

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

Denis Brajković
HEP Operator distribucijskog sustava d.o.o.
denis.brajkovic@hep.hr

Zoran Pećarić
HEP Operator distribucijskog sustava d.o.o.
zoran.pecaric@hep.hr

Hrvoje Pandžić
Sveučilište u Zagrebu
Fakultet elektrotehnike i računarstva
hrvoje.pandzic@fer.hr

Darko Hecer
Ekonerg d.o.o.
dhecer@ekonerg.hr

Lara Buljan
Institut za elektroprivredu Zagreb
lara.buljan@ie-zagreb.hr

Goran Jerbić
Institut za elektroprivredu Zagreb
goran.jerbic@ie-zagreb.hr

Boštjan Blažić
Univerza V Ljubljani Fakulteta za elektrotehniko
bostjan.blazic@fe.uni-lj.si

Miljan Lenić
HEP Operator distribucijskog sustava d.o.o.
miljan.lenic@hep.hr

Anđelko Tunjić
HEP Operator distribucijskog sustava d.o.o.
andjelko.tunjic@hep.hr

Klemen Knez
Univerza V Ljubljani Fakulteta za elektrotehniko
klemen.knez@fe.uni-lj.si

KLJUČNI REZULTATI STUDIJE „UTJECAJ ELEKTRIFIKACIJE PROMETA NA RAZVOJ DISTRIBUCIJSKE MREŽE HEP ODS-A NA PRIMJERU MREŽE DISTRIBUCIJSKOG PODRUČJA ELEKTROISTRA PULA“

SAŽETAK

Elektromobilnost se široko potiče, a povećani broj električnih vozila (EV) predstavlja izazov za operatore distribucijskih sustava (ODS). Pored navedenog, zahtjevi za operatore porasli su i zbog Direktive Europske unije 2014/94/EU o razvoju infrastrukture za alternativna goriva. Hrvatska je postavila i ambiciozan Nacionalni energetske i klimatski plan za razdoblje 2020.–2030., što dodatno povećava obveze operatora.

Ovaj referat predstavlja ključne rezultate studije „Utjecaj elektrifikacije prometa na razvoj distribucijske mreže HEP ODS-a na primjeru mreže distribucijskog područja Elektroistra Pula“. Rezultati studije pokazuju da rast broja EV-a u kombinaciji s neusklađenom izgradnjom infrastrukture uzrokuje naponska i strujna zagušenja, a što zahtijeva skupa ulaganja u promatranu mrežu. Kako se radi o značajnim ulaganjima veoma je važno osigurati pravodobnu komunikaciju i aktivnosti svih dionika u definiranju i nadgledanju u ostvarenju zacrtanih ciljeva elektrifikacije prometa.

Ključne riječi: analiza i planiranje distribucijske mreže, distribucija, e-mobilnost, punjenje električnih vozila

KEY RESULTS OF THE STUDY "IMPACT OF TRAFFIC ELECTRIFICATION ON THE DEVELOPMENT OF THE DISTRIBUTION NETWORK OF HEP ODS ON THE EXAMPLE OF THE NETWORK OF THE ELEKTROISTRA PULA DISTRIBUTION AREA"

SUMMARY

Electromobility is widely encouraged, and the increased number of electric vehicles (EVs) presents a challenge for distribution system operators (DSOs). In addition to the above, the requirements for operators have also increased due to the European Union Directive 2014/94/EU on the development of infrastructure for alternative fuels. Croatia has also set an ambitious National Energy and Climate Plan for the period 2020-2030, which further increases the obligations of operators.

This paper presents the key results of the study "The impact of traffic electrification on the development of the distribution network of HEP ODS on the example of the network of the distribution area of Elektroistra Pula". The results of the study show that the growth in the number of EVs in combination with uncoordinated infrastructure construction causes voltage and current congestion, which requires expensive investments in the observed network. As these are significant investments, it is very important to ensure timely communication and activities of all stakeholders in defining and monitoring the achievement of the set goals of the electrification of traffic.

Key words: analysis and distribution network planning, distribution, e-mobility, electric vehicle charging

1. UVOD

Ubrzana elektrifikacija prometa, uvjetovana politikom zaštite okoliša, predstavlja jedan od velikih izazova današnjice za HEP Operator distribucijskog sustava d.o.o. (u daljnjem tekstu: HEP ODS). Povećanje broja električnih vozila (u daljnjem tekstu: EV) dovodi do povećanja potrošnje električne energije, ali i dinamike te potrošnje. Prethodno navedeno, uz izgradnju prateće infrastrukture tj. punionica za punjenje EV-a, bitno povećava opterećenje distribucijske mreže, te zahtjeve na njen pravodoban razvoj, revitalizaciju i održavanje.

Uvažavajući navedeno HEP ODS danas je suočen s važnim pitanjima:

- U kojoj je mjeri postojeća distribucijska mreža u stanju podnijeti dinamiku porasta opterećenja uzrokovanog infrastrukturom za punjenje EV i do kada?
- Koja je dinamika ulaganja u distributivnu mrežu potrebna da bi se na vrijeme dogradila i zadovoljila potrebe razvoja elektromobiliteta?

Do odgovora na prethodna postavljena važna pitanja došlo se izradom studije „ Utjecaj elektrifikacije prometa na razvoj distribucijske mreže HEP ODS na primjeru mreže DP Elektroistra Pula“ . Predmetno distribucijsko područje odabrano je iz razloga što karakteristikama predstavlja tipičnu distribucijsku mrežu mješovitog karaktera, a kakvom upravlja HEP ODS. Mreža sadrži elemente visokourbanih, urbanih, ruralnih i kombiniranih područja. Također, radi se o najsnažnijoj turističkoj regiji Republike Hrvatske, a što opet dodatno povećava utjecaj elektrifikacije prometa na distribucijsku mrežu.

