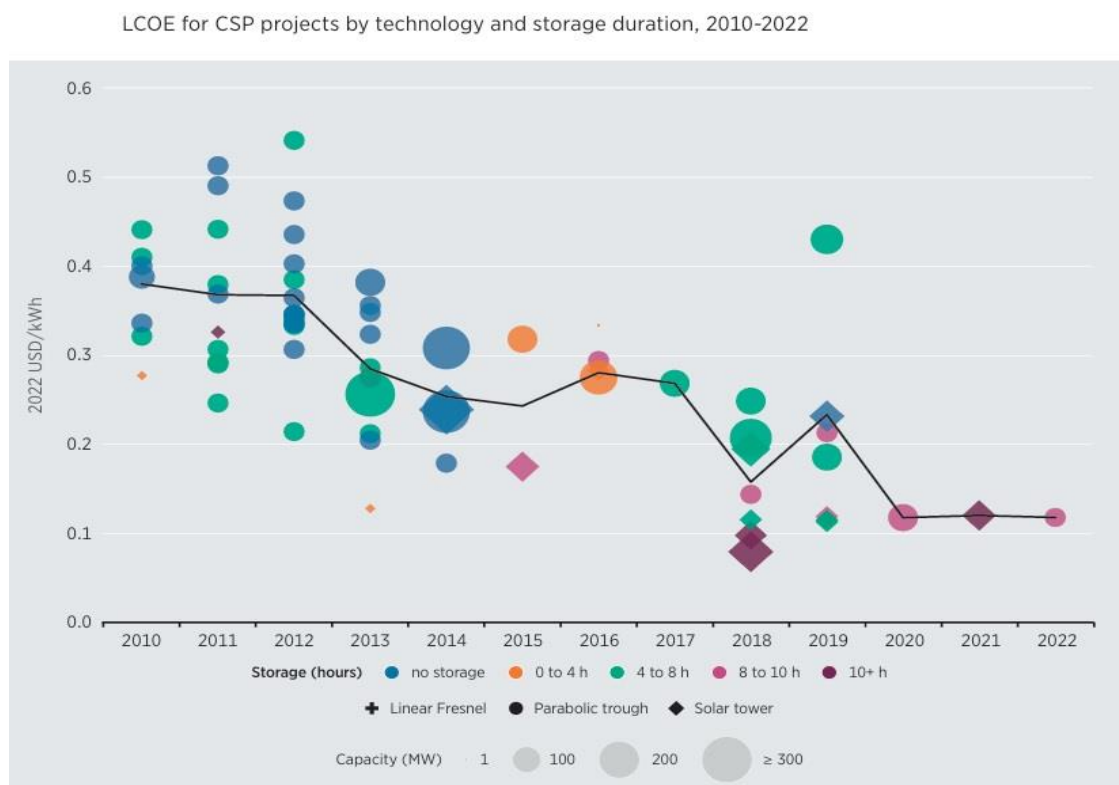
Kvaliteta resursa Sunčevog zračenja i tehnološke konfiguracije određuju faktor iskorištenja na pojedinoj lokaciji. Kako bi bile ekonomične i funkcionalne, STE imaju potrebu za velikom količinom direktnog, normalnog Sunčevog zračenja (engl. Direct Normal Irradiance DNI > 2000 kWh/m<sup>2</sup>/godišnje). Veći DNI smanjuje potrebnu površinu za izgradnju projekta, a samim time i investicijske troškove. Toplinski spremnici koji omogućuju barem 8 sati spremanja topline do pune instalirane snage postali su ključan dio STE. Između 2010. i 2020. godine, prosječno trajanje skladištenja topline povećalo se s 3.5 na 11.5 sati. Nadalje, povećani kapaciteti i smanjenje troškova skladištenja toplinske energije te veće temperature radnog fluida omogućili su povećanje faktora iskorištenja. Na slici 4.5. možemo vidjeti kako je faktor iskorištenja vršne snage u razdoblju od 2010. do 2020. godine porastao s 30% na 42% , što predstavlja rast od 41%. Izvršni resursi Sunčevog zračenja na lokaciji projekta STE Cerro Dominador u Čileu i trajanje skladištenja od 17.5 h označili su vrlo visok faktor iskorištenja od 80% za 2021. godinu.



**Slika 4.5.** Faktor iskorištenja vršne snage u razdoblju od 2010. do 2022. godine [\[4\]](#)

## 4.7. LCOE STE

Kako su se troškovi instalacije, pogona i održavanja smanjivali, a faktor iskorištenja rastao, tako je LCOE značajno pao u razdoblju od 2010. do 2022. godine. Tijekom tog razdoblja, prosječni globalni LCOE pao je s 0.380 \$/kWh na 0.118 \$/kWh, što predstavlja smanjenje od 69%. LCOE je neznatno pao između 2010. i 2012. godine. Međutim, širenje tržišta, konkurentnija nabava i stečeno iskustvo potakli su značajniji trend smanjenja LCOE-a 2013. godine. Naručeni projekti između 2014. i 2017. godine na lokacijama većeg DNI-a značajno su doprinijeli smanjenju LCOE-a. Prosječni DNI tih projekata iznosio je 2600 kWh/m<sup>2</sup>/godišnje, što je 28% više u odnosu na razdoblje između 2010. i 2013. godine. LCOE projekata ostvarenih 2018. godine u Kini, Maroku i Južnoj Africi varirao je od niskih 0.080 \$/kWh u Kini do visokih 0.249 \$/kWh u Južnoj Africi. Niski kapitalni troškovi projekata u Kini uvelike su utjecali na vrijednost LCOE-a koja je iznosila 0.118 \$/kWh u 2020. godini. Vrijednost LCOE-a se stabilizirala između 2020. i 2022. godine i raspon se kretao između 0.118 \$/kWh i 0.121 \$/kWh. Slika 4.6. prikazuje kretanje LCOE-a u ovisnosti o tehnologiji i trajanju skladištenja u razdoblju od 2010. do 2022. godine.



