

# Analiza utjecaja porasta udjela električnih vozila na opterećenje EES u istočnoj Hrvatskoj

---

Vomš, Stjepan

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:200:536629>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-18**

*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Sveučilišni studij**

**Analiza utjecaja porasta udjela električnih vozila na  
opterećenje EES u istočnoj Hrvatskoj**

**Diplomski rad**

**Stjepan Vomš**

**Osijek, 2023.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit****Osijek, 20.09.2023.****Odboru za završne i diplomske ispite****Imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit**

<b>Ime i prezime Pristupnika:</b>	Stjepan Vomš
<b>Studij, smjer:</b>	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
<b>Mat. br. Pristupnika, godina upisa:</b>	D-1432, 06.10.2021.
<b>OIB studenta:</b>	83735057831
<b>Mentor:</b>	izv. prof. dr. sc. Danijel Topić
<b>Sumentor:</b>	,
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Predsjednik Povjerenstva:</b>	izv. prof. dr. sc. Goran Knežević
<b>Član Povjerenstva 1:</b>	izv. prof. dr. sc. Danijel Topić
<b>Član Povjerenstva 2:</b>	Zvonimir Šimić, mag. ing. el.
<b>Naslov diplomskog rada:</b>	Analiza utjecaja porasta udjela električnih vozila na opterećenje EES u istočnoj Hrvatskoj
<b>Znanstvena grana diplomskog rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak diplomskog rada:</b>	Ukratko opisati vrste električnih vozila i vrste punionica. Opisati utjecaj električnih vozila odnosno punionica na elektroenergetski sustav. Napraviti analizu utjecaja porasta udjela električnih vozila na opterećenje elektroenergetskom sustava u istočnoj Hrvatskoj.
<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: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
<b>Datum prijedloga ocjene od strane mentora:</b>	20.09.2023.
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, 05.10.2023.

<b>Ime i prezime studenta:</b>	Stjepan Vomš
<b>Studij:</b>	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
<b>Mat. br. studenta, godina upisa:</b>	D-1432, 06.10.2021.
<b>Turnitin podudaranje [%]:</b>	15

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Analiza utjecaja porasta udjela električnih vozila na opterećenje EES u istočnoj Hrvatskoj**

izrađen pod vodstvom mentora izv. prof. dr. sc. Danijel Topić

i sumentora ,

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>1.1. Predmet i cilj istraživanja</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2. Metoda istraživanja</b> .....	<b>2</b>
<b>2. PREGLED PODRUČJA RADA TEME</b> .....	<b>3</b>
<b>3. ELEKTRIČNA VOZILA</b> .....	<b>4</b>
<b>3.1. Povijest električnih vozila</b> .....	<b>4</b>
<b>3.2. Vrste električnih vozila</b> .....	<b>9</b>
3.2.1. Baterijska električna vozila.....	9
3.2.2. Hibridna električna vozila.....	9
3.2.3. <i>Plug-in</i> hibridna električna vozila .....	10
3.2.4. Vozila s gorivnim člancima .....	11
<b>3.3. Električne punionice</b> .....	<b>11</b>
3.3.1. Električne punionice u Hrvatskoj .....	15
<b>3.4. Broj električnih vozila</b> .....	<b>16</b>
<b>3.5. Tržišta električnih vozila</b> .....	<b>19</b>
<b>3.6. Električna vozila u RH</b> .....	<b>21</b>
3.6.1. Istočna Hrvatska.....	24
<b>4. ELEKTROENERGETSKI SUSTAV</b> .....	<b>26</b>
<b>4.1. Analiza elektroenergetskog sustava u Hrvatskoj</b> .....	<b>27</b>
4.1.1. Proizvodnja i potrošnja električne energije u RH.....	30
4.1.2. Potrošnja električne energije u istočnoj RH.....	32
<b>4.2. Projekcije porasta električnih vozila i potrošnje električne energije u RH</b> .....	<b>33</b>
4.2.1. Projekcije broja električnih vozila u istočnoj RH.....	35
4.2.2. Projekcije potrošnje električne energije istočne RH.....	36
4.2.3. Projekcije opterećenja EES istočne RH.....	38
<b>ZAKLJUČAK</b> .....	<b>41</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>43</b>
<b>SAŽETAK</b> .....	<b>46</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>47</b>

## 1. UVOD

Interes za električnim vozilima neprestano raste iz dana u dan, iako su električna vozila obično skuplja od konvencionalnih vozila (vozila s motorom na unutarnje izgaranje) u većini država. Potražnja za električnim vozilima zasigurno se može pripisati klimatskih promjenama odnosno povećanom ljudskom svijesti i zabrinutosti za skoriju budućnost. Izgaranje fosilnih goriva (emisija stakleničkih plinova), sječa šuma (smanjenje apsorpcije CO<sub>2</sub>), povećanje uzgoja stoke, velika potrošnja gnojiva na bazi dušika, predstavljaju vodeće uzroke klimatskih promjena. Posljedice klimatskih promjena imaju utjecaj na različite geografske regije. Globalno zatopljenje predstavlja najutjecajniju posljedicu klimatskih promjena uzrokovanu učinkom staklenika (emisijom stakleničkih plinova u atmosferi), a samim time globalno zatopljenje predstavlja uzroke različitih vremenskih nepogoda. Prema [1] Europska unija definirala je dugoročne energetske ciljeve koji uključuju smanjenje emisije CO<sub>2</sub> barem za 55% do 2030. godine u usporedbi s razinama iz 1990. godine odnosno nulte emisije CO<sub>2</sub> (klimatska neutralnost) do 2050. godine. Uvjet za postizanje prometnog sektora ugljično neutralnog je prestanak proizvodnje konvencionalnih vozila do 2035. godine. Sve države članice EU moraju smanjiti emisije stakleničkih plinova između 10 i 50 %, za Hrvatsku postavljeni cilj iznosi -16,7% u odnosu na 2005. godinu. Postavljeni ciljevi za svaku članicu ovise o BDP-u i razini isplativosti. Uz električne automobile, sve češće susrećemo različita električna prijevozna sredstva poput električnih bicikala, romobila, skateboarda i sl. Električna vozila omogućuju vrlo laku primjenu, odnosno svojom primjenom olakšavaju urbanu mobilnost. Električna vozila su energetske učinkovita i ekološki prihvatljiva jer ne emitiraju ispušne plinove. Sa tehničke strane, električna vozila pružaju puno bolju udobnost tokom same vožnje, niže troškove održavanja i sl. Naprotiv, jedan od glavnih nedostataka električnih vozila je visoka početna cijena, ne dovoljan broj punionica, puno dulje vrijeme punjenja (čak i na „brzim“ punionicama) u odnosu na punjenje konvencionalnih vozila gorivom, ograničen broj modela vozila i relativno manji domet vožnje. Ipak da bi električna vozila bila stvarno ekološki prihvatljiva, proizvodnja same električne energije dostižne za pokretanje električnih vozila trebala bi biti iz obnovljivih izvora energije. Stoga osim prelaska na vozila sa nultom emisijom CO<sub>2</sub> potrebno je uzeti u obzir i proizvodnju električne energije i njezinu štetnost prema okolišu prilikom proizvodnje. Porast električnih vozila nosi sa sobom i određene negativne posljedice, posebno u pogledu opterećenja elektroenergetskih sustava, sve većom potražnjom litij postaje sve skuplji, problem recikliranja baterija i drugi tehnički problemi oko samog električnog automobila.

U diplomskom radu navedeni su prednosti i nedostaci električnih vozila (tehnički i ekološki aspekti), vrste električnih vozila, električne punionice, uvid u brojnost i stanje tržišta električnih vozila u svijetu i Hrvatskoj, buduće smjernice porasta proizvodnje električnih vozila te sami utjecaj većeg korištenja istih na elektroenergetski sustav istočne Hrvatske.

### **1.1. Predmet i cilj istraživanja**

Predmet ovog istraživanja je utvrditi utjecaj porasta električnih vozila (na globalnoj razini, na razini RH točnije istočne Hrvatske) na sami EES promatranog područja. Cilj istraživanja je utvrditi trenutno stanje opterećenja EES istočne Hrvatske, buduće smjernice povećanja uporabe električnih vozila na EES.

### **1.2. Metoda istraživanja**

U svrhu istraživanja u ovom radu primijenit će se teorijsko istraživanje koje će se temeljiti na relevantnoj znanstvenoj i stručnoj literaturi te dostupnim izvorima na internetu.

## 2. PREGLED PODRUČJA RADA TEME

Ubrzanom elektrifikacijom prometnog sustava, odnosno naglim povećanjem udjela električnih vozila u cestovnom prometu, rezultiralo je povećanom potrebom za infrastrukturom za punjenje električnih vozila (električnih punionica) odnosno dodatnim opterećenjem EES i povećanjem proizvodnih kapaciteta električne energije dostatne za pokretanje električnih vozila. U radu [2] opisan je povijesni razvoj električnih vozila i trenutno stanje tržišta istih, detaljan pregled vrste električnih vozila sa njihovim prednostima i nedostacima. Grafički je prikazano dnevno opterećenje EES Hrvatske, te strategije smanjenja vršnog opterećenja mreže (kontrolirano punjenje električnih vozila). U radu [3] prikazano je istraživanje u svrhu analiziranja teritorijalne rasprostranjenosti električnih punionica u Hrvatskoj i njihovog udjela. U analitičkom procesu primijenjene su statističke metode (varijanca i klasterizacija), upotrebom spomenutih metoda dobiva se uvid u raspored i u gustoću punionica na nacionalnoj razini. U radu [4] istražuje se ekološki utjecaj električnih vozila, autor rada naglašava da električna vozila predstavljaju ekološki povoljniju alternativu zbog sposobnosti smanjenja ispuštanja stakleničkih plinova i pozitivnog utjecaja na okoliš. Istražuje se i problem upotrebe baterija u električnim vozilima, zbog sadržaja opasnih spojeva i elemenata poput litija, te utjecaj baterija na okoliš (skladištenje i recikliranje). U radu [5] prikazano je istraživanje razvoja automobilske industrije posebice industrije električnih automobila, te njihovog utjecaja na okoliš. U radu je također istraženo kako tvrtka Rimac Automobili d.o.o. doprinosi održivom razvoju kroz primjenu novih tehnologija proizvodnje s naglašavanjem poslovanja s ekološkim načelima. U radu [6] prikazan je povijesni razvoj električnih vozila, vrste električnih vozila, kontrolore elektromotora, raznolikost baterija koje se koriste u električnim vozilima, potrebnu infrastrukturu za punjenje električnih vozila te utjecaj električnih vozila na kvalitetu električne energije i opterećenje u distribucijskim mrežama. Rast broja električnih vozila također će imati značajan utjecaj na opterećenje distribucijskih mreža za električnu energiju. Stoga se razmatraju mogućnosti kontroliranog punjenja električnih vozila kako bi se postigao optimalniji raspored opterećenja.



### 3. ELEKTRIČNA VOZILA

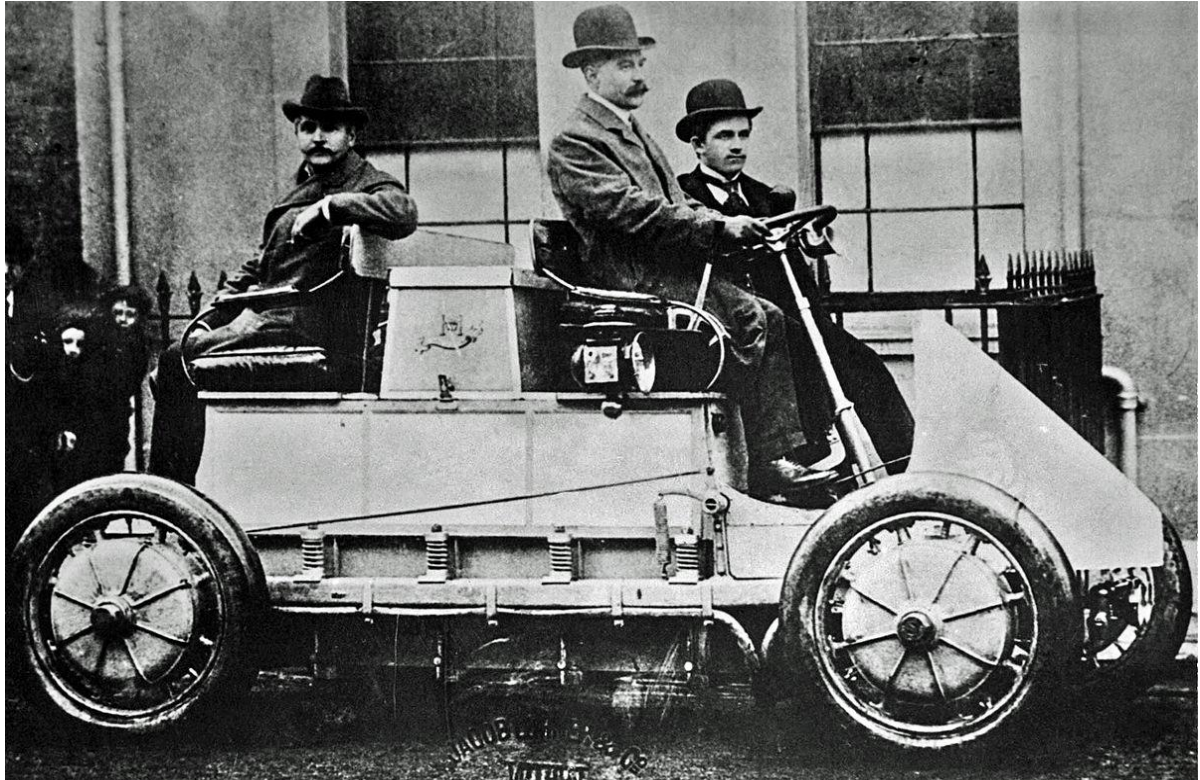
#### 3.1. Povijest električnih vozila

Povijest električnih vozila započela je sredinom 19. stoljeća, a izum električnog automobila pripisuje se različitim izumiteljima. Mađarski inženjer i izumitelj Ányos Jedlik, 1828. godine, stvorio je jedan od ranih tipova električnog motora, stvorio je mali model automobila koji je pokretao tadašnji novi tip motora. Škotski izumitelj Robert Anderson (u razdoblju 1832. - 1839.) konstruirao je kočiju s električnim pogonom koja je koristila nepunjive baterije. Uz Andersona, također Thomas Davenport i Robert Davidson osmislili su praktičnija vozila s nepunjivim baterijama. Izum poboljšanja tehnologije baterije u Francuskoj 1881. godine, uz napore Gastona Plantea i njegovog sunarodnjaka Camillea Faurea, konačno je otvorio put električnim automobilima i njihovom širenju u Europi. Nakon tri godine (1884. godine) prvi električni automobil za praktičnu primjenu je napravio Thomas Parker. Automobil je bio napajan punjivom baterijom visokog kapaciteta [2].



Slika 3.1 Električni automobil Thomasa Parkera [7]

Prvi komercijalni električni automobil koji je korišten kao taksi u New Yorku izumljen je 1897. godine. U to vrijeme, električni automobili postavljali su brzinske rekorde, Jenatzy Camille je 1899. godine postigao rekordnu brzinu od 106 km/h. Također je poznato da je Ferdinand Porsche konstruirao svoj prvi automobil 1898. godine, bio je pogonjen benzinskim-električnim hibridnim motorom. U to vrijeme, iako su električni automobili imali mnoge prednosti, suočavali su se s određenim ograničenjima poput ograničenog doseg i maksimalne brzine [2].



Slika 3.2 Prvi hibridni automobil nazvan Lohner-Porsche [8]

Okosnica upotrebe električnih automobila dosegla je vrhunac oko 1910. godine, posebno u Sjedinjenim Američkim Državama. U to vrijeme, električni automobili su dominirali tržištem automobila s udjelom od čak 38%, parni automobili 40% udjela, a ostalih 22% udjela činili su automobili pokretani motorima s unutarnjim izgaranjem [2]. U početku 20. stoljeća, električni automobili su zauzimali značajan udio u ukupnom broju automobila, iako su već bili dostupni Ottovi i Dieselovi motori s unutarnjim izgaranjem. Razlog tome leži u visokoj cijeni nafte koja je tada vladala, zbog čega su motori s unutarnjim izgaranjem bili financijski neisplativi. Nakon što su električni automobili dosegli svoj vrhunac oko 1910. godine, njihova komercijalna proizvodnja gotovo je potpuno prestala do 1920.-ih. Kao glavni razlozi za taj pad, mogu se navesti sljedeći [9]:

- u kasnom 19. stoljeću, otkrivena su nova naftna nalazišta u Teksasu, što je rezultiralo padom cijena naftnih derivata i samim time povoljan utjecaj na upotrebu automobila s unutarnjim izgaranjem.
- 1912. godine, američki inovator Charles Kettering izumio je električni pokretač automobila, čime je uklonjena potreba za fizičkom snagom za pokretanje vozila.
- do 1920.-ih, Sjedinjene Američke Države uspješno su razvile bolju povezanost gradova cestovnom infrastrukturom, što je rezultiralo potrebom za dugim putovanjima.

