

Mile Međugorac
JP Elektroprivreda Hrvatske zajednice Herceg Bosne d.d. Mostar
mile.medugorac@ephzhh.ba

Drago Bago
JP Elektroprivreda Hrvatske zajednice Herceg Bosne d.d. Mostar
drago.bago@ephzhh.ba

Nikola Drlijo
JP Elektroprivreda Hrvatske zajednice Herceg Bosne d.d. Mostar
nikola.drlijo@ephzhh.ba

Tomislav Capuder
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva
tomislav.capuder@fer.hr

Tomislav Antić
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva
tomislav.antic@fer.hr

ANALIZA UTJECAJA KORISNIKA S INTEGRIRANIM DISTRIBUIRANIM ELEKTROENERGETSKIM ELEMENTIMA NA DISTRIBUCIJSKU MREŽU – STUDIJA SLUČAJA U BOSNI I HERCEGOVINI

SAŽETAK

U 2023. godini u Federaciji Bosne i Hercegovine su usvojeni novi Zakoni koji promiču korisnike s integriranim distribuiranim elektroenergetskim elementima. Kompletiranjem svih potrebnih podzakonskih akata se očekuje dodatno povećanje integracije i to prvenstveno prosumera (aktivnih kupaca) s fotonaponskim elektranama (FNE). Već sada se industrijski korisnici, ali i kućanstva, sve više odlučuju na izgradnju FNE za potrebe vlastite potrošnje. Neki od tih korisnika će biti u mogućnosti postati aktivni kupci. Također, Bosna i Hercegovina uvodi odluke čiji je cilj povećati udio korisnika električnih vozila (EV). U radu će biti opisan utjecaj karakterističnih korisnika mreže na niskom naponu na elektroenergetsku distribucijsku mrežu.

Cljučne riječi: Distribuirani elementi, DlgSILENT PowerFactory, Prosumeri (aktivni kupci), električna vozila, sunčane elektrane

ANALYSIS OF THE IMPACT OF USERS WITH INTEGRATED DISTRIBUTED POWER ELEMENTS ON THE DISTRIBUTION NETWORK - CASE STUDY IN BOSNIA AND HERZEGOVINA

SUMMARY

In year 2023, new laws were adopted in the Federation of Bosnia and Herzegovina that promote users with integrated distributed power elements. Completion of all necessary by-laws is expected to further increase integration, primarily prosumers with photovoltaic power plants (PVPP). Already now, industrial users, as well as households, are increasingly deciding to build PVPP for their own consumption. Some of these users will be able to become prosumers. Also, Bosnia and Herzegovina is introducing decisions aimed to increase the share of electric vehicle (EV) users. The paper will describe the influence of characteristic low-voltage network users on the power distribution network.

Key words: Distributed Elements, DlgSILENT PowerFactory, Prosumers, Electric vehicles, Photovoltaic power plants

1. UVOD

U 2023. godini u Federaciji Bosne i Hercegovine su usvojeni novi Zakon o električnoj energiji (Službene novine FBiH, broj 60/23) i novi Zakon o korištenju obnovljivih izvora energije i učinkovite kogeneracije (Službene novine FBiH, broj 82/23). Prema Zakonu o korištenju OIEiUK, korištenjem obnovljivih izvora energije ostvaruju se:

- a) ciljevi Federacije utvrđeni strateškim i planskim dokumentima Federacije u oblasti energetike,
- b) podrška realizaciji obaveza koje je Bosna i Hercegovina preuzela potpisivanjem i ratificiranjem međunarodnih ugovora.

Obavezujući ciljevi za korištenje OIE će biti utvrđeni u okviru planskog dokumenta za energiju i klimu Federacije. Ovaj Zakon predstavlja ulogu **Prosumera** koja označava krajnjeg kupca električne energije koji proizvodi električnu energiju iz OIEiEK za dio svojih potreba iz vlastitog energetskog postrojenja s mogućnošću predaje viška proizvedene električne energije u mrežu u vidu **energetskog ili monetarnog kredita**.

Energetski kredit označava pozitivnu razliku predanog viška proizvedene električne energije prosumera (aktivnih kupaca) i preuzete električne energije iz mreže tijekom obračunskog perioda. Monetarni kredit označava monetarnu vrijednost razlike predanog viška proizvedene električne energije aktivnih kupaca u odnosu na količine preuzete iz mreže tijekom obračunskog perioda, sukladno shemi opskrbe **neto obračuna**.

Neto obračun označava shemu opskrbe unutar koje se novčana vrijednost viška električne energije isporučene u mrežu od strane aktivnih kupaca može koristiti kasnije za nadoknadu troškova električne energije preuzete u razdoblju kada vlastita proizvodnja nije dovoljna i gdje je višak vrijednosti energije niži od maloprodajne cijene električne energije. Pored neto obračuna, važan je i termin **neto mjerenja**. Neto mjerenje označava shemu opskrbe unutar koje se višak električne energije koju aktivni kupac isporuči u mrežu tijekom obračunskog razdoblja prenosi u naredno obračunsko razdoblje u vidu energetskog kredita koji se koristi za umanjenje potrošnje električne energije u razdobljima kada je potrošnja električne energije aktivnih kupaca veća od proizvodnje za vlastite potrebe.

Kompletiranjem svih potrebnih podzakonskih akata se očekuje dodatno povećanje integracije distribuiranih elektroenergetskih elemenata i to prvenstveno fotonaponskih elektrana (FNE). Posebno važni podzakonski akti su Pravilnik o proizvodnji električne energije za vlastite potrebe (proizvodnja prosumera) (Službene novine FBiH, broj 30/24) i Uredba o kvotama za obnovljive izvore energije i učinkovitu kogeneraciju (Službene novine FBiH, broj 61/24).

Usvajanje navedenih zakona i podzakonskih akata može dovesti do značajnije integracije aktivnih kupaca.

Nadalje, u veljači 2024. je Vijeće ministara BiH, na prijedlog Ministarstva vanjske trgovine i ekonomskih odnosa, donijelo odluku o privremenoj suspenziji i privremenom smanjenju carinskih stopa pri uvozu novih električnih i hibridnih automobila do 31.12.2024. (Službeni glasnik BiH, broj 18/24). Donošenjem odluke do kraja 2024. godine **ukinute su carine na uvoz električnih automobila u BiH** i značajno smanjene carinske stope s 15 % na 5 % za uvoz hibridnih automobila, čime su se osigurali određeni preduvjeti za veći uvoz ovih vozila u BiH i rast prihoda zbog povećanog broja uvezenih vozila [1]. Odluka je u veljači 2025. produžena do **31.12.2025** [2].

