

# Utjecaj elektromobilnosti na distribucijsku mrežu

---

**Kovačević, Tomislav**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:989564>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-01**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni studij**

**UTJECAJ ELEKTROMOBILNOSTI NA  
DISTRIBUCIJSKU MREŽU**

**Diplomski rad**

**Tomislav Kovačević**

**Osijek, 2023.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit**

Osijek, 18.09.2023.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit**

<b>Ime i prezime Pristupnika:</b>	Tomislav Kovačević
<b>Studij, smjer:</b>	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
<b>Mat. br. Pristupnika, godina upisa:</b>	D-1241, 06.10.2019.
<b>OIB studenta:</b>	80898462390
<b>Mentor:</b>	prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš
<b>Sumentor:</b>	Ružica Kljajić, mag. ing. el.
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Predsjednik Povjerenstva:</b>	izv. prof. dr. sc. Krešimir Fekete
<b>Član Povjerenstva 1:</b>	Ružica Kljajić, mag. ing. el.
<b>Član Povjerenstva 2:</b>	prof. dr. sc. Srete Nikolovski
<b>Naslov diplomskog rada:</b>	Utjecaj elektromobilnosti na distribucijsku mrežu
<b>Znanstvena grana diplomskog rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak diplomskog rada:</b>	Zadatak diplomskog rada je provesti analizu realne distribucijske mreže s aspekta implementacije infrastrukture za punjenje električnih vozila. Primjenom GIS podrške potrebno je analizirati odabranu distribucijsku mrežu i pružiti projekciju pokazatelja investicijskih troškova i opterećenja lokalnih TS s obzirom na predviđeni trend rasta broja električnih vozila. Analizu je potrebno provesti sa dva različita modela. Prvi model se odnosi na stambene jedinice koje posjeduju osigurano parkingno mjesto i drugi model koji bi uvžavao javnu parkingnu površinu. (Tema je pogodna isključivo za studente koji su spremni za istraživački rada ili primaju stipendije ODS-a, sumentor Filip Relić, mag. ing. FER ODS Sijek)
<b>Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):</b>	Izvrstan (5)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
<b>Datum prijedloga ocjene od strane mentora:</b>	18.09.2023.
Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:	<i>Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.</i>
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 28.09.2023.

**Ime i prezime studenta:**

Tomislav Kovačević

**Studij:**

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

D-1241, 06.10.2019.

**Turnitin podudaranje [%]:**

11

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Utjecaj elektromobilnosti na distribucijsku mrežu**

izrađen pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš

i sumentora Ružica Kljajić, mag. ing. el.

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.  
Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. LEGISLATIVA .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1. Potrebne investicije .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Aktualni propisi iz područja elektromobilnosti za EU i RH .....</b>	<b>4</b>
<b>2.3. Uvođenje naknade za zagušenje – primjer London .....</b>	<b>6</b>
<b>3. TRENUTNO STANJE TEHNIČKE REALIZACIJE .....</b>	<b>9</b>
<b>3.1. Karakteristike automobilskih punionica .....</b>	<b>10</b>
3.1.1. Standardi za punjenje električnih vozila .....	10
3.1.2. Pregled standarda konektora za punjače električnih vozila .....	12
<b>3.2. Koncept punjenja .....</b>	<b>15</b>
3.2.1. Tehnologije punjenja električnih vozila .....	15
3.2.2. Metode punjenja električnih vozila .....	18
<b>3.3. Projekcija HOPS-a .....</b>	<b>22</b>
<b>4. OGRANIČENJA PRIMJENE ELEKTRIČNIH VOZILA .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1. Ograničenja mreže .....</b>	<b>25</b>
4.1.2. Negativni utjecaji na distribucijsku mrežu .....	25
4.1.3. Pozitivni utjecaji na distribucijsku mrežu .....	28
<b>5. MOGUĆNOST IMPLEMENTACIJE ELEKTROMOBILNOSTI NA PRIMJERU DISTRIBUCIJSKE MREŽE .....</b>	<b>31</b>
<b>5.1. Modeliranje i opis distribucijske mreže .....</b>	<b>33</b>
<b>5.2. Analiza uvjeta simulacije .....</b>	<b>36</b>
5.2.1. Izazovi izrade simulacije u programskom paketu DigSilent .....	50
<b>6. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>52</b>
<b>7. LITERATURA .....</b>	<b>53</b>
<b>SAŽETAK .....</b>	<b>55</b>
<b>ŽIVOTOPIS .....</b>	<b>56</b>

## 1. UVOD

Distribucijske mreže su rašireni dijelovi elektroenergetskog sustava, koji povezuju krajnjeg potrošača sa ostatkom mreže. Imaju zadatak osigurati distribuciju električne energije do potrošača uz zadovoljavajući stupanj kvalitete napona i frekvencije. Nepredviđena opterećenja mogu imati veliki utjecaj na rad takvog sustava i bitno je poznavati podatke koji mogu utjecati na ponašanje distribucijske mreže. Narušavanje stabilnosti distribucijske mreže u budućnosti bi uvelike moglo doći od strane elektromobilnosti, pogotovo sve većim prihvaćanjem električnih vozila i potrebe za punjenjem istih.

Europska komisija postavila je vrlo ambiciozan cilj u smanjenju emisija stakleničkih plinova, sve u cilju kako bi postala prvi klimatski neutralan kontinent do 2055. godine. Što se planira postići uvođenjem zabrane prodaje vozila sa motorima na unutarnje izgaranje i potpuni prelazak na električna vozila. Prema tim ciljevima predviđa se da će do kraja desetljeća broj električnih vozila u prometu narasti na 42,8 milijuna i procjena kako će 50% novih prodanih vozila u 2030. godini biti električna.

U ovom radu provedena je analiza utjecaja elektromobilnosti na distribucijsku mrežu. U prvom dijelu rada objašnjena je trenutna legislativa, planovi Europske komisije za elektromobilnost i procjene za budućnost. Nakon toga dan je tehnički aspekt elektromobilnosti, napravljen je pregled trenutačnog stanja, karakteristika i značajki punionica za električna vozila, načine punjenja i ograničenja koja mogu postojati u mreži. U posljednjem dijelu ovoga rada analizirana je mogućnost implementacije elektromobilnosti na primjeru distribucijske mreže sa provođenjem simulacija u programskom paketu DigSilent, proučavanjem pet scenarija kako bi se dobio bolji uvid u opseg utjecaja elektromobilnosti na distribucijsku mrežu.

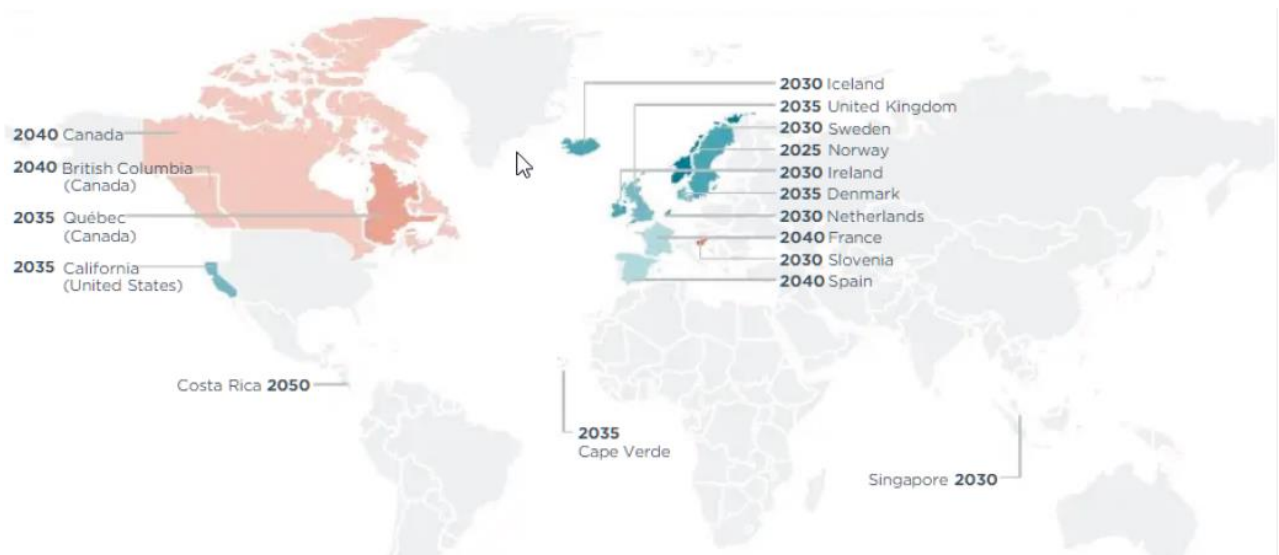
## 2. LEGISLATIVA

U studenome 2019. godine Europski parlament proglasio je klimatsku uzbunu tražeći od Europske komisije da prihvati sve njihove prijedloge u svezi limita od 1,5 °C za globalno zagrijavanje čime bi se značajno smanjile emisije stakleničkih plinova. Kao odgovor na to, Europska komisija predstavlja *European Green Deal*, putokaz za Europu kako bi postala klimatski neutralan kontinent do 2050. godine [1]. Parlament prihvaća novi Europski zakon 24. lipnja 2021., čime čini zakonski obvezujući cilj za smanjenje emisija od 55% do 2030. godine. Ovim potezom Europska unija postaje sve bliža cilju smanjenja negativnih emisija i potvrđuje status svjetskog vođe u borbi protiv globalnih klimatskih promjena. Europska komisija postavlja vrlo ambiciozan cilj u vidu smanjenja CO<sub>2</sub> razina, a to čini putem novog paketa „*Fit for 55 Package*“, koji je izdala u srpnju 2021. godine. Cilj tog paketa je smanjenje emisija za bar 55% do 2030. godine u usporedbi sa 1990.godinu, a kako bi postala prvi klimatski neutralan kontinent do 2055. godine.

Kako bi se ostvarila ova redukcija očekuje se doprinos svih ekonomskih sektora, uključujući i prometni sektor. Naime, prometni sektor je jedan od sektora gdje su razine stakleničkih plinova *Greenhouse gases* (GHG) u konstantnom porastu od 1990. godine, čineći sveukupno 20% svih emisija stakleničkih plinova unutar Europske unije. Predviđa se da bi do 2030. godine emisija stakleničkih plinova od prometnog sektora mogla povećati za skoro 20% i biti blizu 50% do 2050. godine ako se ne poduzmu odgovarajuće mjere.

Shvaćajući važnog prometnog sektora u doprinosu stakleničkih plinova, Europska komisija napravila je reviziju klimatskih i energetske regulativa za cestovni promet iz 2021. godine. Novi zadatak je da se do 2030. godine nivo emisija kod novih osobnih i teretnih vozila smanji za 55% u odnosu na 2021. godinu. Trenutna regulativa za teretna vozila zahtijeva smanjenje od 30% do 2030. godine i biti će revidirana 2022. godine. Skupa ovi ciljevi zahtijevaju da značajan udio prodaje novih osobnih putničkih vozila i vozila za teretni promet budu električna vozila. Ovakav budući porast električnih vozila zahtijeva i ubranu izgradnju infrastrukture za punjenje električnih vozila na nivou Europske unije.

Automobilska industrija je od kritične važnosti za Europsku uniju čineći preko 7% BDP-a, osiguravajući posao za 14,6 milijuna Europljana i trenutačno doživljava velike promjene zbog tako ambicioznih ciljeva. Sa ovako visokim ekonomskim i socijalnim vrijednostima na kocki, automobilski sektor će proći kroz strukturalnu promjenu prema nisko-emisijskim tehnologijama, zadržavajući svoju ulogu kao globalne vođe u čistoj pokretности. [2]



**Slika 2.1.** Ciljevi vlada za 100% zabranu prodaje vozila na motore sa unutarnjim izgaranjem (plavo prodaja samo BEV+FCEV, crveno prodaja samo BEV+FCEV+PHEV), [3]

## 2.1. Potrebne investicije

Plan Europske unije za punjenje električnih vozila procjenjuje kako će do 2030. godine biti potrebno investirati otprilike 280 bilijuna eura za instaliranja električnih punjača (materijal i radna snaga), nadogradnju elektroenergetske mreže i proizvodne kapacitete za proizvodnju energije iz obnovljivih izvora. Od toga sveukupno otprilike 185 bilijuna eura otpada na osobna vozila, 50 bilijuna eura na laka dostavna vozila i 45 bilijuna eura na autobuse i kamione. U razmatranje u ovoj analizi uzeti su i javna i privatna mjesta za punjenje [2].

Kroz cijelu Europu, javno mjesto za punjenje definirano je kao punjač koji ima ne diskriminirajući pristup. Prema ovoj definiciji, punjači locirani na parkiralištima supermarketa ili u garažama sa otvorenim pristupom spadaju u javne punionice.

Za transformaciju prema čistoj električnoj mobilnosti biti će potrebno sveukupno investirati približno 1000 bilijuna eura do 2050. godine u infrastrukturu (javnu i ne javnu), nadogradnju mreže, izgradnju obnovljivih izvora energije. Prema planu za električno punjenje 30% ovih investicija biti će potrebno investirati u infrastrukturu kako bi se smanjile emisije CO<sub>2</sub> u cestovnom prometu do 2030. godine, iako će tada manje od 20% cestovnog prometa biti električna vozila. Ove investicije čine se velikima, ali one su tek mali dio ukupnih investicija koje će biti potrebne u komparabilne infrastrukturne projekte. To je zbog toga što punjenje električnih vozila čini tek 18% obnovljivih izvora energije koji će biti instalirani do 2030. godine.



Ulaganja zahtijevaju ravnotežu privatnih i javnih ulaganja, gdje su javna ulaganja usredotočena na regije i javne punjače s početno niskom iskorištenošću prije nego što se postignu pozitivni poslovni slučajevi. Dosadašnja su privatna ulaganja bila usmjerena na izgradnju profitabilnije infrastrukture za brzo istosmjerno punjenje, dok se infrastruktura za sporo izmjenično punjenje oslanjala na javno financiranje.

Postizanje smanjenja emisije stakleničkih plinova od 55% za osobna, laka dostavna vozila, te 30% redukcije za kamione zahtijevati će isto tako udio električnih vozila za pojedinu kategoriju od 17%, 13% i 3,5% do 2030. godine. Ovo se translacija u 42,8 milijuna električnih osobnih vozila (*battery electric vehicles* BEV i *plug-in hybrid electric vehicles* PHEV), 4,4 milijuna električnih lakih dostavnih vozila i 0,3 milijuna električnih kamiona na cesti do kraja desetljeća. Za ovakve promjene potrebna je ubrzana izgradnja infrastrukture za punjenje tih vozila. Planom se predviđa kako će do 2030. godine biti potrebno instalirati 6,8 milijuna punjača za osobna vozila, 0,7 milijuna za laka dostavna vozila, 0,1 milijun za potrebe kamiona i autobusa [2].

Kako bi se postigao ovaj cilj, izgradnja novih punjača se mora povećati sa sadašnjih 2000 na tjednoj bazi u 2021. godini, na preko 23000 novih punjača na tjednoj bazi u 2030. godini. Prosječno bi se 14000 javnih punjača trebalo postaviti na tjednoj bazi između 2021. i 2030. godine. Trenutna brzina postavljanja punjača od 2000 jedinica na tjednoj bazi je već za 1,7 puta ispod tjednih potreba i treba se dodatno još povećavati svake godine [2].

Zanimljivo je primijetiti da od 14000 potrebnih punjača koje treba instalirati tjedno, zemlje Europske unije trenutno u prosjeku instaliraju po stopi koja iznosi 11% ovog broja. Dakle, potrebno je deveterostruko ubrzanje. Međutim, očekuje se da će zemlje zahtijevati različite stupnjeve ubrzanja, prvenstveno zbog tržišnog udjela električnih vozila i razlika u izgledima za usvajanje.

## **2.2. Aktualni propisi iz područja elektromobilnosti za EU i RH**

Tehničke smjernice i pravni propisi koji se odnose na punionice za električna vozila u Europskoj uniji sadržani su u Direktivi (EU) 2018/844. Prema navedenoj direktivi, države članice Europske unije obvezne su: Osigurati izgradnju lako dostupne infrastrukture koja će smanjiti troškove postavljanja punionica za pojedinačne vlasnike, korisnicima električnih vozila omogućiti pristup punjačima. Prilikom provedbe zahtjeva za električnu mobilnost u državnom zakonodavstvu, potrebno je uzeti u obzir različite uvjete u vezi, na primjer, s vlasništvom nad zgradama i susjednim

parkiralištima, ulogom privatnih subjekata koji upravljaju javnim parkiralištima ili različitim funkcijama objekata (stambenih i nestambenih).

Prema Hrvatskom zakonu o promicanju elektromobilnosti i uspostavi infrastrukture za punjenje u zgradama vrijede slijedeći članci:

1. Članak 21.a (NN 125/9 - na snazi od 10.03.2020.)

Za nove i postojeće zgrade primjenjuju se zahtjevi za povećanje elektromobilnosti uspostavom infrastrukture za punjenje u zgradama.

2. Članak 21.b (NN125/19 – na snazi od 10.03.2020.)

(1) Za nove zgrade i zgrade koje se podvrgavaju značajnoj obnovi, a čija namjena ne uključuje, s više od deset parkirališnih mjesta, postavlja se barem jedno mjesto za punjenje te kanalska infrastruktura, to jest cijevi za električne kabele, za barem jedno od svakih pet parkirališnih mjesta, kako bi se u kasnijoj fazi omogućilo postavljanje mjesta za punjenje električnih vozila kada se:

- parkiralište nalazi u zgradi i kada su u slučaju značajne obnove zgrade mjerama obnove obuhvaćeni parkiralište ili električna infrastruktura zgrade ili
- parkiralište nalazi neposredno uz zgradu i kada su u slučaju značajne obnove zgrade mjerama obnove obuhvaćeni parkiralište ili električna infrastruktura parkirališta.

(2) Za sve zgrade čija namjena ne uključuje stambenu, s više od dvadeset parkirališnih mjesta, potrebno je postaviti najmanje jedno mjesto za punjenje.

Ispunjenje zahtijeva iz stavka 1. i 2. ovoga članka dužan je osigurati investitor, odnosno vlasnik nekretnine [4].

3. Članak 21.c (NN 125/19 – na snazi od 10.03.2020.)

(1) Za nove zgrade i zgrade koje se podvrgavaju značajnoj obnovi, s više od deset parkirališnih mjesta, kada je zgrada stambene namijene, odnosno druge namjene kojih je jedna stambena, postavlja se kanalska infrastruktura, to jest cijevi za električne kabele, za svako parkirališno mjesto kako bi se u kasnijoj fazi omogućilo postavljanje mjesta za punjenje električnih vozila kada se:

- parkiralište nalazi u zgradi i kada se u slučaju značajne obnove zgrade mjerama obnove obuhvaćeni parkiralište ili električna infrastruktura zgrade ili
- parkiralište nalazi neposredno uz zgradu i kada su u slučaju značajne obnove zgrade mjerama obnove obuhvaćeni parkiralište ili električna infrastruktura parkirališta.

(2) Ispunjenje zahtijeva iza stavka 1. ovoga članka dužan je osigurati investitor, odnosno vlasnik nekretnine.

4. Članak 21.d (NN 125/19 – na snazi od 10.03.2020.)

(1) Zahtjevi iz članka 21.b ovoga Zakona ne primjenjuju se na zgrade čiji su vlasnici ili korisnici mala i srednja poduzeća.

(2) Zahtjevi za promicanje elektromobilnosti iz članka 21.a, 21.b, 21.c ovoga Zakona ne primjenjuju se ako:

- zahtjev za izdavanje lokacijske ili građevinske dozvole, odnosno istovjetni zahtjev podnesen do 10. ožujka 2021.

- bi potrebna kanalska infrastruktura ovisila o mikro izoliranim sustavima što bi prouzročilo znatne probleme u radu lokalnih energetske sustava i ugrozilo stabilnost lokalne mreže

- su troškovi postavljanja infrastrukture za punjenje i kanalske infrastrukture veći od 7% ukupnog troška značajne obnove zgrade.

### **2.3. Uvođenje naknade za zagušenje – primjer London**

U 2002. godini grad London ja snosio posljedice jedne od najgorih zagušenosti unutar Ujedinjenog kraljevstva, gdje je prosječna brzina kretanja prometa bila manja od 12km/h. Takvim stanjem zbog zagušenosti prometa grad je na tjednoj osnovi po procjeni gubio od 2 - 4 milijuna funti, zbog izgubljenog vremena u prometu.