- Henry Ford je revolucionirao automobilsku industriju kroz masovnu proizvodnju vozila s unutarnjim izgaranjem, što je rezultiralo značajnim sniženjem njihove cijene.

Zainteresiranost za električnim automobilima je ponovno porasla tokom razdoblja velike naftne krize u 70-ima prošlog stoljeća i sama ekološka svijest jer vozila s unutarnjim izgaranjem ispuštaju veliku količinu štetnih plinova. Jedan od najistaknutijih električnih automobila 1990-ih bio je General Motors EV1, koji je započeo proizvodnju 1996. godine. S impresivnim dometom od 260 km i maksimalnom brzinom ograničenom na 130 km/h, EV1 je ostavio snažan dojam.



Slika 3.3 General Motors model EV1 [10]

Prva generacija Toyote *Priusa* predstavljena je u listopadu 1997. godine kao prvo serijsko proizvedeno hibridno putničko vozilo na svijetu.



Slika 3.4 Toyota *Prius* [11]

Također je važno napomenuti model *Roadster* tvrtke Tesla Motors koja je 2006. godine predstavila svoj prvi električni automobil iznenađujućih karakteristika. Model *Roadster* je imao punjivu

bateriju dometa 395 km (uz regenerativno kočenje nešto i više), maksimalna brzina od 217 km/h i ubrzanje do 100 km/h za 4 s. Važno je napomenuti da tvrtka Chevrolet 2011. godine predstavila prvi *plug-in* hibrid automobila, poznat pod nazivom *Chevy Volt* [9].

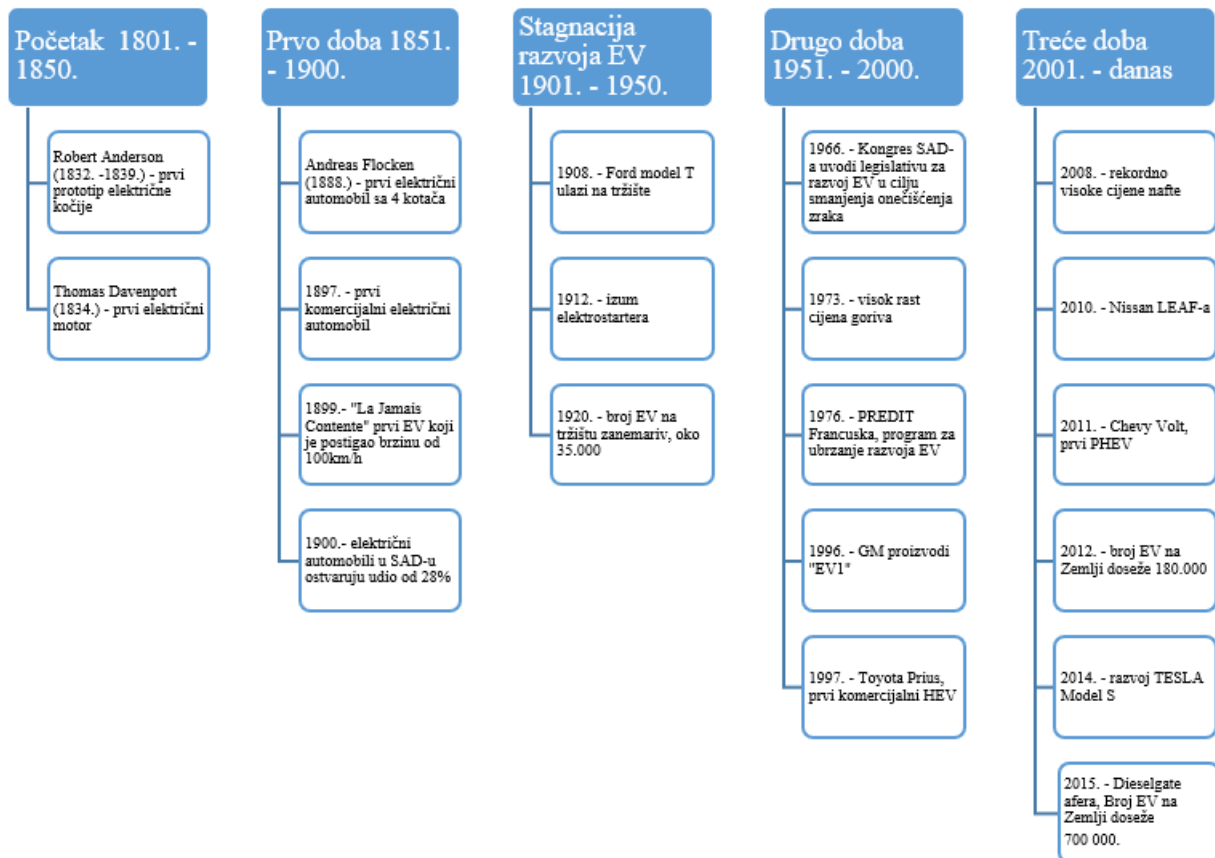


Slika 3.5 Chevrolet *Volt* prvi *plug-in* hibrid automobil [12]

Tvrtka Rimac Automobili osnovana je u Hrvatskoj 2009. godine i od tada razvija tehnološki napredne električne hiperautomobile. Njihov prvi električni automobil, *Concept\_One*, predstavljen je 2016. godine i smatra se jednim od najbržih serijskih vozila na svijetu, proizveden je samo u osam primjeraka. Uskoro nakon toga, nasljednik modela *Concept\_One*, nazvan *Nevera* (preimenovan iz *Concept\_Two*) predstavljen je na Ženevskom sajmu automobila u ožujku 2018. godine. *Nevera* predstavlja najbrži serijski automobil na svijetu, sa nezamislivim tehničkim karakteristikama. Maksimalna brzina automobila je 412 km/h, razvija snagu od 1914 HP, ubrzanje do 100 km/h iznosi nestvarnih 1,81 s. Rimac Group trenutno gradi novo sjedište u Zagrebu, čija se vrijednost procjenjuje na 224 milijuna dolara. Buduće sjedište bit će dom zajedničkom poduhvatu Rimac Bugatti s Porscheom, Rimac Automobili i Rimac Technology. Rimac Technology predstavlja posebni segment ove grupacije koji se specijalizirao za razvoj baterija, pretvarača i drugih naprednih sustava za vozila, kako za svoje potrebe, tako i za druge proizvođače automobila [13].



Slika 3.6 Rimac Nevera [14]



Slika 3.7 Prikaz ključnih događaja u povijesti EV.

## 3.2. Vrste električnih vozila

Postoji nekoliko osnovnih vrsti električnih vozila:

- baterijska električna vozila (BEV)
- hibridna električna vozila (HEV)
- *plug-in* hibridna električna vozila (PHEV)
- vozila s gorivim ćelijama (FCEV)

### 3.2.1. Baterijska električna vozila

Baterijska električna vozila (engl. *Battery Electric Vehicle, BEV*) su vrsta električnih vozila koja koriste isključivo električnu energiju pohranjenu u baterijama kao izvor pogona. Ne oslanjaju se na unutarnje sagorijevanje goriva i nemaju ispušne plinove jer koriste isključivo električne motore za pokretanje vozila. Samim time se takva vozila bez emisije ispušnih plinova smatraju čista i „zelena“ pri vožnji, ukoliko energija potrebna za njihov rad potiče iz obnovljivih izvora energije (OIE) Gledano sa tehničke strane, BEV automobili imaju niži trošak održavanja (nema izmjene ulja ili filtera, manja potrošnja kočnica zbog regenerativnog kočenja), tihi i ugladeni rad, bolje performanse dinamičnije vožnje [15].

Domet električnih vozila i dalje ovisi o kapacitetu baterije, no unatoč kontinuiranom napretku i tehnološkom razvoju samih baterija domet se zasigurno povećao, njihovu glavnu slabost zasigurno predstavlja ograničen broj punionica i samo vrijeme punjenja (trajanje od nekoliko desetina minuta do nekoliko sati) u usporedbi s vozilima s unutarnjim izgaranjem i vozila sa hibridnom tehnologijom. *Greater Bay Technology* kineska visokotehnološka tvrtka specijalizirana za razvoj i proizvodnju baterija, dizajnirala je bateriju *Phoenix* druge generacije sa dometom od nestvarnih 1.000 km, brzinom punjenja od 6 minuta te radom baterije i u ekstremnim temperaturama [16]. Električna vozila predstavljaju znatno skuplju investiciju, prvenstveno zbog visokih troškova litij-ionskih baterija. Unatoč svemu, široka primjena električnih automobila suočava se s drugim izazovima, poput nedostatka adekvatne javne i privatne infrastrukture za punjenje. Nedovoljna mreža punionica i ograničena dostupnost brzih punjača predstavlja prepreku za praktičnost i prihvaćanje električnih vozila.

### 3.2.2. Hibridna električna vozila

Hibridna električna vozila (engl. *Hybrid Electric Vehicle, HEV*) koriste električni motor/generator i motorom s unutarnjim izgaranjem (benzin ili dizel) za pogon, pružajući visoku energetska učinkovitost, nisku emisiju ispušnih plinova, veću snagu, doseg i praktičnost samog vozila. Motor

s unutarnjim izgaranjem je primarni izvor pogonske snage, dok električni motor predstavlja nadopunu. Baterija u hibridnim automobilima je znatno manjeg kapaciteta u odnosu na BEV, puni se putem benzinskog motora i regenerativnog kočenja. Regenerativno kočenje omogućuje pretvaranje kinetičke energije, koja bi se izgubila kao toplina tijekom kočenja, u električnu energiju koja se koristi za punjenje baterije. Hibridna električna vozila nemaju mogućnost punjenja baterije spajanjem na gradsku mrežu. Hibridni pogonski sustavi mogu se klasificirati u tri osnovne skupine, ovisno o vezi između mehaničkog i električnog dijela [15]:

- serijski
- paralelni
- serijsko-paralelni.

### **3.2.3. *Plug-in* hibridna električna vozila**

*Plug-in* hibridna električna vozila (engl. *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*, PHEV) je vrsta električnog vozila koja imaju isti koncept kao i hibridna električna vozila HEV, ali uz sve to imaju mogućnost punjenja baterije spajanjem na gradsku mrežu (prošireni koncept hibridnog vozila). Postoje dvije izvedbe PHEV-a (ovisno o vezi mehaničkog i električnog dijela):

- električna vozila proširenog dometa ili serijski *plug-in* hibridi
- paralelni ili mješoviti (serijsko-paralelni) *plug-in* hibridi.

Električna vozila proširenog dometa (engl. *Extende-range Electric Vehicle*, EREV) ili serijski *plug-in* hibridi su hibridna vozila koja sadrže elektromotor i motor s unutarnjim izgaranjem. Pogonska snaga vozila koristi se isključivo iz elektromotora, dok motor s unutarnjim izgaranjem proizvodi isključivo električnu energiju dostatnu za opskrbu elektromotora (nakon što se baterija isključi) i punjenje same baterije. Zahvaljujući takvom pogonskom sklopu moguće je povećati domet vozila. Paralelni ili mješoviti *plug-in* hibridi koriste kombinaciju elektromotora i motora s unutarnjim izgaranjem za pokretanje vozila [15].

PHEV električna vozila sadrže kombinaciju električnog motora i motora s unutarnjim izgaranjem. Baterije su puno većeg kapaciteta, što omogućuje veći domet, nakon što se baterija isprazni u pogon se uključuje motor s unutarnjim izgaranjem. Idealni su u urbanim cjelinama, jer koriste samo električni pogon te time nema emisije štetnih ispušnih plinova. Jedan o većih nedostataka ove vrste automobila su veći troškovi održavanja (kompleksnost dvaju pogonskih sustava) i sama početna cijena pri kupovini.

### 3.2.4. Vozila s gorivnim ćelijama

Elektrićno vozilo s vodikovim gorivim ćelijama (engl. *Fuel Cell Electric Vehicle*, FCEV) je vozilo koje koristi vodik kao svoje gorivo. Pomoću gorivne ćelije unutar koje se odvija kemijska reakcija uz prisustvo kisika (iz okoline) i vodika stlaćenog u spremniku automobila dobiva se elektrićna energija. Proizvedena elektrićna energija koristi se za napajanje elektrićnog motora, dok se višak energije pohranjuje unutar baterije. Glavne prednosti elektrićnih vozila s gorivim ćelijama su: ne proizvode štetne ispušne plinove (jedini nusprodukt je vodena para), brzo punjenje vodikom (3 - 5 minuta), domet vožnje preko 480 km, smanjeni troškovi održavanja (vodik čist u proizvodnji i uporabi), tihi rad [15]. Razlog male primjene ovakve vrste automobila je visoka početna cijena, mala raznolikost modela, loša infrastruktura punionica, smanjena sigurnost zbog tlaćenog vodika.

### 3.3. Elektrićne punionice

Elektrićna punionica se definira kao postrojenje koje pruža elektrićnu energiju za napajanje elektrićnih vozila tijekom punjenja. Kako bi se olakšao proces punjenja, mnoge punionice koje su u vlasništvu elektrićnih komunalnih tvrtki smještene su na cestama, dok one koje su u privatnom vlasništvu često su locirane uz trgovaćke centre. Kad se radi o punjenju elektrićnih automobila, koristi se standard IEC 61851-1 kao referentni standard. Taj standard zahtijeva uporabu kontrolne elektronike koja koristi univerzalni komunikacijski sustav temeljen na pulsno-širinskoj modulaciji (engl. *Puls Width Modulation*, PWM) s ciljem osiguranja postupka punjenja za ljude, opremu i bateriju vozila.

Naćini punjenja elektrićnih vozila definirani su prema brzini i snazi koje je objavilo Međunarodna komisija za elektrotehniku (engl. *International Electrotechnical Commission*, IEC) standard IEC 62196-2. Osim toga, naćin punjenja ovisi o svojstvima pojedinih punjaća i samih modela elektrićnih vozila. Prema IEC 62196-2 postoje 4 naćina punjenja [3]:

- Naćin 1 - izravna veza između elektrićnog vozila i izvora elektrićne energije, dvije izvedbe punjenja: jednofazno maksimalnim snagom od 3,7 kW i strujom od 16 A, trofazno s maksimalnom snagom od 11 kW i strujom od 16 A. Ne sadrži upravljaćku kontrolu (PWM), stoga nije više u uporabi; eventualna primjena za punjenje elektrićnih bicikala/motocikala. Brzina punjenja vrlo mala, standardni kućni ulaz, mala potrošnja elektrićne energije.
- Naćin 2 - sporo/brzo punjenje standardnom utićnicom, dvije izvedbe punjenja: jednofazno maksimalnim snagom od 7,4 kW i strujom od 32 A, trofazno s maksimalnom snagom od 22 kW i strujom od 32 A. Ukljućuje upravljaćki kutiju s sigurnosnim sustavom koji



omogućuje punjenje izravno iz utičnice, sadrži uzemljenje i zaštitu od veće temperature i struje.

- Način 3 - mogućnost brzog i sporog punjenja (regulacija snage), funkciju kontrole i zaštite ima specifična utičnica s više igala koja omogućuje brže punjenje. Dvije izvedbe punjenja: jednofazno maksimalnim snagom od 14,5 kW i strujom od 63 A, trofazno s maksimalnom snagom od 43,5 kW i strujom od 63 A. Omogućena komunikacija između električnog vozila i elektroenergetske mreže (integriranje u pametne mreže).
- Način 4 - brzo punjenje postiže se izravnom istosmjernom vezom između specifičnih punjača i baterije električnog vozila (s ugrađenom funkcijom kontrole i zaštite). Istosmjerna struja doseže jakost do 400 A i snagu od 240 kW. Prema standardu IEC 62196-3 odobrila je postizanje dodatne snage prilikom punjenja omogućujući maksimum od jakosti struje od 400 A i snage od 400 kW. Zbog vrlo skupe potrebne instalacije, koristi se samo za komercijalne svrhe.

Tablica 3.1 Klasifikacija načina punjenja EV prema IEC 62196-2 standardu.

