

Projektiranje, modeliranje i analiza isplativosti elektromotornog pogona implementacijom fotonaponskih izvora električne energije

Karlo Jelić, Slavko Selak, Ivana Ramljak

Visoka škola Logos centar, Mostar, Bosna i Hercegovina

Sažetak - U ovome radu analiziramo dnevne, mjesečne i godišnje potrebne opskrbe električne energije proizvodnog pogona. Dugoročni cilj svake proizvodnje je smanjenje proizvodnih troškova. Uz minimaliziranjem troškova električne energije osigurava se povratak uložene investicije te nastavak prodaje viška električne energije. Prethodno je napravljen 3D model CNC stroja, njegovog radnog prostora odnosno hale sa krovnom FNE. Napravljen je proračunom za istu FNE na datoj lokaciji u programu Sketchup, koristeći geolokaciju u datom vremenu sa platforme OpenStreetMap te besplatni EU internet alat PVGIS koji koristi visoko kvalitetne podatke o solarnoj radijaciji koristeći se satelitskim snimcima kao što su lokalna temperatura i brzina vjetra. Ovakav model je verificiran za mjerenja izvedena na komercijalnim modelima putem platforme JRC European Solar Test Installation (ESTI). ESTI je ISO 17025 akreditirani fotonaponski kalibracijski laboratrij za sve fotonaponske materijale što je bio zadatak rada.

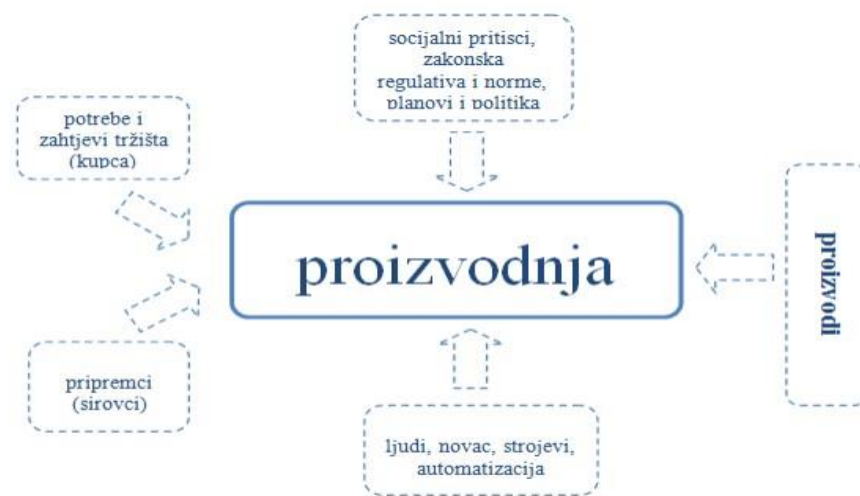
Abstract - In this paper, we analyze the daily, monthly, and annual supplies of electricity necessary for the production plant. The long-term goal of any production is to reduce production costs. Minimizing the cost of electricity ensures the return of the invested investment and the continuation of the sale of excess electricity. Previously, a 3D model of the CNC machine and its working space, that is, the hall with the FNE roof, was made. It was calculated for the same FNE at a given location in the Sketchup program, using geolocation at a given time from the OpenStreetMap platform and the free EU internet tool PVGIS that uses high-quality data on solar radiation using satellite images such as local temperature and wind speed. This model has been verified for measurements performed on commercial models via the JRC European Solar Test Installation (ESTI) platform. ESTI is an ISO 17025-accredited photovoltaic calibration laboratory for all photovoltaic materials, which was the task of the work.

Ključni pojmovi: CNC, Solarni paneli, ROI

1. UVOD

U ovom radu provesti će se proračun potrošnje električne energije radnog stroja i hale na dnevnoj, mjesečnoj i godišnjoj razini. Također, provesti će se i proračun proizvodnje električne energije fotonaponske elektrane (FNE) na datoj geolokaciji.

Proizvodnja je proces svjesnog i organiziranog djelovanja čovjeka te društva u cjelini, koji rezultira dobrima i uslugama. Riječ proizvodnja (Manufacturing) dolazi od latinskih riječi Manu (ruka, rukom) + Facere (izrađivati). Svrha proizvodnog djelovanja je zadovoljenje ljudskih potreba i unaprjeđenje opće kvalitete života u cjelini. Na slici 1. shematski je prikazana proizvodnja koja obuhvaća niz djelatnosti koje doprinose stvaranju nove vrijednosti: istraživanje tržišta, projektiranje, proizvodnju u užem smislu, održavanje, financije, ljudske potencijale, marketing i slično.

