

Analiza uticaja obnovljivih izvora energije na elektroenergetski sistem sjeveroistočne Bosne

Mia Lešić Aganović*, Mugdin Agić*, Majda Tešanović**, Izudin Kapetanović**, Tatjana Konjić**

*Elektroprijenos – Elektroprenos BiH a.d. Banja Luka, Operativo područje Tuzla, Tuzla, BiH

**Univerzitet u Tuzli, Fakultet elektrotehnike, Tuzla, BiH

Rezime - Razmatrajući obaveze nametnute od strane Evropske zajednice, ali i klimatske promjene koje se više ne mogu zanemarivati, nužno je izvršiti pomak u paradigmi proizvodnje električne energije smanjenjem udjela konvencionalnih izvora energije, a povećanjem proizvodnje iz obnovljivih izvora. Elektroenergetski sistem Bosne i Hercegovine uglavnom se temelji na proizvodnji električne energije iz termo i hidroelektrana. U zadnjoj deceniji značajno je porastao interes za ulaganje u obnovljive izvore energije. Ovaj rad ima namjeru ukazati na ograničenja i potencijalne posljedice koje obnovljivi izvori energije mogu imati na elektroenergetski sistem, ali i predložiti rješenja efikasnije integracije obnovljivih izvora energije u elektroenergetski sistem koristeći model virtualnih elektrana simuliranjem različitih scenarija u prenosnoj mreži u sjeveroistočnom dijelu Bosne i Hercegovine korištenjem profesionalnog softvera.

Ključne reči – obnovljivi izvori energije, virtualne elektrane, energetska tranzicija, analiza opterećenja dalekovoda

I UVOD

Smanjenje proizvodnje električne energije iz konvencionalnih izvora poput fosilnih goriva nametnuto je kao prioritet, čime se mijenjaju osnovne karakteristike sistema gdje sistem evoluiraju prema geografski razučenoj proizvodnji i sve većem porastu potrošnje [1]. Postavlja se pitanje da li postojeći elektroenergetski sistem ima sposobnost odgovoriti na sve predstojeće izazove, ispunjavanje svoje osnovne uloge i održavanje svoje stabilnosti; sigurno i efikasno snabdijevanje električnom energijom svih korisnika. Osnovni zadatak prenosne mreže, kao dijela elektroenergetskog sistema, je prenos električne energije iz proizvodnih jedinica smještenih na različitim lokacijama do distributivnog sistema, koji zatim opskrbljuje energijom krajnje korisnike. Glavna razlika između prenosne i distributivne mreže odražava se u tokovima energije. Povećana integracija distribuirane proizvodnje, poput obnovljivih izvora energije, mijenja smjer toka energije u distributivnoj mreži s jednosmjernog na dvosmjernog, što dodatno komplikuje paradigmu upravljanja sistemom [2]. Međutim, promjene u vezi s tokovima energije nisu jedini izazovi s kojima se elektroenergetski sistem suočava instaliranjem neupravljivih obnovljivih izvora energije. Kvalitet električne energije ima veliki značaj, a smanjenje kvaliteta energije u smislu onečišćenja mreže može uzrokovati smanjenje efikasnosti, povećanje zagrijavanja opreme i u konačnici uzrokovati kvarove opreme u sistemu [3]. Obnovljivi izvori čija tehnologija se temelji na

invertorima, poput vjetroelektrana, solarnih elektrana, sistema jednosmjerne struje i baterijskih sistema, uvode nekoliko različitih onečišćavača u sistem, poput harmoničnih komponenti ili varijacija napona. Obaveza praćenja kvaliteta električne energije u prenosnom sistemu pripada operatorima prenosnog sistema svake države, u skladu sa nacionalnim mrežnim kodeksima. U Bosni i Hercegovini je primjetan trend povećanja instalisane snage iz obnovljivih izvora energije na svim naponskim nivoima s jako velikim interesima za izgradnjom i instaliranjem još više proizvodnih jedinica, dominantno fotonaponskih elektrana. Uvažavajući prethodno navedeno, uz ranije pomenute prioritete, nameće se još jedan, očuvanje integriteta prenosne mreže njenim racionalnim korištenjem, kontinuiranim ulaganjem i analitičkim pristupom u obradi podataka koji dostavljaju investitori u pogledu instaliranja novih proizvodnih kapaciteta s ciljem osiguranja kontinuiranje, čiste i stabilne električne energije svim krajnjim korisnicima.

U ovom radu prikazani su rezultati simulacija različitih scenarija u realnoj prenosnoj mreži u sjeveroistočnoj Bosni, za slučajeve prihvatanja različitih količina proizvedene snage iz obnovljivih izvora energije. S obzirom na trenutno stanje opterećenja u sistemu, prikazane su moguće količine proizvedene električne energije iz obnovljivih izvora koje će sistem u budućnosti moći prihvatiti.

II ELEKTROENERGETSKI SISTEM SJEVEROISTOČNE BOSNE

Prenos električne energije u Bosni i Hercegovini, kao posebna elektroprivredna djelatnost, oblikovan je pedesetih godina prošlog stoljeća. Posebna kompanija za prenos električne energije osnovana je 1953. godina sa sjedištem u Sarajevu i njena osnovna djelatnost bila je uz prenos električne energije i projektovanje, izgradnja, održavanje i razvoj prenosne mreže u Bosni i Hercegovini [4]. Elektroprenos-Elektroprijenos BiH se, teritorijalno i funkcionalno gledano, sastoji od četiri operativna područja: Banja Luka, Mostar, Sarajevo i Tuzla [5].