	<b>Način 1</b>	<b>Način 2</b>	<b>Način 3</b>	<b>Način 4</b>
<b>Struja (jednofazno)</b>	16 A	32 A	63 A	400 A
<b>Snaga (jednofazno)</b>	3,7 kW	7,4 kW	14,5 kW	400 kW
<b>Snaga (trofazno)</b>	11 kW	22 kW	43,5 kW	-

Također, uz IEC standard postoje još dvije organizacije za standardizaciju (tablica 3.2) načina punjenja [3]:

- *CHAdeMO association*
- *Society of Automotive Engineering, SAE*

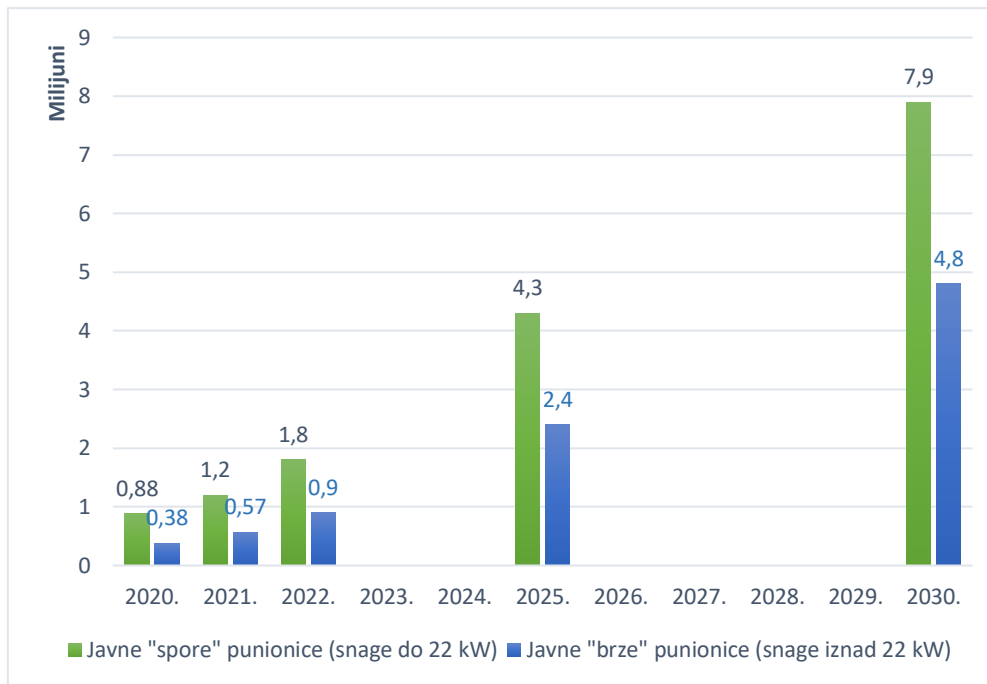
Tablica 3.2 Klasifikacija načina punjenja EV [3]

<b>Standard</b>	<b>Način punjenja</b>	<b>Maksimalna struja (A)</b>	<b>Maksimalna snaga (kW)</b>
<b>SAE</b>	AC Način 1	12	1,44
		16	1,92
	AC Način 2	$\geq 80$	do 19,2
	DC Način 1	80	80
	DC Način 2	400	400
<b>CHAdeMO</b>	DC brzo punjenje	do 125	do 62,5

Korisnicima električnih vozila pružaju se dvije različite mogućnosti punjenja električnog vozila ovisno o samoj lokaciji punjenja:

- Kućne punionice/punjenje kod kuće/kućno punjenje – većina korisnika/vlasnika električnih vozila preferira punjenje vozila u vlastitom domu. Korisnici kućnog punjenja svojih električnih vozila imaju mogućnost izbora sporog punjenja (spori punjači izravno spojeni na standardnu utičnicu) ili brzo punjenje (ugradnjom kućne punionice, način 2)
- Javne punionice/punjenje na javnim mjestima – omogućuje korisnicima električnih automobila punjenje na javnim površinama (parkirališta, benzinske stanice, trgovački centri i slično). Uvjet javnih stanica za punjenje je nestvaranje velikih gužvi, odnosno mogućnost relativnog brzog punjenja; više opcija punjenja: brzo punjenje sa standardnom utičnicom (način 2), brzo punjenje pomoću specifične utičnice s više igala (način 3), „superbrzo“ punjenje koristeći izravnu istosmjernu vezu (način 4).

Javno dostupni punjači sve su potrebniiji kako bi se osigurao isti nivo praktičnosti i dostupnosti kao kod punjenja konvencionalnih vozila. Posebno u gusto naseljenim urbanim područjima, gdje je pristup kućnom punjenju ograničen, javna infrastruktura za punjenje ključni je čimbenik za usvajanje električnih vozila. Krajem 2022. godine bilo je 2,7 milijuna javnih punjača diljem svijeta, od čega je više od 900.000 instalirano u 2022. godini, što je porast od oko 55% u odnosu na zalihe iz 2021. godine, i slično stopi rasta prije pandemije od 50% između 2015. i 2019. godine.

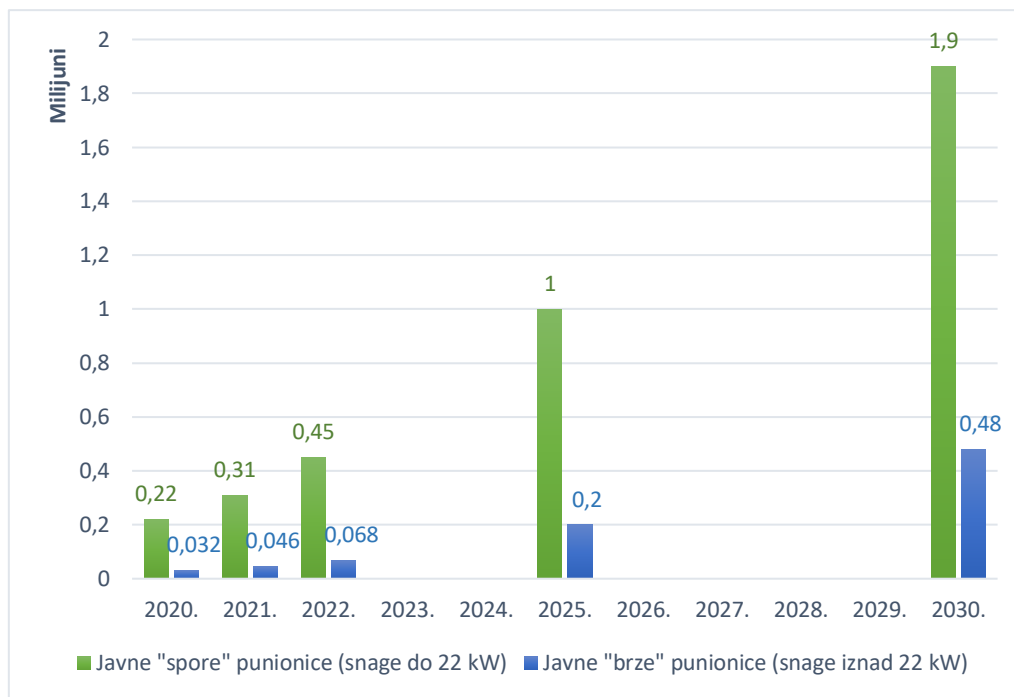


Slika 3.7 Prikaz broja javnih punionica u svijetu do 2022. (trenutno stanje) i do 2030. (predviđanje) [17].

Na slici 3.7 grafički je prikazano broj javnih punionica u Svijetu, do 2022. godine graf prikazuje stvarne podatke, dok je za 2025. i 2030. godinu prikazani broj na osnovi procjene.

Na globalnoj razini broj javnih punionica povećati će se na oko 13 milijuna do 2030. godine prema scenariju STEPS (engl. *Stated Policies Scenario*), što predstavlja ogroman porast sa 2,7 milijuna u 2022. godini. Procjenjuje se da će ukupan broj javnih punionica u Kini do 2030. godine biti oko 7,5 milijuna, što predstavlja da će oko 60% javnih punionica biti u Kini.

U Europi se broj javnih punionica povećava na oko 2,4 milijuna do 2030. godine prema scenariju STEPS, što predstavlja ogroman porast sa otprilike pola milijuna u 2022. godini. Oko 80% europskih javnih punionica nalazi se u Europskoj uniji, odnosno očekuje se 2 milijuna punionica do 2030. godine [21].



Slika 3.8 Prikaz broja javnih punionica u Europi do 2022. (trenutno stanje) i do 2030. (predviđanje) [17].

U Europi je ukupna zaliha „brzih“ punjača brojala više od 70 000 do kraja 2022. godine, što je porast od oko 55% u odnosu na 2021. godinu. Zemlje s najvećim brojem „brzih“ punjača su Njemačka (više od 12.000), Francuska (9.700) i Norveška (9.000) [17]. Postoji jasna ambicija u cijeloj Europskoj uniji za daljnjim razvojem javne infrastrukture punjenja.

### 3.3.1. Električne punionice u Hrvatskoj

Broj električnih vozila na hrvatskim prometnicama raste, no kako se taj broj povećava, nameće se pitanje infrastrukture za punjenje i izazova s kojima se suočavaju vlasnici električnih vozila.

Krajem 2022. godine, Hrvatska je imala otprilike 950 javno dostupnih punionica s oko 1.700 priključaka za punjenje, dok je broj registriranih potpuno električnih vozila u rastu (trenutno sa više od 5.700). Što znači da na svakih 3,3 potpuno električna vozila dolazi jedan javno dostupni priključak za punjenje. Važno je istaknuti da se više od 60% vlasnika električnih vozila u Hrvatskoj odlučuje za punjenje kod kuće pa su javne punionice većinu vremena dostupne [18].

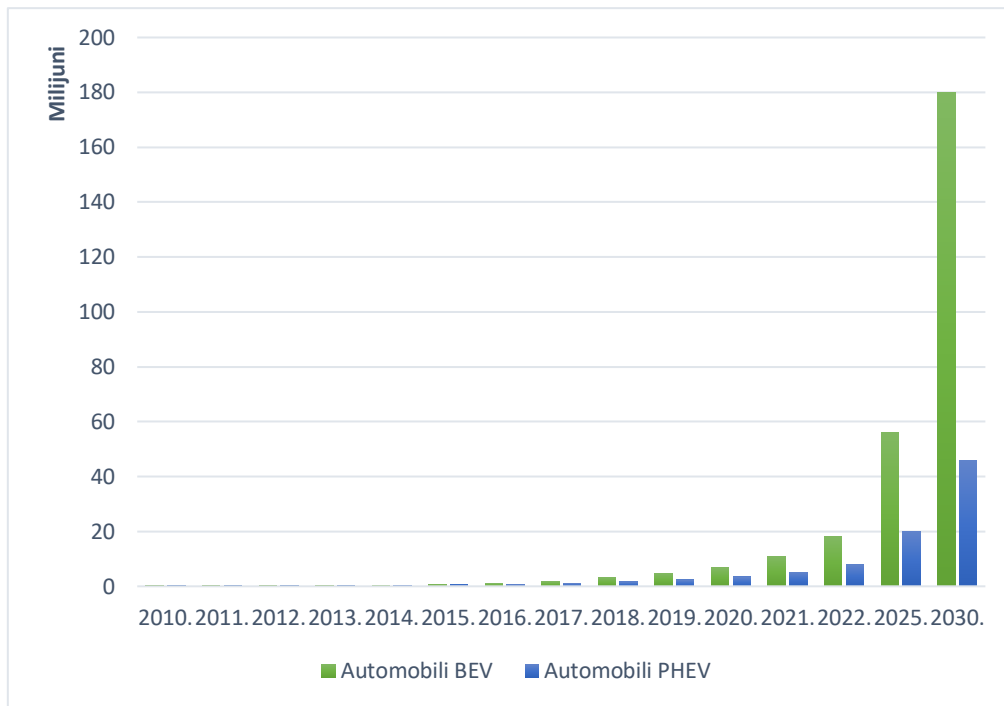
U RH su tri najveće mreže punjača koje imaju u vlasništvu više od 80% punionica [19]:

- Hrvatski Telekom
- ELEN (HEP)
- Petrol

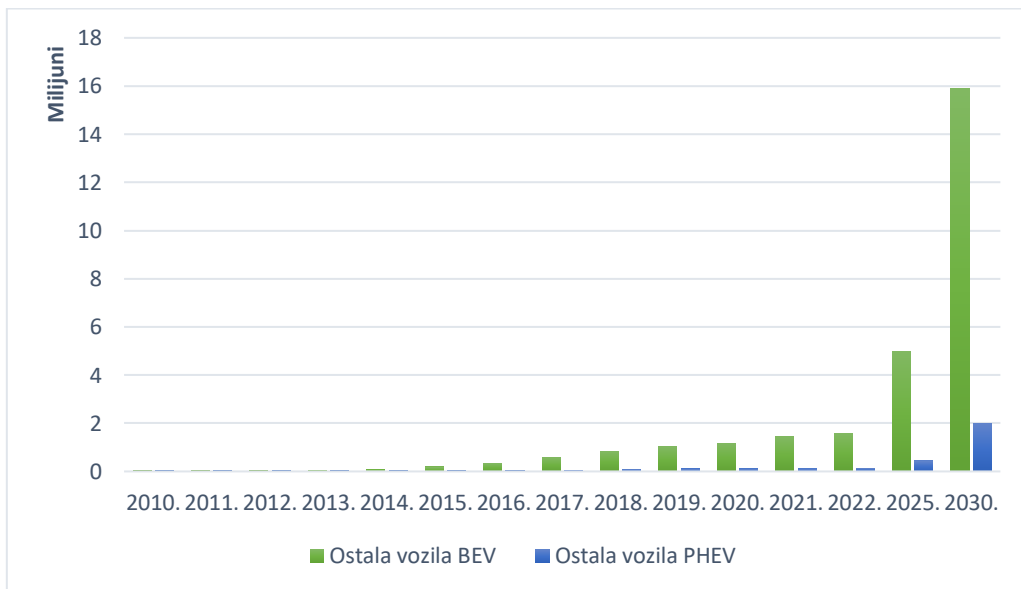
Ostali pružatelji usluge punjenja uglavnom su u vlasništvu privatnih tvrtki (Tesla i IONITY), pružaju usluge DC punjenja (usluge brzog/super-brzog punjenja).

### **3.4. Broj električnih vozila**

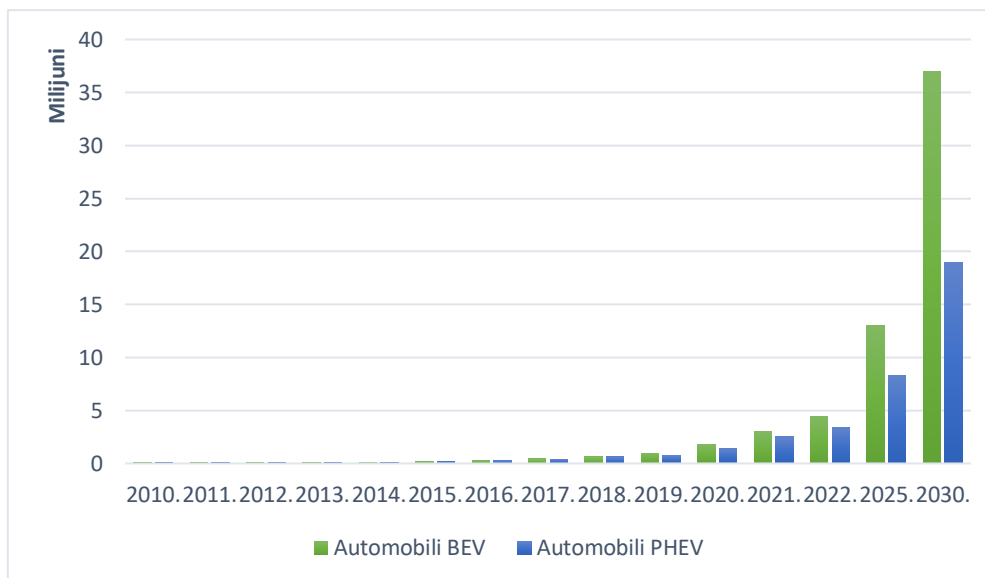
Rastuća svijest o ekologiji posljedica je kontinuiranih klimatskih promjena. S povećanjem broja stanovnika emisije stakleničkih plinova također neprestano rastu. Sve veći broj ljudi usredotočuje se na borbu protiv klimatskih promjena, koristeći sve dostupne metode i sredstva. Emisije ugljičnog dioksida, prije svega izgaranjem fosilnih goriva, dramatično su porasle od početka industrijske revolucije. Većina svjetskih emisija stakleničkih plinova potječe iz malog broja zemalja. Kina, SAD i Europska Unija predstavljaju tri najveća proizvođača ugljikovog dioksida [20]. Svijest o klimatskih promjenama u društvu je u porastu, a istodobno se povećava shvaćanje povezanosti emisije štetnih plinova s vrstom pogona vozila, što se očituje u sve većoj potražnji električnih automobila na tržištu. Rastuća prodaja dovela je ukupan broj električnih automobila na svjetskim cestama do 26 milijuna što je porast od 60% u odnosu na 2021. godinu, pri čemu su BEV-ovi odgovorni za više od 70% ukupnog godišnjeg rasta, kao i u prethodnim godinama. Kao rezultat toga, oko 70% globalnog fonda električnih automobila u 2022. godini bili su BEV-ovi. Povećanje prodaje od 2021. do 2022. godine bilo je jednako visoko kao i od 2020. do 2021. godine u istim razmacima, povećanje za 3,5 milijuna, dok je relativni rast bio niži (prodaja se udvostručila od 2020. do 2021. godine). Izuzetni procvat u 2021. godini može se objasniti sustizanjem tržišta električnih vozila nakon pandemije koronavirusa (Covid-19). Prema scenariju STEPS, globalna prognoza povećanja broja električnih vozila na cesti temeljena na postojećim politikama i čvrstim ciljevima, očekuje se da će ukupni broj električnih vozila porasti s 26 milijuna u 2022. godini na oko 240 milijuna do 2030. godine postizući prosječnu godišnju stopu rasta od oko 30%. Prema ovom scenariju, električna vozila čine više od 10% voznog parka cestovnih vozila do 2030. godine. Ukupna prodaja električnih vozila prema scenariju STEPS dosegnuti će više od 20 milijuna u 2025. godini i više od 40 milijuna do 2030. godine, što predstavlja više od 20% i 30% ukupne prodaje vozila. Najveću brojnost zasigurno zauzimaju automobili (vozila prvenstveno namjena za prijevoz putnika, najviše 8), pod ostala vozila se podrazumijevaju: vozila za prijevoz tereta (kombi vozila i kamioni) i autobusi