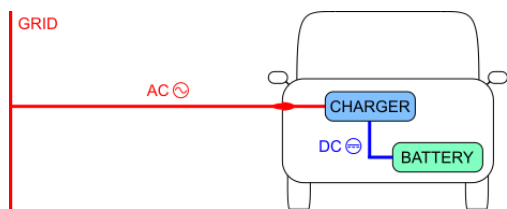
2. PROJEKCIJA KORIŠTENJA ELEKTRIČNIM VOZILIMA U ISTRI

2.1. Podjela električnih vozila i tipovi punjenja

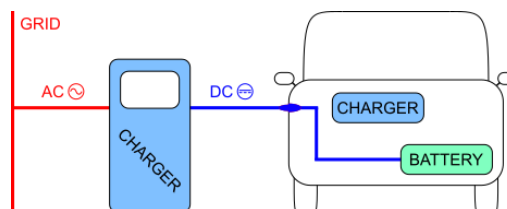
Elektromobilitet počiva na vozilima koja koriste punionice. Vozila se dijele na :

- punjiva hibridna električna vozila (engl. *Plug-in Hybrid Electric Vehicles, PHEV*),
- baterijska električna vozila (engl. *Battery Electric Vehicles, BEV*).

Punjenje vozila moguće je, korištenjem ugrađenih pretvarača i takve punionice nazivaju se AC punionice i karakteriziraju ih manje priključne snage punjenja (Slika 1.) i na DC punionice. Snage DC punionica kreću se od 20 kW do 350 kW, i kolokvijalno ih se naziva „brzim“ (Slika 2).



Slika 1 - AC punjenje



Slika 2 - DC punjenje

Punjenja električnog automobila pokazuju da se u prvim trenucima nakon priključenja automobila na punionica snage punjenja dostižu visoku vrijednost koja može ugroziti normalan pogon distribucijskog sustava.

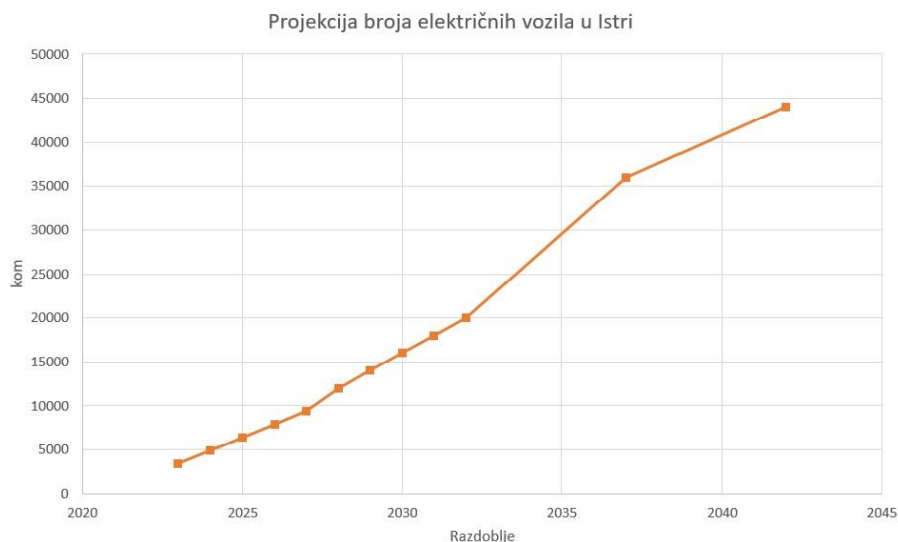
2.2. Projekcija rasta broja električnih vozila

Projekcija korištenja električnih vozila osnova je za određivanje utjecaja elektrifikacije prometa na predmetnom području DP Elektroistra Pula. U studiji je provedeno detaljno istraživanje dostupnih podataka koji za cilj imaju otkriti glavne karakteristike Istre po pitanju vozila, kako onih koja koriste fosilna goriva, tako i onih električnih. Koristi se sveobuhvatan pristup, odnosno, proučava se sastav stanovništva te sezonalni odnosi s obzirom na jak utjecaj turizma na područje Istre. Nadalje, koriste se javno dostupni demografski podatci, statistički podatci turističkih zajednica, podatci Hrvatskog autokluba (HAK-a) i upravitelja (auto)cesta o tokovima vozila kako bi se dobili što vjerniji podatci o trenutnom stanju elektromobilnosti u Istri.

Na temelju utvrđenog stanja i očekivanog povećanja udjela različitih tipova električnih vozila u dvadesetogodišnjem periodu izvršena je procjena budućih trendova i određivanje projekcija za naredni period. Pritom se za konkretne projekcije, osim povećanja udjela električnih vozila, u obzir uzimaju i demografska kretanja te turistički razvoj regije. U svrhu što preciznijeg modeliranja, širok spektar literature i podloge za procjene se uzima u obzir. Pritom vrijedi spomenuti planove Europske unije za promicanje elektromobilnosti, povijesna kretanja stanovništva u Istri, stopu penetracije električnih vozila u Republici Hrvatskoj, ali i zemalja iz kojih istarski turisti najčešće dolaze.

