

OPTIMIZACIJA NAPONA I SNAGA UNUTAR MIKROMREŽE**OPTIMIZATION OF VOLTAGE AND POWER WITHIN THE MICROGRID**Ivana Košutić, Luka Strezoski, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U radu su obrađene teorijske osnove o mikromrežama, DER-ovima, optimizaciji u elektroenergetskim sistemima, kao i matematički modeli vodova, transformatora i DER-ova koji će biti korišćeni dalje u analizi. U toku istraživanja, sprovedena je optimizacija sistema sa jasnim ciljem - minimizacijom gubitaka aktivne snage uz poštovanje naponskih ograničenja. Ovaj proces optimizacije nije usmjeren na globalno rješenje, već je pažljivo pristupljeno svakom resursu pojedinačno. Pronađeni su lokalni optimumi za svaki resurs, uzimajući u obzir njihove specifične karakteristike i ograničenja. Ova metoda pristupa omogućila je postizanje boljeg balansa između proizvodnje i potrošnje energije u mikromreži, čime se unapređuje efikasnost sistema i osigurava njegova stabilnost.

Ključne reči: Mikromreža, Distribuirani generatori, Obnovljivi izvori, Optimizacija

Abstract – The paper discusses the theoretical foundations of microgrids, DERs, optimization in electrical power systems, as well as mathematical models of lines, transformers, and DERs that will be used further in the analysis. During the research, the system optimization was carried out with a clear goal - minimization of active power losses while respecting voltage constraints. This optimization process is not aimed at a global solution, but each resource is carefully approached individually. Local optima have been found for each resource, taking into account their specific characteristics and constraints. This approach method has made it possible to achieve a better balance between energy production and consumption in the microgrid, thus improving the efficiency of the system and ensuring its stability.

Keywords: Microgrid, Distributed Generators, Renewable Energy, Optimization

1. UVOD

Savremeno društvo se suočava s izazovima u elektroenergetskim sistemima koji zahtjevaju viši stepen pouzdanosti, efikasnosti i održivosti. Tradicionalni modeli generacije i distribucije električne energije nailaze na neizvjesnosti snabdevanja i negativnom uticaju na životnu sredinu. Koncept distribuiranih generatora (DG) u mikromrežama postavlja nov standard u arhitekturi elektroenergetskih sistema.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Luka Strezoski, vanr. prof.

DG sistemi se smještaju direktno na mjestima potrošnje, omogućavajući modularnost, skalabilnost i smanjenje emisije štetnih gasova. Optimizacija mikromreža, uključujući Volt/Var optimizaciju, igra ključnu ulogu u održavanju napona unutar tehničkih ograničenja i poboljšanju efikasnosti sistema.

Formulisane kriterijumske funkcije je ključni korak u optimizaciji mikromreža, obično se cilja na minimizaciju gubitaka aktivne snage uz očuvanje naponskih ograničenja. Različiti pristupi se koriste u optimizaciji mikromreža, uključujući stohastičke (genetski algoritmi, optimizacija rojevima čestica) i determinističke metode (linearna, kvadratna, cjelobrojna optimizacija). Optimizacija se primjenjuje za poboljšanje efikasnosti, stabilnosti i smanjenje gubitaka u mikromreži.

Rad se sastoji od šest poglavlja, uključujući definicije mikromreža, analizu DG-a, opis optimizacije, matematičke modele i proračune te detaljnu optimizaciju mikromreže sa ciljem smanjenja gubitaka aktivne snage uz optimalno iskorišćenje resursa [2].

2. KONCEPT MIKROMREŽE

Konvencionalni izvori energije se suočavaju s problemima smanjenja rezervi fosilnih goriva, efikasnosti i ekološkog zagađenja, što je promovisalo upotrebu distribuirane proizvodnje električne energije putem tehnologija poput vjetrogeneratora, fotonaponskih ćelija i gorivnih ćelija. DG-ri pružaju održivu i pouzdanu energetska mrežu, smanjujući zavisnost od tradicionalnih izvora energije, smanjujući gubitke tokom prenosa i podržavajući integraciju obnovljivih izvora energije (OI). Integracija DG-a potiče inovacije u upravljanju energijom, poboljšava energetska efikasnost i doprinosi bržem oporavku energetska sistema nakon prirodnih katastrofa. Mikromreže, koje uključuju lokalne izvore energije i uređaje za skladištenje, pružaju stabilnost, pouzdanost i energetska efikasnost sistema. Mikromreže omogućavaju i povećanu autonomiju u donošenju odluka i aktivno učešće potrošača na energetska tržištu [3].

