

Analiza optimalnog menadžmenta mrežno povezane mikromreže primjenom genetičkog algoritma

NEMANJA V. KOSTIĆ, Univerzitet Crne Gore,
Elektrotehnički fakultet, Podgorica, Crna Gora
ORCID: 0009 0007 4957 651X
MARTIN P. ČALASAN, Univerzitet Crne Gore,
Elektrotehnički fakultet, Podgorica, Crna Gora
ORCID: 0000-0002-7693-3494
SNEŽANA Č. VUJOŠEVIĆ, Univerzitet Crne Gore,
Elektrotehnički fakultet, Podgorica, Crna Gora
ORCID: 0009-0004-4249-2848

Stručni rad
UDC: 621.311.1
DOI: 10.5937/tehnika2404453K

U savremenom društvu efikasno upravljanje električnom energijom postaje ključno za postizanje energetske održivosti i pouzdanosti elektroenergetskih sistema. Mikromreže se ističu kao esencijalno rješenje za ostvarivanje tih ciljeva, integrišući različite izvore energije i optimizujući troškove prenosa. Detaljna analiza različitih načina optimizacije mikromreže, ključna je za postizanje maksimalne energetske efikasnosti i ekonomske isplativosti njene integracije. Ovaj rad se temelji na sveobuhvatnom istraživanju optimalnog upravljanja energijom u mrežno povezanoj mikromreži prijenom genetičkog algoritma. Cilj optimalnog upravljanja je smanjenje gubitaka aktivne i reaktivne snage, kao i devijacije napona putem precizne optimizacije proizvodnje električne energije. Istraživanjem je pokazano da pravilno angažovanje proizvodnih resursa i potrošnje energije može doprinijeti smanjenju troškova proizvodnje električne energije, kao i smanjenju gubitaka i devijacije napona.

Ključne riječi: elektorenergetski sistem, mikromreža, optimizacija, genetički algoritam

1. UVOD

Mikromreže predstavljaju inovativan pristup snabdijevanju potrošača električnom energijom, a karakterišu ih različiti izvori energije, uključujući obnovljive izvore energije poput solarnih panela i vjetrogeneratora, kao i tradicionalne izvore energije poput dizel generatora, mikroturbina i sličnih. Ovi decentralizovani energetske sistemi posebno su značajni u ruralnim sredinama, gde igraju ključnu ulogu u unaprijeđenju kvaliteta života i zadovoljavanju energetske potrebe zajednica [1]-[2].

Jedan od glavnih pozitivnih aspekata primjene mikromreža, naročito u ruralnim sredinama, ogleda se u njihovoj ekonomskoj isplativosti. Nasuprot skupim

proširenjima centralizovane elektrodistributivne mreže na velikim udaljenostima, mikromreže pružaju ekonomičniju opciju. Fleksibilnost i prilagodljivost ovih sistema omogućavaju brzu implementaciju i obezbeđuju pouzdan izvor električne energije [3]. Korišćenjem obnovljivih izvora energije, kao što su solarni paneli i vjetroagregati, mikromreže doprinose i ekološkoj održivosti, smanjujući emisiju štetnih gasova. Osim što zadovoljavaju osnovne energetske potrebe zajednice, mikromreže stvaraju i šire mogućnosti za napredak, poboljšavajući na taj način kvalitet života i doprinoseći održivom razvoju ruralnih područja [4]. U [5]-[6] prikazana je analiza pouzdanosti i ekonomske isplativosti integracije mikromreža u distributivnim sistemima, upotrebom dvostepene MCS („Monte Carlo simulacije“).

U cilju donošenja odluka o mjestu priključenja mikromreže neophodno je sprovesti analizu tokova snaga kako bi se osigurala stabilnost naponskih uslova i procijenilo opterećenja sistema, čime se obezbeđuje efikasna integracija mikromreže u postojeću distributivnu mrežu [7]-[8]. Da bi se zadovoljili energetske

Adresa autora: Nemanja Kostić, Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet, Podgorica, Džorža Vašingtona bb, Crna Gora

e-mail: nemanja95kotic@gmail.com

Rad primljen: 12.03.2024.

Rad prihvaćen: 19.04.2024.

zahtjevi kritičnih opterećenja i osigurala ekonomska isplativost mikromreža, neophodno je pažljivo planirati i optimizovati ove sisteme [9].

U [10] data je analiza odabira optimalne konfiguracije mikromreže u cilju postizanja višestrukih ciljeva, koji uključuju minimizaciju troškova proizvodnje električne energije i emisije CO₂, koristeći „branch and cut” optimizacionu tehniku. Još jedan od popularnih algoritama koji se primjenjuje u cilju minimizacije cijene troškova proizvodnje i povezanih emisija CO₂ jeste PSO (Particle Swarm Optimization), opisan u [11].