Elektroenergetski sistem sjeveroistočne Bosne sastoji se od proizvodnih jedinica, prenosne mreže 400/220/110 kV, distributivne mreže 35/10/0,4 kV i fabričke, željezničke i rudarske mreže nazivnog napona 6 kV. Proizvodne jedinice obuhvataju termoelektrane (TE), hidroelektrane (HE), termoelektoranu na koksni gas (TEKG) i fotonaponske elektrane (FNE) povezane s distribucijskom mrežom, kako je prikazano na Slici 1. Termoelektrane u sjeveroistočnoj Bosni uključuju TE Tuzla s instaliranom snagom od 723 MW i godišnjom proizvodnjom od približno 3.100 GWh, TE Ugljevik s instaliranom snagom od 300 MW i godišnjom proizvodnjom od

na osnovu kojeg bi se izradili detaljni planovi i odredile potrebne akcije za provedbu. Također, investicije koje treba izvršiti od strane operatora prenosne mreže trebale bi pratiti integraciju obnovljivih izvora, jer treba paziti da se izbjegne prekomjerno dimenzioniranje ili nedostatna izgradnja mreže kako bi se prilagodila novim proizvodnim postrojenjima. Trenutno, prenosna mreža u Bosni i Hercegovini je podopterećena, većina prenosnih vodova je opterećena ispod svoje prirodne snage, posebno na 220 i 400 kV naponskom nivou. Prirodna snaga dalekovoda je svojstvo dalekovoda na nivou koje se gubici u prenosnoj mreži mogu smatrati zanemarivima. Opterećenje dalekovoda ispod prirodne snage uzrokuje prenapone u sistemu zbog viška reaktivne energije, dok veća opterećenja uzrokuju pad napona, uzrokujući probleme u kvaliteti isporučene električne energije uz dodatni toplinski stres na vodičima. Realno je očekivati da će prihvatanje dodatno proizvedene električne energije dovesti do dodatnog toplinskog stresa na vodičima.

Postojeća prenosna mreža izgrađena je uzimajući u obzir postavljanje velikih proizvodnih jedinica u središtima prenosne mreže, koja su na vrlo visokom naponu i dobro povezana s ostatkom mreže. Ovaj koncept osiguravao je stalnu proizvodnju prema centrima potrošnje i dovoljne kapacitete za prenos električne energije. Otvaranje tržišta električne energije i prihvatanje obnovljivih izvora na prenosnoj mreži donijelo je značajne promjene u strukturi proizvodnje električne energije.

Zbog svoje prirodne lokacije, 60% površine Bosne i Hercegovine ima značajan solarni potencijal u rasponu od 1.200-1.400 kWh/kWp godišnje. Sjeveroistočna Bosna ima solarni potencijal u rasponu od 1200-1350 kWh/kWp [13]. Budući da Bosna i Hercegovina ima značajan potencijal za korištenje obnovljive energije, investitori iz cijele Bosne i Hercegovine žele iskoristiti priliku za ulaganje u izvore obnovljive energije. Potvrda toga je vidljiva iz Registra podnesenih zahtjeva za priključenje na prenosnu mrežu. U decembru 2023. godine podneseni su zahtjevi za priključenje 3.978 MW vjetroelektrana i 9.685 MW fotonaponskih elektrana [14].

U skladu s dijelom 4.1. Mrežnog kodeksa [12], bilansiranje novih proizvodnih jedinica vrši se na osnovu važećih uslova za priključenje na prenosnu mrežu i izjave korisnika o prihvaćanju tih uslova i potvrde entitetske institucije da je proizvodna jedinica unutar maksimalne moguće prihvatljive snage s obzirom na mogućnosti regulacije sistema. Do maja 2022. godine na snazi je bila Odluka o odobrenju maksimalne moguće snage prihvata iz neupravljivih obnovljivih izvora energije, s ograničenjima od 460 MW za vjetroelektrane i 400 MW za fotonaponske elektrane. Nakon ukidanja tih ograničenja, podneseno je stotine zahtjeva za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora.

Unatoč poništenju Odluke o odobrenju maksimalne moguće prihvatljive snage iz obnovljivih izvora energije, Državna regulatorna agencija za električnu energiju (DERK) zahtijevala je analitički pristup u obradi podataka koje investitori dostavljaju tokom pripreme Indikativnog plana razvoja proizvodnje od strane Operatora nezavisnog sistema (NOS), u pogledu određivanja realne dinamike izgradnje i puštanja u rad postrojenja, kao i razmatranja uvođenja dodatnih kriterija za balansiranje snage u skladu s Mrežnim kodom. Zbog ovog zahtjeva, u Indikativnom planu razvoja proizvodnje za razdoblje

od 2024. do 2033. godine tretirano je samo 769,4 MW vjetroenergije i 312,206 MW solarnih kapaciteta. Ovaj razvojni plan predviđa puštanje u rad Bloka 7 TE Tuzla, ali i nijednu vjetroelektranu ili fotonaponsku elektranu na području sjeveroistočne Bosne [6]. Većina planiranih fotonaponskih elektrana predviđena je za izgradnju u Hercegovini, zbog velikog solarnog potencijala. To je doprinijelo ostvarenju 80 priključaka na distributivnu mrežu i još 116 koji čekaju puštanje u rad. Pregledom Registra podnesenih zahtjeva za priključenje na prenosnu mrežu i podacima od elektroprivrednih društava i općina, primjećuje se da je za izgradnju planirano nekoliko fotonaponskih postrojenja u sjeveroistočnoj Bosni:

- Banovići: fotonaponska elektrana s instaliranom snagom od 8,8 MW i projektiranom godišnjom proizvodnjom od 12,5 GWh,
- Živinice: osam fotonaponskih elektrana s projektiranom godišnjom proizvodnjom od 60 MWh,
- Gračanica: projektni zadatak za fotonaponsku elektranu snage 2x25 MW dostavljen je korisniku,
- Deling 1: korisniku izdati uslovi za priključenje fotonaponske elektrane 2x29,75 MW,
- Jezero Modrac i Snježnica: planirana izgradnja plutajućih fotonaponskih elektrana od strane elektroprivredne kompanije.

Sa poništenjem Odluke o odobrenju maksimalne moguće prihvatljive snage iz neupravljivih obnovljivih izvora energije, više ne postoji ograničenja za priključenje novih neupravljivih obnovljivih izvora energije u smislu regulacije sistema. Međutim, postoje drugi problemi s kojima se sistem suočava, a koji trebaju biti dalje razmotreni.