Tijekom studenog 2000. godine, nadolazeći kandidat za gradonačelnika Ken Livingstone, započeo je preliminarne konzultacije za njegov nacrt strateškog razvoja prometa. U njemu su sadržane detaljne informacije kako bi predloženi nacrt trebao izgledati, a potom je i izdat iste godine „*The Technical Assessment Report on the Road Charging Options for London*“ (ROCOL), formirajući bazu za današnju shemu naplate zbog zagušenosti [5].

Nakon što je donesena odluka da se odredba sprovede, provedena je ekstenzivna informacijska kampanja kako bi se javnost upoznala, tj. stanovnici i posjetioči Londona upoznali sa detaljima budućeg nacrta. Primarni cilj nacrta i plana je bilo smanjivanje broja osobnih vozila

koji ulaze u centralni dio Londona, a kako bi se više oslonili na korištenje alternativnih metoda transporta, korištenje javnog prijevoza zauzvrat vraćajući značajni dio novca kroz prihode od istih.

U veljači 2003. godine započinje Londonska inicijativa za naplatu naknade za zagušenje kako bi smanjila broj vozila koji se kreću unutar Londona. Inicijalno je zona pokrivala površinu od 22 km<sup>2</sup>, ali se skoro udvostručila u veljači 2007. godine.

- Vozači su plaćali naknadu za ulaz od 8 funti kako bi u vremenu od 07 h do 18 h, ponedjeljak-petak ušli unutar zone
- Vozačima koji su izbjegavali platiti naknadu izdane su dodatne kazne
- Stanovnici unutar zone su imali 90% popusta za plaćanje naknade
- Određene vrste vozila su bile izuzete od naknade, ekološki prijateljska (električna) vozila, taksiji, autobusi, vozila vozača sa invalidnošću

Od samog početka inicijativa je pokazala značajan utjecaj, do 2006. godine naknada za zagušenje je smanjila zagušenost unutar centralnog Londona za 26% u usporedbi sa 2002. godinom, usput postižući šire ekonomske, ekološke i socijalne doprinose [6].

Neki od rezultata su:

- broj putnika koji su ulazili unutar zone putem autobusa uvećao se za 37%
- emisija stakleničkih plinova smanjena je za 16% već 2003. godine, a 2004. godine za 22% u odnosu na 2002. godinu
- u periodu od 2005. godine do 2006. godine generirana je zarada od 122 milijuna funti
- unutar zone zapaženo je 40-70% posto manje nesreća koje su za posljedicu imale osobne ozljede, značajno podižući sigurnost u prometu
- bazirajući se na osnovnu cijenu od 8 funti, procjenjuje se kako su mjere za naknadu na godišnjoj razini uštedjele 2,5 milijuna funti, kao izravne posljedice smanjenja kilometrarine vozila, potrošnje goriva i CO<sub>2</sub> emisija
- postignuta je troškovna učinkovitost od 78 milijuna funti kad se uzmu u obzir svi troškovi i doprinosi
- povećana je prodaja hibridnih vozila.

Londonska naknada za zagušenje, uvedena 2003. godine, bila je prva takve vrste i pokrenula je jednu pravu revoluciju načina na koji stanovnici Londona pristupaju kretanju unutar grada. Pokazala je snažan utjecaj na okoliš i zagušenost prometom te popločala put za nove inovacije transporta u Londonu, a i nakon 20 godina pokazuje kako je London bio predvodnik uvođenjem

takve naknade. Prikupljenim sredstvima od naknade za zagušenje poslužilo je da se omogući ekološki prihvatljivije kretanje i učinilo grad efikasnijim i lakšim za živjeti.

Sa godinama navedene mjere pokazale su i neke negativne strane:

- povećan broj osobnih auta za najam, pošto su izuzeta od plaćanja, nemogućnost utjecaja na njihovu brojnost
- podatci pokazuju da stanovnici rade manje osobnih putovanja, ali je porastao broj dostava i korištenja taksi vozila
- pao je broj putnika u autobusima kao direktna posljedica zagušenja prometa jer su se pokazali kao nepouzdana način transporta, kašnjenja
- pozitivna promjena, broj biciklista je porastao za 210% između 2000. i 2016. godine.

Zbog sve većeg zagušenja u gradovima, nekolicina gradova je slijedila londonski primjer, većina sa svojim mjerama, ali i budućim mjerama koje su na razmatranju za uvođenje u gradove diljem svijeta. Londonska inicijativa pokazala je značajan uspjeh u smanjenju zagađenja i emisiji stakleničkih plinova, i kad se pribroje tome najavljene mjere, zakoni i propisi, pogotovo zabrana prodaje vozila na motore sa unutarnjim izgaranjem, može se zaključiti da će imati veliki utjecat na budućnost i način na koji se prometuje unutar gradova. Primarno se tu misli na uvođenje električnih vozila kao glavnog, a vjerojatni i jedinog oblika takvog prometa unutar gradova. Londonskim primjer uspješno se popločava put ka punoj elektrifikaciji prometa, što sa sobom nosi nove izazove, prvotno u obliku kompletne infrastrukture koja mora biti spremna na takovu promjenu.

### 3. TRENUTNO STANJE TEHNIČKE REALIZACIJE

Prema trenutačnom stanju realizacije glavnina zahtjeva za punjenjem je pokrivena od strane kućnih punjača, a povećana je potražnja za javnim punjačima kako bi se pružila ista razina pristupnosti i lakoće kao što je kod konvencionalnih vozila na fosilna goriva. Ta potreba je posebno bitna u gustim urbanim područjima gdje je pristup kućnim punjačima limitiran kako bi se osigurao daljnji prihvata električnih vozila. Krajem 2022. godine bilo je 2,7 milijuna punionica po svijetu, a više od 900 000 ih je bilo postavljeno u 2022. godine, što je povećanje od 50% u odnosu na 2021. godinu [7].

Globalno je instalirano više od 600 000 sporih javnih punjača, od kojih je 360 000 bilo instalirano u Kini podižući ukupnu brojku na više od 1 milijuna, čineći Kinu domom za više od polovice svjetskih sporih punjača. Europa se rangirala na drugo mjesto sa ukupno 460 000 sporih punjača u 2022. godini, što je 50% povećanje u odnosu na prijašnju godinu. Ovdje predvodi Nizozemska sa 117 000 punjača, zatim francuska sa 74 000 punjača i Njemačka sa 64 000 punjača. Udio sporih punjača se u Americi povećao za 9% u 2022. godini što je najmanji rast među velikim tržištima.

Za razliku od sporih punjača, javno dostupni brzi punjači, posebno oni koji se nalaze uz glavne cestovne puteve, omogućuju duža putovanja, smanjujući anksioznost zbog dometa koja je velika barijera prihvaćanja električnih vozila. Slično kao i spori punjači, brzi javni punjači pružaju pouzdan izvor napajanja kupcima koji nemaju pristup privatnim punjačima, ohrabrujući pritom prihvaćanje električnih vozila širem spektru populacije. Broj brzih punjača se u 2022. godini povećao za 330 000 na svjetskoj razini, iako je glavnina tog rasta došla iz Kine, čak 90%.

U Europi ukupan broj brzih punjača brojio je nešto više od 70 000 do kraja 2022. godine, povećanje od 55% u odnosu na 2021. godinu. Zemlje sa najvećim brojem punjača su Njemačka sa 12 000, Francuska 9 700 i Norveška sa 9 000. U Europskoj uniji postoji jasna ambicija za daljnjim razvijanjem javne infrastrukture za punjenjem kako je naznačeno privremenim sporazumom o predloženoj uredbi o infrastrukturi za alternativna goriva (*Alternative Fuels Infrastructure Regulation*, AFIR), koji će postaviti zahtjeve za pokrivenost električnim punjenjem preko transeuropske transportne mreže (*Trans-European Transport Network*, TEN-T).

U Sjedinjenim Američkim Državama instalirano je 6 300 brzih punjača u 2022. godini od čega su tri četvrtine bili Teslini Super punjači. Ukupan broj brzih punjača postigao je brojku od 28 000 do kraja 2022. godine. Prema podacima o dostupnosti za američki prosjek, potrebno je putovati 4 minute do najbliže benzinske crpke, a potrebno je putovati 31 minutu do najbližeg punjača.

Trenutačno postoji 976 Teslinih Super punjača koji to pokrivaju. A da bi pokrivenost bila unutar 4 minute, potrebno je dodatno 31 251 novih punionica, ukupnog troška izgradnje od 7,8 bilijuna dolara. Nameće se potreba jedne punionice za svaka 23 električna vozila. U Hrvatskoj trenutačno instalirano 1 223 priključka za punjenje električnih vozila, na 556 lokacija, a od toga je 278 brzih punjača sa DC priključkom.

### 3.1. Karakteristike automobilskih punionica

#### 3.1.1. Standardi za punjenje električnih vozila

Generalno standardi za punjenje električnih vozila podijeljeni su sljedeće:

- *International Electro Technical Commission* (IEC) standard je široko rasprostranjen u Europi
- Sjedinjene Američke države koriste dva standarda, prvi *Society of Automotive Engineers* (SAE) i drugi *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE)
- CHAdeMO standard koji se koristi u Japanu
- *Guobiao* (GD) standard koji se koristi u Kini [8]
- 

##### 1. IEC Standard

IEC je jedna od organizacija koja je povezana sa International Standard Organization (ISO), čiji je zadatak postaviti standarde potrebne električnoj industriji.

##### 1.1. IEC61851

IEC61851 standard pokriva generalno funkcioniranje za sisteme punjenja električnih vozila. Prema ovome standardu, propisani napon napajanja od 1000V AC ili maksimum od 1500V DC se može koristiti za punjenje električnih vozila.

##### 1.2. IEC61980

Ovo je standard za bez kontaktni prijenosni sustav punjenja električnih vozila. Također i ovaj standard se može koristiti za propisani napon napajanja od 1000V AC ili maksimum od 1500V DC se može koristiti za punjenje električnih vozila.

##### 1.3. IEC62196

IEC62196 standard se odnosi na PHEV vozila, utikače, konektore i ulaze.

## 2. SAE standard

SAE standard je organizacija koja razvija standarde za različite inženjerske standarde. Naglasak kod ovoga standarda je svjetsku prometnu industriju kao što su električna vozila.

### 2.1. SAE J2293

U sjevernoj Americi SAE J2293 standard specificira standarde za električna vozila i opremu za vanjsko punjenje koja se koristi kako bi se prenijela električna energija od izvora do električnog vozila. Ovaj dokument specificira ili direktno ili preko referenci, karakteristike cijelog sustava za prijenos energije kod električnih vozila kako bi osiguralo tehničku usklađenost električnih vozila i popratne opreme istih fizičkih arhitektura sustava. Ovaj standard se sastoji od dva djela. U prvom djelu govori o potrebnoj energetske i sistemskoj arhitekturi za tri operacijska stanja a to su vodljiva izmjenična struja, vodljiva istosmjerna struja i indukcija, poznati kao J2293-1 standard. U J2293-2 standardu opisani su standardi za potrebni za mrežnu komunikaciju i mrežnu arhitekturu za punjenje električnih vozila.

### 2.2. SAEJ1772

Po definiciji SAEJ1772 standarda definirana je kategorizacija sve opreme kao što su energetske prekidači, napon punjenja i ostale opreme u procesu punjenja električnih vozila. Sažetak standarda za napon punjenja i dopuštene struje prikazan je u tablici 3.1.1.1.

**Tablica 3.1.1.1.** Pregled vrijednosti napona i struje SAEJ1772 standarda.[8]

Standard	Izvor	Razina	Napon (V)	Faze	Maksimalna struja
SAEJ1772	AC	1. razina	120	Jednofazno	16
		2. razina	240	Jednofazno	32-80
	DC	1. razina	200-450	DC	80
		2. razina	200-450	DC	200

### 2.3. SAEJ1773

Ovaj SAE standard postavlja minimalnu sličnost između poveznčkih standarda za povezano induktivno punjenje električnih vozila u Sjevernoj Americi. Tipično ova vrsta povezanog induktivnog punjenja se koristi za prijenos električne energije na



frekvenciji mnogo višoj od normalne prijenosne mreže. Induktivni spojni sustavi koji koriste automatizirano spajanje ili su dizajnirani za prijenos električne energije na frekvenciji prijenosne mreže nisu pokriveni ovim standardom.

#### 2.4. SAEJ2847

SAEJ2847 i SAEJ2836 standardi određuju infrastrukturu za punjenje i komunikacijske zahtjeve za komuniciranje između električnih vozila.

#### 2.5. SAEJ2931

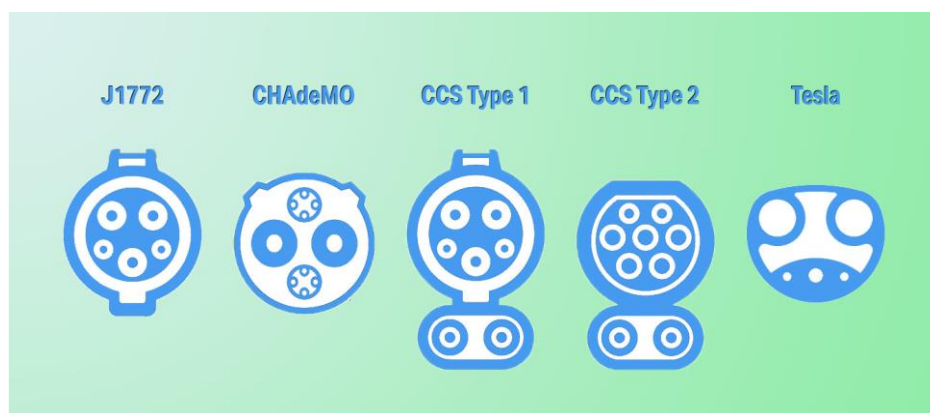
Ovaj standard specificira zahtjeve za digitalnu komunikaciju između PHEV vozila, opreme koja snabdijeva električna vozila, energetska sučelja, naprednu infrastrukturu za mjerenje i lokalnu mrežu.

#### 2.6. SAEJ2945

Ovaj standard cilja na bez kontaktnu izmjenu energije prema električnim vozilima, podržava tri brzine punjenja koje su podijeljene po razinama 3.7kW, 7.7kW i 11kW.

### 3.1.2. Pregled standarda konektora za punjače električnih vozila

Za punjenje vozila se koristi različita oprema i konektori. Konektori su različiti u ovisnosti o električnom vozilu i mogu se podijeliti u dvije kategorije. Te kategorije su konektori za prvu i drugu razinu punjenja te konektori za brzo DC punjenje. Na slici 3.1.2.1. prikazan je pregled konektora za punjenje električnih vozila [9].



Slika 3.1.2.1. Pregled konektora za punjenje električnih vozila.[9]

### 1. SAEJ1772

Ovaj konektor je industrijski standard za sva vozila koja se pune na prvoj i drugoj razini punjenja. Konektor i kabel za ovakvo punjenje najčešće dolazi uz električno vozilo ili se nalazi na punjačima koji se mogu pronaći namijenjenima za punjenje električnih vozila.

Na slici 3.1.2.2. može se vidjeti SAEJ1772 konektor.



**Slika 3.1.2.2.** SAEJ1772 konektor: utikač lijevo i utičnica desno.[10]

### 2. CHAdeMO

Ovo je prvi od tri tipa konektora trenutno prisutnima na električnim vozilima i prvi koji je uveden. Originalno je trebao biti implementiran kao industrijski standard kroz suradnju pet različitih japanskih proizvođača. Kao rezultat toga ovaj standard za konektore ostao je prevladavajući punjač u Japanu i na električnim vozilima japanskih proizvođača.

Na slici 3.1.2.3. može se vidjeti CHAdeMO konektor.



**Slika 3.1.2.3.** CHAdeMO konektor: utikač lijevo i utičnica desno. [10]

### 3. CCS

Ubrzo nakon što je uveden CHAdeMO, implementiran je i drugi dodatni standard za punjenje naziva *Combined Charging System* (CCS). Glavna razlika CCS konektora u

odnosu na CHAdeMO je to što dopušta AC/DC punjenje na istom konektoru. Vozila opremljena CHAdeMO konektorima zahtijevaju dodatni J1772 konektor kako bi se mogla puniti na prvoj i drugoj razini. CCS konektor je preferirani standard za punjenje električnih vozila u Europi i Americi i preferiran od proizvođača iz tih područja. Na slici 3.1.2.4. može se vidjeti CCS konektor.



**Slika 3.1.2.4.** CCS konektor: lijevo CCS1 za Europu i desno CCS2 za Sjevernu Ameriku.[10]

#### 4. Tesla Super punjač

Tesla je odlučila od prvog dana kako će samostalno praviti svoj put u industriji električnih vozila što nije bilo ni iznimka kod njihovog Super punjača. Ovaj patentirani punjači postoji na svim Teslinim modelima u Sjevernoj Americi iako nude CHAdeMO i CCS adaptere za određena tržišta, npr. Model 3 za Europsko tržište dolazi sa CCS konektorom. Nadalje starija Teslina Vozila u Europi su retrofitirana sa adapterima kako bi podržala postojeće konektore plus CCS standard. Ovo je omogućilo vlasnicima Teslinih vozila da pristupe rastućoj mreži punjača svud oko svijeta.

Na slici 3.1.2.5. može se vidjeti Teslin konektor za Super punjač.

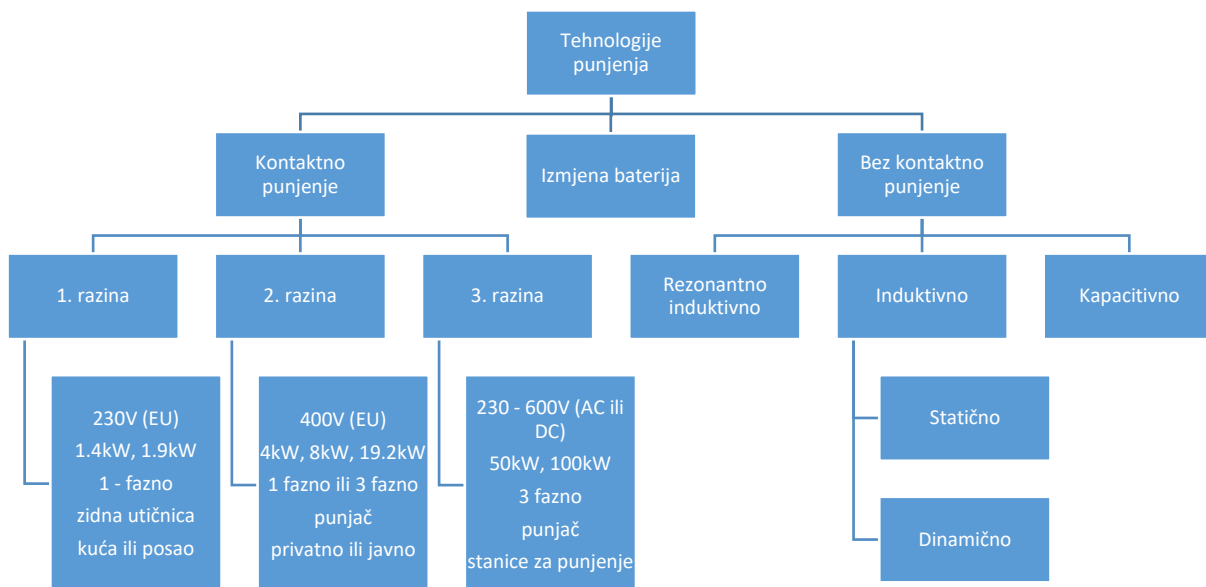


**Slika 3.1.2.5.** Konektor za Teslin Super punjač.[10]

## 3.2. Koncept punjenja

### 3.2.1. Tehnologije punjenja električnih vozila

Punjenje električnih automobila može se klasificirati u tri glavna područja: kontaktno punjenje, bežično (bez kontaktno) i zamjena baterija. Kontaktno punjenje je najjednostavnija i zasad preferirana metoda punjenja električnih vozila. Kod kontaktnog punjenja postoji fizička veza tj. vod, kabel između izvora napajanja i baterije, dok kod bez kontaktnog nema fizičkog dodira. Bez kontaktno punjenje i zamjena baterija nisu rasprostranjeni načini punjenja te su još uvijek u fazi istraživanja i razvoja [11]. Na slici 3.2.1.1. prikazana je detaljna klasifikacija različitih tehnologija punjenja.