**Slika 4.6.** LCOE-a u ovisnosti o tehnologiji i trajanju skladištenja u razdoblju od 2010. do 2022. godine. [4]

## 5. MALE HIDROELEKTRANE I ENERGIJA OCEANA

Hidroelektrane (HE) su postrojenja koja kinetičku i potencijalnu energiju vode pomoću turbine, generatora i ostalih dijelova pretvaraju u električnu energiju. Ne postoji točna definicija malih HE. Međutim, kao gornja granica instalirane snage uzima se 10 MW. Izvedbe malih HE su sljedeće [1] :

- protočne male HE
- pribranske (akumulacijske) male HE
- niskotlačne male HE integrirane u kanal za navodnjavanje
- visoko/srednjetlačne male HE s povišenim spremnikom

### 5.1. Stupanj djelovanja HE

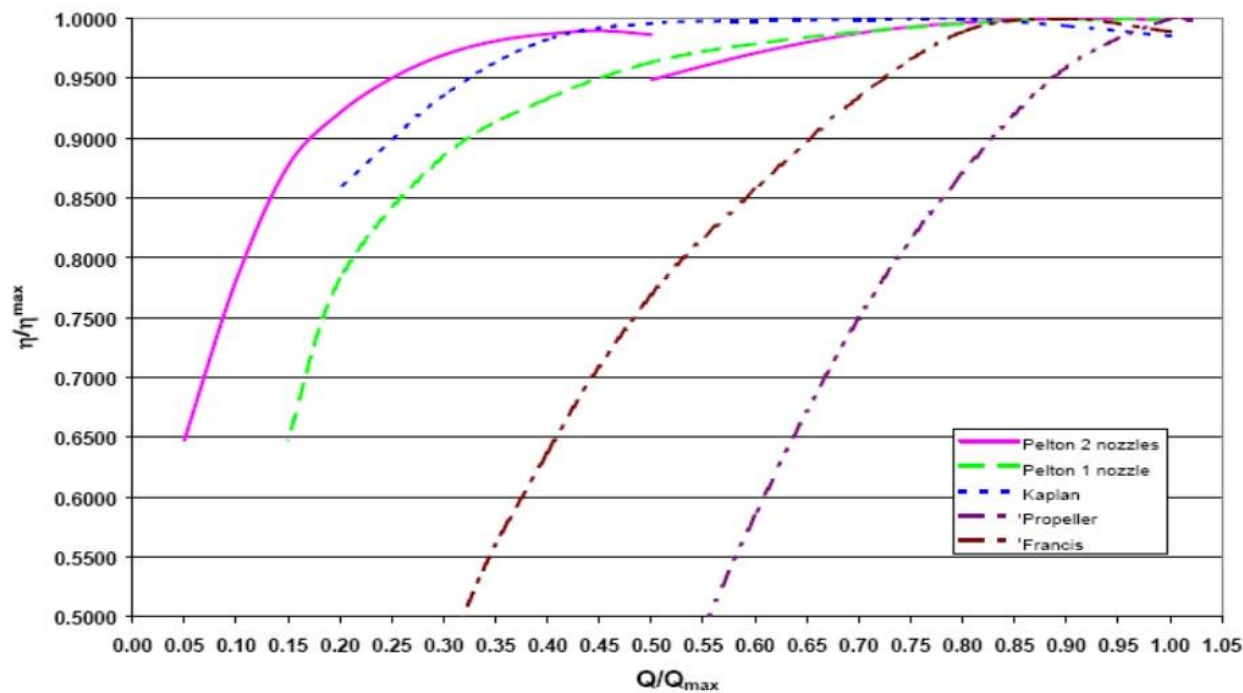
Izlazna snaga koju hidroelektrana generira određuje se prema izrazu: [1] :

$$P_i = 9.81 \cdot Q_i \cdot H_n \cdot \eta_t \cdot \eta_g \cdot n \text{ [kW]} \quad (5-1)$$

gdje je:

- $\eta_t$  – stupanj korisnog djelovanja turbine
- $\eta_g$  – stupanj korisnog djelovanja generatora
- $H_n$  – raspoloživi neto pad [m]
- $Q_i$  – instalirani protok turbine (za proračun instalirane snage)  $[\frac{m^3}{s}]$
- $n$  – broj turboagregata