U kolovozu 2024., Vlada Federacije BiH je na prijedlog Federalnog ministarstva energije, rudarstva i industrije donijela odluke o usvajanju dva programa utroška sredstava tekućih transfera i drugih tekućih rashoda iz Federalnog budžeta za 2024. godinu, namijenjenih ovom ministarstvu za subvencioniranje kupovine električnih automobila, u ukupnom iznosu od 1.000.000 KM [3].

Radi se o konkretnim finansijskim mjerama koje među ostalim promiču dekarbonizaciju te smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima.

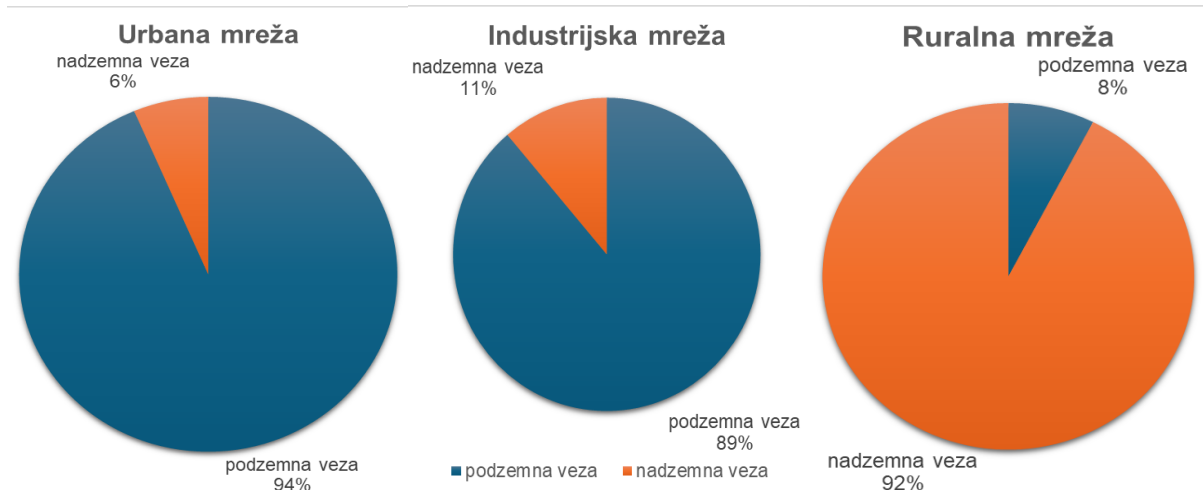
U radu će biti promatrani korisnici mreže koji već koriste EV i/ili FNE za vlastite potrebe na niskom naponu. Promatrano je šest (6) različitih tipova korisnika: kućanstvo koje koristi EV, kućanstvo koje koristi FNE, kućanstvo koje koristi i EV i FNE, tvrtka koja koristi EV, tvrtka koja koristi FNE, tvrtka koja koristi i EV i FNE. Proces započinje identificiranjem odnosno mapiranjem tipova korisnika. Dalje će biti izrađen vjerodostojan model mreže, korištenjem alata DlgSILENT PowerFactory (DPF). Podatci o potrošnji korisnika će biti stvarni podatci iz Automatic Meter Reading/Automatic Meter Management (AMR/AMM) sustava u vlasništvu nadležnog operatora distribucijskog sustava (ODS). Rezultati će grafički i tablično prikazati utjecaj krajnjih kupaca na strujno-naponske prilike u lokalnoj mreži.

2. DigSILENT PowerFactory MODELI MREŽA

U programskom paketu DPF modelirane su tri karakteristične distribucijske mreže: urbana, industrijska i ruralna.

Urbana mreža napaja se preko transformatorske stanice TS_1 110/35/10 kV. Distributivni transformatori urbane mreže (SN/NN) su povezani podzemnom kabelskom vezom. Nadzemni dio (6%) se odnosi na NN mrežu koja je izgrađena samonosivim kabelskim snopom, odnosno nadzemnim kabelskim vodom. Industrijska mreža napaja se preko transformatorske stanice TS_2 110/35/10 kV. Industrijska SN mreža povezana je kombinacijom podzemne i nadzemne veze gdje dominira podzemna veza. Ruralna mreža napaja se preko TS_3 110/35/10 kV i gotovo se sve SN/NN transformatorske stanice napajaju preko nadzemne veze. Prema Mrežnim pravilima [4], transformatorske stanice 110/x kV moraju imati automatsku regulaciju napona sa stupnjevima regulacije od $\pm 10 \times 1,5\%$, dok transformatorske stanice u srednjenaponskoj mreži moraju imati regulaciju napona u beznaponskom stanju u rasponu od $\pm 2 \times 2,5\%$. Srednjenaponske transformatorske stanice su modelirane tako da imaju 5 pozicija regulacijske preklopke. Pozicija 1 predstavlja minimalni broj zavoja na primaru (odnosno najviši napon na sekundaru), pozicija 3 predstavlja neutralni položaj i pozicija 5 predstavlja maksimalni broj zavoja na primaru (odnosno najniži napon na sekundaru). Vrijednosti regulacijske preklopke kod SN TS su pretpostavljene.

Slika 1. prikazuje omjer podzemne i nadzemne veze za tri karakteristična tipa mreža. U tablici I. navedene su i instalirane snage transformatora modelirane u programskom alatu DPF.