Mikromreža može raditi u dva režima:

1. Povezani režim rada - kada je povezana sa glavnom mrežom, što znači da je u nesamostalnom pogonu.
2. Ostrvski režim rada - kada nije povezana sa glavnom mrežom, pa funkcioniše autonomno.

Pametne mreže i daljinsko upravljanje čine mikromreže još efikasnijim. Ovaj koncept predstavlja ključni korak realizaciju prethodno pomenutih upravljačkih strategija prema održivijoj i pouzdanijoj energetska budućnosti, istovremeno podržavajući ekonomski razvoj i otpornost na promjene.

3. DISTRIBUIRANI ENERGETSKI RESURSI

Distribuirana proizvodnja električne energije (DER) predstavlja promjenu u načinu generisanja električne energije, fokusirajući se na male modularne generatore od 1 kW do 1 MW, smještene blizu potrošača. Ovi DER-ovi pružaju fleksibilnost, ekonomske prednosti i ekološke koristi. Mogućnost brzog pokrivanja povećane potrošnje, modularna konstrukcija i prilagodljivost lokacije čine DER-ove ekonomski privlačnim. Takođe, DER-ovi omogućavaju efikasno kombinovanje proizvodnje električne i toplotne energije. Sa operativnog aspekta, DER-ovi poboljšavaju naponske uslove, smanjuju gubitke energije i doprinose većoj pouzdanosti snabdevanja, uključujući i ruralna područja. Takođe, DER-ovi su ekološki prihvatljiviji i smanjuju opterećenje prenosnih kapaciteta.

Sveobuhvatan pristup DER-ovima donosi brojne ekonomske i operativne prednosti, pružajući efikasna i održiva energetska rješenja [4].

4. OPTIMIZACIJA U ELEKTROENERGETSKIM SISTEMIMA

Optimizacijski problemi se bave pronalaskom ekstremnih vrijednosti ciljne funkcije u okviru određenih ograničenja. Postoje različite podjele unutar optimizacije, ali za inženjerske probleme su posebno relevantne lokalne i globalne metode optimizacije. Što je problem složeniji, to je teže pronaći globalni optimum, pa se često moramo zadovoljiti lokalnim optimumima.

Pronalaženje inženjerski prihvatljivih rješenja, posebno u složenim problemima, može biti izazovno. Početno rješenje često zavisi o iskustvu inženjera i može biti daleko od globalnog optimuma. Stoga se često koristi tehnika pokretanja algoritma iz više početnih tačaka kako bi se pronašlo najbolje lokalno rješenje, iako to ne garantuje globalnu optimalnost. Za složene probleme sa mnogo lokalnih optimuma, potrebne su metode globalne optimizacije koje pretražuju čitav prostor rješenja kako bi osigurale najbolje moguće rješenje [5].

4.1. OPTIMIZACIJA MIKROMREŽE

Problemi optimizacije u kontekstu rada mikromreža, ekonomskog dispečeringa i proračuna optimalnog angažovanja agregata su ključni za efikasno upravljanje mikromrežama. Ovi problemi uključuju analizu optimalnih tačaka rada i režima različitih DG, sistema za skladištenje energije, emisiju CO₂, potrošnju električne energije, uvoz i izvoz iz glavne mreže, broj prekida opreme, radne troškove i mnoge druge faktore. Kriterijumi optimizacije u ovom kontekstu mogu biti ekonomske prirode, tehnički, usmjereni na očuvanje životne sredine ili kombinacija ovih faktora.

Cilj ovih istraživanja je pronaći najefikasnija rješenja koja su ekonomski isplativa, tehnički izvodljiva i ekološki prihvatljiva za rad mikromreža.

