

dr.sc. Deni Četković, univ.mag.ing.el
HEP-ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka
deni.cetkovic@hep.hr ; deni.cetkovic@gmail.com

Danijel Variola, univ.mag.ing.el
HEP-ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka
danijel.variola@hep.hr

ANALIZA UTJECAJA PUNJENJA ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA I BUSEVA NA DISTRIBUCIJSKE MREŽE U GRADU RIJEKI

SAŽETAK

Ovaj rad bavi se analizom utjecaja punjenja električnih automobila i autobusa na distribucijsku mrežu Grada Rijeke. Glavni dio rada posvećen je razradi prijedloga specifičnih profila vršne snage punjenja za različite vrste punionica u distribucijskoj mreži Elektroprimorja. U radu se predlažu profili za analizu utjecaja punjenja veće skupine osobnih vozila te se razmatra potencijalni prelazak svih osobnih vozila na električni pogon. Također, detaljno se analizira potencijalna mogućnost kompletnog prelaska javnog prijevoza na električne autobuse, pri čemu se razrađuje potencijalni profil punjenja autobusa gradskog i prigradskog prijevoza te njihov utjecaj na distribucijsku mrežu. U radu se sagledava potencijalni utjecaj pojave masovne elektromobilnosti na srednjenaponsku mrežu odnosno opterećenje glavnih 110/20 kV transformatora. Sagledava se i potencijalni utjecaj masovne pojave električnih vozila na primjeru niskonaponske mreže iz prigrada Rijeke. U radu se dodatno analizira i utjecaj jednofaznog punjenja električnih vozila na nesimetriju u niskonaponskoj mreži.

Ključne riječi: elektromobilnost, profili vršne snage, električni automobili, električni busevi

ANALYSIS OF THE EFFECT OF CHARGING ELECTRIC CARS AND BUSES ON DISTRIBUTION NETWORKS IN THE CITY OF RIJEKA

SUMMARY

This paper analyzes the impact of charging electric cars and buses on the distribution network of the City of Rijeka. The main part of the study is dedicated to developing proposals for specific consumption profiles of different types of charging stations within the Elektroprimorje distribution network. The paper proposes profiles for analyzing the impact of charging a larger group of passenger vehicles and examines the potential transition of all passenger vehicles to electric propulsion. Additionally, the potential transition of public transport to electric buses is analyzed in detail, including the development of a potential charging station profile for urban and suburban buses and their impact on the distribution network. The paper examines the potential impact of mass electromobility on the medium-voltage network, i.e. the load on the main 110/20 kV transformers. The potential impact of mass electric vehicles is also analyzed using the example of the low-voltage network in the suburbs of Rijeka. The paper additionally analyzes the impact of single-phase charging of electric vehicles on asymmetry in the low-voltage network.

Key words: electromobility, load profiles, electric cars, electric buses

1. UVOD

Razvoj elektromobilnosti postaje jedan od ključnih izazova modernih distribucijskih mreža, posebno u urbanim sredinama gdje se očekuje značajan porast broja električnih vozila. U tom kontekstu, analiza utjecaja punjenja električnih automobila i autobusa na distribucijsku mrežu postaje nužna za osiguranje stabilnosti i pouzdanosti elektroenergetskog sustava.

Ovaj rad bavi se analizom utjecaja punjenja električnih vozila na distribucijsku mrežu Grada Rijeke. Fokus istraživanja stavljen je na izradu specifičnih profila vršne snage za različite vrste punionica u distribucijskoj mreži Elektroprimorja. Kroz detaljnu analizu razmatraju se različiti scenariji masovnog prelaska osobnih automobila na električni pogon te njihov utjecaj na opterećenje mreže. Također, posebna pažnja posvećena je mogućnosti prelaska javnog prijevoza na električne autobuse, uz razradu profila vršne snage punjenja električnih buseva za gradske i prigradske linije.

Masovni porast električnih vozila predstavlja izazov za niskonaponske distribucijske mreže, posebno u pogledu opterećenja vodova i održavanja kvalitete napona. Posebnu pozornost potrebno je obratiti na eventualno prekoračenje dozvoljenih vrijednosti struja na pojedinim izvodima te pad napona u krajnjim dijelovima mreže uslijed dodatnog opterećenja.

Potrebno je posvetiti pozornost i utjecaju jednofaznog punjenja električnih vozila na nesimetriju niskonaponske mreže. Kako se punionice često priključuju bez ravnomjerne raspodjele po fazama, može doći do značajnog povećanja struje kroz nul-vodič i naponskih odstupanja, što može ugroziti pouzdanost opskrbe krajnjih korisnika.

Glavni cilj rada je definirati karakteristične profile vršne snage punjenja električnih punionica te procijeniti njihov učinak kao i učinak eventualne masovne pojave električnih vozila na distribucijsku mrežu, uzimajući u obzir postojeće kapacitete, infrastrukturna ograničenja i potencijalne mjere optimizacije. Dobiveni rezultati mogu poslužiti kao podloga za planiranje budućih elektroenergetskih investicija i strategija razvoja mreže u uvjetima rastuće elektromobilnosti.

2. PROFIL VRŠNE SNAGE KOD PUNJENJA ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA

U ovom dijelu rada prikazati će se ključni elementi izrade tipskog profila kod punjenja električnih automobila. Ključni elementi za izradu tipskog profila punjenja su količina električne energije potrebne za punjenje te određivanje vremenskog intervala kada se automobili pune.