Slika 1. Omjer podzemne i nadzemne veze za modelirane mreže

Tablica I. Podatci o instaliranim snagama transformatora

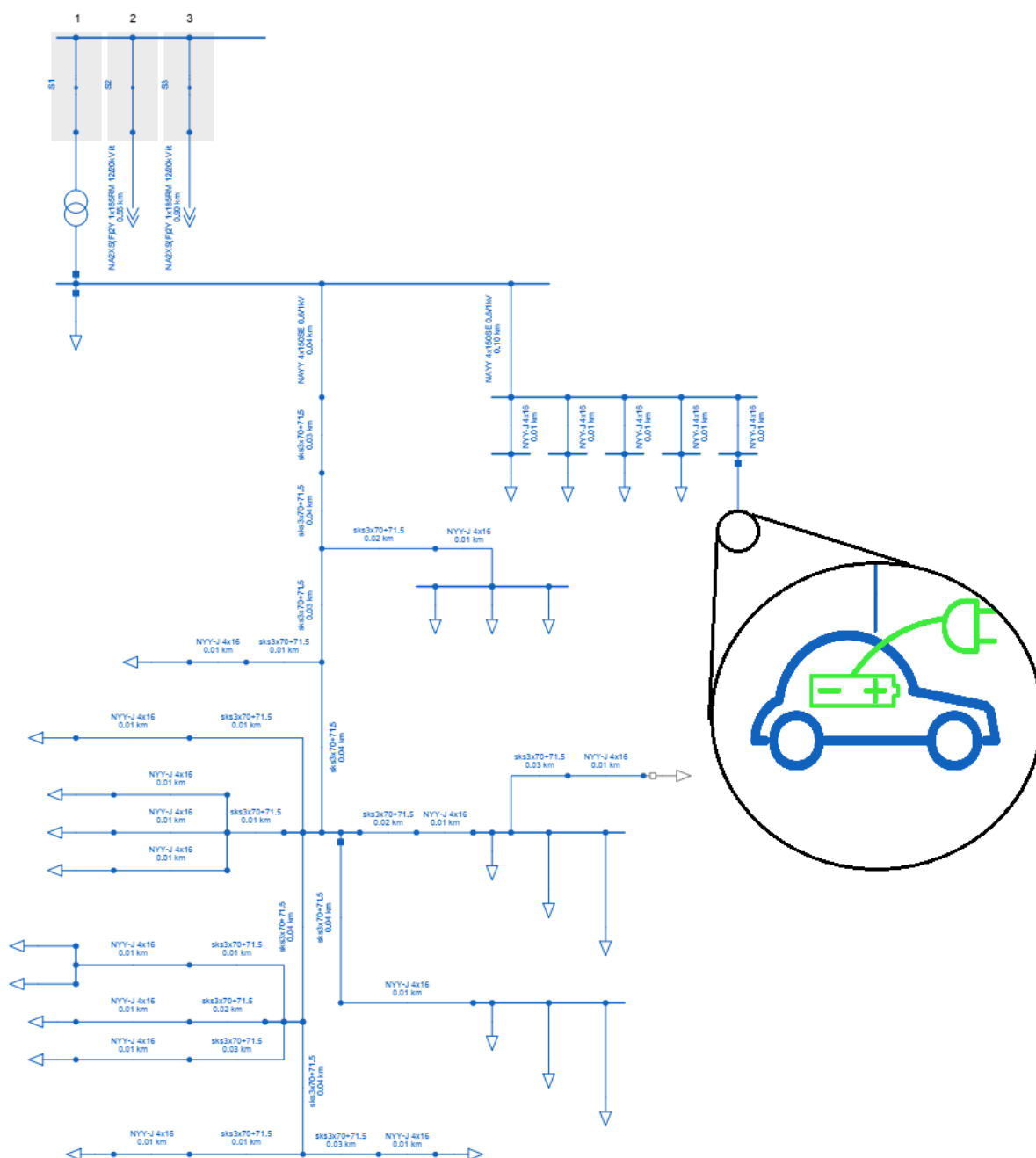
Tip mreže	Instalirana snaga transformatora [kVA]	Količina transformatorskih stanica	Pozicija regulacijske preklopke	Nazivni napon [kV]
Urbana mreža	630	4	3	10/0,4
Industrijska mreža	1000	4	3	10/0,4
	630	8	3	
	400	5	3	
	160	1	3	
	100	1	3	
Ruralna mreža	250	2	3	10/0,4
	160	18	3	
	100	7	3	
	50	1	3	

Promatrano je šest (6) različitih tipova korisnika:

- 1) kućanstvo koje koristi EV
- 2) kućanstvo koje koristi FNE
- 3) kućanstvo koje koristi i EV i FNE
- 4) tvrtka koja koristi EV
- 5) tvrtka koja koristi FNE
- 6) tvrtka koja koristi i EV i FNE.

Korisnici 1), 2) i 4) su dio urbane mreže. Korisnik 3) se napaja iz ruralne mreže. Korisnici 5) i 6) napajaju se preko industrijske mreže.

Programski alat DPF je vodeća softverska aplikacija za analizu elektroenergetskog sustava koja pokriva cijeli raspon funkcionalnosti od standardnih značajki do visoko sofisticiranih i naprednih analiza [5]. Za analizu utjecaja korisnika s integriranim distributivnim elektroenergetskim elementima na distribucijsku mrežu upotrijebljena je kvazidinamička simulacija i to je jedna od naprednih analiza. Kvazidinamička simulacija je niz izračuna tokova opterećenja koji se izvode u određenim vremenskim intervalima, kako bi se procijenilo stanje mreže tijekom određenog razdoblja. Razmatrano razdoblje za kvazidinamičku simulaciju je 2024. godina od 1.1.2024. g., 00:00h do 1.1.2025. g., 00:00h. Za razmatrano razdoblje unesena je potrošnja za korisnike mreža, a to su stvarni podatci iz AMR/AMM sustava u vlasništvu nadležnog ODS-a. AMR omogućuje izbor vremenskog razmaka za podatke o potrošnji - konkretno za ovu analizu korišten je vremenski razmak od jednog sata zbog velike količine podataka. Slika 2. prikazuje dio modelirane NN mreže u programskom alatu DPF.