Za postizanje ovih ciljeva, primjenjuju se različite metode optimizacije, uključujući stohastičke metode vještačke inteligencije (kao što su genetski algoritmi i optimizacija rojevima čestica), kao i determinističke metode zasnovane na linearnoj, kvadratnoj i cjelobrojnoj optimizaciji [3]. Optimalna regulacija napona i reaktivnih snaga (Volt/Var

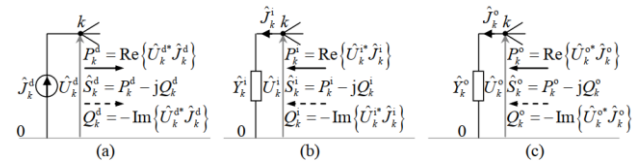
optimizacija - VVO) je ključna komponenta upravljanja mikromrežama. Ciljevi VVO uključuju održavanje napona unutar tehničkih ograničenja, smanjenje štete na potrošačkoj strani zbog odstupanja napona i smanjenje gubitaka snage u distributivnoj mreži. Postizanje ovih ciljeva zahteva koordinaciju između različitih komponenti sistema, uključujući regulacione transformatore, kompenzacione uređaje i distribuirane generatore. Ova regulacija se postiže kontrolom regulacionih sklopki, podešavanjem regulacionih sklopki i postavljanjem kondenzatorskih baterija na odgovarajućim mjestima. Da bi se postigli optimalni rezultati u VVO, razmatraju se različiti optimizacioni kriterijumi kao što su minimalna devijacija napona, minimalni gubici snage i minimalna potrošnja. Ovi kriterijumi se koriste kako bi se odredile optimalne pozicije regulacionih sklopki i kondenzatorskih baterija za postizanje željenih ciljeva uzimajući u obzir tehničke i ekonomske faktore.

5. POSTAVKA PROBLEMA

U ovome dijelu rada biće opisani matematički modeli vodova, regulacionog transformatora i modeli DER-ova za proračun tokova snaga

5.1. MODELI DER-ova ZA PRORAČUNE TOKOVA SNAGA AKTIVNIH DISTRIBUTIVNIH MREŽA

Pogonska kola DER-a sva tri redosljeda prikazana su na slici 5.1.1.



Slika 5.1.1. Pogonska kola razmatranog trofaznog DERk direktnog (a), inverznog (b) i nultog redosljeda (c) [1]

1. Napon direktnog redosljeda na priključku savremenog DER na mrežu diktiraju i DER i mreža (DER preko svoje upravljačke strategije). Rezultat je injektirana struja direktnog redosljeda.
2. Napon inverznog redosljeda na priključku savremenog DER a mrezu diktiraju i DER i mreza (DER preko svoje upravljačke strategije, ukoliko se specificira struja inverznog redosljeda različita od nule). Rezultat je injektirana struja inverznog redosljeda.
3. Kod savremenih DER se nulta komponenta struje uvek anulira, pa je nulto pogonsko kolo uvijek u praznom hodu [1].

Koristeći matricu transformacije i poštujući smjer veličina prikazan na prethodnoj slici, trofazne snage DER_k, i tradicionalnih naizmjeničnih mašina i savremenih DER-ova, mogu izraziti u domenu simetričnih komponenti:

$$\begin{aligned} \hat{S}_{k\Sigma} &= P_{k\Sigma} + jQ_{k\Sigma} = 3(\hat{S}_k^+ - \hat{S}_k^- - \hat{S}_k^0) = 3(\hat{U}_k^+ \hat{I}_k^{+*} - \hat{U}_k^- \hat{I}_k^{-*} - \hat{U}_k^0 \hat{I}_k^{0*}) \\ &= 3\{(\text{Re}\{\hat{U}_k^+ \hat{I}_k^{+*}\} + j\text{Im}\{\hat{U}_k^+ \hat{I}_k^{+*}\}) - (\text{Re}\{\hat{U}_k^- \hat{I}_k^{-*}\} + j\text{Im}\{\hat{U}_k^- \hat{I}_k^{-*}\}) - \\ &\quad - (\text{Re}\{\hat{U}_k^0 \hat{I}_k^{0*}\} + j\text{Im}\{\hat{U}_k^0 \hat{I}_k^{0*}\}) \} \end{aligned} \quad (5.1.1.)$$

OSNOVNE VELIČINE	$P_k^+, Q_k^+, U_k^+, \theta_k^+, P_k^-, Q_k^-, U_k^-, \theta_k^-, P_k^0, Q_k^0, U_k^0, \theta_k^0$
IZVEDENE VELIČINE	$\widehat{J}_k^+ = \frac{P_k^+ - jQ_k^+}{U_k^+ e^{-j\theta_k^+}}, \widehat{J}_k^- = \frac{P_k^- - jQ_k^-}{U_k^- e^{-j\theta_k^-}}, \widehat{J}_k^0 = \frac{P_k^0 - jQ_k^0}{U_k^0 e^{-j\theta_k^0}}$

Tabela 5.1.1. Veličine u domenu simetričnih komponenti asocirane trofaznom DER [1].