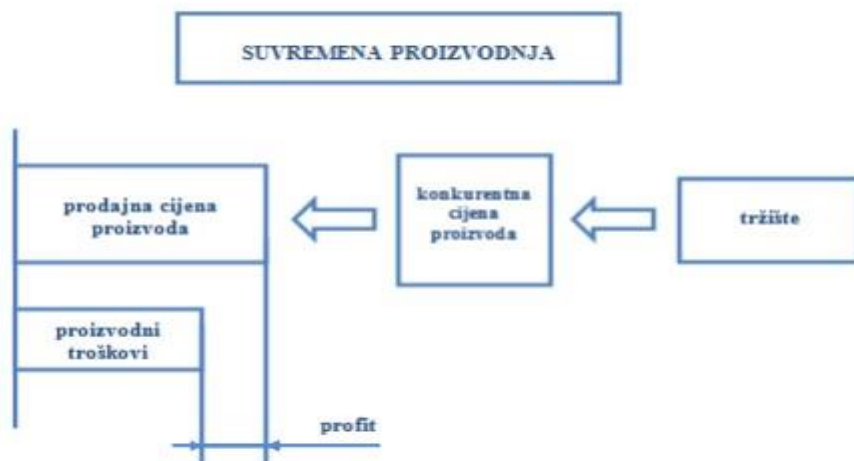


Slika 1. Shematski prikaz proizvodnje

Dugoročni cilj svake proizvodnje je, uz zadovoljenje potreba potrošača i zahtijevane kvalitete isporuke, maksimalno povećanje profita. U tom smislu može se djelovati na dva temeljna načina:

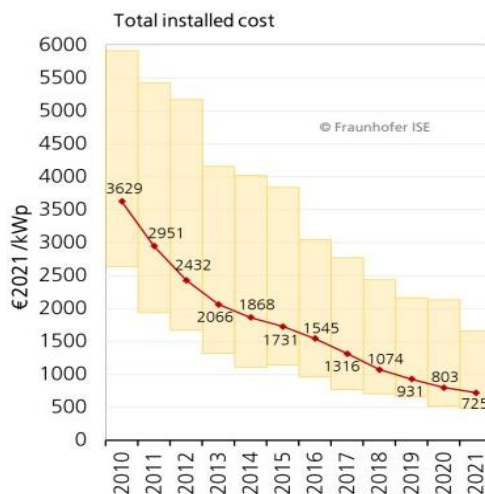
1. povećanje prodajne cijene proizvoda – može imati negativne posljedice u pogledu gubljenja prodajnog položaja u odnosu na konkurenciju,
2. smanjenje proizvodnih troškova - kontinuirano unaprjeđenje proizvodnog procesa.

Na slici 2. prikazani su temeljni načini povećanja profita.



Slika 2. Temeljni načini povećanja profita

Pokušaj povećanja profita podizanjem cijene proizvoda ograničen je prodajnom cijenom konkurentnih proizvoda, odnosno stanjem na tržištu. Previsoko podizanje cijene proizvoda u odnosu na konkurenciju, koja nudi sličnu kvalitetu i karakteristike proizvoda, negativno utječe na ostvarivanje profita te se gubi tržišna pozicija. Stoga je dugoročni, održivi temelj ostvarivanja profita kontinuirano poboljšavanje proizvodnog postupka, što posljedično utječe na povećanje razlike između prodajne cijene proizvoda pod utjecajem tržišta te proizvodnih troškova [1]. Posebnu pažnju u ovom radu posvetit ćemo proizvodnji električne energije putem FNE kao glavnom obliku smanjenja proizvodnih troškova našeg elektromotornog pogona.



Slika 3. Prosječni globalni trošak izgradnje FNE u EUR/kWp za srpanj 2022. Godinu

2. CIJENA IZGRADNJA FNE – SVJETSKI TRENDOVI

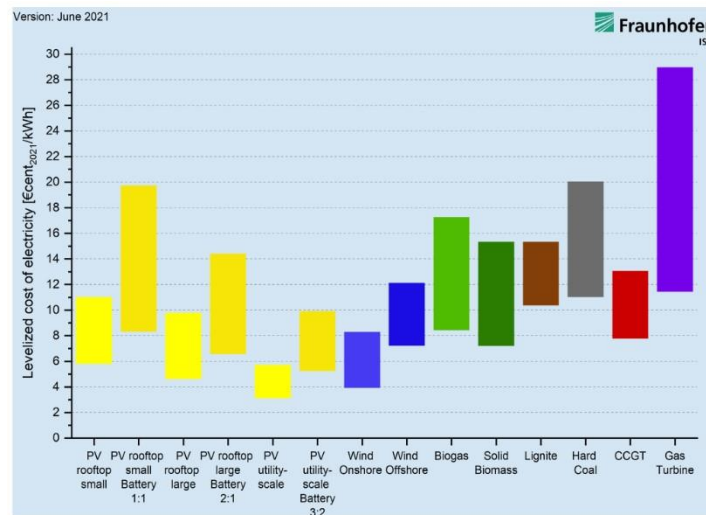
Smanjenje troškova proizvodnje se može ogledati i investiranju u sustav proizvodnje i prodaje električne energije putem FNE. Na slici 3. je prikazan trošak izgradnje fotonaponske elektrane (FNE) u EUR/kWp (Fraunhofer ISE) – CAPEX [8]. Prosječni globalni ukupni trošak za velike FNE sustave iznosio je 725 €/kWp u 2021. godini.