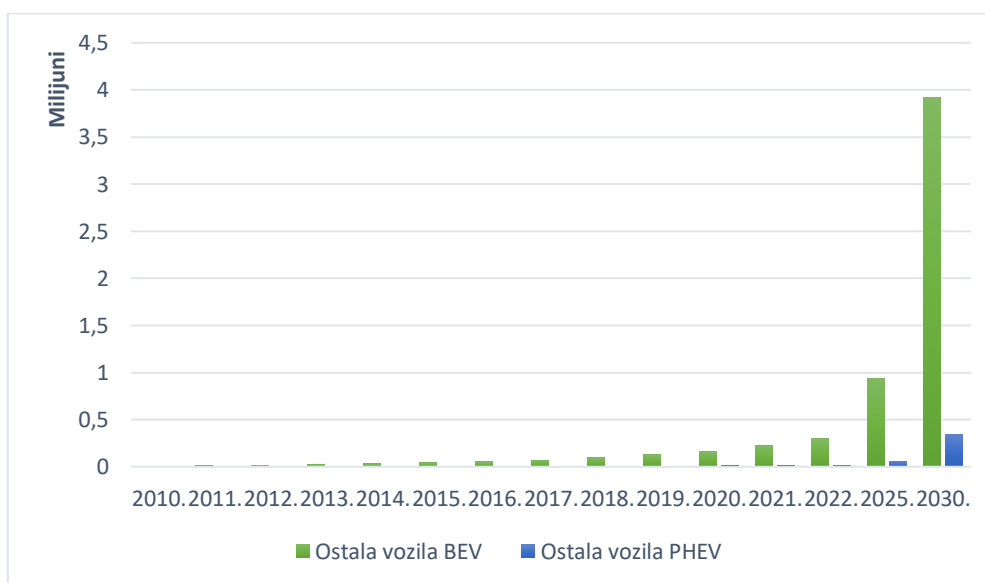
Slika 3.9 Prikaz broja električnih automobila u svijetu do 2022. (trenutno stanje) i do 2030. (predviđanje) [17].



Slika 3.10 Prikaz broja ostalih električnih vozila u svijetu do 2022. (trenutno stanje) i do 2030. (predviđanje) [17].



3.11 Prikaz broj električnih automobila u Europi do 2022. (trenutno stanje) i do 2030. (predviđanje) [17].

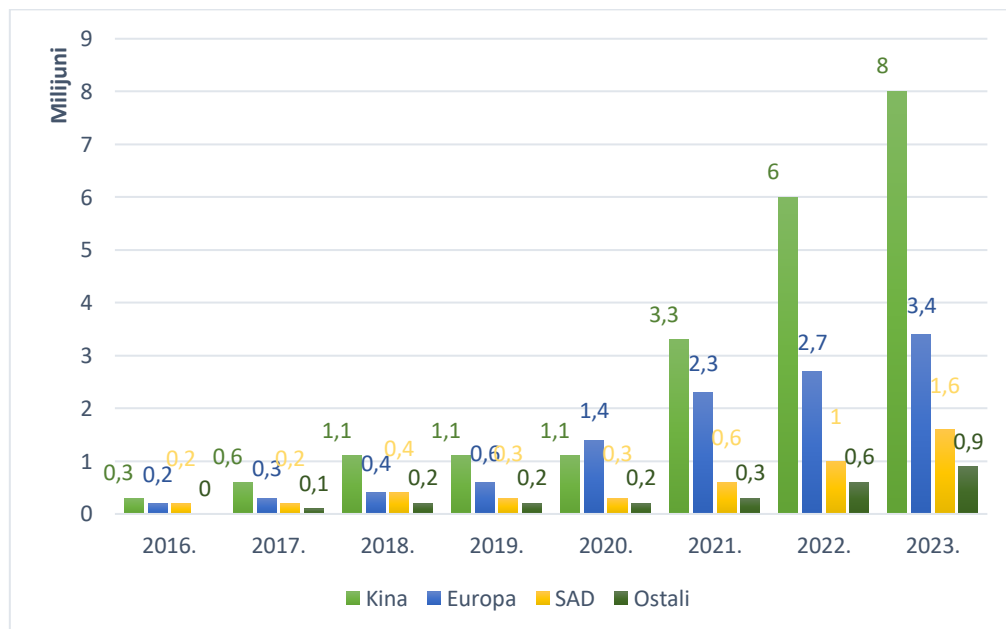


3.12 Prikaz broja ostalih električnih vozila u Europi do 2022. (trenutno stanje) i do 2030. (predviđanje) [17].

Europa će, prema STEPS scenariju, i dalje održavati svoj status kao jedno od vodećih tržišta električnih vozila do 2030. godine, uzimajući u obzir nedavne tržišne trendove i poticajno okruženje politika. Predviđa se da će broj električnih vozila na europskim cestama značajno rasti. Naime, očekuje se da će ukupan broj električnih vozila porasti s 8 milijuna u 2022. godini na otprilike 60 milijuna do 2030. godine [21].

### 3.5. Tržišta električnih vozila

Tržišta električnih automobila bilježe eksponencijalni rast jer je prodaja prekoračila 10 milijuna u 2022. godini. Ukupno 14% svih novih prodanih automobila bili su električni u 2022. godini, što je porast s približno 9% u 2021. godini i manje od 5% u 2020. godini. Tri tržišta dominirala su globalnom prodajom. Kina je ponovno prednjačila, odgovarajući za oko 60% globalne prodaje električnih automobila. Više od polovice električnih automobila na cestama diljem svijeta sada se nalazi u Kini, a zemlja je već premašila svoj cilj za 2025. godinu za prodaju električnih vozila. U Europi, drugom najvećem tržištu, prodaja električnih automobila povećala se za više od 15% u 2022. godini, što znači da je svaki peti prodani automobil električni. Prodaja električnih automobila u Sjedinjenim Američkim Državama, trećem najvećem tržištu, povećala se za 55% u 2022. godini, dosegnuvši udio prodaje od 8% [21].



Slika 3.13 Prikaz broja prodanih električnih automobila [17].

Prodaja električnih automobila je doživjela još jednu rekordnu godinu u 2022. godini, unatoč poremećajima u opskrbnom lancu, makroekonomskoj i geopolitičkoj neizvjesnosti te visokim cijenama roba i energije. Rast prodaje električnih automobila dogodio se zbog globalno smanjujućih tržišta automobila: ukupna prodaja automobila u 2022. godini pala je za 3% u odnosu na 2021. godinu. Prodaja električnih automobila, uključujući vozila na baterijski pogon (BEV) i *plug-in* hibride (PHEV), prekoračila je prošle godine 10 milijuna, što je porast od 55% u odnosu na 2021. godinu. U 2022. godini broj prodanih automobila u Europskoj Uniji iznosio je 9,5 milijuna. U samo pet godina, od 2017. do 2022. godine, prodaja EV-a je skočila s oko 1 milijuna



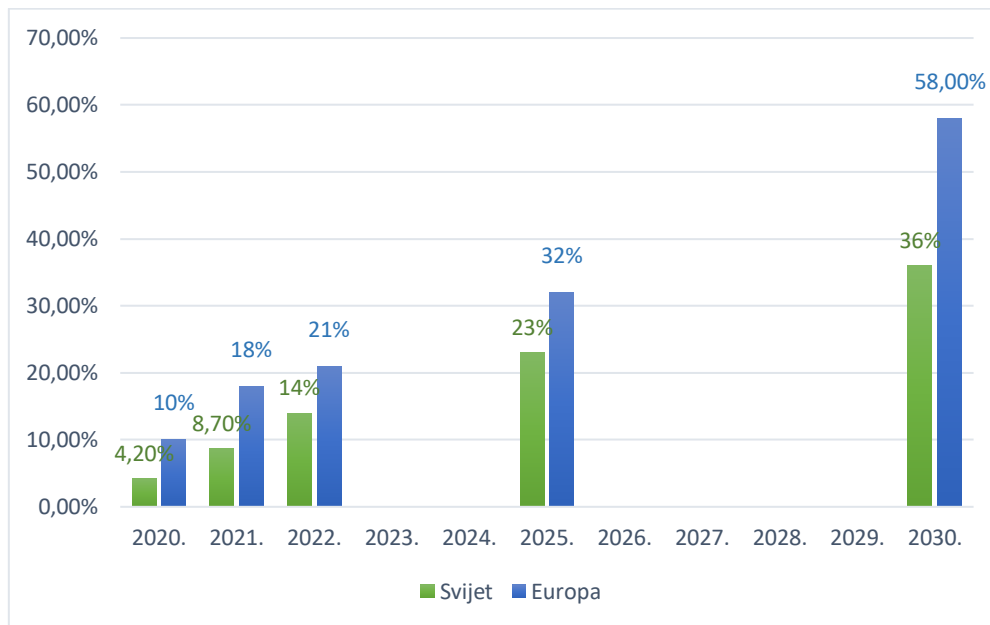
do više od 10 milijuna. Ranije je trebalo pet godina, od 2012. do 2017. godine, da prodaja EV-a naraste od 100.000 do 1 milijun, naglašavajući eksponencijalnu prirodu rasta prodaje EV-a. Udio električnih automobila u ukupnoj prodaji automobila skočio je s 9% u 2021. godini na 14% u 2022. godini, više od 10 puta u odnosu na 2017. godinu.

Očekuje se da će prodaja električnih automobila snažno nastaviti i kroz 2023. godinu. U prvom kvartalu/tromjesečju prodano je više od 2,3 milijuna električnih automobila, što je oko 25% više nego u istom razdoblju prošle godine. Trenutno se očekuje da će do kraja 2023. godine prodati 14 milijuna električnih automobila, što predstavlja porast od 35% u odnosu na prethodnu godinu, pri čemu će nove kupnje ubrzati u drugoj polovici ove godine. Kao rezultat toga, udio električnih automobila mogao bi dosegnuti 18% ukupne prodaje automobila tijekom cijele kalendarske godine. Nacionalne politike i poticaji pomoći će ojačati prodaju, dok bi povratak na izuzetno visoke cijene nafte viđene prošle godine mogao dodatno motivirati potencijalne kupce.

Postoje obećavajući znakovi za novoizgrađena tržišta električnih vozila (EV), iako na maloj osnovi. Prodaja električnih automobila općenito je niska izvan glavnih tržišta, ali 2022. godina bila je godina rasta u Indiji, Tajlandu i Indoneziji. Ukupno gledano, prodaja električnih automobila u tim zemljama višestruko se povećala u usporedbi s 2021. godinom, dosegnuvši 80.000. U Tajlandu je udio prodaje električnih automobila u ukupnoj prodaji iznosio malo više od 3% u 2022. godini, dok su i Indija i Indonezija prosječno iznosili oko 1,5% prošle godine. U Indiji se proizvodnja EV-ova i komponenata ubrzava, podržana programom poticaja vlade u iznosu od 3,2 milijarde USD koji je privukao investicije u ukupnom iznosu od 8,3 milijarde USD. Tajland i Indonezija također jačaju svoje politike podrške, što može pružiti vrijedno iskustvo drugim rastućim tržištima koja žele potaknuti usvajanje EV-a.

Trendovi na tržištu i napor u politici glavnih tržišta automobila podržavaju svijetlu perspektivu prodaje električnih vozila (EV). Prema scenariju STEPS, globalna prognoza udjela prodaje električnih automobila temeljena na postojećim politikama i čvrstim ciljevima povećana je na 36% do 2030. godine. U projekcijama, Kina zadržava svoju poziciju kao najveće tržište za električne automobile s udjelom od 40% ukupne prodaje do 2030. godine. Sjedinjene Američke Države udvostručuju svoj tržišni udio na 20% do kraja desetljeća zbog nedavnih objava politika koje potiču potražnju, dok Europa zadržava svoj trenutni udio od 25% [21]. Prognozirana potražnja za električnim automobilima na glavnim tržištima automobila imat će duboke implikacije na energetska tržišta i ciljeve vezane uz klimu u trenutnom političkom okruženju. Na temelju postojećih politika, potražnja za naftom u cestovnom prijevozu projicira se da će doseći vrhunac

oko 2025. godine, pri čemu će količina nafte zamijenjena električnim vozilima premašiti 5 milijuna barela dnevno do 2030. godine. Korištenjem električnih automobila izbjegava se emisija oko 700 Mt CO<sub>2</sub> do 2030. godine [20].



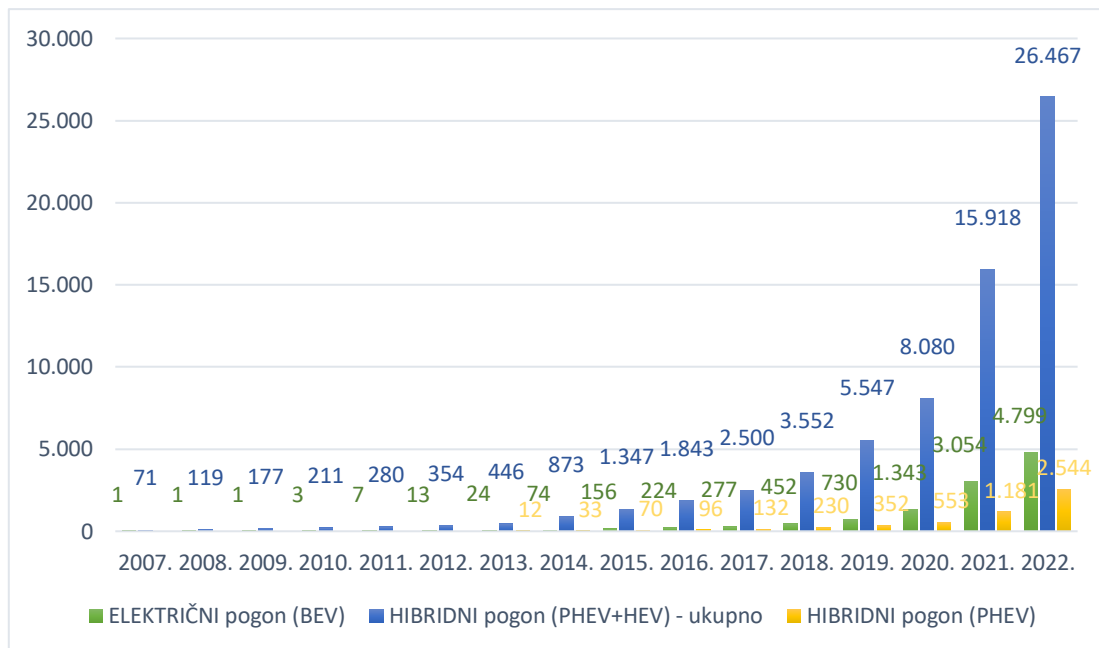
Slika 3.14 Prikaz udjela broja prodanih električnih automobila (do 2022. godine) i predviđanje (do 2030. godine) [17].

### 3.6. Električna vozila u RH

Broj električnih automobila na hrvatskim prometnicama kontinuirano raste. Prema podacima od Centra za vozila Hrvatske (CVH) [22], taj broj neprekidno se povećava. Do 2020. godine, u Hrvatskoj je bilo registrirano 1.343 električna automobila. Kada je riječ o potpuno električnim vozilima (BEV), od oko 2,5 milijuna registriranih vozila u Hrvatskoj, prema informacijama CVH, njihov broj 2022. godine iznosio je svega 4.800. Prethodne godine, na hrvatskim cestama bilo je približno 3.000 registriranih električnih automobila. Zagovornici električnih vozila bi ove podatke interpretirali kao rast od 60% u broju električnih automobila u Hrvatskoj u samo jednoj godini. Međutim, realno stanje zainteresiranosti hrvatskih kupaca za električne automobile odražava činjenica da oni čine samo oko 0,19% ukupnog broja vozila u Hrvatskoj.

