

IMPLEMENTACIJA BATERIJSKOG SISTEMA ZA SKLADIŠTENJE RADI POSTIZANJA SISTEMSKIH UŠTEDA U MIKROMREŽI SA DISTRIBUIRANIM IZVORIMA ELEKTRIČNE ENERGIJE

IMPLEMENTATION OF A BATTERY STORAGE SYSTEM FOR ACHIEVING SYSTEM SAVINGS IN A MICROGRID WITH DISTRIBUTED ENERGY RESOURCES

Miloš MARINKOVIĆ, GMS Consult, Srbija
Sonja ANGELOVSKI, Go2Power Consulting, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

Predloženi rad za cilj ima da ukaže na efikasnost implementacije baterijskog sistema za skladištenje energije (BSSE) u dugoročnom postizanju sistemskih ušteda. U razmatranje je uzeta mikromreža koja se sastoji od dizel agregata i solarnih elektrana - razvijena po uzoru na jedan realan ostrvski sistem. Kao glavna uloga baterija, uzeta je mogućnost pokrivanja potreba sistemske rezerve i dnevno balansiranje poremećaja nastalih usled nejednakosti proizvodnje i potrošnje. Proračuni su izvedeni korišćenjem softverskog programa PLEXOS, a uz podršku softvera za analizu solarnih sistema – PVsyst. Demonstrirajući isplativost i dobitke efikasnosti povezane sa inkorporacijom BESS-a, ovaj rad naglašava ključnu ulogu sistema za skladištenje energije u budućnosti.

Ključne reči: Baterije, Mikromreža, PVsyst, PLEXOS, efikasnost, ušteda

ABSTRACT

This paper aims to indicate the effectiveness of the implementation of the battery system for energy storage (BESS) in achieving long-term system savings. During the modelling process, a microgrid consisting of diesel aggregates and solar power plants was taken into consideration and developed in line with a realistic island system. For the main role of batteries, their ability to cover the needs of the system reserve and balance out the daily disturbances caused by the inequality of production and consumption, was taken. The calculations were performed using the software program PLEXOS, with the support of the software for the analysis of solar systems - PVsyst. By demonstrating the cost-effectiveness and efficiency gains associated with the incorporation of BESS, this paper highlights the key role of energy storage systems in the future.

Key words: Batteries, Microgrid, PVsyst, PLEXOS, efficiency, cost savings

Miloš Marinković, mmarinkovic@gms-consult.com
Sonja Angelovski, sonja.angelovski@go2power.eu

1. UVOD

Distribuirani izvori predstavljaju decentralizovanu proizvodnju električne energije. Njihovom primenom se smanjuje emisija štetnih materija u okolini, povećava pouzdanost snabdevanja potrošača električnom energijom, ali i smanjuju gubici u prenosnoj mreži. Iako se poslednjih godina sve više govori o solarnom potencijalu i distribuiranoj proizvodnji solarne energije, često se zaboravlja na jednu od glavnih mana fotonaponske tehnologije, a to je njena intermitentnost u svakodnevnom radu.

Pa ipak, dugoročno povoljnija cena električne energije dobijene iz obnovljivih izvora je dovoljan razlog da potrošači sve više donose odluku o instalaciji solarnih kolektora radi grejanja vode, pa zatim i o instalaciji kompleksnijih solarnih sistema kako bi proizvodili električnu energiju za svoje potrebe. Ovu odluku podržava činjenica da se zahvaljujući neto merenju, mreža ponaša kao uvek dostupna baterija, sa neograničenim kapacitetom, čime se rešava problem intermitentnosti solarne energije.