Peti percentil (P5) je vrijednost povezana lokacijom gdje vrijednost podataka 5% ispod te vrijednosti. U 2021. godini peti percentil (P5) iznosio je 488 €/kWp. 95. percentil (P95) je vrijednost povezana lokacijom gdje vrijednost podataka 5% veću vrijednost.

CAPEX [EUR/kW]	Wind onshore	Wind offshore	Biogas	Solid biomass	Lignite	Hard coal	CCGT	Gas turbine
2021 low	1400	3000	2500	3000	1600	1500	800	400
2021 high	2000	4000	5000	5000	2200	2000	1100	600

CAPEX	PV rooftop small (≤ 30 kWp)	PV rooftop large (> 30 kWp)	PV utility-scale (> 1 MWp)	PV rooftop small incl. battery storage (≤ 30 kWp, PV output to battery capacity 1:1)	PV rooftop large incl. battery storage (> 30 kWp, PV output to battery capacity 2:1)	PV utility-scale incl. battery storage (> 1 MWp, PV output to battery capacity 3:2)
Unit	[EUR/kWp]	[EUR/kWp]	[EUR/kWp]	[EUR/kWh]	[EUR/kWh]	[EUR/kWh]
2021 low	1000	750	530	500	600	500
2021 high	1600	1400	800	1200	1000	700

Slika 4. Prikaz troškova izgradnje FNE u EUR. Istaknuta predmetne FNE



Slika 5. Nivelirani troškovi proizvodnje električne energije (eng. LCOE)

U 2021. godini 95. percentil bio je 1658 €/kWp. Ukupni instalirani trošak za velike FNE sustave smanjio se za oko 14% na godišnjoj razini u posljednjih 11 godina.

Na slici 4. vidljiv je raspon CAPEX-a od 750 EUR/MWh do 1400 EUR/kWp. Na slici 5. prikazani nivelirani troškovi proizvodnje električne energije (eng. LCOE) iz FNE. Vidljivo je da je trenutno LCOE za ovakve FNE između 60-100 EUR/MWh.

Troškovi rada i održavanja sustava (operativni troškovi - OPEX) također se dosta razlikuju u literaturi. Te veličine se daju ili u postocima od investicije na godinu ili u novčanim jedinicama. Oni su grubo pretpostavljaju od 1% do 3% investicije.

Potrošnja električne energije predmetnog objekta

Parametri utroška električne energije:

- VT, NT (kWh) – potrošnja električne energije u kWh, VT-viša tarifa, NT-niša tarifa
- KM/kWh – cijena električne energije za VT, odnosno NT
- OIE (KM/kWh) – cijena naknade električne energije za poticaj proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije (OIE)
- OIE (KM) – potrošnja u KM za poticaj proizvodnje električne energije iz OIE

2.1 Oprema fotonaponske elektrane

Za potrebe ove analize bira se sljedeća oprema (renomirana):

- panel (modul): RISEN RSM150-8-500M
- izmjenjivač (eng. inverter): SMA STP 25-50

Osnovni element fotonaponskog sustava su fotonaponski moduli (paneli). Moduli se sastoje od velikog broja fotonaponskih ćelija koji su povezani u niz (serijski i paralelno) da bi se dobio odgovarajući napon i struja odnosno snaga. Najvažniji faktor koji utječe na proizvodnju električne energije je snaga modula. Snaga solarnih modula ovisi o starosti modula, te o vremenskim uvjetima.

Za realizaciju ovog fotonaponskog sustava uzeti su fotonaponski moduli Risen G5.3 snage 500 W, proizvođača RISEN, sa 150 ćelija. Karakteristike panela su date u tablici 2.

Tablica 1. Električne karakteristike FN modula

Proizvođač	RISEN		
Model	G5.3		
Tip ćelije	Monokristal (150 ćelija)		
Izlazna snaga	P_{max}	W	500
Efikasnost modula	η_m	%	20.30
Napon pri maksimalnoj snazi	V_{mpp}	V	42.45
Struja pri maksimalnoj snazi	I_{mpp}	A	11.80
Napon otvorenog kruga	V_{oc}	V	51.00
Struja kratkog spoja	I_{sc}	A	12.50

* (STC): 1000W/m² sunčeve radijacije, 25°C temperatura ćelije

Karakteristike invertera su date u tablici 2.

Tablica 2. Parametri odabranog invertera

Parametri odabranog invertera			
Proizvođač	SMA		
Model	SMA STP 25-50		
Dimenzije	728x762x266 mm		
Učinkovitost	98 %		
Broj MPPT tragača	3		
Ukupan broj ulaza stringova	3		
Mrežna frekvencija	50 Hz		
Izlazni AC napona	400 V		
Faktor snage	0-1 ind./kap.		
Ukupni THD	<3%		
Hlađenje	Prirodna konvekcija		
Radna temperatura	-25 do +60 C		
Stupanj zaštite	IP65		
Maksimalna ulazna struja po MPPT	I_{max}	A	24
Dozvoljena struja kratkog spoja po MPPT	I_{sc}	A	35
MPPT napon - raspon	V_{MPPT}	V	430 - 800
Nazivna izlazna AC snaga	$P_{nazivna}$	kW	25
Max. Izlazna AC snaga	$P_{max.}$	kW	25
Max. izlazna AC snaga - prividna	$S_{max.}$	kVA	25

2.2. Tehnički parametri fotonaponske elektrane

Izvršena je analiza mogućnosti izgradnje fotonaponske elektrane na ravnom krovu, zapadno orijentiranom i solarnim panelima sa nagibom od 16 stupnjeva.