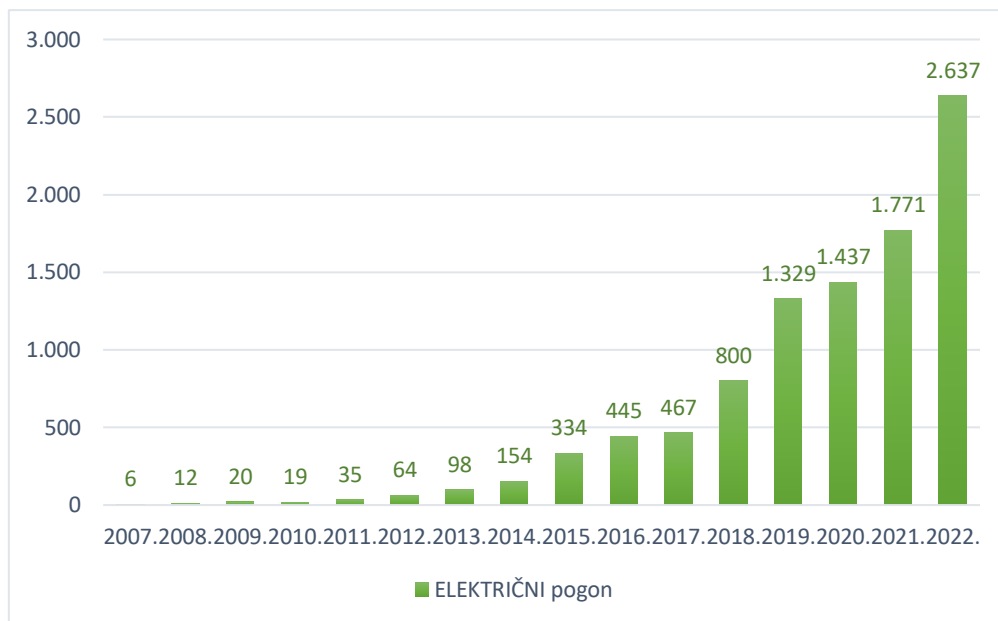
Hibridna vozila imaju veću korištenost, no važno je napomenuti da brojni proizvođači nude određene modele isključivo u hibridnom izdanju. Tijekom 2021. godine, 15.918 vozila koristilo je hibridni pogon, dok se taj broj povećao na 26.647 (od toga 2.550 *plug-in* hibrida) tijekom 2022. godine. Ipak, taj broj čini tek oko 1,06% (0,102% *plug-in*) ukupnog broja vozila. S obzirom na

činjenicu da su mnogi proizvođači u posljednje dvije godine počeli nuditi određene modele isključivo kao hibride, ova tendencija rasta može se pripisati ponudi, a ne nužno stvarnom interesu kupaca.



Slika 3.15 Prikaz broja električnih automobila u RH [22].

Tijekom 2021. godine, vozila koja su bila registrirana u Republici Hrvatskoj ukupno su prešla 28.202 milijuna vozilo-kilometara. Ovo predstavlja povećanje od 5,8% u usporedbi s 2020. godinom i rast od 3,0% u usporedbi s 2019. godinom. Zbog neprestanog povećanja broja registriranih hibridnih osobnih vozila, ostvareni vozilo-kilometri u toj kategoriji vozila značajno su porasli tijekom 2021. godine u usporedbi s 2020. godinom. Osobna vozila s hibridno-dizelskim pogonom zabilježila su povećanje ostvarenih vozilo-kilometara od 143,0%, dok su osobna vozila s hibridno-benzinskim pogonom zabilježila rast od 87,4% u odnosu na prethodnu godinu. Električna osobna vozila su također zabilježila porast ostvarenih vozilo-kilometara od 55,7% u usporedbi s 2020. godinom [23].



Slika 3.16 Prikaz broja električnih vozila kategorije L u RH. [22].

Kategorija L predstavlja cestovna motorna vozila s manje od 4 kotača.

Tablica 3.3 Prikaz najčešćih električnih automobila u RH 2022. godine [24].

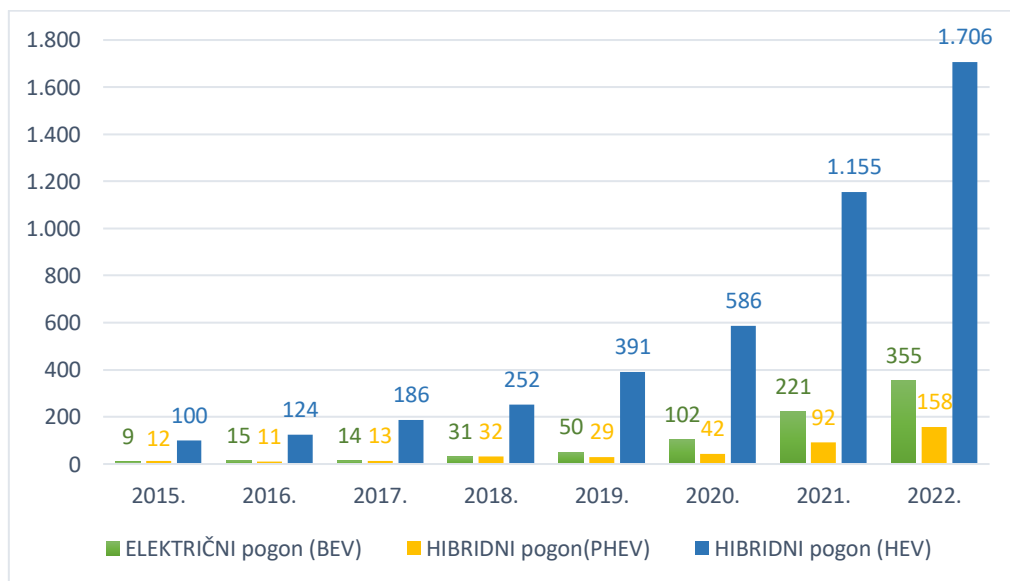
Naziv vozila	Tip vozila	Autonomija (km)	Maks. snaga (kW)	Broj vozila u RH 2022.
<b>Renault TWINGO</b>	Električni	130	60	821
<b>Tesla MODEL 3</b>	Električni	448	239	460
<b>Renault ZOE</b>	Električni	350	80	289
<b>Smart FORTWO C</b>	Električni	150	60	241
<b>Hyundai KONA</b>	Električni	400	150	219

### 3.6.1. Istočna Hrvatska

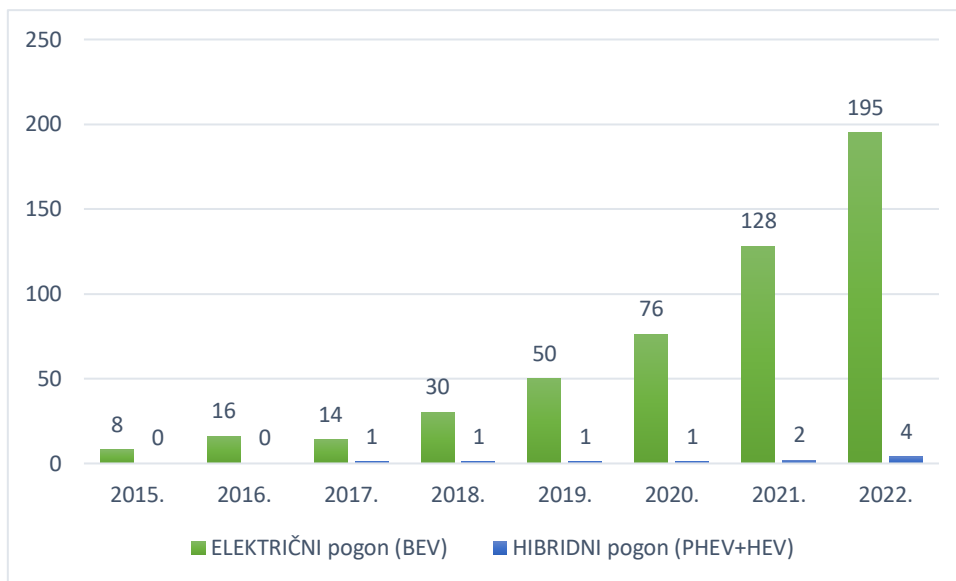
Istraživanje broja vozila na području istočne RH prema podacima od Centra za vozila Hrvatske [22] u 2022. godini bilo je registrirano 355 električna vozila, dok je 2021. godine bilo 221, što predstavlja porast od 60%. Broj električnih vozila u 2022. godini se povećao za 7 puta u odnosu na 2019. godinu. Što se tiče vozila na hibridni pogon, u 2022. godini broj hibridnih vozila (bez mogućnosti vanjskog punjenja) bio je 1.706, dok je prethodne godine istih bilo 1.155, što predstavlja porast od 47%. *Plug-in* vozila (hibridna vozila s mogućnosti vanjskog punjenja) u 2022. godini bilo je 158, dok ih je prethodne godine bilo 92, što predstavlja porast od 70%.

Istočna Hrvatska uključuje 5 županija:

- Brodsko-posavska županija
- Osječko-baranjska županija
- Požeško-slavonska županija
- Virovitičko-podravska županija
- Vukovarsko-srijemska županija



Slika 3.16 Prikaz broja električnih automobila u istočnoj RH [22].

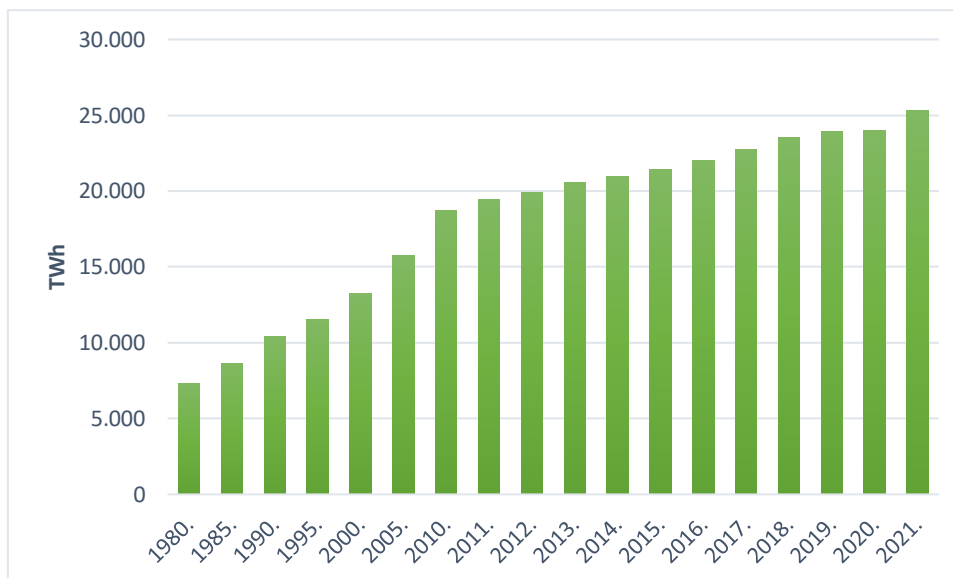


Slika 3.16 Prikaz broja električnih vozila (kategorije L, N1, N2) u istočnoj RH [22].

Kategorija N predstavlja motorna vozila za prijevoz tereta; N1 predstavlja motorna vozila čija dopuštena masa ne prelazi 3,5 t ( $m < 3,5$  t), N2 ( $3,5$  t  $< m < 12$  t).

## 4. ELEKTROENERGETSKI SUSTAV

Elektroenergetski sustav, ne bitno na kojoj razini (svjetskoj, Europskoj ili Hrvatskoj), predstavlja srž modernog života, pokrećući svakodnevne aktivnosti, gospodarske procese i tehnološke inovacije diljem svijeta. Elektroenergetski sustav (EES) određene države predstavlja najopsežniji, najrasprostranjeniji, najutjecajniji i tehnički najkompleksniji sustav. Njegova inherentna kompleksnost proizlazi iz činjenice da električnu energiju nije moguće pohraniti u značajnim količinama, stoga je nužno kontinuirano održavati ravnotežu između trenutne proizvodnje i trenutačne potrošnje. Globalna potražnja za električnom energijom porasla je na 25.000 TWh u 2021. godini, povećanje od 6% u odnosu na prethodnu godinu i najveći godišnji porast od 2010. godine, što odražava oporavak mnogih ekonomija nakon pandemije. Skoro tri četvrtine globalnog povećanja potražnje za električnom energijom u 2021. godini bilo je u tržištima u razvoju, a Kina sama je odgovorna za oko 700 TWh, ili 50% globalnog porasta, što je količina jednaka ukupnoj potražnji za električnom energijom u Africi danas. Trenutno, udio električne energije u ukupnoj konačnoj potrošnji energije u svijetu iznosi 20%. Najveći potrošači električne energije su Kina, Sjedinjene Američke Države i Europa; zajedno čine preko 60% globalne potražnje za električnom energijom. Električna energija čini otprilike 20% ukupne konačne potrošnje energije u svijetu, ali njen udio u energetske usluzama je veći zbog njene učinkovitosti. Ona je ključna za mnoge aspekte svakodnevnog života i postaje još važnija kako se električna energija širi prema novim krajnjim upotrebama, kao što su električna vozila (EV) i toplinske pumpe/dizalice topline. Sektor električne energije odgovoran je za 59% svih globalno korištenih ugljena u 2021. godini, zajedno sa 34% prirodnog plina, 4% nafte, 52% svih obnovljivih izvora energije i gotovo 100% nuklearne energije. Također je odgovoran za više od trećine svih emisija CO<sub>2</sub> povezanih s energijom u 2021. godini. Udio u potrošnji električne energije na globalnoj razini u 2021. godini (u iznosu oko 25.000 TWh) od strane električnih vozila iznosio je 1,76% (441 TWh). Prema STEPS scenariju, očekuje se da će 2030. godine globalna potrošnja električne energije dosegnuti 30.700 TWh (sa udjelom u potrošnji od 3,82% od strane EV), dok se za 2050. godinu očekuje globalna potrošnja električne energije u iznosu od 43.700 TWh (sa udjelom u potrošnji od 8,26% od strane EV) [20].



Slika 4.1 Prikaz potrošnje električne energije u svijetu [25].

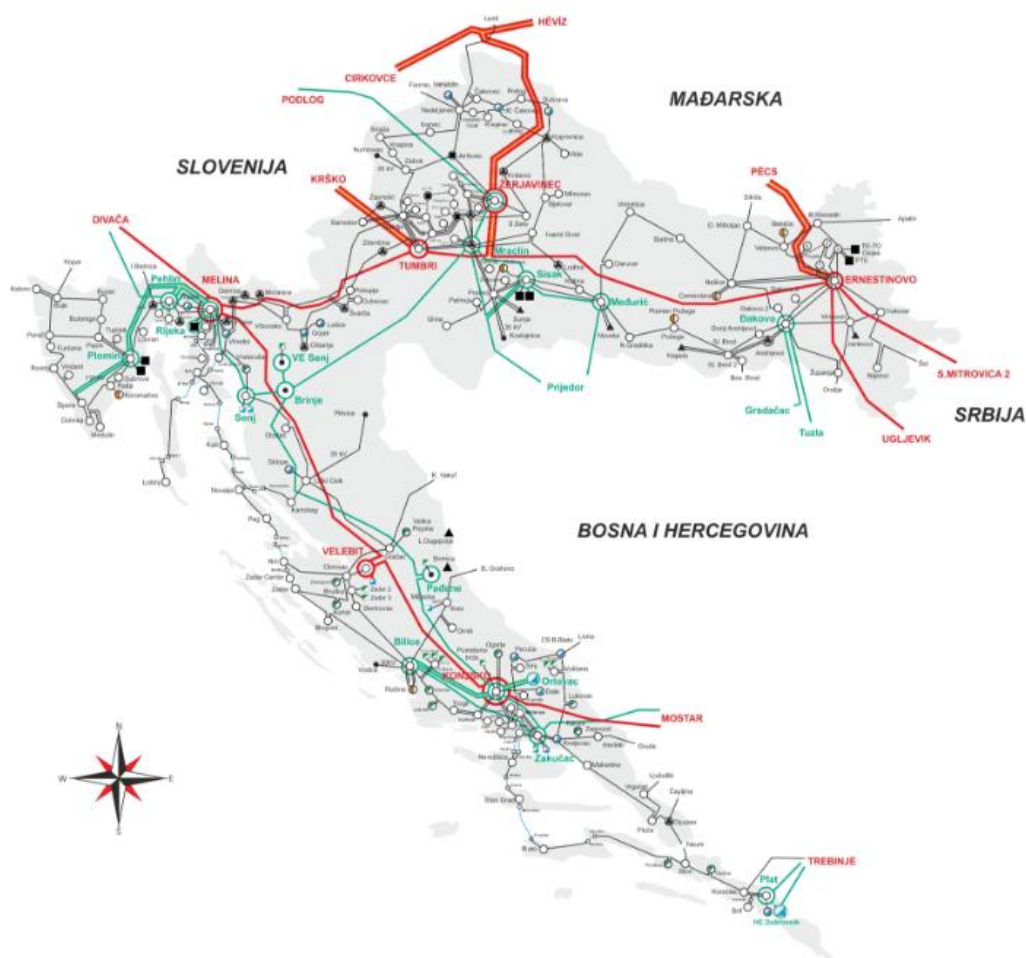
#### 4.1. Analiza elektroenergetskog sustava u Hrvatskoj