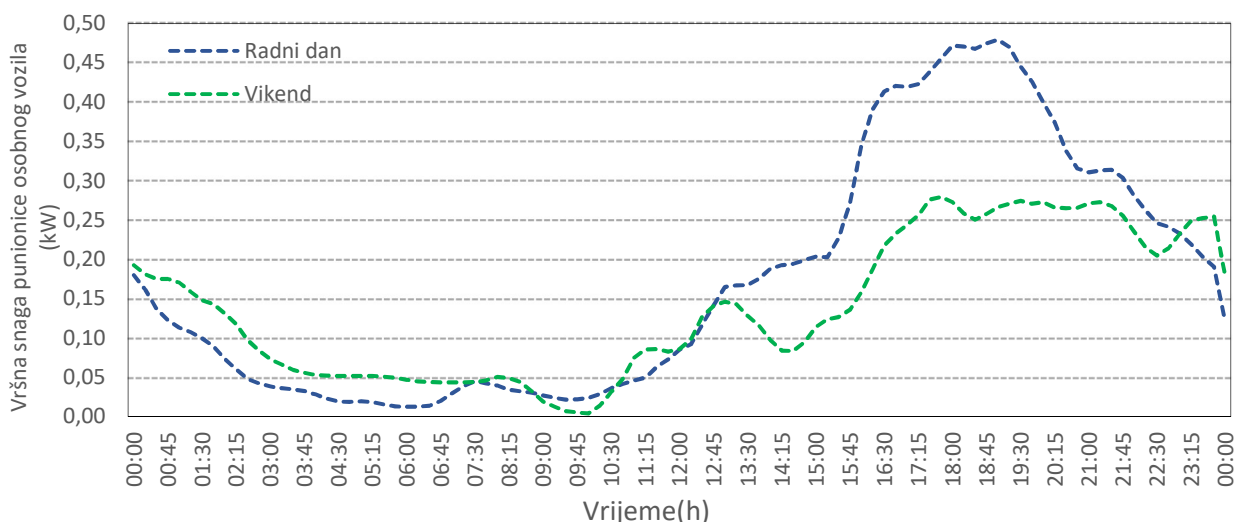
Količina električne energije kojom će na dnevnoj razini biti potrebno napuniti bateriju električnog automobila direktno ovisi o prijeđenoj kilometraži električnog auta.

$$E_{punjenja}(kWh) = Potrošnja_{EV}(kWh/km) \cdot d_{prijeđen put}(km) \quad (1)$$

U Hrvatskoj prosječna godišnja kilometraža osobnih vozila iznosi 11.924,37 [1] što predstavlja prijeđeni put od 32,67 km u danu. Uz prosječnu potrošnju električnog vozila od 0.189 kWh/km [2] može se korištenjem relacije (1) zaključiti kako bi iznos električne energije potreban za punjenje jednog električnog vozila u jednom danu bio 6,17 kWh.

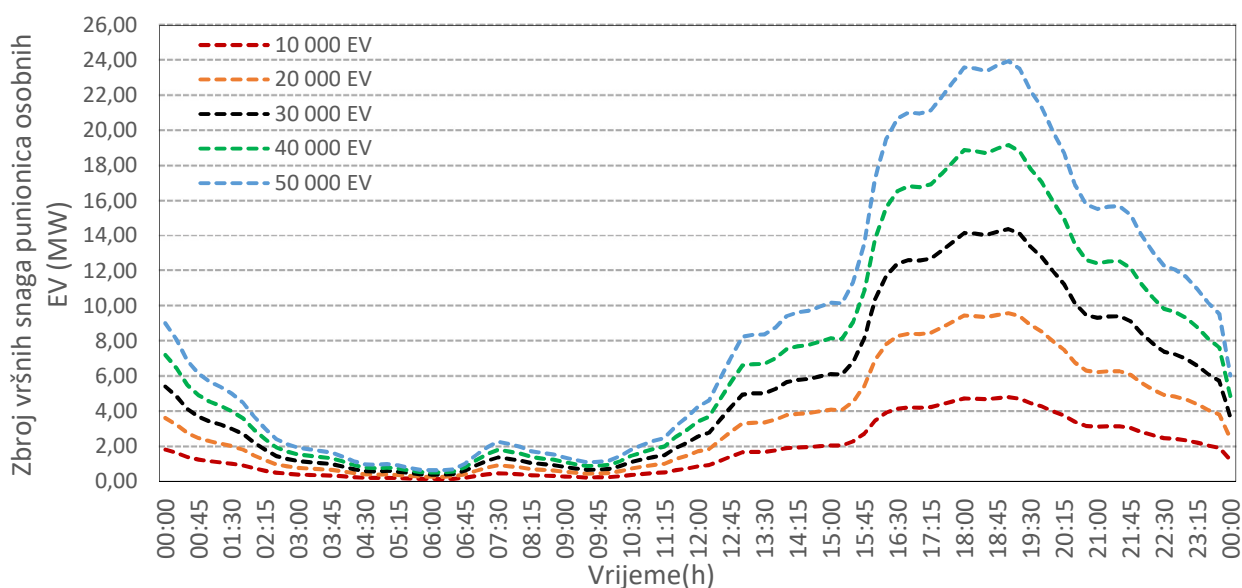
Za kreiranje profila prosječnog opterećenja usred punjenja jednog električnog auta ključno je prikupiti što veći broj mjerenja s punionica te kreirati zbirni profil te iz njega dobiti prosječni profil. U njemačkom istraživačkom radu [3] prikupljen je veći broj podataka za različite scenarije i veličine gradova.

Analizom je utvrđeno da je za grad veličine Rijeke primjenjiv profil 'typ 3' iz predmetnog rada – "mittelgroßen Stadt". Podaci iz predmetnog profila preračunati su na 15 minutne intervale radi lakše usporedbe sa podacima opterećenja u mreži dobivenim iz sustava SCADA odnosno usporedbom s tim podacima. Profil prosječnog opterećenja kod punjenja električnih vozila primjenjiv na Grad Rijeku prikazan je na Slici 1. Slika prikazuje profil zasebno za radni dan i za vikend.