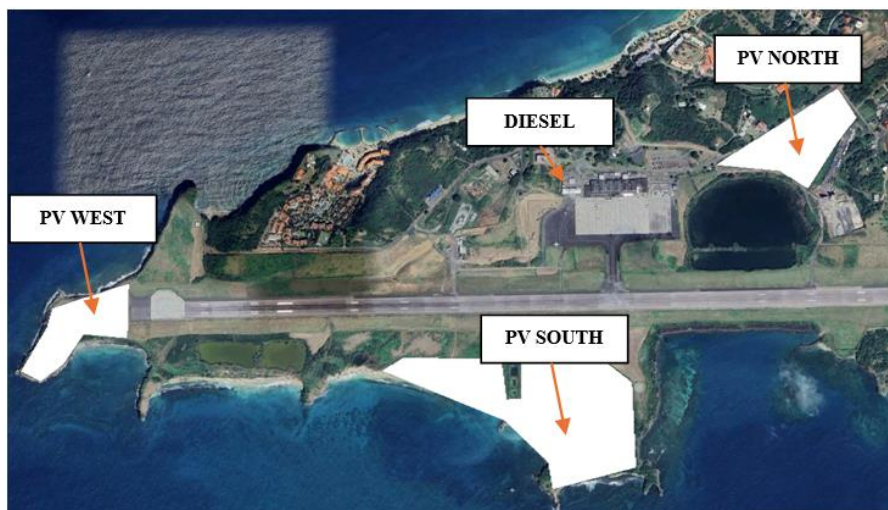
Međutim, uvažavajući konstantan porast cene goriva, kao i ekološke posledice sagorevanja goriva, postavlja se pitanje: Da li postoji bolje rešenje, imajući u vidu prirodu rada obnovljivih izvora energije? Shodno solarnom potencijalu lokacija, neretko se dešava da postoji veliki višak obnovljive energije, koji nema gde da se plasira.

Kao odgovor na navedeno pitanje, a za potrebe ovog rada, na praktičnom primeru su prikazani benefiti implementacije baterijskih sistema, koji bi se koristili za pokrivanje sistemske rezerve i samim tim relaksiranje rada postojećih dizel agregata. Akcenat je stavljen na ekonomsku analizu i ispitivanje isplativosti ovakvog rešenja.

1.1 O sistemu

Za potrebe ovog rada uzeta je mikromreža iz realnog projekta na kojem su radili zaposleni u okviru svojih preduzeća. Zbog poverljivosti podataka, u radu će biti podeljeni samo detalji važni za predviđene analize.

Model sistema se sastoji od tri solarne elektrane, predviđene da pokrivaju potrošnju posmatrane mikromreže tokom dana, i dizel agregata koji se koristi isključivo noću. Predviđene lokacije solarnih elektrana su korišćene prilikom određivanja maksimalnog solarnog potencijala lokacija, korišćenjem softvera PVsyst. Profil potrošnje posmatrane mikromreže je modelovan na satnom nivou, u periodu od godinu dana. Maksimalna potrošnja je izmerena početkom avgusta.



Slika 1 - Posmatrane PV lokacije i pregled sistema

1.2 Metodologija

Predložene analize su izvedene u dve faze:

- **Prva faza:** Analiza korišćenjem softvera PVsyst kako bi se na osnovu predviđenih lokacija i kvadrature, kao i solarnog potencijala lokacije odredili solarni kandidati koji su zatim uneti u softver PLEXOS, za potrebe analiza u drugoj fazi.
- **Druga faza:** Analize u PLEXOS-u obuhvataju dugoročne i kratkoročne simulacije. U okviru dugoročnih simulacija je razvijen model u kojem figurišu PV elektrane, dizel generator i baterijski kandidat, sa potencijalnim troškovima izgradnje jedinica, koji variraju na godišnjem nivou. Simulacije su vršene u periodu od 6 godina (2024-2029.god), i u posmatranom periodu je uvažen porast potrošnje. Kao rezultat simulacije, PLEXOS ukazuje na to kolika je optimalna dimenzija baterije koja bi pokrivala potrebe operativne rezerve u normalnom režimu (čime bi se relaksirao rad postojeće generatorske jedinice i smanjili ukupni sistemski troškovi), ali i optimalno vreme izgradnje potencijalnih baterijskih jedinica, kako bi se minimizovali kapitalni troškovi same investicije. Nakon dugoročnih, izvedene su kratkoročne simulacije, i dat je presek rezultata za dva različita slučaja: Bazni slučaj: sistem u kojem figurišu samo PV elektrane i dizel generator
Slučaj sa baterijom: u sistemu figurišu PV elektrane, dizel generator i baterijski sistem dimenzionisan na osnovu rezultata dobijenih u dugoročnoj simulaciji.