Tehnički podaci elektrane:

- 72x panela po 500W = 36 kWp
- 1x inverter 25 kW
- Vršna snaga elektrane: 25 kW

2.2.1. Ekonomska evaluacija izgradnje FN elektrane

Da bi se odgovorilo na pitanje je li isplativo graditi FNE potrebno je odgovoriti na više pitanja s uključenjem u odgovor više neovisnih pretpostavki. Naravno, takav odgovor nosi rizik točnosti u eksploatacijskom periodu FNE. Više je parametara koji utječu na (ne) isplativost gradnje FNE. Parametri koji su vjerojatno najvažniji u ocjeni isplativosti izgradnje FNE su:

- FNE (ni)je u sustavu poticaja i koja je poticajna shema
- cijena investicije, kapitalni troškovi (CAPEX)
- troškovi rada i održavanja sustava (OPEX)
- godišnja proizvodnja i vremensko smanjenje proizvodnje iz FNE
- ekonomski parametri (diskontiranje i sl.)
- životi vijek projekta

Navedeni parametri će se uzeti u obzir kod ekonomske analize isplativosti izgradnje FNE. Postoje i drugi parametri koji će biti dijelom spomenuti a dijelom obrađeni kroz studiju.

2.2.2. Dinamičke ekonomske metode

Dinamičke ekonomske metode koje se koriste u ovoj studiji su

- NPV (net present value) – neto sadašnja vrijednost,
- ROI (return of investment) – računovodstvena stopa povrata,
- DPBP (discounted payback period) – diskontirano vrijeme povrata investicije i
- LCOE (nivelirani troškovi proizvodnje električne energije).

2.2.2.1. Metoda čiste (neto) sadašnje vrijednosti (eng. NPV - Net Present Value)

NPV je sadašnja vrijednost novčanih tokova koje projekt generira tijekom investicijskog horizonta umanjena za sadašnju vrijednost investicijskih ulaganja.

Novčani tokovi projekta dijele se na:

- Inicijalno ulaganje
- Novčani tokovi koje projekt generira tijekom investicijskog horizonta (pozitivni ili negativni)

2.2.2.2. Metoda diskontiranog vremena povrata investicije (eng. DPB – Discounted payback period)

Diskontirano vrijeme povrata investicije predstavlja vremensko razdoblje potrebno za povrat investicijskog ulaganja sadašnjom vrijednosti novčanih tokova koje generira projekt tijekom investicijskog horizonta.

Sadašnja vrijednost novčanih tokova dobiva se diskontiranjem, tj. svođenjem na sadašnju vrijednost novčanih tokova primjenom diskontne stope koja odražava troškove financiranja projekta, odnosno zahtijevanu stopu povrata na ulaganje.

Pravilo odluke:

Diskontirano vrijeme povrata investicije < zahtijevano vrijeme povrata investicije (alternativno se može uzeti vrijeme povrata kredita ili pak investicijski horizont trajanja projekta).

2.2.2.3. Računovodstvena stopa povrata (eng. ROI – return of investment)

Računovodstvena stopa povrata računa se na temelju podataka iz računa dobiti ili gubitaka kao omjer profita i početnog ulaganja.

Prednosti ROI:

- 1.) Jednostavna metoda
- 2.) Ne uzima u obzir vremensku vrijednost novca
- 3.) Preferira računovodstvenu osnovu

Pravilo odluke: Usvojiti projekt ako je ROI veći od unaprijed utvrđene minimalne stope.

Kod međusobni isključivih projekata usvojiti projekt s ROI većom od unaprijed utvrđene stope i s maksimalnim ROI.

2.2.2.4. LCOE – nivelirani troškovi proizvodnje električne energije

Osnovno pravilo je da je proizvodna cijena električne energije (LCOE) niža od cijene koja se plaća za potrošnju električne energije. Metode za procjenu ulaganja služe između ostaloga da se ocijeni sam projekt.

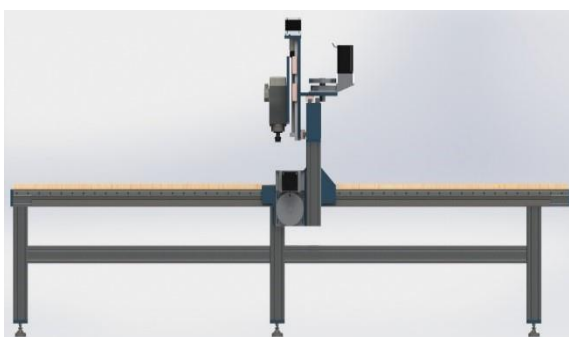
Metode mogu biti jednostavne i složene te uzimati ili ne uzimati u obzir vremensku vrijednost novca. Nabrojane metode uzimaju u obzir vremensku vrijednost novca (diskontiranje) i spadaju u dinamičke metode za procjenu ulaganja (investicija). Jednostavnije (statičke) metode su one koje ne uzimaju u obzir vremensku vrijednost novca. Izbor referentne metode ovisi o menadžmentu investitora projekta.