Slika 1. Vršna snaga punjenja prosječnog osobnog električnog vozila

Na slici 2. prikazano je potencijalno povećanje opterećenja u Gradu Rijeci uslijed dodatnog prijelaza većeg broja vozila na električni pogon na radni dan (teži slučaj). Slika prikazuje zbroj prosječnih vršnih snaga za različite intervale u danu i različite razine električnih vozila i njihovog punjenja. Predmetno se odnosi isključivo na kućne punionice. Ranije spomenuti njemački istraživački rad daje prikaz različitih scenarija pa se tako i analiziraju i scenariji gdje se električna vozila pored večernjeg kućnog punjenja u drugim intervalima dopunjavaju i na javnim punionicama te punionicama u firmama gdje vlasnici električnih vozila rade.

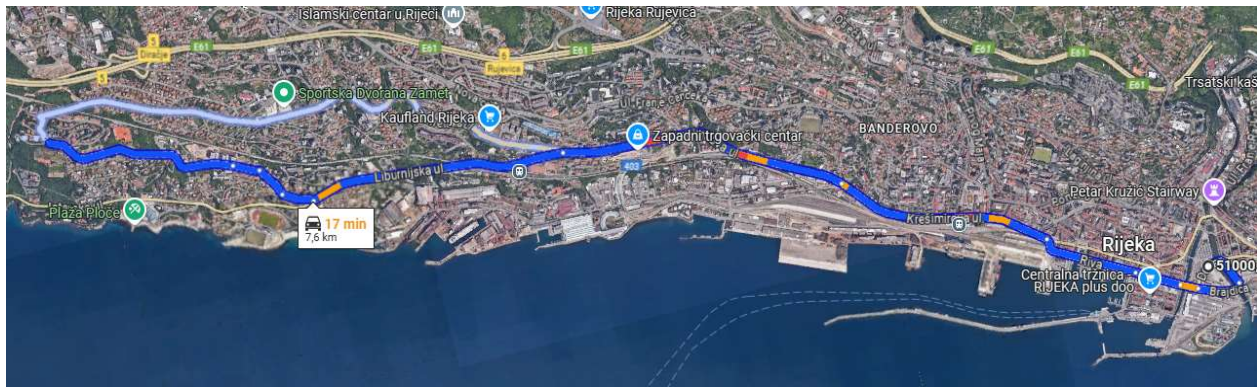


Slika 2. Vršna snaga punjenja većeg broja prosječnih osobnih električnih vozila (radni dan)

3. PROFIL VRŠNE SNAGE KOD PUNJENJA ELEKTRIČNIH BUSEVA

3.1. Prijedlog metode za izračun profila vršne snage električnog autobusa

U ovom dijelu rada predložit će se metoda za sagledavanje utjecaja punjenja električnog autobusa. Metoda će se demonstrirati na primjeru autobusne linije 1A koja povezuje centar grada s kvartom Marčeljevom Dragom. Putnike na predmetnoj liniji vozi jedan autobus koji kruži od početne stanice u centru do krajnje točke u Marčeljevoj Dragi te se potom vraća u centar. Ruta je prikazana na Slici 3.



Slika 3. Prikaz rute autobusne linije 1A (Marčeljeva Draga-Centar)

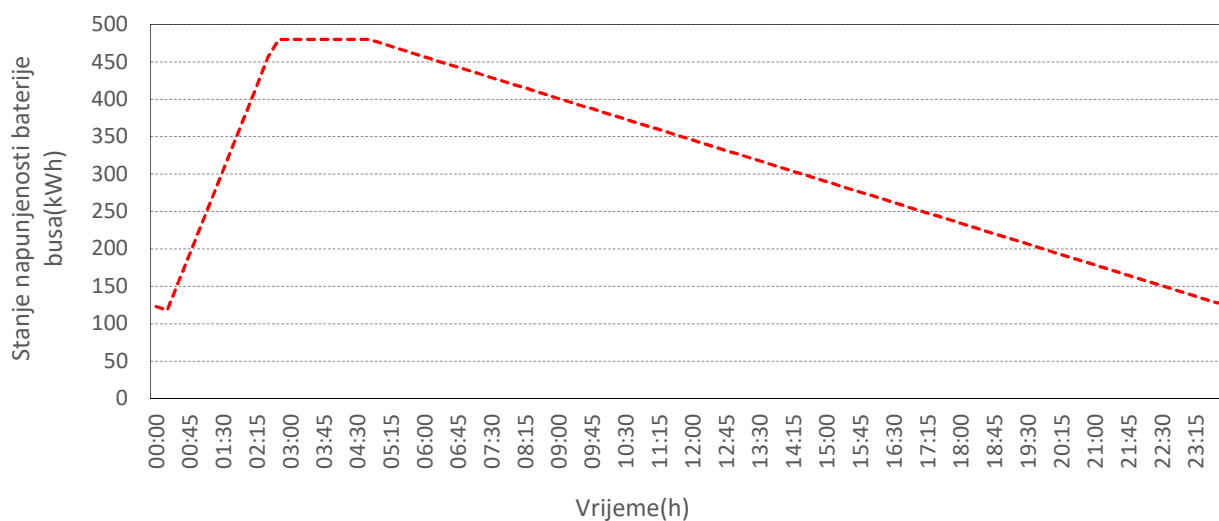
Za prelazak predmetnog autobusa na električni pogon razmotrit će se korištenje busa tip MAN Lion's City 12 E sa baterijom snage 480 kWh. Pretpostavimo li da će autobus u prvu vožnju krenuti sa punom baterijom te da tijekom dana neće biti dopunjavanja može se zaključiti kako će ukupna količina potrošene električne energije $E_{punjenja}$ koju će nakon posljednje vožnje trebati dopuniti biti jednaka:

$$E_{punjenja} = P_{bus} \cdot k_{br} \cdot d_{kr} \cdot n_{krugova} \quad (1)$$

U gore navedenoj relaciji P_{bus} predstavlja potrošnju busa koja se za gorenavedeni tip procjenjuje na 1,17 kWh/km. Parametar k_{br} predstavlja procijenjeni faktor povećanja usred brdovitosti linije koji se za ovu liniju procjenjuje 1,05. Duljina kružne rute d_{kr} za ovu liniju iznosi 15,5 km a autobus tijekom dana napravi 19 krugova (parametar $n_{krugova}$). Predmetni autobus dakle tijekom dana napravi 294,5 km. Iz relacije (1) može se izračunati kako će ukupna količina potrošene električne energije, odnosno **električna energija potrebna za punjenje električnog busa biti 361.79 kWh**.