Hrvatski elektroenergetski sustav (EES) obuhvaća proizvodne pogone i postrojenja, prijenosnu i distribucijsku mrežu te potrošače električne energije unutar Republike Hrvatske. Hrvatski operator prijenosnog sustava (HOPS) jedini je subjekt odgovoran za upravljanje elektroenergetskim prijenosnim sustavom u Hrvatskoj. HOPS posjeduje kompletnu infrastrukturu prijenosne mreže na naponskim razinama 400 kV, 220 kV i 110 kV te ima ovlaštenje za provođenje energetske djelatnosti prijenosa električne energije kao regulirane javne usluge [26]. S ciljem osiguravanja stabilne i visokokvalitetne opskrbe električnom energijom, kao i razmjene energije, hrvatski EES povezan je s elektroenergetskim sustavima susjednih zemalja i ostalim članicama ENTSO-E (engl. *European Network of Transmission System Operators for Electricity*) stvarajući zajedno sinkroniziranu mrežu kontinentalne Europe. ENTSO-E, Europska mreža operatera prijenosnog sustava električne energije, je udruga za suradnju europskih operatera prijenosnog sustava (engl. *Transmission System Operators*, TSO). 39 članova TSO-a koji predstavljaju 35 zemalja odgovorni su za sigurnu i koordiniranu operaciju elektroenergetskog sustava Europe, najveće povezane električne mreže na svijetu [27]. Hrvatski EES dijeli se na četiri prijenosna područja prema teritorijalnoj podjeli nadležnosti vođenja:

- PrP Zagreb
- PrP Osijek
- PrP Split



- PrP Rijeka



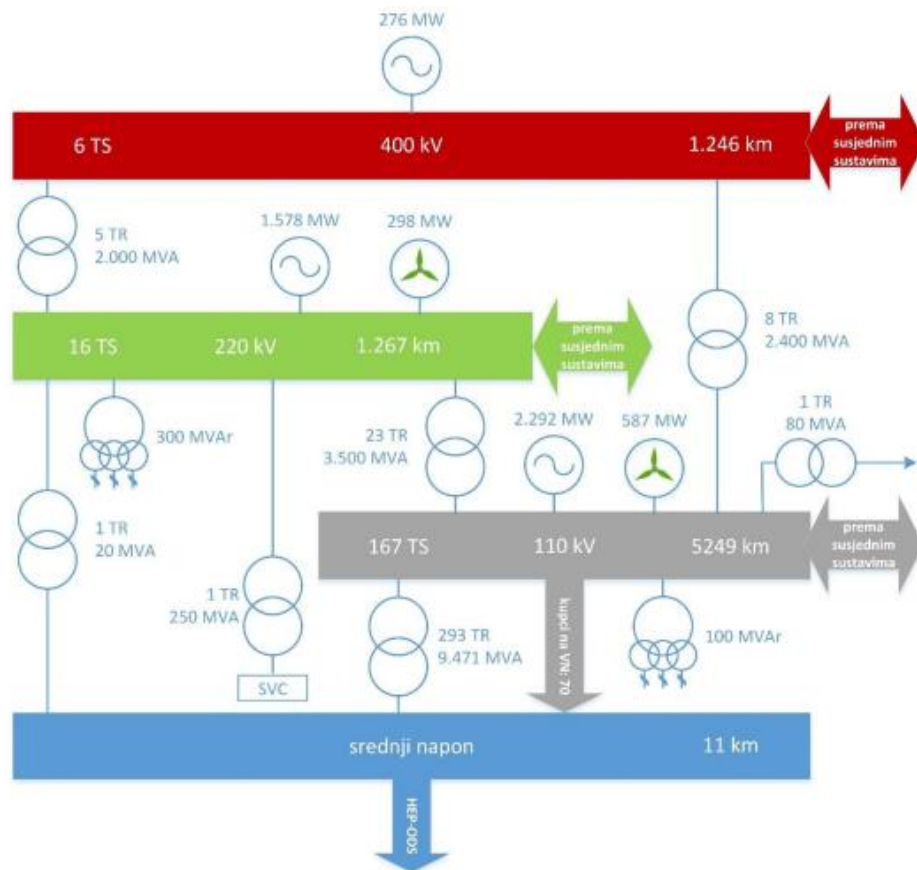
Slika 4.2 Prikaz sheme prijenosne mreže 400-220-110 kV Hrvatske, stanje krajem 2022.godine [28].

Potrošači u Hrvatskoj napajaju se električnom energijom iz domaćih elektrana (elektrane unutar RH), izvan RH izgrađenih elektrana koje služe hrvatskim potrebama te kroz uvoz električne energije iz inozemstva. Hrvatski EES se ubraja u manje elektroenergetske sustave u Europi s obzirom na svoju veličinu. Zbog specifične geografske pozicije i rasporeda proizvodnih objekata, električna energija se veći dio godine prenosi s južnih područja prema sjeveru i obrnuto, kao i sa sjevera prema istoku.

Hrvatski elektroenergetski sustav (EES) je povezan na naponskim razinama od 400 kV, 220 kV i 110 kV s elektroenergetskim sustavima susjednih zemalja. Putem sedam dalekovoda naponske razine 400 kV (od kojih su tri dvosustavna, a četiri jednosustavna), hrvatski EES je povezan s elektroenergetskim sustavima:

- Srbije (DV 400 kV Ernestinovo - Sremska Mitrovica 2)
- Mađarske (DV 1x400 kV Žerjavinec – Héviz, DV 2x400 kV Ernestinovo – Pécs)
- Slovenije (DV 2x400 kV Tumbri – Krško, DV 400 kV Melina – Divača, DV 1x400 kV Žerjavinec – Cirkovce)
- Bosne i Hercegovine (DV 400 kV Ernestinovo – Ugljevik i DV 400 kV Konjsko – Mostar)

Hrvatski prijenosni sustav obuhvaća ukupno šest transformatorskih stanica (6 TS 400 kV) na razini od 400 kV te ukupno 16 transformatorskih stanica i razvodnih postrojenja (16 TS/RP 220 kV) na razini od 220 kV (stanje krajem 2022. godine). Na naponskoj razini od 110 kV nalazi se ukupno 167 razvodnih postrojenja (RP 110 kV) i transformatorskih stanica (TS 110/x kV) [29].



Slika 4.3 Tehnički pokazatelji prijenosnog sustava prema različitim naponskim razinama (stanje krajem 2022. godine) [29].

HOPS posjeduje 7.774 km visokonaponske mreže koja obuhvaća napone od 400 kV, 220 kV i 110 kV. Također su uključeni dalekovodi koji su prvobitno izgrađeni kao 110 kV, ali su trenutno u pogonu na srednjem naponu.

HEP Operator distribucijskog sustava (HEP ODS) je jedini entitet u Hrvatskoj ovlašten za reguliranu aktivnost distribucije električne energije. Njegova odgovornost obuhvaća upravljanje, održavanje, izgradnju i progres distribucijske mreže, od visokonaponskog prijenosnog dijela sve do mjernih mjesta svih korisnika mreže. HEP ODS ima obavezu osigurati jednakopravan pristup mreži i ravnopravne uvjete za sve korisnike i proizvođače električne energije [30].

Tablica 4.1 Tehnički pokazatelji prijenosnog sustava prema različitim naponskim razinama (stanje krajem 2022. godine) [30].

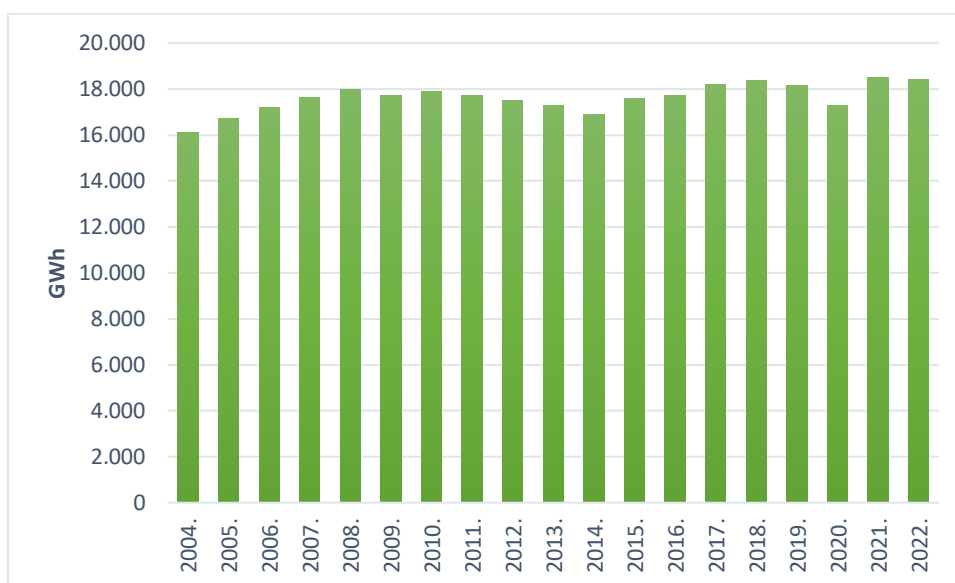
<b>Naponska razina</b>	<b>Nadzemni vodovi / km</b>	<b>Kabeli / km</b>	<b>Podmorski kabeli / km</b>	<b>Ukupno / km</b>
<b>Vodovi 35(30) kV</b>	2.973,5	1.417,6	144,7	4.535,8
<b>Vodovi 20 kV</b>	4.914,4	6.379,8	-	11.294,2
<b>Vodovi 10 kV</b>	15.179,7	11.736,6	2.563	27.172,6
<b>Mreža 0,4 kV</b>	43.139,2	18.628,7	-	61.767,8
<b>Kućni priključci (0,4 kV)</b>	23.257,1	13.909,4	-	37.166,5
<b>Ukupno / km</b>	89.463,8	52.072,1	401	141.936,9

HEP ODS posjeduje 141.936,9 km srednjonaponske i niskonaponske mreže koja obuhvaća napone od 35(30) kV, 20 kV, 10 kV i 0,4 kV. Također, za 2022. godinu broj obračunskih mjernih mjesta (OMM) u distribucijskoj mreži na visokom i srednjem naponu iznosio je 2.526 korisnika, dok je na niskom naponu iznosio 2.511.522 korisnika. U odnosu na prethodnu godinu, broj OMM na visokom i srednjem naponu povećao se za 2%, dok se broj OMM na niskom naponu povećao za 1%.

#### **4.1.1. Proizvodnja i potrošnja električne energije u RH**

U 2021. godini, potrošnja električne energije u Republici Hrvatskoj iznosila je ukupno 18.495 GWh. Nakon dvije uzastopne godine smanjenja potrošnje, 2021. je donijela oporavak potražnje. Uspoređujući s prethodnom 2020. godinom, primijećen je značajan porast ukupne potrošnje električne energije od čak 7,1%. Veći dio ukupne potrošnje električne energije pokriven je proizvodnjom iz elektrana unutar teritorija Republike Hrvatske (14.153 GWh ili 76,5%), dok je preostalih pokriveno uvozom električne energije (4.342 GWh ili 23,5%). Proizvodnja domaćih

elektrana unutar RH, uključujući i dio proizvodnje nuklearne elektrane Krško koja pripada tvrtki HEP d.d., zadovoljava 91,6% ukupne potrošnje električne energije u Republici Hrvatskoj. Važno je napomenuti da je proizvodnja iz obnovljivih izvora energije (iznos od 10.113 GWh) pokrila 54,7% ukupne potrošnje električne energije Na kraju 2021. godine, ukupna instalirana snaga svih elektrana u Republici Hrvatskoj iznosila je 5.534 MW. S raspodjelom na različite izvore energije, 2.202 MW hidroelektrana, 2.049 MW na fosilna goriva, 981 MW vjetroelektrana. Od ukupne instalirane snage, 3.485 MW ili 63% pripada proizvodnim postrojenjima na OIE. Također, od ukupne instalirane snage svih elektrana, 503 MW odnosi se na distribuirane izvore energije [31].

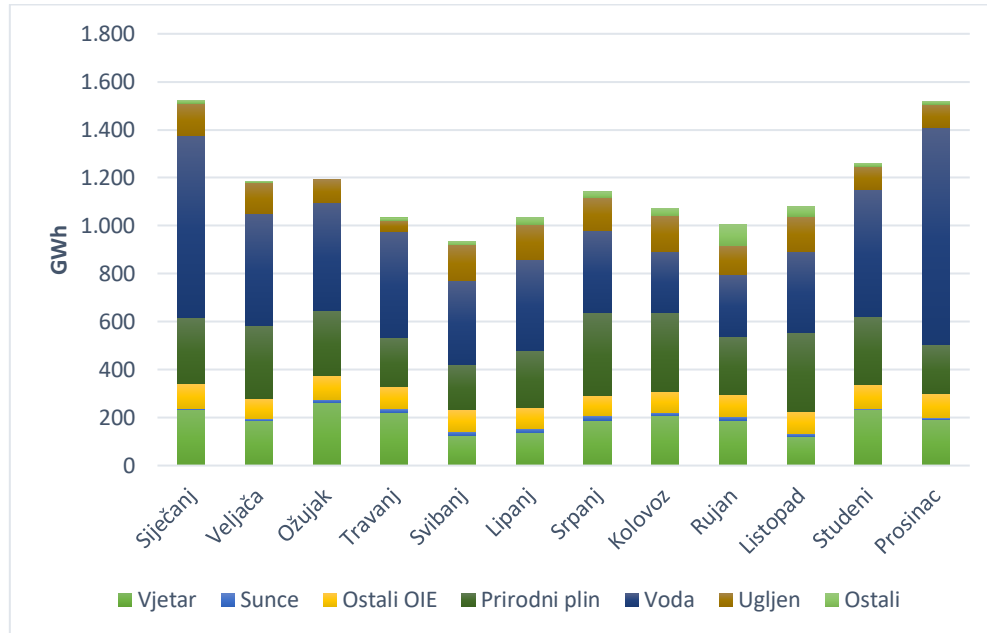


Slika 4.4 Prikaz ukupne potrošnje električne energije u RH [32].

U 2022. godini, potrošnja električne energije bila je 18.416 GWh, što je smanjenje za 79 GWh u usporedbi s prethodnom godinom (2021. godina). U prosincu 2022. godine, potrošnja električne energije iznosila je 1.598 GWh, što predstavlja smanjenje od 121 GWh u odnosu na isti mjesec 2021. godine. Smanjenju potrošnje može se pripisati uzrok promjeni klime (toplije zime) te samim time smanjenje potrebe za grijanjem. Tijekom 2022. godine, ukupno je bilo dostupno 19,8 TWh električne energije. Elektrane u vlasništvu i suvlasništvu HEP-a proizvele su 62,93% tog ukupnog iznosa, dok je 37,37% električne energije nabavljeno na tržištu (CROPEX). Od ukupne raspoložive električne energije, 41,33% proizvedeno je iz obnovljivih izvora energije, 21,38% iz nuklearne energije, a 37,28% iz fosilnih goriva [34].

HEP ODS odgovoran je za nabavu električne energije dostatne za pokriće gubitaka u distribucijskoj mreži, dok je HOPS odgovoran za pokriće gubitaka u prijenosnoj mreži. U 2022.

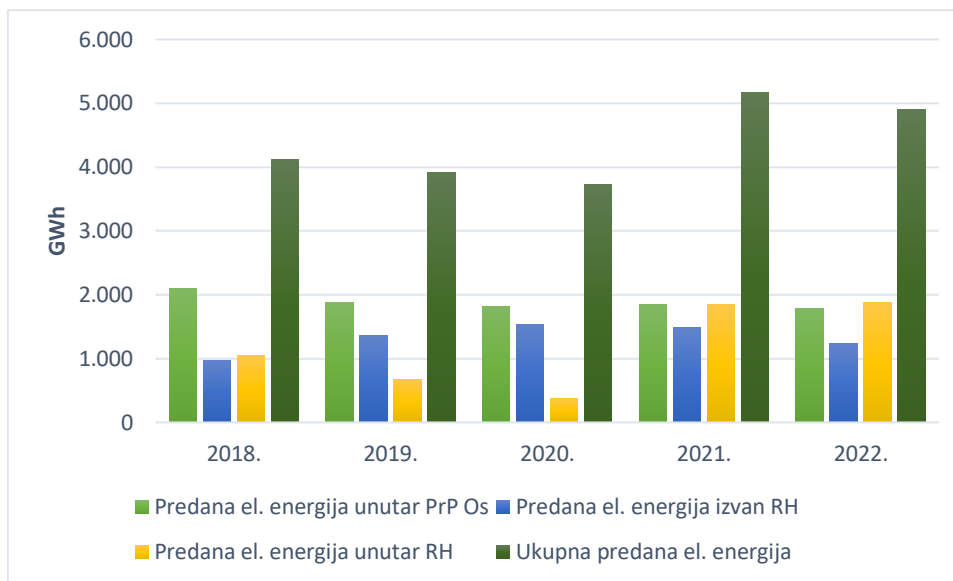
godini, gubitci u distribucijskoj mreži iznosili su 1,199 TWh [31], dok su gubitci u prijenosnoj mreži iznosili 0,463 TWh [30].