3. EKSPERIMENTALNA ANALIZA

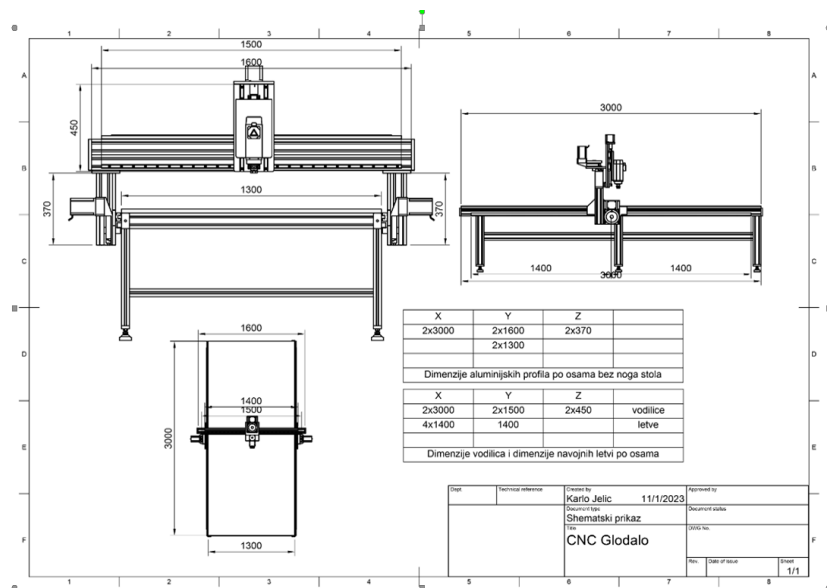
U sklopu rada izrađen je pojednostavljeni 3D sklopni model kompletne glodalice kako bi se u budućnosti isti mogao koristiti za simulaciju CNC obrade. U kombinaciji sa CAD/CAM sustavima, kao primjerice sustavom Autodesk Fusion 360, planiranje proizvodnje podignuto je na visoku razinu. Na slikama 6 i 7 prilazani su 3D modeli alatnog stroja.



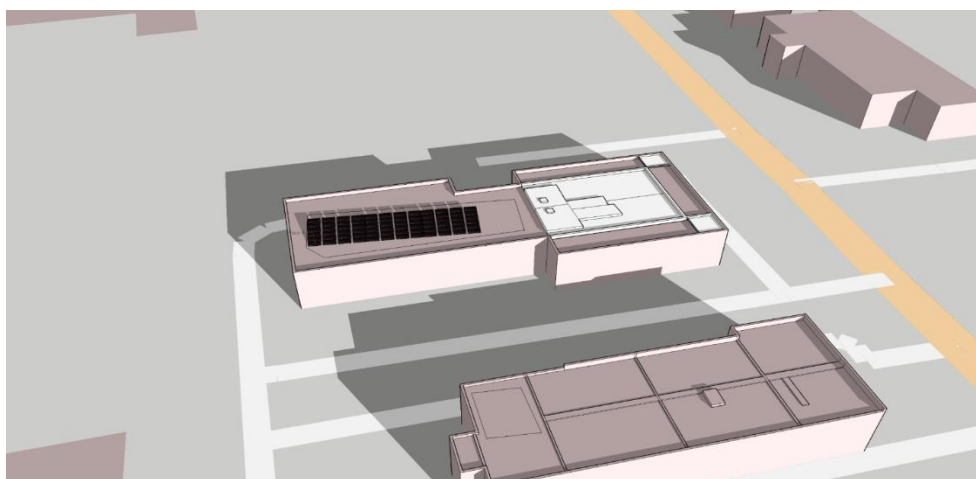
Slika 6. 3D model.1



Slika 7. 3D model 2



Slika 8. Tlocrt-nacrt-bokocrt projektiranog CNC stroja



Slika 9. 3D model (skica) zgrade Visokog učilišta "Logos centar" sa 36kWp FNE

Ovim radom prikazan postupak proračuna i rekonstrukcije specijalnog alatnog stroja u kombinaciji sa simulacijom same obrade pokazuje velike prednosti u planiranju prije stvarne konstrukcije stroja, čime su omogućene eventualne potrebne izmjene. Konačan rezultat je brže ostvarenje proizvodne zamisli te povećanje fleksibilnosti planiranja proizvodnje. Na slici 8 prikazana je tlocrt-nacrt-bokocrt projektiranog CNC stroja, dok je na slici 9 predstavljen 3D model (skica) zgrade Visokog učilišta "Logos centar".