Utjecaj na smanjenje energije vodotoka imaju gubitak protoka i trenje u dovodima, što je određeno neto padom  $H_n$ . Kod optimalnog opterećenja, moderne HE imaju stupanj djelovanja i do 90%. Prosječni je stupanj djelovanja iskorištavanja energije vode niži i iznosi za velike HE 80%, a za male HE 75 % pri optimalnom tj. instaliranom protoku. Međutim, u stvarnom pogonu postoji i utjecaj varijabilnosti malih protoka. [1]



Slika 5.1. Ovisnost stupnja djelovanja turbina  $\eta_t$  o varijaciji protoka [3]




## 5.2. Faktor iskorištenja vršne snage male HE

Širok raspon faktora iskorištenja (23% - 88%) rezultat je različitih karakteristika područja izgradnje HE. Ako HE služi za pokrivanje vršnih snaga, faktor iskorištenja je prilično nizak. Kada elektrane rade pod maksimalnim opterećenjem tada im je faktor iskorištenja visok. Kada elektrane nisu u funkciji, odnosno kada su izvan pogona, faktor iskorištenja im je nizak. Male HE koje su puštene u pogon između 2010. do 2022. godine, imaju srednji faktor iskorištenja 53% , a većina pogona nalazi se u rasponu od 25% do 80% . U razdoblju od 2010. do 2021. godine, prosječni globalni faktor iskorištenja porastao je s 48% na 57% . Tablica 5.1. prikazuje faktor iskorištenja malih HE po zemljama ili regijama. Između 2010. i 2015. godine, najniži prosječni faktor iskorištenja imala je Kina (46%), a najviši ostatak Južne Amerike (65%) i Brazil (63%). Između 2016. i 2022. godine, najniži prosječni faktor iskorištenja imala je Kina (40%), a najviši Euroazija (58%). Zbog ograničenog broja novo instaliranih pogona (2010.-2015.) u ostatku Južne Amerike, podaci za to područje nisu reprezentativni.

**Tablica 5.1.** Faktor iskorištenja malih HE po zemljama ili regijama u razdoblju od 2010. do 2022. godine [\[4\]](#)

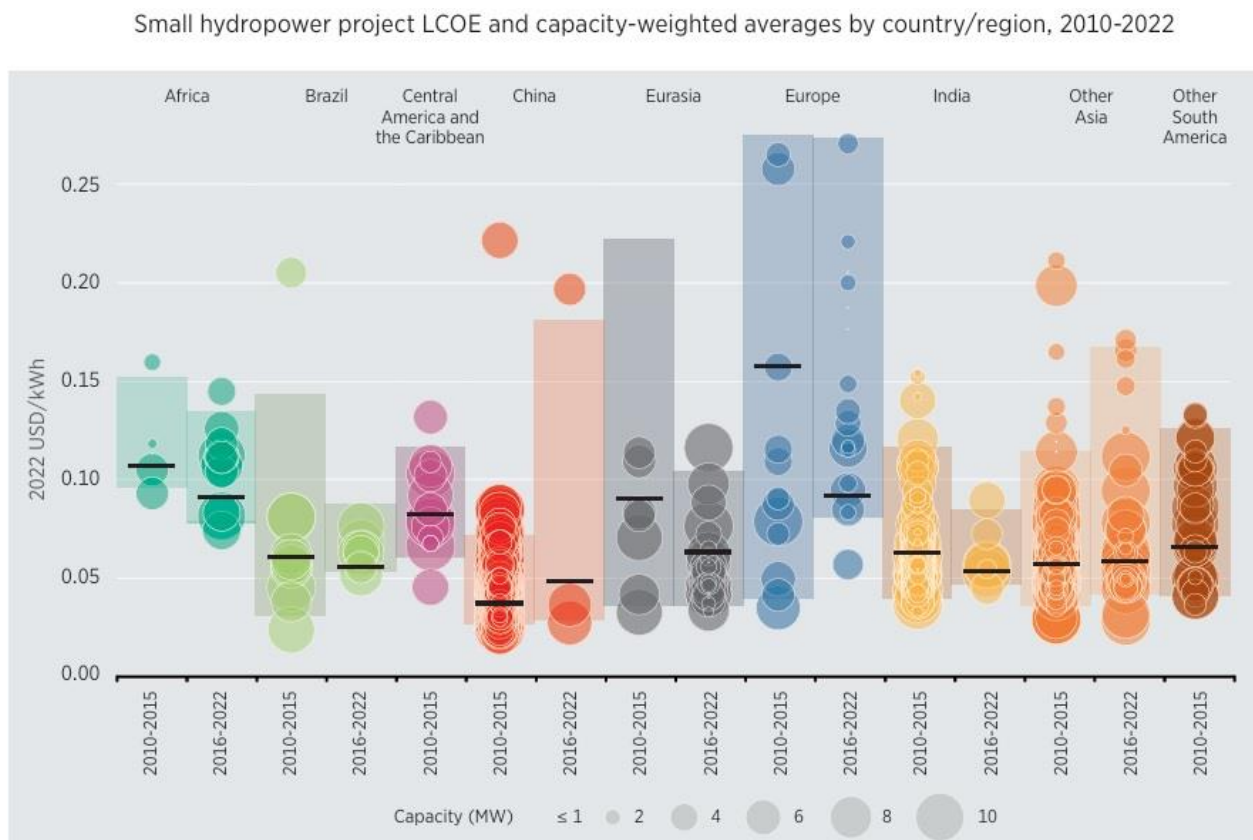
Hydropower project weighted average capacity factors and ranges for small hydropower projects by country/region, 2010-2022