Slika 4.5 Prikaz proizvedene električne energije u RH po mjesecima u 2022. godini po vrsti izvora [33].

#### 4.1.2. Potrošnja električne energije u istočnoj RH

Prema podacima iz HOPS-a [35] u 2022. godini ukupna predana električna energija iz mreže prijenosnog područja Osijek (u daljnjem tekstu PrP Osijek) iznosila je 4.900 GWh, što predstavlja pad za 5,2% u odnosu na prošlu godinu odnosno porast potrošnje za 19,07% u odnosu na 2018. godinu. Najmanja potrošnja električne energije unazad zadnjih 5 godina bila je 2020. godine i iznosila 3.723 GWh na što je zasigurno utjecala pandemija koronavirusom (Covid-19). Najveći porast potrošnje električne energije zabilježen je u 2021. godini i iznosi 38,8% u odnosu na 2020. godinu. Potrošnja električne energije unutar PrP Osijek u 2022. godini iznosila je 1.790,9 GWh (sa udjelom u ukupnoj potrošnji od 36,5%) te predstavlja pad za 2,82% u odnosu na prošlu godinu.



Slika 4.6 Prikaz godišnje predane električne energije iz mreže PrP-a Osijek [35].

## 4.2. Projekcije porasta električnih vozila i potrošnje električne energije u RH

Prema [36] Hrvatski sabor je 2021. godine usvojio *Strategije niskougljičnog razvoja Republike Hrvatske*, osnovna svrha Strategije je ostvarivanje održivog razvoja temeljenog na ekonomiji s niskom razinom ugljika i efikasnom upravljanju resursima. Implementacija ove strategije vodi prema postizanju gospodarskog rasta uz smanjenje potrošnje energije i povećanu upotrebu obnovljivih izvora energije. Definira su tri scenarija:

- Referentni scenarij (NUR)
- Scenarij postupne tranzicije (NU1)
- Scenarij snažne tranzicije (NU2)

**Referentni scenarij (NUR)** predstavlja scenarij temeljen na postojećim mjerama i prihvaćenim ciljevima do 2030. godine. Predstavlja scenarij s blažim povećanjem udjela OIE i energetske učinkovitosti. **Scenarij postupne tranzicije (NU1)** predstavlja scenarij s ciljem smanjenja emisija temeljen na obvezama EU i ciljevima Pariškog sporazuma (ograničiti porast globalne temperature do 2°C). **Scenarij snažne tranzicije (NU2)** je sličan scenariju NU1 (do 2030. godine), investicijski zahtjevniji, snažnije mjere energetske učinkovitosti, viši ciljevi smanjenja emisija, znatno veći udjeli električnih i hibridnih vozila u cestovnom prometu.

Tablica 4.2 Prikaz projekcija broja električnih i *plug-in* hibridnih vozila u RH prema scenarijima [36].

Scenarij	NUR		NU1		NU2	
	2030.	2050.	2030.	2050.	2030.	2050.
Električna vozila (BEV)	35.000	240.000	110.000	763.000	180.000	1.230.000
<i>Plug-in</i> hibridna vozila (PHEV)	25.000	160.000	50.000	315.000	56.000	238.000

Neposredna, finalna ili krajnja potrošnja energije odnosi se na ukupnu potrošnju energije krajnjih korisnika, predstavlja ukupno potrošnju energije u prometu, sektoru usluga, kućanstvima i poljoprivredi. Tijekom razmatranog razdoblja očekuje se povećanje domaće proizvodnje električne energije, pri čemu će doći do značajnih promjena u strukturi proizvodnje. Udio obnovljivih izvora energije (OIE) će se povećati, dok će se smanjiti udio termoelektrana (termoelektrane, javne toplane i industrijske kogeneracije) u ukupnoj proizvodnji. Prema projekcijama, do kraja razdoblja, sve potrebne količine električne energije moći će se proizvesti iz domaćih elektrana, no također će biti moguća razmjena električne energije s susjednim energetske sustavima.

Tablica 4.3 Prikaz projekcije proizvodnje i neposredne potrošnje električne energije prema scenarijima [36].

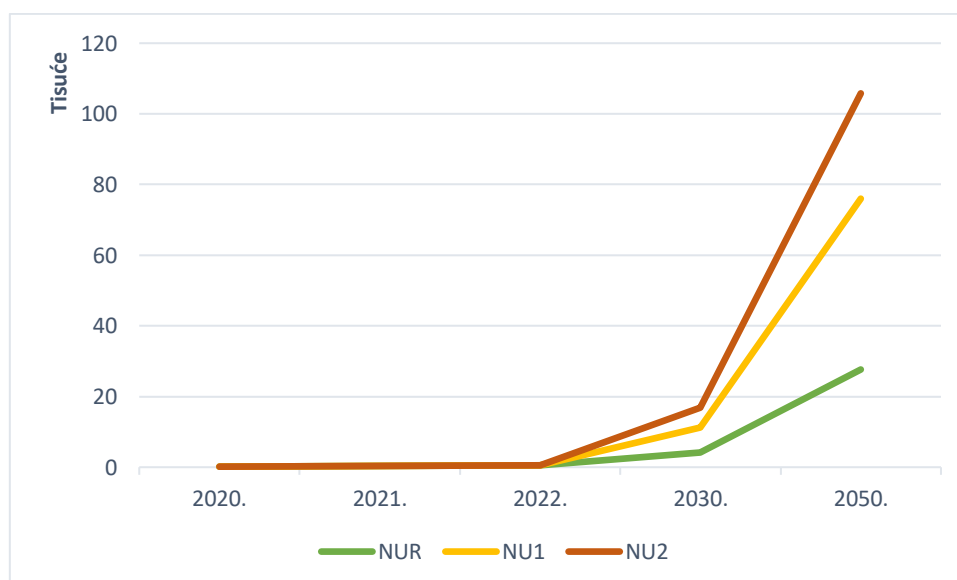
Scenarij	NUR			NU1			NU2		
	2030.	2040.	2050.	2030.	2040.	2050.	2030.	2040.	2050.
Proizvodnja (TWh)	16,380	20,119	23,285	16,634	20,400	25,546	17,495	21,177	29,538
Udio OIE	67,7%	70,3%	74,0%	72,2%	78,4%	78,9%	75,1%	87,4%	88,2%
Potrošnja (TWh)	17,532	18,748	19,971	17,626	19,306	22,402	17,999	20,059	24,771

#### 4.2.1. Projekcije broja električnih vozila u istočnoj RH

Projekcije budućih scenarija prema *Strategiji niskougličnog razvoja Republike Hrvatske* za stanje elektrifikacije vozila istočne RH prikazane su u tablici 4.4 .

Tablica 4.4 Prikaz projekcija broja električnih i *plug-in* hibridnih vozila u istočnoj RH prema scenarijima [36].

Scenarij	NUR		NU1		NU2	
	2030.	2050.	2030.	2050.	2030.	2050.
Električna vozila (BEV)	2.600	17.750	8.100	56.500	13.300	91.000
<i>Plug-in</i> hibridna vozila (PHEV)	1.550	9.900	3.100	19.500	3.470	14.800
Udio EV u ukupnom cestovnom prometu	2,5%	30%	3,5%	65%	4,5%	85%



Slika 4.7 Prikaz projekcija broja električnih vozila (BEV+PHEV) prema scenarijima u istočnoj RH [36].



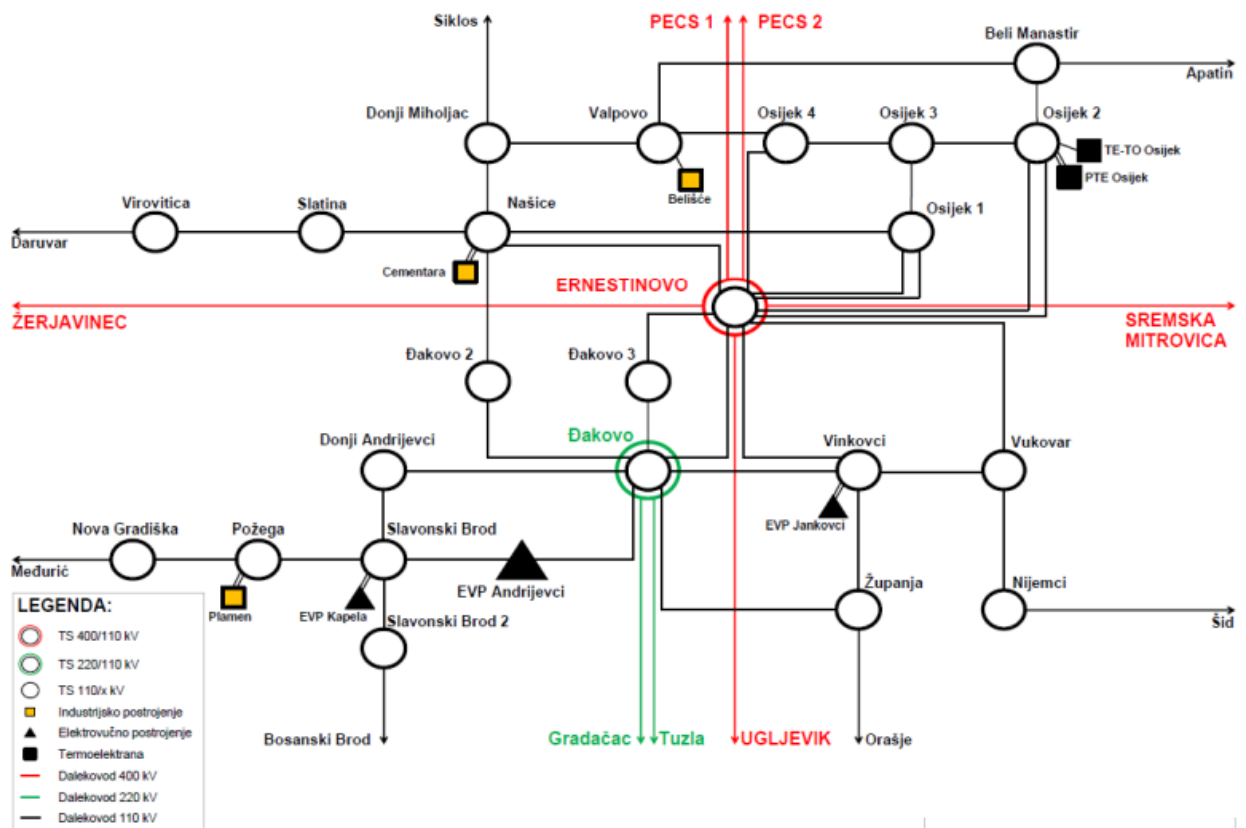
#### 4.2.2. Projekcije potrošnje električne energije istočne RH

Unutar prijenosnog područja Osijek u pogonu su dvije trafostanice (TS):

- TS Ernestinovo 400/110 kV – sadrži dva transformatora pojedinačne nazivne snage od 300 MVA (TP Ernestinovo 400/110 1S i TP Ernestinovo 400/110 2S)
- TS Đakovo 220/110 kV – sadrži dva transformatora pojedinačne nazivne snage od 150 MVA (TP Đakovo 220/110 1S i TP Đakovo 220/110 2S)

Unutar distribucijskog područja istočne RH djeluje 5 elektri:

- Elektroslavonija Osijek
- Elektra Vinkovci
- Elektra Slavonski Brod
- Elektra Požega
- Elektra Virovitica



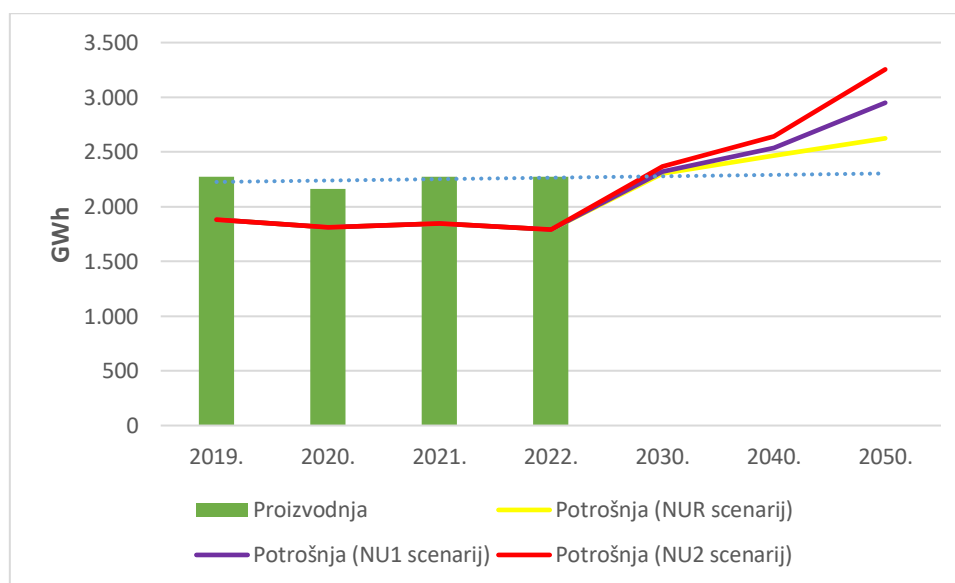
Slika 4.8 Shema mreže prijenosa električne energije Prijenosnog područja Osijek [37].

Projekcije budućih scenarija prema *Strategiji niskougljičnog razvoja Republike Hrvatske* za stanje potrošnje električne energije unutar PrP Osijek (istočne RH) prikazane su u tablici 4.5 .

Tablica 4.5 Prikaz projekcije potrošnje električne energije istočne RH prema scenarijima [36].

Scenarij	NUR			NU1			NU2		
	2030.	2040.	2050.	2030.	2040.	2050.	2030.	2040.	2050.
Potrošnja (GWh)	2.305	2.465	2.625	2.320	2.540	2.950	2.365	2.640	3.255

Prema podacima iz HOPS-a [35] unutar PrP Osijek dobiveni su podatci za predanu/proizvedenu električnu energiju iz trafostanica (TS Ernestinovo 400/110 kV i TS Đakovo 220/110 kV) (slika 4.9). Na osnovi potrošnje (konzuma) električne energije unutar PrP Osijek projicirana je dugoročna potrošnja (do 2050. godine) prema scenarijima iz *Strategije niskougličnog razvoja Republike Hrvatske* (slika 4.9).

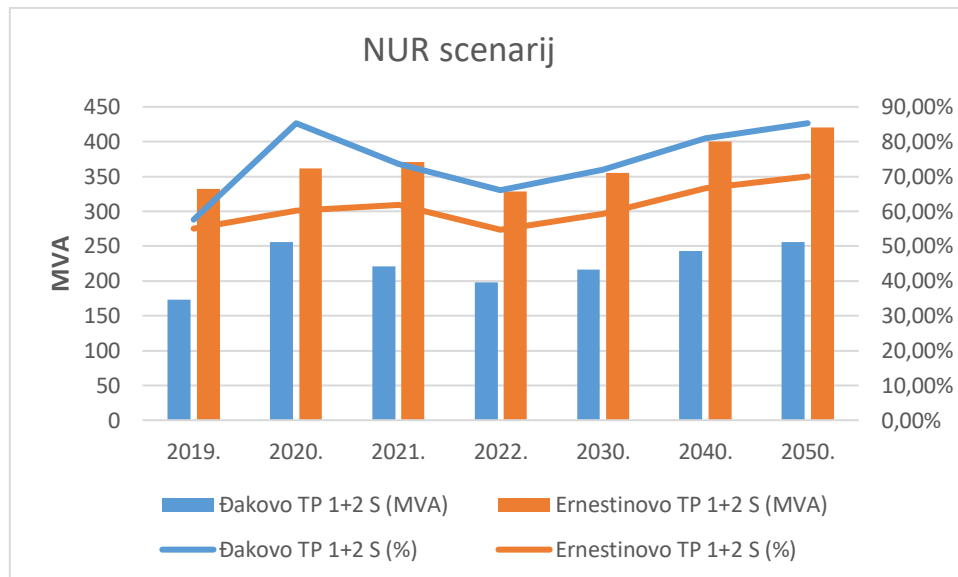


Slika 4.9 Prikaz proizvedene električne energije i projekcije potrošnje električne energije prema scenarijima [36].