Rezultati razmatranja razvoja elektromobilnosti u Istri za naredni dvadesetogodišnji period rezultat su hibridnog pristupa gdje se kombiniraju metode analize trenda i metoda izrade i analize simulacijskog modela. Analiza trenda je metoda analiziranja podataka kojom se identificiraju obrasci i trendovi tijekom vremena. Uključuje ispitivanje povijesnih podataka kako bi se utvrdio smjer i veličina promjene. Metoda simulacijskih modela uključuje konstrukciju matematičkog modela koji oponaša stvarni sustav ili proces, te za dane ulazne podatke daje izlazne rezultate. Takvim pristupom se omogućuje razumijevanje ponašanja sustava, u ovom slučaju rasta udjela električnih vozila, u različitim uvjetima. Za potrebe detaljne projekcije u studiji je provedena segmentacija očekivanja u promatranom periodu od narednih dvadeset godina. Prvotno se izvodi niz mikroanaliza za razdoblja od po jednu godinu za prvih deset godina promatranog vremenskog perioda, dok se drugi desetogodišnji period zasniva na nešto grubljim petogodišnjim procjenama.

Nakon obrade navedenih podataka i statističkih pokazatelja izrađena je projekcija porasta broja električnih vozila i broja punionica, koja je prikazana na slici 3.



Slika 3 - Predviđeni rast broja EV-a u Istri

2.3. Regulatorni dokumenti za izgradnju infrastruktura za punjenje električnih vozila

Za elektrifikaciju prometa je izrazito važna Uredba o infrastrukturi za alternativna goriva EU 2023/1804 iz 2024 kojom se definiraju snage i uvjeti izgradnje infrastrukture za punjenje na glavnim prometnim koridorima. Osim navedenog za potrebe studije korišteni su i slijedeći regulatorni dokumenti:

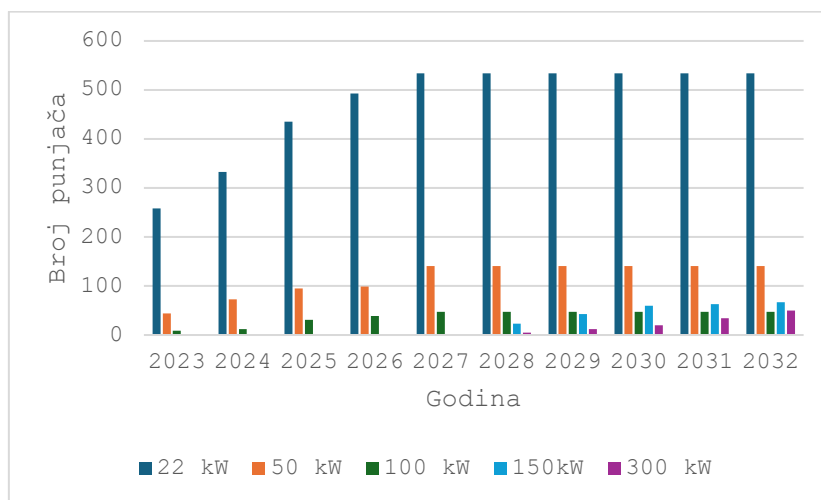
1. Zakon o uspostavi infrastrukture za alternativna goriva (NN 120/16, 63/22)
2. Integrirani nacionalni energetske i klimatski plan za Republiku Hrvatsku za razdoblje od 2021. do 2030. godine.
3. Provedba europskog zelenog plana - Europska komisija
4. Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o gradnji

2.4. Projekcija rasta broja punionica i ukupne snage punionica

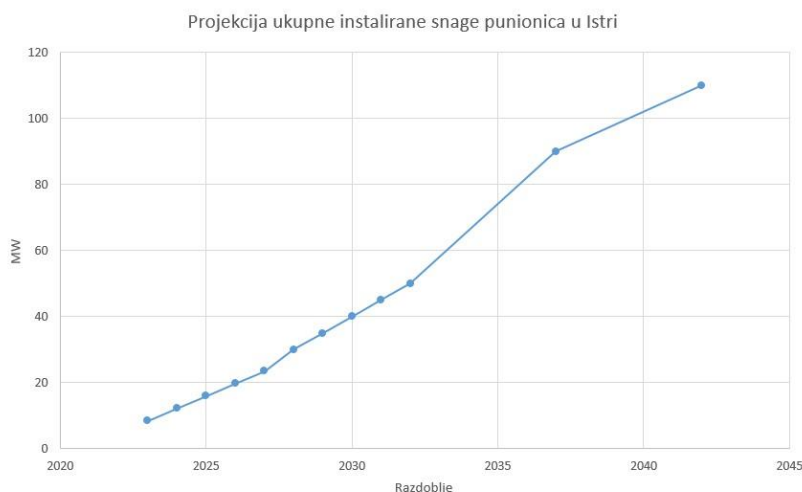
U sklopu studije je prikazan očekivani porast udjela punionica električnih vozila kroz godine promatran kroz dvije razine, srednjonaponske i niskonaponske mreže. Srednjonaponska mreža je modelirana u cijelosti i analiza utjecaja porasta broja punionica električnih vozila na srednjonaponsku distribucijsku mrežu područja Elektroistre radi se za model mreže u cijelosti.

Statistička analiza svih niskonaponskih mreža kao rezultat je dala podjelu niskonaponskih mreža u 4 klastera: urbana mreža – zgrade, urbana mreža – kuće, ruralna mreža i industrijska mreža. Daljnjom obradom, za svaki klaster je pronađen medoid, tj., NN mreža koja svojim karakteristikama najbolje opisuje sve ostale mreže unutar istog klastera. Ta mreža je izabrana kao reprezent, odnosno predstavnik klastera i taj predstavnik, tj. medoid se koristio u preostalim analizama niskonaponske mreže. Promatra se ukupno 2429 SN/NN transformatorskih stanica koje su raspodijeljene u četiri klastera. Koristeći podatke o broju priključnih mjesta i ukupnom broju obračunskih mjernih mjesta određuje se broj i snaga punionica u SN čvorištima. Snaga i broj punionica u tim čvorištima odgovara agregiranom broju i snazi punionica u pripadajućim NN mrežama.