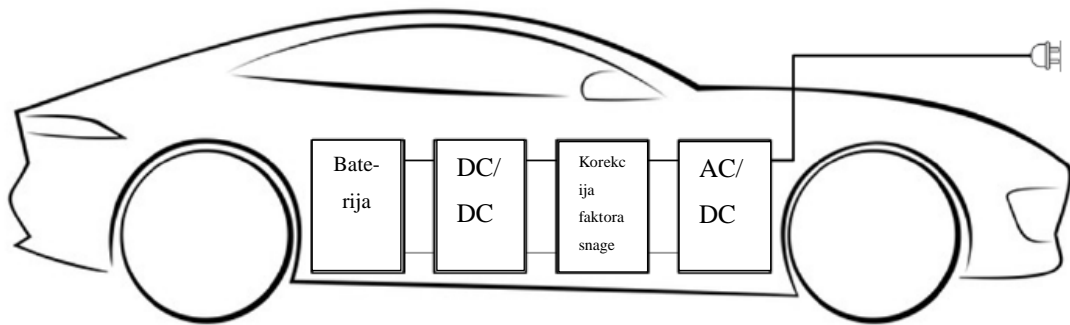


**Slika 3.2.1.1.** Klasifikacija tehnologija punjenja električnih vozila.[10]

#### 1. Kontaktno punjenje

Punjači za električna vozila imaju značajan utjecaj u prihvaćanju korištenja električnih vozila jer prihvaćanje istih od strane društva će ovisiti o lakom pristupu stanicama za punjače ili uličnim punjačima. Predstavljeno je nekoliko topologija za jednofazne i trofazne punjače. Uglavnom se sastoje od AC/DC pretvarača, elemenata za korekciju faktora snage i DC/DC pretvarača. Sustavi za punjenje klasificirani su na one unutar vozila, za sporo punjenje i vanjske za brzo punjenje. Daljnja klasifikacija se svodi na jednosmjernu ili dvosmjernu punjače. Jednosmjerni punjači imaju jednostavnije sklopove za punjenje i dopuštaju punjenje samo u jednom smjeru, od mreže prema električnom

vozilu. Dvosmjerni punjači dopuštaju tok energije iz mreže prema električnom vozilu, ali isto tako mogu injektirati energiju natrag iz baterije u mrežu ili kuću.



**Slika 3.2.1.2.** Komponente električnog punjenja u vozilu.[10]

Dostupnost i napreci kod infrastrukture za električno punjenje mogu smanjiti potrebu za veličinom spremnika potrebne energije i smanjiti anksioznost zbog dometa kod vlasnika električnih vozila. Prema *Society of Automotive Engineers* (SAE) standardu J1772 postoje 3 nivoa punjenja. Većina vlasnika električnih vozila će puniti svoja vozila preko noći kod kuće, tako da su prva i druga razina punjača primarne opcije, dok treća razina je rezervirana za javne stanice za punjenje.

### 1.1. Prva razina punjenja

Ovo je najsporiji i najjednostavniji način za punjenje jer ne zahtijeva nikakvu dodatnu infrastrukturu, potrebna je samo zidna utičnica. Dostupno je samo kao integrirani punjač. Iako je njegov trošak niži od drugih razina punjenja, potrebno je dugo vremena za potpuno punjenje. Zbog svojih slabih snaga punjenja ima najniži utjecaj na distribucijsku mrežu.

### 1.2. Druga razina punjenja

Druga razina punjenja koristi 240 V sa strujama do 80 A i 19.2 kW snage. Vlasnici električnih vozila preferiraju ovu razinu zbog njenog kraćeg vremena punjenja. Može zahtijevati dodatnu namjensku opremu za punjenje.

### 1.3. Treća razina punjenja

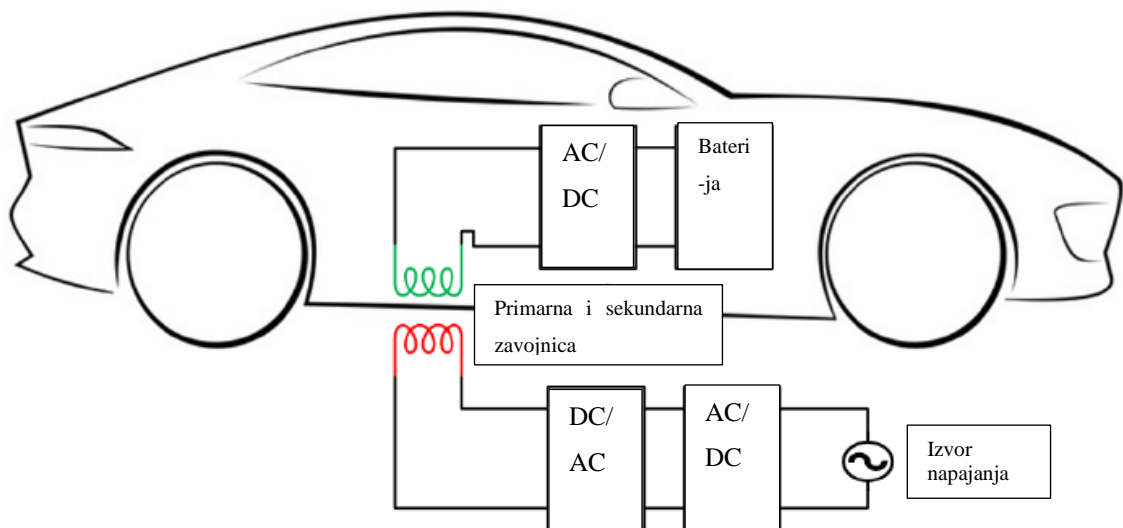
Treća razina punjenja je namijenjena za brzo punjenje i funkcioniše kao javne stanice za punjenje (manje od jednog sata) slično kao konvencionalne benzinske crpke, koje mogu biti instalirane na glavnim cestama ili auto putevima. Snabdijevanje je iz trofaznog izvora sa 480 V ili većim naponom. Dostupno je samo kako vanjski punjač zbog velike snage punjenja koja prelazi 100 kW. Iz toga je jasno da Treća razina

punjenja nije prikladna za privatnu namjenu. Ima visok trošak izgradnje što može predstavljati potencijalne probleme. Visoka snaga punjenja predstavlja prednost sa strane brzine punjenja, ali može generirati vršna opterećenja i preopteretiti distribucijsku mrežu i opremu.

## 2. Bežično punjenje

Bežično, beskontaktno punjenje omogućilo je punjenje električnih vozila bez kontakta između izvora napajanja i baterije. Tehnološki napreci u beskontaktno punjenju smanjiti će potreban kapacitet baterije u vozilu, što će smanjiti masu vozila, a time i cijenu istog, te reducirati potrošnju električnog vozila. beskontaktno punjenje ima potencijal za punjenje autobusa, a može raditi na različitim naponskim razinama. Najveća zabilježena efikasnost je 90%.

Beskontaktno punjenje može se klasificirati kao statično i dinamično, gdje kod prvog električno vozilo mora mirovati, a kod drugog je omogućeno kretanje vozila.



**Slika 3.2.2.3.** Pojednostavljeni dijagram induktivnog punjenja.[10]

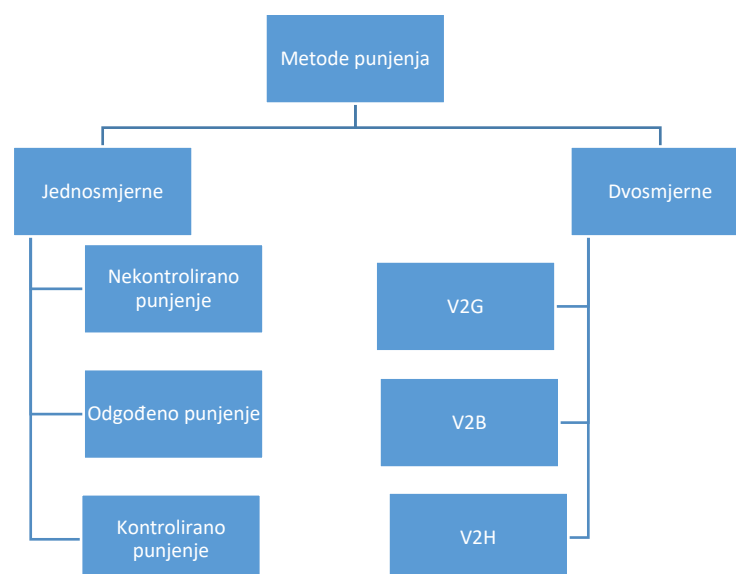
Trenutno beskontaktno punjenje je dizajnirano za jednosmjernan tok energije iz mreže prema vozilu, ali buduće razvijanje ove tehnologije omogućiti će električnim vozilima da predaju energiju natrag u mrežu. Prednosti ove tehnologije su što ne zahtijeva nikakve kabele, pruža sigurnost i pogodnosti za korisnike. Izazov za ovu tehnologiju su visoka cijena infrastrukture naspram kontaktnog punjenja i niska efikasnost.

### 3. Izmjena baterija

Stanice za izmjenu baterija, su stanice za punjenje kod kojih se ispražnjena baterija iz električnih vozila zamjenjuje sa potpuno napunjenom baterijom u samo par minuta. Ono se može koristiti kod autobusa jer imaju baterije velikih kapaciteta i može potrajati punjenje klasičnom metodom punjenja. Ova tehnologija zahtijeva veliki broj baterija na skladištu u vlasništvu stanice za izmjenu kako bi se mogle iznajmljivati korisnicima električnih vozila. Stanice za izmjenu baterija sadrže sve potrebno za punjenje i održavanje, izmjenu istih. Neke studije razmatraju kako bi stanice za izmjenu baterija mogle pružati usluge i *vehicle-to-grid* (V2G) modelu. Izazovi ove tehnologije su standardizacija baterija, visoki infrastrukturni troškovi i potreba za velikim prostorom za smještaj stanice za izmjenu baterija.

#### 3.2.2. Metode punjenja električnih vozila

Metode punjenja električnih vozila može se podijeliti u dvije glavne kategorije, jednosmjerno i dvosmjerno punjenje. Kod jednosmjernog punjenja tok energije je jedino iz mreže prema električnom vozilu tj. nekontrolirano punjenje, odgođeno punjenje i kontrolirano punjenje. Kod dvosmjernog punjenja energije može teći iz mreže prema električnom vozilu, ali i od električnog vozila prema mreži, nekom teretu, zgradi, tj. V2G, V2B, V2H tehnologije. Na slici ispod prikazana je podjela različitih metoda za punjenje [11].



Slika 3.2.2.1. Klasifikacija različitih metoda punjenja električnih vozila. [11]

### 1. Nekomolirano punjenje

Ovo je najjednostavnija metoda za punjenje električnih vozila. Vozilo je priključeno na punjač za punjenje pri maksimalnoj snazi električnog punjača dok baterija vozila ne bude napunjena do 100% vrijednosti kapaciteta iste, slično kao i bilo koji drugi elektronički uređaj sa baterijom. Nekoliko istraživanja pokazalo je kako takvo punjenje može imati ozbiljne negativne utjecaje na distribucijsku mrežu kao što su povećanje u vršnom opterećenju, preopterećivanje transformatora i vodova, smanjen životni vijek, povećani naponski propadi, povećana nebalansiranost sustava uslijed jednofaznih punjača, povećani gubici, harmonijska distorzija. Naime, ovakav način punjenja električnih vozila limitira prihvatljivu razinu penetracije električnih vozila, jer vlasnici istih pune svoja vozila po povratku kući sa posla, što se uobičajeno poklapa sa dnevnim vršnim opterećenjima. To će za sobom povući i potrebu za nadogradnjom sustava. Ova metoda punjenja poznata je još kao i „glupa metoda punjenja“, „nekomolirano i neregulirano punjenje“.

### 2. Odgođeno punjenje

Ozbiljni utjecaji nekomoliranog punjenja mogu biti umanjeni korištenjem punjenja sa odgodom. U tom slučaju operateri imaju različite cijene punjenja tijekom dana, sa nižim cijenama kada nisu sati vršnog opterećenja i sa višim cijenama kad su sati vršnih opterećenja. Ova metoda kontrolira vrijeme u danu kad se puni, ali ne kontrolira maksimalnu snagu punjenja, tj. vozilo se i dalje može puniti maksimalno brzo. Sa optimalnim tarifama tijekom dana ovakav način punjenja može biti poticajan za vlasnike električnih vozila da pune ista tijekom sati kad je manje opterećenje na mrežu, što može biti korisno za operatera distribucijskog područja i vlasnike električnih vozila. Iako je ova metoda dosta jednostavan način za poravnavanje dnevnog dijagrama opterećenja, neoptimalnim dizajnanjem može potaknuti veliki broj vlasnika električnih vozila da pune u satima najmanjeg opterećenja, što može rezultirati drugim vršnim opterećenjem. Dodatno ova metoda ignorira potrebe i preferenciju vlasnika električnih vozila koji možda imaju potrebu puniti vozilo u drugo vrijeme dana.

### 3. Kontrolirano punjenje

Limitiranost prethodnih metoda punjenja se može dodatno nadići korištenjem kontroliranog punjenja. Ova metoda kontrolira vrijeme punjenja i snagu punjenja električnih vozila u zavisnosti o parametrima distribucijske mreže kao što su ukupna



potrebna snaga, opterećenje transformatora, naponske stabilnosti, gubitaka snage ili kako bi se minimalizirala cijena punjenja. Ovom tehnikom električna vozila se ponašaju kao kontrolirani teret na mreži.

Kontrolirano punjenje može se klasificirati kao centralizirano, decentralizirano i autonomno. U centraliziranom načinu, centralna kontrola prikuplja podatke o cijeni, opterećenju na sustav, status električnog vozila i preferenciji vlasnika vozila, te na osnovu prikupljenih podataka određuje zadane vrijednosti za punjenje električnog vozila. Iako ovakav način punjenja obično pokazuje dobre rezultate u optimalnom planiranju opterećenja mreže postoje i neki problemi. Neki od njih su problemi sa privatnošću jer svi podaci od korisnika mogu biti pristupljeni od strane centralno kontrolnog sustava, potreba skupe infrastrukture sa dvosmjernom komunikacijom, potreba za procesuiranjem velike količine podataka i veliki broj poruka koji treba biti poslan u kratkom vremenu što može uzrokovati komunikacijske probleme, što trenutačno čini ovu metodu neprimjenjivom.

U decentraliziranom načinu kontrole punjenja kontrolno tijelo odašilje signal električnim vozilima koji sadrži trenutačnu cijenu kako bi ih potaknulo na specifične poteze, odnosno smanjenje snage punjenja ili prestanak punjenja kad su vršna opterećenja. U ovom slučaju nema potrebe za slanjem privatnih podataka. Iako decentralizirana metoda punjenja ima znatno manje zahtjeve za komunikacijskom infrastrukturom ima i par nedostataka u vidu optimalnog korištenja sustava te je ranjivo na varijacije u ponašanju kupaca.

Kod autonomne kontrole punjenja, snaga punjenja je regulirana na osnovu lokalnih vrijednosti kao što su napon i napunjenost baterije bez ikakve komunikacije između električnog vozila i kontrolnog tijela. Obično se autonomno punjenje klasificira kao decentralizirano punjenje bez komunikacije i može integrirati veliki broj električnih vozila na distribucijsku mrežu u trenutnom statusu. Nedostaci su ranjivost na varijacije u ponašanju kupaca i ne postoji ručno upravljanje.

#### 4. Vozilo prema mreži, *Vehicle-to-Grid* (V2G)

Ovo se odnosi na mogućnost električnog vozila da snabdijeva energiju natrag u distribucijsku mrežu i ponaša se kao distribuirani spremnik energije. Kako bi se omogućio tijek energije u oba smjera koriste se dvosmjerni električni punjači. Kada postoji višak električne energije u neopterećenim satima električno vozilo će se puniti, što se naziva način „mreža prema vozilu, *grid-to-vehicle*, G2V“, a kada postoji deficit

električne energije i potrošnja je veća od proizvodnje, električna vozila će snabdijevati distribucijsku mrežu energijom, povećavajući stabilnost i efikasnost.

*Vehicle-to-Grid* (V2G) može ponuditi mnoge usluge mreži kao što su regulacija frekvencije, rezerva energije, omogućavanje korištenja više obnovljivih izvora energije, ravnanje dnevnog dijagrama opterećenja. Ostale beneficije su generiranje zarade vlasnicima električnog vozila, smanjenje emisija, smanjenje operacijski troškova. Iako je ovo obećavajuća tehnologija za pružanje električnih usluga energetsom sustavu ima i mnogo izazova i barijera. Ova tehnologija je jako kompleksna i zahtijeva mnoge infrastrukturne promjene zato što zahtijeva dvosmjerne punjače i kontinuiranu dvosmjernu komunikaciju između električnih vozila i kontrolnog tijela. Dodatno se može očekivati da će kontinuirano punjenje i pražnjenje baterije voditi prema ubrzanoj degradaciji iste i smanjenju njenog životnog vijeka.

#### 5. Vozilo prema zgradi, *Vehicle-to-Building* (V2B)

Slično kao i V2G, uz razliku što kod V2B metode punjenja ne postoji komunikacija između električnog vozila i mreže, već se jedina komunikacija odvija između električnog vozila i zgrade kako bi se energija spremljena u bateriji vozila mogla koristiti za potrebe potrošnje zgrade. Korištenje ove metode može biti jako efektivno tijekom vršnih opterećenja i trenutaka nestanka struje. Električna vozila se koriste u dva moda G2V i V2G ovisno o trenutnom stanju i potrebama, punjenje baterije kod niskih cijena, viška energije u mreži i snabdijevanje zgrade energijom kad je visoka cijena. Na ovaj način V2B pruža ravnanje dijagrama dnevnog opterećenja što pogoduje smanjenim troškovima korištenja zgrade. Ova metoda je jednostavnija od V2G metode i radi unutar električnog kruga zgrade, mjernog mjesta, ali pruža manje usluga za distribucijski sustav jer uključuje samo jednu zgradu.

#### 6. Vozilo prema kući, *Vehicle-to-Home* (V2H)

Ova metoda je jako slična V2B metodi, ali u ovom slučaju je umjesto cijele zgrade uključena samo jedna kuća. Potrebna je jednostavnija arhitektura naspram V2G i V2B, te se pružiti manje električnih usluga u odnosu na njih. Omogućuje poravnanje dnevnog dijagrama potrošnje te kuće i smanjenje potrošnje unutar vršnih sati kad su visoke cijene. Višak proizvodnje iz lokalnih obnovljivih izvora, fotonapona ili male vjetroelektrane, može se pospremiti u bateriju i kasnije koristiti kad je potrebno.

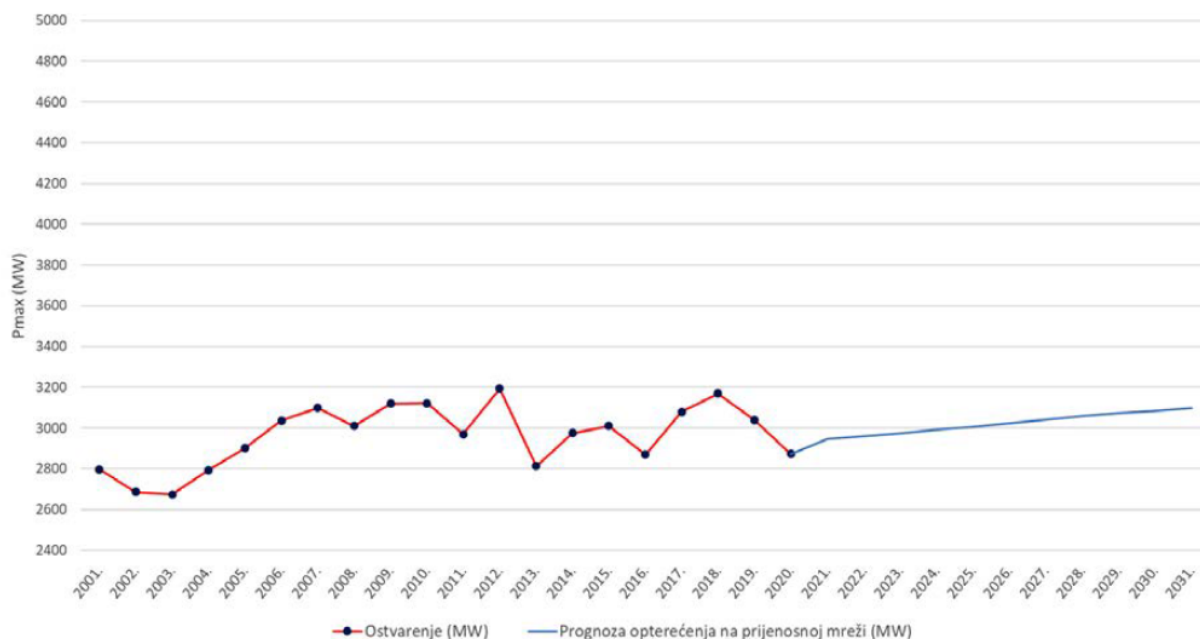
### 3.3. Projekcija HOPS-a

Prognoze porasta potrošnje električne energije kao i karakteristika potrošnje, među njima i vršnog opterećenja EES, rezultat su detaljnih analiza kako ostvarenja u prošlosti, tako i očekivanja za budućnost u pogledu razvoja ekonomije, različitih sektora, porasta stanovništva, stambenog prostora i niza drugih faktora. Za potrebe izrade ovog desetogodišnjeg plana razvoja prijenosne mreže polazi se od podloga za izradu strategije energetske razvoja RH (tzv. Zelena knjiga) unutar kojih je izrađena sveobuhvatna prognoza potrošnje električne energije u RH i karakteristika potrošnje u razdoblju do 2050. godine. Prognozirano vršno opterećenje EES u razmatranim razdobljima (kratkoročno razdoblje unutar 3 godine, srednjoročno razdoblje unutar 10 godina) prostorno se raspodjeljuje na prijenosna područja prema njihovim prosječnim udjelima zabilježenim u prošlosti. Tako dobivena opterećenja prijenosnih područja (PrP-a) dijele se na opterećenja kupaca napajanih iz 110 kV mreže (direktnih kupaca) i kupaca napajanih iz srednje naponske mreže (distribucijskih kupaca) [12].