V VIRTUALNE ELEKTRANE – MOGUĆE RJEŠENJE

Virtualna elektrana (eng. Virtual Power Plant, VPP) je mreža decentraliziranih, srednjih proizvodnih jedinica električne energije, kao i fleksibilnih potrošača električne energije i sistema za skladištenje. Ove izvore energije mogu činiti tri osnovne forme [15]:

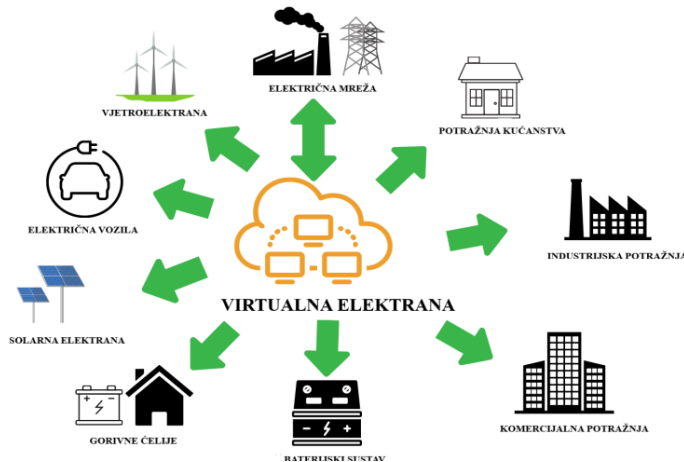
- male i srednje proizvodne jedinice električne energije, poput vjetroelektrana i solarnih parkova,
- fleksibilni potrošači električne energije su korisnici energije koji posjeduju energetske resurse s inherentnom fleksibilnošću koja se može koristiti kroz odgovor na potražnju,
- fleksibilni sistemi za skladištenje energije, poput baterijskih skladišta.

Virtualne elektrane predstavljaju sistem u kojem se neupravljiva distribuirana proizvodnja i fleksibilna potražnja mogu uspješno balansirati i optimizirati [16]. Virtualne elektrane ne moraju se sastojati od samo jednog određenog izvora energije, već mogu biti kombinacija sva tri, kako je prikazano na Slici 2:

- fotonaponski solarni sistemi,
- vjetroelektrane,
- hidroelektrane.

Osim navedenog, dijelovi virtualne elektrane mogu biti i elektrane na biogas i biomasu, te male elektrane s gasnim ili dizel turbinama. Cilj virtualne elektrane je povezati različite izvore

energije u jedinstvenu cjelinu. To može obuhvatiti sve, od solarnih i vjetroelektrana do energetskih resursa i jedinica za skladištenje energije. Ova mreža distribuiranih energetskih jedinica povezana je jednom centraliziranom platformom. Ta platforma se koristi za praćenje, koordinaciju i upravljanje energetskim resursima virtualne elektrane u jednom centralnom upravljačkom sistemu. To osigurava da korisnici i potrošači električne energije mogu dobiti optimalnu energiju u bilo kojem trenutku kako bi obavljali niz operacija koristeći virtualnu elektranu. Jako važna komponenta virtualne elektrane su i komunikacijske tehnologije i infrastruktura koje služe u svrhu upravljanja energijom i potrošnjom.



Slika 2. Agregirane jedinice unutar virtualne elektrane [18]

U zavisnosti od toga koji su subjekti uključeni u planiranje i vođenje virtualnom elektranom, četiri osnovna cilja se mogu identificirati u radu virtualnih elektrana. Ekonomski, tehnički i ekološki su najvažniji aspekti rada ovakvog sistema, dok je četvrti kombinacija prethodno navedenih [17]. U ekonomskom smislu, funkcija cilja je minimiziranje ukupnih troškova uvažavajući i najmanji uticaj na mrežu i ovo je osobina koju koriste i vlasnici distribuirane proizvodnje i operateri. Ograničavajući faktor ovog cilja su fizičke osobine i ograničenja mreže. S tehničkog aspekta, poboljšavaju se performanse mreže. U ovom smislu, cilj je minimiziranje gubitaka i poboljšanje naponskih prilika u mreži bez razmatranja troškova resursa ili prihoda. Ovo je osobina kojom se uglavnom bave operateri distributivnog sistema. Ekološki cilj je važan bez obzira na ekonomsku, odnosno tehničku komponentu cilja, jer se bazira isključivo na potrebi za očuvanjem životne sredine i smanjenjem emisije stakleničkih plinova. Ovu osobinu u potpunosti podržavaju regulatori sistema.

Postoji veliki potencijal za proizvodnju energije putem virtualnih elektrana u sjeveroistočnoj Bosni i potrebna su brza rješenja nadležnih institucija na pravnim okvirima kako bi se mogli formirati pravni subjekti koji bi aktivirali virtualne elektrane i stvorile mrežu proizvođača (domaćinstava, kompanije itd.) na nivou distribucije. Na ovaj bi se način kapacitet proizvodnje u okviru konzuma trafostanice kompenzirao sa prenosnom mrežom na koju bi se mogle instalirati fotonaponske elektrane. Ovaj vid

proizvodnje električne energije mogao bi dostići najveću ekspanziju od svih proizvođača električne energije, prvenstveno zbog jednostavnosti i niskih cijena umrežavanja, te instalacije mini vjetroelektrana, mini hidroturbina i fotonaponskih panela, uključujući sisteme za skladištenje električne energije. Promjena paradigme elektroenergetskog sistema je nužna kako bi ga učinila održivim u novim radnim uslovima.

