Studija predizvodljivosti izgradnje fotonaponskih elektrana na javnim zgradama grada Osijeka

Dellavia, Maurizio

Undergraduate thesis / Završni rad

2025

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:202897

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-26**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Maurizio Dellavia

Zagreb, veljača 2025

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Student:

Izv. prof. dr. sc. Tomislav Pukšec Maurizio Dellavia

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem dragom Bogu što je uvijek tu za mene i što me vodi kroz ovaj život.

Zahvaljuje se mentoru, izv. prof. dr. sc. Tomislav Pukšecu na ponuđenoj prilici da obradim ovako zanimljivu tematiku i na svoj ponuđenoj pomoći.

Zahvaljujem se posebno asistentu Josip Miškić na svoj pomoći i savjetima koje mi je dao vezano za ovaj završni.

Zahvaljujem se svojoj curi na svoj potpori i motivaciju kroz cijelo trajanje ovog prijediplomskog studija, bez nje ne znam bili završio ovaj studij.

Zahvaljujem se svoj obitelj na potpori u svakom obliku koju su mi pružili i što su bili tu uz mene.

Zahvaljujem se svojim prijateljima na pomoći koji su pružili i na druženjima kojim smo imali skupa.

Maurizio Dellavia

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodostrojarski

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: **602 – 04 / 25 – 06 / 1**	
Ur.broj: **15 – 25 –**	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Maurizio Dellavia** JMBAG: **0035228106**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Studija predizvodljivosti izgradnje fotonaponskih elektrana na javnim zgradama grada Osijeka**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Pre-feasibility study for installing photovoltaic power plants on public buildings in the city of Osijek**

Opis zadatka:

Korištenje fotonaponskih elektrana za proizvodnju električne energije pruža brojne prednosti kao što su smanjenje emisije ugljičnog dioksida, smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima te doprinosi sigurnosti opskrbe energijom. Procjena potencijala korištenjem alata geoinformacijskog sustava omogućuje precizno mapiranje i evaluaciju prikladnih lokacija za izgradnju fotonaponskih elektrana. Cilj ovog završnog rada je izraditi studiju predizvodljivosti izgradnje fotonaponskih elektrana na javnim zgradama Grada Osijeka.

U radu je potrebno:

1. Prikazati pregled literature na temu ciljeva Europske unije vezane za izgradnju fotonaponskih elektrana;
2. Pronaći i georeferencirati javne objekte na području Grada Osijeka te izračunati tlocrtne površine promatranih objekata;
3. Na temelju tehničkih karakteristika fotonaponskih panela te maksimalne dozvoljene pokrivenosti krovova izračunati snage fotonaponskih sustava koje je moguće postaviti na krovove promatranih objekata;
4. Pomoću qGIS i PVGIS alata izračunati potencijal proizvodnje električne energije iz fotonaponskih sustava za promatrane javne objekte;
5. Analizirati tehničku i ekonomsku izvedivost izgradnje fotonaponskih elektrana na promatranim javnim zgradama;
6. Provesti analizu osjetljivosti ekonomske isplativosti.

Potrebni podaci i literatura se mogu dobiti kod mentora. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:	Datum predaje rada:	Predviđeni datumi obrane:
30. 11. 2024.	**1. rok:** 20. i 21. 2. 2025. **2. rok:** 10. i 11. 7. 2025. **3. rok:** 18. i 19. 9. 2025.	**1. rok:** 24. 2. – 28. 2. 2025. **2. rok:** 15. 7. – 18.7.2025 **3. rok:** 22. 9. – 26. 9. 2025.

Zadatak zadao: Predsjednik Povjerenstva:

Izv.prof.dr.sc. Tomislav Pukšec Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

Sadržaj

Sadržaj I

Popis slika III

Popis tablica V

Sažetak VII

Summary VIII

1. Uvod 1

1.1. Fotonaponske elektrane (*eng. Photovoltaic – PV*) 2

1.2. Solarna energija u kontekstu Europske politike 4

1.2.1. Europska inicijativa za solarne krovove 5

1.3. Regulativa Republike Hrvatska 6

1.3.1. Ciljevi Republike Hrvatske u NECP-u 7

1.3.2. Hrvatski ciljevi za izgradnju solarnih elektrana 7

1.4. Lokalna regulativa 8

1.4.1. Grad Osijek 9

2. Metoda 11

2.1. Studija slučaja 11

2.2. Prostorna analiza 13

2.3. Energetska analiza 15

2.4. Ekonomska analiza 17

3. Rezultati 22

3.1. Prostorna analiza 22

3.2. Energetska analiza 23

3.3. Ekonomska analiza 25

3.4. Tok novca 28

3.5. Analiza osjetljivosti 29

3.5.1. Analiza osjetljivost promjene instalirane snage FN elektrana 29

3.5.2. Analiza osjetljivosti promjene cijene FN elektrane 30

3.5.3 Analiza osjetljivosti promjene cijena električne energije koja se kupuje iz mreže . 31

3.5.4. Analiza osjetljivosti promjene Zajamčena cijena otkupa električne energije 31

3.5.5. Analiza osjetljivosti promjena cijene ulazne investicije 32

5. Zaključak 34

Prilog 35

Literatura 38

Popis slika

Slika 1 Insolacija Europe [5] 2

Slika 2 lijevo je prikazuje monokristalni FN panel, u sredini je polikristalni FN panel i desno je prikaza tankoslojni FN paneli[7], [10] 3

Slika 3 Samostalni FN sustav ("Off grid") 3

Slika 4 Plan "Spremni za 55%" 5

Slika 5 Predviđena proizvodnja el. energije iz različitih tehnologija 8

Slika 6 Kapaciteti FNE u različitim stadijima razvoja 9

Slika 7 GIS sučelje 15

Slika 8 PVGIS sučelje 16

Slika 9 Dijagram ovisnosti potencijalne snage i dostupne tlocrtne površine 17

Slika 11 Udio investicijskih troškova po komponentama 19

Slika 12 Sve zgrade unutar obuhvaćenog područja 22

Slika 13 Postojeće/planirane FN elektrane 23

Slika 14 Potencijalne snage FN elektrana 24

Slika 15 Proizvodnja potencijalnih FN elektrana 25

Slika 16 Vrijeme otplate projekta 28

Slika 17 Dijagram promjene IRR u ovisnosti o instaliranoj snazi FNE 30

Slika 18 Dijagram promjene IRR-a o cijeni FN panela 30

Slika 19 Dijagram promjene kupovne cijene električne energije 31

Slika 20Dijagram promjene IRR-a u ovisnosti o promjeni cijene otkupa električne energije iz mreže 32

Slika 21 Promjena IRR-a u ovisnosti o promjeni cijena struje 32

Slika 22 Dijagram promjene IRR-a u ovisnosti cijene ukupne investicije..... 33

Popis tablica

Tablica 1 Podjela investicijskih troškova FN elektrane na komponente 18

Tablica 2 Ulazne stavke proračuna 19

Tablica 3 Potencijal FNE i potencijalna proizvodnja 25

Tablica 4 Troškovi investicije podijeljena na komponente FN sustava 26

Tablica 5 Ukupni prihodi na godišnjoj razini 26

Tablica 6 Ukupni rashodi na godišnjoj razini 26

Tablica 7 Bruto prihod u 1. godini projekta 27

Tablica 8 Kredit 27

Tablica 9 Amortizacija 27

Tablica 10 Porezna osnovica 27

Tablica 11 NPV, IRR i vrijeme otplate projekta 28

Tablica 12 Popis javnih zgrada u Gradu Osijeku te potrošnja električne energije u javnim zgradama 35

Popis oznaka

Oznaka	Mjerna jedinica	Opis
FN	-	FN
EU	-	Europska unija
NECP	-	Nacionalni energetski i klimatski plan
OIE	-	Obnovljivi izvori energije
ETS	-	trgovanje emisijama
MINGOR	-	ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja
SECAP	-	Akcijski plan održivog energetskog razvoja i prilagodbe na klimatske promjene
QGIS	-	Quantum Geographical Information System
PVGIS	-	Photovoltaic Geographical Information System
LCOE	€/MWh	Nivelirani troškovi električne energije
JRC	-	Joint Research Centre
CRF	-	faktor povratka kapitala
CAPEX	€	troškovi investicije
OPEX	€	troškovi održavanja
d	-	diskontna stopa
n	godina	životni vijek
NPV	€	Sadašnja vrijednost novca
IRR	-	Unutarnja stopa povrata

Sažetak

Obnovljivi izvori energije su prirodni resursi koji se ne troše i neprestano se obnavljaju. Predstavljaju ekološki održivu alternativu fosilnim gorivima, doprinose smanjenju emisija stakleničkih plinova i podržavaju koncept održivog razvoja. Implementacija FN elektrana u energetski sustav cilj je postići energetsku neovisno o fosilnih goriva, doprinijeti zelenijom budućnosti te postati klimatski neutralni. Tehnologije korištene za izgradnju FN elektrana postaju sve dostupniji i jeftiniji što ih čine lakšim za ugraditi i upotrijebiti, te iako imaju visoke investicijske troškove, operativni troškovi su niski što ih čini jedim od vodećih tehnologije koje se implementiraju u sklopu obnovljivih izvora

U sklopu ovog završnog rada razmatralo se pred izvodljivost ugradnje FN elektrana na javim zgrada u gradu Osijeku. Za prostornu analizu korišten je program QGIS, kako bi javne zgrade mogle georeferencirati i kako bi se mogla izračunati dostupna tlocrtna površina na koju će biti moguće ugraditi FN elektrane. Za izračun solarnog potencijala na lokaciji Osijeka korišten je program PVGIS gdje je dobivena proizvodnja FN elektrana na godišnjoj razini.

Zadatak je popraćen ekonomskom analizom, a faktori koji su korišteni za prikaz isplativosti su bili neto sadašnja vrijednost (*eng. Net Present Value – NPV*), unutarnja stop povrata (*eng. Internal Rate of Return – IRR*) i vrijeme otplate projekta (*eng. Payback time*). Faktor koji je bio korišten kao pokazatelj koliki će biti trošak proizvedene električne energije zvao se nivelirani troškovi električne energije (*eng. Levelized cost of electricity – LCOE*).

Pri završetku rada provedena je analiza osjetljivosti, u kojoj su se mijenjali snaga instaliranih FN panela, cijena FN panela, cijena ukupne investicije, zajamčena cijena otkupa struje te kupovna cijena električne energije iz mreže. Ovom mjerom omogućen je bolji uvid u isplativosti samog projekt i njegovu riskantnost.

Ključne riječi: studija predizvodljivosti, fotonaponske elektrane, prostorna analiza, energetska analiza, ekonomska analiza

Summary

Renewable energy sources are natural resources that are inexhaustible and continuously replenished. They represent an environmentally sustainable alternative to fossil fuels, contribute to reducing greenhouse gas emissions, and support the concept of sustainable development. The integration of photovoltaic (PV) power plants into the energy system aims to achieve energy independence from fossil fuels, foster a greener future, and attain climate neutrality. The technologies used in the construction of photovoltaic power plants are becoming increasingly accessible and affordable, making them easier to install and use. Although they require high initial investment costs, their operational costs are low, making them one of the leading technologies within the renewable energy sector.

As part of this thesis, the feasibility of installing photovoltaic power plants on public buildings in the city of Osijek was examined. For spatial analysis, QGIS software was used to georeferenc public buildings and calculate the available footprint area suitable for PV system installation. To estimate Osijek's solar potential, PVGIS software was utilized to determine the annual electricity production of the photovoltaic systems.

The project was complemented by an economic analysis, in which key financial indicators were used to assess profitability, including Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), and Payback Time. The Levelized Cost of Electricity (LCOE) was employed as a metric to determine the cost of the generated electricity.

In the final stage of the study, a sensitivity analysis was conducted, adjusting variables such as installed PV capacity, PV panel prices, total investment costs, guaranteed electricity purchase prices, and grid electricity purchase prices. This approach provided a deeper insight into the project's profitability and the associated risks.

Keywords: Pre-feasibility study, photovoltaic power plants, spatial analysis, energy analysis, economic analysis

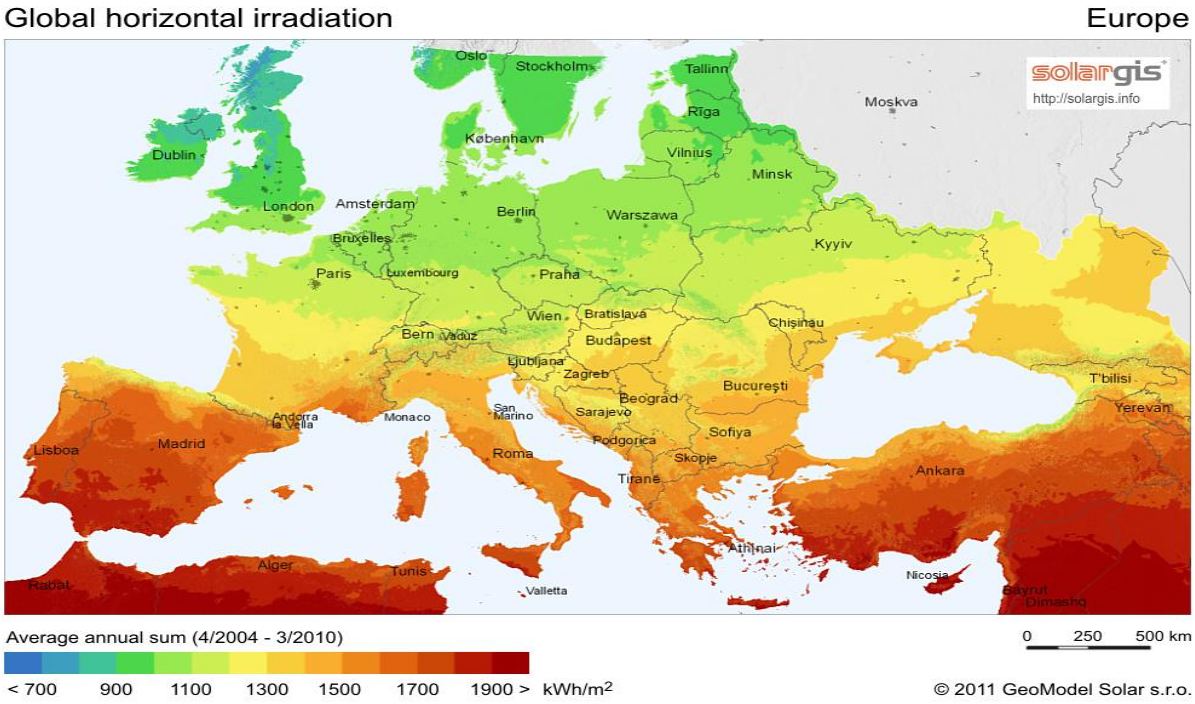
1. Uvod

Klimatske promjene predstavljaju jedan od najvećih izazova s kojima se suočava suvremeno čovječanstvo. Ovaj fenomen, uzrokovan prirodnim procesima i ljudskim djelovanjem, ima dubok utjecaj na okoliš, gospodarstvo i društvo u cjelini. Porast globalnih temperatura, sve učestaliji ekstremni vremenski uvjeti, topljenje ledenjaka i porast razine mora samo su neki od alarmantnih znakova koji ukazuju na hitnost problema. Ljudske aktivnosti kao što su sječa šuma, uzgoj stoke te sagorijevanje fosilnih goriva kao što su nafta, ugljen i prirodni plin imaju za posljedicu oslobađanja stakleničkih plinova kao što su ugljikov dioksid (CO_2), metan (CH_4), dušikov oksid (N_2O). Emisija ovih plinova dovodi do prirodne pojave koja se zove efekt staklenika. To je efekt gdje navedeni plinova preuzmu dio topline sunčevog zračenja te sprječavaju povratnu emisiju sunčevog zračenja nazad u svemir što dovodi do povećanja temperature na globalnoj razini [1]. Kako bi se smanjio udio stakleničkih plinova u atmosferi i smanjio njihov utjecaj na klimatske promjene nužan je uvjet prijelaz s neobnovljiv izvora energije na obnovljive izvore energije.

