

DER U MIKROMREŽI – SIMULACIJE U RAZNIM REŽIMIMA RADA**DER IN A MICROGRID – SIMULATIONS IN DIFFERENT MODES OF OPERATION**Dušan Radosavčev, Vladimir Katić, Aleksandar Stanisavljević, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U ovom radu analiziran je uticaj distribuiranih elektroenergetskih resursa (DER) u mikromreži u različitim režimima rada. Simulacija je urađena u programskim paketima Matlab/Simulink i HOMER.

Ključne reči: Distribuirani elektroenergetski resursi, mikromreže, HOMER, Matlab/Simulink

Abstract – In this paper, the influence of distributed electric power resources (DER) in the microgrid in different study cases is analyzed. The simulation was done using programming packages Matlab/Simulink and HOMER.

Keywords: Distributed energy resources, microgrids, HOMER, Matlab/Simulink

1. UVOD

Mikromreže se mogu definisati kao mali lokalni distributivni sistemi, koji uključuju distribuirane elektroenergetske resurse (DER) ili distribuirane generatore (DG), kao što su mikroturbine, gorive ćelije, solarne fotonaponske (FN) elektrane, vetrogeneratore, biogasne elektrane, dizel agregati i dr., zatim sisteme za skladištenje električne energije (baterije i sl.), te kontrolisana i nekontrolisana opterećenja. One se povezuju na javnu mrežu (režim mreže), ali mogu da rade i nezavisno od nje, kao izolovane mreže (ostrvski režim). Mikromreže se mogu klasifikovati u zavisnosti od načina na koji su organizovane, pa se razlikuju AC mikromreže, DC mikromreže i hibridne AC/DC mikromreže.

DER su izvori električne energije, koji su locirani u blizini potrošača, odnosno na teritoriji potrošačkih konzuma. Oni predstavljaju decentralizovanu proizvodnju električne (i toplotne) energije i kao takvi povećavaju pouzdanost snabdevanja potrošača električnom energijom. Priklučenje na distributivnu mrežu pomaže smanjivanju gubitaka u prenosnom sistemu, kao i u smanjivanju emisije štetnih materija u okolinu [1].

Distribuirani generatori (DG) se mogu podeliti na više načina: prema vrsti energenta, snazi, vrsti generatora, načinu priključenja na mrežu, brzini upravljanja, nivou učešća (prisustva u mreži) i dr.

Za simulaciju rada raznih vrsta DER u mikromreži koriste se različiti softverski alati, koji su raspoloživi i isprobani u više prilika [2-5], kao i u sklopu pojedinih mikromreža [6]. Ipak, velika dinamika DER-ova, intermitentnost rada i nepredvidivost zahtevaju daljnja istraživanja.

Cilj ovog rada jeste da ispita i da prikaz načina rada pojedinih konfiguracija mikromreža u zadatim scena-

rijama njihovog rada, a korišćenjem razvijenih modela u poznatim softverskim alatima.

2. SOFTVERSKI ALATI ZA SIMULACIJE MIKROMREŽA SA DER-OVIMA

Za simulaciju rada mikromreža u ovom radu korišćeni su programski paketi Matlab/Simulink i HOMER, koji su ukratko opisani u nastavku.

2.1. Softverski alat Matlab/Simulink

Matlab je platforma dizajnirana je posebno za inženjere i naučnike da projektuju i analiziraju inovativne sisteme i proizvode. Matlab omogućava analizu podataka, razvijanje algoritama, te kreiranje modela i aplikacija.

Simulink je okruženje blok dijagrama za simulaciju više domena i dizajn zasnovan na modelu. Podržava dizajn na nivou sistema, simulaciju, automatsko generisanje koda i kontinuirano testiranje i verifikaciju ugrađenih sistema. Simulink obezbeđuje grafički uređivač, prilagodljive biblioteke blokova i elemente za rešavanje modelovanja i simulaciju dinamičkih sistema [7].