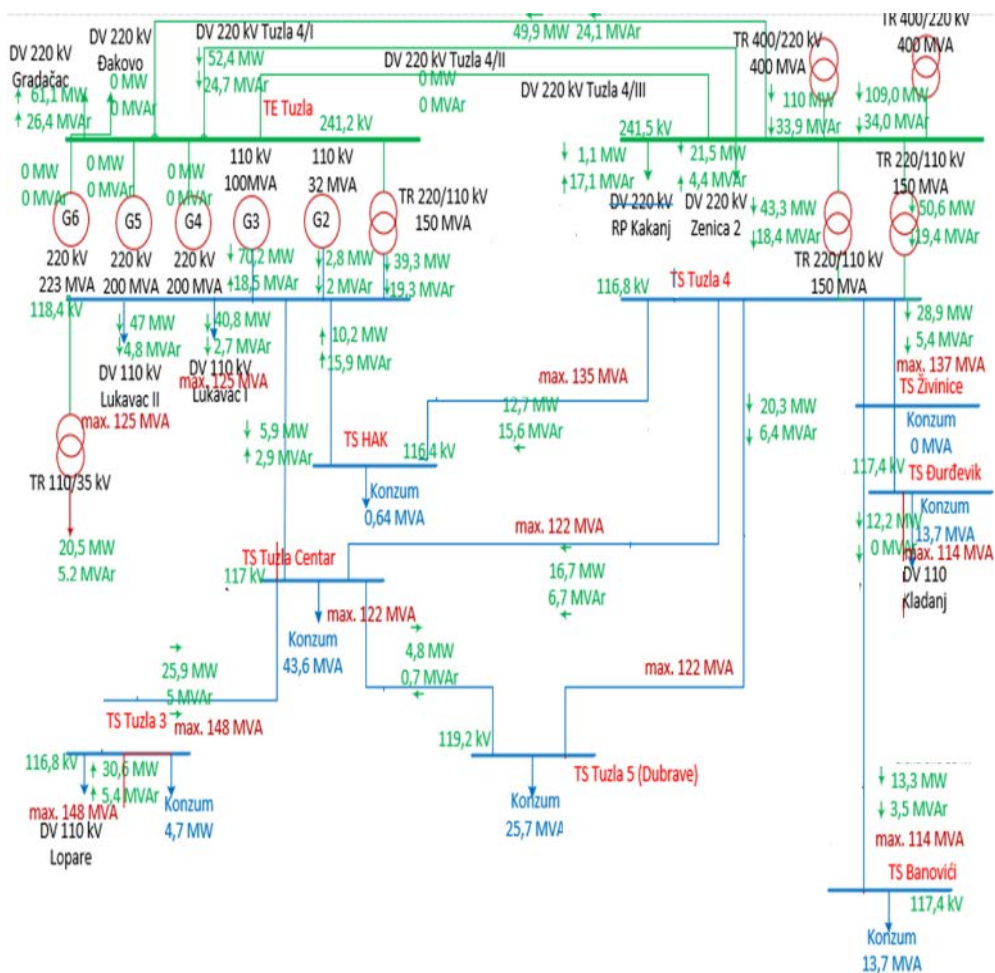
V MOGUĆNOSTI MODERNIZACIJE UNUTAR PROIZVODNIH CENTARA SJEVEROISTOČNE BOSNE

Zbog obaveza nametnutih od strane Evropske zajednice za napuštanje konvencionalnih izvora, elektrana poput termoelektrana, modelirani su i analizirani različiti scenariji za prenosnu mrežu sjeveroistočne Bosne. Analiziran je stvarni slučaj iz decembra 2023. godine, kada je bio u pogonu samo generator G3 u TE Tuzla. Generatori G4, G5 i G6 nisu bili u pogonu.

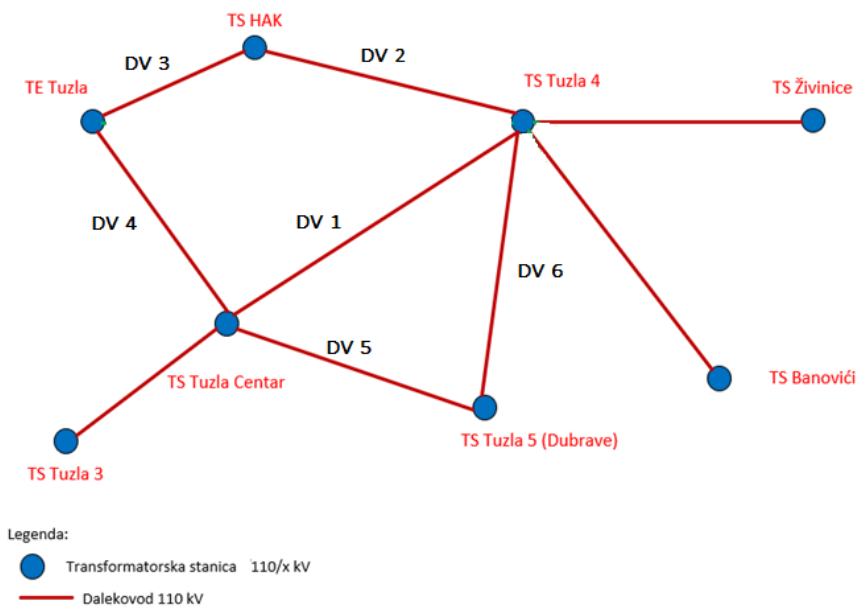
Budući da se vjetroelektrane i hidroelektrane ne planiraju instalirati u elektroenergetski sistem sjeveroistočne Bosne, analizirani prijedlog obrađuje fotonaponske elektrane, virtualne elektrane i jednu elektranu na koksni gas koja bi poboljšala energetski bilans analiziranog područja. Različiti scenariji analizirani su za energetske prstenove u prenosnoj mreži sjeveroistočne Bosne. Analiza je izvedena pri optimalnom opterećenju potrošača, u zimskom periodu 2023. godine, za dio 110 kV prenosne mreže.

Razmatrana su tri različita energetska prstena, te su za svaki 110 kV prsten analizirani različiti scenariji energetskog bilansa, kao što su slučajevi kada dođe do kvara na jednom od dalekovoda, što se manifestuje prekidom ili ispadom. Slika 3 prikazuje detaljan energetski bilans za dio elektroenergetske mreže sjeveroistočne Bosne koja se sastoji od objekata 400, 220 i 110 kV s naznačenim kapacitetima opterećenja dalekovoda, prema zaštitnim i kontrolnim uređajima. Simulacija je izvršena za 110 kV mrežu, na osnovu stvarnih napona u 110 kV mreži, koja je za ovaj dio mreže podopterećena i ima više vrijednosti napona koje su u ovom slučaju 125 kV u večernjim satima. U okviru 110 kV prstenova ova analiza razmatra proizvodne jedinice u distributivnoj mreži 35/10 kV i prenosnoj mreži 110 kV. Razmatrane proizvodne jedinice su fotonaponske i virtualne elektrane.