Obnovljivi izvori energije su neiscrpni oblici energije koje čovječanstvo može koristiti za svoju dobrobit. Obnovljivi izvori energije su: energija vjetra, plime i oseke, hidroenergija, geotermalna energija, biomasa te energija sunca [2]. Energija sunca posebice se iskazala kao jedan od ključnih obnovljivih izvora energija kako bi energetska tranzicija bila što uspješna i dekarbonizacija energetskog sustava bila moguća. Sunčeva energija dolazi od Sunca. Sunce je središnja zvijezda našeg planetarnog sistema – Sunčeva sustava. Sunce je sačinjeno uglavnom od vodika te spajanjem atoma vodika u atome helija zbog velike gravitacijske sile koja djeluje oslobađa se enormno puno energije. Naziv navedenog procesa je nuklearna fuzija, a oslobođena energija iznosi $3{,}8 \cdot 10^{26}$ W u jednoj sekundi što je $9{,}08 \cdot 10^{21}$ TWh kad se sve preračuna [3].

Godišnja globalna potrošnja energije u 2023. godini iznosila je 15 061 Mtoe, što, kada se preračuna u TWh, odgovara brojci od $1{,}75159 \cdot 10^5$ TWh [4]. Ovi podaci ukazuju da Sunce proizvodi više energije u samo jednoj sekundi nego što je ukupna svjetska energetska potrošnja u razdoblju od četiri godine. Ovaj nevjerojatan potencijal Sunčeve energije jasno pokazuje njezinu obilnost, što čini njezino iskorištavanje, primjerice kroz izgradnju FN elektrana, jednim od najperspektivnijih rješenja za održivu proizvodnju energije. Mjesta gdje je najbolje izgraditi FN elektrane najbolje se može vidjeti na karti solarne radijacije Europe. Navedena slika opisuje koliko je moguće dobiti električne energije po m^2 instaliranih FN panela. Što je vrijednost veća to je moguća veća proizvodnje električne energije. Takav podatak nabolje će poslužiti za

procjenu gdje i koliko FN elektrana instalirati. Opći prosjek insolacije planeta iznosi 1 000 W/m^2 .

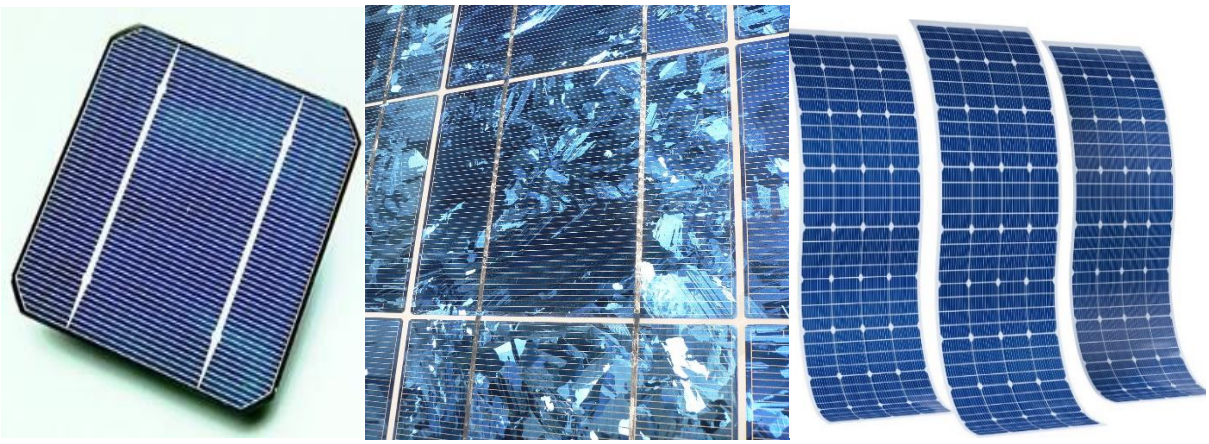


Slika 1 Insolacija Europe [5]

1.1. Fotonaponske elektrane (*eng. Photovoltaic – PV*)

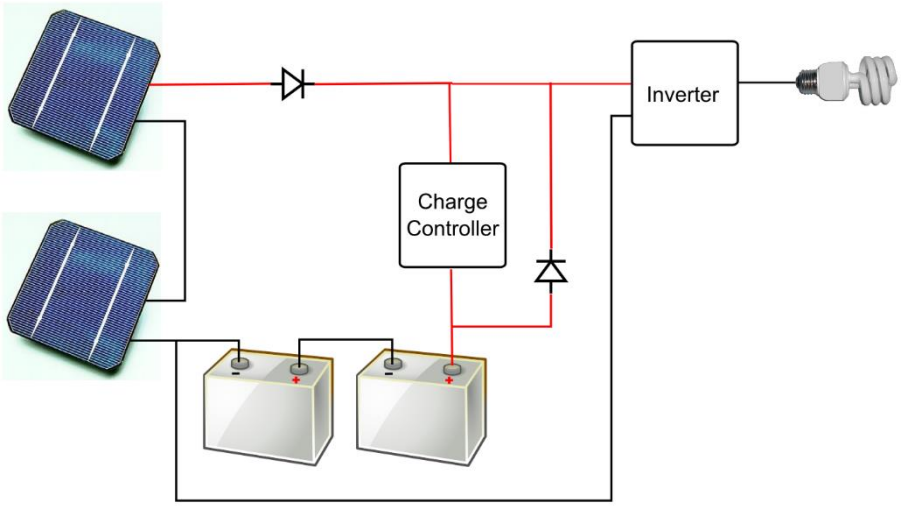
Osnovni i glavno dio fotonaponskog (FN) sustava su FN paneli. FN paneli kombinacija su FN članaka koji su povezani u seriju zbog većeg učinka. FN članci sačinjeni su od 2 različito nabijena poluvodiča koja, kad ih obasja sunčevo zračenje, dovode do fizikalne pojave koja se zove fotoelektrični efekt [6]. To je pojava koja, pri određenoj valnoj duljini, izbija elektrone iz površine obasjanog materijala. Ako se Zatvori strujni krug i spoji se trošilo u sustav, električna energija će poteći [7]. FN paneli mogu biti sačinjene od različitih materijala te samim time se diktira njihova efikasnost. Mogu biti monokristalni, polikristalni i tankoslojni. Monokristalni FN paneli najčešće su izgrađeni od silicija. Najefikasniji su od navedenih panela te im je učinkovitost najveća, a raspon učinkovitosti je od 15 do 22%. Imaju najduži vijek trajanja, ali su ujedno i najskuplja varijanta. Druga opcija su polikristalni FN paneli. Izgrađeni su topljenjem sirovog silicija što je brži način proizvodnje nego li monokristalnih FN paneli, što ih čini jeftinijim opcijom ali time se smanjuje efikasnost. Raspon u kojem se kreće efikasnost jest od 13 do 18% i smanjen je životni vijek panela. Treća opcija su tankosloji FN paneli. Napravljeni su od filma FN materijala kao što su silicij, kadmij ili bakar što ih čini najjeftinijom opcijom ali

zbog toga imaju najmanju efikasnost i ona se kreće u rasponu od 10 do 12% i najmanji životni vijek imaju [8], [9], [10].



Slika 2 lijevo je prikazuje monokristalni FN panel, u sredini je polikristalni FN panel i desno je prikaza tankoslojni FN paneli[7], [10]

Osim FN panela, sustav još čine : akumulatori, pretvarač (*eng. inverter*), regulator punjenja, ugradbeni dijelovi te provodnici. FN sustavi također se mogu dijeliti na sustave spojeni na mrežu (*eng. On-grid*) i na samostalne sustave (*eng. Off-grid*). Sustavi spojeni na mrežu višak proizvedene struje vraćaju u elektroenergetsku mrežu te opskrbljivač otkupljuje struje od proizvođača. Za takvo što potreban je inverter kako bi sinkronizirao napon, frekvenciju i fazu dobivene električne energije s elektroenergetske mreže. Primjer takvih sustava su FN elektrane na stambenim zgradama. Samostalni sustavi su takvi da proizvedenu električnu energiju troše trenutačno.



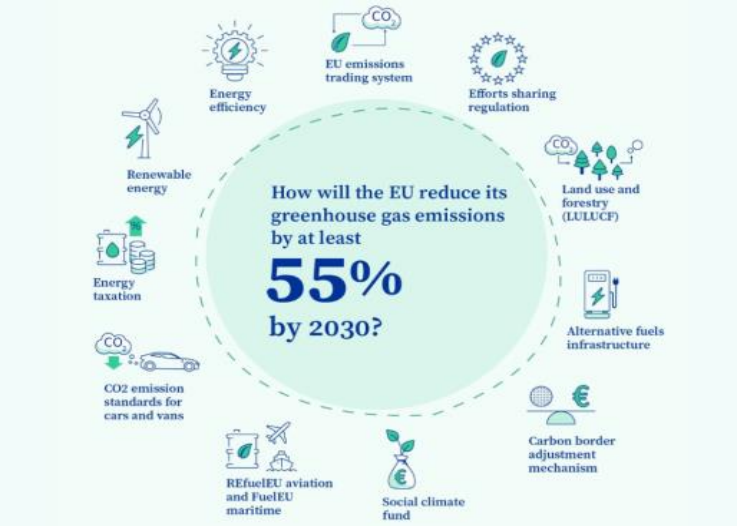
Slika 3 Samostalni FN sustav ("Off grid")

U slučaju skladištenja energije potreban je baterijski sustav kako bi to bilo moguće što dovodi do poskupljenja cjelokupnog sustava. Za navedeni sustav potreban je inverter koji bi pretvarao istosmjernu struju (12/24/48 V) u izmjeničnu. Primjer ovakvog sustava su FN sustavi na otocima gdje elektroenergetski sustav nije proveden [11]. Inovacija u posljednje vrijeme što se tiče FN sustava su FN sustavi koji prate putanju kretanja sunca. Postoje jedno-osni i dvo-osni sustav. Jedno-osni sustav praćenja sunca su FN sustavi koji prate putanju kretanja sunca s istoka prema zapadu u jednoj osi, to može biti horizontalno ili vertikalno. Ovi sustavi proizvode od 20-30% više el. energije nego li fiksirani sustavi[12]. Dvo-osni sustavi prati putanju sunca u dvije osi te omogućuje uvijek optimalni kut između panela i sunce što zauzvrat ima povećanje proizvodnje el. energije za čak 45%. Prednost ovakvog sustava je povećana proizvodnja el. energije, a mana je skupoća takvog sustava i održavanje zbog kompleksnosti [13].

1.2. Solarna energija u kontekstu Europske politike

Klimatske promjene postaju sve izraženije, pri čemu ljudska aktivnost, osobito korištenje fosilnih goriva kao primarnog izvora energije, značajno doprinosi njihovom intenziviranju. Fosilna goriva imaju negativan utjecaj na klimu, a smanjenje ovisnosti o njima predstavlja ključni korak prema održivom razvoju. Prijelaz na obnovljive izvore energije, poput solarnih sustava, jedan je od učinkovitih načina za smanjenje emisija stakleničkih plinova. Europska Unija svjetski je predvodnik u izgradnji FN sustavu. Zemlja predvodnica unutar EU je Njemačka koja trenutačno ima najveći broj FN elektrana instalirano čiji je ukupni kapacitet skoro 82 GW što je 17,45 % povećanje u odnosu na prijašnju godinu. Uz Njemačku zemlje koje prednjače s instaliranim FN elektrana su Italija s 29,789 GW , Španjolska s 28,712 GW te Nizozemska s 23,904 GW. Prema dostupnim podacima, Nizozemska prednjači u instaliranom kapacitetu FN sustava po stanovniku, s vrijednošću od 1.081,5 W, a slijede ju Njemačka s 794,2 W, Belgija s 590,3 W i Grčka s 532,9 W [5]. Kako bi se ubrzala tranzicija na obnovljive izvore energije EU je napravila par inovativnih planova kako bi se čim prije postigla energetska neovisnost te smanjile emisije stakleničkih plinova. Jedan od takvih ciljeva koja je postavila EU naziva se "Zeleni plan" kojim bi Europa trebala postati prvi klimatski neutralni kontinent do 2050. godine. EU imala je par izmjena tog plana kako bi ubrzala svoju tranziciji prema klimatskoj neutralnost a jedan od tih nadopuna je plan pod imenom spremni za 55 (*eng. "Fit for 55%"*). Taj plan opisuje kako se članice EU obvezuju smanjiti emisije stakleničkih plinova za 55 % u odnosu na razdoblje iz 1990. godine uvođenjem što većeg broja načina proizvodnje energije iz obnovljivih izvora energije kao što su solarne i vjetroelektrane. Trenutačna izvješća govore da se 23 % ukupno potrošene energije dobije iz obnovljivih izvora energije. Plan EU

predviđa da do 2030. godine najmanje 45 % energije bi trebalo proizvoditi iz obnovljivih izvora energije. Također jedan od novonastalih ciljeva koje je EU postavila zove se REPowerEU, Taj plan nastao je kao odgovor na energetske izazove koju su nastali ruskom invazijom na Ukrajinu zbog velike ovisnosti EU na prirodni plin kojeg je okupljivala od Rusije. Plan je učiniti dostupnim 320 GW solarne energije do 2025. godine što je dvostruko veći iznos u odnosu na 2020.godinu. Krajnji cilj je da do 2030. godine učini dostupnim gotovo 600 GW što je ekvivalent potrošnji 9 milijardi m^3 prirodnog plina na godišnjoj razini. Također jedna velika prednost ugradnje FN sustava danas je to što su troškovi uvođenja manji za 82% nego što li je to bilo u prošlom desetljeću. Iako pojeftinjenje solarne tehnologije je očito, EU nudi i dalje poticaje za ugradnju FN sustava. Jedna od takvih mjera poticaja unutar plana REPowerEU navodi kako će se osigurati 26 milijardi eura do 2027.godine kako bi se ostavili ciljevi iz paketa Spremni za 55 %. Iako većina ulaganja dolaze iz privatnog sektora, dio će biti osiguran javnim financiranjem kao što je mehanizam za oporavak i otpornost gdje je osigurano dodatnih 19 milijardi eura za ubrzano korištenja obnovljivih izvora energije[14].



Slika 4 Plan "Spremni za 55%"

1.2.1. Europska inicijativa za solarne krovove

Prema procjenama, krovni FN sustavi imaju potencijal osigurati gotovo 25% ukupne potrošnje električne energije u Europskoj uniji, što premašuje trenutni udio prirodnog plina. Instalacije FN elektrana na stambenim, javnim, komercijalnim i industrijskim zgradama ne samo da mogu smanjiti izloženost potrošača visokim cijenama električne energije već i značajno pridonijeti širem prihvaćanju obnovljivih izvora energije. Njihova implementacija može se provesti brzo, jer koriste postojeće strukture i ne ugrožavaju druga javna dobra poput okoliša[14].

Cilj europske inicijative za solarne krovove, najavljene u okviru komunikacije Europske komisije o planu REPowerEU, je maksimalno iskoristiti značajan, ali nedovoljno iskorišten potencijal krovnih površina za proizvodnju solarne energije. Time se nastoji osigurati čišća, sigurnija i financijski pristupačnija energija za građane i gospodarstva EU-a [14].

Glavne točke inicijative su:

- Tromjesečno ograničenje na izdavanje dozvola sa solarne elektrane, uključujući velike solarne sustave
- Uvesti odredbe da novoizgrađene zgrade budu pripremljene za uvođenje solarnih elektrana
- Uvesti obvezu ugradnje solarnih krovova na sve nove javne i komercijalne zgrade veće korisne površine od 250 m^2 godine do 2026. godine
- Uvesti obveznu ugradnju solarnih krovova u sve stambene zgrade do 2029. godine

U slučaju da se inicijativa i planove europske unije ispoštuju u okviru plana REPowerEU predviđa se dodatni instalirani solarni kapacitet od 19 TWh električne energije nakon prve godine provedbe (36% više nego što se predviđalo u paketu " Spremni za 55%) . Do kraja 2025. predviđa se instalacija FN elektrana čija će proizvodnja iznositi 58 TWh električne energije (Više nego dvostruko u odnosu na ciljeve predviđene u paketu „Spremni za 55%“) [14].