U analizi srednjonaponske mreže, pretpostavka je da su punionice električnih vozila instalirane u svim čvorištima. S obzirom na očekivani porast elektrifikacije u daljnjim godinama, moguće je očekivati da će u određenim fazama u svim srednjonaponskim mrežama biti instalirane punionice EV-a različitih nazivnih snaga punjenja. Raspodjela snage punionica EV-a po SN čvorištima vrši se za svaki klaster zasebno i u obzir se uzimaju nazivna snaga punionice te omjer potrošnje i priključne snage, dva parametra koji su se koristili prilikom određivanja pripadnosti pojedine transformatorske stanice jednom od četiri klastera.



Slika 4 - Projekcija broja punionica po godinama



Slika 5 - Projekcija snage punionica po godinama

Nakon što se odredi instalirana snaga agregiranih punionica u svakom SN čvorištu, potrebno je odrediti koeficijent istodobnosti punjenja električnih vozila kako bi dobili pravu sliku utjecaja snage punionica na opterećenje u distributivnoj mreži. Koeficijent istodobnosti je potrebno odrediti s obzirom na to da je vjerojatnost da su sve punionice opterećene iznosom jednakim instaliranoj snazi izrazito mala. Koeficijent istodobnosti se definira kao omjer snage punjenja u određenom trenutku i ukupne instalirane snage punionice.

$$k_{punjenje,i} = \frac{S_{punjenje,i}}{S_{EV,TS,i}}$$

Koeficijent istodobnosti se određuje za svaki klaster zasebno s obzirom na to da se stupanj elektrifikacije prometa, kao i karakteristične snage punionica razlikuju za svaki od klastera.

Daljnja analiza povećanja opterećenja u mreži ovisno o koeficijentima istodobnosti provedena je za dva scenarija:

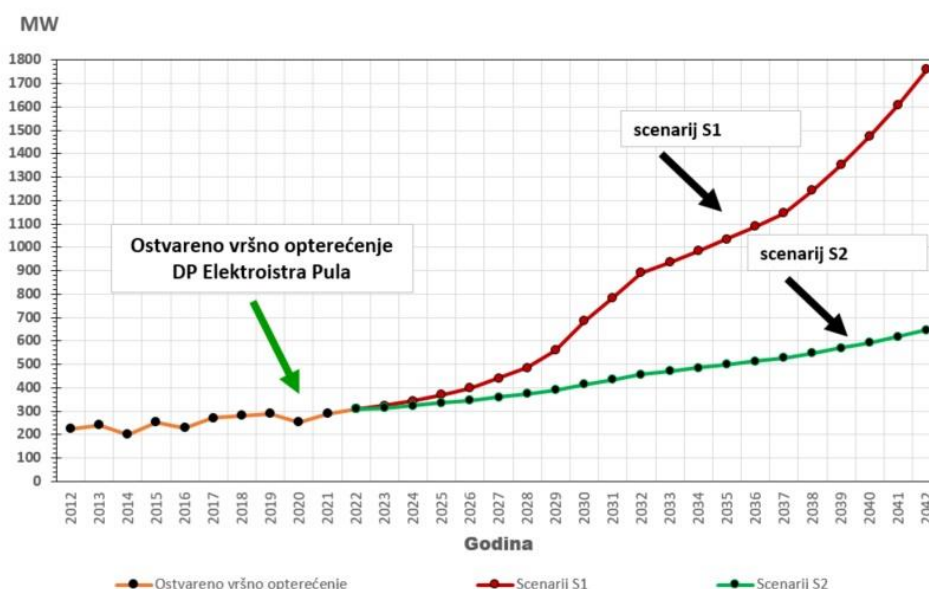
- Scenarij visokog koeficijenta istodobnosti (Scenarij 1)
- Scenarij koeficijenta istodobnosti definiran na temelju stvarnih podataka (Scenarij 2)

U Scenariju 1, koeficijent istodobnosti za sve klastere iznosi 1. S obzirom na to da se u studiji promatra slučaj maksimalnog opterećenja sustava, koeficijent istodobnosti 1 odgovara maksimalnoj teoretskoj iskoristivosti pojedine punionice, tj. slučaju u kojemu je maksimalna snaga punjenja jednaka instaliranoj snazi punionice. To je ujedno i slučaj u kojemu snaga punjenja EV-a najviše doprinosi ukupnom opterećenju sustava. Kako je opterećenje sustava također definirano kao maksimalno, u Scenariju 1

moćuće je očekivati najveće iznose pada napona kao i najveću strujnu opterećenost transformatora i vodova/kabela promatrane distribucijske mreže. Također, ukoliko u tom slučaju ne postoje strujno-naponski problemi, oni neće postojati niti u jednom drugom slučaju.

S obzirom na to da je scenarij u kojemu je $k_{punjenje,i} = 1$ scenarij najgoreg slućaja i da nije za očekivati da će snaga punjenja biti jednaka instaliranoj snazi svake punionice, potrebno je odrediti realniji slućaj. Koeficijenti za punjenje određeni su na temelju stvarnih podataka dostupnih u literaturi. Pronađeni su podatci za dva klastera – urbane mreže – kuće i urbane mreže – zgrade. Podatci za kuće su podatci za Dansku, dok su podatci za zgrade podatci za Norvešku. Danska i Norveška su jedne od predvodnica u elektrifikaciji prometa i udjelu elektrićnih vozila te su kao takve dobar primjer onoga što se očekuje na području Istre u kojoj se zbog turista očekuje nešto veći broj elektrićnih vozila nego u ostatku Republike Hrvatske. Koeficijent istodobnosti različiti od 1 ukazuje i na to da nije potrebno osigurati istovremeno punjenje svih elektrićnih vozila.