Dugoročne simulacije kao primaran cilj posmatraju proširenje kapaciteta u sistemu i koriste se za rešavanje problema pronalazanja optimalne kombinacije izgradnje novih proizvodnih jedinica, potencijalno isključenje

postojećih, kao i nadogradnju prenosnog sistema, smanjujući sadašnju neto vrednost ukupnih troškova sistema tokom posmatranog perioda planiranja.

Kratkoročne simulacije kao primaran cilj imaju hronološku optimizaciju zasnovanu na mešovitom celobrojnom programiranju. Dani se u posmatranom periodu modeluju u punoj rezoluciji (ovde satnoj) i osmišljene su tako da uvažavaju stanje mašina, sistemska ograničenja i optimizuju dispeč, sa velikim nivoom tačnosti.

Rezultati su detaljno opisani i predstavljeni kroz slike i tabele.

1.3 Korišćeni alati

PVsyst je softverski alat koji se koristi za proučavanje, dimenzionisanje, simulaciju i analizu podataka kompletnih fotonaponskih sistema. Pomaže pri dizajnu i u optimizaciji fotonaponskih sistema za različite aplikacije kao što su stambeni, komercijalni i komunalni projekti. Ima široku upotrebu u solarnoj industriji pri proceni proizvodnje energije i finansijske održivosti projekata solarne energije.

PLEXOS je softver za modelovanje elektroenergetskih sistema različite prirode, a koristi se za tehnoekonomske analize i optimizaciju. Dizajniran je da simulira i analizira rad tržišta električne energije i elektroenergetskih sistema, uzimajući u obzir faktore kao što su proizvodnja, prenos, potražnja i dinamika tržišta. PLEXOS pomaže u procesima donošenja odluka u vezi sa energetsom politikom, dizajnom tržišta i planiranjem infrastrukture pružajući uvid u ponašanje elektroenergetskih sistema pod različitim scenarijima i ograničenjima.

2. ULAZNI PODACI

2.1 PVsyst

Za potrebe ovog rada, PVsyst je korišćen za procenu solarnog potencijala strateški odabranih lokacija, kao i određivanje optimalnih vrednosti instalisanih snaga solarnih panela (u kWp). Takođe, određene su i korisne snage u tačkama injektiranja (instalirana snaga invertora umanjena za gubitke između invertora i tačke injektiranja, u kW), na osnovu raspoložive površine solarnih elektrana koje su predložene kao kandidati. Rezultati proračuna su korišćeni kao ulazni podatak za solarne elektrane modelovane u drugoj fazi rada, u PLEXOS-u.

Za izvođenje predloženog sistema, izabrani su paneli proizvođača Trina Solar, snage 450W (model TSM-450-NEG9R-28). Na izbor nazivne snage panela, uticala je dostupnost opreme u referentnom području, kao i klimatski potencijal odabranih lokacija. Pri određivanju solarnog potencijala lokacija, korišćena je integrisana baza podataka Meteororm 8.2 iz softvera PVsyst.

Što se tiče invertora, odabran je model SG110-CX, proizvođača Sungrow, na osnovu dostupnosti opreme.

Pored dostupnosti opreme, pri odabiru i uparivanju konkretnih modela panela i invertora posebno se vodilo računa o njihovoj kompatibilnosti kada su u pitanju naponi otvorenog kola, struja krakog spoja, kao i napon i struja u tačkama maksimalne snage. Sama kompatibilnost je nakon toga potvrđena i u PVsyst-u.