U [12]-[13] dat je pregled niza metoda za rješavanje problema vezanih za planiranje mikromreža, sa posebnim fokusom na ekonomske aspekte raspodjele opterećenja energije, u cilju minimizacije njihovog korišćenja. Autori razmatraju korišćenje različitih matematičkih optimizacionih metoda, uključujući linearno programiranje (linear programming - LP), cijelobrojno linearno programiranje (integer linear programming - ILP), minimizaciju nemiješanih cijelih linearnih problema (mixed integer non-linear programming - MINLP) i probabilističke metode za postizanje ekonomske efikasnosti u mikromrežama. Osim toga, autori istražuju i primjenu vještačke inteligencije, uključujući neuralne mreže i evolucijske algoritme, poput genetičkog algoritma (genetic algorithm - GA) za predviđanje potrošnje energije i optimizaciju raspodjele opterećenja. Opis genetičkog algoritma i njegova primjena dat je u [14]-[15], pružajući duboki uvid u ovu naprednu tehniku optimizacije. Upotrebom ovog algoritma može se postići optimizacija mikromreže, uključujući minimizaciju ekonomskih troškova i ekološkog uticaja [16]-[17].

Iako je u prethodno navedenim radovima ukazano na istraživačke pravce u oblasti mikromreža, važno je naglasiti da mikromreže predstavljaju veoma izazovnu naučnu oblast, što se vidi na osnovu prikazane širine istraživanja koja karakteriše mikromreže. Samim tim, ova oblast je izuzetno aktuelna u naučnim publikacijama, a sve više postaje značajna i sa praktične strane.

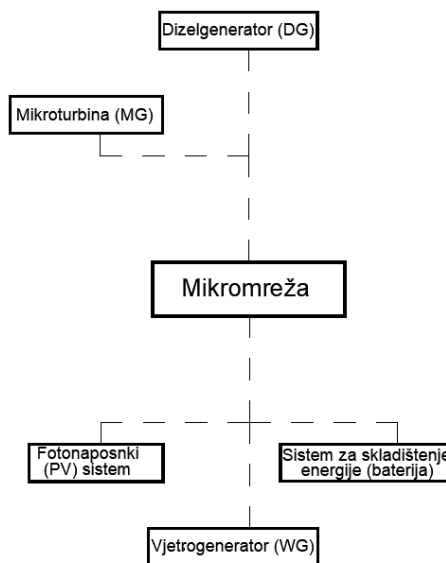
U ovom radu, primjenom genetičkog algoritma izvršena je optimizacija mikromreže u cilju smanjenja gubitaka aktivne i reaktivne snage, optimizacije devijacije napona, i postizanja optimalne proizvodnje električne energije, uz minimizaciju cijene troškova korišćenja resursa integrisanih unutar mikromreže. Korišćena mikromreža je povezana na IEEE 33-čvornu distributivnu mrežu.

Rad je organizovan na sljedeći način. U poglavlju 2 analiziran je koncept mikromreže korišćene u ovom radu. U poglavlju 3 predstavljen je opis IEEE radijalne distributivne mreže sa 33 čvora, unutar koje je integrisana mikromreža i prikazani su rezultati simulacija,

dok su u poglavlju 4 data završna razmatranja i smjernice za buduća istraživanja.

2. ARHITEKTURA MIKROMREŽE

Mikromreže predstavljaju autonomne energetske sisteme koji obuhvataju lokalnu proizvodnju, skladištenje i distribuciju električne energije. Ovi složeni sistemi integrišu različite distribuirane izvore energije (DER), uređaje za skladištenje energije, razne vrste potrošača, kao i druge komponente poput pretvarača u cilju njihove integracije sa glavnom elektroenergetskom mrežom. Na slici 1 dat je prikaz mikromreže korišćene u ovom radu.



Slika 1 - Prikaz mikromreže

Ključne komponente mikromreže su distribuirani izvori električne energije (DER). Svaki od ovih izvora radi nezavisno, kako bi se osiguralo stabilno i ekonomično snabdijevanje električnom energijom. Ovaj pristup obezbjeđuje održivost mikromreže, čak i kada pojedini izvori električne energije privremeno nijesu dostupni. Višak proizvedene energije se akumulira putem sistema za skladištenje energije (SSE) i može se injektirati u glavni elektroenergetski sistem kada je to potrebno. Kapacitet mikromreža može varirati u opsegu od nekoliko kilovata (kW), do nekoliko desetina megavata (MW), u zavisnosti od specifičnih zahtjeva.

Glavna karakteristika mikromreža je njihova napredna upravljačka sposobnost. Zahvaljujući ovim sposobnostima, mikromreže mogu funkcionisati u dva osnovna operativna režima:

- izolovanom režimu rada
- režimu povezivanja sa glavnom elektroenergetskom mrežom.