Uvidom u javno dostupni vozni red predmetnog busa konstatira se kako predmetni bus počinje sa vožnjom u **4.40 sati (polazak iz garaže)** te se vraća u **00.05 sati (povratak u garažu)** te se može procijeniti **početak punjenja električnog busa u 00.15 sati**. Kako bi se autobus mogao napuniti do početka vožnje sljedećeg dana pretpostavlja se da će između uobičajenih punjača električnih busova (50,100,150,200kW) koristiti **punjač snage 150 kW**. Predmetni punjač će za 1 sat napuniti bateriju u iznosu od 150 kWh.

Iz svega navedenog može se izračunati satno stanje baterije koje je prikazano na slici 4. Baterija autobusa počinje sa punjenjem u 00.15 te se do približno 2.30 napuni do vrha. U 4.40 počinje prva vožnja autobusa te se baterija tijekom dana prazni te joj se razina spušta do približno 125 kWh u 00.15 te nakon toga počinje ponovno punjenje.



Slika 4. Prikaz stanja baterije električnog busa za razmatrani primjer

3.2. Izrada dnevnog profila vršne snage punjenja punionice električnih busova za slučaj potencijalnog prijelaza javnog gradskog i prigradskog prijevoza na električni pogon

Prethodno opisana metoda primijenit će se za izradu procijenjenog profila vršne snage punionice električnih busova. U svrhu izrade profila analizirani su i prikupljeni javno dostupni podaci o svim gradskim linijama te prigradskim linijama koje počinju na centralnom parkingu javnog prijevoza u centru Grada Rijeke.

Prikupljeni podaci i izračuni proizašli iz njih prikazani su u Tablici 1. Analiza je izrađena za ukupno 29 linija te 62 autobusa. U analizi je pretpostavljeno da će predmetna 62 autobusa prijeći na električni pogon te da će sve linije zadržati isti vozni red. Pretpostavljeno je da će se svi busovi puniti na centralnom parkingu u centru grada te da će punjenje započeti odmah po povratku na parking. Analiza je rađena za radni dan kad je vožnja busova češća.

Za svaku liniju odabran je manji ili veći električni autobus sukladno vrsti busa koja trenutno vozi:

- Manji (M) - MAN Lion's City 12 E – baterija 480 kWh – procijenjena potrošnja 1.17 kWh/km
- Veći (V) - MAN Lion's City 18 E - baterija 640 kWh – procijenjena potrošnja 1.64 kWh/km

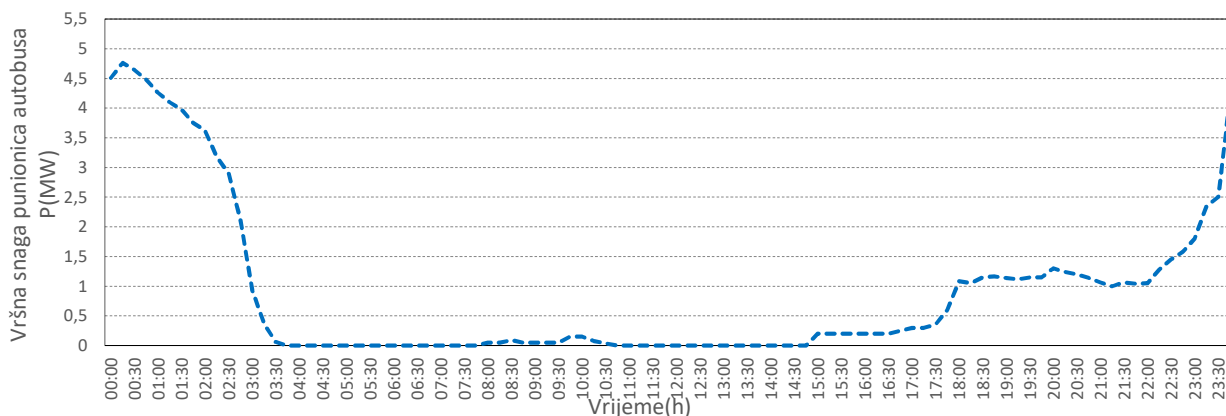
Temeljem podataka iz Tablice 1. te korištenjem Relacije (1) za svaki od 62 autobusa izračunata je potrebna dnevna količina punjenja baterije te procijenjena snaga punjača potrebna da autobus bude spreman za vožnju sljedećeg jutra.