Potrebno je istaknuti da je prognozirani iznos vršnog opterećenja EES, kao i njegove raspodjele na pojedina čvorišta 110 kV, izvor značajnih nesigurnosti pri planiranju razvoja prijenosne mreže radi sljedećih razloga:

- neizvjestan gospodarski razvoj u budućnosti, kao i struktura BDP-a,
- nepoznata struktura potrošnje i demografski pokazatelji koji se temelje na različitim očekivanjima,
- nepoznata cjenovna elastičnost potrošnje i opterećenja,
- neizvjestan stupanj implementacije mjera energetske efikasnosti,
- moguća značajna supstitucija električne energije plinom na određenim područjima,
- očekivana cijena električne energije, te ostalih utjecajnih ekonomskih parametara (cijena CO<sub>2</sub> primjerice) u budućnosti,
- moguća pojava novih direktnih kupaca na određenim područjima (poduzetničke zone, terminali, autoceste i slično),
- nepoznata buduća uklopna stanja srednje naponske mreže i opterećenja pripadnih TS 110/x kV, i dr.

Na slici 3.3.1. prikazana je prognoza i ostvarenje vršnog opterećenja hrvatskog elektroenergetskog sustava. Na slici e jasno vidi trend povećanja opterećenja, što će utjecati i na daljnji razvoj sustava.



**Slika 3.3.1.** Ostvarenje i prognoza porasta vršnog opterećenja EES do 2031. godine. [12]

Budući da je prijenosna mreža ovim planom određena temeljem značajno nižih stopa porasta potrošnje/opterećenja, izgradnja pojedinih objekata uključenih u prethodne planove razvoja prolongirana je za buduće razdoblje iza 2031. godine. Više stope porasta opterećenja EES u odnosu na prikazane, a temeljem kojih je izrađen ovaj plan razvoja, ne očekuju se radi:

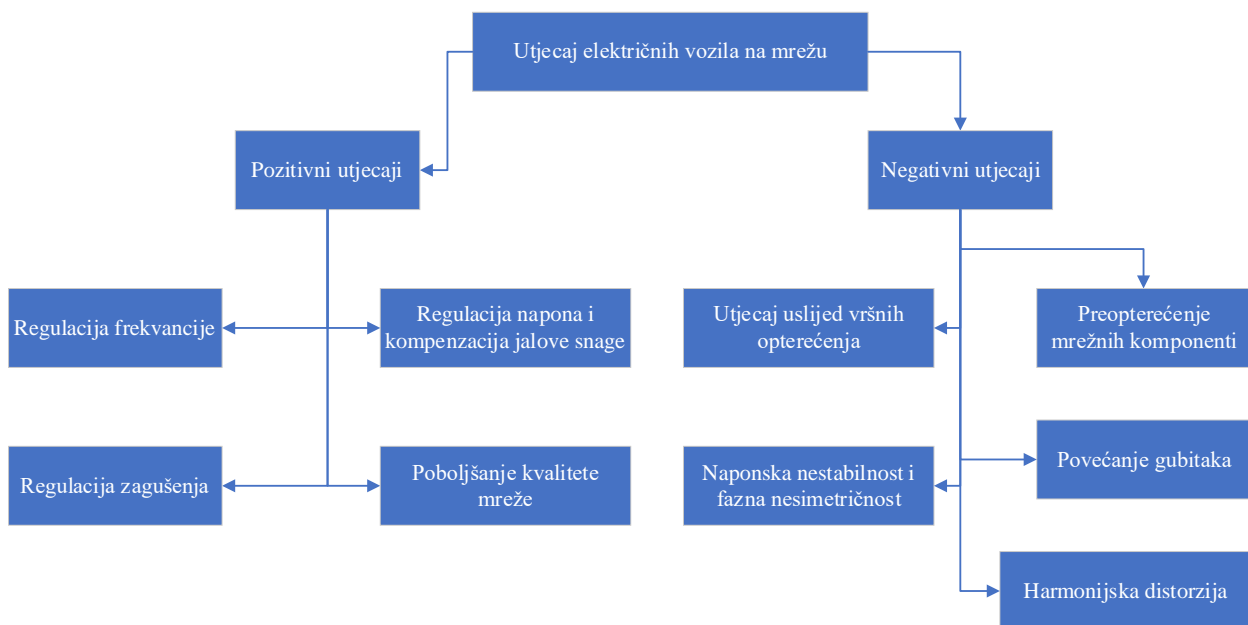
- izostanka značajnijeg razvoja energetski intenzivne industrije,
- očekivanog povećanja broja i ukupne proizvodnje distribuiranih izvora energije, prvenstveno OiE,
- u pojedinim područjima plin će supstituirati električnu energiju, prvenstveno za potrebe grijanja prostora,
- proizvodit će se energetski sve učinkovitiji električni uređaji,
- kupci će biti stimulirani kroz mjere energetske učinkovitosti na uštede u potrošnji,
- doprinosa energetske obnove građevina diljem RH uslijed starosti i sanacija građevina i dr.

## 4. OGRANIČENJA PRIMJENE ELEKTRIČNIH VOZILA

Prelaskom na električna vozila nameću se veliki zahtjevi na cijeli sustav, ne samo elektroenergetski već i kompletni globalni sustav financija, proizvodnje, transporta i tržišta radne snage. Opseg elektrifikacije zahvaća svaku granu industrije i iz temelja pomjera njihovo djelovanje kako bi isti mogli držati, ići u korak sa brzim promjenama [13]. Na primjer, potreba minerala za baterije i elektromotore električnih vozila je šest puta veća od konvencionalnih vozila sa motorima na unutarnje izgaranje, što sa sobom povlači i povećanje mase vozila za približno 340 kg. Električna vozila stvaraju promjenu jer se fokus sa elektromehanički intenzivnih prebacuje na informatički intenzivna vozila i pružaju potpuno novi početak za stvaranje vozila koja su programski definirana. Zbog toga se industrija stara 120 g. mora ponovno izgraditi i promijeniti. Od proizvođača se zahtijeva dizajniranje novih metoda proizvodnje i novih tvornica za proizvodnju električnih vozila i njihovih baterija. Povećanje proizvodnje baterija i cijelog sustava snabdijevanja je trenutno glavni i najzahtjevniji cilj proizvođača. Prema procjenama Sjedinjene Američke države će zahtijevati 8 milijuna baterija proizvedeno na godišnjoj razini do 2030. godine kako bi se postigao cilj da 50% novih prodanih vozila budu električna. Podaci ipak pokazuju znatno nepodudaranje takovih ambicija i dostupnosti kritičnih materijala koji su nužni za ostvarivanje istih [13]. Trenutačno preko 90% lanca za snabdijevanje proizvodnje električnih baterija ne postoji, a nadmetanje za osiguravanje potrebnih sirovina polagano diže cijenu novih električnih vozila. Kao primjer se može uzeti nesrazmjer u proizvodnji litija, iako je potražnja za litijem u naglom porastu, investicije u rudnike istih značajno kasne. Može potrajati preko pet i više godina da se rudnik litija uspostavi i počne raditi uz uvjet da su prikupljene sve potrebne dozvole. Rudarenje sirovina pretpostavlja da postoji i mogućnost rafiniranja istih koji su u stvarnosti izvan Kine limitirani. To je posebno istinito u Americi, koja prema izvještajima ima limitirani kapacitet za proizvodnju tih sirovina i gotovu nikakvu mogućnost rafiniranja istih. Iako je započeto investiranje u pogone za reciklažu baterija, nameće se pitanje hoće li postojati dovoljno otpadnih baterija i drugog otpada tog tipa kako bi ti pogoni bili profitabilni. Recikliranje litijskih baterija je vremenski i financijski zahtjevno zbog čega je često jeftinije da se litij dobije iz ruda. Trenutno ne postoji ekonomsko opravdanje za recikliranje električnih baterija i vozila.

## 4.1. Ograničenja mreže

Sa pojavom sve većeg broja električnih vozila kao i sadašnjim te budućim mjerama Europske unije kako bi se smanjile emisije stakleničkih plinova, jasno je kako će u budućnosti električna vozila imati ozbiljan utjecaj na lokalni distribucijski sustav. Ograničenja punjenja električnih vozila na lokalnu priključnu točku i lokalnu distribucijsku mrežu ovisiti će u glavnom o opterećenju tijekom punjenja i impedancije mreže [11][14]. Sa malim brojem punjača utjecaj je samo na lokalnu priključnu točku, ali kako se broj punjača bude povećavao utjecaj će se propagirati i na samu distribucijsku mrežu. Ipak nije sve tako negativno jer punjenje električnih vozila imati će i neke pozitivne utjecaje koji će biti navedeni u nastavku, a podjela utjecaja je prikazana slikom 4.1.1.



**Slika 4.1.1.** Podjela utjecaja električnih vozila na ograničenja mreže. [10]

### 4.1.2. Negativni utjecaji na distribucijsku mrežu

Negativni utjecaji se događaju uslijed vršnih opterećenja, preopterećenja mrežnih komponenti, naponske nestabilnosti, fazne nesimetrije, povećanja gubitak i harmonijske distorzije, a u daljnjem tekstu objašnjen je detaljniji pregled svakog problema.

#### 1. Utjecaji uslijed vršnih opterećenja

Tijekom raznih studija pronađeno je kako će brzo punjenje električnih vozila u vršnim satima rezultirati u značajnim vršnim opterećenjima i prelaziti će se sigurnosna dopuštenja opreme već kod manjih penetracijskih nivoa broja punjenih vozila. Prema studijama u kojoj su uzeti primjeri različitih zemalja sa različitim topologijama mreže,

uvidjelo se da se kod nekontroliranog punjenja, penetracije električnih vozila od 30% vršno opterećenje povećalo za 53% [11]. Suprotno tome, upotrebom sporog punjenja van vršnih sati, distribucijska mreža mogla bi podržati integraciju od 50% električnih vozila bez preopterećivanja opreme. Jasno je kako velika integracija električnih vozila na nekontrolirani način može voditi ka značajnim zahtjevima vršnijih opterećenja. Ta povećanja u vršnim opterećenjima će rezultirati višim troškovima rada jer se mora proizvoditi, proizvoditi skuplja električna energija kako bi se pokrila kratkotrajna vršna potrošnja. Dodatno tome, potrebna je nadogradnja infrastrukture cijele mreže kako bi se povećao kapacitet opreme, od proizvodnje, prijenosa do distribucije.

## 2. Naponska nestabilnost i fazna nesimetrija

Naponska nestabilnost predstavlja izazovan problem i može uzrokovati ometanje normalnog rada sustava. Razlog tome je rad pri visokim opterećenjima i na granici stabilnosti sustava. Naponska stabilnost mreže usko je povezana sa karakteristikama tereta. Električna vozila imaju karakteristiku potpuno drukčiju od klasičnih tereta (stambenih, industrijskih, komercijalnih), te je teško predvidjeti njihove zahtjeve za energijom. Uz to električna vozila u kratkom vremenu konzumiraju više energije kako bi brzo napunila bateriju pri čemu jednofazni električni punjači mogu uzrokovati faznu nesimetriju, koja rezultira neželjenim negativnim utjecajima na distribucijsku mrežu i povećanjem gubitaka. Istraživanja su pokazala kako je naponska stabilnost distribucijske mreže znatno smanjena kod brzog punjenja električnih vozila, te su se uvidjele velike naponske devijacije koje su bile blizu dopuštenih granica ako su se električna vozila punila u vršnim satima. Nadalje se pokazalo kako su BEV vozila uzrokovala veća naponska propadanja nego PHEV vozila uslijed većeg kapaciteta baterija, a druga razina punjenja isto tako je uzrokovala veći pad napona nego prva razina punjenja.

Značajna fazna nesimetrija se događa uslijed punjenja električnih vozila na stambenim punjačima prve razine, uzrokovane nesimetričnom raspodjelom punjača na trofaznu mrežu.

To nadasve predstavlja izazovan problem jer se očekuje kako će se većina električnih vozila puniti na privatnim jednofaznim punjačima.

## 3. Harmonijska distorzija

Zbog velike upotrebe energetske elektronike u električnim vozilima kod velike integracije istih dolazi do značajnih utjecaja na kvalitetu električne mreže. Harmonici koji će biti

ubačeni u mrežu uslijed električnih punjača voditi će prema negativnim efektima na komponente energetskog sustava koje su dizajnirane za čisti sinusni signal i povećati sistemske gubitke.

Tek mali broj studija je pokazao kako harmonici nastali od električnih punjača imaju malen utjecaj na distribucijsku mrežu. Većina studija pokazala da tradicionalni električni punjači mogu uzrokovati neprihvatljive razine harmonijskih vrijednosti. Visoki harmonici će rezultirati u smanjenom životnom vijeku komponenti distribucijskog sustava (transformatora i vodova). Međutim, ispravnim dizajniranjem električnih punjača, kontrolnoj strategiji i filterima integriranim u krug punjača, harmonici nastali od istih mogu biti značajno ublaženi.

#### 4. Preopterećenje mrežnih komponenti

Potreba električnih vozila za velikom količinom električne energije zahtijeva velike količine prenesene energije od generatora pa sve do punjača. Komponente distribucijske mreže poput transformatora i vodova mogu biti preopterećenima, što povećava naprezanje istih, smanjujući vijek trajanja tih komponenti i potrebu za ranijom zamjenom istih, te nadogradnjom sustava. Istraživanja su također i kod ovog slučaja pokazala kako druga razina punjenja i BEV vozila imaju veći utjecaj na ubrzano starenje transformatora. Procijenjena su dva različita scenarija za transformatore i podzemne kabelske vodove, za nisku i visoku penetraciju električnih vozila tj. 12.5% i 70% penetracije. U oba slučaja su i transformator i podzemni kabelski vod bili preopterećeni te se i kod sličnih scenarija, kombinacija punjača, penetracije električnih vozila pokazali preopterećenja. Iz ovoga je vidljivo kako visoka potreba električnih vozila za energijom će imati veliki utjecaj na cijeli energetski sustav, ali ponajviše glavnina tog utjecaja će se pronaći na distribucijskoj razini.

#### 5. Povećanje gubitaka

Zahtjevi električnih punjača za dodatnom energijom voditi će ka višim strujama i dodatnim gubitcima u različitim komponentama sustava, kao što su generatori, kabeli, transformatori. Nekontrolirano punjenje uzrokuje velike gubitke snage i zahtijeva investicije u nadogradnju sustava, što se međutim može uvelike smanjiti ako bi se primijenilo odgođeno ili kontrolirano punjenje. Na primjeru Danske, kod penetracije električnih vozila od 50%, kod nekontroliranog punjenja gubitci su iznosili 40%, a za kontrolirano punjenje samo 10%.



Korištenjem pravih punjača i metoda punjenja tj. odgađanjem punjenja, kontroliranim punjenjem, V2G, V2B i V2H, gubici u mreži uslijed punjenja električnih automobila mogu biti značajno umanjeni. Dodatno instalacijom distribuiranih izvora blizu lokacija za punjenje smanjuje se potreba za energijom iz mreže i shodno time umanjuju gubici.

#### **4.1.3. Pozitivni utjecaji na distribucijsku mrežu**

Električna vozila su većinu dana parkirana i pri tome spojena na punjače vremenski duže nego što je to potrebno za punjenje. Stoga se baterija u električnom vozilu može koristiti kako bi vlasnicima tih vozila tijekom dijeljenja energije natrag generirala zaradu, održala balans između ponude i potražnje ili smanjila troškove punjenja. Električna vozila mogu ponuditi kratkotrajne električne usluge uslijed brzih odaziva baterija i punjača za primarnu i sekundarnu regulaciju mrežne frekvencije i minimizaciju gubitaka snage uslijed punjenja baterija velikog kapaciteta.

##### **1. Regulacija frekvencije**

Frekvencija energetskeg sustava treba biti nominalno regulirana na 50Hz kako bi se osigurao normalan rad. Frekvencija se smatra važnim pokazateljem kvalitete električne energije unutar sustava. Neodržavanje frekvencije u navedenim granicama rezultirat će rasterećenjem u slučaju podfrekvencije ili isključivanjem proizvodnih jedinica u slučaju prekomjerne frekvencije. U tradicionalnom elektroenergetskom sustavu regulacija frekvencije postiže se sinkronim generatorima u velikim elektranama (hidro i termoelektrane).

Baterije električnih vozila imaju brži odziv u usporedbi s tradicionalnim izvorima električne energije zbog brzog odziva elektroničkog sučelja za napajanje električnih vozila tj. punjača. Stoga kontrolirano punjenje i pražnjenje električnih vozila može biti učinkovita opcija za regulaciju frekvencije. Štoviše, regulacija frekvencije postaje sve zahtjevnija zbog smanjenja inercije sustava i povećanja fluktuacije zbog sve većeg udjela OIE s energetskeg elektroničkim sučeljem.

##### **2. Regulacija napona i kompenzacija jalove snage**

Napon u energetskeg sustavu se mora održavati unutar određenih granica. On je izravan indikator opterećenja u distribucijskom sustavu. Održavanje napona unutar granica, na distribucijskoj razini, koja je uobičajeno radijalnog izgleda može se pokazati jako izazovnom pogotovo kod dugačkih izvoda te može zahtijevati uređaje za regulaciju

napona. Prelaženjem tih granica rezultirat će nepravilnim radom ili oštećenjem priključenih potrošača i može dovesti do nestabilnosti napona. Regulacija napona može se ostvariti regulacijom djelatne ili jalove snage. Aktivnu snagu mogu kontrolirati distribuirani izvori energije, tehnologije za pohranu energije i uređaji kojima se može upravljati poput električnih vozila i dizalica topline. Isto tako, jalovom snagom se može upravljati transformatorima sa mogućnosti promjene regulacije u radu, kondenzatorima i statičkim kompenzatorima.

Iz rezultata istraživanja može se zaključiti da nekontrolirano punjenje električnih vozila može rezultirati većim padom napona u distribucijskim mrežama i vrijednostima napona koji prelaze prihvatljive granice, posebno u dugim izvodima trafostanica, te će zahtijevati nadogradnju infrastrukture ugradnjom uređaja za regulaciju napona. Međutim, primjenom metoda kontroliranog punjenja i pražnjenja napon na svim dijelovima distribucijske mreže može se održati u prihvatljivim granicama i poboljšati dnevni profil napona bez uređaja za regulaciju napona. Štoviše, studije su pokazale da je kondenzator istosmjernog među kruga punjača za električna vozila učinkovit u pružanju podrške jalovoj snazi i regulaciji napona.

### 3. Regulacija zagušenja

Dnevni dijagram opterećenja varira tijekom cijelog dana i obično ima vršnu vrijednost u vremenu večernjih sati. Tijekom tih vršnih sati pale se dodatni skupi generatori na par sati kako bi se uspostavio balans između proizvodnje i potrošnje. Nekontrolirano punjenje električnih vozila rezultirati će povećanjem vršnog opterećenja, što rezultira u povećanim troškovima proizvodnje električne energije, uz dodatno opterećenje na distribucijsku i prijenosnu mrežu. Ako je dostupna instalirana snaga sustava manja od trenutne potrošnje u vršnim satima to može zahtijevati izgradnju novih elektrana.