Upravljačke strategije za DER-ove variraju zavisno o njihovim specifičnostima i tipovima. Neki parametri su unaprijed poznati ili definirani za određene tipove DER-ova, dok se ostali moraju izračunati. Ova raznolikost omogućava detaljnije analize i simulacije različitih tipova DER-ova u elektroenergetskom sistemu. Detaljnije istraživanje upravljačkih strategija u različitim tipovima DER-ova zahtjeva dodatnu analizu i nije obuhvaćeno u ovom kontekstu [1].

5.2. Modeli DER-ova za proračune tokova snaga aktivnih distributivnih mreža

Algoritam počinje inicijalizacijom postupka, odnosno učitavanjem podataka o mreži, numeracijom grana i čvorova po lejerima, setovanjem indeksa iteracija (h) na početnu vrijednost. Nakon inicijalizacije započinje sam iterativni postupak proračuna radnog režima mreže. Sam proračun se sprovodi u tri koraka, koji se ponavljaju iz iteracije u iteraciju, pri čemu se na kraju svake od iteracija vrši provjera zadovoljenosti kriterijuma konvergencije, ako prethodno deklarirani kriterijum nije zadovoljen, ulazi se u narednu iteraciju proračuna, odnosno ako je kriterijum zadovoljen, izlazi se iz proračuna [1].

1. Korak: Proračun injektiranih struja
2. Korak: Proračun struja po granama
3. Korak: Proračun napona u čvorovima

Konkretno, u kreiranom programskom proračunu zadati kriterijum konvergencije postavljen je na vrednost $\varepsilon = 0.000001$, a sam broj iteracija ograničen je na 50, u suprotnom, smatra se da proračun divergira.

6. REZULTATI IZ ANALIZE MIKROMREŽE

U ovom istraživanju, osnovni model predstavlja modifikiranu IEEE 13-bus testnu mrežu. U radu za modelovanje i proračun korišten je program ETAP, besplatna verzija 19.0.1, skinuta 15.06.2023. sa sajta koji će biti naveden u literaturi. Ova verzija ETAP-a je testirana od strane Microsoft SQL Server DBMS-a [6].

6.1. Optimizacija solarnih elektrana

U istraživanju je analizirano smanjenje gubitaka aktivne snage u mreži uz poštovanje naponskih ograničenja. Početno, solarna elektrana koristi 510 kW od ukupnog kapaciteta od 800 kW, a zatim postupno mijenja svoju snagu u koracima od 10% kako bi pronašla rješenje koje zadovoljava definirane kriterije. Optimalna vrijednost za P11 sa 510kW na 662KW, P22 sa 510kW na 458.8KW. Nakon optimizacije, snaga iz distributivne mreže se smanjila, uz blagu redukciju snage konvencionalnih generator. Povećanje snage solarnih elektrana smanjilo je ukupne gubitke aktivne snage za približno 3.1%. Ovaj rezultat naglašava važnost efikasnog upravljanja energijom za smanjenje gubitaka u mikromreži.

U tabeli 6.1.1. prikazani su ukupni gubici u mikromreži.

UKUPNI GUBICI PRIJE OPTIMIZACIJE	22.6kW
UKUPNI GUBICI NAKON OPTIMIZACIJE SOLARNE ELEKTRANE P11i P22	21.9kW

Tabela 6.1.1.. Ukupni gubici nakon optimizacije solarnih elektrana

6.2. Optimizacija baterije

U istraživanju su analizirani uticaj variranja snage baterije na performanse mikromreže s početnim kapacitetom baterije od 30 kW, gdje je inicijalna snaga baterije iznosila 15.12 kW. Kroz dva različita istraživanja, proučavani su efekti povećanja i smanjenja snage baterije u odnosu na tu početnu vrijednost. Povećanje snage baterije može imati različite uticaje na napone i ukupne gubitke u mikromreži, u zavisnosti od konfiguracije mreže. Povećanje snage baterije može pomoći u održavanju stabilnih naponskih prilika u mreži, smanjiti ukupne gubitke energije, poboljšati faktor snage i stabilnost napona, te bolje upravljati opterećenjem.. U tabeli 6.2.1. prikazani su ukupni gubici u mikromreži.