Dodatni izazov u prognozi utjecaja elektrifikacije prometa na distribucijsku mrežu je i sve veća integracija distribuiranih izvora u distribucijsku mrežu, uključujućih baterijske spremnike energije, te aktivnosti u vezi s promicanjem energetske učinkovitosti. Pored elektrifikacije prometa, bitan utjecaj na opterećenje distribucijske mreže imat će i politika poticanja ugradnje dizalica topline. Sve navedeno uzeto je u razmatranje pri analizi.



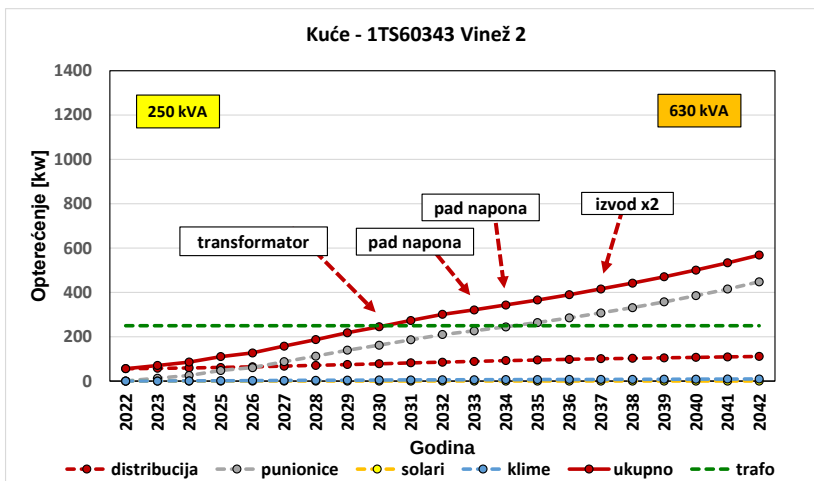
Slika 6 - Projekcija porasta opterećenja za S1 viši i S2 niži scenarij

3. ANALIZA MREŽE I DOBIVENI REZULTATI

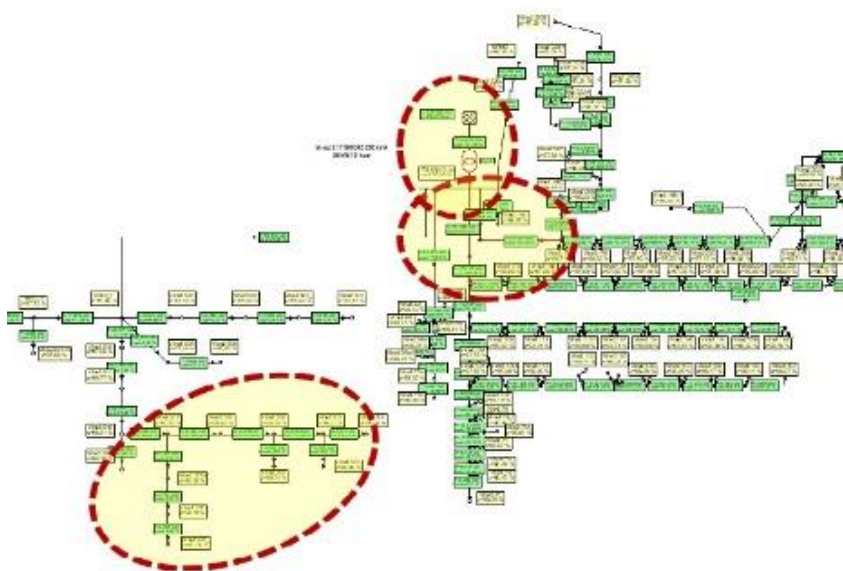
3.1. Analiza NN mreže

Nakon definiranih medoida NN mreža, definiranog porasta baznog tereta, definiranih porasta opterećenja zbog prikljućenja punionica elektrićnih vozila, porasta opterećenja zbog prikljućenja dizalica topline te porasta utjecaja distribuiranih izvora bilo je nužno pristupiti analizi mreže medoida za period promatranja. Za svaku godinu promatranog perioda izvršena je analiza pojedinog medoida programskim paketom Neplan. U cilju određivanja zagušenja u mreži izvršena je kontrola opterećenja transformatora SN/NN, kontrola opterećenja vodova i padova napona. Za otkrivena zagušenja definirane su potrebne mjere za njihovo otklanjanje.

Na sljedećim slikama prikazani su rezultati analize za jedan medoid iz kojih je vidljivo u kojoj godini dolazi do kakve vrste zagušenja i gdje u mreži.



Slika 7 – Rezultati analize NN mreže – godina zaqušenja



Slika 8 – Rezultati analize NN mreže – lokacija zaqušenja

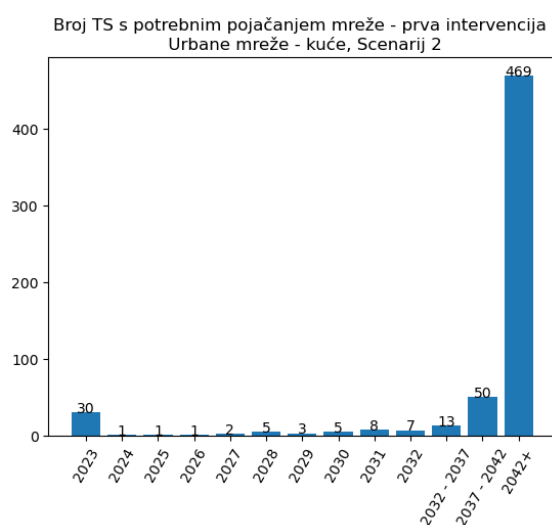
Rezultati analize za pojedini medoid ne daju direktan uvid u stanje preostalih mreža u svakom od klastera. Kako bi rezultati medoida bili primjenjivi na sve ostale mreže unutar klastera, osmišljena je metodologija kojom su se zaključci sa pojedinog medoida preslikali na ostale mreže unutar klastera.