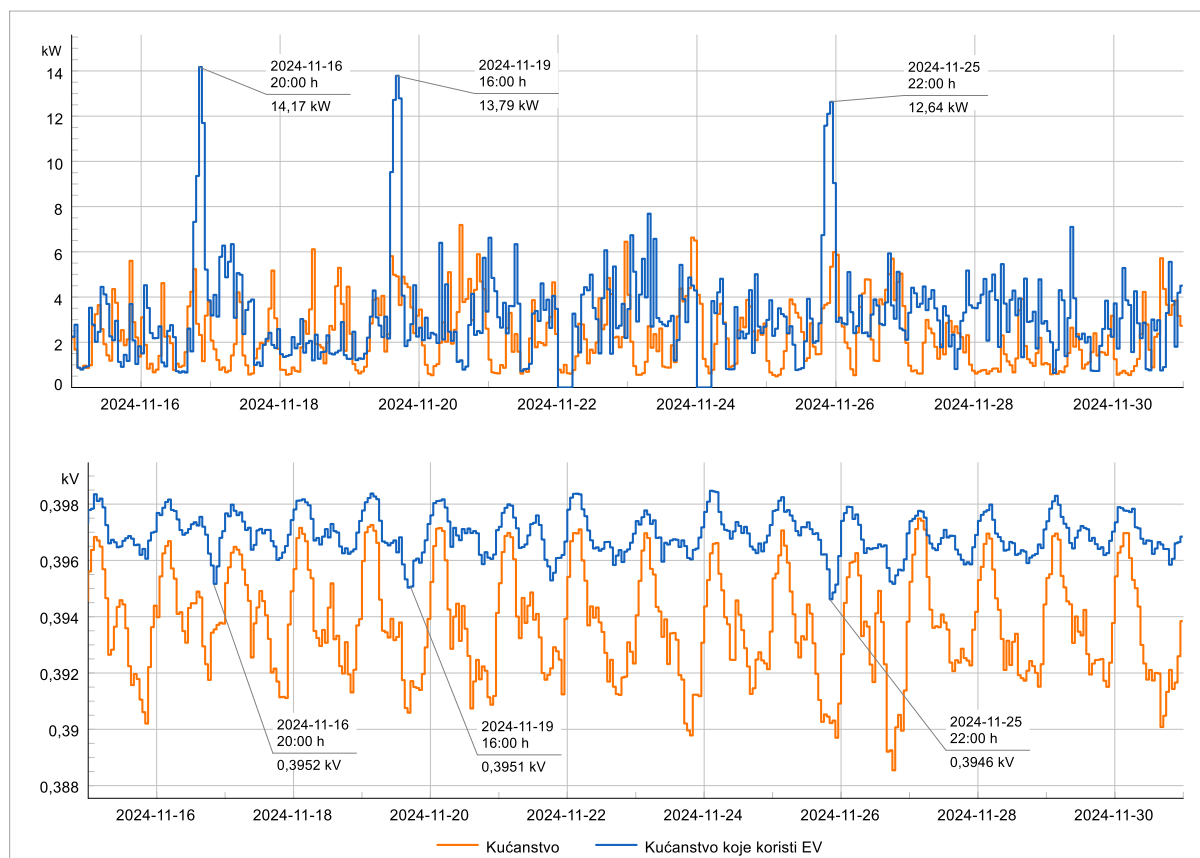


Slika 2. NN mreža modelirana u DPF

3. REZULTATI ANALIZA UTJECAJA KORISNIKA NA MREŽU

Za nasumično odabrano 14-dnevno razdoblje, uspoređene su krivulje potrošnje i napona za korisnike s integriranim distribuiranim elektroenergetskim elementima i za korisnike koji ne posjeduju integrirane distribuirane elektroenergetske elemente.

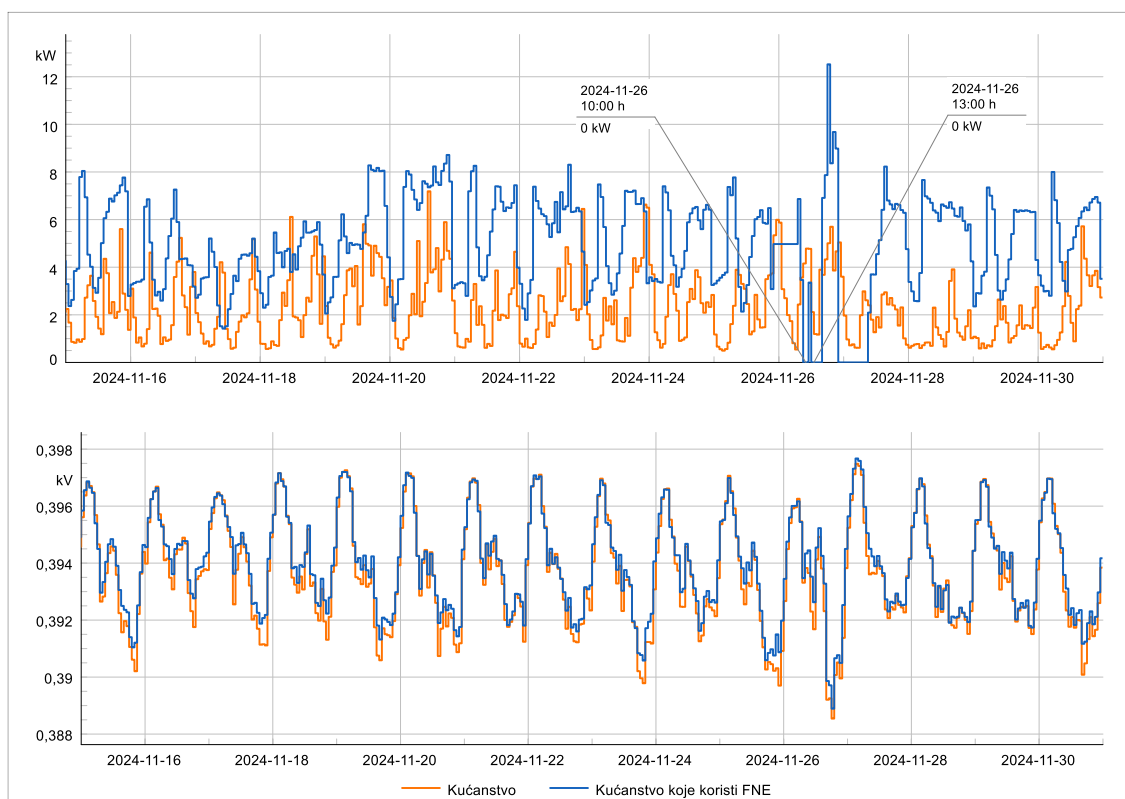
Slika 3. prikazuje usporedbu krivulja potrošnje za kućanstvo koje koristi EV i kućanstvo koje ne koristi EV.