2.2. Softverski alat HOMER

HOMER (*Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources*) predstavlja programski paket koji se koristi širom sveta i koji predstavlja trenutno jedan od boljih programa za simulacije rada mreža sa obnovljivim izvorima. Njime se simulira rad hibridne mikromreže tokom cele godine (u svim meteorološkim uslovima), u intervalima od jednog minuta do jednog sata. Moguće je ispitivanje raznih kombinacija tipova elektroenergetskog sistema u jednom pokretanju, a zatim sortira sisteme prema promenljivoj optimizacije po izboru. Program poseduje novi algoritam optimizacije koji značajno pojednostavljuje proces projektovanja za identifikaciju opcija sa najnižim troškovima za mikromreže ili druge distribuirane sisteme električne energije. U sebi sadrži podatke o mnogo elemenata koji se koriste (invertori, foto-naponski paneli, vetrogeneratori...), ali i dozvoljava korisniku da unese svoje podatke [8]

3. MODELI MIKROMREŽE

Posmatraju se dva slučaja mikromreže, koja će biti modelovana i njihov rad simuliran u programskim paketima Matlab/Simulink i HOMER. Ove mikromreže su predstavljene na slici 1 (modelovanje u Matlab/ Simulink-u) i na slici 3 (modelovanje u HOMER-u).

3.1. Model mikromreže u Matlab/Simulinku

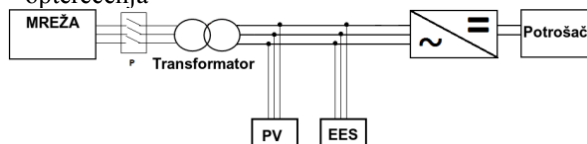
Na slici 1 prikazana je slučaj jednostavne mikromreže, koja se sastoji od kućnih potrošača napajanih iz javne

NAPOMENA:

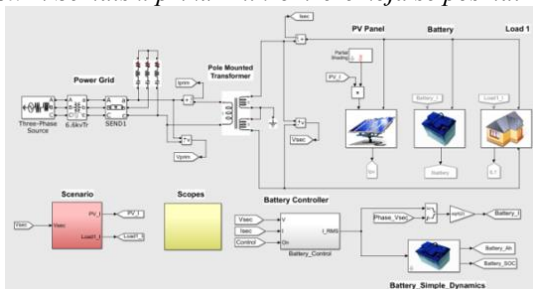
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Vladimir Katić, red.prof.

mreže i/ili iz FN elektrane (PV), odnosno iz baterije (EES). Ova mreža je modelovana u programskom paketu Matlab/Simulink i sastoji se iz sledećih blokova:

- „Power Grid“ bloka, ond. distributivnu mrežu,
- „PV Panel“ bloka, koji reprezentuje FN panele,
- „Battery“ bloka, koji reprezentuje elektroenergetsko skladište, tj. bateriju,
- „Battery Controller“ bloka, koji reguliše punjenje i pražnjenje baterije i
- „Load 1“ bloka, koji predstavlja agregirana lokalna opterećenja



Sl. 1. Šematski prikaz mikromreže koja se posmatra



Sl. 2. Matlab/Simulink model mikromreže sa slike 1.

3.2. Model mikromreže u HOMERu

Na slici 3 prikazana je složenija mikromreža, koja se sastoji od kućnih potrošača, grupe DER sa FN elektranom (PV), vetroelektranom (Wind), biogasnom elektranom (Biogas), baterijom (EES) i električnim vozilom (EV), te priključkom na javnu mrežu. Na slici 4 prikazan njen model u programskom paketu HOMER. Ova mikromreža sastoji se od sledećih blokova:

- „Biogas 20kW“ bloka, tj. biogasne elektrane,
- „Grid“ bloka, koji predstavlja javnu mrežu na koju je ova mikromreža povezana,
- „Wind 5.1kW“ bloka, koji prikazuje vetroelektranu,
- „PV 20kW“ bloka, tj. fotonaponske elektrane
- „Converter“ bloka, koji predstavlja bilateralni pretvarač za vezu AC i DC sabirnice,
- „Electric Load“ bloka, što reprezentuje potrošača snage 19.98 kW u ppiku i potrošnje 165.59 kWh/dan.
- „Battery storage“ blok, koji predstavlja skladište električne energije (bateriju) i električno vozilo (opet kao bateriju), zbog nepostojanja elementa električnog vozila u programskom paketu

4. RAD MIKROMREŽE - STUDIJE SLUČAJA

Projektnim zadatkom definisani su različiti slučajevi rada obe mikromreže.