Za određivanje godine zamjene SN/NN transformatora nije bio potreban metodološki pristup. Obzirom da je za svaki transformator poznat podatak o njegovoj nazivnoj snazi i vršnom opterećenju u početnoj godini, a prethodno su određeni godišnji porast baznog tereta te dodatni porast opterećenja uzrokovan povećanom integracijom klima uređaja i toplinskih pumpi te punionica električnih vozila, na temelju tih podataka moguće je odrediti ukupno opterećenje svake NN mreže za svaku godinu. Jednostavnim usporedbom ukupnog opterećenja mreže i nazivne snage transformatorske stanice moguće je odrediti je li potrebna zamjena transformatora u promatranoj godini.

Situacija s investiranjem u NN vodove i/ili kabele je kompliciranija zbog toga što se zamjena vodova i/ili kabela ne može odrediti isključivo na temelju iznosa opterećenja te je izrađena metodologija za

preslikavanje rezultata medoida na ostale mreže unutar klastera. Metodologija je bazirana na metodologiji korištenoj u slovenskoj distribuciji, a koja je za preslikavanje rezultata koristila faktor kdU određen kao zbroj svih umnožaka snage priključnog mjesta i zbroj impedancija vodova i/ili kabela koji od transformatorske stanice vode do priključnog mjesta. Obzirom na raspoložive ulazne podatke metodologija je pojednostavljena u odnosu na izvornu, a na način da se faktor kdU računa kao umnožak vršne snage trafostanice SN/NN i ukupne duljine NN mreže za svaku promatranu godinu.

Za godine u kojima su u medoidu utvrđena zagušenja, izračunati su kdU faktori. Nakon toga izračunati su kdU faktori za sve ostale mreže iz klastera za svaku godinu. Dobiveni iznosi kdU faktora uspoređuju se s kdU faktorom medoida za koji je utvrđeno zagušenje. Ukoliko je kdU faktor mreže iz klastera veći od kdU faktora medoida, zaključuje se da mreža iz klastera ima zagušenje. Na sljedećoj slici prikazan je primjer potrebnih pojačanja u mreži za klaster Urbane mreže-kuće.



Slika 9 – Potrebna pojačanja u mreži za klaster Urbane mreže - kuće

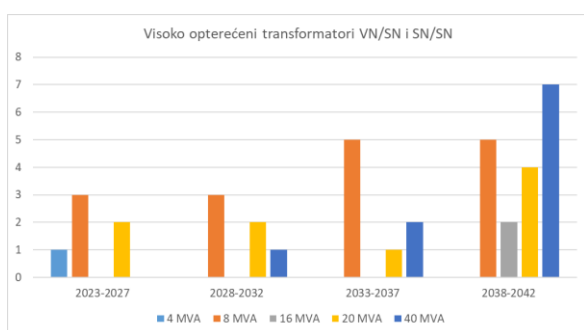
3.2. Analiza SN mreže

Analiza niskonaponske mreže polučila je ulazne podatke za analizu srednjonaponske mreže, odnosno vršna opterećenja pojedine transformatorske stanice za svaku godinu promatranog razdoblja. Vršno opterećenje pojedine trafostanice određeno je na osnovu opterećenja u početnoj godini uvećanog za prirast koji je određen za svaki klaster. Isto je provedeno za dva scenarija (S1 i S2). Scenarij S1 prikazuje najgori slučaj utjecaja punjenja električnih vozila na distribucijsku mrežu, odnosno predviđa korištenje svih punionica istovremeno. Obzirom da takav scenarij nije očekivan, uzet je samo kao teoretsko razmatranje najgoreg slučaja. Zbog navedenog je izrađen i Scenarij S2 u kojem su korišteni faktori istodobnosti punjenja prema iskustvima europskih zemalja koje imaju veću zastupljenost elektrifikacije prometa te kao takav, Scenarij S2 predviđa očekivani prirast vršnog opterećenja.

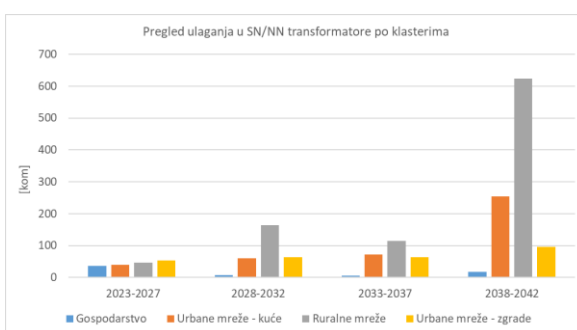
Analiza srednjonaponske mreže provedena je programskim paketom Neplan za svaku godinu promatranja. Pritom je važno naglasiti da je nad dostavljenim modelom srednjonaponske mreže distribucijskog područja Elektroistra Pula provedena analiza mreže u pogledu sigurnosti opskrbe uz promjenu opterećenja, odnosno kontrola pada napona u mreži i preopterećenosti pojedinih elemenata mreže za svaku godinu promatranja. Na mjestima u mreži gdje su analizom utvrđena zagušenja, odnosno kritične točke po pitanju sigurnosti opskrbe, utvrđeni su potrebni zahvati za sanaciju istih.