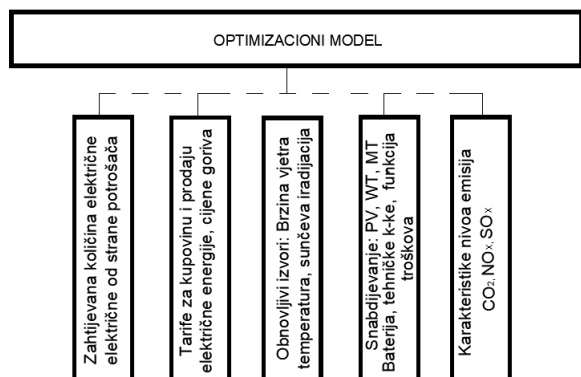
Prvi režim se primjenjuje u slučaju prirodnih katastrofa i drugih poremećaja na glavnoj elektroenergetskoj mreži, kako bi se povećala pouzdanost

sistema i obezbijediti neprekidno snabdijevanje električnom energijom potrošača. U drugom režimu, naglasak je na optimizaciji ekonomske isplativosti za vlasnika mikromreže. Ukratko, upravljačke sposobnosti predstavljaju ključnu karakteristiku koja razlikuje mikromreže od tradicionalnih distributivnih mreža, bez obzira na prisustvo ili odsustvo distribuiranih izvora energije.

3. OPTIMIZACIJA ENERGETSKOG MENADŽMENTA MIKROMREŽE

Model optimizacije proizvodnje aktivne snage pojedinačnih elemenata mikromreže, uz istovremenu minimizaciju cijene troškova angažmana istih, formulisana je sa ciljem postizanja optimalne konfiguracije mikromreže, uzimajući u obzir niz faktora koji uključuju tehničke performanse resursa, dostupne energetske resurse, karakteristike opterećenja, dnevne tarife za nabavku i distribuciju električne energije, operativne troškove i troškove održavanje.

Slika 2. ilustruje ovaj model, a njegovi ulazi obuhvataju potražnju snage, podatke o dostupnim energetske resursima poput brzine vjetera, temperature i solarnog zračenja, cijene goriva za distribuirane generatore i cijene prirodnog gasa, kao i dnevne tarife za kupovinu i prodaju električne energije. Uporedo sa tim uključene su i tehničke karakteristike resursa mikromreže koje uključuju maksimalnu snagu za fotonaponske panele, karakterističnu krivu snage za vjetrogeneratore, kao i karakteristike potrošnje goriva za tradicionalne izvore energije.

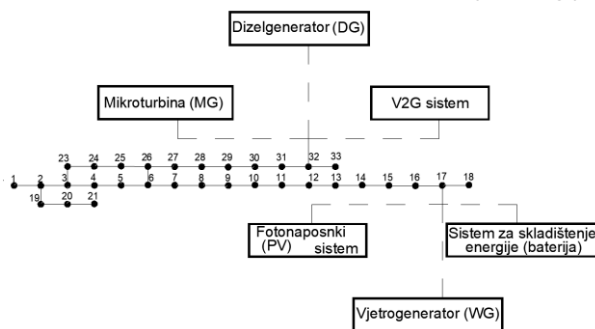


Slika 2 - Optimizacioni model mikromreže

3.1. Posmatrana konfiguracija mikromreže povezane na 33-čvornoj IEEE distributivnoj mreži

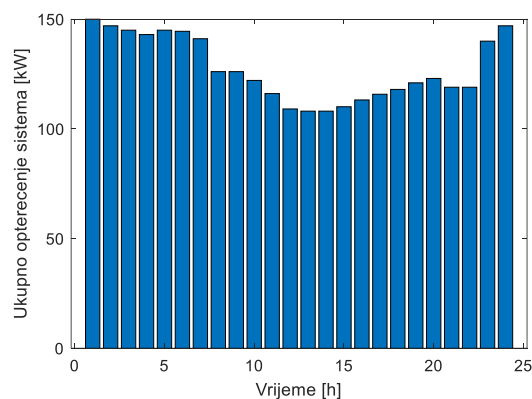
Genetički algoritam korišten je za optimizaciju mikromreže povezane na IEEE radijalnoj distributivnoj mreži sa 33 čvora. Parametri mreže, kao i aktivne i reaktivne snage potrošača date su u [18]. Arhitektura proučavane mikromreže integrisana je u ovaj testni sistem, što je prikazano na slici 3. Čvorovi 17 i 32 predstavljaju osjetljive tačke sistema, na kojima su

resursi mikromreže povezani. Uporedo sa tim, ova čvorna mjesta imaju mikroizvore energije, uključujući fotonaponski panel (PV), vjetrogenerator (WT), mikroturbinu (MT), dizel generator (DG), sistem za skladištenje energije, kao i V2G (eng. vehicle to grid) sistem. Gorivo je potrebno samo za rad DG i MT, s obzirom na to da WT i PV predstavljaju obnovljive izvore energije i koriste energiju vjetera i sunčevu svjetlost za proizvodnju električne energije. Da bi zadovoljila potražnja za električnom energijom, mikromreža može proizvoditi električnu energiju direktno putem PV, WT, DG, MT ili sistema za skladištenje energije.