1.3. Regulativa Republike Hrvatska

Nacionalni energetski i klimatski plan (*eng. National Energy and Climate Plan – NECP*) glavni je strateški dokument koja je svaka država članice EU dužna sastavi u vidu postizanja ciljeva, mjera i politika u području klime i energiju u razdoblju od 2021. do 2030. godine. Srž dokumenta je postignuti ciljeva zadane od strane EU-a u paketu " Spremni za 55% ". Dokument je sačinjen od 5 glavnih ciljeva a ti su ciljevi[15]:

- Dekarbonizacija – Povećati udio OIE u bruto neposrednoj potrošnji energije te snižavanje emisija štetnih plinova (42.5 %)
- Energetska učinkovitost – Povećati energetsku učinkovitost u svim sektorima energetskog sustava, posebice zgradarstvu, industriji, prometu
- Energetska sigurnost – Sniziti ovisnost o uvoznoj energiji i povećati vlastitu proizvodnje energije

- Unutarnje energetsko tržište – Stimuliranje konkurencije, uklanjanja barijera u energetskom sektoru i integracija tržišta
- Istraživanje, inovacije i konkurentno – Poticanje istraživanja za energetsku učinkovitost i razvoja inovativnih tehnologija [15]

1.3.1. Ciljevi Republike Hrvatske u NECP-u

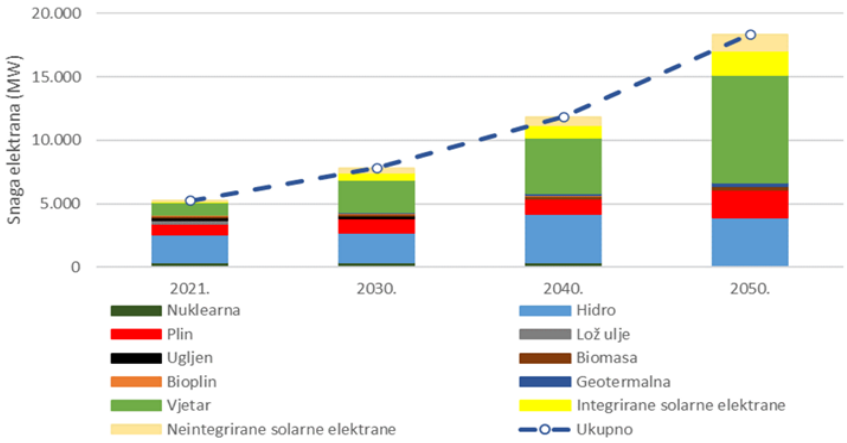
Ciljevi koje je Republika Hrvatska definirala u dokumentu NECP su sljedeći:

1. Smanjenje emisija stakleničkih plinova u:
    - ETS sektoru za 50,2% u odnosu na razine iz 2005. godine
    - Non-ETS sektoru za 16,7% u odnosu na razine iz 2005. godine
2. Povećanja udjela OIE u :
    - Ukupno potrošenoj energiji trebala bi iznositi 42,5% do 2030. godine
    - Sektor električne energije trebalo bi iznositi 73,6% do 2030. godine
    - Sektor grijanja i hlađenja trebalo bi iznositi 47,1% do 2030. godine
    - Sektor prometa trebalo bi iznositi 21,6% do 2030. godine
3. Energetska učinkovitost
    - Ograničiti potrošnju primarne energije na 8,14 Mtoe do 2030. godine
    - Ograničiti potrošnju finalne energije na 6,55 Mtoe do 2030. godine

1.3.2. Hrvatski ciljevi za izgradnju solarnih elektrana

Iako u dokumentu NECP-a nije precizno naveden točan postotak električne energije koji bi trebao biti proizveden iz solarnih izvora definirano je bi do 2030. godine trebalo biti instalirano FN elektranu ukupnog kapaciteta 1 GW bilo da su to integrirane solarne elektrane koje bi trebale zauzimati skoro 0,6 GW, dok kapacitet neintegrirane solarne elektrane bi trebao biti nešto manji od 0,4 GW. Trenutno dostupan kapacitet solarnih elektrana iznose otprilike 0,5 GW. Mali je to udio potpuno dostupnog solarnog potencijala. Predviđanja se da je ukupni iznos dostupni solarni potencijal 5,7 GW [15]. Kako bi se potaklo što brža ugranja FN elektrana, Republika Hrvatska osigurala je financijske mjere i potpore kako bi to bilo moguće u što više sekora. Jedna od takvih mjera je izdalo je ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja (MINGOR), a mjera se zove *"Proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora u prerađivačkoj industriji i toplinarstvu*" gdje se nudi 60 milijuna eura u navedenim sektorima kako bi se smanjila emisija CO_2 za 60 000 tona na godišnjoj razini, povećanje proizvodnje iz OIE od 80 MW, uštedila energija u iznosu od 140 MWh godišnje te povećanja kapaciteta skladištenja energije od 20 MWh [16]. Što se tiće poticaja za građane koje žive u stambenim zgradama Fond za zaštitu

okoliša i energetske učinkovitosti je osiguralo 12.425 milijuna eura za sufinanciranje izgranje FN elekrana. Udio bespovratnih sredstava koji će biti dostupan iznosi najviše 50 % ili 600 eura po kW nazivne snage FN elekrane. Ministarstvo zaštite okoliša i zelene tranzicije također je osiguralo potpore za izgranju FN elektrana za mikro, mala, srednja i velika poduzeća. Postotak potpore s kojim će ministarstvo maksimalno sudjelovati su: 65% za mirko i mala poduzeća, 55% za srednja poduzeća te 45% za velika poduzeća [17].



Slika 5 Predviđena proizvodnja el. energije iz različitih tehnologija

1.4. Lokalna regulativa

Akcijski plan održivog energetskog razvoja i prilagodbe na klimatske promjene (*eng. Sustainable Energy and Climate Action Plan - SECAP*) je dokument koji izrađuju regionalne i lokalne vlasti u sklopu inicijative Sporazuma gradonačelnika za klimu i energiju (*eng. Covenant of Mayors for Climate and Energy*). Dokument sadrži konkretne mjere za smanjenje emisija stakleničkih plinova te strategije za prilagodbu klimatskim promjenama. Lokalna samouprava odgovorna je za provedbu i usklađivanje svojih aktivnosti s ciljevima navedenim u SECAP-u kako bi osigurala učinkovitost u postizanju zadanih klimatskih i energetskih ciljeva [18].

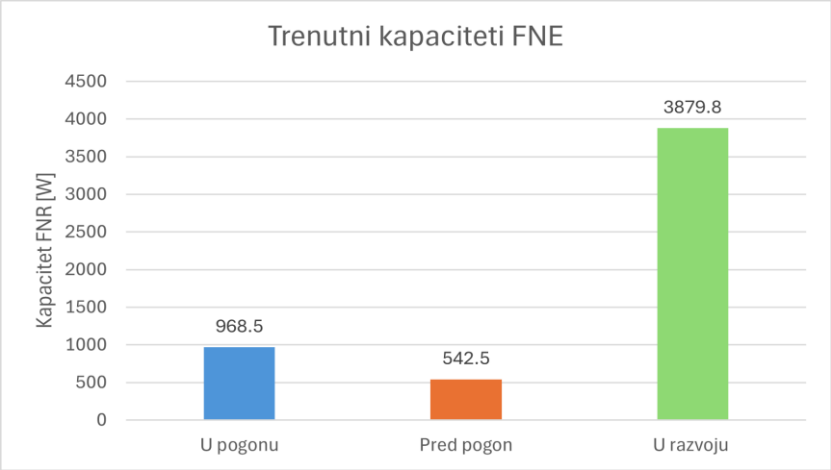
Glavne značajke SECAP-a su:

1. Smanjivanje emisija stakleničkih plinova
    - Za 40% do 2030. godine u usporedi s 2010.godinom
    - Obuhvaća sektore zgradarstva, prometa, javne rasvjete i gospodarenjem otpadom

2. Adaptacija na klimatske promjene
    - Procjena rizika od ekstremnih klimatskih pojava kao što su poplave, suše, toplinskih valova
    - Modernizacija infrastrukture i društva
    - Zaštita ekosustava
3. Energetska učinkovitost i OIE
    - Unaprjeđenje energetske učinkovitosti cjelokupne infrastrukture
    - Poticati uporabu OIE
        - FN i vjetroelektrane te biomasa
4. Učestvovanje društva
    - Podizanje svijesti zajednice o važnosti i prednosti korištenja i implementacija OIE
    - Uključivanje lokalnih organizacija, poduzeća i građana u razvoju SECAP-a
5. Nadziranje
    - Izvješća svake 2 godine o trenutnom stanju i budućim planovima

1.4.1. Grad Osijek

Provedene mjere plana SECAP za grad Osijek odnosi se na 25 mjere ublažavanja i 14 mjera prilagodbe klimatskim promjena u vremenskom razdoblju od 2020. do 2030. godine. Prognozira se da provedba navedenih mjera u nadolazećem periodu će smanjiti emisiju CO_2 za 42,15% u odnosu na referentnu 2010. godinu čime će se nadići cilj od smanjenja emisija za 40% koji je postavljen Sporazumom gradonačelnika za klimu i energiju. Nastavkom energetske obnove javnih i stambenih zgrada te daljnjim integriranjem OIE kao što FN elektrane sniziti će se emisije u sektoru zgradarstva i javne rasvjete. Trenutačni kapacitet instaliranih FN elektrana na javim zgradama koje su "puštene" u pogon u gradu Osijeku iznosi 968,5 kW. Kapacitet FN elektrana koji su u završnom stadiju prije "puštanja" u pogon iznosi 542,5 kW, dok kapacitet FN elektrana koje su u stadiju prikupljanja potrebne dokumentacija za daljnju realizaciju projekta iznosi 3 879,8 kW [19]. Zbog preglednosti navedeni kapaciteti navedeni su na Slika 6.



Slika 6 Kapaciteti FN elektrana u različitim stadijima razvoja

Kako bi se potakla dodatna izgradnja FN elektrana, Grad Osijek zajedno sa fondom za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost pruža potporne mjere kao što su:

- Izrade projektne dokumentacije za izgradnju kapaciteta za proizvodnju električne energije iz OIE za vlastite potrebe na obiteljskim kućama
- Izgradnja kapaciteta za proizvodnju energije iz OIE u sustavu Grada Osijeka [18].

Prva mjera predviđa sufinanciranja od 33 do 100% (ukupni iznos sredstava na raspolaganju: 26 560,42 €) dok druga mjera predviđa sufinanciranje od 40% (ukupni iznos sredstava na raspolaganju: 96 972,11 €) [20].

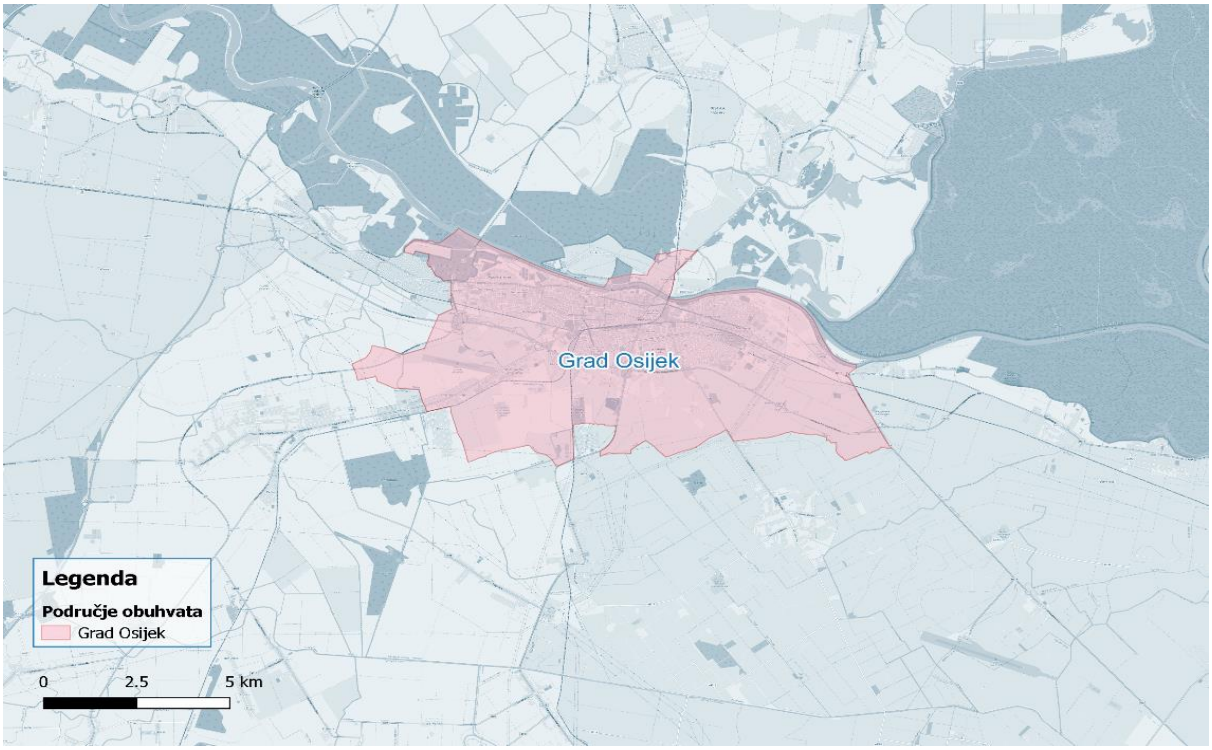
SECAP-ov plan za promet predviđa promjenu cjelokupnog gradskog voznog parka s električnim vozilima ili drugih vozila nulte emisije CO_2 te razvitak novih i obnova starih biciklističkih staza. Glavne prijetnje po zdravlje građa i za cjelokupni elektro-energetski sustav su sve češće i intenzivnije toplinske valove te kratkotrajne ali obilate kiše. Mjere prilagodbe predviđene u SECAP-u uglavnom su usklađene s nacionalnom strategijom prilagodbe klimatskim promjenama. Ključne mjere uključuju povećanje broja sigurnih lokacija za zaštitu od ekstremnih toplinskih valova, razvoj zelene infrastrukture poput zelenih krovova, zelenih fasada, kišnih vrtova i poticanje lokalne proizvodnje hrane. Osim toga, planirana je kontinuirana rekonstrukcija i proširenje vodne infrastrukture te implementacija mjera zaštite od štetnog djelovanja voda. SECAP također predviđa dvije specifične mjere za smanjenje energetskog siromaštva, usmjerene na socijalno ugrožene skupine koje nemaju financijske mogućnosti za ulaganje u energetsku obnovu ili slične inicijative. Ukupna procijenjena ulaganja iznosi približno 265 milijuna € za mjere ublažavanja klimatskih promjena i približno 2 milijuna € za mjere prilagodbe [18].

2. Metoda

Cilj ovog rada je georeferencirati javne zgrade u Osijek koristeći se programom QGIS, izračunati solarni potencijal svakog objekta pomoću programa PVGIS i te vrijednosti iskoristiti za studiju pred izvodljivosti ugradnju FN elektrana. Javne zgrade koje već imaju ugrađene FN elektrane na postojećim krovovima neće se uzimati u obzir. Međutim, na temelju podataka prikupljenih od strane zgrade s već postojećim FN elektrana, uspostavljena je korelacija između instalirane snage i dostupne površine. Taj će se podatak koristiti za procjenu moguće instalirane snage FN elektrana na zgradama koje još nemaju izgrađene FN elektrane. Korištenjem iskustvene formula zaobišla se problematika poznavanja vrsta krova, već potencijalna snaga funkcija je samo dostupne tlocrtne površine. Kao pokazatelj ekonomičnosti proizvodnje električne energije iz FN izvora koristila se metoda niveliranog troškova električne energije (*eng. Levelized Costo of electricity – LCOE*). Navedena mjera govori koliko je potrebno novčanog kapitala da bi se proizveo 1 MWh električne energije [€/MWh]. Naveden zadatak biti će popraćen s ekonomskom analizom isplativosti projekta a metoda koja će biti korištena za procjenu isplativosti projekt zove: Metoda toka novca (*eng. Cash flow method*). Na temelju navedene metoda moći će se izračunati faktori kao što su Neto sadašnja vrijednost (*eng. Net Present Value – NPV*), Unutarnja stopa povrata (*eng. Internal Rate of Return – IRR*) i vrijeme otplate projekta (eng. Payback time). Nakon provedbe navedenog, omogućit će se bolji uvid u isplativost ugradnje FN elektrana na javnim zgradama.