Taj problem se može zaobići ili ublažiti korištenjem odgodivog punjenja, kontroliranog punjenja ili nekih od V2G, V2B, V2H, tehnologija. Korištenjem odgodivog punjenje i kontroliranog punjenja može se pomaknuti opterećenje sa vršnih sati, čime bi izravnao dnevni dijagram opterećenja. Korištenjem V2G, V2B, V2H, tehnologija omogućuje se ubacivanje energije natrag u mrežu, zgradu, dom u vršnim satima što umanjuje vršno opterećenje i korištenje u vršnim satima. Taj proces se naziva ravnanje krivulje opterećenja, i rezultira smanjenjem razlike između minimalne i maksimalne dnevne potrošnje čime se postiže regulacija zagušenja.

#### 4. Poboljšanje kvalitete mreže

Kontroliranim punjenjem električnih vozila i primjenom nekih od V2G tehnologija može se regulirati i poravnati dnevno opterećenje sustava. To ravnanje opterećenja imati će povoljan utjecaj na regulaciju napona, faznu nesimetriju i propadanje napona.

U prethodnom dijelu objašnjeno je kako nekontrolirano punjenje ima utjecaj na harmonijsku distorziju. Ispravnom konstrukcijom punjača oni se mogu koristiti kao filteri neželjenih harmonika. Korištenjem dvosmjernih punjača može se omogućiti punjačima da injektiraju natrag u sustav čisti sinusni signal bez harmonika bez obzira na trenutnu kvalitetu mreže eliminirajući pri tome harmonike prouzrokovane drugim teretima i pružajući kompenzaciju jalove energije.

## **5. MOGUĆNOST IMPLEMENTACIJE ELEKTROMOBILNOSTI NA PRIMJERU DISTRIBUCIJSKE MREŽE**

Sa novim mjerama Europske komisije i njihovom jasnom vizijom prema tome da bude prvi klimatski neutralan kontinent do 2055. godine, jasan je i njihov cilj ali i način postizanja tog cilja, prvenstveno potpunim prelaskom prometa na električna vozila. Novim propisima jasno je kako će u 2035. godine biti uvedena potpuna zabrana prodaje klasičnih vozila sa nekim od oblika motora sa unutarnjim izgaranjem, a već 2030. godine se procjenjuje kako će udio ukupne prodaje novih vozila biti 50-60% električna vozila. Sa takvim najavljenim mjerama, ali i prognozama jasno je vidljivo da će se u skorij budućnosti naći jako veliki broj električnih vozila na cesti kao i velika potreba za punjenjem istih. Ovo sa sobom povlači i upitnik da li je današnji distribucijski sustav spreman na takav prijelaz, jer toliko velika integracija električnih vozila nosi sa sobom i velike zahtjeve na cijeli sustav prijenosa energije.

Zbog toga je u simulacijskom dijelu ovog rada istražena mogućnost implementacije jednog takvog skoka u razini elektromobilnosti na primjeru distribucijske mreže za velikim udjelom potrošača. Polazna pretpostavka za ovu simulaciju biti će da je prema procjenama prodaje novih vozila za 2030.godinu udio električnih vozila u prodaji 50%. Ovom pretpostavkom uzet je u obzir zahtjevniji scenarij da će i udio električnih vozila u prometu biti 50%. Dodatno, prema procjenama se procjenjuje kako će 80% vlasnika puniti svoja električna vozila kod kuće, a udio punjača u Europskoj uniji je 61% punjači 11/22 kW i 33% 3,7/7,4 kW. Sukladno predviđanjima, provedena je analiza za nekoliko scenarija sa različitim udjelima električnih vozila. Ispitani su kućni punjači sa dvije razine punjenja, jednofazno na 3,7 kW i trofazno na 11 kW.

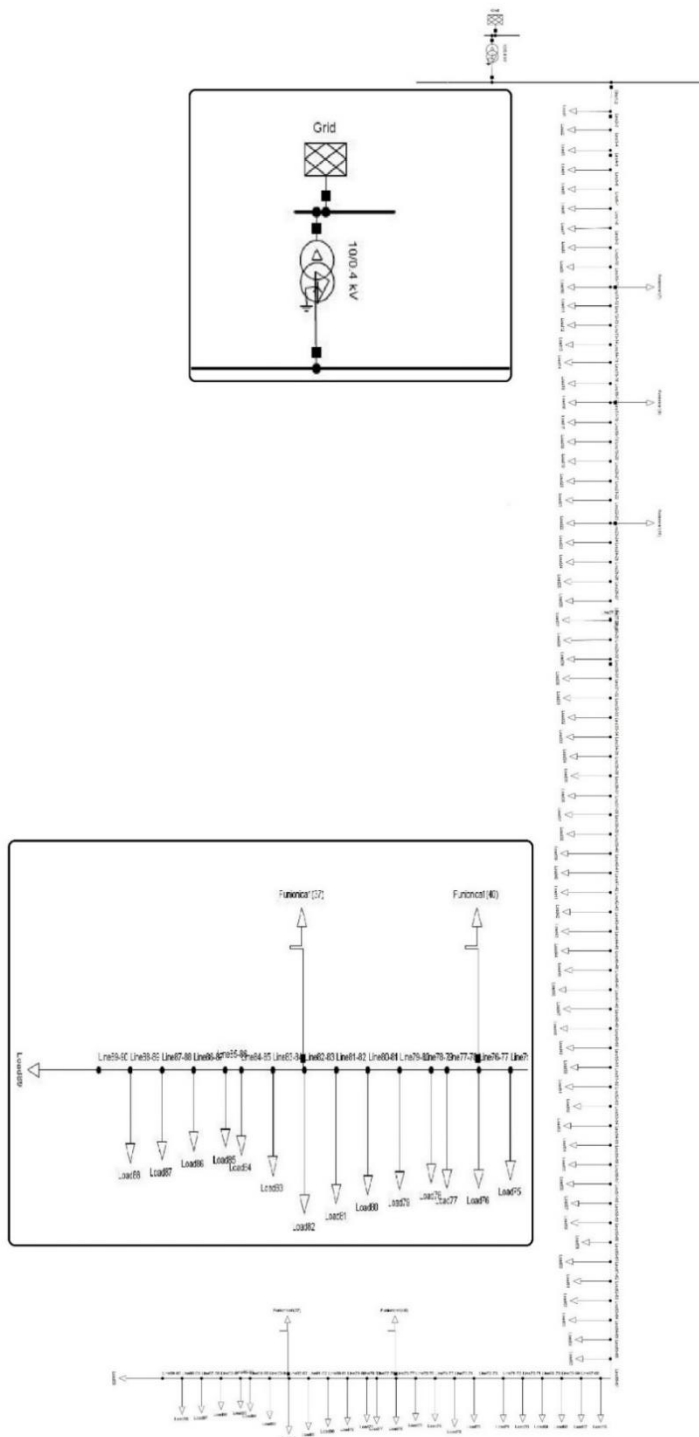
Scenariji prema kojima je istražena mogućnost implementacije elektromobilnosti na primjeru su sljedeći:

- Snimanje početnog stanja u mreži bez dodanih opterećenja
- Simulacija 50% udjela električnih vozila koja će se puniti kod kuće na trofaznom priključku 11 kW, simetrično opterećenje po fazama
- Simulacija 50% udjela električnih vozila koja će se puniti kod kuće na jednofaznom priključku 3,7 kW, nesimetrično opterećenje
- Simulacija maksimalnog broja punjača na mreži, udjela električnih vozila za trofazno punjenje 11 kW, trenutno podržano od mreže
- Simulacija maksimalnog broja punjača na mreži, udjela električnih vozila za jednofazno punjenje 3,7 kW, trenutno podržano od mreže

Kod svih scenariji biti će prikazani napon na krajnjoj sabirnici, naponski profili, ukupna potrošnja sustava, napon po fazama što će biti prikazano grafički i tablično. Za sve simulacije vrijeme punjenja je postavljeno u noćnim satima kada je dnevna potrošnja sustava najniža, ali to kod ovih simulacija nije imalo utjecaj jer je ukupna potrošnja ostalih potrošača na tom izvodu sveukupno znatno manja u odnosu na veliki broj punjača za električna vozila tako da će se vidjeti utjecaj na sustav koji nastaje samo zbog implementacije velikog broja punjača.

## 5.1. Modeliranje i opis distribucijske mreže

Sa ciljem izvođenja ove simulacije uzet je model dijela distributivne mreže, koji je izrađen u programskom paketu DigSilent, a baziran je na primjeru radijalnog nesimetričnog izvoda duž kojeg su raspoređeni potrošači (kućanstva). Radijalni izvod je na naponskoj razini 0,4 kV i prikazan je na slici 5.1.1.



Slika 5.1.1. Model radijalnog izvoda distribucijske mreže.

Napon vanjske mreže je 10 kV i predstavljen je nadomjesnom mrežom iz koje se potrošači u potpunosti napajaju. Radijalni izvod povezan je sa mrežom preko transformatora snage 0,63 MVA, a njegovi podaci su dati u tablici 5.1.1.

**Tablica 5.1.1.** Podaci transformatora 10/0,4 kV.

Parametar	Iznos	Parametar	Iznos
Napon [kV]	10/0,4	Napon kratkog spoja, nulta komp. [%]	4
Nazivna snaga [MVA]	0,63	Struja magnetiziranja [%]	0,238105
Napon kratkog spoja [%]	4	Gubici praznog hoda [kW]	1,5
Gubici kratkog spoja [kW]	6,4	Grupa spoja	DYn5

Duž izvoda se nalazi 89 potrošača i snage potrošača se smatraju jednakima, a iznimka je potrošač 1. Iznosi snaga i faktora snage su prikazani u tablici 5.1.2. gdje se može i vidjeti i nesimetrija po fazama.

**Tablica 5.1.2.** Snage i faktori snage potrošača.

	Faza A		Faza B		Faza C	
	P [kW]	Faktor snage	P [kW]	PF	P [kW]	Faktor snage
Load 1	23	0,9949999	14,49	0,969	12,19	0,92
Load 2-89	0,3737974	0,9949999	0,2293235	0,969	0,2304782	0,92

Također, osim potrošnje kućanstava dodatno će se postaviti, ovisno o scenariju, do 44 punjača za električna vozila koja će ravnomjerno biti raspoređena duž radijalnog izvoda. S obzirom na veliki broj potrošača duž izvoda, korišteno je 90 kabela za njihovo povezivanje. Kabeli su ukopani u zemlju i koriste se dva različita tipa kabela. Prvi ima nazivnu snagu 0,195 kA, a drugi tip 0,24 kA, detaljni podaci su opisani u tablici 5.1.3.

**Tablica 5.1.3.** Podaci kabela.

Parametar	Tip 1	Tip 2
Jedinični djelatni otpor [ $\Omega$ /km]	0,2542	0,443
Jedinična reaktancija [ $\Omega$ /km]	0,080424	0,072256

Jedinični djelatni otpor nultog vodiča [ $\Omega/\text{km}$ ]	0,1271	0,235
Jedinična reaktancija nultog vodiča [ $\Omega/\text{km}$ ]	0,04	0,036
Kapacitet [ $\mu\text{F}/\text{km}$ ]	0,84	0,52
Kapacitet nultog vodiča [ $\mu\text{F}/\text{km}$ ]	0,84	0,52
Nazivna struja [kA]	0,195	0,24

Kako se ovdje radi o prigradskom naselju, udaljenosti između pojedinih potrošača uzeta je jednakom i dana je u tablici 5.1.4., u kojoj je pored duljine pojedinog kabela navedeno i koji je tip kabela korišten.

**Tablica 5.1.4.** Duljine i tipovi kabela.

Duljina [km]	Kabel	Tip
0,005	1-2	1
0,015	2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-9, 11-12, 12-13,13-14	1
0,01	9-10, 10-11,	1
0,09	14-15, 15-16, 16-17, 17-18, 18-19, 19-20, 20-21, 21-22, 22-23, 23-24, 24-25, 25-26, 26-27, 27-28, 28-29, 29-30, 30-31, 31-32, 32-33, 33-34, 34-35, 35-36, 36-37, 37-38, 38-39, 39-40, 40-41, 41-42, 42-43, 43-44, 44-45, 45-46, 46-47, 47-48, 48-49, 49-50, 50-51, 51-52, 52-53, 53-54, 54-55, 55-56, 56-57, 57-58, 58-59, 59-60, 60-61, 61-62, 62-63, 63-64, 64-65, 65-66,67-68, 68-69, 69-70, 80-71, 71-72, 73-74, 74-75, 75-76, 76-77, 77-78, 78-79, 79-80, 80-81, 81-82, 82-83, 84-85, 85-86, 86-87, 87-88, 88-89, 89-90	2
0,018	66-67, 72-73	1

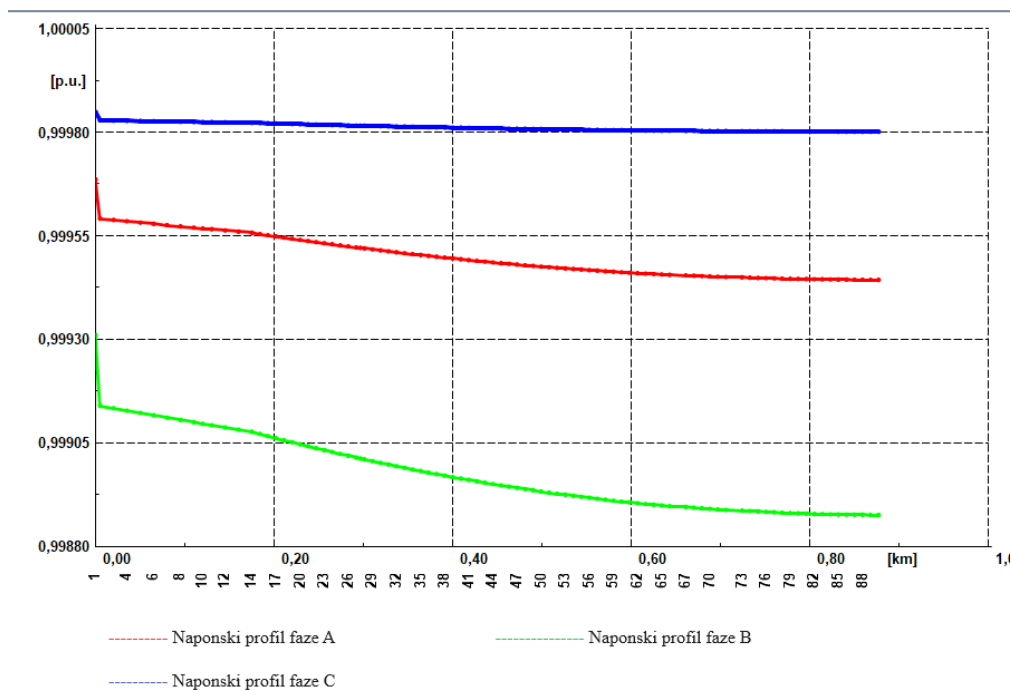


## 5.2. Analiza uvjeta simulacije

### 1. Scenarij 1 – Početno stanje u mreži

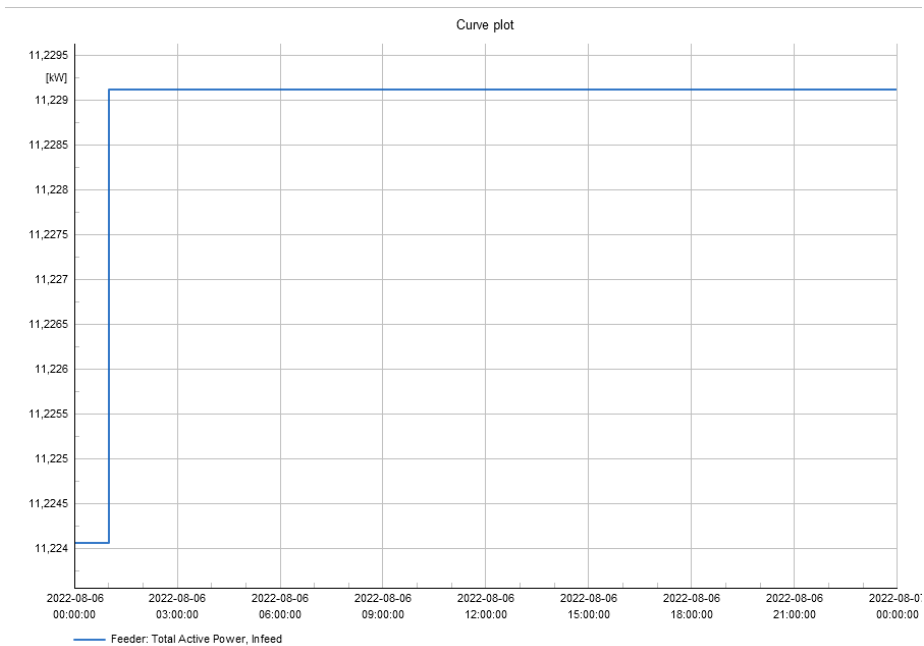
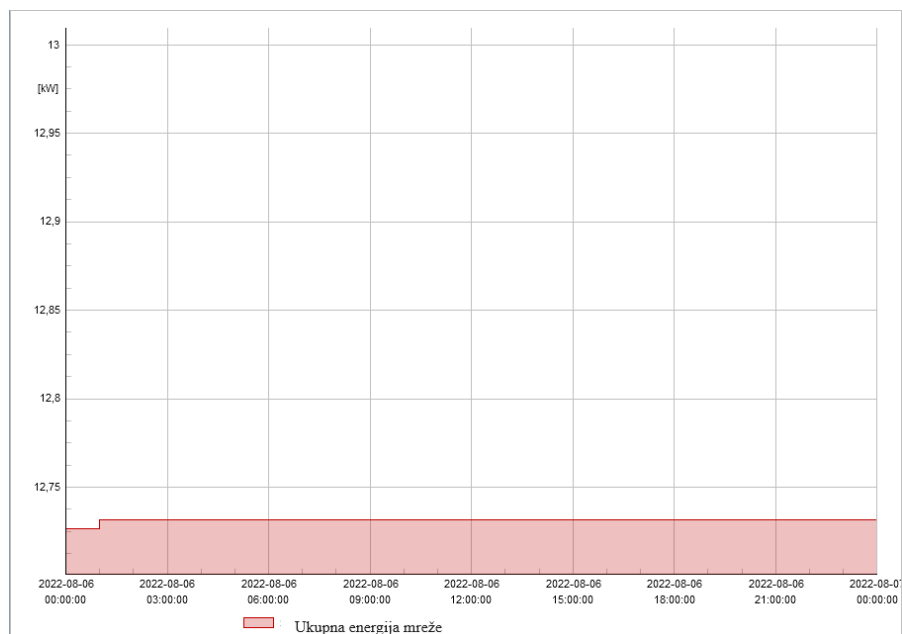
U osnovnom scenariju napravljena je analiza početnog stanja i prilika u mreži kad su na izvodu priključeni samo standardni potrošači, kućanstva bez punjača za električna vozila. U ovom scenariju vidi se da je sve unutar dozvoljenih vrijednosti i nema nikakvih naponskih propada što znači da je mreža ispravno dizajnirana.

Na slici 5.2.1. prikazan je naponski profil za početno stanje, iako je opterećenje nesimetrično naponi su unutar granica tj. vide se da je napon na sve tri faze kontinuirano oko 0,999 p.u.



**Slika 5.2.1.** Naponski profil za početno stanje.

Na slici 5.2.2. prikazana je ukupna energija u mreži i snaga preuzeta iz mreže. Vidljivo je da se potrošnja baznog sustava kreće oko 12,5 kW i konstantna je tijekom cijelog dana.



**Slika 5.2.2.** Ukupna energija mreže i snaga preuzeta iz mreže.

Na slici 5.2.3. može se promotriti naponski profil po fazama na zadnjoj sabirnici, na kojem, iako se radi o kraju dugačkog radijalnog izvoda, napon je i dalje unutar granica, skoro bez ikakvog pada.