2.2 PLEXOS

Pri modelovanju sistema, uključeni su svi elementi koji čine mikromrežu: konvencionalna elektrana sa dizel generatorom, solarne elektrane i kandidati baterijskih sistema za skladištenje energije, a modelovana je i operativna rezerva neophodna u postojećem sistemu.

Valja napomenuti da je za potrebe ovakvih analiza sistem prikazan kao singularna tačka i da prenosna mreža kao i gubici u prenosnoj mreži nisu uvaženi. PLEXOS vrši DC proračune. Za detaljnije tehničke analize, rezultati tehnoekonomskih analiza iz PLEXOS-a bi trebalo da budu potvrđeni korišćenjem nekog od postojećih modernih mrežnih softvera.

Dizel generator

Dizel generator snage 7MW modelovan je sa karakteristikama navedenim u tabeli ispod.

Tabela 1 - Dizel agregat

Karakteristike	DG1
Max mogući kapacitet [MW]	7
Min mogući kapacitet [MW]	1.5
Varijabilni troškovi [US\$/MWh]	7.5

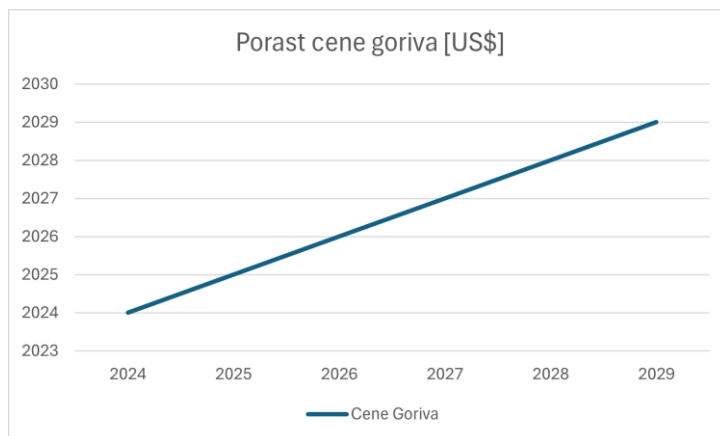
Karakteristike	DG1
Heat Rate 1 [GJ/MWh]	8.058
Heat Rate 2 [GJ/MWh]	8.972
Load point 1 [MW]	7
Load point 2 [MW]	1.5

Gorivo

Kao poseban objekat u

gorivo koje pomenuti generator koristi za konverziju hemijske energije u električnu. Uvažen je izvestan porast cene goriva u posmatranom periodu [1].

PLEXOS-u, modelovano je



Slika 2 - Uvažen porast cene dizela

Solarne elektrane

Solarne elektrane su modelovane na osnovu rezultata dobijenih u PVsyst-u. Dodatno, u okviru PLEXOS-a je definisan očekivan varijabilni trošak pri radu solarnih elektrana, u vrednosti od 0.5\$/MWh.

Baterija

Baterijski kandidati su u PLEXOS-u pravljani u inkrementima, pri čemu je svaki inkrement dimenzionisan na osnovu iskustva iz prethodnih projekata slične prirode. Finalna odluka o kapacitetu baterija doneta je korišćenjem PLEXOS-a, u kojem je takođe optimizovano i upravljanje baterijom.

Podaci neophodni za modelovanje su prikazani u tabelama ispod.

Tabela 2 - Troškovi izgradnje baterije

Godina / Trošak gradnje [\$/kW]	Baterijski kandidat (2h)
2024	1189.93
2025	1166.13
2026	1142.81
2027	1119.95
2028	1097.55
2029	1075.60

Tabela 3 - Karakteristike baterijskog kandidata

Karakteristika	Baterijski kandidat (2h)
Maksimalna snaga [MW]	0.2
Kapacitet [MWh]	0.4
Maksimalna napunjenost baterije (Max SoC) [%]	95
Minimalna napunjenost baterije (Min SoC) [%]	20
Početno stanje napunjenosti baterije (Initial SoC) [%]	95
Efikasnost punjenja [%]	91.65
Efikasnost pražnjenja [%]	91.65
Varijabilni troškovi [\$/MWh]	0.5
Ponderisana prosečna cena kapitala [%]	7