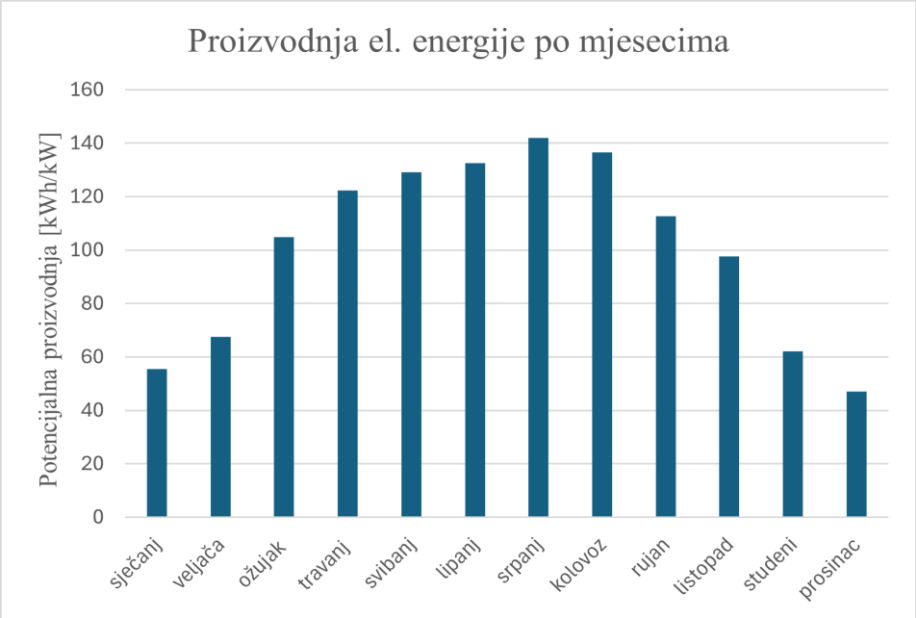
2.1. Studija slučaja

Osijek je grad koji se nalazi u istočnoj Hrvatskoj, središte je Osječko-baranjske županije i najveći je grad Slavonije. Četvrti je grad po veličini u Hrvatskoj te njegova površina iznosi 171 km^2. Prema popisu stanovništva iz 2021. godine u gradu Osijeku trenutačno živi 75 916 stanovnika. Osijek spada pod kontinentalnu klimu što znači da su ljeta topla i suha sa relativno malo padalina dok su zime hladne i oštre [21]. Zbog navedenih klimatski uvjeta, energetska potrošnja javnih zgrada u Osijeku oscilira tijekom godine. Za vrijeme trajanja zimskih mjeseca povećana je potreba za grijanjem, dok za vrijeme trajanja ljetnih mjeseci veća je potreba za hlađenjem. Navedene oscilacije klime tokom godine znatno utječu na ukupnu godišnju potrošnju električne energije u javnim zgrada. Godišnja potrošnja električne energije po zasebnom objektu navedena je u Prilog, dok je potrošena električna energija svih javnih zgrada tokom jedne godine jednaka iznosu od 5 942 MWh.



Slika 7 Područje obuhvata – Grad Osijek

Kako bi se umanjili troškovi električne energije i osigurala veća energetska neovisnost, rješenje se može naći u ugradnji FN elektrana na javnim zgrada. Kako bi se izračunala potencijalna proizvodnja koristio se program PVGIS kako bi se dobila godišnja proizvodna električne energije po 1 kW instalirane snage FN elektrane. Godišnja proizvodnja po 1 kW instalirane snage FN elektrana iznosi 1 210 kWh. Pretpostavka je da će se najveći dio električne energije proizvoditi za vrijeme ljetnih mjeseci, zbog klime u kojoj se nalaze FN elektrane. Raspodjela proizvodnje po mjesecima u jednoj godini najbolje se može vidjeti na Slici 8. Najveći dio proizvodnje biti će za vrijeme trajanja ljetnih mjeseci tj. srpnja i kolovoza. Maksimum proizvodnje postiže se u srpnju gdje je se može proizvesti približno 142 kWh/kW instalirane snage dok nešto malo električne energije proizvede u kolovozu, približno 137 kWh/kW instalirane snage. Najmanje električne energije proizvodi se u zimskim mjesecima tj. prosincu i siječnju. Proizvedena električne energije u prosincu iznosi približno 47 kWh/kW instalirane snage što je najmanje u cijeloj godini [22].



Slika 8 Proizvedena električna energija iz FN elektrana po mjesecima [22]

Ovi podatci biti će korišteni s podatcima potrošnje električne energije javim zgradama na godišnjoj razini. Godišnja potrošnja nalazi se u SECAP dokumentu grada Osijek gdje je promatrana potrošnja električne energije na razini 3 godine (2022-2024) i korištena je aritmetička sredina tri navedene godine kao prosječna godišnja potrošnja. Ovaj podatak biti će korišten za pri ekonomskoj računici isplativosti projekta [18].

2.2. Prostorna analiza

Za georeferenciranje lokacija od interesa nužna je upotreba specijaliziranih softverskih alata koji omogućuju provedbu prostorne analize. Prostorna analiza predstavlja metodološki okvir za obradu i interpretaciju prostornih podataka, pri čemu se primjenom različitih tehnika identificiraju obrasci i prostorne relacije. Ova metoda ima široku primjenu u znanstvenim i stručnim disciplinama, uključujući ekologiju, medicinu, urbanizam, prostorno planiranje, geodeziju, strojarstvo i promet, omogućujući preciznu analizu i optimizaciju prostornih procesa. U ovom slučaju korišten je QGIS, besplatni geoinformacijski sustav otvorenog koda koji omogućuje analizu, obradu i vizualizaciju prostornih podataka. Zahvaljujući širokom rasponu dodataka, QGIS poboljšava efikasnost obrade podataka i prilagođen je različitim korisnicima, uključujući istraživače, urbaniste, ekologe i inženjere [23]. U ovom radu, dodatak "*OpenStreetMap"* koristi se za pretragu svih zgrada u Osijeku.

Pretraga se provodi pomoću alata *Quick Query*, koji omogućuje filtriranje objekata bilo koje namjene na temelju ključnih riječi. U ovom slučaju, pretraga je izvršena korištenjem ključne riječi "buildings". Nakon što je sustav izdvojio sve zgrade, provedena je filtracija kojom su

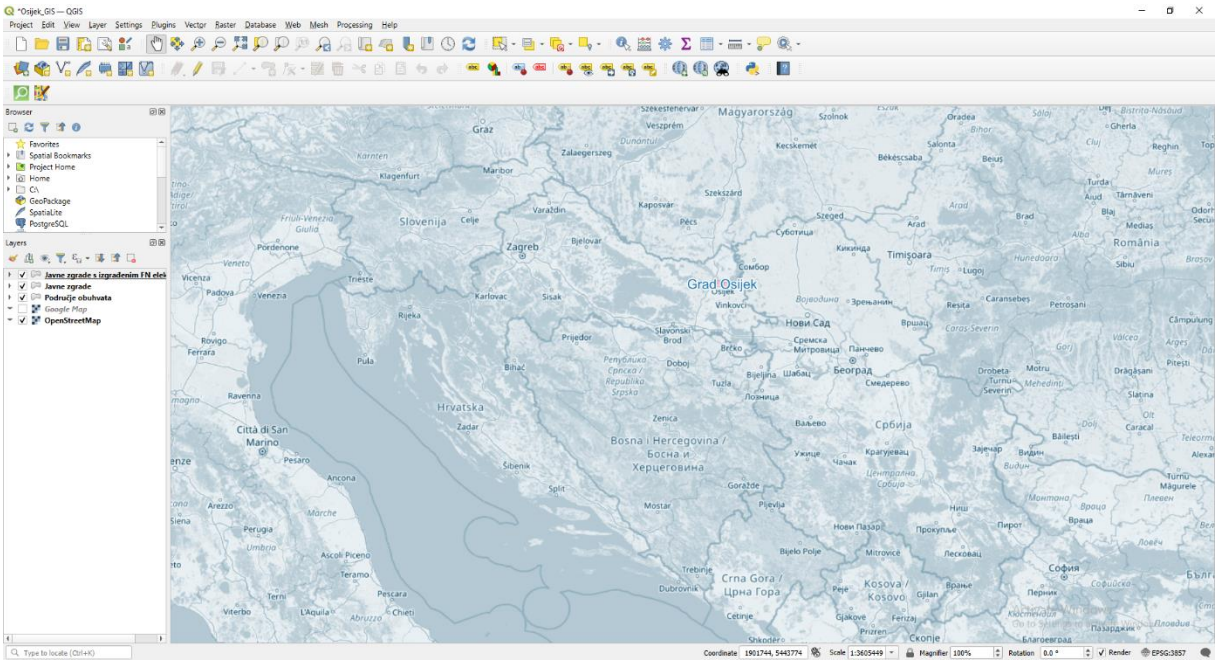
uklonjene one koje nisu javne namjene. Time su iz atributne tablice sloja "*layer*" izbrisani svi objekti koji ne zadovoljavaju kriterij javne namjene. Preostale zgrade javne namjene podijeljene su prema vrste:

- javno/upravne,
- odgojno obrazovne,
- sportsko rekreacijske,
- zdravstvene ustanove.

Pojedine zgrade u programu nisu pripadale ni u jedan sloja pa su naknadno dodane u odgovarajuće sloj s odgovarajućom tlocrtnom površinom. Nakon što su izdvojene sve javne zgrade, u atributnoj tablici korišten je funkcija po nazivom "Field calculator". Navedena funkcija omogućuje izračun različitih geometrijskih karakteristika. Za potrebe ovo rada prvo se računala tlocrtna površina zgrade. To je izračunato korištenjem formule "$area".

Nakon toga da bi se izračunalo koliko je moguće implementirati FN elektrana, georeferencirale su sve javne zgrade s ugrađenim FN elektranama u zasebnom sloju, izračunala se tlocrtna površina i upisalo se u novi stupac pored dostupne površine koliki je bio kapacitet FN elektrana koje su bile ugrađene na navedenim mjestima. Nakon toga, ti su slojevi prebačeni u CSV oblik datoteke i ti podatci korišteni su pri procjeni ovisnosti dostupne tlocrtne površine i instalirane snage FN elektrana. Nakon što dobivena formula koja u omjer stavlja tlocrtnu površinu i instaliranu snagu, korištena je u proračunu potencijalne snage koja će biti ugrađena na javne zgrade koje ne posjeduju FN elektranu. Potencijalna snaga FN elektrane dobila se korištenjem "field calculatora" tako što su u odjeljku "expression" pomnožila tlocrtna površina s dobivenom formula i dobije se potencijalni iznos snage FN elektrane.

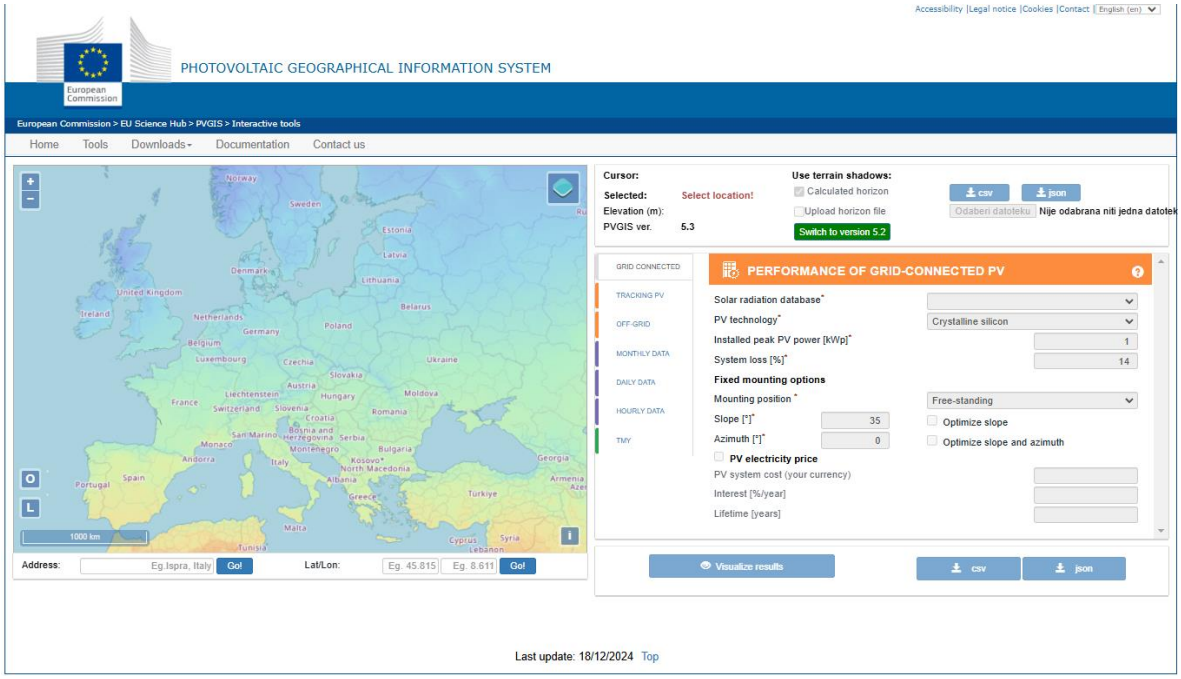
Bitno je napomenuti kako su neke lokacije izgrađenih FN elektrana i elektrana koje su u planu izgradnje preklapaju s javnim zgradama koje su bile izdvojene u prijašnjem sloju. Zbog tog razloga uklonjene su iz tog sloja i neće se uzimati u daljnjem razmatranju.



Slika 7 GIS sučelje

2.3. Energetska analiza

Energetska analiza ključan je korak u planiranju i implementaciji FN elektrana, jer omogućuje procjenu njihove učinkovitosti, očekivane proizvodnje energije te ekonomske isplativosti. Za potrebe energetske analize korišten je programa PVGIS (*eng. Photovoltaic Geographical Information System*), geoinfomatički sustav razvijen od strane zajedničkog istraživačkog centra (*eng. Joint Research Centre – JRC*) Europske komisije, besplatan je i program je otvorenog pristupa.



Slika 8 PVGIS sučelje

To je sustav pomoću kojeg se izračunava solarna radijacija i moguća proizvedena električna energija iz FN elektrana, u ovisnost o materijalima koji su korišteni i nagib na kojem su postavljeni FN paneli. Program također ima razne varijante za koje može izračunati proizvodnju struje, bilo to za sustave koji su spojeni na mrežu *"on grid"*, sustavi koji su samostalni *"off grid"* ili FN elektrane koje prate putanju kretanja sunca. Moguće je dobiti informacije o solarnoj radijaciji i količini proizvedene struje na godišnjoj, mjesečnoj dnevnoj i satnoj razini [24].

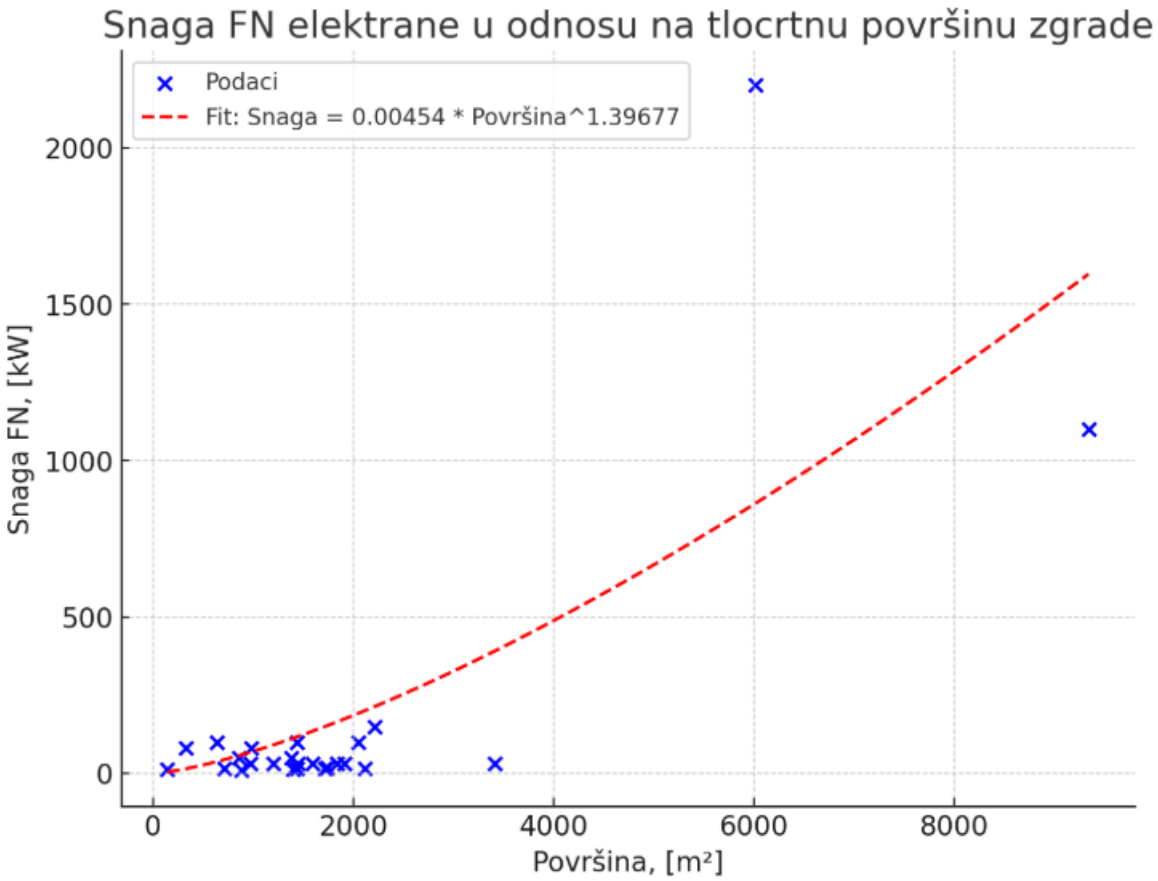
U ovom radu PVGIS korišten je za izračun proizvodnje električne energije po 1 kW instalirane snage FN elektrane. Dobivena vrijednosti iznosi 1 210 kWh/kW_e. Pretpostave koje su korištene u PVGIS-u su:

- Sve FN elektrane povezane su na mrežu,
- FN paneli postavljeni su pod optimalnim kutom nagiba i azimuta,
- gubitci unutar sustava su 14%.