Linija	Tip	k_br	d_kr (km)	n	E_punj (kWh)	t_poč (h)	Punjač snaga (kW)	Linija	Tip	k_br	d_kr (km)	n	E_punj (kWh)	t_poč (h)	Punjač snaga (kW)
1	V	1.05	20.6	14	496.62	23.45	150	7A	M	1.15	21	22	621.62	23.45	200
1	V	1.05	20.6	14	496.62	0.00	150	7A	M	1.15	21	14	395.58	17.45	50
1	M	1.05	20.6	10	253.07	19.15	50	7A	M	1.15	21	22	621.62	23.45	200
1	M	1.05	20.6	1	25.31	8.30	50	7A	M	1.15	21	15	423.83	17.45	100
1A	M	1.05	15.5	19	361.79	0.15	150	8	M	1.15	16.4	13	286.86	19.30	50
1A	M	1.05	15.5	2	38.08	16.45	50	13	M	1.1	25	13	418.28	23.15	100
2	V	1.15	22.6	12	511.48	23.45	150	10	M	1.05	20.6	10	253.07	21.00	50
2	V	1.15	22.6	12	511.48	0.00	150	10A	M	1.05	20.6	10	253.07	22.30	100
2	V	1.15	22.6	11	468.86	23.45	150	11	M	1.15	21	10	282.56	22.45	100
2	V	1.15	22.6	9	383.61	18.00	100	11	M	1.15	21	2	56.51	9.45	100
2	V	1.15	22.6	9	383.61	18.30	100	11	M	1.15	21	5	141.28	18.45	50
2	V	1.15	22.6	2	85.25	9.00	50	11	M	1.15	21	5	141.28	18.00	100
2A	M	1.1	14.1	2	36.29	8.00	50	12	M	1.15	23.2	13	405.80	22.15	100
2A	M	1.1	14.1	4	72.59	17.45	50	12	M	1.15	23.2	12	374.59	21.30	100
3A	M	1.15	16	18	387.50	23.45	150	14	M	1.15	18.6	12	300.32	23.15	100
3A	M	1.15	16	1	21.53	17.45	50	14	M	1.15	18.6	11	275.29	22.15	100
4	M	1.15	11.5	18	278.52	23.15	100	19	M	1.15	47	8	505.91	23.30	150
4	M	1.15	11.5	17	263.05	23.45	100	20	M	1.15	47	5	316.19	15.00	100
4	M	1.15	11.5	15	232.10	20.30	100	21	M	1.15	23.2	12	374.59	23.15	100
4A	M	1.1	5.5	13	92.02	17.00	50	21	M	1.15	23.2	12	374.59	22.00	100
4A	V	1.2	17	19	635.66	23.45	200	18	M	1.15	11.6	13	202.90	23.00	50
4A	V	1.2	17	19	635.66	0.15	200	18B	M	1.15	24	9	290.63	22.45	100
5	V	1.2	17	13	434.93	18.00	150	18B	M	1.15	24	8	258.34	22.15	100
5A	M	1.2	7.5	22	231.66	21.45	100	29/A	M	1.1	62.8	6	484.94	18.00	200
5B	M	1.2	7.6	14	149.39	19.30	50	29/A	M	1.1	62.8	4	323.29	23.00	200
6	V	1.1	15.5	17	475.35	0.00	150	32	V	1.1	42.8	7	540.48	0.00	150
6	V	1.1	15.5	17	475.35	0.00	150	32	V	1.1	42.8	7	540.48	23.15	150
6	V	1.1	15.5	11	307.58	18.00	50	32	V	1.1	42.8	6	463.27	22.00	100
7	V	1.2	18.6	17	622.28	23.45	200	32	V	1.1	42.8	4	308.84	15.00	100
7	V	1.2	18.6	10	366.05	17.30	100	32A	V	1.1	79.6	4	574.39	22.30	150
7	V	1.2	18.6	10	366.05	18.15	100	32A	V	1.1	79.6	4	574.39	20.00	150

Tablica 1. Podaci o razmatranim električnim busovima za primjer

Temeljem podataka iz tablice za svaki bus određena je vršna snaga uslijed eventualnog punjenja, za svaki interval u danu. Zbrajanjem svih snaga punjenja za svaki interval može se dobiti procijenjeni

Dnevni profil vršne snage kod punjenja svih električnih busova prikazan na slici 5. Sa profila je vidljivo kako je najveće opterećenje iza ponoći kad se većina busova vrati u garažu i započne punjenje.



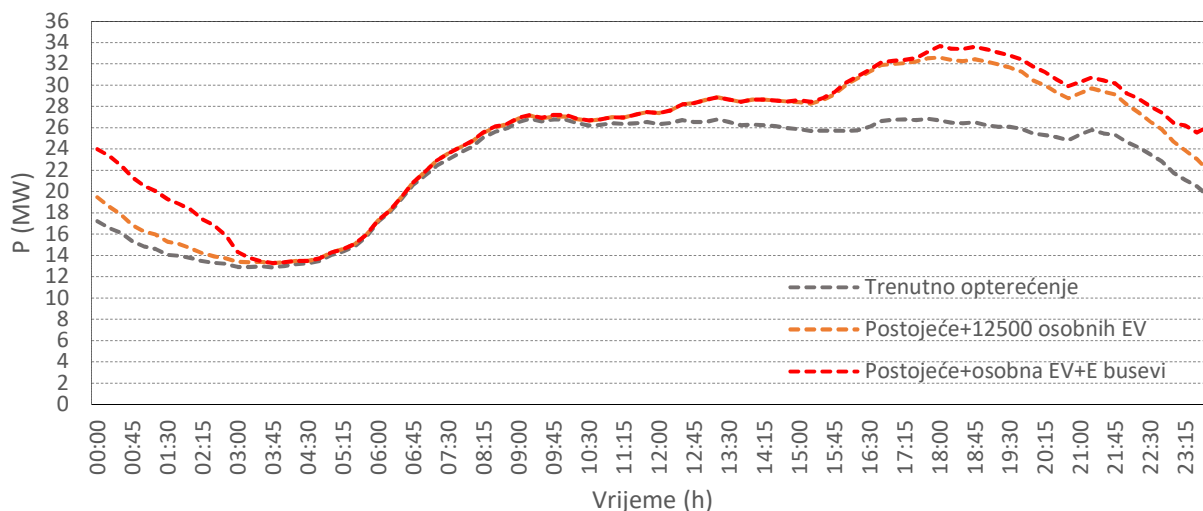
Slika 5. Procijenjeni dnevni profil vršne snage kod punjenja električnih busova u Gradu Rijeci

4. ANALIZA UTJECAJA NA SREDNJE NAPONSKU MREŽU GRADA RIJEKE

Analiziran je utjecaj na srednjenaponsku mrežu Grada Rijeke. Grad Rijeka napaja se iz četiri veće transformatorske stanice, TS 110/20 kV Rijeka, TS 110/20 kV Zamet, TS 110/20 kV Turnić i TS 110/20 kV Sušak. Obzirom na procjenu da se eventualno priključenje jače punionice električnih busova očekuje u samom centru grada analizirano je vršno opterećenje u TS 110/20 kV Rijeka koja napaja naselja Škurinje, Drenova, Kozala i sam centar grada. Pored porasta opterećenja radi punjenja busova analiziran je porast opterećenja uslijed potencijalnog punjenja 12500 električnih vozila.