Slika 3 - Arhitektura mikromreže implementirane u 33-čvorni testni sistem

Dizel gorivo koristi se za rad DG, dok se prirodni gas koristi za rad MT. Svaka komponenta mikromrežnog sistema modelovana je odvojeno, uzimajući u obzir njene karakteristike i ograničenja. Podaci o karakteristikama nekih od resursa, poput vjetrogeneratora i dizel generatora, dostupni su od strane proizvođača.



Slika 4 - Prikaz ukupnog opterećenja

3.2. Analiza opterećenja 33-čvorne distributivne mreže

Dinamika opterećenja unutar sistema sastoji se od varijabilnih faktora, kao što su potrebe za grijanjem, hlađenjem, osvjetljenjem, kao i integrisanim V2G sistemom. Fokus je stavljen na detaljnom razumijevanju fluktuacija opterećenja tokom različitih perioda dana i analizi uticaja ovih faktora na efikasnost i performanse mikromreže unutar testnog 33-čvornog sistema. Na

slici 4 dat je prikaz ukupnog opterećenja elektroenergetskog sistema tokom jednog dana. Predstavljeni dnevni dijagram opterećenja dobijen je uzimanjem prosječnih vrijednosti opterećenja na satnom nivou za svaki dan u toku jedne godine.

3.3. Predložena kriterijumska funkcija za angažman mikromreže

U istraživanju ovog rada fokus je stavljen na minimizaciji troškova cijene angažmana mikromreže i efikasnom korišćenju resursa, uz istovremeno smanjenje gubitaka i održavanje stabilnosti napona unutar definisanih granica. Da bi se postigli ovi ciljevi, neophodno je detaljno definisati kriterijumsku funkciju angažmana, prilagođavajući je specifičnostima mikromreže.

Relacija kojom se definiše kriterijumska funkcija angažmana mikromreže data je kao:

$$\begin{aligned} \text{Krit. fja} = & \{C_{PV} * P_{PV} + C_{WT} * P_{WT} + C_{MT,t}\}_{nor.} \\ & + \{C_{DG,t} + C_{bat}\}_{nor.} + \{C_{distributera} + C_{DR}\}_{nor.} \\ & + VD_{nor.} + Gubici_{nor.} \end{aligned} \quad (1)$$

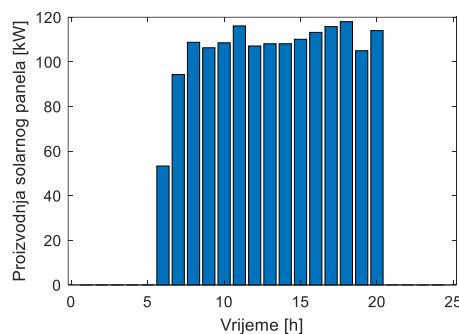
Najprije, troškovi angažmana solarnog panela ($C_{PV} * P_{PV}$) i vjetrogeneratora ($C_{WT} * P_{WT}$) predstavljaju cijenu proizvodnje električne energije putem obnovljivih izvora, povećavajući otpornost sistema na različite spoljašnje uticaje ili cijene određenih izvora energije. Mikroturbine $C_{MT,t}$ i dizel generatori $C_{DG,t}$ doprinose stabilnosti sistema, pružajući alternativni izvor energije tokom promjenljivih vremenskih uslova. Cijena angažmana baterije ($C_{baterije}$) odnosi se na cijenu skladištenje energije i regulaciju napona. Troškovi javnog distributera ($C_{distributera}$) predstavljaju troškove angažmana javnog distributera električne energije u slučaju potreba, čime se osigurava neprekidnost u snabdijevanju potrošača. Uz to, prilagođavanje potrošnje (C_{DR}) proizvodnji električne energije, omogućava upavljanje potrošnjom, dok devijacija napona (VD) i gubici u sistemu ($Gubici$) igraju ključne faktore u kontekstu stabilnosti i efikasnosti rada mikromreže. Minimizacija cijene troškova angažmana mikromreže postiže se upotrebom genetičkog algoritma (GA), koji omogućava dinamičko prilagođavanje optimalne proizvodnje električne energije putem pojedinačnih resursa u mikromreži, uz postizanje minimalne cijene troškova njihovog angažmana i istovremeno neprekidno snabdijevanje potrošača električnom energijom.

3.4. Rezultati simulacija

Model optimizacije analizira rad mikromreže, u kojem svi njeni resursi aktivno učestvuju u proizvodnji električne energije. Ukupni zahtjevi opterećenja prije primjene modela optimizacije mikromreže dati su na

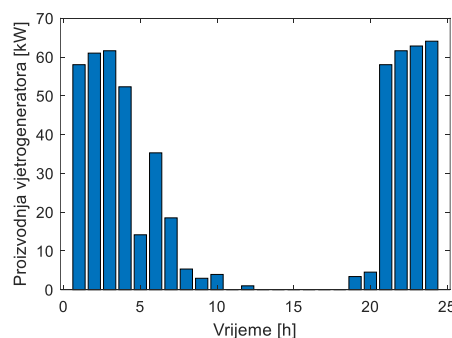
slici 4. i uključuju potrebe za grijanjem, hlađenjem, osvjetljenjem, kao i sistem za upravljanje vozilom-namreži (V2G sistem). Cilj optimizacije je efikasno korišćenje svih resursa mikromreže, uz istovremenu minimizaciju cijene troškova njihovog angažmana, upotrebom genetičkog algoritma.