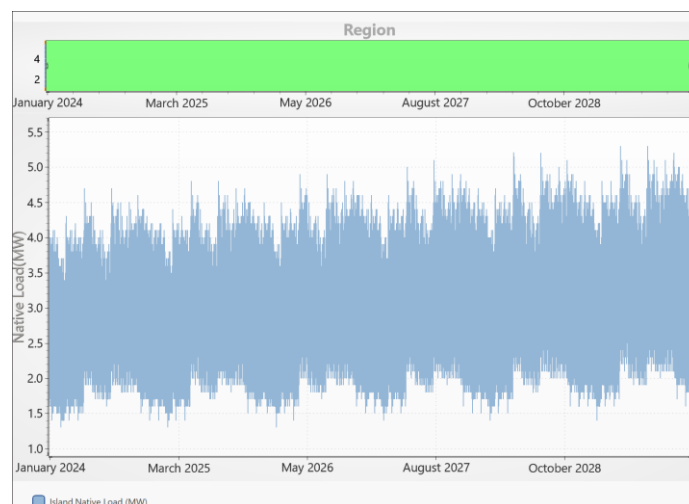
Karakteristika	Baterijski kandidat (2h)
Ekonomski život baterije [godine]	7

Operativna rezerva

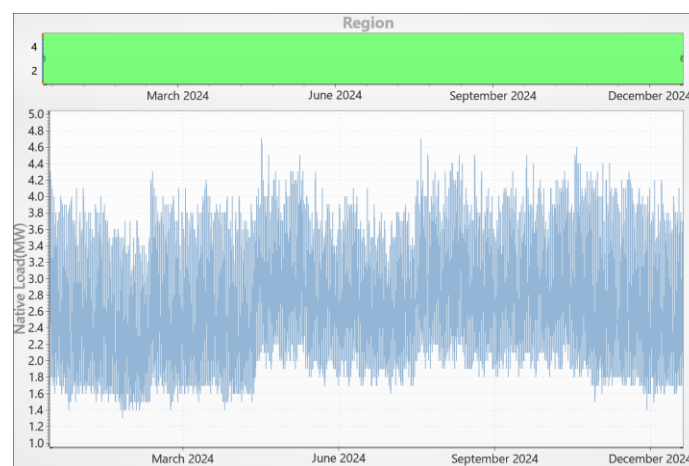
Za pokrivanje potreba operativne rezerve u sistemu, primarno je predviđen dizel agregat, ali je ispitan i slučaj u kojem baterija pokriva operativnu rezervu. Vrednost operativne rezerve za posmatrani sistem iznosi 1.5MW. U baznom slučaju operativna rezerva se pokriva isključivo iz dizel jedinica, dok se u drugom posmatranom slučaju baterija priključuje pokrivanju rezerve.

Potrošnja

Profil potrošnje je dobijen kao ulazni podatak od klijenta, na osnovu predviđenih potreba posmatranog područja. Pri modelovanju prognoze potrošnje u toku posmatranog perioda, uzet je porast od 2% na godišnjem nivou i proračun je izvršen u PLEXOS-u. Minimalna satna potrošnja je snimljena u februaru 2024.godine, i iznosi 1.3 MW. Maksimalna satna potrošnja je snimljena u avgustu 2024.godine, i iznosi 5.3 MW.



Slika 3 - Profil potrošnje u posmatranom periodu



Slika 4 - Profil potrošnje u 2024.godini

3. REZULTATI

3.1 PVsyst

Na osnovu predloženih lokacija i kvadrature istih, kao i solarnog potencijala, izvedeni su sledeći zaključci:

- Sumarno generisanje na godišnjem nivou je cca 26GWh.
- Optimalni nagibni ugao je 11 stepeni.
- AC snage dobijene po zonama su: PV West – 2.97MW, PV North – 3.96MW, PV South – 6.25MW

Karakteristike izabrane opreme, prikazane su na slici ispod (Slika 5).