CNC je predviđen za spajanje na gradsku električnu mrežu napona 220V. Numerički je upravljani, te je za njegovu upotrebu potrebno osobno ili prijenosno računalo s instaliranim programskim paketom MACH3 ili sličnim. Zbog ne postojanja zemljišta i odgovarajućih dozvola za izgradnju hale naših potreba, ilustrativno smo prikazali idejno rješenje za gradnju iste FNE na zgradi Viskog učilišta "Logos centar" te smo izvukli geolokacijske podatke preko OpenStreetMaps.

Meteorološki podaci koje se geolokacijom mogu interpretirati kroz besplatni EU internet alat PVGIS koji koristimo za izračun ukupne količine proizvedene električne energije za našu FNE.

4. REZULTATI EKPERIMENTALNE ANALIZE

U ovom poglavlju su predstavljeni prikupljeni rezultati analiza napravljenih za potrebe predmetnog objekta i proizvodnje električne energije planirane FNE.

4.1 Proračun ukupne potrošnje električne energije

Formula prema kojoj se vrši proračun ukupne potrošnje električne energije je prikazana u nastavku:

$$\text{Snaga el. energije (kW)} \times \text{vrijeme trošenja} = \text{konačna potrošnja el. energije}$$

Rezultati proračuna ukupne potrošnje električne energije su predstavljeni u tablici 3. Rezultati pokazuju da za godišnji period od 12 mjeseci planirana maksimalna potrošnja električne energije iznosi 53.550 kWh.

Tablica 3. Proračun ukupne potrošnje električne energije

Trošila	Snaga (kW)	Dnevno korištenje (h)	Mjesečno korištenje (h)	Ukupno utrošena energija
4x NEMA 34	4*400W	10 sata dnevno	300 sati mjesečno	480 kWh
Spindle	2.2 kW	10 sati dnevno	300 sati mjesečno	660 kWh
Vodena pumpa	75 W	10 sat dnevno	300 sati mjesečno	22,5 kWh
LED rasvjeta	1 kW	10 sata dnevno	300 sati mjesečno	300 kWh
Klima	2x 5 kW	10 sata dnevno	300 sati mjesečno	3 MWh
Ukupno:				4.462,5 kWh

4.2. Preformanse 36kWp FNE spojene na mrežu

Rezultati su generirani simulacijama u programskom paketu *Sketchup*. Performanse planirane FNE spojene na mrežu izračunate su putem besplatnog internet alata PVGIS geografskih koordinata: 43.3303864 i 17.822472849999997, Rodoč, Mostar, Bosna i Hercegovina. Rezultati su predstavljeni u tablicama 4-20. U tablici 4 su predstavljeni ukupni podaci za instaliranu FNE. U prilogu se nalaze tablice 5 - 20 koje se odnose na performanse izračuna predložene FNE spojene na mrežu.

Tablica 4. Ukupni podaci instalirane FNE

Ukupni podaci							
Model solarnog panela	Br.	P. power (Wp)	P.weight (kg)	Power (kWp)	Energy (kWh)	Odnos snage i energije (kWh/kWp)	Gubitci od sjene. (%)
RISEN:G5.3	72	500.00	28.00	36.00	47588.99	1321.92	0.04

4.3. Matematička analiza ekonomske isplativosti izgradnje FNE

Ulazni podaci za ekonomski proračun - analizu:

- Valuta za analizu je EUR (odnos prema KM je 1,955)
- Sve analize su rađene bez vrijednosti PDV-a, što je uobičajno za ovakve analize.
- Izvor financiranja: vlastita sredstva
- Vremenski tok analize je 25 godina, što je najčešći promatrani vremenski period u ovakvim investicijama a predstavlja životni vijek opreme.
- Inflacija godišnja: 2%.
- OPEX – operativni troškovi sustava: pretpostavka je održavanja sustava od oko 1% (s obzirom na veličinu investicije) investicije godišnje (uz uvažavanje inflacije). U ovu stavku se ubraja i trošak izmjene opreme, a uzimajući u obzir i smanjenje cijene iste.
- Uzeta je u obzir i neraspoloživost sustava od 2 dana godišnje (kvarovi mreže i kvarovi u sustavi FNE).
- Uzima se u obzir godišnje smanjenje proizvodnje od 0,5% zbog starenja panela.
- Uzeta je u obzir izračunata cijena potrošnje električne energije.
- Porez na dobit ne postoji u ovom slučaju.
- Deprecijacija (kao umanjenje vrijednosti materijalne imovine) je uzeta kao linearna, za period od 20 god.

Rezime procjene troškova, gruba procjena (inicijalna): 21.240 EUR

Specifični trošak investicije je: 600 EUR/kWp 0,6 EUR/Wp

Vidljivo je da je specifični trošak investicije 600 EUR/kWp - CAPEX, što je ispod globalnih kretanja. Sada su postojani svi parametri za proračun ekonomske isplativosti prema metodama ocjena isplativosti.