Slika 3. Krivulja potrošnje i napona za kućanstvo s EV i kućanstvo bez EV

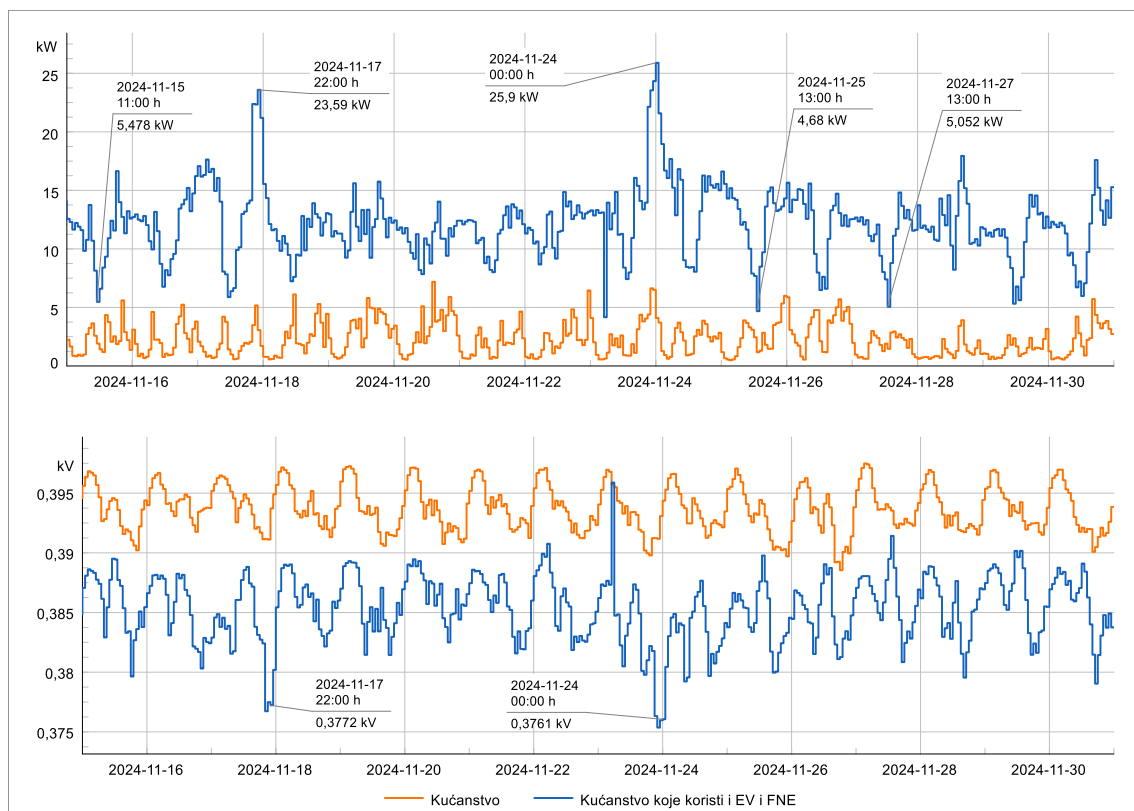
Krivulja potrošnje za kućanstvo koje koristi EV jasno prikazuje razliku u potrošnji u odnosu na kućanstvo koje ne koristi EV. Na Slici 3. se vide trenutci kada se punilo EV. **Radi se o „šiljcima“ odnosno kratkotrajnim skokovima potrošnje.** Prvi trenutak se odnosi na punjenje EV u večernjim satima (16.11., 19:00h – 21:00h), drugi trenutak se odnosi na punjenje EV krajem radnog dana (19.11., 15:00h – 17:00h) i treći trenutak se odnosi na punjenje EV ponovno u večernjim satima (25.11., 20:00h – 23:00h). Ako se promotre naponi za trenutke kad se EV punilo vidljivo je smanjenje napona u priključnoj točki korisnika mreže s porastom potrošnje. Radi se o manjoj oscilaciji napona u odnosu na nazivni napon budući da se radi o jedinom korisniku mreže na NN izvodu koji koristi EV. Naravno, veći broj korisnika s EV može dovesti do značajnijih oscilacija.

Slika 4. prikazuje usporedbu krivulja potrošnje i napona za kućanstvo koje koristi FNE i kućanstvo koje ne koristi FNE. Kućanstvo koje koristi FNE ima veću potrošnju u odnosu na kućanstvo koje ne koristi FNE te se može pretpostaviti da je razmjerno veća potrošnja utjecala na odluku o korištenju FNE za vlastite potrebe. Na slici 4. se ističe trenutak kada je snaga razmjenjena s mrežom bila nula (26.11., od 10:00h do 15:00h) odnosno proizvodnja iz FNE je zadovoljila potrošnju kućanstva ili je predala viška proizvedene energije u mrežu blokirana korištenjem uređaja za blokadu koji je potrebno ugraditi kod izvedbe FNE koje služe za pokrivanje vlastite potrošnje korisnika. Nisu primjetne oscilacije napona. **Međutim, uvođenjem i porastom broja aktivnih kupaca, ovakvi korisnici će biti u mogućnosti injektirati višak proizvodnje u mrežu i ujedno će se povećati broj takvih korisnika. Prema tome, nadležni ODS će morati paziti na promjenu toka energije kao i na moguće naponske oscilacije odnosno porast napona u točki priključenja.**



Slika 4. Krivulja potrošnje i napona za kućanstvo s FNE i kućanstvo bez FNE

Slika 5. prikazuje usporedbu krivulja potrošnje i napona za kućanstvo koje koristi i EV i FNE i kućanstvo koje ne koristi distribuirane elektroenergetske elemente.