PV Array Characteristics			
PV module		Inverter	
Manufacturer	Trina Solar	Manufacturer	Sungrow
Model	TSM-450-NEG9R-28	Model	SG110-CX
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	450 Wp	Unit Nom. Power	110 kWac
Number of PV modules	33740 units	Number of inverters	120 units
Nominal (STC)	15.18 MWp	Total power	13200 kWac
Modules	2410 string x 14 In series	Operating voltage	200-850 V
At operating cond. (50°C)		Pnom ratio (DC:AC)	1.15
Pmpp	14.06 MWp	Power sharing within this inverter	
U mpp	569 V		
I mpp	24706 A		
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	15183 kWp	Total power	13200 kWac
Total	33740 modules	Number of inverters	120 units
Module area	67416 m ²	Pnom ratio	1.15
Cell area	61898 m ²		

Slika 5 - Karakteristike PV elemenata

Balances and main results								
	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	ratio
January	158.4	61.66	25.07	175.5	166.4	2303946	2167159	0.813
February	155.3	61.03	25.48	166.4	157.8	2170247	2133729	0.844
March	186.0	71.78	26.71	191.7	181.8	2466532	2424036	0.833
April	185.0	76.50	27.53	182.3	172.6	2362703	2321749	0.839
May	193.3	81.37	28.70	184.4	174.0	2389262	2347512	0.839
June	174.2	84.86	28.11	164.6	155.2	2146602	2107737	0.844
July	175.4	89.23	28.24	167.0	157.4	2174809	2134693	0.842
August	180.1	79.77	28.22	175.3	165.6	2271130	2230051	0.838
September	161.3	70.88	27.73	163.3	154.2	2108728	2065471	0.833
October	155.4	68.02	27.48	162.7	154.1	2104284	1957796	0.793
November	147.3	62.19	26.52	160.8	152.6	2100332	2062772	0.845
December	151.1	59.54	25.78	168.6	159.9	2213447	2057021	0.804
Year	2022.8	866.82	27.14	2062.4	1951.6	26812022	26009725	0.831

Legends			
GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_Grid	Energy injected into grid
T_Amb	Ambient Temperature	PR	Performance Ratio
GlobInc	Global incident in coll. plane		
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings		

Slika 6 - Glavni rezultati

Rezultati dobijeni u prvoj fazi uzeti su kao ulazni podatak za PV elektrane u drugoj fazi analiza.

3.2 PLEXOS

Najpre su prikazani rezultati dugoročnih simulacija. Prikazana je optimalna dimenzija predloženih baterija, kao i optimalno vreme gradnje, kako bi se minimizirali ukupni troškovi u sistemu.

Dat je uvid u ukupne troškove izgradnje baterijskih sistema, zatim analizovane vrednosti investicije, kao i totalni troškovi u sistemu koji se sastoje od investicionih ulaganja u baterije i totalnih sistemskih troškova koji uvažavaju trošak generisanja iz PV elektrana i dizel generatora.

Tabela 4 - Izgradnja baterijskog sistema

Godina izgradnje	BS 2h	
	Jedinica od 0.2MW	Kapacitet sistema [MW]
2024	35	7
2025	0	0
2026	0	0
2027	0	0
2028	0	0
2029	0	0
Ukupno	35	7

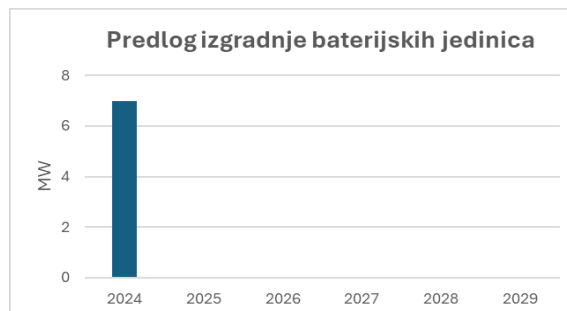


Tabela 5 - Troškovi investicije

Godina	Troškovi kapitalne investicije [mil USD\$]	Anualizovani troškovi investicije [mil USD\$]
2024	8.33	1.55
2025	0.00	1.55
2026	0.00	1.55
2027	0.00	1.55
2028	0.00	1.55
2029	0.00	1.55