Tablica 21. Proračun isplativosti FNE

Neto sadašnja vrijednost	NPV (EUR)	29.748
Povrat investicije	ROI (%)	140
LCOE	(EUR/MWh)	29
Vrijeme povrata investicije diskontirano	DPB (god.)	8,7

5. ZAKLJUČAK

Sunčevo zračenje na površinu promatranog objekta u našem slučaju FNE dolazi u raspršenom, direktnom i difuznom obliku. Nakon modeliranja pozicije i gibanja sunca dolazimo do modeliranja FNE. Prema simulacijama u programskom paketu Sketchup napravljeni su rezultati mjerenja proizvodnje električne energije s gubitcima.

Projekt konstrukcije dugohodne CNC vertikalne glodalice isplativa je investicija sa obzirom na tržište. Uspješnom konstrukcijom stroj bi se mogao koristiti za potrebe Visokog učilišta, ali i za usluge obrade za vanjske klijente. Svi konstrukcijski dijelovi stroja će se proizvoditi od sirovog materijala. Dijelove kao što su vodilice, elektromotori i dijelovi upravljačkih jedinica potrebno kupiti te će time osigurati najpovoljnije troškove proizvodnje. Zbog pogodnosti stroja za automatizaciju, nije isključena u daljnjim fazama projekta mogućnost za dodavanje sustava automatske izmjene alata te sustava automatske manipulacije pripremcima i obratcima.

U zadnje vrijeme svjetska potrošnja električne energije se konstantno povećava, a još uvijek najveći udio u proizvodnji električne energije imaju konvencionalni izvori energije koji zagađuju okoliš u kojem živimo. Iz tog razloga se u posljednje vrijeme intenzivno radi na razvoju sustava koji pretvaraju energiju obnovljivih izvora energije u električnu energiju, a naročito iz energije Sunca. U svijetu trenutno postoji trend da se elektroenergetska mreža „opameti“ odnosno da se kod potrošača uvedu „pametna“ brojila koja bi analizirali potrošnju te tako prilagođavali proizvodnju energije, odnosno davali prednost obnovljivim izvorima energije nad ostalima. Veliki dio te energije iz obnovljivih izvora bi se proizvodio iz Sunčeve svjetlosti na fotonaponskim modulima smještenim upravo na krovovima stambenih objekata, o čemu je u ovome radu najviše i riječ. Kada se odluči za fotonaponske module, postoje 2 rješenja; rješenje da je elektromotorni pogon samostalan, odnosno nije spojen na mrežu nego koristi energiju Sunca pohranjenu u obliku električne energije, pohranjene u baterijama, te rješenje da je kućanstvo (zajedno sa fotonaponskim sustavom) spojeno na elektroenergetsku mrežu, s tim da proizvedenu energiju prodaje vlasniku mreže uz povlaštenu cijenu. Donesen je zaključak da se između ova dva rješenja bolje odlučiti za drugo rješenje, odnosno spojiti sustav sa mrežom, zato što nakon nekog vremena ovaj sustav počinje stvarati profit, a isto tako nema troškova kupnje baterija koje iznose i do 40 % cijene cijelog sustava [7].

LITERATURA

- [1] Radić J.M., Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2022.
- [2] Y. Altinas, A. Verl, C. Brecher, L: Uriarte, G. Pritschow: „Machine tool feed drives“, CIRP Annals, 2011.
- [3] <https://www.scribd.com/doc/75039335/CNC-alatne-ma%C5%A1line>, 1.9.2015.

- [4] <http://snterprisesmumbai.com/images/ozak-linear-bearings/Linear-Bearing.jpg>,
 [5] Štefanić I., Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2014.
 [6] www.nema.org/Standards/About-Standards/pages/default.aspx
 [7] Čabrajac T., Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek 2017.
 [8] <https://www.ise.fraunhofer.de/en.html>

PRILOG

Tablica 5. Rezultati solarnih modula za svaku instaliranu cijelovitu površinu

Rezultati solarnih modula za svaku instaliranu cijelovitu površinu												
Površina	Model	Br.	S.Panels (Wp)	Power (kWp)	Weight (kg)	Azimuth	Tilt	Relative tilt	Energy (kWh)	Yield (kWh/kWp)	$\sum H_m$ (kWh/m ² /year)	Shading L. (%)
4	RISE N:G5.3	72	500.00	36.00	2016.00	180.00	16.00	16.00	47588.99	1321.92	1652.30	0.04

Tablica 6. Prosijek dnevne proizvodnje električne energije danog sustava (kWh/dan)

<i>E_d</i> (kWh/dan)												
Face	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	66.03	76.15	101.66	123.82	138.94	149.95	157.89	151.13	127.14	99.21	70.58	66.93
Σ	66.03	76.15	101.66	123.82	138.94	149.95	157.89	151.13	127.14	99.21	70.58	66.93

Tablica 7. Prosijek mjesečne proizvodnje električne energije danog sustava (kWh/mjesec)

<i>E_m</i> (kWh/mjesec)												
Face	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	2046.79	2132.07	3151.39	3714.56	4307.12	4498.36	4894.64	4685.17	3814.17	3075.40	2117.43	2074.74
Σ	2046.79	2132.07	3151.39	3714.56	4307.12	4498.36	4894.64	4685.17	3814.17	3075.40	2117.43	2074.74