4.1. Rad mreže modelovane u Matlab/Simulinku

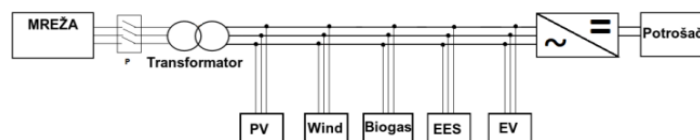
Ova mreža, prikazana na slici 1, modelovana u programskom paketu Matlab/Simulink (slika 2) razmatrana je u tri režima rada:

Prvi slučaj: FN sistem radi sa punim solarnim zračenjem. Baterija je inicijalno potpuno napunjena (SOC=100%). Potrošnja je nazivna.

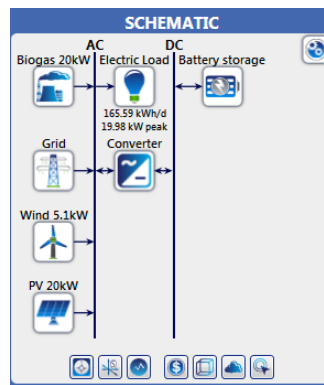
Drugi slučaj: FN sistem radi sa delimičnim nivoom solarnog zračenja (došlo je do redukcije zbog oblaka ili senčenja pa smo pretpostavili da je zračenje 70% od

vrednosti punog solarnog zračenja). Baterija je inicijalno napunjena do polovine svojih kapaciteta (SOC=50%). Potrošnja je nazivna.

Treći slučaj: FN sistem ne radi jer nema solarnog zračenja (noć). Baterija je inicijalno potpuno napunjena (SOC=100%). Potrošnja će biti redukovana na polovinu nazivne potrošnje (50%).



Sl. 3. Šematski prikaz mikromreže koja se posmatra



Sl. 4. Prikaz mikromreže posmatran u programskom paketu HOMER

4.2. Rad mreže modelovane u HOMERu

Ova mreža, prikazana na slici 3, modelovana u programskom paketu HOMER (slika 4) razmatrana je u tri režima rada:

Prvi slučaj: FN sistem radi sa punim solarnim zračenjem i radnom temperaturom $T=45^{\circ}\text{C}$. Vetroelektrana radi sa nominalnom brzinom vetra (v_n); Baterija je inicijalno napunjena (SOC=100%), Biogasna elektrana radi punim kapacitetom; Potrošnja je nazivna.

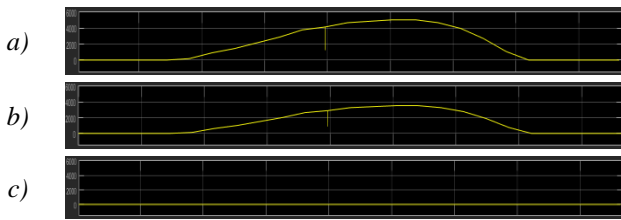
Drugi slučaj: FN sistem radi sa delimičnim nivoom solarnog zračenja (došlo je do redukcije zbog oblaka ili senčenja) na nivo od 70% nominalnog, pri čemu je radna temperatura i dalje $T=45^{\circ}\text{C}$. Vetroelektrana radi sa brzinom vetra 70% od nominalne. Baterija je inicijalno napunjena do polovine svojih kapaciteta (SOC=50%). Biogasna elektrana radi punim kapacitetom. Potrošnja je nazivna.

Treći slučaj: FN sistem ne radi jer nema solarnog zračenja (noć); Vetroelektrana radi sa nominalnom snagom. Radna temperatura je i dalje $T=45^{\circ}\text{C}$ Biogasna elektrana radi punim kapacitetom. Baterija je inicijalno potpuno napunjena (SOC=100%). Potrošnja će biti redukovana na polovinu nazivne potrošnje (50%).