	2010-2015			2016-2022		
	5 <sup>th</sup> percentile (%)	Weighted average (%)	95 <sup>th</sup> percentile (%)	5 <sup>th</sup> percentile (%)	Weighted average (%)	95 <sup>th</sup> percentile (%)
<b>Africa</b>	33	<b>56</b>	68	51	<b>56</b>	65
<b>Brazil</b>	42	<b>63</b>	88	49	<b>54</b>	59
<b>Central America</b>	45	<b>59</b>	75	n.a.	<b>n.a.</b>	n.a.
<b>China</b>	33	<b>46</b>	60	38	<b>40</b>	43
<b>Eurasia</b>	44	<b>58</b>	74	43	<b>58</b>	71
<b>Europe</b>	23	<b>48</b>	70	28	<b>43</b>	66
<b>India</b>	28	<b>50</b>	71	39	<b>55</b>	61
<b>Other Asia</b>	37	<b>50</b>	79	36	<b>56</b>	76
<b>Other South America</b>	43	<b>65</b>	82	n.a.	<b>37</b>	37

Note: n.a. = data not available.

### 5.3. LCOE male HE

HE koje imaju dobar položaj nude jeftiniju cijenu električne energije u usporedbi s ostalim izvorima te im je LCOE izrazito nizak. Široki raspon LCOE-a određen je investicijskim troškovima koji ovise o uvjetima terena izgradnje. Istraživanja Internacionalne energetske agencije (IEA) pokazala su da su godišnji troškovi pogona i održavanja u intervalu od 2,2% do 3% za male HE. Za dislocirane sredine koje nemaju dobro razgranatu električnu mrežu ili kada je bitna mrežna usluga, optimalno rješenje opskrbe energijom pružaju male HE, unatoč tome što im je LCOE visok. Projekti malih HE pokazali su smanjenje prosječnog LCOE-a u Africi, Brazilu, Euroaziji, Europi i Indiji između 2010. i 2022. godine. Drugačiji trend zabilježen je u Kini i drugim područjima Azije, gdje je prosječni LCOE porastao. Slika 5.2. prikazuje LCOE malih HE po snazi i zemljama ili regijama u razdoblju od 2010. do 2022. godine. Prosječni LCOE se kretao od 0.03 \$/kWh do 0.06 \$/kWh.



Slika 5.2. LCOE malih HE po snazi i zemljama ili regijama u razdoblju od 2010. do 2022. godine [4]

## 5.4. Elektrane na energiju oceana

Energija oceana (mora) ima više razvojnih pravaca [1] :

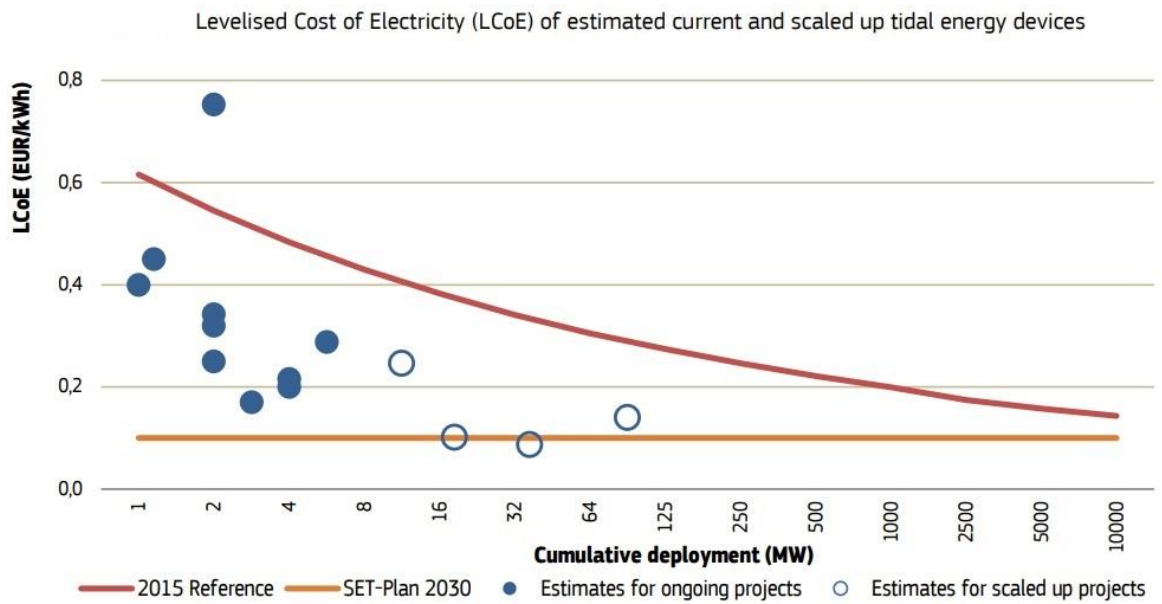
- valovi
- plima i oseka
- (stalne) morske (oceanske) struje
- gradijenti temperature i slanosti (u istraživanju)