4. REZULTATI

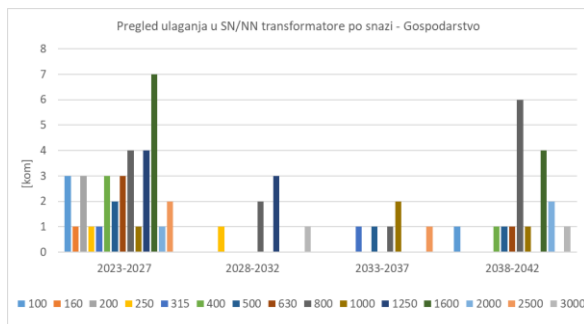
Rezultati studije su Neplan modeli srednjonaponske mreže i medoida za svaku godinu promatranja, tablični prikaz rezultata za svaki element mreže za svaku promatranu godinu s pridruženim rezultatima analize (pad napona, vršno opterećenje i dr.), GIS modeli srednjonaponske i niskonaponske mreže, tablični prikaz rezultata preslikavanja sa medoida u stvarnu mrežu i dr. Iz studijskih materijala može se napraviti više vrsta izvješća ovisno o potrebi i željenom cilju, a u nastavku su prikazani neki od ključnih rezultata studije. Rezultati su podijeljeni u četiri kategorije, a kako slijedi: VN/SN i SN/SN pojne točke, SN mreža, SN/NN transformatori i NN mreža. U studiji je za početni period promatranja prikaz rezultata dat kroz kraća razdoblja dok je za krajnji period promatranja prikaz sveden na petogodišnja razdoblja. U ovom referatu svi rezultati svedeni su na petogodišnja razdoblja zbog lakšeg praćenja i usporedbe. Za pojne točke i transformatorske stanice SN/NN mjere za sanaciju zagušenja prikazane su u naturalnim veličinama po petogodišnjim razdobljima te raspoređene po instaliranoj snazi transformatora dok su za transformatorske stanice SN/NN dodatno raspoređene i po klasterima. Mjere za sanaciju zagušenja u srednjonaponskoj i niskonaponskoj mreži također su raspoređene po petogodišnjim razdobljima i prikazane su dužinom potrebnih novih zračnih vodova i kabela.



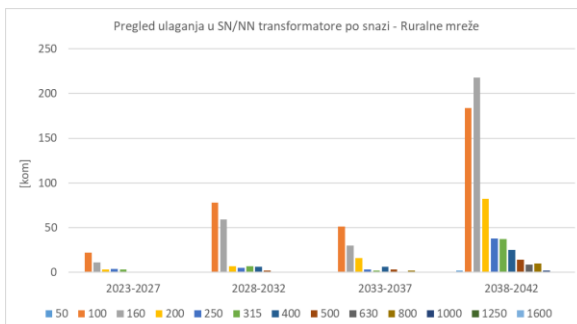
Slika 10 – Broj potrebnih novih transformatora – Pojne točke



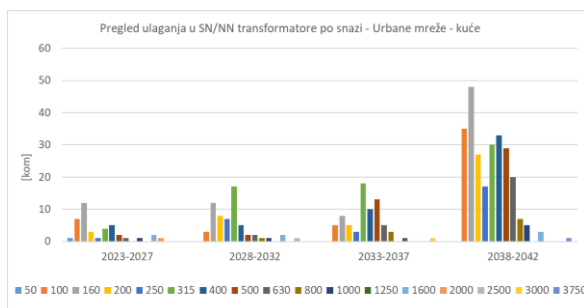
Slika 11 – Broj potrebnih novih SN/NN transformatora po klasterima



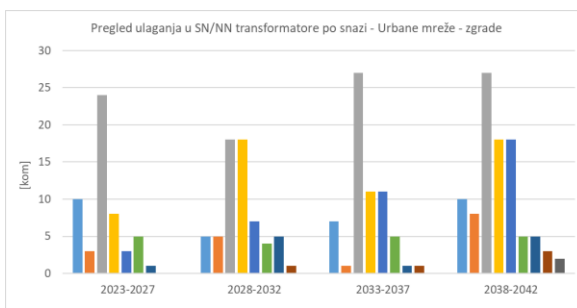
Slika 12 – Broj potrebnih novih SN/NN transformatora za klaster Gospodarstvo



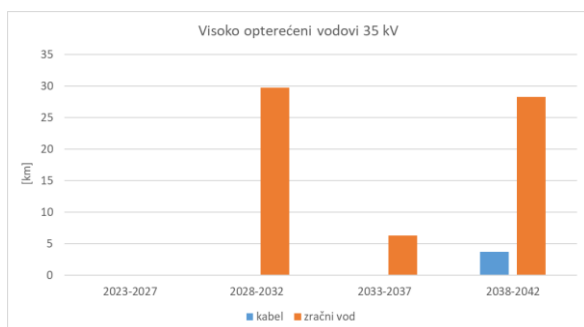
Slika 13 – Broj potrebnih novih SN/NN transformatora za klaster Ruralne mreže



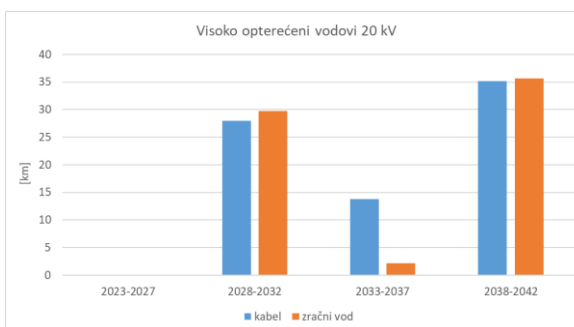
Slika 14 – Broj potrebnih novih SN/NN transformatora za klaster Urbane mreže - kuće