Tabela 6 - Ukupni troškovi

Godina	Anualizovani troškovi investicije [mil USD\$]	Sistemske troškovi [mil USD\$]	Ukupni troškovi [mil USD\$]
2024	1.55	2.30	3.85
2025	1.55	2.27	3.82
2026	1.55	2.31	3.86
2027	1.55	2.35	3.90
2028	1.55	2.44	3.99
2029	1.55	2.48	4.03

Na osnovu prikazanih rezultata se može zaključiti da bi posmatranom sistemu već 2024.godine trebalo pridružiti baterijski sistem od 7MW/14MWh.

Rezultati kratkoročnih simulacija su prikazani u tabelama ispod.

Tabela 7 - Pregled sistemskih troškova

Posmatrana godina	Slučaj	Troškovi goriva [mil USD\$]	Varijabilni troškovi [mil USD\$]	Totalni sistemski troškovi [mil US\$]
2024	Bazni slučaj	4.3	0.067	4.4
	Slučaj sa baterijom	2.2	0.067	2.3
2025	Bazni slučaj	4.1	0.070	4.3
	Slučaj sa baterijom	2.2	0.070	2.3
2026	Bazni slučaj	4.1	0.073	4.2

Posmatrana godina	Slučaj	Troškovi goriva [mil USD\$]	Varijabilni troškovi [mil USD\$]	Totalni sistemski troškovi [mil US\$]
2027	Slučaj sa baterijom	2.2	0.073	2.3
	Bazni slučaj	4.1	0.076	4.2
	Slučaj sa baterijom	2.3	0.076	2.4
2028	Bazni slučaj	4.1	0.080	4.3
	Slučaj sa baterijom	2.3	0.080	2.4
2029	Bazni slučaj	4.1	0.083	4.3
	Slučaj sa baterijom	2.4	0.083	2.5

Na osnovu prikazanih rezultata, može se zaključiti da se implementacijom baterijskog sistema ukupni sistemski troškovi smanje za oko 45%, u poređenju sa baznim slučajem. Velika ušteda se postiže pre svega zato što u slučaju sa baterijom, dizel generator ne učestvuje u obezbeđivanju operativne rezerve i postiže se velika ušteda na gorivu. Pa ipak, prikazani rezultati ne oslikavaju stvarnu situaciju, jer se u prikazu sistemskih troškova zanemaruje trošak kapitalne investicije.

Tabela 8 - Pregled ukupnih troškova

Posmatrana godina	Slučaj	Anualizovani trošak baterijske investicije [mil US\$]	Ukupan trošak u sistemu [mil US\$]	Proizvodnja [GWh]	Cena električne energije [US\$/MWh]	Ušteda [%]
2024	Bazni slučaj	/	4.4	23.7	185.4	/
	Slučaj sa baterijom	1.6	3.9		162.2	13%
2025	Bazni slučaj	/	4.3	24.3	175.1	/
	Slučaj sa baterijom	1.6	3.9		157.4	10%
2026	Bazni slučaj	/	4.2	24.9	169.5	/
	Slučaj sa baterijom	1.6	3.9		154.8	9%
2027	Bazni slučaj	/	4.2	25.6	166.1	/
	Slučaj sa baterijom	1.6	4.0		153.4	8%
2028	Bazni slučaj	/	4.3	26.2	162.9	/
	Slučaj sa baterijom	1.6	4.0		152.3	7%
2029	Bazni slučaj	/	4.3	26.9	159.4	/
	Slučaj sa baterijom	1.6	4.1		150.4	6%

Tabela 8 uvažava anualizovani trošak izgradnje baterijskog sistema od 7MW/14MWh.

Može se primetiti, da je čak i uz trošak investicije, slučaj sa baterijom povoljniji sa finansijskog aspekta. Ušteda varira od 6-13%, u zavisnosti od posmatrane godine.