UKUPI GUBICI MIKROMREŽE NAKON OPTIMIZACIJE SOLARNE ELEKTRANE P11 i P22	21.9kW
UKUPI GUBICI MIKROMREŽE NAKON OPTIMIZACIJE BATERIJE	21.7kW

Tabela 6.2.1.. Ukupni gubici nakon optimizacije solarnih elektrana

U optimalnom scenariju za bateriju snage od 23 kW postignuti su najbolji rezultati. Gubici u mreži su smanjeni sa 21.9 kW na 21.7 kW, što je smanjenje od otprilike 1%. Takođe, napon na čvoru gdje je baterija povezana povećan je sa 96.16% na 96.25%, poboljšavajući stabilnost i kvalitet električne energije u mreži. Potreba za snagom iz distribucione mreže smanjena je sa 190.1 kVA na 187.9 kVA. Ostali resursi u mreži nisu doživjeli promjene. Ovaj optimalni scenario doprinosi unapređenju energetske efikasnosti i održivosti elektroenergetskih sistema.

6.3. Optimizacija kondenzatora

U okviru ovoga istraživanja, izvršena su detaljna ispitivanja uticaja variranja kapacitivnosti kondenzatora na performanse mikromreže. Kapacitivnost kondenzatora ima značajan uticaj na ukupne gubitke i naponske prilike u električnim sistemima. Ukupna kapacitivnost kondenzatora je 3x80kVAr, inicijalno stanje podrazumevalo je kapacitivnost kondenzatora od 3x40kVAr.

UKUPNI GUBICI U MIKROMREŽI NAKON OPTIMIZACIJE BATERIJE	21.7kW
UKUPI GUBICI MIKROMREŽE NAKON OPTIMIZACIJE KONDEZATORA CAPI	21.4kW

Tabela 6.3.1.. Ukupni gubici nakon optimizacije solarnih elektrana

U tabeli 6.3.1. prikazani su ukupni gubici u mikromreži. Analizom raspodijele tokova snaga po granama prije i nakon optimizacije kondenzatora, primjećuje se da postoji povećanje napona na čvorovima gdje su kondenzatori povezani, preciznije sa 96.25% na 67.06%, kao i sa 96.27% na 97.08%.

Kao zaključak, možemo utvrditi da povećanje kapaciteta kondenzatora u istraživanoj mikromreži, sa 40 kVAR na 56 kVAR za oba kondenzatora, pozitivno utiče na naponske profile čvorova u kojima su kondenzatori povezani. Kad su u pitanju ukupni gubici aktivne snage, uočeno je smanjenje sa 21.7 kW na 21.4 kW. Kapacitivni kondenzatori poboljšavaju faktor snage i smanjuju gubitke u mreži kompenzirajući reaktivnu snagu.

Također, održavaju stabilnost naponskih prilika. Važno je pažljivo odabrati kapacitivnost kako bi se postigao željeni efekt bez negativnih posljedica.

6.4. Optimizacija dizel generatora

U mikromreži se koristi dizel generator kapaciteta 750 kW, a kroz dvije studije provedene su promjene u njegovoj snazi. Prvo istraživanje povećalo je snagu za 10%, dostižući 660 kW, dok je drugo smanjilo snagu za 10% na 540 kW kako bi se istražili utjecaji na distribuciju energije, gubitke i stabilnost mikromreže, uz poštivanje naponskih ograničenja. Optimalno održavanje snage dizel generatora na 540 kW pokazalo se najboljim, budući da povećanje na 660 kW značajno povećava gubitke u mikromreži. Snaga od 540 kW rezultira smanjenjem ukupnih gubitaka na 21.3 kW i promjenama u tokovima snaga iz distributivne mreže. Potreba za snagom iz DM povećana sa 176.9 kW na 209 kW. Dodatno smanjenje snage za 10% dalje pogoršava ukupne gubitke i može dovesti do nestabilnosti sistema te promjene raspodjele snaga i naponskih prilika. Ova analiza naglašava ključnost optimizacije rada dizel generatora za postizanje energetski učinkovitih rezultata mikromreže.

6.5. Analiza rezultata

U tabeli 6.5.1. prikazani su sažeti rezultati dobijeni iz prethodnih odeljaka. Prvi red u tabeli prikazuje rezultate prije optimizacije. Prvo je izvršena optimizacija solarnih elektrana, a zatim optimizacija baterija. Nakon toga, usledilo je traženje optimalne kapacitivnosti kondenzatora, ispitivanje uticaja dizel generatora na mikromrežu, kao i analiza uticaja promjene pozicije regulacione sklopke. U tabeli 6.5.1. prikazani su ukupni gubici u mikromreži.