Vršno opterećenje prikazano je na slici 6. Vidljivo je kako bi potencijalno masovno punjenje električnih vozila imalo jak utjecaj na povećanje vršne snage u večernjem dijelu dana obzirom da je to dio dana kada bi vlasnici električnih vozila dolazili doma i priključivali svoja vozila na punjače.

Za razmatranu simulaciju priključenja punionica električnih busova može se zaključiti kako bi glavni porast potrošnje bio iza ponoći što ne bi imalo daljnji negativan utjecaj na povećanje ukupnog opterećenja u tom dijelu dana. Ukupno opterećenje povećalo bi se u večernjem dijelu kada se počinju puniti busovi koji ne voze cijeli dan nego samo pripomažu u dijelu dana sa većom fluktuacijom putnika i gušćim rasporedom vožnji.



Slika 6. Vršno opterećenje u TS 110/20 kV Rijeka prije i nakon potencijalnog masovnog priključenja električnih vozila

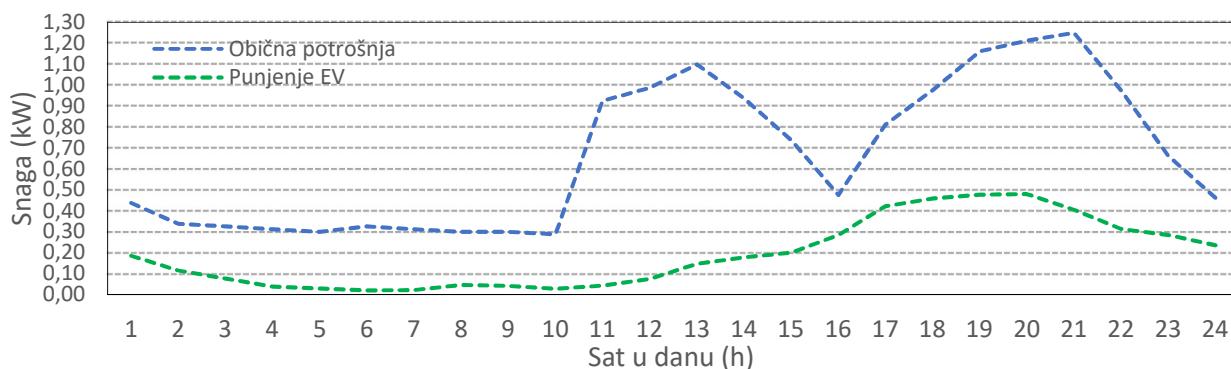
5. ANALIZA UTJECAJA NA NISKONAPONSKE MREŽE

U nastavku razmotrit će se utjecaj eventualne masovne pojave električnih vozila na izvod niskonaponske mreže u prigradu Rijeke.



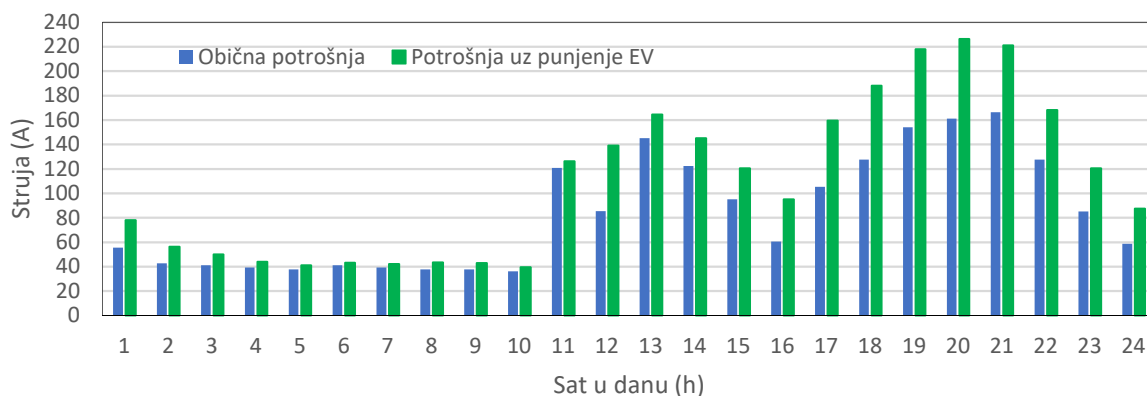
Slika 7. Izvod niskonaponske mreže iz TS 20/0,4 kV Mavri 3

Slika 7. prikazuje primjer zračne niskonaponske mreže koja trenutno napaja 78 domaćinstava sa prosječnom vršnom snagom 1.25 kW. Mreža je na prvoj dionici duljine 80m izvedena NN kabelom presjeka Al95 a nakon toga SKS-om tip FR-N1XD9-AR 3 x 70 + 70 mm² duljine 480m. Na slici je također prikazan razmještaj domaćinstava. Razmotrit će se pojava 78 električnih vozila koji se pune prema ranije opisanom prosječnom profilu snage za punjenje električnih vozila. Korišteni satni profili snage za običnu potrošnju i punjenje električnih vozila prikazani su na slici 8.