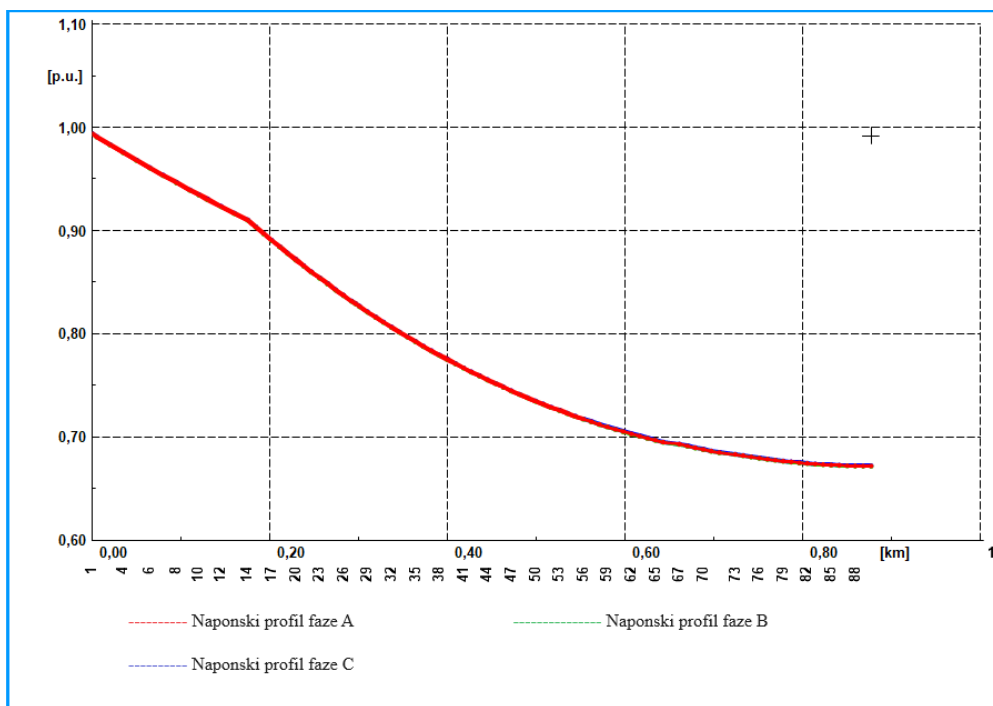


**Slika 5.2.3.** Naponski profil po fazama na zadnjem izvodu br.90.

## 2. Scenarij 2 – 50% udio punjača, trofazno 11 kW, simetrično opterećenje

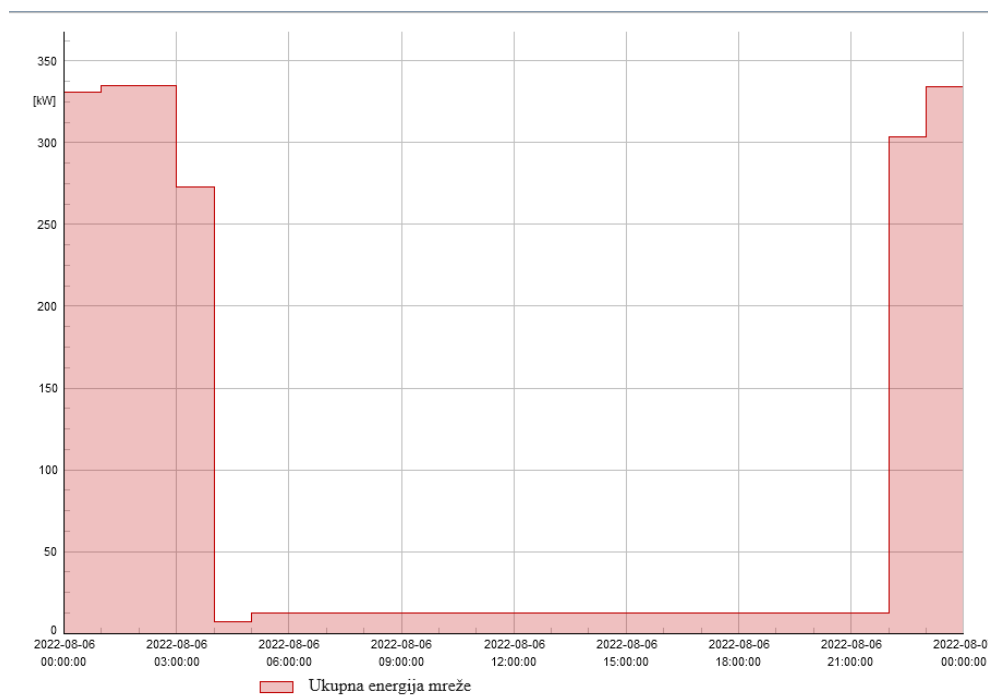
U drugom scenariju je za polazište uzeta pretpostavka kako je udio električnih vozila na tržištu 50% te se isto tako 50% tih vozila puni kod kuće na kućnom trofaznom priključku od 11 kW. Ovdje se radi o simetričnom opterećenju mreže, a punjači su ravnomjerno raspoređeni tijekom cijele duljine izvoda, tako da se pokrije cijeli izvod i može se točnije promotriti pad napona. Pad napona je posebno izražen na zadnjoj sabirnici. Sveukupan broj punjača na mreži je 44 i pretpostavlja se kako se radi o najgorem mogućem scenariju za izvod.

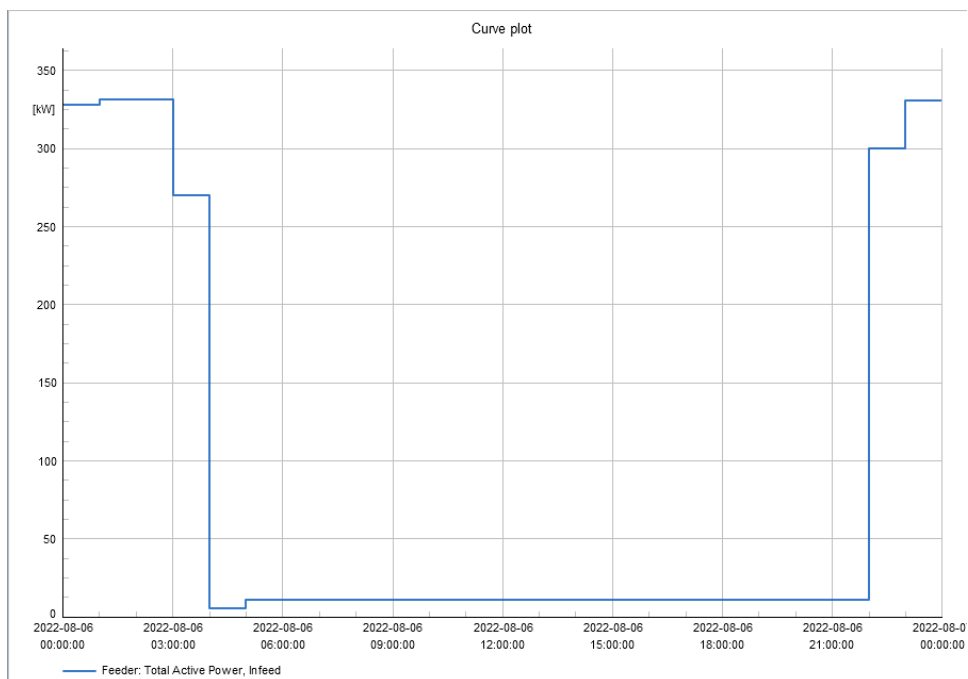
Na slici 5.2.4. prikazan je naponski profil izvoda. Uočava se značajan naponski propad cijelom duljinom. Na kraju izvoda krajnja vrijednost napona je ispod 0,68 p.u., što je daleko ispod granice za sigurno operiranje sustava, odnosno postoji izražena naponska nestabilnost. S obzirom da je snaga punjača značajno veća u odnosu na osnovno opterećenje, može se zapaziti da se radi o simetričnom opterećenju jer je snaga po pojedinoj fazi simetrična.



Slika 5.2.4. Naponski profil za 50% punjača 11 kW.

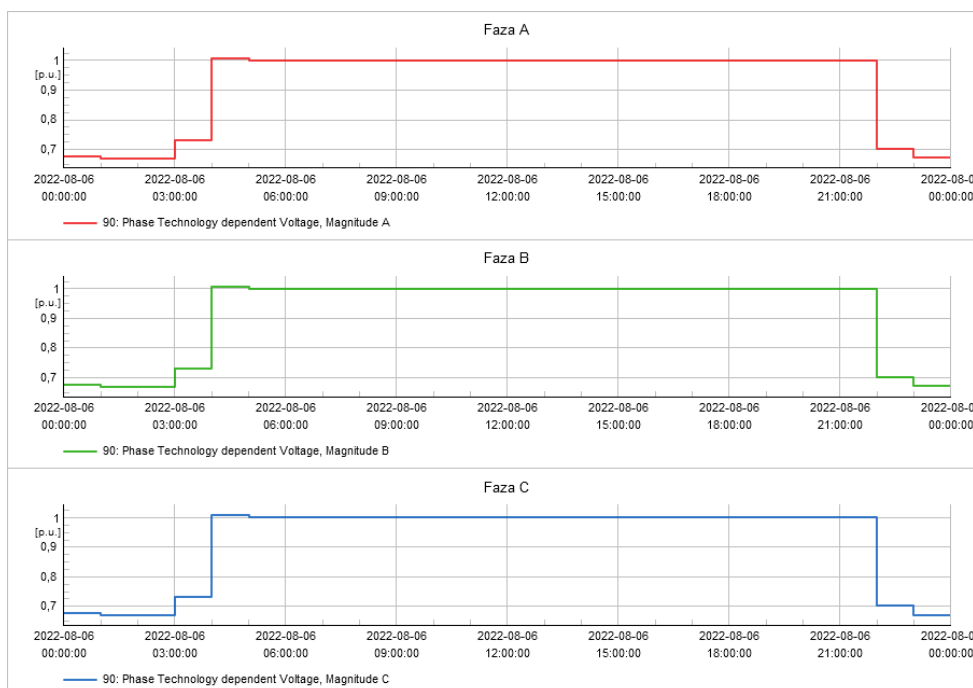
Na slici 5.2.5. prikazana je ukupna energija injektirana u mrežu za scenarij 2. Ono što se uočava je porast ukupne potrošnje mreže koja je porasla za čak 29 puta ili za 2900% što je u skladu s integracijom velikog broja punjača za električna vozila. Može se vidjeti kako je potrošnja sustava narasla sa početnih 12 kW do približno 340 kW za vrijeme punjenja baterija.





Slika 5.2.5. Ukupna energija mreže i snaga preuzeta iz mreže.

Na slici 5.2.6. prikazan je naponski profil po fazama na zadnjem izvodu br.90. Uočava se veliki naponski propad, znatno ispod dopuštenih vrijednosti (ispod 0,7 p.u.), a zbog velike snage ponovno dolazi do simetriranja opterećenja.

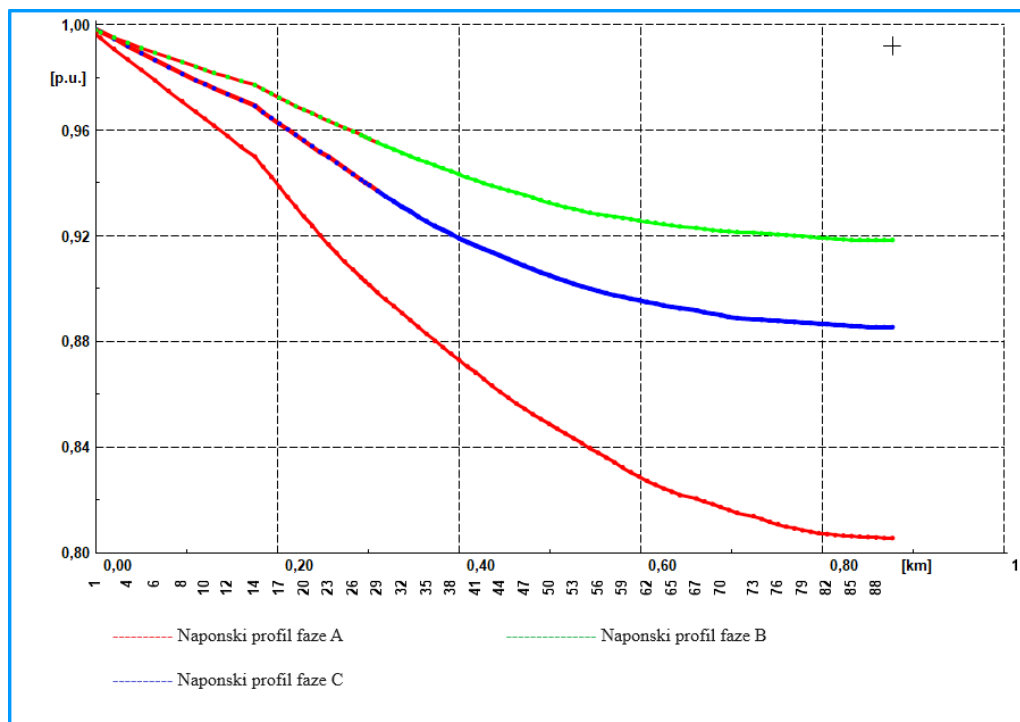


Slika 5.2.6. Naponski profil po fazama na zadnjem izvodu br.90.

### 3. Scenarij 3 – 50% udio punjača, jednofazno 3.7 kW, nesimetrično opterećenje

U trećem scenariju polazište je kao i u scenariju 2, udio električnih vozila na tržištu 50% punjenih na kućnom jednofaznom priključku od 3.7 kW. Ovdje se radi o nesimetričnom opterećenju mreže, a punjači su ravnomjerno raspoređeni tijekom cijele duljine izvoda. Izbor priključene faze punjača je rađen nasumično kako bi se pobliže realizirao realni scenarij gdje nije garantirano da će svaki vlasnik električnog vozila puniti svoje vozilo točno na određenoj fazi, tj. da će se raspodijeliti točno po fazama. Broj punjača je ostao isti na 44 komada, ali kako se ovdje radi o 3 puta manjoj sveukupnoj snazi biti će i manji udar na sustav i omogućiti će bolje sagledavanje nesimetričnog opterećenja po fazama.

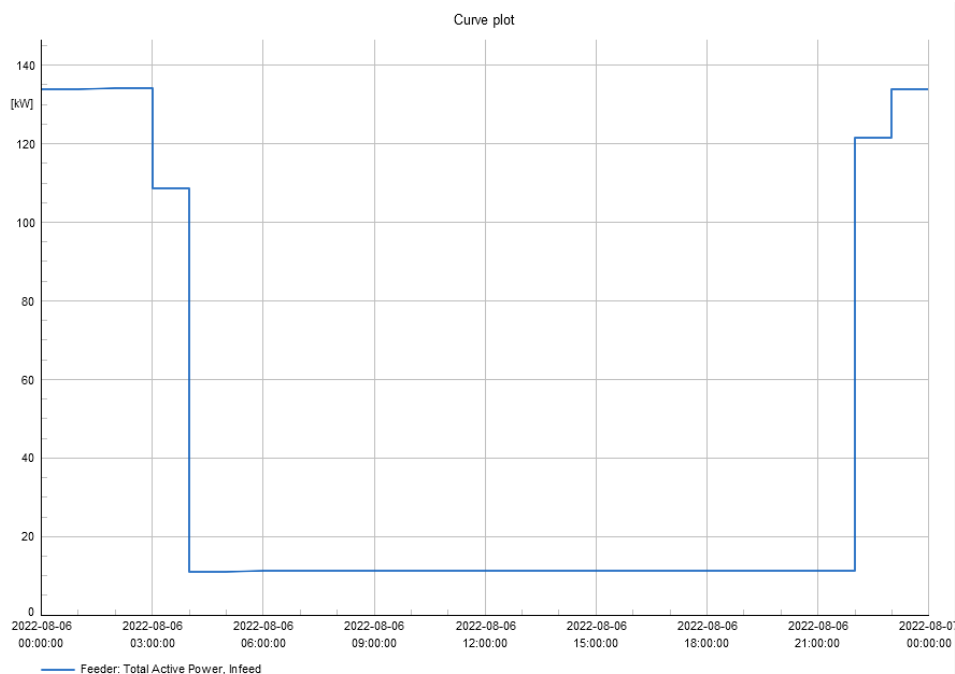
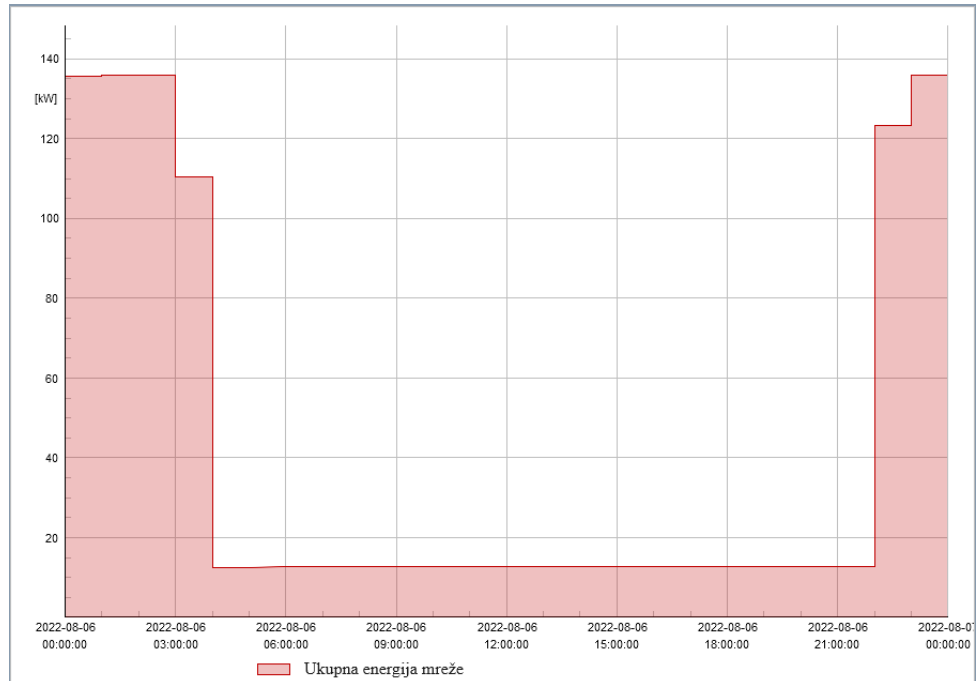
Na slici 5.2.7. može se vidjeti kako se radi o značajnom propadu napona, iako se ovdje radi o manjim vrijednostima. Ono što je zanimljivo i što se može promotriti je propad napona uslijed nesimetričnog opterećenja gdje na fazi A naponski propad na 0,81 p.u. dok je na fazi B i C on zadržan na oko 0,9 p.u. Neravnomjerna raspodjela punjača direktno utječe na naponski profil na pojedinim fazama i stabilnost napona.



**Slika 5.2.7.** Naponski profil za 50% punjača snage 3.7 kW.

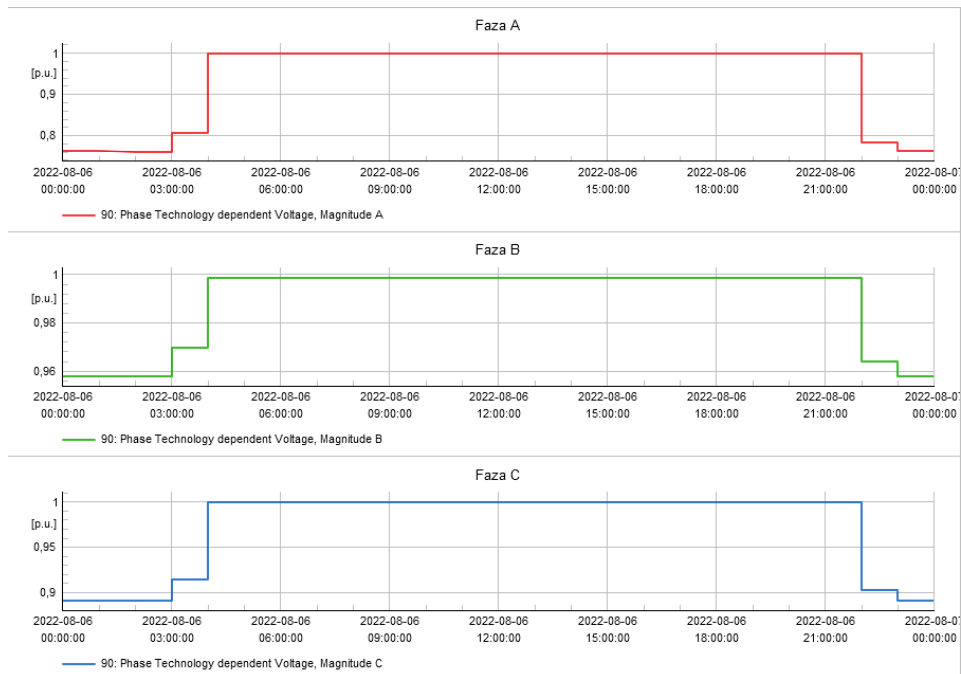
Na slici 5.2.8. prikazana je ukupna potrošnja u mreži za scenarij 3 koja je značajno manje niža nego u scenariju 2. Kod ovog scenarija je ukupna potrošnja porasla za nešto više od

12 puta ili 1200%, što je opet značajno povećanje u odnosu na bazno opterećenje sustava i rezultira velikim propadima napona. Može se vidjeti kako je ovdje potrošnja narasla sa početnih 12 kW na približno 135 kW za vrijeme punjenja baterija.