S obzirom na to da mikromreža koristi obnovljive izvore energije, posmatrani su dijagrami proizvodnje električne energije od strane ovih sistema koja su prikazani na slikama 5 i 6. Podaci prikazani na ovim slikama predstavljaju srednje vrijednosti proizvodnje PV panela, odnosno vjetrogeneratora, respektivno, dobijeni posmatranjem meteoroloških uslova (insolacije i vjetra) tokom cijele godine.

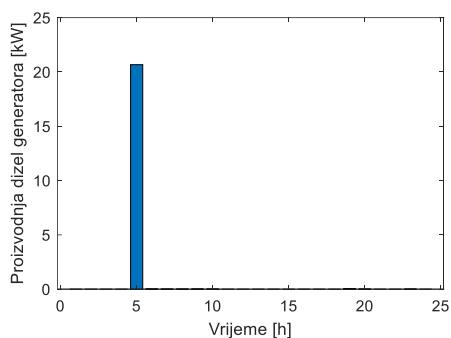


Slika 5 - Proizvedena snaga PV sistema

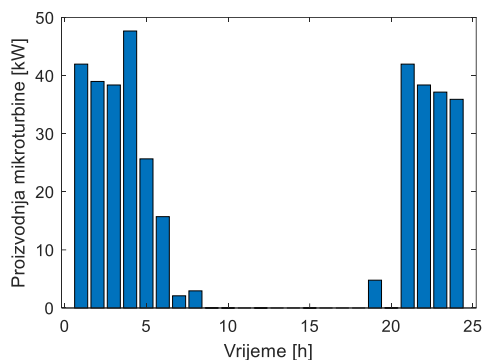
Ovi dijagrami potvrđuju način rada posmatranih sistema i pružaju detaljan uvid u proizvodnju električne energije tokom određenih vremenskih intervala, uz minimizovane troškove njihovog angažmana. Međutim, u skladu sa zahtjevima potrošača za električnom energijom, postaje očigledna potreba za uključivanjem dodatnih resursa mikromreže. Slika 7 pruža uvid u proizvodnju električne energije od strane dizel generatora, dok slika 8 prikazuje proizvodnju električne energije od strane mikroturbine, tokom jednog dana. Angažman mikroturbine i dizelgeneratora, neophodan je u cilju efikasnog korišćenja svih resursa mikromreže, uz istovremenu minimizaciju cijene troškova. Sasvim je jasno da ovi resursi utiču na energetski bilans mikromreže i prilagođavaju se dinamici potrošnje električne energije tokom različitih vremenskih intervala.



Slika 6 - Proizvedena snaga vjetrogeneratora

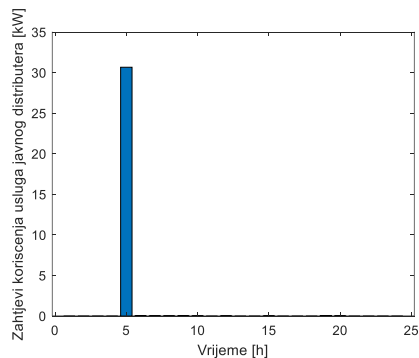


Slika 7 - Proizvedena snaga dizelgeneratora



Slika 8 - Proizvedena snaga mikroturbine

Analizom prikazanih grafika zaključuje se da je optimalno angažovati dizel generator u kratkim intervalima. Sa druge strane, angažman mikroturbine se preporučuje u vremenskim periodima kada nema dostupne generisane energije od strane fotonaponskog panela. Da bi se održala ravnoteža između efikasnosti i ekonomske održivosti mikromreže, neophodno je periodično koristiti energiju iz glavne elektroenergetske mreže. Ovaj pristup omogućava mikromreži da djelimično pokriva tražene zahtjeve za električnom energijom, korišćenjem usluga javnog distributera. Na dijagramu prikazanom na slici 9, jasno su označeni vremenski intervali kada se ovaj pristup primjenjuje iako u mreži participiraju i dizel generator i mikroturbina.