Najveći razvoj odvija se u korištenju plimnih struja i energije valova na otvorenom moru. Elektrane koje koriste morske struje uzrokovane temperaturnim gradijentom imaju faktor iskorištenja oko 80%. Elektrane koje koriste morske struje uzrokovane plimom i osekom imaju faktor iskorištenja 40–50 %. [1]

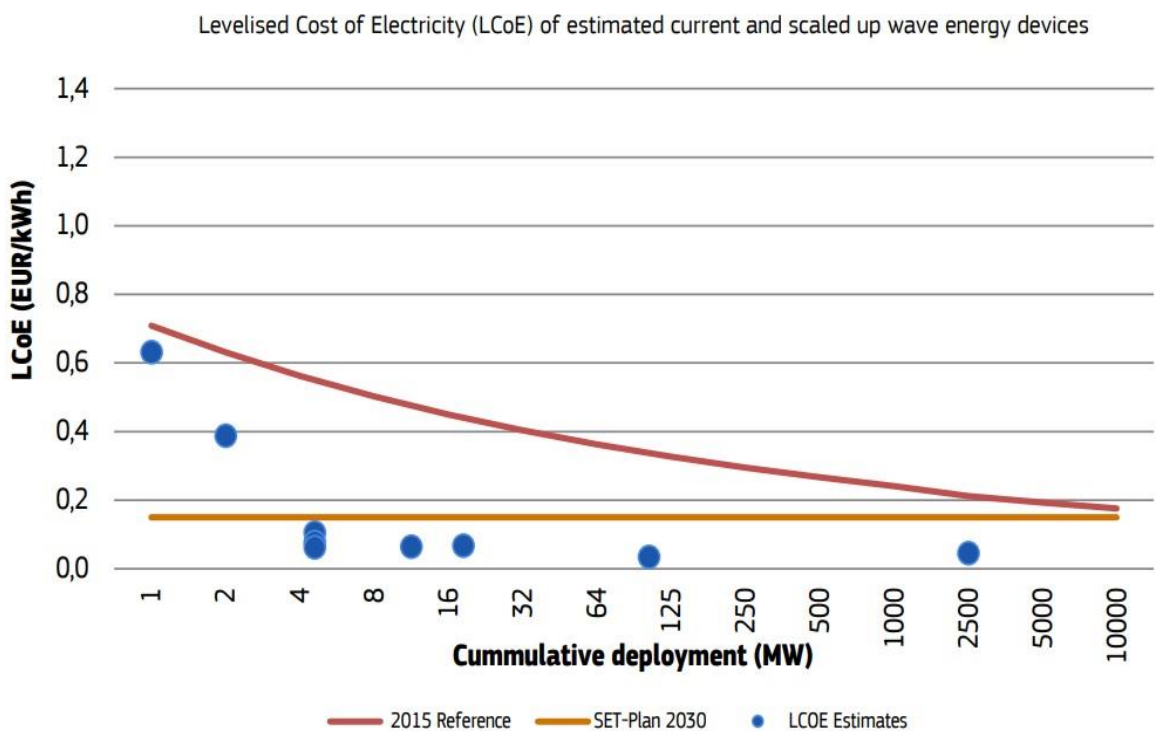
Europski strateški energetska tehnološki plan (SET-plan) postavio je visoke ciljeve za iskorištavanje potencijala energije oceana [7] :

- raširena komercijalna primjena energije oceana
- smanjivanje LCOE-a
- održavanje i povećanje vodeće pozicije Europe u energiji oceana
- jačanje industrijske tehnološke baze i gospodarski rast

Budući da je faza razvoja tehnologija energije oceana prilično rana, njihov LCOE je teško predvidiv. Sveukupno gledajući, energija oceana ima LCOE u rasponu od 0.2 \$/kWh do 0.6 \$/kWh. Trenutni LCOE elektrana na plimu i oseku kreće se od 0.20 \$/kWh do 0.45 \$/kWh dok je kod elektrana na morske valove između 0.30 \$/kWh i 0.55 \$/kWh. SET-plan postavio je ciljeve do 2030. godine: LCOE elektrana na plimu i oseku od 0.110 \$/kWh te LCOE elektrana na morske valove od 0.165 \$/kWh. Iako se LCOE smanjuje brže nego što se očekivalo i dalje je prilično visok. Stoga, moraju postojati bolje mogućnosti financiranja i mehanizmi za potporu kako bi došlo do njegovog smanjenja. Unatoč značajnijem napretku tehnologije u posljednjem desetljeću, postoji još prostora za napredak i povećanje pouzdanosti i učinkovitosti pogonskih uređaja. To će uvelike ojačati interese investitora te osigurati konkurentniju proizvodnju električne energije. Slike 5.3. i 5.4. prikazuju procjene LCOE-a trenutnih i većih projekata elektrana na plimu i oseku te elektrana na morske valove.