Za izračun snage i potencijala FN elektrana na javnim zgradama u Osijeku korišteni su podaci o već postojećim instaliranim sustavima. Prvo su identificirane i locirane zgrade na kojima su već izgrađene FN elektrane, a zatim je za te objekte izračunata njihova tlocrtna površina. Nakon toga, određena je korelacija između instalirane snage FN elektrana i tlocrtne površine zgrada, što je vizualno prikazano na Slika 9. Dobiveni podaci opisani su eksponencijalnom funkcijom, što je prikazano u Jednadžba 1. Ova jednadžba prikazuje odnos između tlocrtne površine zgrade

i snage instaliranih FN elektrana te je korištena u ovom istraživanju za procjenu potencijalne snage FN sustava na drugim javnim zgradama. Navedena formula glasi:

$$\text{Snaga} = 0{,}00454 * Površina^{1{,}39677} \qquad (1)$$



Slika 9 Dijagram ovisnosti potencijalne snage i dostupne tlocrtne površine

Pomoću ove jednadžbe moguće je dobiti kapacitet FN elektrana koje je moguće implementirati na ostalim javnim zgrada. Nakon što se izračuna kapacitet FN elektrane moguće je izračunati kolika će biti godišnja proizvodnja iz FN-a ako se kapacitet FN pomnoži s godišnjom proizvodnjom električne energije po 1 kW instalirane snage (1 210 kWh/kW_e) [22].

Navedeni podatak godišnje proizvodnja električne energije biti će korišten u ekonomskom i financijskom dijelu proračuna kao prihod koje se ostvaruje.

2.4. Ekonomska analiza

Ekonomska analiza implementacije FN elektrana glavni je korak u procjeni financijske isplativosti i dugoročne održivosti. Jedan od pokazatelja koje je bio korišten za prikaz

isplativosti izgradnje FN elektrana je nivelirani troškovi električne energije, a on predstavlja trošak proizvodnje svake dodatne jedinice energije iz FN tehnologije. Računa se prema formuli:

$$\text{LCOE} = \frac{CAPEX+OPEX}{E_{proizvedeno}} \text{ [€/MWh]} \qquad (2)$$

- CAPEX (*eng. Capital expenses*) – Troškovi investicije, [€]
- OPEX (*eng. Operation expenses* – Troškovi održavanja, [€]
- $E_{proizvedeno}$– Proizvedena električna energije, [MWh]

CAPEX se računa prema formuli :

$$\text{CAPEX} = \text{CRF} \cdot \text{INV} = \frac{d(1+d)^n}{(1+d)^n-1} \cdot \text{INV} \qquad (3)$$

- CRF (*eng. Capital recovery factor*) – Faktor povratka kapitala
- INV – Investicijski troškovi, [€]
- d – Diskontna stopa, [%]
- n – Vijek trajanja postrojena, [godina] [25]

Troškovi investicije računaju se prema ukupnom iznosu mogućih instaliranih FN elektrana [26]. Investicijske komponente prikazane su u Tablica 1 te Slika 11.

Tablica 1 Podjela investicijskih troškova FN elektrane na komponente

Povezivanje na mrežu	40	€/kW_e
Inverter	170	€/kW_e
FN moduli	440	€/kW_e
Troškovi implementacije	130	€/kW_e
Ostali troškovi	90	€/kW_e
Ukupna investicija	870	€/kW_e

Slika 10 Udio investicijskih troškova po komponentama

Ostali ekonomski podaci korišteni u ekonomskoj analizi prikazani su u Tablica 2.

Tablica 2 Ulazne stavke proračuna

Naziv	Iznos	Mjerna jedinica	Izvor
Diskontna stopa	2,71	%	[27]
Životni vijek	25	Godina	[28]
Zajamčena otkupna cijena električne energije	0,149	€/kWh	[29]
Kupovna cijena električne energije	0,1192	€/kWh	[30]
Troškovi održavanja	10,6	€/kW_e/godini	[26]
Kamatna stopa	3.89	%	[31]
Rok otplate	15	Godina	[31]
Porez na dobit	18	%	[32]
Amortiziranje FN panela i invertera	20	Godina	[33]

U formulu za LCOE također ulaze i troškovi goriva potrebnog za pogon postrojenja ali pošto u ovom slučaju tog troška nema, izostavljen je iz ove formule.

Nakon što je proveden izračun za LCOE, daljnji proračun uključivao je primjenu metoda toka novca (*eng. Cash flow method*) koja omogućuje detaljniju analizu novčanih priljeva i odljeva tijekom životnog vijeka FN elektrana, uzimajući u obzir početne investicijske troškove, operativne troškove, prihode od proizvedene električne energije te potencijalne subvencije i porezne olakšice.

Novčani prihodi u ovom slučaju biti će otkupljena električna energija koja je generirana od FN elektrana. Otkupna cijena električne energije je 80% kupovne cijene [30]. Odabrani tarifni model Hrvatske elektroprivrede – HEP u ovom slučaju je jedno tarifni plavi. Taj tarifni model

ima jedinstvenu zajamčenu kupovnu cijenu, a odabran je iz razloga što će FN elektrane proizvoditi električnu energiju kad ima sunca, što znači da nema potrebe za dvotarifnim modelom kad nije moguća proizvodnja kad sunca nema [29].
Rashodima su troškovi održavanja i električna energija koja je kupuje od strane HEP-a. Iako je moguće da će instalirane FN elektrane pokrivati cjelokupnu godišnju potrošnju električne energije i dalje će se smatrati da zgrade javne namjene kupuje električnu energiju jer tokom zimskih mjeseci zasigurno potrošnja električne energije biti će veća nego li proizvedena električna energija iz FN elektrana.

U nastavku proračuna smatrati će se da 40% ukupne investicije biti subvencionirano od strane grada Osijeka kao što je to bio slučaju u SECAP-u. Za ostalih 60% potrebni novčanih sredstava uzeti će se kredit [31], [26], [33].

Također će se vršiti amortizacija FN panela i inverter koji će imati linearnu karakteristiku. Kako bi se imalo bolji uvid u isplativost projekt koristi se metoda toka novca koja je sačinjena od 2 dijela. Prvi dio proračuna je financijski dok je drugi dio ekonomski. Parametri najbitniji za ovaj proračuna su neto sadašnja vrijednost, Unutarnja stopa povrata (*eng. internal rate of return – IRR*) i vrijeme otplate projekta (*eng. Payback time*).

Neto sadašnja vrijednost predstavlja razliku između sadašnje vrijednosti svih budućih novčanih tokova (prihoda i troškova) i početnog ulaganja. Izračunava se diskontiranjem budućih novčanih tokova na sadašnju vrijednost koristeći diskontnu stopu [34]. NPV računa se prema formuli:

$$NPV = \frac{R_t}{(1+d)^t} \text{ [€]} \qquad (4)$$

- R_t – Neto zarađeni novac u vremenu t, [€]
- d – Diskontna stopa, [%]
- t – Vrijeme priljeva novca, [godina]

Postoje 3 slučaja promatranja vrijednosti NPV-a:

1. Ako je **NPV > 0**, investicija je isplativa jer donosi veću vrijednost od uloženog kapitala.
2. Ako je **NPV < 0**, projekt nije isplativ jer ne generira dovoljno prihoda za pokrivanje troškova.
3. Ako je **NPV = 0**, projekt se nalazi na granici isplativosti.

Unutarnja stopa povrata (*eng. Internal Rate of Return – IRR*) je diskontna stopa pri kojoj je NPV jednak nuli, odnosno stopa povrata investicije pri kojoj su sadašnja vrijednost prihoda i troškova izjednačene [35]. Promatraju se uglavnom 3 slučaja kod vrijednosti IRR:

- Ako je **IRR** veći od troška kapitala, investicija je isplativa.
- Ako je **IRR** manji od troška kapitala, projekt nije financijski održiv.
- Ako je **IRR** jedna trošku kapitala projekt je granično isplativ

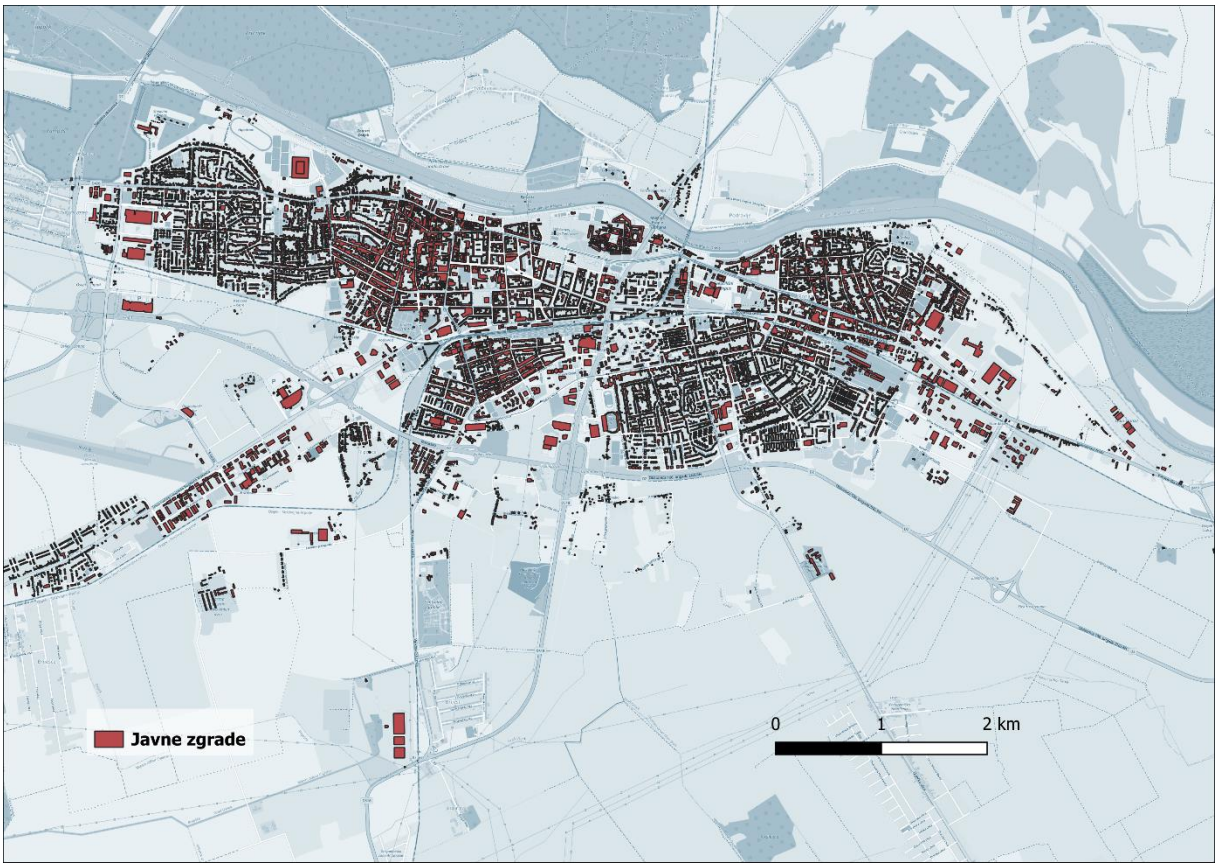
Što je IRR veći to je projekt investitorima isplativiji za ulaganje.

Vrijeme povrata investicije (*eng. Payback Time*) označava razdoblje potrebno da se početno ulaganje vrati kroz ostvarene novčane priljeve. Što je kraći period povrata, to je investicija manje rizična i brže postaje profitabilna. Postoje dvije glavne metode izračuna – ne-diskontirani period povrata, koji jednostavno dijeli početno ulaganje s prosječnim godišnjim neto prihodima, i diskontirani period povrata, koji uzima u obzir vremensku vrijednost novca primjenom diskontne stope. Iako je vrijeme povrata investicije koristan pokazatelj likvidnosti i brzine povrata ulaganja, samostalno ne daje cjelovitu sliku profitabilnosti projekta. Stoga se često koristi u kombinaciji s pokazateljima poput neto sadašnje vrijednosti (NPV) i unutarnje stope povrata (IRR) kako bi se donijele informirane investicijske odluke

3. Rezultati

3.1. Prostorna analiza

Pomoću programa QGIS i njegovog dodatka *"Open street map"* bile su tražene zgrade bilo kakve namjene i pronađeno je bio 11 075. Lokacije svih zgrada moguće je vidjeti na Slika 11



Slika 11 Sve zgrade unutar obuhvaćenog područja

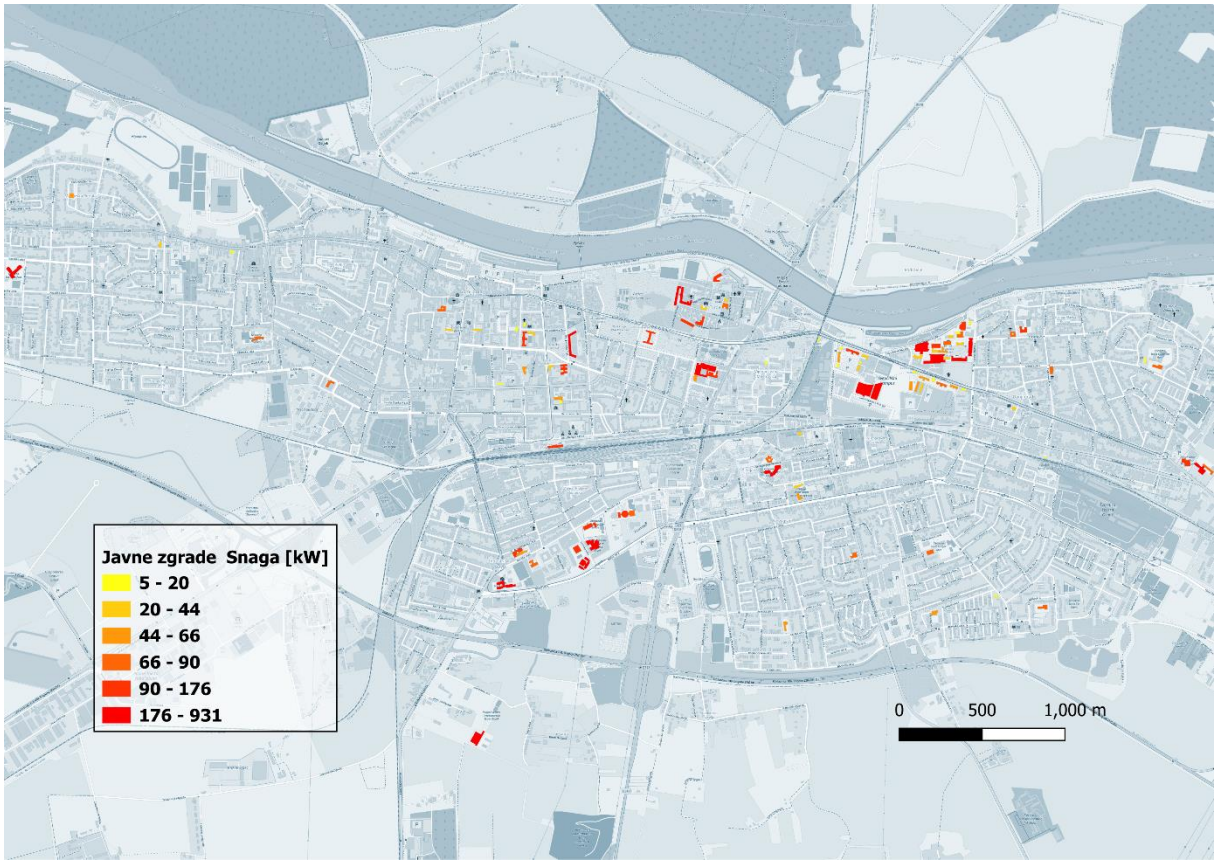
Nakon daljnjeg pretraživanja i filtriranja izdvojeno je ukupno 128 zgrade javne namjene. Nakon što su se izdvojile zgrade javne namjene, u zasebnom su sloju georeferencirane sve javne zgrade koje su već imale instalirane FN elektrane, njihov broj bio je 25 od navedenih 37[19]. Od 37 FN elektrana 4 su bile van područja razmatranja i 8 elektrana se nije moglo georeferencirati. Navedenih 25 FN elektrana bile su preklapane sa slojem gdje su bile javne zgrade. Kako ne bi došlo da zabune pri računanju navedenih 25 javnih zgrada koje su imale ugrađene elektrane obrisane su iz atributne tablice javnih zgrada. Nakon toga ostale su 103 zgrade javne namjene koje nemaju FN elektrana i za koje je izrađen odgovarajući proračun.