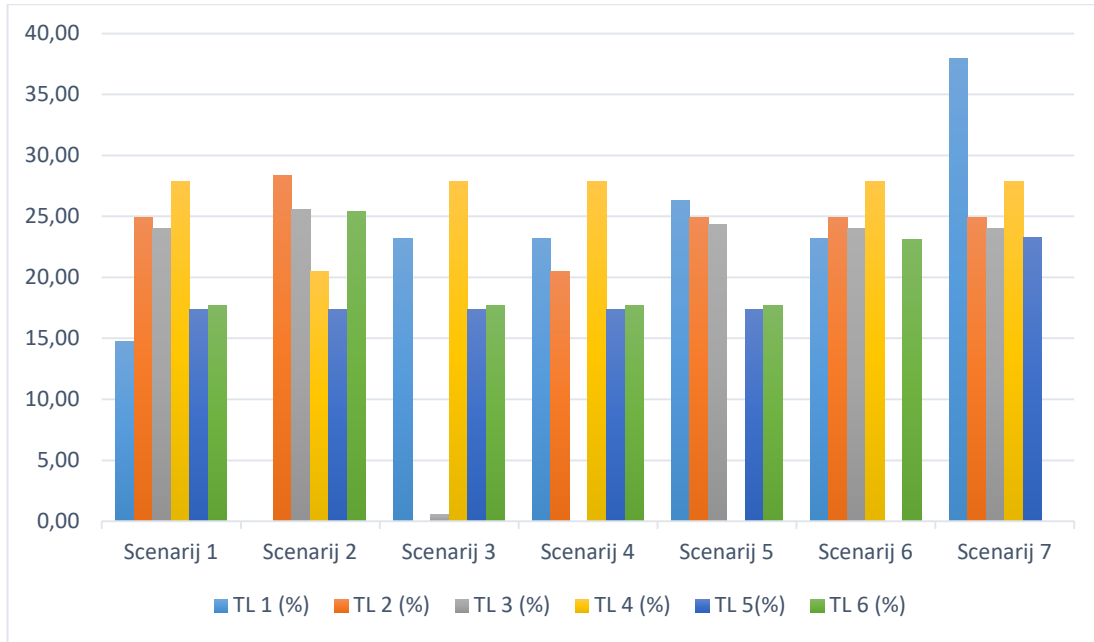
Na Slici 4 prikazan je prvi razmatrani energetski prsten (prsten 1) koji obuhvata transformatorske stanice (TS) TE Tuzla – Tuzla Centar – Tuzla 4 – Hak. Razmatrani su slučajevi neraspoloživosti svakog pojedinačnog dalekovoda, te tokovi snaga u preostalom dijelu mreže. Maksimalna opterećenja po dalekovodima iznose 122 MVA (za dalekovode 1, 4, 5 i 6), te 135 MVA (za dalekovode 2 i 3). Slika 5 daje grafički prikaz bilansa snage u prvom analiziranom prstenu sistema s priključenim virtualnim elektranama, fotonaponskim elektranama i jednim generatorom termoelektrane i elektrane na koksni gas. Termoelektrana i elektrane na koksni gas su neophodne kako bi se ostvarila kontinuirana opskrba energijom za predstavljeni dio sistema. Isti scenariji izvršeni su za sistem s priključenim novim proizvodnim jedinicama kao za stvarnu prenosnu mrežu.