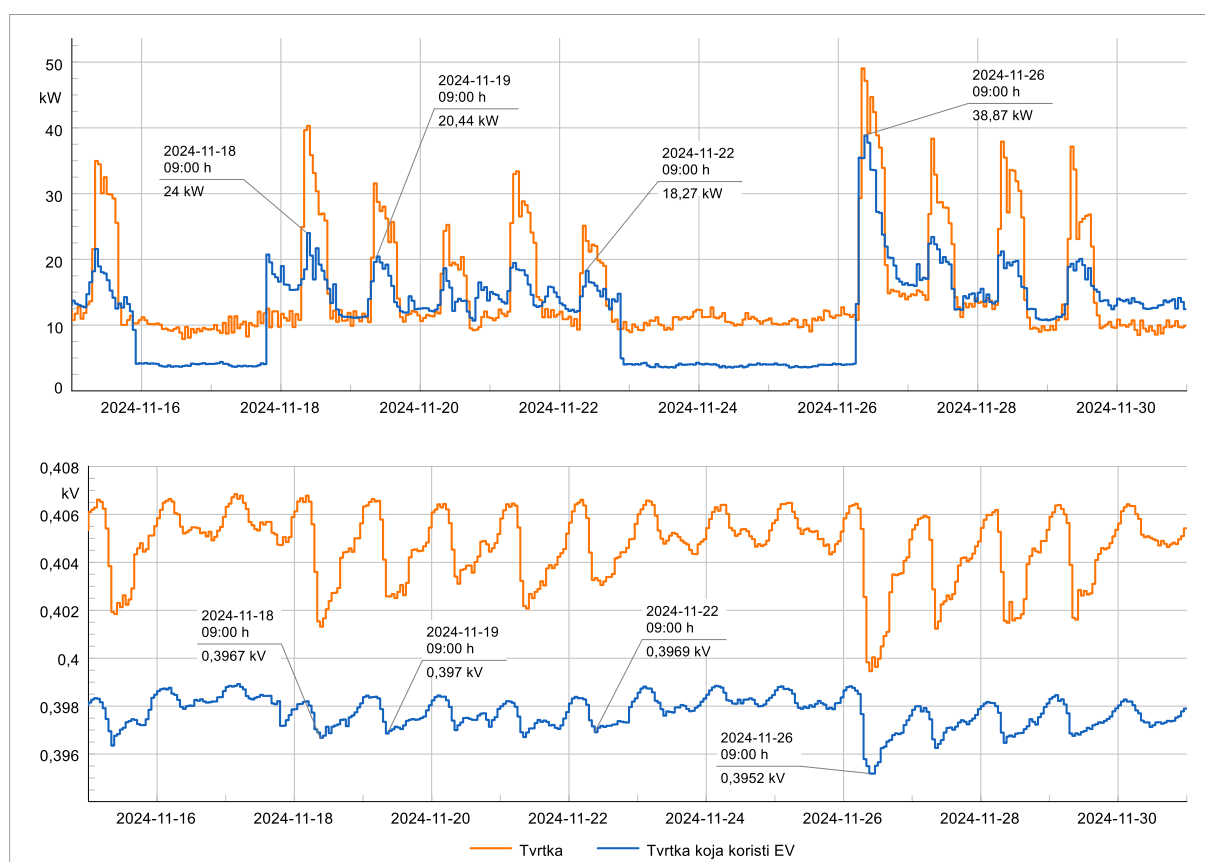


Slika 5. Krivulja potrošnje i napona za kućanstvo s EV i FNE i kućanstvo bez EV i FNE

Kao i kod prethodnog slučaja (kućanstvo s FNE) vidljiva je razmjerno veća potrošnja kućanstva koje koristi i EV i FNE i također se može pretpostaviti da je ista utjecala na odluku o korištenju FNE za vlastite potrebe. Na slici 5 se vide dva trenutka kada se punilo EV, a koja se odnose na punjenje EV u večernjim satima (od 17.11. 20:00h do 18.11. 1:00h i od 23.11. 21:00h do 24.11. 2:00h). Vidljive su značajnije oscilacije napona posebno kada se uzme u obzir da se i ovdje radi o jedinom korisniku mreže na pripadajućem NN izvodu s EV. Napon u točki priključenja pada na 0,376 kV, a vrijednost 0,36 kV je donja granica propisana Mrežnim pravilima. Punjenje EV se događa u večernjim satima kada nema proizvodnje iz FNE. Ukoliko bi se korisnik motivirao da puni EV za vrijeme dnevnih sati kada postoji proizvodnja iz FNE ili ako bi korisnik investirao u spremnik koji bi pohranjivao višak proizvodnje i omogućio punjenje po noći, smanjile bi se neželjene oscilacije napona.

Također, izdvojeni su dani 15.11., 25.11. i 27.11. za kućanstvo koje koristi i EV i FNE. Radi se o trenutcima kada je smanjena potrošnja u odnosu na usporedno kućanstvo što potvrđuje utjecaj FNE.

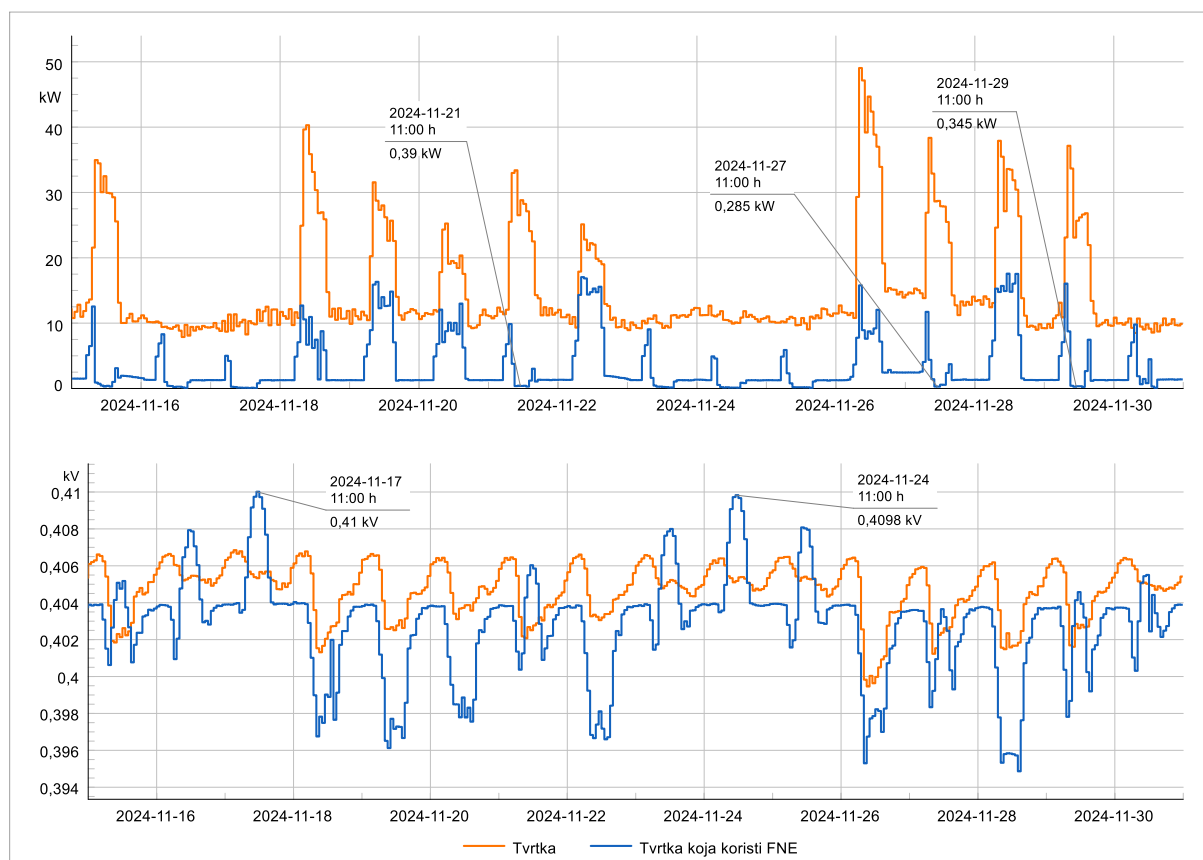
Očekivano je da tvrtke vikendom rade smanjenim kapacitetima što se potvrđuje s pet dnevnih vrhova na krivuljama potrošnje za sve tvrtke. Slika 6. prikazuje usporedbu krivulja potrošnje i napona za tvrtku koja koristi EV i tvrtku koja ne koristi EV.