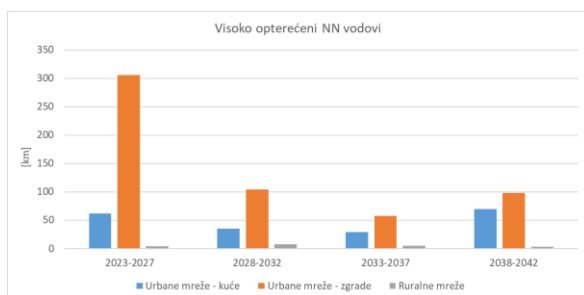
Slika 15 – Broj potrebnih novih SN/NN transformatora za klaster Urbane mreže - zgrade



Slika 16 – Duljina potrebnih novih 35 kV vodova



Slika 17 – Duljina potrebnih novih 20 kV vodova



Slika 18 - Duljina potrebnih novih niskonaponskih vodova

Sukladno prikazanim rezultatima može se zaključiti kako slijedi:

- Ukupan broj VN/SN transformatora u pogonu u DP Elektroistra je 36. Iz slike 10 vidljivo je da je u periodu promatranja studije potrebna zamjena 19 (53%) transformatora VN/SN, a najviše u zadnjem petogodištu, njih 11, što je 60% od ukupnog broja transformatora predviđenih za zamjenu. Nešto bolja situacija je sa SN/SN transformatorima kojih ima ukupno 59 komada, a za zamjenu se predviđa njih 19, što je ukupno 32%.
- Ukupna duljina 35 kV mreže u DP Elektroistra Pula iznosi 133 km, od čega je 72 km zračna mreža a 61 km kabelska mreža. Iz Slike 16 vidljivo je da u 35 kV mrežu u prvih 5 godina nema potrebe za dodatnim ulaganjima. U slijedećih 5 godina biti će potrebno zamijeniti preko 40% zračne mreže dok će u preostalom razdoblju promatranja biti potrebno zamijeniti gotovo cijelu zračnu mrežu. Stanje u kabelskoj mreži je bitno bolje i na istoj se očekuje ulaganje u posljednjih 5 godina i to u samo 7% mreže.
- Ukupna duljina 20 kV mreže u DP Elektroistra Pula iznosi oko 2900 km, od čega je oko 1700 km zračna mreža a oko 1200 km kabelska mreža. Iz Slike 17 vidljivo je da u 20 kV mrežu u prvih 5 godina nema potrebe za dodatnim ulaganjima. U slijedećih 5 godina biti će potrebno zamijeniti oko 2% zračne mreže dok će u preostalom razdoblju promatranja biti potrebno dodatno zamijeniti nešto više od 2% mreže. Stanje u kabelskoj mreži je slično kao i u zračnoj, odnosno potrebno je ukupno zamijeniti oko 6% mreže u cijelom promatranom razdoblju.
- Ukupan broj SN/NN transformatora u DP Elektroistra Pula je 2425 komada, od kojih 772 pripada klasteru ruralne mreže, 643 klasteru urbane mreže-zgrade, 625 klasteru urbane mreže-kuće i 385 klasteru gospodarstvo. Iz slike 11 vidljivo je da je u periodu promatranja studije potrebna zamjena 67(17%) transformatora u klasteru gospodarstvo, 428(68%) transformatora u klasteru urbane mreže-kuće, 772(123%) transformatora u klasteru ruralne mreže i 277(43%) transformatora u klasteru urbane mreže zgrade. Najgora situacija je u klasteru ruralne mreže u kojima će biti potrebne višestruke zamjene transformatora, a iz čega proizlazi navedenih 123% potrebnih zamjena. Najviše zamjena u klasteru ruralne mreže predviđa se u zadnjem petogodištu i iznosi 623 transformatora, što čini 81% ukupnog broja transformatora za zamjenu. Nešto bolja situacija je u klasteru urbane mreže-kuće gdje se u zadnjem petogodištu predviđa zamjena 225 transformatora, što čini oko 40% ukupnog broja transformatora za zamjenu. U preostala dva klastera situacija je znatno bolja.

- Ukupna duljina NN mreže u DP Elektroistra Pula iznosi oko 4500 km, od čega je oko 2000 km zračna mreža a oko 2500 km kabelska mreža. Iz Slike 18 vidljivo je da je u NN mreži potrebno zamijeniti oko 800 km mreže u promatranom periodu, što iznosi oko 18% ukupne duljine NN mreže. Najveća ulaganja predviđaju se u klasteru urbane mreže-kuće, 564 km što iznosi preko 70% ukupnih ulaganja.

5. ZAKLJUČAK

Studija „Utjecaj elektrifikacije prometa na razvoj distribucijske mreže HEP ODS-a na primjeru mreže distribucijskog područja Elektroistra Pula“ daje analizu distribucijske mreže u horizontu promatranja od 20 godina iz dvije perspektive:

- iskorištenosti kapaciteta mreže i procjene kritičnih dijelova SN mreže distribucijskog područja Elektroistra Pula,
- prognoze i procjene kritičnih dijelova NN mreže s aspekta iskorištenosti opreme i zadovoljenja naponskih prilika u mreži (procjena kretanja napona u propisanim granicama).

U prikazanom pregledu rezultata, što je bio primarni cilj ovog dokumenta proizašlog iz studije, jasno su prikazane projekcije rasta naturalnih podataka koji karakteriziraju predmetnu distribucijsku mrežu (broj novih transformatora i duljine novih vodova). Ove projekcije rasta osnove su za učinkovito planiranje i ulaganje u novu opremu i postrojenja u distribucijskoj mreži.

6. LITERATURA

[1] Ekenerg - Institut za energetiku i zaštitu okoliša d.o.o., Institut za elektroprivredu d.d., Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva, i F. za elektrotehniku Univerza v Ljubljani, „Utjecaj elektrifikacije prometa na razvoj distribucijske mreže HEP ODS-a na primjeru mreže distribucijskog područja Elektroistra Pula“, 2024.