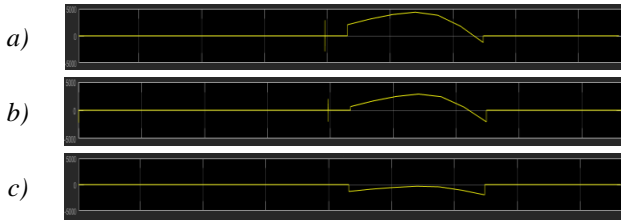
5. REZULTATI SIMULACIJA

5.1. Simulacije mreže modelovane u Matlab/Simulinku

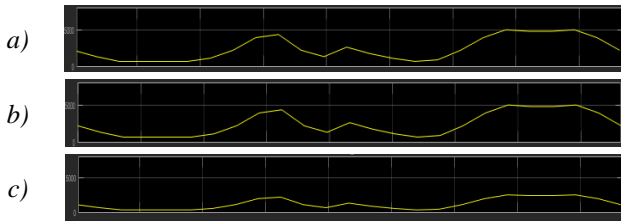
Na slikama 5 - 9 prikazani su rezultati simulacije za različite slučajeve iz projektnog zadatka za model mikromreže sa slike 2. Prikazana je promena snage pojedinih blokova u toku jednog dana (slike 5-7), odnosno stanje napunjenosti baterije (slike 8 i 9).



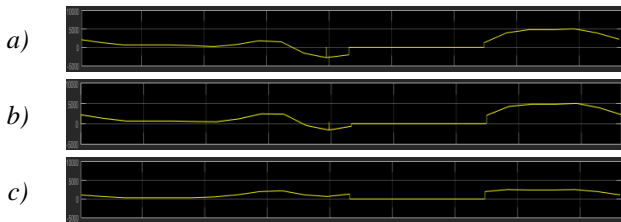
Sl. 5. Grafički prikaz proizvodnje elementa "PV": a) prvi slučaj, b) drugi slučaj, c) treći slučaj



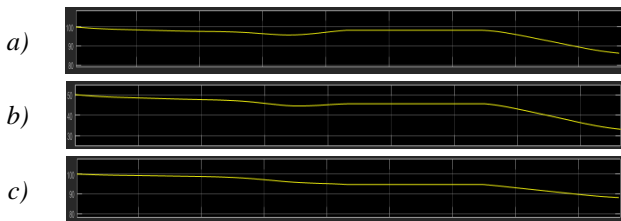
Sl. 6. Grafički prikaz izlaza transformatora: a) prvi slučaj, b) drugi slučaj, c) treći slučaj



Sl. 7. Grafički prikaz elementa "LOAD": a) prvi slučaj, b) drugi slučaj, c) treći slučaj



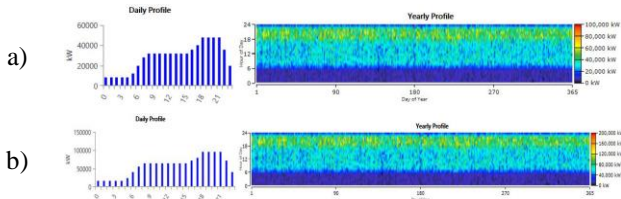
Sl. 8. Grafički prikaz kapaciteta elementa "BATTERY": a) prvi slučaj, b) drugi slučaj, c) treći slučaj



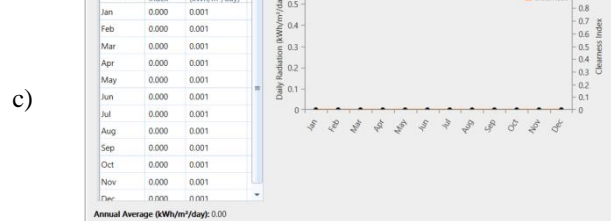
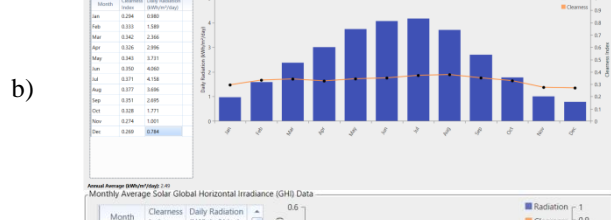
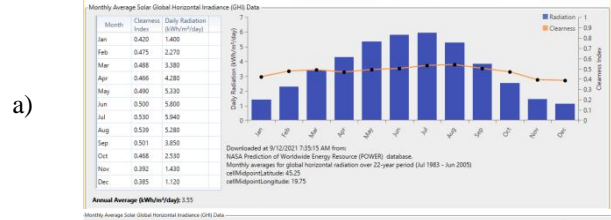
Sl. 9. Grafički prikaz parametara baterije "SOC": a) prvi slučaj, b) drugi slučaj, c) treći slučaj