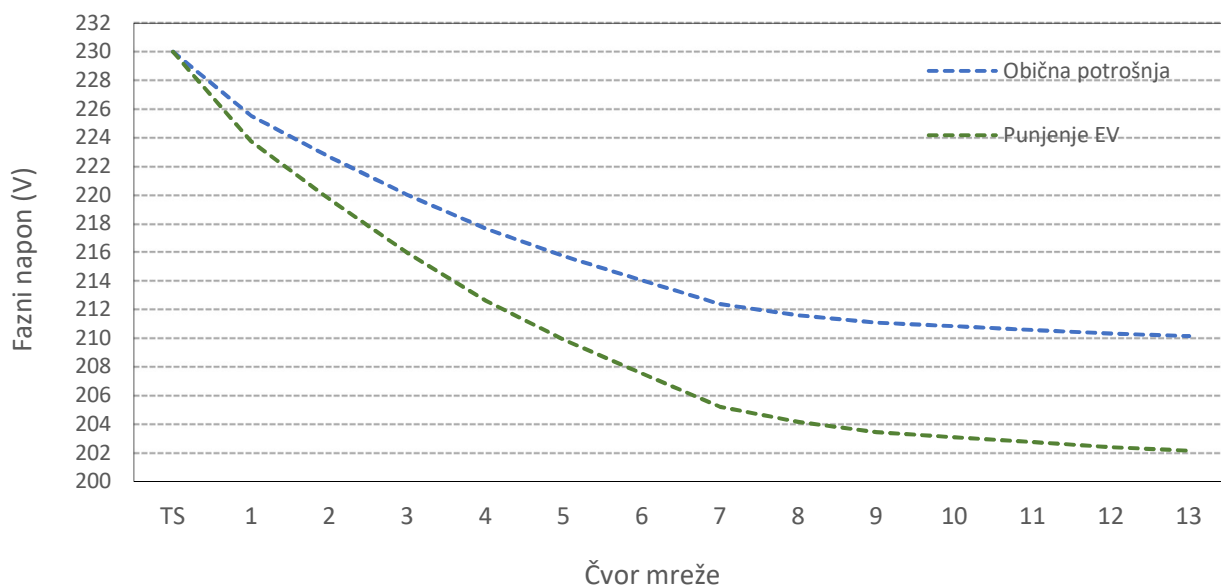


Slika 8. Korišteni profil snage

Na slici 9. prikazana je struja na predmetnom izvodu prije i nakon pojave punjača električnih vozila za različite vremenske intervale tijekom dana. Vidljivo je kako u dijelovima dana kada počinje jače punjenje električnih vozila struja izvoda značajno premašuje 160A koliko je uobičajena vrijednost osigurača kojim se štiti NN zračni vodič presjeka Al70mm².

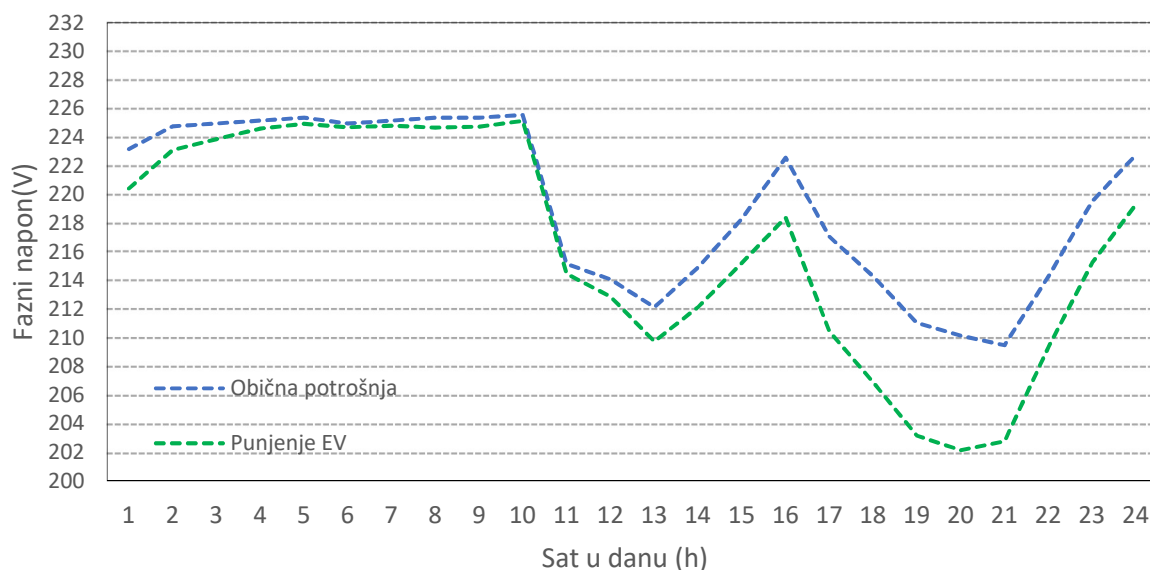


Slika 9. Struja na početku predmetnog izvoda u različitim dijelovima dana



Slika 10. Napon po dubini NN mreže u najopterećenijem dijelu dana (20h)

Slika 10. prikazuje profil napona po dubini niskonaponske mreže u najopterećenijem dijelu dana a slika 11. dnevnu fluktuaciju napona u krajnjoj točki NN mreže. Sa slike 11. vidljivo je kako se napon u dijelovima dana kad počinje jače punjenje električnih vozila spušta ispod donje vrijednosti dozvoljenog napona (207V).

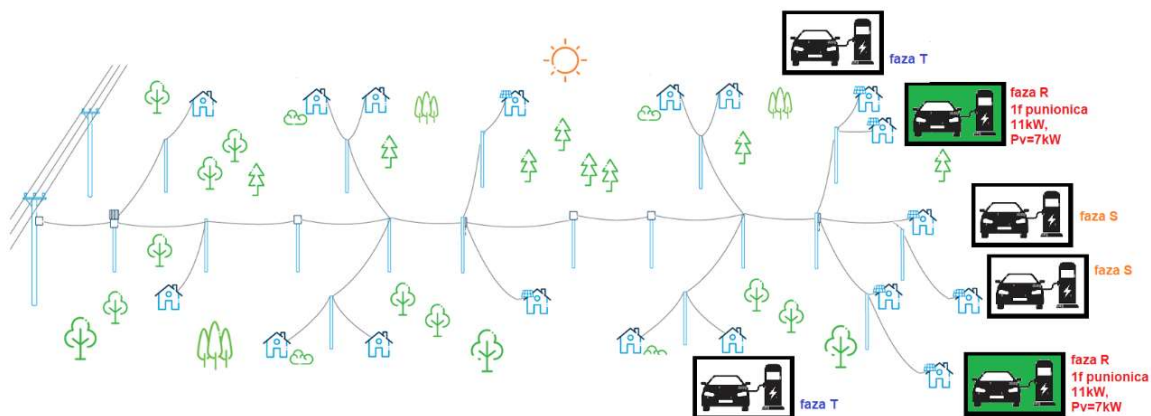


Slika 11. Napon na kraju predmetnog izvoda u različitim dijelovima dana

6. ANALIZA UTJECAJA PRIKLJUČENJA JEDNOFAZNIH PUNIONICA

Analizirat će se i utjecaj punjenja električnih vozila na nesimetriju u distribucijskoj mreži pri priključenju jednofaznih punionica. Kao referentni primjer koristit će se zračna mreža duljine 850 m.