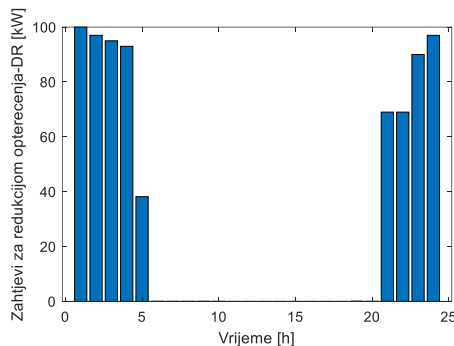


Slika 9 - Korišćenje usluga javnog distributera

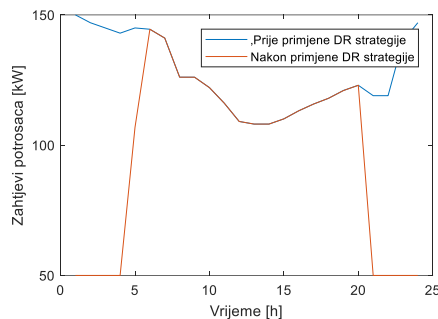
U cilju postizanja stabilnosti sistema tokom perioda povećane potrošnje i ograničene proizvodnje resursa, sa istovremenim ciljem minimizacije cijene

troškova, primjenjuje se pristup upravljanja potrošnjom električne energije (eng. demand response), odnosno DR strategija. Ovaj pristup podrazumijeva dinamičko prilagođavanje potrošnje električne energije u skladu sa trenutnim uslovima u elektroenergetskom sistemu, što uključuje varijacije u dostupnosti energije ili promjene u cijenama. Na slici 10 jasno su vizualizovani zahtjevi potrošačima za smanjenom potrošnjom električne energije u različitim vremenskim intervalima.

Uporedo sa tim, na slici 11 istaknut je i grafik ukupnog opterećenja sistema prije i nakon primjene DR strategije. Ova vizualizacija jasno pokazuje kako se promjenama u potrošnji električne energije, ostvarenim kroz DR pristup, može uticati na ukupno opterećenje u elektroenergetskom sistemu.

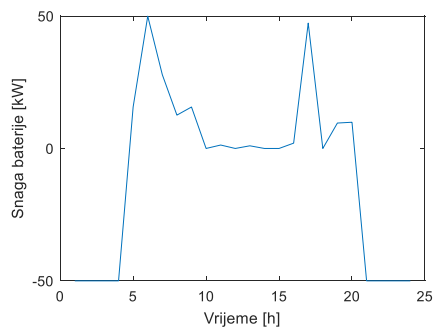


Slika 10 - Zahtjevi za redukcijom opterećenja



Slika 11 - Grafik opterećenja prije i nakon primjene DR strategije

Unutar mikromreže, uključen je i sistem za skladištenje energije, poput baterije, čiji je angažman prikazana na slici 12.

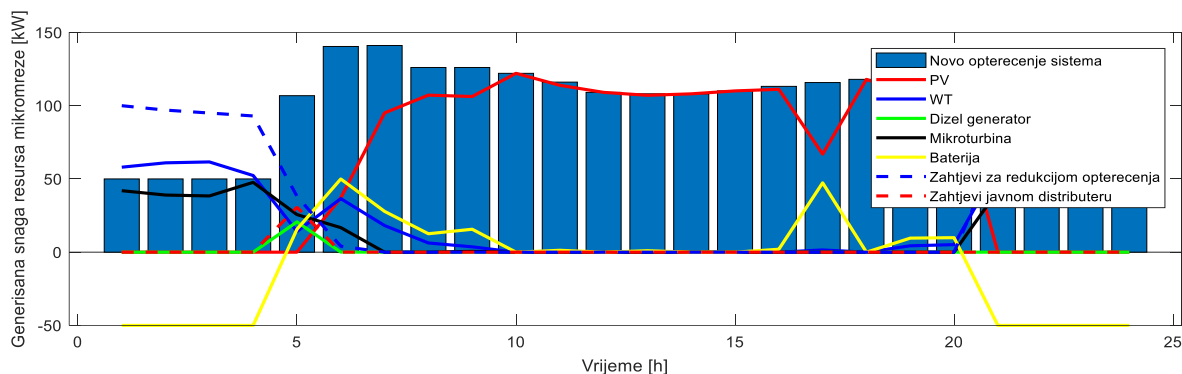


Slika 12 - Snaga baterije

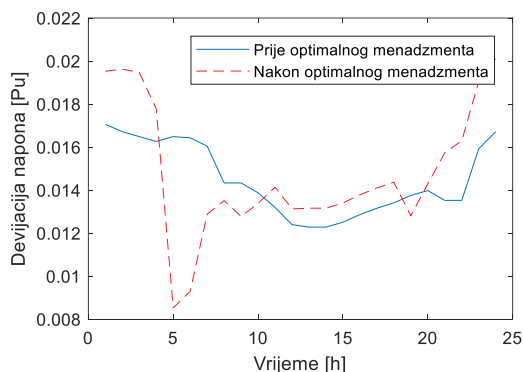
Analizom prikazanog dijagrama, primjećuje se da u određenim vremenskim intervalima (period oko 24 h do 04 h), kada je opterećenje smanjeno, sistem za skladištenje energije preuzima dio proizvedene energije koji nije korišćen za snabdijevanje potrošača, puneći se. U periodima vršnog opterećenja, (period oko 05 h do 10 h), ovaj sistem, zajedno sa drugim izvorima energije, koristi se za snabdijevanje potrošača.