Slika 5.3. Procjena LCOE-a trenutnih i većih projekata elektrana na plimu i oseku [8]



Slika 5.4. Procjena LCOE-a trenutnih i većih projekata elektrana na morske valove [8]

## 6. USPOREDBA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI I FAKTORA ISKORIŠTENJA ELEKTRANA NA OIE

Ovo poglavlje donosi usporedbu energetske učinkovitost i faktora iskorištenja s obzirom na vrstu proizvodnje [9]:

- distribuirana proizvodnja (1 kW-10 MW)
- velike elektrane na prijenosnoj mreži (>10MW)

Distribuirana proizvodnja odnosi se na: FN sustave, VE manjih snaga, manja kogeneracijska postrojenja, male HE i GTE. Navedena postrojenja priključuju se na distributivnu mrežu na SN (srednjenaponskoj), a na NN (niskonaponskoj) razini priključuju se najmanji sustavi. Velike elektrane na prijenosnoj mreži ubrajaju: konvencionalne HE, VE i TE na biomasu i bioplina te se u pravilu priključuju na prijenosnu mrežu na VN (visokonaponskoj) razini. U usporedbi s velikim elektranama, postrojenja za distribuiranu proizvodnju imaju svoje prednosti, a to su: znatno niži investicijski troškovi i troškovi održavanja, olakšani izbor lokacije, sve češće subvencije i potpore. Međutim, manja snaga kod distribuirane proizvodnje označuje veće instalacijske troškove, a samim time manji stupanj djelovanja i faktor iskorištenja vršne snage.

U nastavku će se na primjerima postrojenja u različitim rasponima snaga po tehnologijama usporediti stupanj djelovanja, faktor iskorištenja te godišnja proizvodnja električne energije. Naime, za distribuiranu proizvodnju odabrani su sljedeći rasponi snaga : 1-100 kW, 100 kW-1 MW te 1 MW-10 MW, dok su snage velikih elektrana veće od 10 MW. U određenim rasponima, posebice u onima manjih vrijednosti, nisu sadržane sve tehnologije proizvodnje. U programu Excel izrađene su usporedne tablice i stupčasti dijagrami koji daju prikaz instalirane snage i godišnje proizvodnje po tehnologijama.

**Tablica 6.1.** Usporedba FNE i mHE [10]

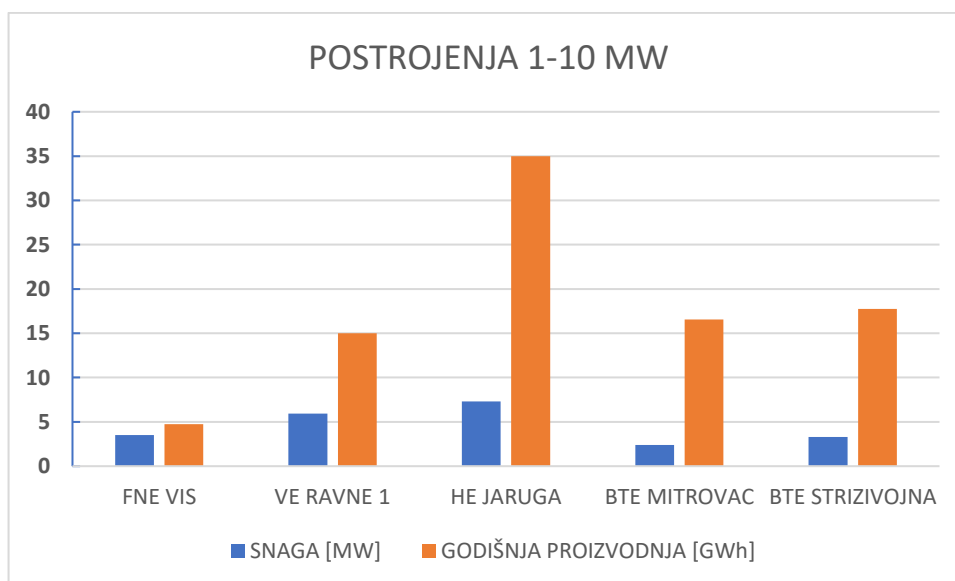
	STUPANJ DJELOVANJA (%)	FAKTOR ISKORIŠTENJA	SNAGA [kW]	GODIŠNJA PROIZVODNJA [MWh]	
FNE Oš Drenje	12-16%	22%	20	23,5	1-100 kW

	STUPANJ DJELOVANJA (%)	FAKTOR ISKORIŠTENJA	SNAGA [kW]	GODIŠNJA PROIZVODNJA [MWh]	
mHE Pleternica	75%	23-88%	220	1100	100 kW- 1 MW

U prva dva raspona snaga imamo primjere FN sustava i mHE. FN sustav koristi se za vlastitu potrošnju OŠ Drenje (podatci dobiveni u OŠ Drenje). Iz tablice je vidljivo kako je njen omjer snage i godišnje proizvodnje nepovoljniji u odnosu na mHE. Kao primjer mHE navedena je Pleternica koja iskorištava energiju vode na rijeci Orljavi. Proizvedena energija distribuira se za lokalne potrebe. Usporedimo li ju s velikim HE, uočava se kako ima manji stupanj djelovanja, a često i manji faktor iskorištenja. Razlog tomu su manja snaga, manji pad te varijabilnosti manjih vodotokova.