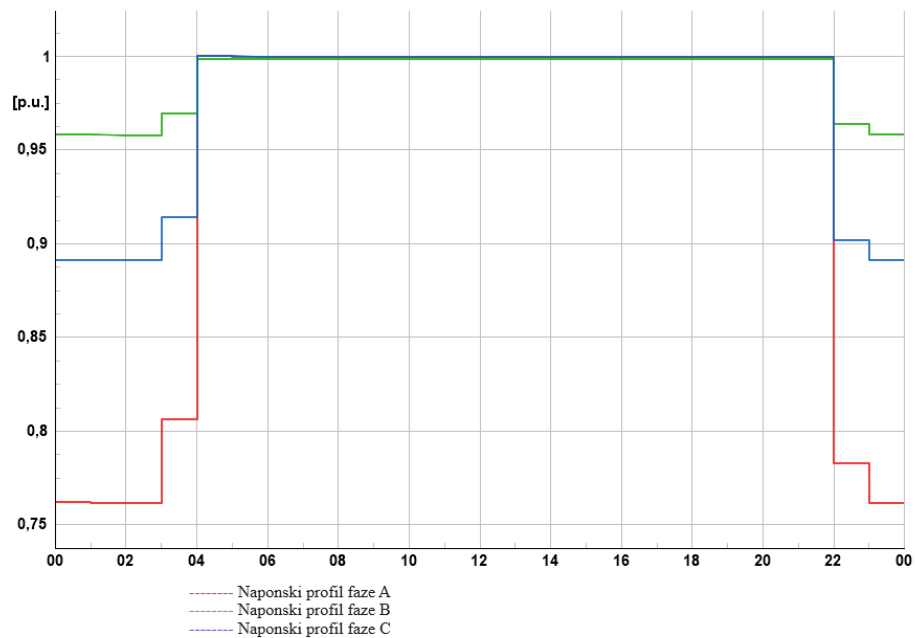


Slika 5.2.8. Ukupna energija mreže i snaga preuzeta iz mreže.

Na slici 5.2.9. prikazan je naponski profil po fazama na zadnjem izvodu br.90 i usporedba profila za pojedine faze. Postoji veliki pad napona, znatno ispod dopuštenih vrijednosti (ispod 0,77 p.u.), ali ovdje se može vidjeti kako se radi o nesimetričnom opterećenju.



a)



b)

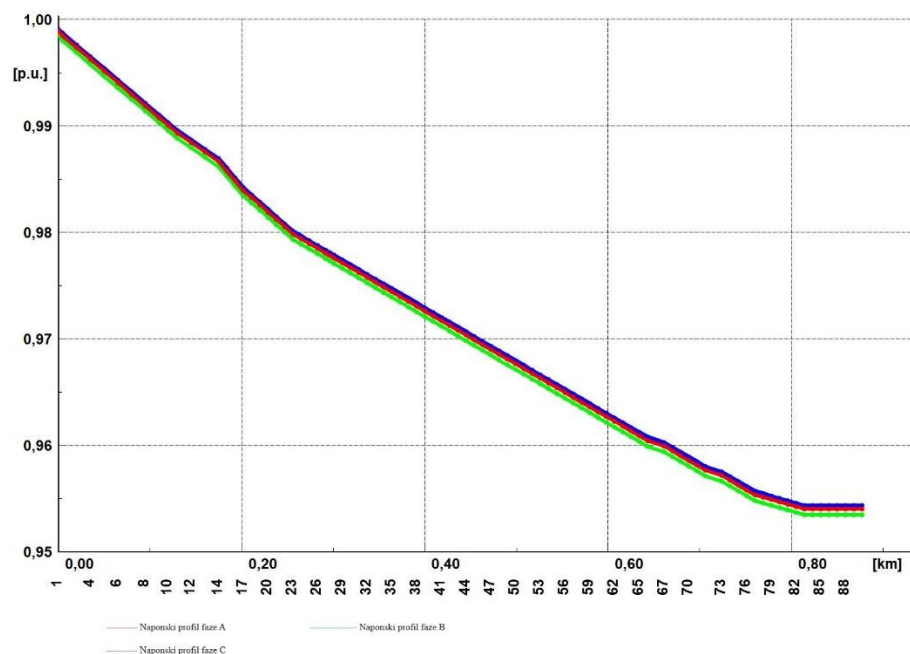
**Slika 5.2.9.** Naponski profil po fazama na zadnjem izvodu br.90. a) i usporedba nesimetrije b)



#### 4. Scenarij 4 – Maksimalan broj trofaznih 11 kW punjača

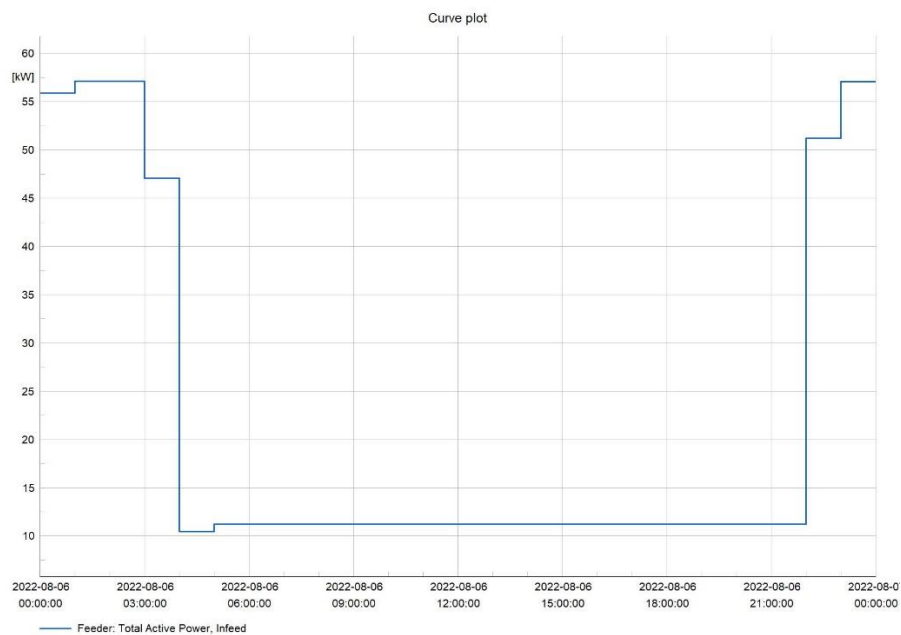
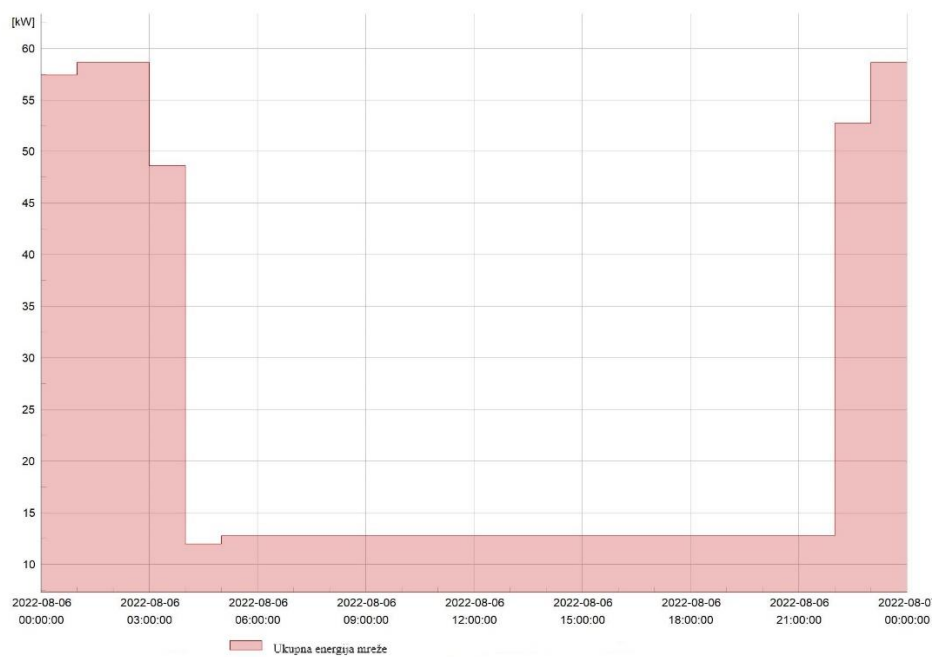
U ovom scenariju se dolazi do maksimalnog broja trofaznih punjača od 11 kW koji se mogu dodati baznom sustavu bez da dođe do naponskog propada ispod 0,95 p.u. tj. da se zadrži stabilnost sustava. Rezultati pokazuju da se može integrirati samo pet punjača, od kojih su tri bliže početku voda, a dva punjača se nalaze pri kraju voda.

Na slici 5.2.1.0 prikazan je naponski profil za maksimalan broj trofaznih 11 kW punjača na izvodu, a da se i dalje napon na zadnjoj sabirnici zadržao iznad 0,95 p.u. vrijednosti napona. Napon je simetričan.



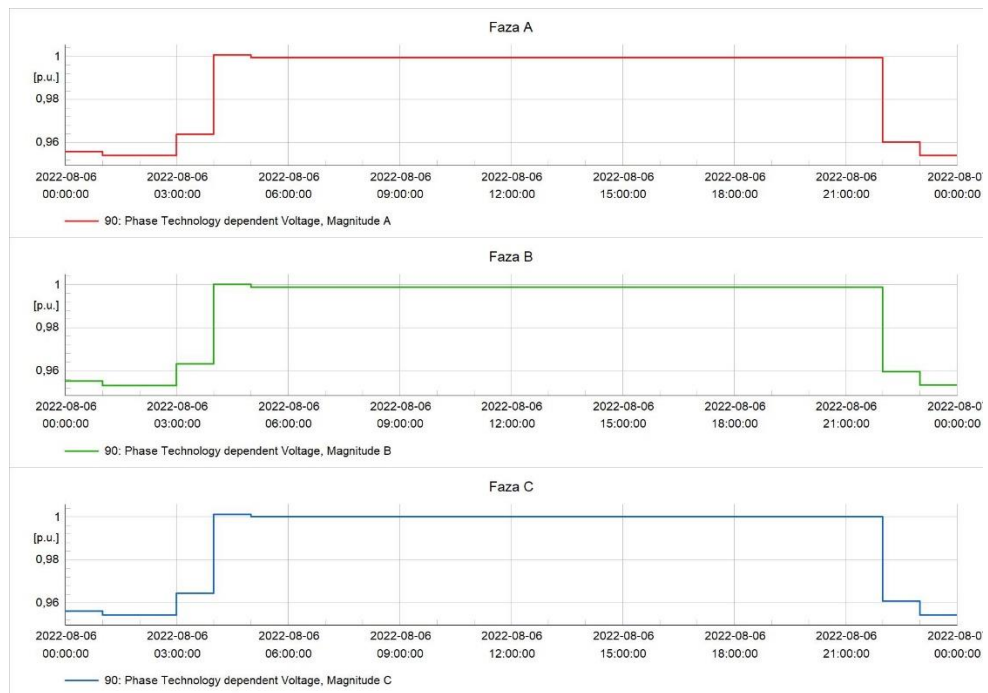
**Slika 5.2.10.** Naponski profil za pet punjača snage 11 kW.

Na slici 5.2.11. prikazan je tok energije iz mreže. Energija je manje nego u prethodnim scenarijima, a prati profil punjenja. Vršno opterećenje je, zbog više snage, u noćnim satima. Ovdje se maksimalna potrošnja sa početnih 12 kW, povećala na približno 57 kW.



**Slika 5.2.11.** Ukupna energija mreže i snaga preuzeta iz mreže.

Na slici 5.2.12 prikazan je naponski profil po fazama na zadnjoj sabirnici. Napon je ostao unutar dozvoljenih vrijednosti iznad 0,95 p.u., a opterećenje je simetrično.

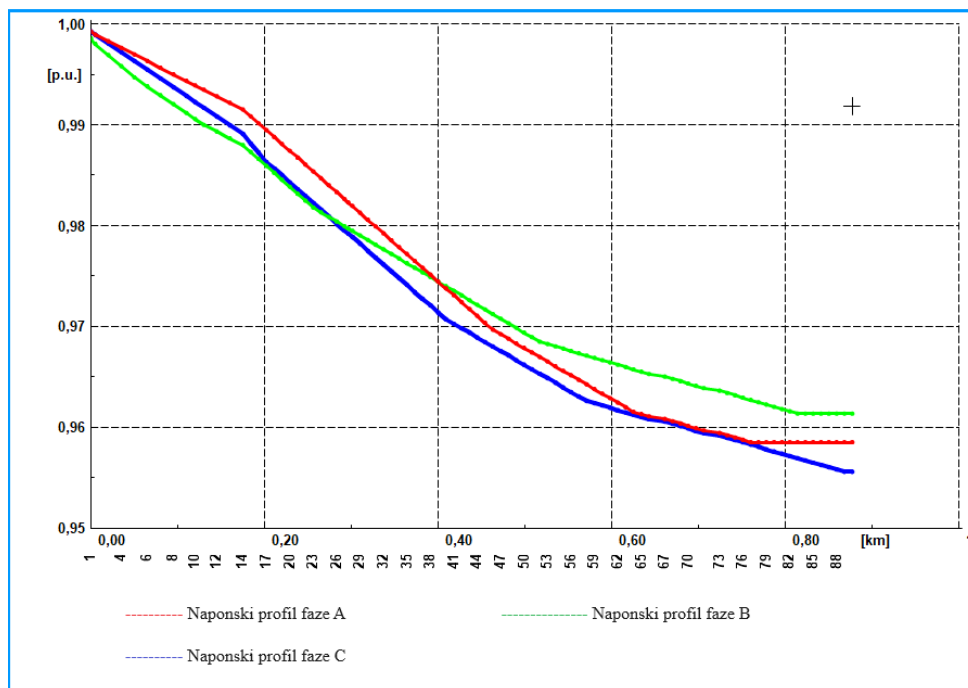


**Slika 5.2.12.** Naponski profil po fazama na zadnjem izvodu br.90.

## 5. Scenarij 5 – Maksimalan broj jednofaznih 3,7 kW punjača

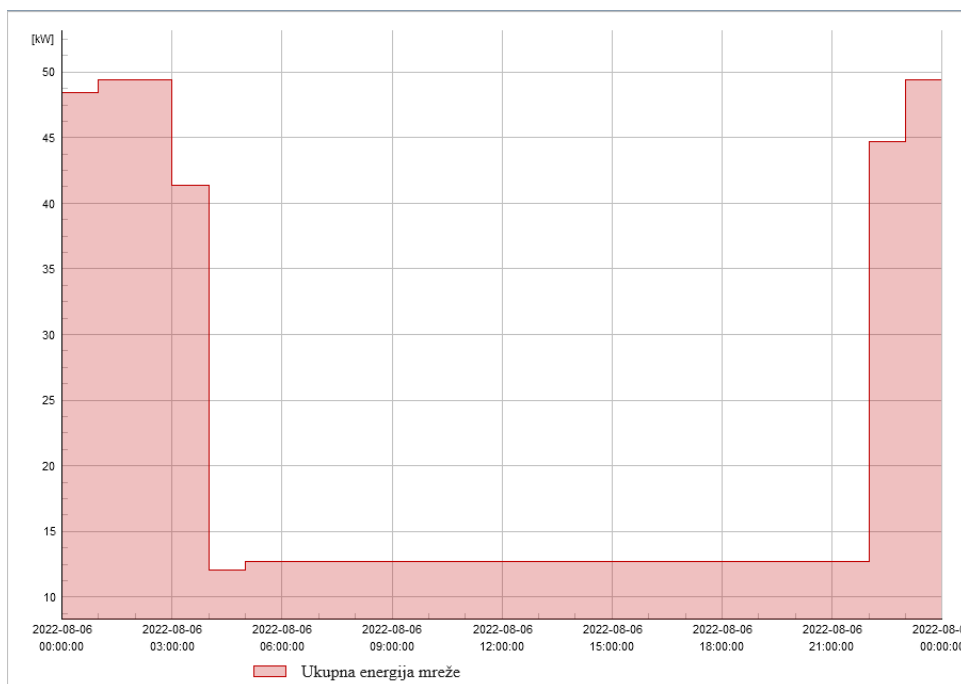
U ovom scenariju integriran je maksimalni broj jednofaznih punjača snage 3,7 kW koji se dodaju baznom sustavu bez da dođe do pada napona ispod 0,95 p.u. tj. da se zadrži stabilnost sustava. Najveći broj punjača koji se može postaviti je 12 punjača ravnomjerno raspoređenih duž izvoda. Raspored je nasumičan kako bi se postigla totalno nesimetrična raspodjela po fazama što predstavlja realni slučaj.

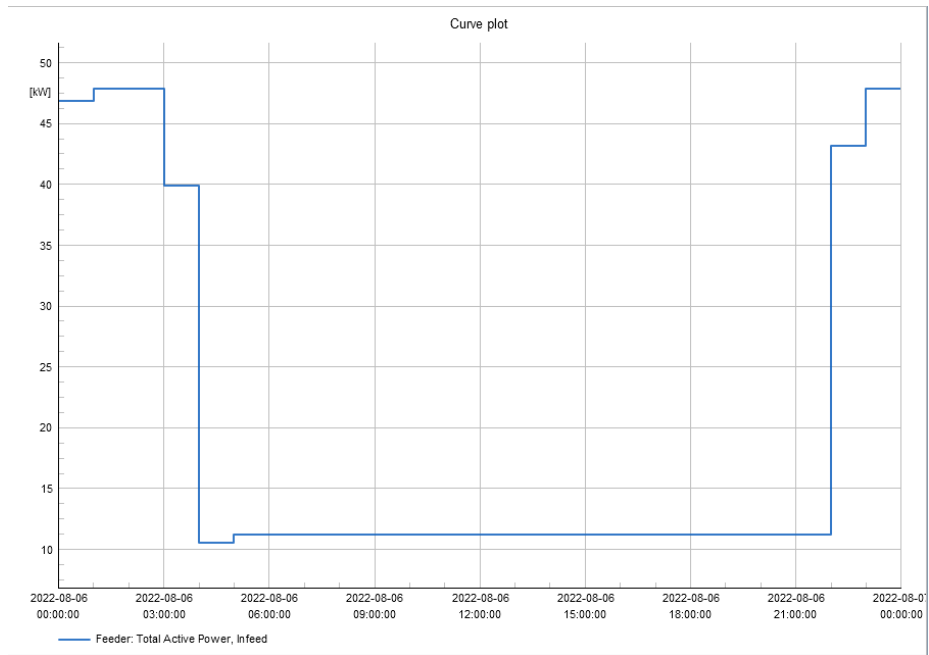
Na slici 5.2.13. prikazan je naponski profil za maksimalan broj jednofaznih punjača snage 3,7 kW, a da se i dalje napon na zadnjoj sabirnici zadrži iznad 0,95 p.u. vrijednosti napona. S obzirom da su punjači nasumično raspoređeni po fazama, opterećenje je nesimetrično.