Slika 6. Krivulja potrošnje i napona za tvrtku s EV i tvrtku bez EV

Tvrtka koja ne koristi EV je veći potrošač električne energije u odnosu na tvrtku koja koristi EV. Dani kada je smanjena potrošnja su subota i nedjelja kada tvrtka ne radi punim kapacitetima. Za četiri istaknuta dana na slici 6. se uočava povećana potrošnja u jutarnjim satima. **Budući da se vrh uvijek događa u jutarnjim satima oko 9:00h, pretpostavka je da se radi o početku punjenja EV.** Za razliku od kućanstava, ovdje se radi o dnevnom punjenju. Ako se promotre krivulje napona za četiri izdvojena trenutka napon se smanjuje kako potrošnja raste. Budući da se radi o korisnicima mreže koji su jedini na pripadajućem NN izvodu, ne događaju se značajnije promjene napona.

Slika 7. prikazuje usporedbu krivulja potrošnje i napona za tvrtku koja koristi FNE i tvrtku koje ne koristi FNE.

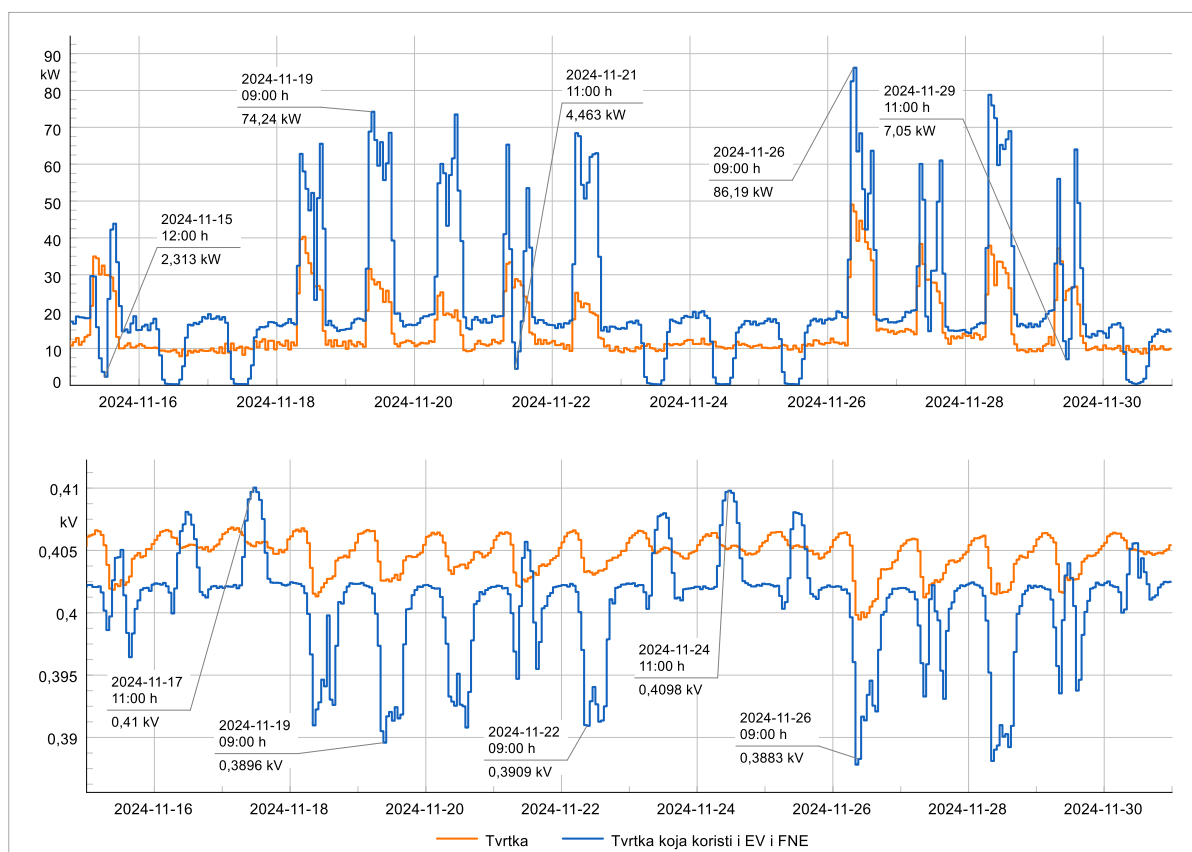


Slika 7. Krivulja potrošnje i napona za tvrtku s FNE i bez FNE

Pretpostavka je da će tvrtka koja koristi FNE imati vidljivo smanjenje potrošnje u dnevnim intervalima, što slika 7. potvrđuje. Ističu se tri trenutka kada je potrošnja bila minimalna oko 11:00h (21.11., 27.11. i 29.11.). **Primjetan je napon do 0,41 kV u točki priključenja kod tvrtke koja koristi FNE (0,42 kV je gornja granica propisana Mrežnim pravilima).** Izdvojeni trenutci se odnose na nedjelju (17.11. i 24.11.) oko 11:00h.