**Tablica 6.2.** Usporedba postrojenja 1-10 MW [\[11\]](#) [\[12\]](#) [\[13\]](#)

NAZIV	STUPANJ DJELOVANJA	FAKTOR ISKORIŠTENJA	SNAGA [MW]	GODIŠNJA PROIZVODNJA [GWh]	
FNE VIS	12-16%	30%	3,5	4,75	1-10 MW
VE RAVNE 1	31%	25-50%	5,95	15	
HE JARUGA	80%	23-88%	7,3	35	
BTE MITROVAC	55%	85-95%	2,378	16,57	
BTE STRIZIVOJNA	36%	85-95%	3,3	17,75	

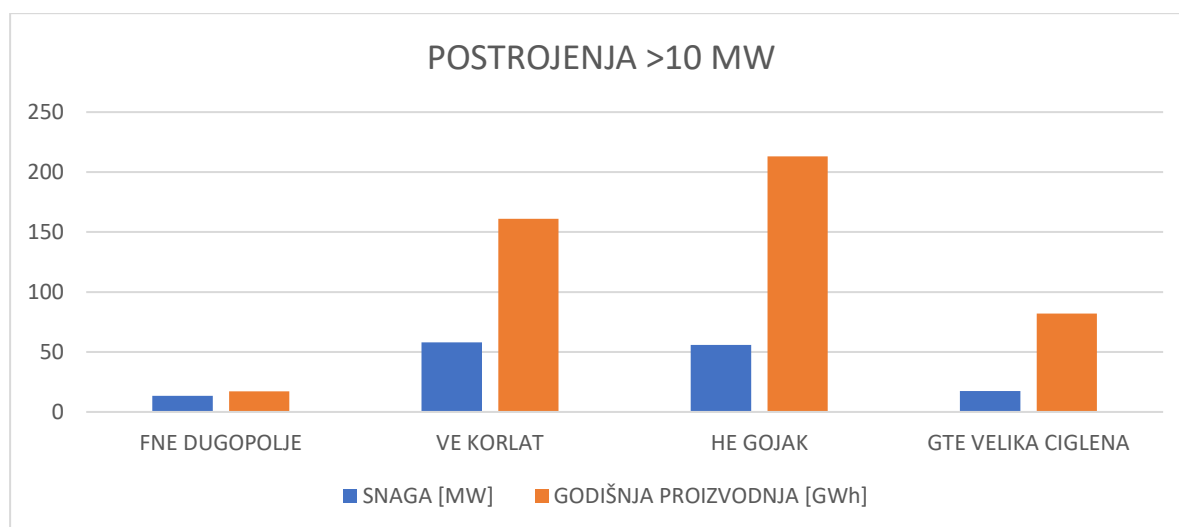


**Slika 6.1.** Prikaz snage i godišnje proizvodnje električne energije za postrojenja 1-10 MW

U rasponu snaga 1-10 MW, vidimo kako najveći omjer instalirane snage i godišnje proizvodnje električne energije imaju postrojenja na biomasu i bioplin. Razlog tomu je vrlo visok faktor iskorištenja, jer skoro uvijek rade nazivnom snagom osim u slučaju planiranih ili prisilnih zastoja. Dakako, očekivano je kako je kod FN sustava taj omjer najmanji zbog niskog stupnja djelovanja i faktora iskorištenja vršne snage.

**Tablica 6.3.** Usporedba postrojenja >10 MW [111]

NAZIV	STUPANJ DJELOVANJA	FAKTOR ISKORIŠTENJA	SNAGA [MW]	GODIŠNJA PROIZVODNJA [GWh]	>10 MW
FNE DUGOPOLJE	12-16%	30%	13,54	17,2	
VE KORLAT	31%	25-50%	58	161	
HE GOJAK	80%	23-88%	56	213	
GTE VELIKA CIGLENA	<20%	50-95%	17,5	82	



**Slika 6.2.** Prikaz snage i godišnje proizvodnje električne energije za postrojenja >10 MW

Kod snaga većih od 10 MW, vidi se kako je hidroenergija najznačajnija tehnologija proizvodnje, ekonomski konkurentna proizvodnji iz fosilnog i nuklearnog goriva i samim time čini najveći udio obnovljivih izvora energije. Kao i kod ostalih raspona, FN sustav je manje konkurentan u odnosu na ostale tehnologije.

## 7. ZAKLJUČAK

Zadatak ovoga rada bio je usporediti energetske učinkovitosti različitih tehnologija proizvodnje iz OIE. Prvi dio rada obrađuje svaku tehnologiju proizvodnje s naglaskom na stupnjeve djelovanja, faktore iskorištenja vršne snage i LCOE. U drugome dijelu izvršena je usporedna analiza energetske učinkovitosti kod distribuirane proizvodnje (1kW-1MW) te kod velikih elektrana na prijenosnoj mreži (>10MW).