Slika 3. Detaljan energetska bilans za analizirani dio 110 kV mreže



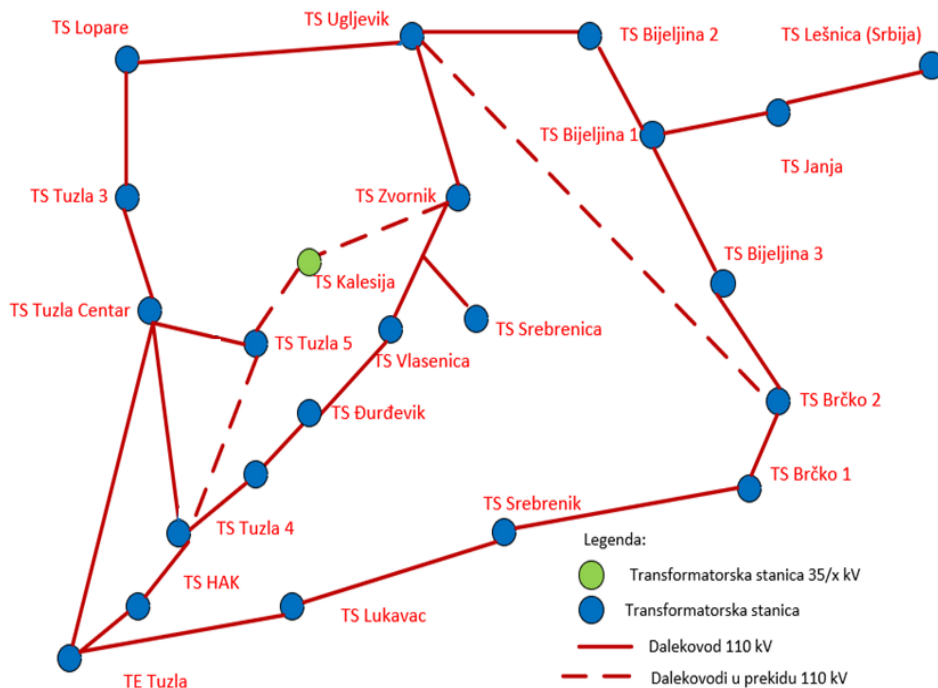
Slika 4. Energetski prsten 1



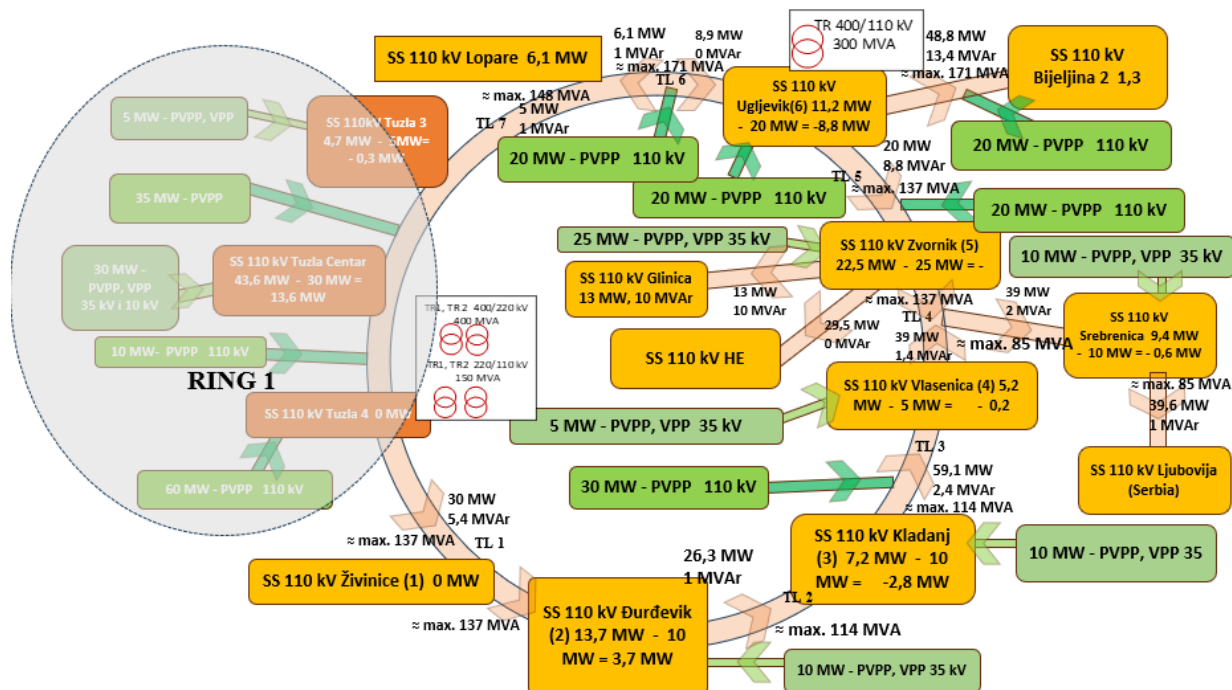
Slika 6. Procentualna opterećenja dalekovoda s priključenim VPP, FNE, TEKG i TE – prsten 1

Različiti scenariji koji uključuju ispad dalekovoda izvedeni su za druge prstene u analiziranoj prenosnoj mreži sjeveroistočne Bosne. Na Slici 7, prikazan je energetska prsten 2 kojeg sačinjavaju sljedeće transformatorske stanice Ugljevik – Zvornik – Vlasenica – Kladanj – Đurđevik – Živinice – Tuzla Centar –

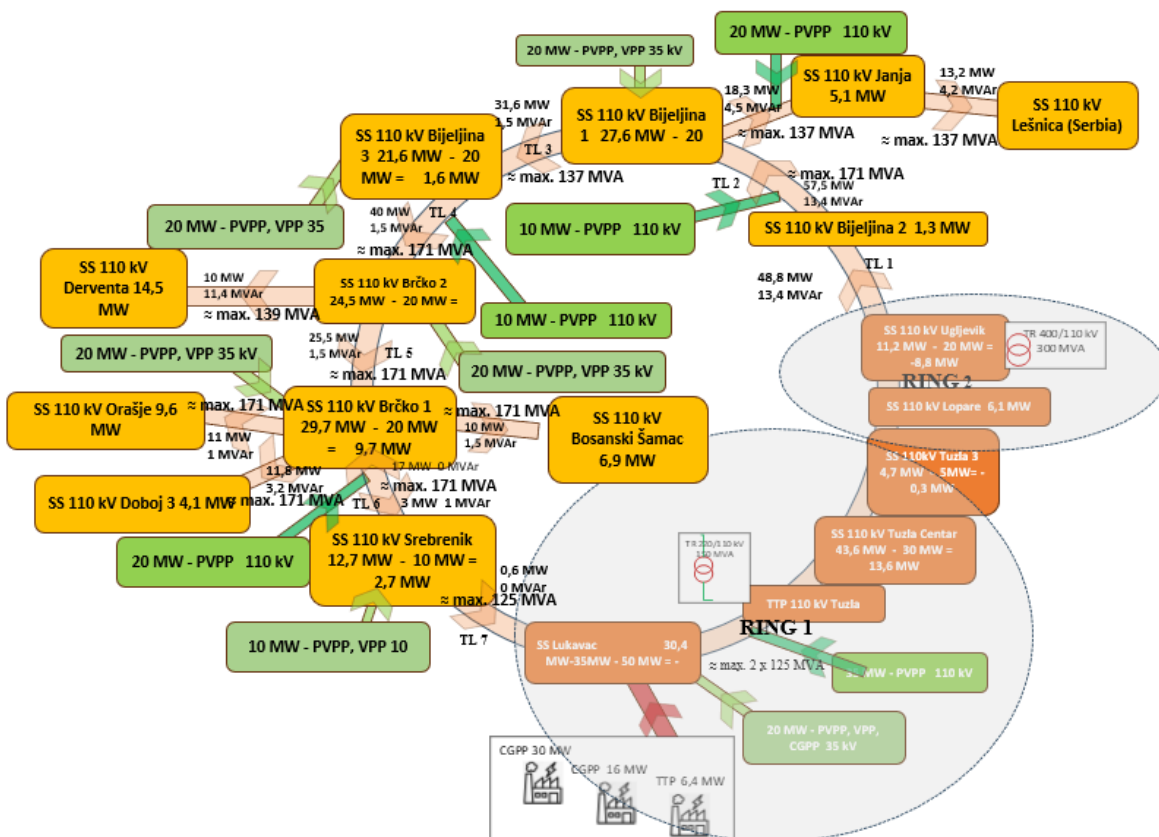
Tuzla 3 – Tuzla 4 – Lopare i energetska prsten 3 koji podrazumijeva transformatorske stanice Bijeljina 1 – Bijeljina 2 – Ugljevik – Lopare – Tuzla 3 – Tuzla Centar – Tuzla 4 – Lukavac – Srebrenik – Brčko 1 – Brčko 2 – Bijeljina 3. Sva tri razmatrana energetska prstena su međusobno povezana.