**Slika 5.2.13.** Naponski profil za 12 punjača snage 3.7 kW.

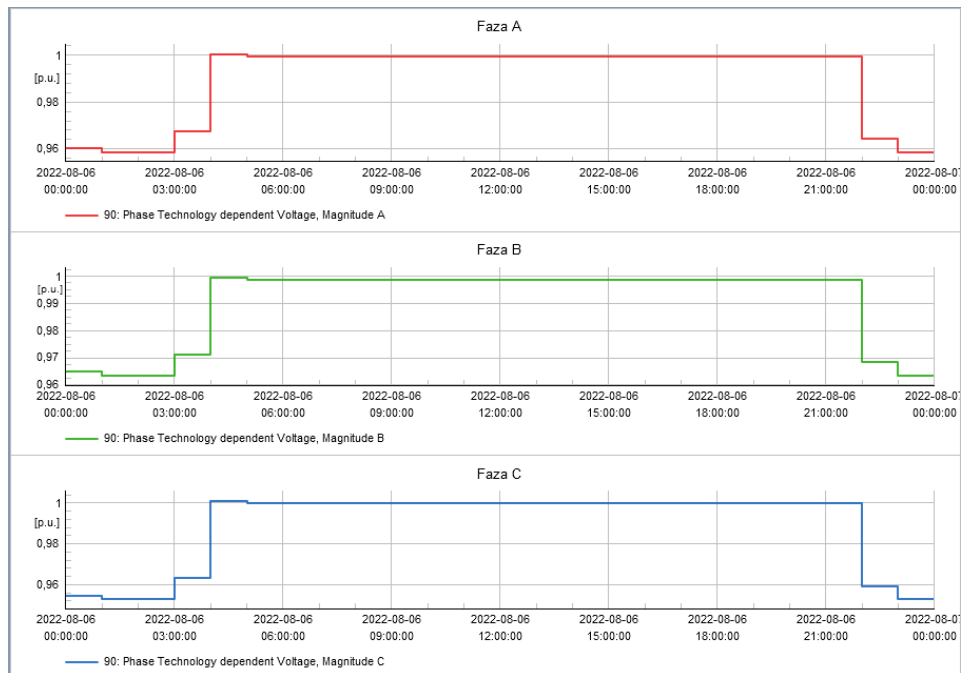
Na slici 5.2.14. može se vidjeti kako se radi o povećanju potrošnje od 4 puta ili 400% uz zadržanu stabilnost sustava iako je višestruko povećano opterećenje u odnosu na bazno opterećenje, opet značajno manje nego u prijašnjim scenarijima.



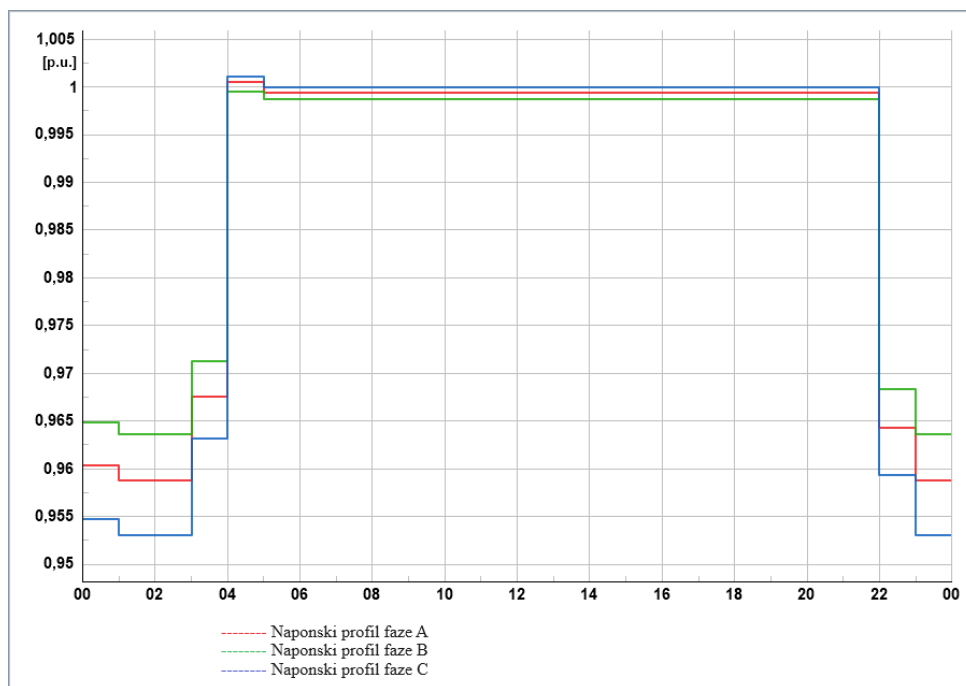


**Slika 5.2.14.** Ukupna energija mreže i snaga preuzeta iz mreže.

Na slici 5.2.15. prikazan je naponski profil po fazama na zadnjem izvodu br.90 i usporedba istih. Napon je ostao unutar dozvoljenih vrijednosti, a nesimetrija je izražena. Najniži napon iznosi minimalnih dozvoljenih 0,95 p.u.



a)



b)

**Slika 5.2.15.** Naponski profil po fazama na zadnjem izvodu br.90. a) i usporedba nesimetrije b).

U tablici 5.1.5. prikazane su vrijednosti ukupne potrošnje energije u sustavu i napona na zadnjoj sabirnici za svih pet scenarija. Može se vidjeti kako se napon kreće od 0,68 p.u. kad imamo preopterećenje sustava, povećanje potrošnje na maksimalnih 340 kW. Malo je bolja situacija sa trećim scenarijem gdje imamo jednofazno nesimetrično opterećenje, gdje je naponski propad do 0,76 p.u., potrošnja narasla na 135 kW. U zadnja dva scenariji se može vidjeti da maksimalna potrošnja sustava je limitirana na 60 kW, a da napon ne pada ispod 0,95 p.u.

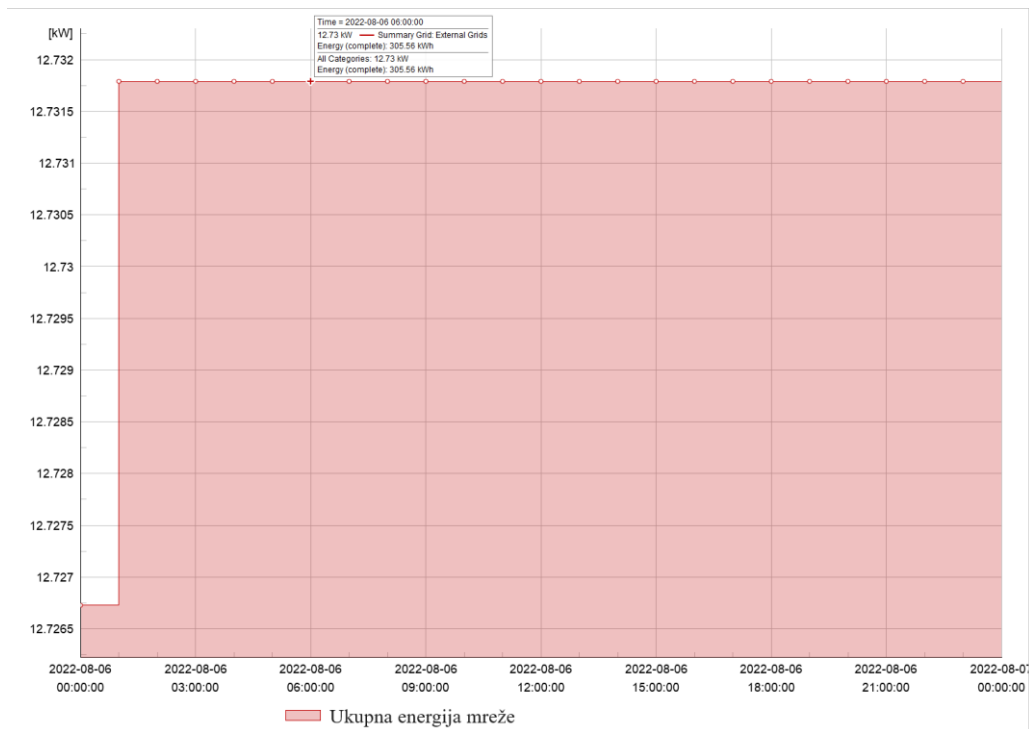
**Tablica 5.1.5.** Tablični prikaz vrijednosti napona na zadnjoj sabirnici i ukupne potrošnje sustava.

Scenarij	1	2	3	4	5
U <sub>90</sub> [p.u.]	0,998	0,68	0,76	0,955	0,955
W <sub>uk</sub> [kW]	12	340	135	60	48

Nakon provedenih simulacija prvenstveno treba uzeti u obzir da iako se ovdje radi o primjeru radijalnog izvoda jednog prigradskog naselja, ukupna potrošnja jednog takvog sustava je relativno mala i svako novo dodatno opterećenje pokazivati će značajan utjecaj na kvalitetu energije u tom sustavu. Međutim, ovaj primjer je dobar pokazatelj opsega utjecaja elektromobilnosti na jedan takav sustav. Scenariji su dosta grubo i baziraju se na procjeni velikog skoka u upotrebi električnih vozila i potrebi punjenja istih. Kod 50% udjela vozila koji bi se punili na brzim kućnim priključcima od 11 kW uočava se totalni kolaps sustava, Najveći mogući broj podržanih punjača je pet komada, što je devet puta manje ili samo 11% onoga što je predviđeno u promatranim scenarijima. Situacija je nešto bolja sa jednofaznim punjačima od 3,7 kW, gdje je moguće integrirati 12 punjača, što je 3,5 puta manje ili samo 27% predviđenog. Nadalje, kod provođenja scenarija gledala se samo naponska stabilnost, ukupno opterećenje sustava i pad napona na zadnjoj sabirnici. To nisu svi pokazatelji, kod promatranja treba uzeti u obzir i ostale pokazatelje kvalitete električne energije. Pored toga, potrebno je obratiti i pozornost na zagrijavanje transformatora i vodova kao i preopterećenje istih što ima utjecaj na njihov životni vijek. Simulacijom je pokazano da se već i kod malog povećanja broja električnih vozila javlja opasnost da napon izađe iz dozvoljenih granica od 0,95 p.u. i da sustav nije spreman za toliku adopciju elektromobilnosti.

### **5.2.1. Izazovi izrade simulacije u programskom paketu DigSilent**

Za izradu i analizu simulacije korišten je programski paket DigSilent, koji se pokazao jako korisnim u izradi ovog rada. Međutim, pojavili su se određeni izazovi, prvenstveno sa dobivanjem točnih karakteristika i grafova koji bi predstavljali stvarno stanje u simuliranoj distribucijskoj mreži. Kod simuliranja početnog stanja u mreži opterećenje potrošača je bilo malo uz veliku snagu pojne mreže, te nije bilo moguće dobiti vremensku ovisnost naponskog profila potrošača za taj slučaj. U idealnom slučaju, budući da je zadana vremenska karakteristika potrošača, trebala bi se dobiti vremenska ovisnost pada napona za promatrani period. Kod daljnjih analiza pojavio se raskorak u iznosima snage i energije zbog pogrešnog načina unosa karakteristike (relativna ili relativna u %). Na slici 5.3.1. se može vidjeti primjer za ukupan iznos energije.



**Slika 5.3.1.** Primjer raskoraka u iznosima snage.

Naime, prilikom unosa karakteristike punionice moguća su tri načina unosa – u apsolutnim vrijednostima, relativnom iznosu ili postotku relativnog iznosa. Prilikom modeliranja je potrebno obratiti pažnju i po potrebi napraviti nekoliko setova testnih mjerenja kako bi se potvrdila točnost rezultata.

Drugi izazovi su bili sa dobivanjem ispravnih naponskih profila, pri čemu se nisu mogle uočiti promjene u opterećenju i nesimetrija po fazama. Razlog za ovaj problem je računanje naponskog profila na kraju promatranog perioda. Budući da su provedene simulacije u vremenskom periodu, naponski profil za cijeli izvod je računat za zadnji sat (ili drugu vremensku točku) u promatranom periodu. Naime, naponski profil izvoda se može promatrati samo u ovisnosti o udaljenosti od početka izvoda za promatrani trenutak. Zbog toga je u simulacijama vrijeme punjenja električnih vozila postavljeno u noćnim satima, kako bi program ispravno računao naponski profil. Zbog male početne potrošnje potrošača to nije utjecalo na rezultate simulacija. Ukoliko se želi promatrati neki drugi trenutak, potrebno je provesti analizu tokova snage za željeni trenutak, što se postiže postavljanjem triggera. Izvođenjem simulacija u ovom programskom paketu uočene su brojne prednosti, ali isto tako treba se upoznati sa izazovima i ograničenjima koja se mogu pojaviti te svladati iste.



## 6. ZAKLJUČAK

Električna vozila polagano postaju svakodnevnica naših života i iako još u povojima kroz par godina činiti će veliki udio vozila u prometu. Cilj ovoga rada bio je istražiti upravo mogućnost jednog takvog naglog skoka udjela električnih vozila i njihov utjecaj na distribucijsku mrežu. U prijašnjem dijelu rada mogli smo se pobliže upoznati za zahtjevima električnih vozila, predikcijama za budućnost, karakteristikama punjača, same tehnike punjenje kao i ograničenja na mrežu koja dolaze sa povećanom elektromobilnošću. Na osnovu tih podataka napravili smo par mogućih scenarija i napravili analizu istih kako bi na primjeru distribucijske mreže izravno proveli analize utjecaja velikog broja električnih vozila na distribucijsku mrežu.

Analizu smo započeli sa početnim stanjem distribucijske mreže gdje moramo uzeti u obzir malu početnu potrošnju sustava, što u našem slučaju je prednost jer točnije možemo vidjeti direktan utjecaj velikog broja punjača za električna vozila na sami distribucijski izvod, padove napona, stabilnost.

Već kod drugog scenarija gdje smo simulirali 50% udjela punjača od 11 kW na trofaznoj mreži, može se vidjeti da je početna potrošnja sustava narasla sa 12,5 kW na ogromnih 340 kW. Te uslijed tolikog velikog povećanja potrošnje imamo pad napona ispod 0,7 p.u.

Kod trećeg scenarija sa nesimetričnim jednofaznim 3,7kW punjačima situacija je nešto povoljnija, ali daleko od dobrog. Naime potrošnja je skočila sa početnih 12,5 kW na visokih 135 kW, a najveći pad napona na najopterećenijoj fazi je bio ispod 0,76 p.u.

U četvrtom i petom scenariju analizom smo pokušali doći do maksimalnog broja punjača od 11 kW trofazno i 3,7kW jednofazno koje ova distribucijska mreža može podržati, a da naponski propadi ne budu preko propisane granice od 0,95 p.u. Analizom je utvrđeno da je to 5 punjača na trofaznom punjaču od 11 kW, što je samo 11% onoga što je predviđeno u početnom scenariju i predikcijama za 2030. godinu. Kod jednofaznog punjenja od 3,7 kW, stanje je bolje i sustav podržava 12 punjača, što je 27% predviđenog u početnom scenariju.

Na osnovu analiza ovih scenarija na primjeru distribucijske mreže može se zaključiti kako će elektromobilnost imati veliki utjecaj na isti tj. da nije spreman u budućnosti na ovoliki prihvat električnih vozila. Kako bi se izbjegli problemi u nadolazećem prijelazu na električna vozila, bitno je odmah započeti sa ulaganjem u distribucijske mreže kako bi iste bile spremne za povećanje elektromobilnosti.

## 7. LITERATURA

- [1] University of Cambridge Institute for Sustainability Leadership (CISL). (2021). *Fit for 55? A progressive business perspective on the EU's transformative climate package*. Cambridge, UK: CLG Europe
- [2] European EV Charging Infrastructure Masterplan March 2022
- [3] ElectricVehicletrends Dostupno na: [https://www.electrical-installation.org/enwiki/Electric\\_Vehicle\\_trends](https://www.electrical-installation.org/enwiki/Electric_Vehicle_trends) [Pristupljeno 17.09.2023.]
- [4] Zakon o gradnji NN 153/13, 20/17, 39/19, 125/19 na snazi od 28.12.2019. Dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/690/Zakon-o-gradnji> [Pristupljeno 17.09.2023.]
- [5] Low Carbon Green Growth Roadmap for Asia and the Pacific : Case Study - London, United Kingdom's congestion charge. Dostupno na: [https://www.unescap.org/sites/default/files/30\\_CS-London-United-Kingdom-congestion-charge.pdf](https://www.unescap.org/sites/default/files/30_CS-London-United-Kingdom-congestion-charge.pdf) [Pristupljeno 17.09.2023.]
- [6] London's congestion charge. Dostupno na: <https://www.centreforpublicimpact.org/case-study/demand-management-for-roads-in-london#:~:text=The charging period runs from,drivers%2C such as% the disabled.> [Pristupljeno 17.09.2023.]
- [7] IEA (2023), *Global EV Outlook 2023*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023> [Pristupljeno 17.09.2023.]
- [8] Taghizad-Tavana, K.; Alizadeh, A.; Ghanbari-Ghalehjoughi, M.; Nojavan, S. A Comprehensive Review of Electric Vehicles in Energy Systems: Integration with Renewable Energy Sources, Charging Levels, Different Types, and Standards. *Energies* **2023**, *16*, 630. <https://doi.org/10.3390/en16020630> [Pristupljeno 17.09.2023.]
- [9] D. Scooter Electric vehicle (EV) charging standards and how they differ. Dostupno na: <https://electrek.co/2021/10/22/electric-vehicle-ev-charging-standards-and-how-they-differ/> [Pristupljeno 17.09.2023.]
- [10] Rachid, A.; El Fadil, H.; Gaouzi, K.; Rachid, K.; Lassioui, A.; El Idrissi, Z.; Koundi, M. Electric Vehicle Charging Systems: Comprehensive Review. *Energies* **2023**, *16*, 255. <https://doi.org/10.3390/en16010255>

- [11] Morsy Nour 1,2,\*, José Pablo Chaves-Ávila 1 , Gaber Magdy 2 and Álvaro Sánchez-Miralles. Review of Positive and Negative Impacts of Electric Vehicles Charging on Electric Power Systems.
- [12] HOPS d.o.o. DESETOGODIŠNJI PLAN RAZVOJA PRIJENOSNE MREŽE 2022. - 2031.
- [13] R. N. Charette, IEEE Spectrum, The EV Transition Explained Dostupno na: [https://spectrum.ieee.org/files/52329/The EV Transition.final.pdf](https://spectrum.ieee.org/files/52329/The_EV_Transition.final.pdf) [Pristupljeno 17.09.2023.]
- [14] Letha, S.S.; Bollen, M.H.J.; Busatto, T.; Espin Delgado, A.; Mulenga, E.; Bakhtiari, H.; Sutaria, J.; Ahmed, K.M.U.; Nakhodchi, N.; Sakar, S.; et al. Power Quality Issues of Electro-Mobility on Distribution Network—An Overview. *Energies* **2023**, *16*, 4850. <https://doi.org/10.3390/en16134850>

## **SAŽETAK**

U ovom diplomskom radu analizirao se utjecaj elektromobilnosti na distribucijsku mrežu. Započeto je sa pregledom važećih legislativa, planovima Europske komisije za budućnost elektromobilnosti i napravljen pregled trenutnog stanja, karakteristika i značajki punionica za električna vozila, načine punjenja i ograničenja koja mogu postojati u mreži.

U posljednjem dijelu ovoga rada napravljena je analiza mogućnosti implementacije elektromobilnosti na primjeru distribucijske mreže sa simulacijama u programskom paketu DigSilent. Tu smo analizirali par scenarija kako bi dobili bolji uvid u opseg utjecaja elektromobilnosti na distribucijsku mrežu.

Ključne riječi: elektromobilnost, distribucijska mreža, analiza simulacije, DigSilent, koncept punjenja, metode punjenja, ograničenja na mrežu.

## **The impact of electromobility on the distribution network**

### **ABSTRACT**

In this thesis, the impact of electromobility on the distribution network was analyzed. It began with a review of current legislation, the European Commission's plans for the future of electromobility, and an overview of the current state, characteristics and features of charging stations for electric vehicles, charging methods and limitations that may exist in the network.

In the last part of this paper, an analysis of the possibility of electromobility implementation was made on the example of a distribution network with simulations in the DigSilent software package. There we analyzed a couple of scenarios in order to get a better insight into the extent of the impact of electromobility on the distribution network.

Keywords: electromobility, distribution network, simulation analysis, DigSilent, charging concept, charging methods, network constraints.

## ŽIVOTOPIS

Tomislav Kovačević rođen je u Vinkovcima 1987. godine. Osnovnu školu pohađao je u Vinkovcima. Nakon završetka osnovne škole 2002. godine upisuje srednju tehničku školu za zanimanje elektrotehničar koju završava 2006. godine. Iste te godine upisuje Osječki elektrotehnički fakultet dislociran u Vinkovcima, preddiplomski stručni studij elektrotehnike, smjer elektroenergetika koji prekida 2008. godine. Studiranje nastavlja 2013. godine na Elektrotehničkom fakultetu Osijek isto na preddiplomskom stručnom studiju elektrotehnike, smjer elektroenergetika koji završava 2017. godine. Nakon razlikovne godine upisuje Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika, izborni blok DEA.

---

Potpis autora