Slika 12 Postojeće/planirane FN elektrane

Na Slika 12 označene su lokacije FN elektrana i raspon kapaciteta koji je instaliran na označenim mjestima na karti. Kapacitet većine elektrana kreće se u iznosima od 50 kW. Točan broj je sedamnaest, pet elektrana imaju kapacitet u rasponu od 50 do 100 kW, jedna elektrana ima kapacitet 150 kW i dvije elektrane imaju kapacitete od 1 100 i 2 200 kW.

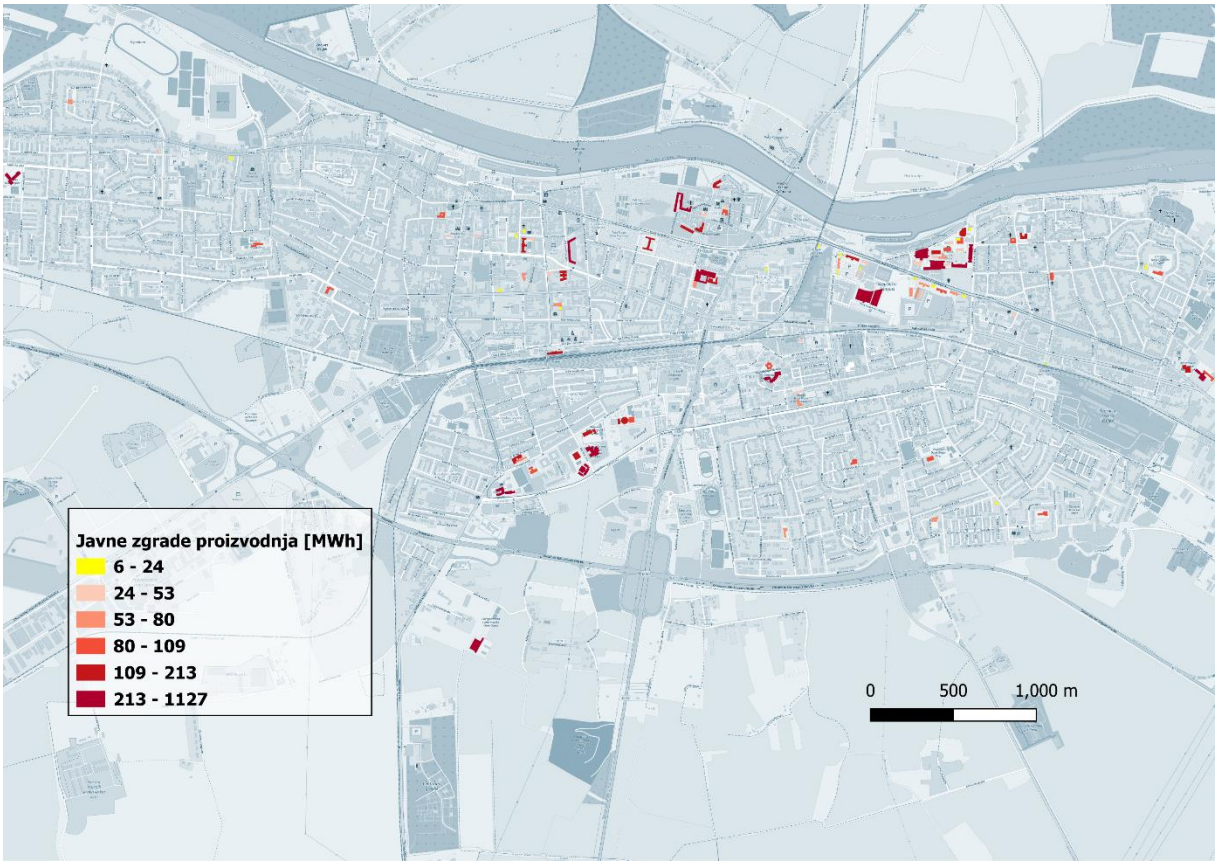
3.2. Energetska analiza

Pomoću Jednadžba 1 dobivena je potencijalna snaga koju je moguće implementirati na javne zgrade koje su naveden. Dobiveni raspon potencijalnih snaga kreće u intervalu od 5 kW do 931 kW. Raspon snaga najbolje se može vidjeti na Slika 13. Trideset i osam elektrana posjeduje mogući kapacitet između 5 i 44 kW, trideset i jedna elektrane imaju mogući kapacitet u rasponu od 45 do 90 kW dok broj elektrana koje imaju kapacitet između vrijednost od 91 i 93 kW iznosi trideset i četiri. Može se primijetiti kako je raspodjela elektrana po potencijalni kapaciteta ravnopravnije raspoređeno nego li što je bio slučaj kod stvarnih elektrana koje su bile ili će biti implementirane.



Slika 13 Potencijalne snage FN elektrana

Potencijalna proizvodnja prati linearnu vezu s potencijalnom snagom FN elektrana jer proizvedena električna energija jednak je umnošku potencijalne snage s mogućom proizvodnjom električne energije po ukupnom iznosu instaliranog kapaciteta. Raspon u kojima se kreće proizvodnja je od 6,05 do 1 126,51 MWh godišnje. Lokacije i potencijalnu proizvodnju najbolje se može uočiti na Slika 14.



Slika 14 Proizvodnja potencijalnih FN elektrana

U Tablica 2 navedeni su ukupni kapaciteti koji bi bili instalirani na javne zgrade te očekivana proizvodnja iz svih FN elektrana zajedno na godišnjoj razini.

Tablica 3 Potencijal FNE i potencijalna proizvodnja

Snaga potencijalnih FNE	**11 884**	**kW**
Proizvodnja iz potencijalnih FNE	**14 379 640**	**kWh/godini**

3.3. Ekonomska analiza

U ekonomskoj analizi prvo je promatrano koliko će iznositi niveliran trošak struje. LCOE sačinjen je od investicijskog troška, troška održavanja i podijeljen je s godišnjom proizvodnjom. Investicijski troškovi zasebnih elektrana kretali su se u rasponu od 4 350 € do 809 970 € dok su se operativni troškovi kretali u rangu od 53 € na godinu do 9 868,6 € na godinu.

Izračunati LCOE iznosi 49,74 €/MWh za javne zgrade u Gradu Osijeku.

Razlog tome je što je pri procjeni potencijalne instalirane snage elektrana korištena iskustvena formula koja stavlja u direktan omjer dostupnu tlocrtnu površinu i potencijalnu snagu FN elektrane. Također troškovi investicije i održavanja su u direktnoj korelaciji s potencijalnom snagom koja će se instalirati. Zbog te linearne povezanost troškova ugradnje i održavanja i

linearne povezanosti proizvedene električne energije s potencijalnog snagom iznos LCOE za sve javne zgrade ima jednaki iznos.

Nakon što se izračunao LCOE prelazi se na izračun investicije. Ukupni trošak investicije i podjela tog troška na određene komponente sustava najbolje se može uočiti u tablice 4.

Tablica 4 Troškovi investicije podijeljena na komponente FN sustava

INVESTICIJA		
POVEZIVANJE NA MREŽU	€	475 360,00
INVERTER	€	2 020 280,00
FN MODULI	€	5 228 960,00
TROŠKOVI IMPLEMENTACIJE	€	1 544 920,00
OSTALI TROŠKOVI	€	1 069 560,00
UKUPNA INVESTICIJA	**€**	**10 339 080,00**

Kao što je vidljivo iz Tablica 4, najveći udio u ukupnoj investiciji čine troškovi FN panela, koji iznose 5 228 960 €. Slijede troškovi invertera u iznosu od 2 020 280 €, dok troškovi implementacije iznose 1 554 920 €. Najmanji udio u ukupnim troškovima imaju ostali troškovi i troškovi priključenja na mrežu, koji iznose 1 069 560 € odnosno 475 360 €. Ukupna vrijednost investicije procijenjena je na 10 339 080 €.

Tablica 5 Ukupni prihodi na godišnjoj razini

PRIHODI		
OD PRODANE STRUJE	€	1 714 053,09
UKUPNI PRIHODI	**€**	**1 714 053,09**

Od prihoda u ovom projekt smatra se električna energija koju otkupljuje HEP po zajamčenoj otkupnoj cijeni koja je navedena u Tablica 2. Iznos prihoda dobije se množenjem zajamčene otkupne cijene s ukupnom proizvodnjom iz FN elektrana koja se nalazi u Tablica 3. U Tablica 5 zbog jednostavnosti prikazan rezultati a oni iznosi 1 714 053,09 € na godišnjoj razini.

Tablica 6 Ukupni rashodi na godišnjoj razini

RASHODI		
TROŠKOVI ODRŽAVANJA	€	125 970,40
KUPLJENA ELEKTRIČNA ENERGIJA	€	885 437,83
UKUPNI RASHODI	**€**	**1 011 408,23**

Rashodi na godišnjoj razini biti će umnožak ukupne godišnje potrošnje električna energija koja se kupuje od HEP-a i troškovi održavanja. navedeni u Tablica 2. Ukupne cijene troškova potrošene električne energije i održavanja na godišnjoj razini navedeni su u Tablica 6, iznos ukupnog rashoda na godišnjoj razini je 1 011 408,23 €.

Tablica 7 Bruto prihod u 1. godini projekta

Ukupni rashodi	€	-1 011 408,23
Ukupni prihodi	€	1 714 053,09
Bruto prihodi	**€**	**702 644,86**

Nakon što su se izračunali prihodi i rashodi na godišnjoj razini moguće je izračunati bruto prihode, što je razlika prihoda i rashoda na godišnjoj razini koji iznosi 702 644,86€.

Tablica 8 Kredit

KREDIT		
60% ULAZNE INVESTICIJE	€	6 203 448,00
RATA KREDITA	€	553 661,95

Trošak kredita iznositi će 60% nominalne investicije koji je naveden u tablici 4 što iznosi 6 203 448 €. Rok otplate i kamatna stopa kredita navedeni su Tablica 2. Iznos rate kredita je 553 661,95 € koji je naveden u tablici 8.

Tablica 9 Amortizacija

AMORTIZACIJA		
FN PANELI	€	261 448,00
INVERTER	€	101 014,00
UKUPNI TROŠKOVI AMORTIZACIJE	€	362 462,00

Amortizacija FN panela i invertera na godišnjoj razini iznositi će 5% investicije FN panela i invertera u periodu od 15 godina. Ukupni iznos amortizacije na godišnjoj razini je 362 462 € koji je naveden u Tablica 9.

Tablica 10 Porezna osnovica

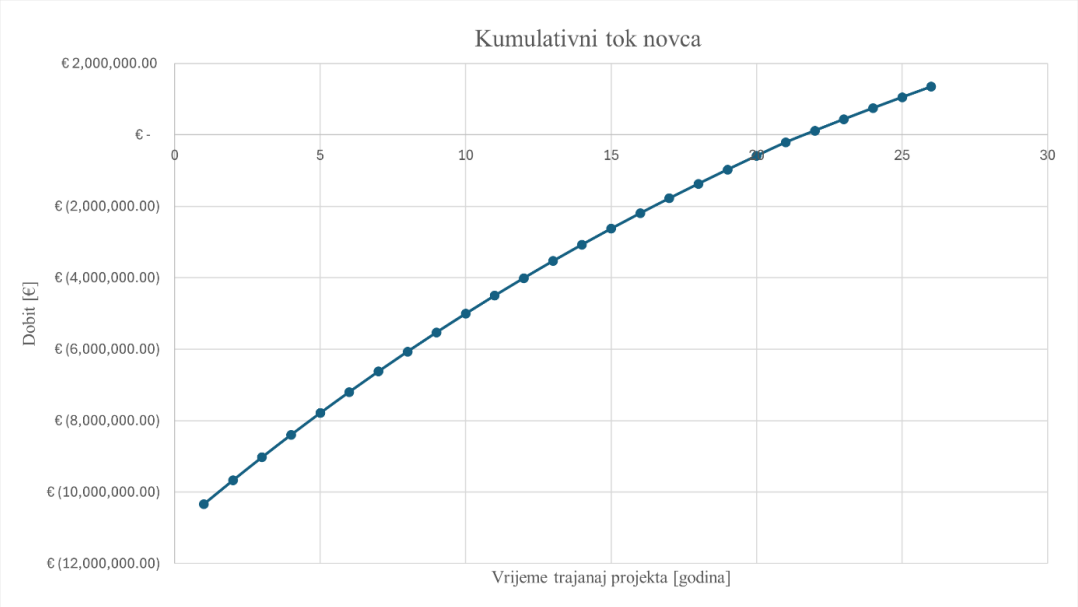
Bruto prihod	**€**	**702 664,86**
Ukupna amortizacija	€	362 462,00
Kamata	€	24 131 413-20 731
Porezna osnovica	€	98888,86 – 319471,85

Kad su se izračunali svi navedeni faktori moguće je izračunati poreznu osnovicu na koju će se primjenjivati stopa poreza a ona iznosi razlici bruto prihoda od ukupne amortizacije i kamate.

Navedena Tablica 10 prikazuje raspon u kojim se kreću iznos porezne osnovice, a navedeni iznosi su u rasponu od 98 888,86 do 319 471,85 €.

3.4. Tok novca

U analizi rezultata metode toka novca promatrala su se 3 faktora: NPV, IRR i vrijeme otplate investicije. Iznos Neto sadašnja vrijednost projekta s navedenog ulaznim faktorima je 1 312 069,49 € što predstavlja sadašnju vrijednost svih budućih novčanih prihoda koje projekt generira tokom svog životnog vijeka od 25 godina, diskontiranim odgovarajućom diskontnom stopom. Unutarnja stop povrata iznosi 4%. Navedeno znači da projekt donosi internu stopu povrata od 4% godišnje. Vrijeme otplate investicije iznos 23 godine. Što znači da kad se u razmatranje uzme cijena ulazne investicije te se podjeli s prosjekom godišnje zarade u vremenskom periodu od 25 godina, projekt će nadići svoje troškove nakon 23. godine. Navedeni podatak najbolje se može primijetiti na Slika 15.



Slika 15 Vrijeme otplate projekta

U Tablica 1 navedeni su iznosi NPV, IRR i vrijeme otplate zbog jednostavnosti. Zbog toga što su Vrijednosti NPV-a i IRR-a veće od 0, projekt je ekonomski isplativ i predlaže se prihvaćanja projekta.