Slika 7. Energetska prsten 2 i 3



Slika 8. Bilans snage za energetski prsten 2 s priključenim VPP, FNE, TEKG i TE



Slika 9. Bilans snage za energetski prsten 3 s priključenim VPP, FNE, TEKG i TE

Rezultati analize daju iste zaključke kao u prikazanom slučaju za prsten 1. Bilans snaga za energetski prsten 2 i 3, kada su svi dalekovodi u pogonu, prikazani su na Slikama 8 i 9. Razmatrani

su slučajevi sa priključenim obnovljivim izvorima energije tipa fotonaponskih i virtualnih elektrana. Prilikom isključivanja svakog pojedinačnog dalekovoda i za ova dva energetska prstena

dobijaju se rezultati analogni prvom slučaju. Dalekovodi ostaju opterećeni ispod maksimalne snage.

Prema rezultatima izvedenih simulacija, raspoloživost prenosne mreže za nove proizvodne kapacitete, u slučaju ograničene proizvodnje iz TE Tuzla, iznosi 725 MW za regiju sjeveroistočne Bosne. S rastom potražnje za potrošnjom u budućnosti, pojavit će se proizvodni kapaciteti s ciljem proizvodnje dovoljne energije za krajnje korisnike. Tabela 4 prikazuje ukupne kapacitete proizvodnje energije za svaki analizirani energetski prsten i na naponskim nivoima prenosne mreže, kao i distributivne mreže u sjeveroistočnoj Bosni. Na osnovu prikazanih podataka, ova regija ima veliki potencijal za korištenje obnovljivih izvora energije za proizvodnju električne energije i grijanja. Svaki scenarij razmatra upravljivu konvencionalnu proizvodnu jedinicu za kontinuiranu proizvodnju električne energije. Rekonstrukcija i nadogradnja prenosne mreže mogla bi povećati dostupne kapacitete za proizvodnju električne energije iz fotonaponskih i virtualnih elektrana, uz smanjenje proizvodnje iz termoelektrane i rast potražnje. Da bi se to osiguralo, potrebno je da institucije što prije usvoje strategije za razvoj i instalaciju fotonaponskih i virtualnih elektrana, mini i srednjih vjetroelektrana i hidroelektrana te skladišnih sistema kako bi se osigurala sigurna, stabilna i kontinuirana opskrba svim krajnjim korisnicima. Sjeveroistočna Bosna ima sve potrebne resurse za samoodrživost.

Tabela 4. Mogućnosti prihvata proizvodnje električne energije iz FNE i VPP u Sjeveroistočnoj Bosni

Energetski prsten	Proizvodne jedinice u mreži 35/10/0,4 kV	Proizvodne jedinice u mreži 110 kV (MW)	Ukupno (MW)
1	80 MW	225 MW	305 MW
2	150 MW	90 MW	240 MW
3	100 MW	80 MW	180 MW
Ukupno moguća prihvatljiva proizvodnja (MW)			725

VII ZAKLJUČAK

Elektroenergetski sistem Bosne i Hercegovine uglavnom se oslanja na proizvodnju električne energije iz hidroelektrana i termoelektrana, izgrađen tokom druge polovice prošlog vijeka. Integracija obnovljivih izvora energije je nužna, ali nije jednostavan proces. Može se smatrati da, iako je u pitanju čista energija, takvi izvori energije uvode određeno onečišćenje u sistem, posebno u prijenosnu mrežu, u pogledu uslova napona, opterećenja vodova i stabilnosti sistema. Integracija obnovljivih izvora energije zahtijeva značajno uključivanje svih sudionika u procesu u smislu donošenja odgovarajućih planova i pravnih akata, odabira optimalnih rješenja, sve s ciljem sigurne i stabilne opskrbe električnom energijom krajnjih korisnika.

Analizirani model sistema ukazuje na značajnu mogućnost integracije obnovljivih izvora u sjeveroistočnoj Bosni poput fotonaponskih i virtualnih elektrana, uz određena ograničenja. Veća integracija obnovljivih izvora implicirala bi povećanje potrošnje u trenutno podopterećenoj mreži, ali i zadržavanje određenog nivoa konvencionalnih proizvodnih jedinica ili skladišnih sistema koji bi osigurali stalnu dostavu električne

energije svim korisnicima. Nprekidna ulaganja u razvoj prijenosne mreže su nužna kako bi se tranzicija prema obnovljivim izvorima provela bez posljedica po stabilnost i sigurnost sistema.