Slika 8. prikazuje usporedbu krivulja potrošnje i napona za tvrtku koja koristi i EV i FNE i tvrtke koja ne koristi distribuirani elektroenergetski element.

Tvrtka koja koristi i EV i FNE je veći potrošač u usporedbi s tvrtkom koja ne koristi distribuirani elektroenergetski element. **Primjećuju se oscilacije napona za tvrtku koja koristi i EV i FNE (od 0,3883 kV do 0,41 kV), čemu doprinose punjenje EV i proizvodnja FNE.** Za dane kada tvrtka radi smanjenim kapacitetima izdvojene su dvije nedjelje 17.11. i 24.11. oko 11:00h gdje je uočeno povećanje napona do 0,41 kV. Na slici 8. izdvojeni su dani 19.11., 22.11. i 26.11., svi se trenutci odnose na punjenje EV u jutarnjim satima. U trenucima kada se EV punilo potrošnja je rasla a napon se smanjivao. Izdvojeni su dani 15.11., 21.11. i 29.11. za tvrtku koja koristi i EV i FNE to su trenutci kada je smanjena potrošnja u odnosu na usporednu tvrtku što potvrđuje utjecaj FNE.



Slika 8. Krivulja potrošnje i napona za tvrtku s EV i FNE i tvrtku bez EV i FNE

4. ZAKLJUČAK

Donošenjem novog Zakona o obnovljivim izvorima energije i učinkovitoj kogeneraciji kao i potrebnih podzakonskih akata, stječu se uvjeti za povećanje povezivanja integriranih distribuiranih elektroenergetskih elemenata na mrežu Operatora distribucijskih sustava u Federaciji Bosne i Hercegovine.

Kućanstva i tvrtke se već sada odlučuju na izgradnju fotonaponskih elektrana za potrebe vlastite potrošnje. Usvajanjem regulative, takvi korisnici će biti u mogućnosti postati prosumeri (aktivni kupci) što im može donijeti povećanje prihoda. Sa stajališta ODS-a, neminovno će biti kontrolirati utjecaj takvih korisnika na mrežu kako ne bi došlo do neželjenih stanja u mreži.

Pored toga, odluke na razini države BiH olakšavaju privatnim i poslovnim korisnicima nabavu električnih vozila čije povećanje također ima značajan utjecaj na mrežu.

Rad se bavi analizom utjecaja korisnika mreže koji trenutno koriste EV i/ili FNE za potrebe vlastite potrošnje na elektroenergetsku distribucijsku mrežu.

Kod kućanstava i tvrtki koje koriste EV su primjetni „šiljci“ odnosno kratkotrajni skokovi potrošnje u trenucima pokretanja punjenja EV u odnosu na iste korisnike koji nemaju EV. Šiljci imaju utjecaj na naponske prilike odnosno pad napona. Budući da se još uvijek radi o razmjerno malom broju takvih korisnika po dubini mreže, ne događa se kršenje naponskih ograničenja propisanih Mrežnim pravilima (+5 %/-10 % na niskom naponu). Povećanje takvih korisnika može dovesti do kršenja naponskih ograničenja i ODS treba posebno na ovo obratiti pozornost.

Kod kućanstava i tvrtki koje koriste FNE za potrebe vlastite potrošnje je primjetno preuzimanje potrošnje odnosno nekorištenje električne energije iz mreže za potrebe zadovoljavanja vlastite potrošnje. Ukoliko korisnici koji posjeduju FNE za potrebe vlastite potrošnje u jednom trenutku postanu aktivni kupci, može se događati slanje viškova proizvodnje u mrežu ODS-a, odnosno porast napona u točki priključenja i šire.

Kod kućanstava koja koriste i EV i FNE primjećuje se početak punjenja EV u večernjim satima što nije slučaj kod tvrtki koje koriste i EV i FNE. Početak punjenja EV kod tvrtki je u jutarnjim satima odnosno povezan je s radnim vremenom uposlenika što doprinosi povećanju pet dnevnih „šiljaka“ potrošnje. Na trenutke punjenja EV-a odnosno usklađivanje s proizvodnjom FNE može se utjecati posebnim tarifama fleksibilnosti koje bi bile obostrano povoljne i za korisnike mreže i za ODS.

5. LITERATURA

- [1] Održana 39. sjednica Vijeća ministara BiH, s Interneta, https://www.vijeceministara.gov.ba/saopstenja/sjednice/saopstenja_sa_sjednica/default.aspx?id=42496&langTag=hr-HR, 11.2.2025.
- [2] Održana 70. sjednica Vijeća ministara BiH, s Interneta, https://www.vijeceministara.gov.ba/saopstenja/sjednice/saopstenja_sa_sjednica/default.aspx?id=44552&langTag=hr-HR, 13.2.2025.
- [3] 573. odluka o usvajanju programa utroška sredstava utvrđenih u razdjelu 17. budžeta federacije Bosne i Hercegovine za 2024. godinu federalnom ministarstvu energije, rudarstva i industrije "tekući transferi i drugi tekući rashodi - tekući transferi pojedincima - poticaj pri kupovini električnih automobila", s Interneta, <https://fbihvlada.gov.ba/bs/573-odluka-o-usvajanju-programa-utroska-sredstava-utvrdenih-u-razdjelu-17-budzeta-federacije-bosne-i-hercegovine-za-2024-godinu-federalnom-ministarstvu-energije-rudarstva-i-industrije-te>, 11.2.2025.
- [4] Regulatorna komisija za energiju u Federaciji Bosne i Hercegovine: „Mrežna pravila distribucije operatora distribucijskog sustava javnoga poduzeća „Elektroprivreda Hrvatske zajednice Herceg Bosne“ dioničko društvo Mostar“, https://www.ferk.ba/hr/images/stories/2017/mrezna_pravila_distribucije_hzhb_hr.pdf, 14.2.2025.
- [5] DlgSILENT GmbH, s Interneta, <https://www.digsilent.de/en/powerfactory.html>, 13.2.2025.