5.2. Simulacije mreže modelovane u HOMERu

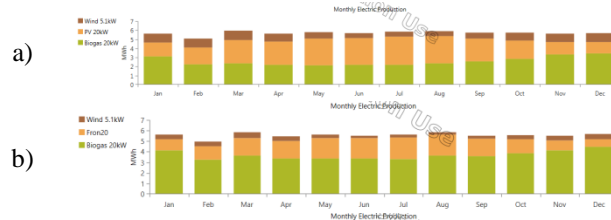
Na slikama 10, 11, 12, 13 i 14 prikazani su rezultati dobijeni simulacijom za različite slučajeve iz projektnog zadatka, u programskom paketu HOMER na izlazu pojedinih blokova mikromreže sa slike 4.



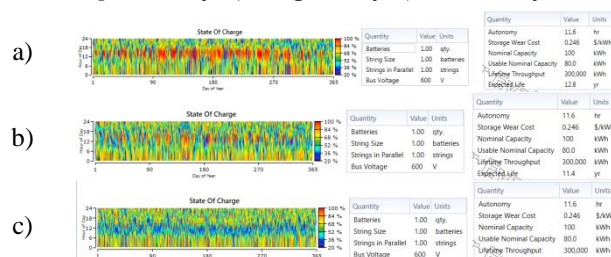
Sl. 10. Grafički prikaz podataka za potrošač: a) prvi slučaj i drugi slučaj, b) treći slučaj



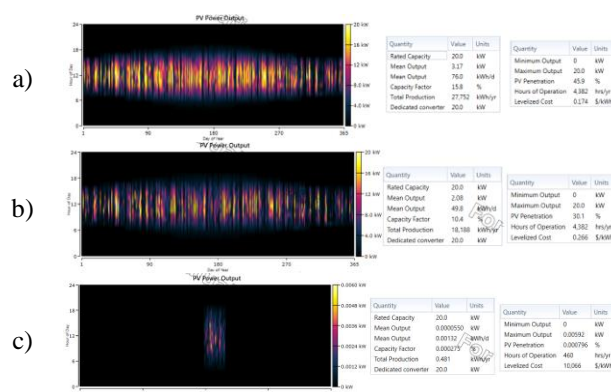
Sl. 11. Grafički prikaz podataka za zračenje: a) prvi slučaj, b) drugi slučaj, c) treći slučaj



Sl. 12. Grafički prikaz proizvodnje po komponentama: a) prvi slučaj, b) drugi slučaj, c) treći slučaj



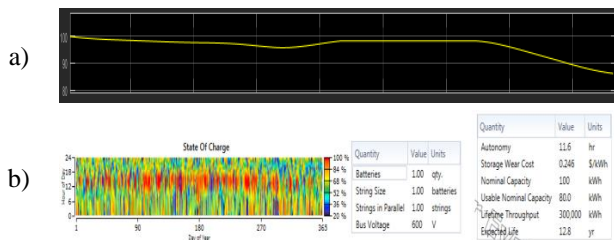
Sl. 13. Grafički prikaz rada elektroenergetskog skladišta: a) prvi slučaj, b) drugi slučaj, c) treći slučaj



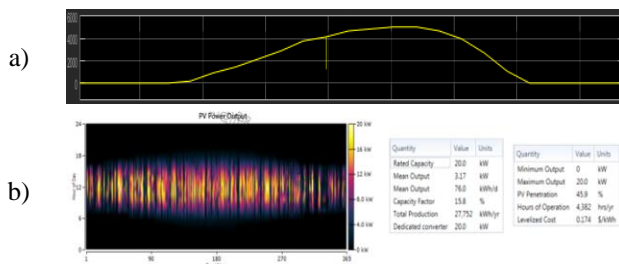
Sl. 14. Grafički i tabelarni prikaz rada FN elektrane – a) prvi slučaj, b) drugi slučaj, c) treći slučaj