Na kraju, u određenim vremenskim intervalima, (period oko 10 h do 15 h), ovaj sistem nije ni proizvođač ni potrošač električne energije. Ovi trenuci obuhvataju periode kada je baterija ispražnjena (napunjena), ali je proizvodnja ostalih resursa mikromreže

ekvivalentna potrebama potrošača i nema dostupne energije za punjenje baterije (odnosno, nema potrebe za njenim pražnjenjem). Na slici 13 pružen je sveobuhvatan uvid u angažman svih resursa mikromreže. Ovaj prikaz objedinjuje doprinos svakog od resursa, pružajući jasan uvid u način na koji se različiti elementi mikromreže integrišu, kako bi se zadovoljile ukupne energetske potrebe sistema, uz istovremenu minimizaciju cijene troškova njihovog angažmana. Analizom dijagrama na slici 14, uočava se smanjenje devijacije napona u sistemu nakon primjene optimizacione metode, u poređenju sa prethodnim stanjem.



Slika 13 - Uvid u proizvodnju i potrošnju aktivne snage

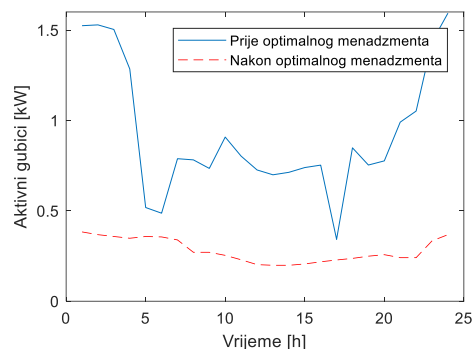


Slika 14 - Grafik analize devijacije napona

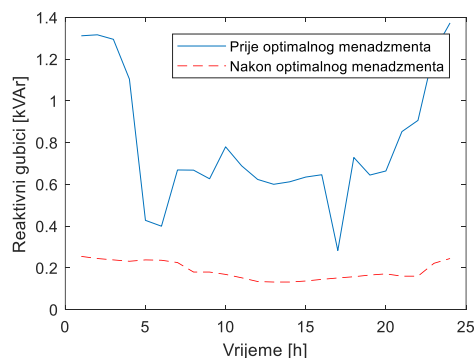
Smanjena devijacija napona nakon optimizacije mikromreže, može se pripisati boljem upravljanju i koordinaciji između različitih izvora energije, uključujući obnovljive izvore, sistem za skladištenje energije, kao i tradicionalne izvore energije. Kada se posmatraju gubici aktivne i reaktivne snage u okviru elektroenergetskog sistema (slika 15 i 16), uočava se i njihovo smanjenje primjenom optimizacionog modela.

Smanjenje gubitaka aktivne i reaktivne snage unutar elektroenergetskog sistema, ostvareno prvenstveno upotrebom obnovljivih izvora električne energije, dovodi i do povećanja efikasnosti prenosa električne energije. S'tim u vezi se zaključuje, da se primjenom optimizacionog modela mikromreže postiže smanjenje troškova, optimizacija stabilnosti napona u sistemu, te

smanjenje zahtjeva za dodatnom proizvodnjom energije u cilju nadoknade gubitaka, čime se doprinosi održivijem i ekonomski isplativijem energetsom sistemu.



Slika 15 - Grafik analize aktivnih gubitaka



Slika 16 - Grafik analize reaktivnih gubitaka

4. ZAKLJUČAK

U ovom istraživanju, sprovedena je identifikacija optimalnih strategija upravljanja mikromrežom primjenom genetičkog algoritma. Kroz ovaj pristup, postignuta je konfiguracija mikromreže, unutar koje je ostvarena efikasna proizvodnja električne energije svakog od njenog resursa, u cilju obezbjeđivanja pouzdanog i ekonomičnog snabdijevanja električnom energijom. Uporedo sa tim, ostvarena je minimizacija devijacije napona, kao i smanjenje aktivnih i reaktivnih gubitaka. Analizom rezultata pružen je uvid u dinamiku rada mikromreže, ističući važnost obnovljivih izvora energije u cilju smanjenja gubitaka. Integracija tradicionalnih izvora energije poput dizelgeneratora i mikroturbina igra značajnu ulogu u održavanju autonomije i efikasnosti mikromreže.

Ovi rezultati jasno potvrđuju validnost primjene genetičkog algoritma za postizanje optimalnog upravljanja u kontekstu mrežno povezane mikromreže. Drugim riječima, zaključuje se da upotreba genetičkog algoritma za optimizaciju mikromreže predstavlja inovativan pristup, čime se postiže efikasno upravljanje resursima.

Buduća istraživanja u oblasti mikromreža mogla bi se usmjeriti na unaprjeđenje genetičkog algoritma (GA) kako bi se povećala preciznost i brzina optimizacije, što uključuje proučavanje različitih varijacija GA. Takođe, istraživanje bi se moglo proširiti i na praktičnoj implementaciji teorijskih zaključaka, što uključuje dizajn i implementaciju mikromreža u stvarnim uslovima. Ovo bi omogućilo provjeru primjenjivosti rezultata u realnom svijetu i dalji napredak u oblasti energetske efikasnosti i održivosti.