Kod priključenja električnih punionica specifično je što se radi o većim snagama te će se u slučaju jednofaznih priključaka u nekom trenutku dogoditi situacija da se pune električna vozila preko punjača priključenih na jednu fazu.



Slika 12. Prikaz NN mreže sa aktivna tri jednofazna punjača spojena na istu fazu

Na Slici 12. prikazana je shema takve mreže u uvjetima kada su dvije jednofazne punionice istovremeno priključene na istu fazu. Analiza nesimetrije uzrokovane punjenjem električnih vozila provedena je u software-u Windis, koristeći sljedeće ulazne parametre:

- Niskonaponski zračni izvod duljine 850 m izveden je sa vodičem tip FR-N1XD9-AR 3 x 70 + 70 mm² sa jediničnom impedancijom od $Z=0.443+j0.077$ [Ω /km]
- Potrošnja bez električnih vozila modelirana je sa 25 kW simetrično uz faktor snage 0,95
- Razmatran je pogonski trenutak kad se vrši punjenje u **dvije jednofazne punionice** instalirane snage 11 kW odnosno vršne snage 7 kW odnosno **ukupno 14 kW na kraju izvoda**.

Prije aktivacije dvije jednofazne punionice vrijednosti struja i napona iznose:

$$V_{1_potr} = 216 \text{ [V]} ; \quad V_{2_potr} = 216 \text{ [V]} ; \quad V_{2_potr} = 216 \text{ [V]} ; \quad V_N = 0 \text{ [V]} ; \quad I_N = 0 \text{ [A]} ;$$

Nakon aktivacije dvije jednofazne punionice vrijednosti struja i napona iznose:

$$\mathbf{V_{1_potr} = 151 \text{ [V]} ;} \quad V_{2_potr} = 238 \text{ [V]} ; \quad V_{2_potr} = 232 \text{ [V]} ; \quad \mathbf{V_N = 32 \text{ [V]} ;} \quad \mathbf{I_N = 85 \text{ [A]} ;}$$

Iz rezultata analize jasno je da jednofazno punjenje dvaju električnih vozila u slaboj niskonaponskoj mreži s dugim zračnim izvodom može uzrokovati značajan povrat struje kroz nul-vodič, što dovodi do porasta napona na njemu. Posljedično, dolazi do izraženog pada napona na zahvaćenoj fazi.

Stoga je pri priključenju jednofaznih punionica nužno pažljivo razmotriti njihov raspored u mreži i njihov utjecaj na naponske prilike. Za razliku od klasičnih potrošača, punionice električnih vozila iznimno je teško ravnomjerno raspodijeliti među fazama, što dodatno otežava održavanje simetrije sustava.

7. ZAKLJUČAK

Analiza utjecaja punionica električnih autobusa i osobnih električnih vozila na srednjenaponsku mrežu Grada Rijeke pokazala je da bi masovno punjenje električnih vozila imalo značajan utjecaj na vršno opterećenje, osobito u večernjim satima. Očekivano povećanje potrošnje rezultat je istovremenog priključenja velikog broja vozila nakon dolaska vlasnika kući.

S druge strane, punjenje električnih autobusa ne bi dodatno pogoršalo vršno opterećenje jer bi se najveći dio potrošnje dogodio iza ponoći, kada je opterećenje mreže smanjeno. Međutim, autobusi koji prometuju samo u periodima povećane potražnje za prijevozom pridonijeli bi povećanju opterećenja u večernjim satima, no taj utjecaj ostaje ograničen. Zaključno, iako bi masovno punjenje osobnih električnih

vozila moglo stvoriti izazove za elektroenergetsku mrežu, punionice električnih autobusa ne bi značajno doprinijele vršnom opterećenju, već bi se njihova potrošnja ravnomjernije rasporedila tijekom noći.

Analiza utjecaja na niskonaponske mreže pokazala je da masovno punjenje osobnih električnih vozila može uzrokovati prekoračenje dozvoljenih vrijednosti struje na pojedinim izvodima, kao i propad napona u krajnjim dijelovima mreže do razine ispod donje granice propisanih vrijednosti. Takvi problemi mogu dovesti do ispadanja osigurača i potrebe za rekonstrukcijom mreže. Dodatno, analiza nesimetričnih opterećenja pokazala je da jednofazno punjenje električnih vozila može u određenim okolnostima uzrokovati znatne poremećaje u niskonaponskoj mreži, uključujući značajan pad napona na zahvaćenoj fazi. Ti rezultati ukazuju na potrebu za pažljivim planiranjem priključaka jednofaznih punionica kako bi se smanjili negativni učinci na kvalitetu napona i stabilnost distribucijske mreže.

8. LITERATURA

- [1] <https://www.cvh.hr/gradani/tehnicki-pregled/statistika/>
- [2] <https://ev-database.org/cheatsheet/energy-consumption-electric-car>
- [3] Daniel Heinz, Erstellung und Auswertung repräsentativer Mobilitäts- und Ladeprofile für Elektrofahrzeuge in Deutschland, WORKING PAPER SERIES IN PRODUCTION AND ENERGY, Oktober 2018
- [4] Autotrolej – vozni red