Značajni rast cijena fosilnih goriva 2021. i 2022. godine podsjetio je na snažne gospodarske prednosti koje OIE mogu pružiti u smislu energetske sigurnosti. U tom razdoblju zabilježeno je najveće poboljšanje konkurentnosti proizvodnje iz OIE. Hidroenergija je već duže vrijeme najrasprostranjenija i najučinkovitija tehnologija proizvodnje. Razlog tomu su relativno niski instalacijski troškovi, kao i troškovi pogona i održavanja. FN sustavi imaju nisku učinkovitost u usporedbi s ostalim tehnologijama, ponajviše zbog velikih gubitaka FN pretvorbe. Međutim, ova tehnologija zabilježila je najveći razvoj od svih tehnologije te donosi nove koncepte s nižom cijenom i većom učinkovitošću. Energija vjetra postepeno postaje najkonkurentniji izvor električne energije. Razvitkom naprednijih i učinkovitijih tehnologija vjetroagregata, porasla je izlazna snaga, a samim time i faktor iskorištenja. Elektrane na biomasu mogu biti vrlo korisne kao vršne elektrane, no njihov faktor iskorištenja znatno ovisi o dostupnosti i cijenama sirovina, koje mogu biti varijabilne. Geotermalne elektrane zahtijevaju visoke troškove te je njihova ekonomska uspješnost teško predvidiva. U posljednjem desetljeću, STE postižu značajan razvoj skladištenja toplinske energije i povećanje faktora iskorištenja, što im osigurava put prema konkurentnijoj proizvodnji. Budući da su elektrane na energiju oceana tek na početku razvoja, investicijski troškovi su i dalje visoki. Naime, potencijal energije oceana je vrlo velik te se u budućnosti očekuje povećanje faktora iskorištenja uz smanjenje investicijskih troškova što bi dovelo do povećanja upotrebe energije oceana.

Iz rada se može zaključiti kako su ekonomske prednosti tehnologija proizvodnje električne energije iz OIE, uz dobrobiti za okoliš, sada uvjerljive. Energetska tranzicija i elektrifikacija bit će jednostavnija i jeftinija zbog brojnih prednosti OIE. U ukupnoj proizvodnji električne energije udio neobnovljivih izvora još uvijek je velik, ali postepeno pada, no to se ne odnosi na velike HE. Ubrzani razvoj tehnologije te pad investicijskih troškova, osobito kod FN sustava i VE, dovodi ih u vrlo povoljan položaj s obzirom na konkurentnost u proizvodnji električne energije.



## LITERATURA

- [1] Prof. dr. sc. Damir Šljivac, „Obnovljivi izvori električne energije: predavanje“, FERIT Osijek, Zavod za elektroenergetiku, 2024.
- [2] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems „Photovoltaics Report“, Njemačka, svibanj 2024.
- [3] Prof. dr. sc. Damir Šljivac, „Proizvodnja električne energije: predavanje“, FERIT Osijek, Zavod za elektroenergetiku, 2024
- [4] IRENA, Renewable power generation costs in 2022, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2023.
- [5] Šarić, A. (2017). Analiza isplativosti proizvodnje električne energije (Diplomski rad). Osijek: Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek
- [6] Mišković, J. (2017). Termoelektrana na drvenu biomasu (Završni rad). Osijek: Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek
- [7] The Joint Research Center JRC, Ocean Energy in the European Union Status Report, Brussels, 2022.
- [8] The Joint Research Center JRC, Ocean Energy in the European Union Status Report, Brussels, 2020.
- [9] Prof. dr. sc. Damir Šljivac, „Integracija distribuirane proizvodnje u EES: predavanje“, FERIT Osijek, Zavod za elektroenergetiku, 2024
- [10] <https://www.hrastovic-inzenjering.hr/primjena-energije/energetski-clanci/energijske-tehnologije/item/523-mala-hidroelektrana-pleternica.html> / posjećeno (10.9.2024.)
- [11] <https://www.hep.hr/proizvodnja/proizvodi-i-usluge/odrzavanje-proizvodnih-postrojenja/1739> posjećeno (10.9.2024.)
- [12] [https://www.hera.hr/hr/docs/2022/Rjesenje\\_2022-06-13\\_07.pdf](https://www.hera.hr/hr/docs/2022/Rjesenje_2022-06-13_07.pdf) posjećeno (10.9.2024.)
- [13] <https://www.ho-cired.hr/referati-umag2010/SO4-04.pdf> posjećeno (10.9.2024.)

## **SAŽETAK**

Završni rad pod nazivom „Usporedba energetske učinkovitosti različitih tehnologija proizvodnje električne energije iz OIE“ sastoji se od teorijskog dijela i usporedne analize. U teorijskom dijelu različite tehnologije proizvodnje podijeljene su po poglavljima te se za svaku tehnologiju vrši pregled stupnjeva djelovanja, faktora iskorištenja vršne snage te LCOE-a. Kod usporedne analize, odabrani su različiti rasponi snaga te stvarna postrojenja, a potom su uspoređeni prema instaliranoj snazi i godišnjoj proizvodnji električne energije.

Ključne riječi: energetska učinkovitost, faktor iskorištenja vršne snage, LCOE, obnovljivi izvori električne energije

## **ABSTRACT**

Final work named „Comparison of energy efficiency of different technologies of electricity generation from RES“ consists of theoretical part and comparative analysis. In the theoretical part, different technologies are divided into chapters, and for each technology, there is an overview of efficiency factors, capacity factors and LCOE. In the comparative analysis, different power ranges and actual plants were selected, and then they were compared according to installed power and annual electricity generation.

Key words: energy efficiency, capacity factor, LCOE, renewable energy sources

## **ŽIVOTOPIS**

Mislav Čota rođen je 31. 03. 2002. u Đakovu. Pohađao je Osnovnu školu Josipa Antuna Čolnća Đakovo. Nakon toga upisuje Gimnaziju A. G. Matoša Đakovo. Nakon završetka srednje škole upisuje preddiplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Na drugoj godini studiranja opredjeljuje se za smjer elektroenergetika. Tijekom školovanja, rekreativno se bavi nogometom i plivanjem.