UKUPNI GUBICI U MIKROMREŽI PRIJE OPTIMIZACIJE	22.6 kW
UKUPI GUBICI MIKROMREŽE NAKON OPTIMIZACIJE SOLARNE ELEKTRANE P11 i P22	21.9 kW
UKUPI GUBICI MIKROMREŽE NAKON OPTIMIZACIJE BATERIJE	21.7 kW
UKUPI GUBICI MIKROMREŽE NAKON OPTIMIZACIJE KONDEZATORA CAPI	21.5 kW
UKUPI GUBICI MIKROMREŽE NAKON OPTIMIZACIJE KONDEZATORA CP2	21.4 kW
UKUPNI GUBICI MIKROMREŽE NAKON OPTIMIZACIJE DIZEL GENERATORA GENI	21.3 kW
UKUPNI GUBICI MIKROMREŽE NAKON PRONALAZENJA OPTIMALNE POZICIJE REGULACIONE SKLOPKE	21.3kW

Tabela 6.5.1. Poređenje rezultata nakon optimizacije

Dobijeni rezultati optimizacije jasno ukazuju na značajno smanjenje gubitaka snage, sa 22.6 kW na 20.3 kW, predstavljajući smanjenje od 5.75%. Nakon implementacije svih optimizacijskih koraka, ukupni gubici su smanjeni na 21.3 kW. U odnosu na ukupnu proizvodnju mikromreže od 2 MW, ovi gubici čine svega oko 1.065%, što se smatra izuzetno prihvatljivim i efikasnim postignućem. Trebalo bi naglasiti da ovo istraživanje, iako nije identifikovalo globalni optimum, uspešno je pronašlo niz lokalnih minimuma. Navedeni minimumi postignuti su za određene vrijednosti podešavanja solarnih elektrana, baterija, snage dizel generatora, kapacitivnosti kondenzatora i pozicije regulacione sklopke. Ciljno usmerenje prema minimizaciji gubitaka aktivne snage vodilo je ovo istraživanje, kao korak ka unapređenju i optimizaciji mikromreže.

7. ZAKLJUČAK

Optimizacija je ključna u mikromrežama za postizanje efikasnosti, gubici snage se smanjuju sa pažljivim pristupom svakom resursu. Lokalni optimumi se pronalaze uzimajući u obzir karakteristike i ograničenja resursa. U ovome istraživanju to je rezultiralo smanjenjem gubitaka snage za 5.75%, poboljšavajući ravnotežu između proizvodnje i potrošnje. Nakon svih koraka optimizacije, ukupni gubici padaju na 1.065% od ukupne proizvodnje, postičući visoku energetska efikasnost.

Održivost i pouzdanost sistema osiguravaju se pažljivim upravljanjem resursima, stvarajući održiva energetska rješenja za budućnost.

8. LITERATURA

- [1] L.Strezoski: *Modelovanje i fundamentalni proračuni aktivnih distributivnih mreža*; Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2021.
- [2] Goran Švenda, Ivana Krstić, Sonja Kanjuh, Milena Jajčanin, Dejan Vuletić, "VOLT VAR WATT OPTIMIZATION IN DISTRIBUTION NETWORK WITH HIGH PENETRATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES AND ELECTRIC VEHICLES", 2022.
- [3] Aleksandr Selakov, "Optimalno upravljanje mikromrežama u karakterističnim radnim režimima", Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija, 2017.
- [4] Angel A. Bayod-Ru' jula, "Future development of the electricity systems with distributed generation", dostupno na sajtu ACADEMIA pristup odobren : 24.07.2023.
- [5] Željko Popović, Analiza i upravljanje distributivnih mreža, predavanja, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad 2022.
- [6] Link: <https://etap.software.informer.com/download/>, pristup ostvaren: 15.06.2023.

Kratka biografija:



Ivana Košutić rođena je u Gacku 1999. god. Osnovne studije na Fakultetu tehničkih nauka na odsjeku elektroenergetski sistemi završila je 2022. kontakt: ivanakosutic13@gmail.com



Dr. Luka Strezoski rođen je u Novom Sadu 1990. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2017. god., a od 2020 je izabran za šefa katedre. Oblast interesovanja su elektroenergetski sistemi.