Tablica 11 NPV, IRR i vrijeme otplate projekta

NPV	**€**	**1 312 069,49**
IRR	**4%**	
Vrijeme otplate investicije	**23 godine**	

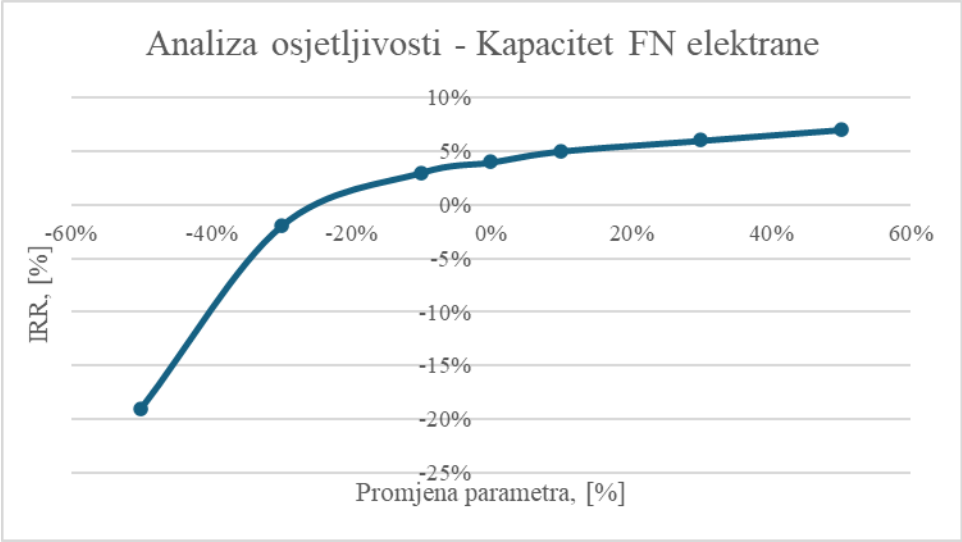
3.5. Analiza osjetljivosti

Kako bi se ispitalo koji ulazni faktori imaju najveći utjecaj na isplativost projekta, provedena je analiza osjetljivosti. U sklopu ove analize, razmatrat će se 5 ključnih parametara čiji će se iznosi mijenjati u rasponu od -50%, -30%, -10%, 10%, 30%, 50%. Za svaki od scenarija, samo će jedan parametar biti promijenjen unutar navedenih intervala, dok će preostalih četiri parametra ostati konstantni. Fokus analize bit će na promjeni unutarnje stope povrata u odnosu na varijaciju odabranog parametra. Ovaj pristup omogućuje detaljnu procjenu osjetljivosti projekta na promjene u svakom od tih faktora, čime se izolira njihov pojedinačni utjecaj na ukupnu isplativost. Parametri koji će biti ispitani su:

- Snaga instaliranih FN elektrana
- Cijena FN panela
- Cijena električne energije koja se kupuje iz mreže
- Zajamčena cijena otkupa električne energije
- Cijena ukupne investicije

3.5.1. Analiza osjetljivost promjene instalirane snage FN elektrana

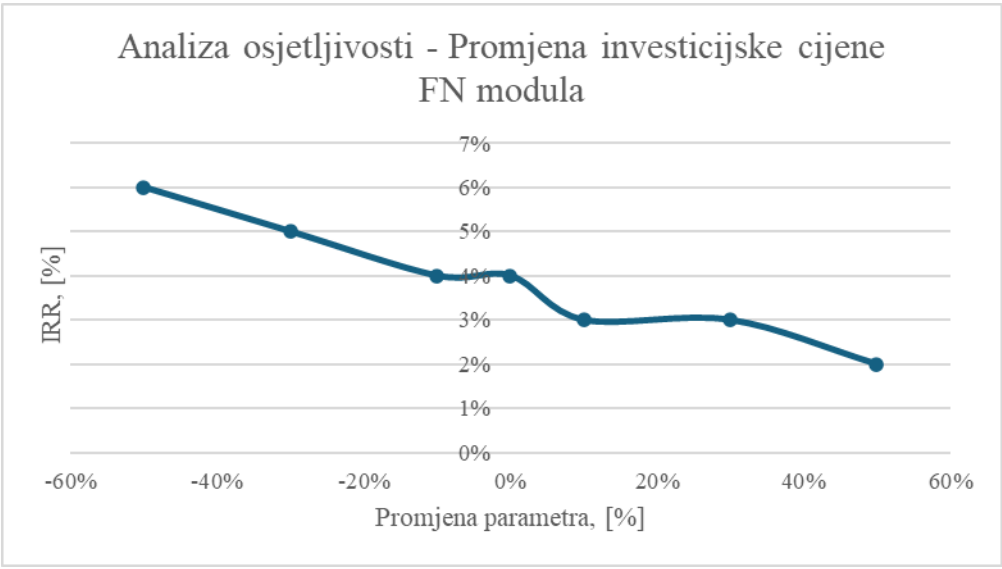
Za analizu osjetljivosti promjena instalirane snage FN elektrane nemoguće je dobiti iznos IRR-a ako bi se ugradilo - 50% manje jer onda navedeni projekt ne bih imao ni u jednoj godini unutar svog životnog vijeka imao pozitivni prihod. Ako bi se ugradilo – 44% moguće je dobiti vrijednost IRR-a od -19%, ako bi se ugradilo + 50% snage FN elektrana dobije se vrijednost od 7%. Na Slika 16 najbolje se može vidjeti ovisnost IRR-a o promjeni snage instaliranih FN elektrana. Može se primijetiti da vrijednosti IRR poprima pozitivnu vrijednost u intervalu od približno -20% pa nadalje, što znači da u teoriji projekt će se smatrati isplativim u slučaju da se ugradi 20% manje FN elektrana nego što li je obrađeno u ovom proračunu. Može se primijetiti kako ugradnja 50% više solarnih panela neće dovesti da drastičnog povećanja isplativosti projekt.



Slika 16 Dijagram promjene IRR u ovisnosti o instaliranoj snazi FNE

3.5.2. Analiza osjetljivosti promjene cijene FN elektrane

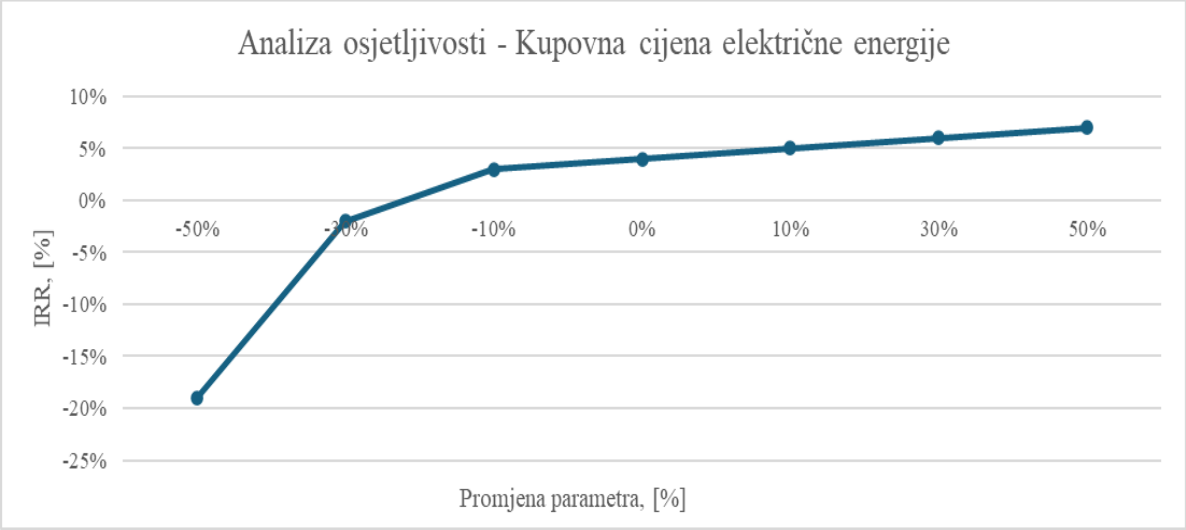
Cijena FN panela u ovoj analizi mijenja se u rasponu od – 50% do 50%, promjena IRR u navedenim intervalima kreće se od 6% kad cijena padne na -50% dok IRR za vrijednost od 50% iznosi 2%, što znači da ako se cijena FN panela smanji na – 50% ili poveća za 50% projekt će i dalje biti isplativ. Rezultati najbolje se mogu vidjeti na Slika 17 gdje je prikazana promjena vrijednosti IRR o cijeni FN mogula.



Slika 17 Dijagram promjene IRR-a o cijeni FN panela

3.5.3 Analiza osjetljivosti promjene cijena električne energije koja se kupuje iz mreže

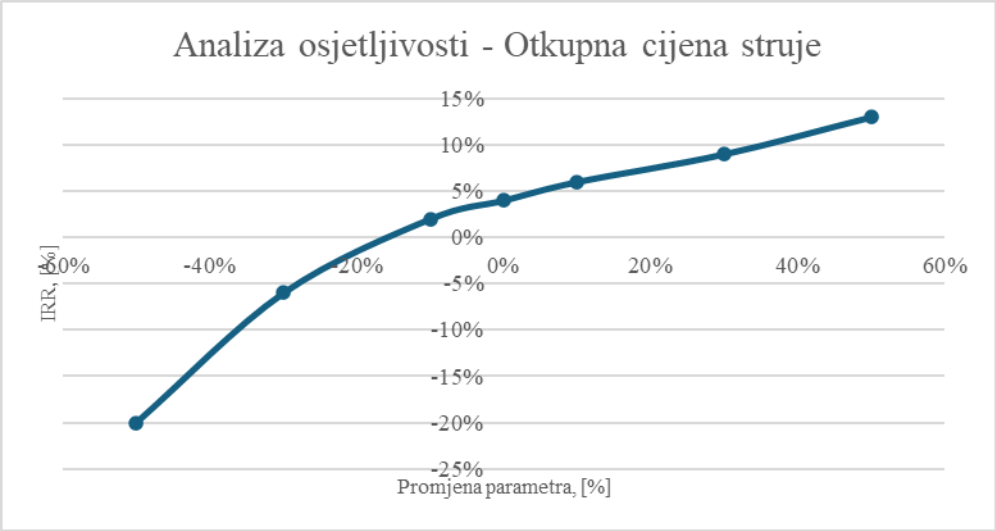
Promjenom parametra cijena električne energije koja se kupuje iz mreže u rasponu od – 50% do 50% dobiju se iznosi IRR-a u rasponu od – 3% do 8%. U ovoj analizi uočeno je da pri sniženju cijene električne energije koja se kupuje iz mreže za – 30% dobije se vrijednost IRR-a od 0% što znači da će sa iznose veće od -30% projekt imati IRR > 0% dok za iznose manje od – 30% IRR < 0%. Drugim riječima projekt će biti potencijalno isplativim dokle god cijena kupovne električne energije bude veća od – 30%. Na Slika 18 prikazana je analiza osjetljivosti za navedeni slučaj.



Slika 18 Dijagram promjene kupovne cijene električne energije

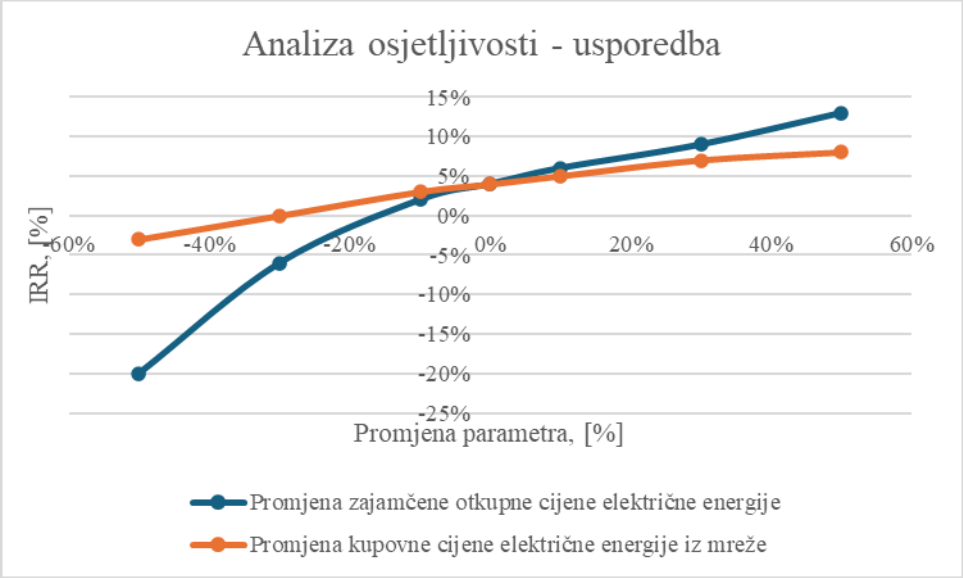
3.5.4. Analiza osjetljivosti promjene Zajamčena cijena otkupa električne energije

Promjena zajamčene cijene otkupa električne energije u analizi osjetljivosti će se mi provoditi u rasponu od – 50% do 50%. Za navedeni raspon vrijednost promjena IRR-a kreće se u intervalima od – 20% do 13%. Projekt je granično isplativ pri promjeni cijene za – 15%. To znači da sve vrijednost IRR-a za sve vrijednosti veće od – 15% veći od 0 dok za sve manje iznose čija je granica – 40,50% iznos IRR-a manji od 0. Promjena IRR-a o cijeni zajamčene električne energije najbolje se može vidjeti na Slika 19 gdje prikazan odgovarajući dijagram.



Slika 19Dijagram promjene IRR-a u ovisnosti o promjeni cijene otkupa električne energije iz mreže

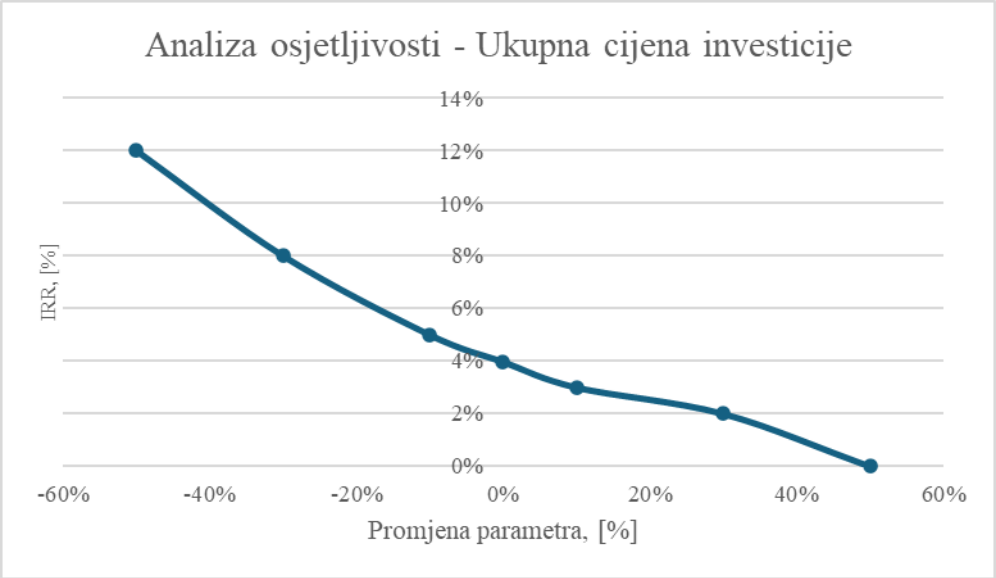
Kako bi lakše vidjela koji parametar ima veću promjenu IRR-a, skupa su prikazane promjena kupovne cijene struje te zajamčena cijena otkupa struje iz mreže skupa su prikaza na Slika 20



Slika 20 Promjena IRR-a u ovisnosti o promjeni cijena struje

3.5.5. Analiza osjetljivosti promjena cijene ulazne investicije

Analiza osjetljivosti na promjenu cijene početne investicije provodi se u rasponu od – 50% do 50%. Stopa IRR-a varira od 12% do 0%, što ukazuje na to da je projekt u svim scenarijima financijski isplativ ili, u najnepovoljnijem slučaju, na granici isplativosti. Na Slika 21najlakše su uočljivi promjena IRR-a u ovisnosti o promjeni ulazne investicije.