LITERATURA/REFERENCES

- Nielsen, S., Ostergaard, P.A., Sperling, K. Renewable energy transition, transmission system impacts and regional development: a mismatch between national planning and local development, Energy, Bol. 278, patr A, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127925>
- Willis, L. Introduction to transmission and distribution networks: T&D infrastructure, reliability and engineering, regulation and planning, Woodhead Publishing Series in Energy, pp. 3-38, 2013. <https://doi.org/10.1533/9780857097378.1.3>
- Farhoodnea, M., Mohamed, A., Shareef, H., Zayandehroodi, H. Power Quality Impact on Renewable Energy based Generators and Electric Vehicles on Distribution System, Procedia Technology, Vol. 11, pp. 11-17, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.protecy.2013.12.156>
- Elektroprijenos-Elektroprenos BiH a.d. Banja Luka. Istorija. <https://www.elprenos.ba/BS/IstorijaBS.aspx> [pistupljeno 21.12.2023]
- Dugoročni plan razvoja prenosne mreže za period 2021-2030, Elektroprenos-Elektroprijenos BiH a.d. Banja Luka, 2021. <https://www.nosbih.ba/files/2021/03/20210311-lat-Dugorocni-plan-razvoja-prenosne-mreze-2021-2030-Knjiga-I.pdf> [pistupljeno 21.12.2023]
- NOSBiH 2023. Indikativni plan razvoja proizvodnje za period 2024-2033. <https://www.nosbih.ba/files/2023/09/20230914-lat-Indikativni-plan-razvoja-proizvodnje-2024-2033.pdf> [pistupljeno 21.12.2023]
- Žikić, S., Paunković, Dž., Jovanović, V., Stevanović, M. Obnovljivi izvori energije: ekonomski, ekološki i društveni doprinosi konceptu održivog razvoja, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 19, No. 3-4, pp. 225-231, 2017.
- Albadi, M. Solar PV power intermitting and it's impacts on power system: an overview, The Journal of Engineering Research [TJER], Vol. 16, No. 2, pp. 142-150, 2019. <https://doi.org/10.24200/tjer.vol16iss2pp142-150>
- Liang, X., Chai, H., Ravishankar, J. Analytical methods of voltage stability in renewable dominated power systems: a review, Electricity, Vol. 3, No. 1, pp 75-107, 2022. <https://doi.org/10.3390/electricity3010006>
- Simović, V., Žerajić, M. Procena uticaja integracije solarnih elektrana na niskom i srednjem naponu na smanjenje vrednosti gubitaka aktivne snage u prenosnom sistemu, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 24, No. 1, pp. 81-83, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-1.81S>
- Pravilnik o priključku, Službeni glasnik BiH broj 95/08, 79/10, 60/12 i 83/17. https://www.elprenos.ba/Prikljucak/Pravilnik_o_prikljucku_23_10_2008_fi_nal_b.pdf [pistupljeno 28.12.2023]
- Mrežni kodeks, Službeni glasnik BiH broj 78/21. <http://sluzbenilist.ba/page/akt/wQj8ohz4nh78h77RUQpgo> [pistupljeno 28.12.2023]
- Đuliman, A., Aganović, S., Kušljugić, M., Miljević, D. Integracija distribuiranih energetskih resursa, RESET, 2022. <https://reset.ba/wp-content/uploads/2022/07/Integracija-distribuiranih-energetskih-resursa-II-1.pdf> [pistupljeno 8.01.2023]
- Registar podnijetih zahtjeva korisnika za priključak na prenosnu mrežu naponskog nivoa 110 kV, 220 kV i 400 kV, Elektroprenos-Elektroprijenos BiH a.d. Banja Luka, 2023. <https://www.elprenos.ba/Prikljucak/Registar%20pdnijetih%20zahtjeva%20a%20prikljucak%2022.12.15.pdf> [prisupljeno 28.12.2023]
- Liu, J., Hu, H., Yu, S.S., Trinh, H. Virtual power plant with renewable energy sources and energy storage systems for sustainable power grid formation, control techniques and demand response, Energies, Vol. 16, No. 9, pp. 3705, 2023. <https://doi.org/10.3390/en16093705>
- Kehinde, K., Maryam, R.S., Faisa, O.H. Virtual power plant (VPP), concept and components to promote power system decentralisation, Global Scientific Journals, Vol. 9, No. 12, pp. 157-164, 2021. https://www.globalscientificjournal.com/researchpaper/VIRTUAL_POWER_PLANT_VPP_CONCEPT_AND_COMPONENTS_TO_PROMOTE_POWER_SYSTEM_DECENTRALISATION.pdf [prisupljeno 28.12.2023]
- Roobehani, M.M., Heydarian-Forushani, E., Hasanzadeh, S., Ben Elghali, S. Virtual Power Plant Operational Strategies: Model, Markets,

Optimization, Challenges and Opportunities, Sustainability, Vol. 14, No. 19, pp. 12486, 2022. <https://doi.org/10.3390/su141912486>

- [18] Nikonowicz, L., Milewski, J. Virtual Power Plants-general review: structure, application and optimization, Journal of Power Technologies, Vol. 92, No. 3, pp. 135-149, 2012. https://www.researchgate.net/publication/255989307_Virtual_Power_Plants-general_review_structure_application_and_optimization [prisupljeno 28.12.2023]

AUTORI/AUTHORS

Mia Lešić Aganović - MA elektrotehnike, Elektroprijenos - Elektroprenos BiH a.d. Banja Luka, mia.lesic@elprenos.ba, ORCID

[0000-0002-2627-542X](https://orcid.org/0000-0002-2627-542X)

Mr. Sc. Mugdin Agić - dipl. ing. el., Elektroprijenos - Elektroprenos BiH a.d. Banja Luka, mugdin.agic@elprenos.ba, ORCID [0009-0009-4421-9067](https://orcid.org/0009-0009-4421-9067)

Dr. Sc. Majda Tešanović - vanr. prof., Univerzitet u Tuzli, Fakultet elektrotehnike, majda.tesanovic@untz.ba, ORCID [0000-0003-1510-8615](https://orcid.org/0000-0003-1510-8615)

Dr. Sc. Izudin Kapetanović - emeritus, Univerzitet u Tuzli, Fakultet elektrotehnike, izudin.kapetanovic@untz.ba

Dr. Sc. Tatjana Konjić - red. prof. Univerzitet u Tuzli, Fakultet elektrotehnike, tatjana.konjic@untz.ba, ORCID [0000-0002-6229-4548](https://orcid.org/0000-0002-6229-4548)

Impact Analysis of Renewable Energy Sources on Power System of North-eastern Bosnia

Abstract – Considering obligations imposed by the European Community, especially in terms of climate change, it is necessary to make a shift in the electricity production paradigm by reducing the share of conventional energy sources and increasing production from renewable sources. The electricity system of Bosnia and Herzegovina is mainly based on the production of electricity from thermal and hydro power plants. In the last decade, interest in investing in renewable energy sources has grown significantly. Aim of this paper is to point out the limitations and potential consequences that renewable energy sources can have on the power system, but also to propose solutions for more efficient integration of renewable energy sources into the power system using the model of virtual power plants by simulating different scenarios in the transmission network in the north-eastern part of Bosnia and Herzegovina using professional software.

Index Terms – Renewable energy resources, Virtual power plant, Energy transition, Transmission line load analysis