Tablica 8. Prosijek dnevne sume primljene radijacije modula danog sustava po metru kvadratnom (kWh/m²/dan)

H_d (kWh/m²/dan)												
Face	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	2.61	3.05	4.17	5.29	6.04	6.68	7.15	6.81	5.54	4.16	2.87	2.64
Mean	2.61	3.05	4.17	5.29	6.04	6.68	7.15	6.81	5.54	4.16	2.87	2.64

Tablica 9. Prosijek mjesečne sume primljene radijacije modula danog sustava po metru kvadratnom

H_m (kWh/m²/mjesec)												
Face	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	80.85	85.36	129.29	158.55	187.30	200.53	221.72	211.22	166.29	129.10	86.17	81.75
Mean	80.85	85.36	129.29	158.55	187.30	200.53	221.72	211.22	166.29	129.10	86.17	81.75

Tablica 10. Godišnji prosijek instalirane FNE po površini

Godišnji prosijek				
Face	Edy (kWh/day)	Emy (kWh/month)	Hdy (kWh/m ² /day)	Hmy (kWh/m ² /month)
1	110.99	3375.99	4.76	144.84
∑ or Mean	110.99	3375.99	4.76	144.84

Grupne analize

Tablica 11. Ukupni podatci instalirane FNE po grupama

Ukupni rezultati po grupama					
Solar panels	Br.	P. power (Wp)	Power (kWp)	Energy (kWh)	Yield (kWh/kWp)
RISEN:G5.3	60	500.00	30.00	40511.84	1350.39

Tablica 12. Rezultati za solarne module po svakoj grupi (po nagibu, azimuta i modelu solarnog panela).

Rezultati za solarne module po svakoj grupi (po nagibu, azimuta i modelu solarnog panela)									
Groupa	Model	Količina.	Snaga panela (Wp)	Instalirana snaga (kWp)	Azimuth	Tilt	Ukupna energija (kWh)	Yield (kWh/kWp)	$\sum H_m$ (kWh/m ² /year)
1	RISEN:G5.3	60	500.00	30.00	174.15	25.00	40511.84	1350.39	1738.13

Tablica 13. Procijenjeni energetske gubitci instalirane FNE po grupama.

Procijenjeni energetske gubitci											
Group	Soiling	Shading	Snow	Mismatch	Wiring	Connections	LID	Nameplate r.	Age	Syst. avai.	ESL
1	2.00	3.00	0.00	2.00	2.00	0.50	1.50	1.00	0.00	3.00	14.08
Default	2.00	3.00	0.00	2.00	2.00	0.50	1.50	1.00	0.00	3.00	14.08

Tablica 14. Ukupni gubitci instalirane FNE

Ukupni gubitci sustava (%)				
Group	T°	Refl.	Other	CSL
1	-2.76	0.87	-7.80	-22.31

Tablica 15. Ukupni podatci instalirane FNE

Pruženi podatci				
Groupa	Baza podataka	Tip Modula	Array Type	Računati horizont
1	PVGIS-SARAH	crystSi	Fixed (free-standing)	Yes

Tablica 16. Prosijek dnevne proizvodnje električne energije danog sustava po grupama(kWh/dan).

E_d (kWh/dan)												
Group a	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	66.03	76.15	101.66	123.82	138.94	149.95	157.89	151.13	127.14	99.21	70.58	66.93
Σ	66.03	76.15	101.66	123.82	138.94	149.95	157.89	151.13	127.14	99.21	70.58	66.93

Tablica 17. Prosijek mjesečne proizvodnje električne energije danog sustava po grupama (kWh/mjesec).

E_m (kWh/mjesec)												
Groupa	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	2046.79	2132.07	3151.39	3714.56	4307.12	4498.36	4894.64	4685.17	3814.17	3075.40	2117.43	2074.74
Σ	2046.79	2132.07	3151.39	3714.56	4307.12	4498.36	4894.64	4685.17	3814.17	3075.40	2117.43	2074.74

Tablica 18. Ukupni podatci instalirane FNE

H_d (kWh/m ² /dan)												
Group a	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	2.61	3.05	4.17	5.29	6.04	6.68	7.15	6.81	5.54	4.16	2.87	2.64

Mean	2.61	3.05	4.17	5.29	6.04	6.68	7.15	6.81	5.54	4.16	2.87	2.64
-------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Tablica 19. Ukupni podatci instalirane FNE

<i>H_m (kWh/m²/mjeseć)</i>												
Groupa	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	80.85	85.36	129.29	158.55	187.30	200.53	221.72	211.22	166.29	129.10	86.17	81.75
Mean	80.85	85.36	129.29	158.55	187.30	200.53	221.72	211.22	166.29	129.10	86.17	81.75

Tablica 20. Ukupni podatci instalirane FNE

Godišnji prosjek				
Groupa	Edy (kWh/dan)	Emy (kWh/mjeseć)	Hdy (kWh/m²/dan)	Hmy (kWh/m²/mjeseć)
1	110.99	3375.99	4.76	144.84
Σ or Mean	110.99	3375.99	4.76	144.84