Slika 21 Dijagram promjene IRR-a u ovisnosti cijene ukupne investicije

5. Zaključak

Na temelju provedene studije pred izvodljivosti izgradnje FN elektrana u Osijeku, može se zaključiti da projekt ima ekonomsku isplativosti. Analizom tehničkih, ekonomskih i okolišnih i geografskih aspekata utvrđeno je da su svi preduvjeti za uspješnu realizaciju zadovoljeni. Geografski položaj Osijeka, s povoljnim brojem sunčanih sati godišnje, dodatno podupire održivost projekta.

Financijska analiza pokazala je pozitivan neto sadašnji prihod , unutarnju stopu povrata koja nadmašuje referentnu diskontnu stopu, te vrijeme otplate ulazne investicije koje je manje od vijeka trajanja FN elektrane. Nadalje, provedena je analiza osjetljivosti i uočena je da faktor koji ima najveći utjecaj na isplativost projekt je zajamčena cijena otkupa električne energije, dok faktor koji ima najmanji utjecaj na promjenu isplativosti projekta je promjena cijena FN panela.

Također, implementacija FN elektrana pridonosi smanjenju emisija stakleničkih plinova, čime se doprinosi lokalnim i nacionalnim ciljevima u borbi protiv klimatskih promjena.

S obzirom na sve navedeno, može se preporučiti prihvaćanje ovog projekta kao strateški važnog koraka prema energetskoj neovisnosti i održivom razvoju regije.

Prilog

Tablica 12 Popis javnih zgrada u Gradu Osijeku te potrošnja električne energije u javnim zgradama

Br.	Naziv objekta	Ukupna potrošnja električne energije (kWh)
1	OŠ i Sportska dvorana Franje Krežme, Osijek	33 877
2	Gradske galerije Osijek	23 609
3	Gradska četvrt Gornji grad	2 573
4	Javna profesionalna vatrogasna postrojba grada Osijeka	59 280
5	Hrvatsko narodno kazalište u Osijeku	129 871
6	Gradska uprava grada Osijeka	197 250
7	OŠ Dobriša Cesarić, Osijek	28 267
8	DV Potočnica, Osijek	14 547
9	OŠ Vladimira Becića, Osijek	24 710
10	DV Latica, Osijek	12 467
11	OŠ Svete Ane, Osijek	29 699
12	OŠ Grigor Vitez, Osijek	23 027
13	DV Maslačak, Osijek	23 663
14	DV Stribor, Osijek	20 405
15	Streljana 'Pampas' Osijek	75 578
16	Športska dvorana Zrinjevac, Osijek	90 681
17	Mačkamama - DV Pčelica, DV Tratinčica, Glavna kuhinja, Osijek	107 419
18	OŠ Frana Krste Frankopana - kompleks	65 098
19	DV Sunčica, Osijek	22 369
20	Dječje kazalište Branka Mihaljevića u Osijeku	31 398
21	OŠ Mladost, Osijek	63 124
22	OŠ Tin Ujević, Osijek	55 508
23	Zavod za stanovanje d.o.o., Osijek	34 204
24	Srednjoškolsko igralište, Osijek	57 808
25	Boćarski dom 'Retfala', Osijek	4 644
26	Radione i skladišta, Osijek	10 485
27	Nastavno športska dvorana 'Gradski vrt' Osijek	840 554
28	Rekreacioni centar 'Copacabana', Osijek	169 671
29	OŠ Antuna Mihanovića, Osijek	31 648
30	OŠ August Šenoa, Osijek	21 052
31	OŠ Ivana Filipovića, Osijek	47 444
32	OŠ Retfala, Osijek	63 449
33	Centar za odgoj i obrazovanje Ivan Štark	42 813
34	Prosvjetno-kulturni centar Mađara, Osijek	157 130
35	DV Cvrčak, Osijek	6 614
36	DV Ivančica, Osijek	14 314
37	DV Bubamara, Osijek	10 126
38	DV Jelenko, Osijek	13 557
39	DV Sjenčica, Osijek	14 962

40	Mjesni odbor Cvjetno i DV Kockica	5 301
41	DV Radost, Osijek	9 414
42	DV Vedri dani, Osijek	9 785
43	DV Jabuka, Osijek	20 344
44	DV Kosjenka, Osijek	13 458
45	DV Krijesnica, Osijek	18 607
46	DV Nevičica, Osijek	11 661
47	DV Jaglenac, Osijek	14 792
48	DV Mak, Osijek	18 845
49	DV Bambi, Osijek	3 691
50	Dječji vrtić Osijek, Uprava	20 424
51	Gradska četvrt Donji grad i korisnički prostor GISKO	6 659
52	Gradska i sveučilišna knjižnica Osijek (GISKO)	57 296
53	Ogranak GiSKO Industrijska četvrt, Osijek	5 338
54	Gradska četvrt Jug 2 - korisnički prostor Opatijska (GISKO, Zeleni), Osijek	10 266
55	Športska dvorana 'Jug', Osijek	122 242
56	Gradski bazeni, Osijek	747 119
57	Teniski centar 'Perivoj Kralja Tomislava', Osijek	64 813
58	Gradska četvrt Retfala, Osijek	3 882
59	Gradska četvrt Retfala - korisnički prostor I. Filipović, Osijek	1 507
60	Gradska četvrt Gornji grad - korisnički prostor J.J. Strossmayer, Osijek	12 063
61	Gradska četvrt Gornji grad - korisnički prostor K.F.Šeper, Osijek	1 563
62	Gradska četvrt Gornji grad - korisnički prostor Sv. Rok, Osijek	2 254
63	OŠ Vijenac, Osijek	33 304
64	Gradska četvrt Industrijska četvrt - korisnički prostor K.Sutjeske, Osijek	419
65	Gradska četvrt Retfala - korisnički prostor Šokačka, Osijek	1 215
66	Gradska četvrt Tvrđa, Osijek	16 351
67	Gradska četvrt Novi Grad, Osijek	7 829
68	OŠ Jagoda Truhelka, Osijek	72 389
69	Gradska četvrt Novi grad - korisnički prostor Knez Domagoj, Osijek	9 935
70	Gradska četvrt Novi grad - korisnički prostor N.Š.Zrinski	3 668
71	Gradska četvrt Jug 2, Osijek	4 866
72	Gradska četvrt Jug 2 - korisnički prostor Croatia, Kaštelanska, Osijek	313
73	Gradska četvrt Jug 2 - korisnički prostor Šećerana, Osijek	918
74	Gradska četvrt Donji grad - korisnički prostor Zeleno polje, Osijek	3 070
75	Gradska četvrt Donji grad - korisnički prostor K.Branimir, Osijek	7 438
76	OŠ Ljudevita Gaja, Osijek	46 239

77	Mjesni odbor Klisa	2 383
78	Mjesni odbor Osijek - Lijeva obala - Podravlje	3 386
79	Ogranak GISKO Retfala, Osijek	6 648
80	Gradska četvrt Tvrđa - korisnički prostor F.Trenka, Centar, Osijek	2 193
81	OŠ Cvjetno	13 271
82	Gradska uprava grada Osijeka - zgrada odsjeka komunalnog redarstva i prometa	13 270
83	Športski centar 'Mačkamama', Osijek	50 898
84	Hipodrom 'Pampas', Osijek	43 850
85	Katakombe, Tvrđavica	52 564
86	DV Ribica, Sarvaš	18 312
87	OŠ Sarvaš	89 986
88	Mjesni odbor Josipovac - novi objekt	1 593
89	Mjesni odbor Tenja - novi objekt	16 318
90	Gradska četvrt Industrijska četvrt - novi objekt, Osijek	12 733
91	Tržnica Automobila AUTOPIJA	23 011
92	TRŽNICA DONJI GRAD	151 989
93	TRŽNICA GORNJI GRAD	942 678
94	Tržnica - Radiona i skladište RADIONA	7 987
95	Pučko otvoreno učilište Osijek	12 396
96	Sportski centar Olimpija	42 691
97	Gradska četvrt Tvrđa - korisnički prostor HVIDRA	10 587
98	Gradska uprava grada Osijeka - (NOX) - zgrada odjela za socijalnu zaštitu, umirovljenike i zdravstvo	6 421
99	Stara Pekara	43 080
100	Kulturni centar Osijek	60 999
101	OŠ Tenja i Dvorac - kompleks	50 289
102	DV Vrapčić, Tenja	3 045
103	Mjesni odbor Tenja - stari objekt	21 654
104	OŠ Višnjevac - kompleks	85 036
105	Mjesni odbor Višnjevac	2 309
106	DV Višnjevac, Višnjevac	12 558
107	OŠ Josipovac	29 845
108	DV Josipovac, Josipovac	27 509
109	DV Zvončić, Čepin	16 874
Ukupno		**5 942 536**

Literatura

[1] "Causes of climate change - European Commission." Pristupljeno: Jan. 17, 2025. [Online]. Dostupno: https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_en

[2] "Obnovljivi izvori energije – Wikipedija." Pristupljeno: Jan. 17, 2025. [Online]. Dostupno: https://hr.wikipedia.org/wiki/Obnovljivi_izvori_energije

[3] "Sunce – Wikipedija." Pristupljeno: Jan. 29, 2025. [Online]. Dostupno: https://hr.wikipedia.org/wiki/Sunce#

[4] "World Energy Consumption Statistics | Enerdata." Pristupljeno: Jan. 29, 2025. [Online]. Dostupno: https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html

[5] "Solar power in the European Union - Wikipedia." Pristupljeno: Jan. 20, 2025. [Online]. Dostupno: https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power_in_the_European_Union

[6] "Fotoelektrični učinak – Wikipedija." Pristupljeno: Jan. 20, 2025. [Online]. Dostupno: https://hr.wikipedia.org/wiki/Fotoelektri%C4%8Dni_u%C4%8Dinak

[7] "FN ploča – Wikipedija." Pristupljeno: Jan. 20, 2025. [Online]. Dostupno: https://hr.wikipedia.org/wiki/FN_plo%C4%8Da

[8] "FN paneli - Vrste, prednosti i nedostatci." Pristupljeno: Jan. 20, 2025. [Online]. Dostupno: https://klimatizacija.hr/blog/novosti/FN-paneli-vrste-prednosti-i-nedostatci-84/

[9] "Kakve vrste solarnih panela postoje i kako izabrati najbolje za svoje potrebe? | Kompas." Pristupljeno: Jan. 20, 2025. [Online]. Dostupno: https://kompasinfo.rs/kakve-vrste-solarnih-panela-postoje-i-kako-izabrati-najbolje-za-svoje-potrebe/?script=lat&utm_source=chatgpt.com

[10] "Sveobuhvatni vodič za tankoslojne solarne panele do 2025. – SHIELDEN." Pristupljeno: Jan. 20, 2025. [Online]. Dostupno: https://bs.shieldenchannel.com/blogs/solar-panels/thin-film-solar-panels?utm_source=chatgpt.com

[11] "FN sustavi – Wikipedija." Pristupljeno: Jan. 20, 2025. [Online]. Dostupno: https://hr.wikipedia.org/wiki/FN_sustavi

[12] "FN sustavi s jednoosnim praćenjem - Tesla d.o.o." Pristupljeno: Jan. 20, 2025. [Online]. Dostupno: https://tesla.com.hr/FN-sustavi-s-jednoosnim-pracenjem/?utm_source=chatgpt.com

[13] "Dvoosni Uređaj Za Praćenje Sunca – Sun Trade." Pristupljeno: Jan. 20, 2025. [Online]. Dostupno: https://sun-trade.hr/ponuda/dvoosni-uredaj-za-pracenje-sunca?utm_source=chatgpt.com

[14] EUROPSKA KOMISIJA, "KOMUNIKACIJA KOMISIJE EUROPSKOM PARLAMENTU, VIJEĆU, EUROPSKOM GOSPODARSKOM I SOCIJALNOM ODBORU I ODBORU REGIJA Strategija EU-a za solarnu energiju." Pristupljeno: Jan. 16, 2025. [Online]. Dostupno: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A52022DC0221&utm_source=chatgpt.com

[15] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, "INTEGRIRANI NACIONALNI ENERGETSKI I KLIMATSKI PLAN ZA REPUBLIKU HRVATSKU ZA RAZDOBLJE OD 2021. DO 2030. GODINE," Jun. 2023.

[16] "Energetika - Novac za proizvodnju iz obnovljivih izvora u prerađivačkoj industriji i toplinarstvu." Pristupljeno: Jan. 21, 2025. [Online]. Dostupno: https://www.energetika-net.com/obnovljivi-izvori/novac-za-proizvodnju-elektricne-energije-iz-obnovljivih-izvora-u-preraivackoj-industriji-i-toplinarstvu

[17] "Bespovratna sredstva za FN i bioplinske te elektrane na biomasu." Pristupljeno: Jan. 21, 2025. [Online]. Dostupno: https://eurokonzalting.com/index.php/bespovratna-sredstva-i-krediti/item/1131-bespovratna-sredstva-za-FN-i-bioplinske-te-elektrane-na-biomasu?utm_source=chatgpt.com

[18] "Usvojen SECAP – Akcijski plan energetski i klimatski održivog razvitka Grada Osijeka – DOOR." Pristupljeno: Jan. 24, 2025. [Online]. Dostupno: https://arhiva.door.hr/usvojen-secap-akcijski-plan-energetski-i-klimatski-odrzivog-razvitka-grada-osijeka/?utm_source=chatgpt.com

[19] Srećko Kukić, “POPIS FNE NA JAVNIM ZGRADAMA I POVRŠINAMA NA PODRUČJU GRADA OSIJEK,” Osijek , 2025.

[20] J. D. I. Perko, “AKCIJSKI PLAN ENERGETSKE UČINKOVITOSTI GRADA OSIJEKA ZA RAZDOBLJE 2022. – 2024. GODINE,” May 2022, Pristupljeno: Jan. 16, 2025. [Online]. Dostupno: http://www.rea-sjever.hr

[21] “Osijek – Wikipedija.” Pristupljeno: Jan. 30, 2025. [Online]. Dostupno: https://hr.wikipedia.org/wiki/Osijek

[22] PVGIS, “PVGIS DATA,” 2025.

[23] “Spatial without Compromise · QGIS Web Site.” Pristupljeno: Feb. 07, 2025. [Online]. Dostupno: https://qgis.org/

[24] “Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission.” Pristupljeno: Feb. 07, 2025. [Online]. Dostupno: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en

[25] H. Dorotić, K. Čuljak, J. Miškić, T. Pukšec, and N. Duić, “Technical and Economic Assessment of Supermarket and Power Substation Waste Heat Integration into Existing District Heating Systems,” *Energies 2022, Vol. 15, Page 1666*, vol. 15, no. 5, p. 1666, Feb. 2022, doi: 10.3390/EN15051666.

[26] “technology_data_for_el_and_dh - 0016”.

[27] “Obavijest Europske komisije o referentnoj i diskontnoj stopi i stopi povrata u primjeni od 01.01.2025”.

[28] “Koliko dugo traju solarni paneli? Razotkrivanje životnog vijeka solarne energije.” Pristupljeno: Feb. 18, 2025. [Online]. Dostupno: https://hr.shieldenchannel.com/blogs/solar-panels/lifespan-of-solar-panels

[29] “HEP ELEKTRA d.o.o. - Tarifne stavke (cijene).” Pristupljeno: Feb. 15, 2025. [Online]. Dostupno: https://www.hep.hr/elektra/poduzetnistvo/tarifne-stavke-cijene-1578/1578

[30] “HEP ELEKTRA d.o.o. - Kupac korisnik postrojenja za samoopskrbu – ustanove.” Pristupljeno: Feb. 15, 2025. [Online]. Dostupno:

https://www.hep.hr/elektra/poduzetnistvo/kupac-korisnik-postrojenja-za-samoopskrbu-ustanove/1683

[31] "Sunčani kredit | OTP banka d.d." Pristupljeno: Feb. 17, 2025. [Online]. Dostupno: https://www.otpbanka.hr/gradani/suncani-kredit?

[32] "Vodič za razvoj i provedbu projekata obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj II".

[33] "Porezni i računovodstveni tretman ulaganja u solarne sustave Pavo Djedović Ružica Lamešić".

[34] "Net present value - Wikipedia." Pristupljeno: Feb. 11, 2025. [Online]. Dostupno: https://en.wikipedia.org/wiki/Net_present_value

[35] "Internal rate of return - Wikipedia." Pristupljeno: Feb. 11, 2025. [Online]. Dostupno: https://en.wikipedia.org/wiki/Internal_rate_of_return