6. POREĐENJE REZULTATA I DISKUSIJA

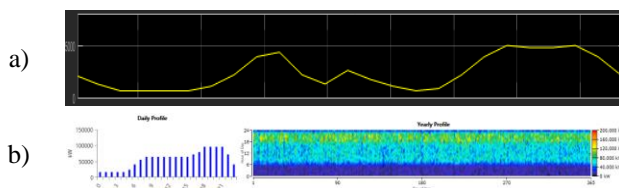
Na slikama 15, 16 i 17 prikazani su rezultati simulacija, za blokove elektroenergetskog skladišta, tj. baterije, FN elektrane i potrošača za obe mikromreže (gornja slika model u Matlab/Simulinku, a donja slika model u HOMERu). Sa slika se može uočiti da ova dva grafika izgledaju potpuno različito, kao i to da se u programskom paketu HOMER (slike 15.b, 16.b i 17.b) pored grafičkog prikaza nalazi i tabelarni prikaz, iz kojeg je moguće direktno pročitati značajne parametre ovog elementa. Takođe veoma bitna stvar je da slika 15.a dnevni dijagram potrošnje, dok slika 15.b predstavlja godišnji dijagram potrošnje.



Sl. 15. Grafički prikaz stanja napunjenosti elektroenergetskog skladišta: a) Matlab/Simulink, b) HOMER



Sl. 16. Grafički prikaz proizvodnje FN elektrane: a) Matlab/Simulink, b) HOMER



Sl. 17. Grafički prikaz podataka za potrošač - a) Matlab/Simulink, b) HOMER

7. ZAKLJUČAK

Trenutna upotreba mikromreža u svetu veoma je mala, skoro zanemarljiva, ali zahvaljujući posmatranim programskim paketima, omogućena je simulacija njihovog rada i uticaja na životnu sredinu za različite slučajeve. Programski paketi Matlab/Simulink i HOMER omogućuju adekvatno modelovanje i simulaciju različitih slučajeva rada mikromreža.

8. LITERATURA

- [1] V. Mijailović, „Distribuirani izvori energije - princip rada i eksploatacioni aspekti“, Akademska misao, Beograd, 2011.
- [2] A. Gavrilović, V. Katić, “Pregled raspoloživih softvera za solarne elektrane”, *Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka*, god. 34, br.11, 2019, pp.554-557.
- [3] M. Komisar, M. Rock, V. Katić, “Model i simulacije vetrogeneratora u ATP/EMTP-u i Matlab/Simulink-u za slučaj atmosferskog pražnjenja”, *Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka*, god. 34, br.11, 2019, pp. 2096-2099.
- [4] A. Rajšli, V. Katić, “Modelovanje male hidroelektrane na brani kod Novog Bečaja”, *Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka*, god. 34, br.11, 2019, pp.2028-2031.
- [5] I. Pušin, V. Katić, „Modelovanje i ispitivanje biogasne elektrane – primer PIK Moravica”, *Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka*, god. 34, br. 09, 2019, pp.1575-1578
- [6] S. Mihajlović, V. Katić, O. Cornea, “Modelovanje energetskih pretvarača u mikromrežama“, *Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka*, god. 34, br.11, 2019, pp. 1985-1988.
- [7] <https://www.mathworks.com/help/simulink/gs/product-description.html>
- [8] <https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html>

Kratka biografija:



Dušan Radosavčev rođen je u NovomSadu 1993. god. Osnovne studije završio je na Fakultetu tehničkih nauka 2020. god., a master 2021. god. iz oblasti Elektrotehnike i računarstva.



Vladimir A. Katić rođen je 1954. god. u Novom Sadu. Doktorirao je na Univerzitetu u Beogradu 1991. god. Od 2002. god. je redovni profesor Univerziteta u NovomSadu. Oblasti interesovanja su mu energetska elektronika, kvalitet električne energije, obnovljivi izvori električne energije i električna vozila.



Aleksandar M. Stanisavljević, rođen je u Beogradu 1988. god. Doktorirao ne na Univerzitetu u Novom Sadu 2019. god. gde je trenutno u zvanju docenta. Oblast interesovanja su mu integracija obnovljivih izvora energije na mrežu i kvalitet električne energije.