Tabela 9 - Višak energije iz solarnih elektrana

Višak energije iz PV-a [GWh]		
Godina	Bazni slučaj	Slučaj sa baterijom
2024	14.86	6.1
2025	14.56	5.89
2026	14.27	5.67
2027	13.99	5.45
2028	13.71	5.25
2029	13.39	5

S obzirom na to da se planira izgradnja skoro 14MW solarne energije, za sistem koji ima maksimum potrošnje manji od 6MW, može se očekivati veliki višak energije, koji u slučaju bez baterija nema gde da se plasira, i

samim tim predstavlja samo veliki gubitak za sistem. Međutim, Tabela 9 jasno ukazuje na veliko smanjenje viška energije (oko 60%) kada postoji baterija u sistemu, koja se može puniti u centralnom delu dana, a zatim koristiti i noću.

U slučaju sa baterijom, kompletna operativna rezerva se pokriva iz baterijskih jedinica, čime se postiže značajna ušteda u ceni korišćenog goriva, ali i smanjuje emisija izduvnih gasova.

4. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bila je provera efikasnosti implementacije baterijskog sistema za skladištenje energije u dugoročnom postizanju sistemskih ušteda, na primeru jednog ostrvskog sistema. Za potrebe analiza korišćena je mikromreža bazirana na realnom projektu, koja obuhvata proizvodnju iz dizel agregata i PV elektrana.

U prvoj fazi rada su na osnovu predviđenih lokacija i kvadrature, kao i solarnog potencijala lokacija, u PVsyst-u, određene solarne elektrane konkretnih instalisanih snaga, koje su zatim unete u softver PLEXOS, za potrebe analiza u drugoj fazi.

U drugoj fazi je nizom dugoročnih i kratkoročnih simulacija proverena optimalna veličina i vreme izgradnje pomenutog baterijskog sistema. Korišćeni su inkrementalni baterijski kandidati, i rezultati su ukazali na to da je optimalno vreme izgradnje baterije već u prvoj godini posmatranog horizonta, 2024, a da je optimalna veličina jedinice 7MW, sa mogućnošću nezavisnog rada od 2h.

Prikazani rezultati ukazuju na postizanje velikih sistemskih ušteda usled implementacije baterije. Takođe, totalni troškovi u kojima figuriše i analizovani trošak kapitalne investicije u baterijski sistem, kao i sistemski troškovi, ukazuje na uštedu od oko 8% u proseku. Osim uštede usled smanjenja eksploatacije goriva, smanjuje se i emisija štetnih gasova, pri sagorevanju dizela, čime se poboljšava ekološka situacija, na posmatranoj lokaciji.

Pored ekonomskih benefita baterijskog sistema, ovakvo unapređenje sistema donosi i bolje iskorišćenje potencijala iz solarnih elektrana. Uz dodatno ulaganje u opremu, za baterijske invertore bi se mogli koristiti i grid-forming invertori, čime bi se osiguralo da u slučaju isključenja dizel generatora, sistem sa određenom potrošnjom može raditi u off-grid režimu.

Kao unapređenje ovog rada, predlaže se ispitivanje tehničkih mogućnosti ovakvog sistema, idealno u nekom od postojećih modernih mrežnih softvera, kako bi se uzeli u obzir AC proračuni, kao i gubici u sistemu.

LITERATURA

- [1] Independent Statistics Analysis by “[eia](#)” (U.S. Energy Information Administration)
- [2] Asian Development Bank, 2018, “Handbook on battery energy storage system”
- [3] Junior, Paulo & Rocha, Luiz & Morioka, Sandra & Bolis, Ivan & Chicco, Gianfranco & Mazza, A. & Janda, Karel, 2021, “Economic Analysis of the Investments in Battery Energy Storage Systems: Review and Current Perspectives. Energies”
- [4] WorldBankGroup, 2020, “Clean energy Global Solutions Group Energy & Extractives Global Practice“