LITERATURA

- [1] A. Hirsch, Y. Parag, J. Guerrero, Microgrids: A review of technologies, key drivers, and outstanding issues, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 90, Pages 402-411, July 2018.
- [2] F. Canziani, Ó. Melgarejo, Design and Implementation of Rural Microgrids, in: A. Zambroni de Souza, M. Castilla, *Microgrids Design and Implementation*, pp. 477-504, 2019.
- [3] A. H. Hubble, T. S. Ustun, Composition, placement, and economics of rural microgrids for ensuring sustainable development, *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 2017.
- [4] M. Shahbazitabar, H. Abdi, H. Nourianfar, A. Anvari-Moghaddam, B. Mohammadi-Ivatloo, N. Hatziargyriou, An Introduction to Microgrids, Concepts, Definition, and Classifications in: A. Anvari-Moghaddam, H. Abdi, B. Mohammadi-Ivatloo, N. Hatziargyriou *Microgrid-Advances in operation, control and protection*, pp 3-16.
- [5] S. Wang, Z. Li, L. Wu, M. Shahidehpour, Z. Li, New Metrics for Assessing the Reliability and Economics of Microgrids in Distribution System, *IEEE Transactions on Power Systems*, Volume: 28, Issue: 3, August 2013.
- [6] H. Liang, J. Su and S. Liu, Reliability evaluation of distribution system containing microgrid, *CICED 2010 Proceedings*, Nanjing, China, pp. 1-7, 2010.
- [7] A. Dubey, Load flow analysis of power systems, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Volume 7, Issue 5, May-2016.
- [8] S. Gaya, O. Sokunbi, I. O. Habiballa, Recent Review On Load/power Flow Analysis, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Volume 11, Issue 12, December-2020.
- [9] J. A. May Alvarez, I. G. Zurbruggen, F. Paz and M. Ordonez, Microgrids Multiobjective Design Optimization for Critical Loads in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 14, no. 1, pp. 17-28, Jan. 2023.
- [10] B. Yan, P. B. Luh, G. Warner and P. Zhang, Operation and Design Optimization of Microgrids With Renewables, in *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 14, no. 2, pp. 573-585, April 2017.
- [11] S. Phommixay, M. L. Dombia, D. L. St-Pierre, Review on the cost optimization of microgrids via particle swarm optimization, *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 2020.
- [12] C. Gamarra, J. M. Guerrero, Computational optimization techniques applied to microgrids planning: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 48, August
- [13] G. S. Thirunavukkarasu, M. Seyedmahmoudian, E. Jamei, B. Horan, S. Mekhilef, A. Stojcevski, Role of optimization techniques in microgrid energy management systems - A review, *Energy Strategy Reviews*, Volume 43, September 2022.
- [14] L. Haldurai, T. Madhubala, R. Rajalakshmi, A Study on Genetic Algorithm and its Applications, *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, Volume 4, Issue 10.
- [15] S. Kumar, S. Jain, H. Sharma, *Advances in Swarm Intelligence for Optimizing Problems in Computer Science*, pp 27-47, 1st Edition, 2018.
- [16] Q. Deng, X. Gao, H. Zhou and W. Hu, System modeling and optimization of microgrid using genetic algorithm, 2011, *2nd International Conference on Intelligent Control and Information Processing*, Harbin, China, pp. 540-544, 2011.
- [17] T. Adefarati, S. Potgieter, R. C. Bansal, R. Naidoo, R. Rizzo and P. Sanjeevikumar, Optimization of PV

- Wind-Battery Storage Microgrid System Utilizing a Genetic Algorithm, *2019 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)*, Otranto, Italy, pp. 633-638.2015, Pages 413-424, 2019.

[18] Baran M. E, Wu F. F, *Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing*, Power Deliv IEEE Trans 4:1401–1407, 1989a

SUMMARY

ANALYSIS OF OPTIMAL MANAGEMENT OF GRID-CONNECTED MICROGRID USING GENETIC ALGORITHM

In contemporary society, efficient energy management is becoming crucial for achieving energy sustainability and the reliability of power systems. Microgrids stand out as an essential solution to attain these goals, integrating various energy sources and optimizing transmission costs. A detailed analysis of different methods for microgrid optimization is key to achieving maximum energy efficiency and economic viability in its integration. This paper is based on comprehensive research into optimal energy management in a grid-connected microgrid using a genetic algorithm. The aim of optimal management is to reduce active and reactive power losses, as well as voltage deviation, through precise optimization of electricity production. Research has shown that the proper engagement of production resources and energy consumption can contribute to reducing the cost of electricity production, as well as reducing losses and voltage deviation.

Key Words: *electric power system, microgrid, optimization, genetic algorithm*