Vidljivo je da je proizvedena električna energija iz trafostanica PrP Osijek veća od same potrošnje unutar istog područja (trenutno stanje, unazad 4 godine). Prema projekcijama povećanja potrošnje električne energije očekuje se da će do 2030. godine trenutna proizvodnja biti dostatna za pokriće potrošnje električne energije (izuzev scenariju NU2 scenariju) unutar PrP Osijek. Očekuje se da će potrošnja za električnom energijom porasti za 18% (NUR scenarij), 32% (NU1 scenarij), 45% (NU2 scenarij) do 2050. godine u odnosu na trenutnu proizvodnju.

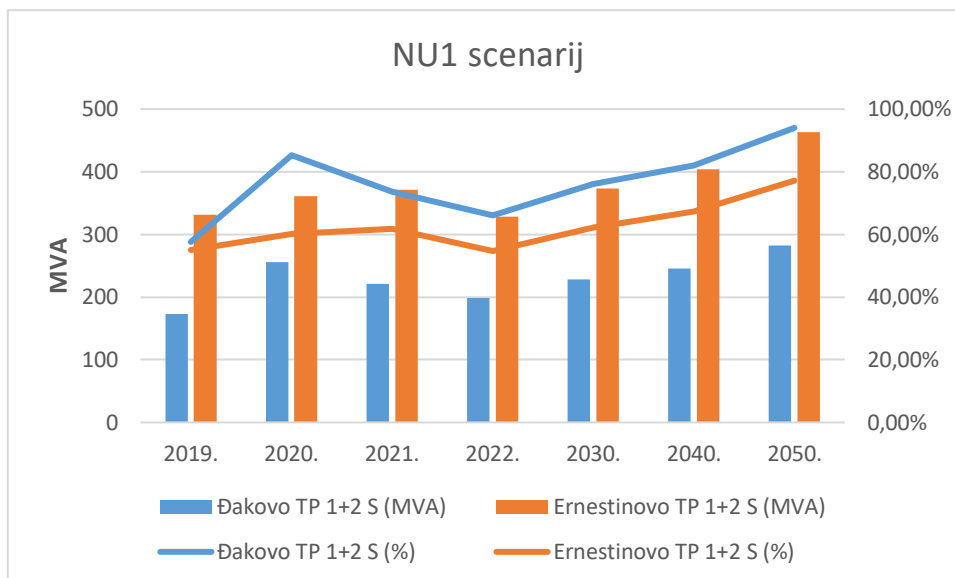
### 4.2.3. Projekcije opterećenja EES istočne RH

Prema podacima iz HOPS-a [35] dobiveni su podatci opterećenje transformatora (2019. - 2022.) po mjesecima unutar PrP Osijek. Na osnovi dobivenih podataka opterećenja projicirane su buduće smjernice povećanje opterećenja unutar PrP Osijek prema scenarijima [38].



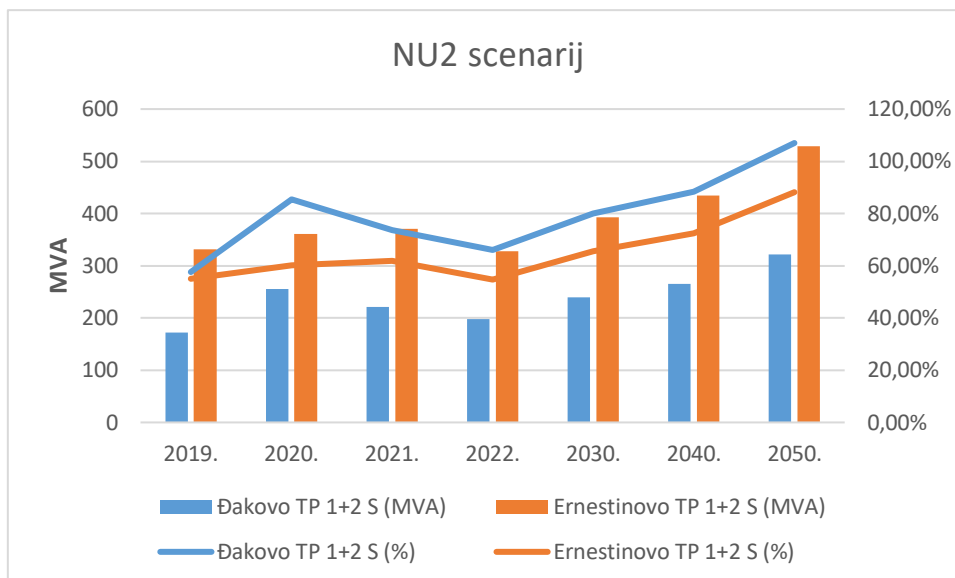
Slika 4.10 Prikaz vršnog kombiniranog opterećenja TP prema snazi (stupčasti dijagram) i postotno opterećenje (linijski dijagram).

Prema NUR scenariju, uz povećanje električnih vozila za 2,5% do 2030. godine odnosno za 30% do 2050. godine u ukupnom cestovnom prometu, očekuje se povećanje neposredne potrošnje električne energije za 8% do 2030. godine odnosno za 25% do 2050. godine. Očekuje se rast vršnog opterećenja transformatora oko 0,4% godišnje unutar PrP Osijek. Dugoročno gledano prema NUR scenariju TS Đakovo i TS Ernestinovo će biti u normalnom opterećenom pogonu.



Slika 4.11 Prikaz vršnog kombiniranog opterećenja TP prema snazi (stupčasti dijagram) i postotno opterećenje (linijski dijagram).

Prema NU1 scenariju, uz povećanje električnih vozila za 3,5% do 2030. godine odnosno za 65% do 2050. godine u ukupnom cestovnom prometu, očekuje se povećanje neposredne potrošnje električne energije za 10% do 2030. godine odnosno za 40% do 2050. godine. Očekuje se rast vršnog opterećenja transformatora oko 0,9% godišnje unutar PrP Osijek. Dugoročno gledano prema NU1 scenariju TS Đakovo i TS Ernestinovo će biti u normalnom opterećenom pogonu.



Slika 4.12 Prikaz vršnog kombiniranog opterećenja TP prema snazi (stupčasti dijagram) i postotno opterećenje (linijski dijagram).

Prema NU2 scenariju, uz povećanje električnih vozila za 4,5% do 2030. godine odnosno za 85% do 2050. godine u ukupnom cestovnom prometu, očekuje se povećanje neposredne potrošnje električne energije za 13% do 2030. godine odnosno za 55% do 2050. godine. Očekuje se rast vršnog opterećenja transformatora oko 1,5% godišnje unutar PrP Osijek. Dugoročno gledano prema NU2 scenariju TS Ernestinovo će biti u normalnom opterećenom pogonu (iznos vršnog opterećenja od 88% 2050. godine), prema slici 4.11 vidljivo je da će TS Đakovo biti izložena preopterećenju.

## ZAKLJUČAK

Električna vozila predstavljaju iznimno važan aspekt u ljudskoj svijesti prema smanjenju naglih klimatskih promjena, promičući ekološku održivost i smanjenje emisije stakleničkih plinova. Kako bi električna vozila uistinu bila klimatski neutralna, električna energija potrebna za pokretanje trebala bi također biti proizvedena sa nultom emisijom stakleničkih plinova. Što predstavlja rekonstrukciju čitave energetske infrastrukture. Električna vozila su imala burnu prošlost u borbi s konvencionalnim vozilima, jer su u prošlosti konvencionalna vozila bila isplativija (niža cijena goriva), puno izraženijih performansi i tadašnjom izuzetnom malom zabrinutosti za ekologiju. Današnja tehnologija izrade električnih vozila dovela je električna vozila dostatna usporedbi konvencionalnim vozilima, jer upravo najveće ubrzanje iz stanja mirovanja do 100 km/h trenutno ima električni automobil. Osim po ubrzanju, električna vozila se mogu usporediti i u pitanju dometa jer današnji kapaciteti baterija omogućuju domet električnih vozila i preko 500 km. Uz sve benefite, nedostatak električnim vozilima zasigurno predstavlja broj električnih punionica (dostupnost punjenja) i vrijeme punjenja. Iako postoji mogućnost „superbrzog“ punjenja (DC punjenje), pokrivenost RH takvim punionicama je vrlo mala i sama cijena kWh takvih punionica je dvostruko veća. Uz sve navedene karakteristike povećava se i broj zadovoljnih korisnika te samim time i broj električnih vozila. Povećanjem broja električnih vozila dodatno se opterećuje elektroenergetska mreža i povećava se proizvodni kapacitet električne energije. *Strategija niskougljičnog razvoja Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu* [36] predviđa znatno veći udjel proizvodnje energije iz obnovljivih izvora, veću energetske učinkovitost i smanjenje emisije stakleničkih plinova. U razdoblju do 2030. planirano je povećanje udjela obnovljivih izvora u odnosu na potrošnju na barem 32% s potencijalnim povećanjem do 36,4%, dok bi do 2050. taj udjel trebao iznositi 65%. Na osnovi spomenutih predviđanja povećanja potrošnje električne energije i broja električnih vozila u RH projicirane su procjene na teritoriju istočne RH. Može se zaključiti da će prema NU2 scenariju (scenarij snažne tranzicije) EES istočne RH (točnije TS Đakovo) biti izložena preopterećenju. Kako bih se smanjila vršna preopterećenja mreže potrebno je rasteretiti mrežu dodavanjem elemenata u mrežu/povećanjem kapaciteta TS ili povećanjem proizvodnje električne energije u distribucijskom području. Također, jedna od mogućnosti smanjenja vršnog opterećenja EES je strategije kontroliranog punjenja (punjenje orijentirano na distribucijsku mrežu i na OIE i punjenje orijentirano na troškove) koje je učinkovito uz poštivanje vremena punjenja od strane korisnika. Pristup kontroliranog punjenja zahtjeva dodatnu infrastrukturu koja omogućuje komunikaciju između korisnika električnih vozila i operatora distribucijske mreže električne energije. Zasigurno će trebati povećati proizvodne

kapacitete električne energije RH bazirane na OIE neovisno prema kojem scenariju. Hrvatska prijenosna mreža je poprilično zastarjela jer je više od 61% vodova starije od očekivanog vijeka trajanja (40 godina), hrvatski EES će zasigurno imati značajnije inovacije kako u prijenosnom tako i u distribucijskom području u skorijoj budućnosti.

## LITERATURA

- [1] Europska komisija, 2050 long-term strategy, [online], dostupno na: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2050-long-term-strategy\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2050-long-term-strategy_en), 2023 [27.07.2023]
- [2] A.Olajoš: Perspektive razvoja električnih vozila, Rijeka, 2020., diplomski rad
- [3] N.Latinić: Analiza rasprostranjenosti punionica za električna vozila u Republici Hrvatskoj, Zagreb, 2021., diplomski rad
- [4] P.Stančić: Ekološki otisak automobila na električni pogon, Varaždin, 2022., diplomski rad
- [5] A.Ilija Galić: Utjecaj industrije električnih automobila na okoliš, Zagreb, 2022., diplomski rad
- [6] M.Rekić: Utjecaj električnih vozila opterećenje i kvalitetu električne energije u distribucijskoj mreži, Osijek, 2015., diplomski rad
- [7] preuzeto sa: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektri%C4%8Dni\\_automobil#/media/Datoteka:Thomas\\_Parker\\_Electric\\_car.jpg](https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektri%C4%8Dni_automobil#/media/Datoteka:Thomas_Parker_Electric_car.jpg) [06.08.2023.]
- [8] preuzeto sa: [https://en.wikipedia.org/wiki/Lohner%E2%80%93Porsche#/media/File:Lohner\\_Porsche.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Lohner%E2%80%93Porsche#/media/File:Lohner_Porsche.jpg) [07.08.2023.]
- [9] A.Šantek: Povijest električnih automobila, Karlovac, 2015, završni rad
- [10] preuzeto sa: <https://www.topgear.com/car-news/electric/gm-could-have-led-electric-revolution-ev1> [07.08.2023.]
- [11] preuzeto sa: [https://www.autoevolution.com/cars/toyota-prius-1997.html#agal\\_0](https://www.autoevolution.com/cars/toyota-prius-1997.html#agal_0) [08.08.2023.]
- [12] preuzeto sa: [https://en.wikipedia.org/wiki/Chevrolet\\_Volt#/media/File:2011\\_Chevrolet\\_Volt\\_-\\_NHTSA\\_1.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Chevrolet_Volt#/media/File:2011_Chevrolet_Volt_-_NHTSA_1.jpg) [08.08.2023.]
- [13] Rimac Automobili, About Us, [online] dostupno na: <https://www.rimac-automobili.com/about-us/> [09.08.2023.]
- [14] CarandDriver, View photo of the 2022 Rimac Nevera, preuzeto sa: [View Photos of the 2022 Rimac Nevera \(caranddriver.com\)](#) [10.08.2023.]
- [15] IntelliPaat, Advantages and Disadvantages of EV, [online], dostupno na: <https://intellipa.com/blog/advantages-and-disadvantages-of-electric-vehicles/> [10.08.2023.]
- [16] ARENAEV, Greater Bay Technology, [online], dostupno na: [https://www.arenaev.com/greater\\_bay\\_technology\\_unveils\\_battery\\_that\\_works\\_in\\_any\\_temperature-news-1920.php](https://www.arenaev.com/greater_bay_technology_unveils_battery_that_works_in_any_temperature-news-1920.php) [11.08.2023.]



- [17] International Energy Agency (IEA) [online], Global EV data explorer, statistika i projekcije [online] dostupno na: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer> [11.08.2023.]
- [18] Lidermedia, Punionica za električne automobile sve je više, ali često zjape prazne, novinski članak [online], dostupno na: [Punionica za električne automobile sve je više, ali često zjape prazne \(lidermedia.hr\)](https://www.lidermedia.hr) [11.08.2023.]
- [19] Strujni krug, Vodič kroz punjače za električna vozila [online], dostupno na: [Vodič kroz punjače za električna vozila - Strujni krug](https://www.strujnikrug.hr) [13.08.2023.]
- [20] International Energy Agency (IEA) [online], World Energy Outlook 2022, dostupno na: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022> [13.08.2023.]
- [21] International Energy Agency (IEA) [online], Global EV Outlook 2023, dostupno na: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/dacf14d2-eabc-498a-8263-9f97fd5dc327/GEVO2023.pdf> [14.08.2023.]
- [22] Centar za vozila Hrvatske (CVH) [online], dostupno na: <https://cvh.hr/gradani/tehnicki-pregled/statistika/> [14.08.2023.]
- [23] Državni zavod za statistiku, [online], Obujam cestovnog prometa domaćih vozila u 2021, dostupno na: <https://podaci.dzs.hr/2023/hr/58583> [15.08.2023.]
- [24] Hrvatski Autoklub (HAK), [online], dostupno na: <https://www.jutarnji.hr/autoklub/aktualno/koliko-elektricnih-auta-vozi-nasim-cestama-ovo-je-20-najtrazenijih-modela-15340389> [17.08.2023.]
- [25] Statista [online], dostupno na: <https://www.statista.com/statistics/280704/world-power-consumption/> [18.08.2023.]
- [26] ENTSOE [online], dostupno na: <https://www.entsoe.eu/about/system-operations/> [19.08.2023.]
- [27] Hrvatski operator prijenosnog sustava d.o.o [online], dostupno na: <https://www.hops.hr/hrvatski-prijenosni-sustav> [20.08.2023.]
- [28] Hrvatski operator prijenosnog sustava d.o.o., Shema EES-a [online], preuzeto sa: <https://www.hops.hr/shema-ees-a> [20.08.2023.]
- [29] Hrvatski operator prijenosnog sustava d.o.o., Izvješće o održivosti za 2022. godinu, Zagreb, 2023. str. 8.
- [30] Hrvatski operator prijenosnog sustava d.o.o., Godišnje izvješće o sigurnosti opskrbe u prijenosnom sustavu za 2022. godinu s projekcijom za 2023. godinu., Zagreb, 2023., str. 1.-30.
- [31] HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o., Izvješće o poslovanju i održivosti HEP grupe za 2022. godinu, 2023., Zagreb, str. 12.- 27.
- [32] Hrvatska energetska regulatorna agencija, Godišnje izvješće za 2021. godinu, 2022., Zagreb, str. 1.-100., [online], dostupno na: [https://www.hera.hr/hr/html/god\\_izv.html](https://www.hera.hr/hr/html/god_izv.html) [21.08.2023.]
- [33] International Energy Agency (IEA), [online], Monthly Electricity Stastics, dostupno na:

<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/monthly-electricity-statistics> [22.08.2023.]

[34] OIE Hrvatska, Elektroenergetska kretanja u Hrvatskoj u 2022. godini, [online]

dostupno na: <https://oie.hr/elektroenergetska-kretanja-u-hrvatskoj-u-2022/> [22.8.2023.]

[35] Hrvatski operator prijenosnog sustava d.o.o., Podaci o opterećenju i energetske bilanci Prijenosnog područja Osijek 2018.-2022., 2023.

[36] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja: Strategija niskougljičnog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu, Hrvatski sabor, 2021.

[37] preuzeto sa: [https://www.ho-cired.hr/images/OPATIJA2018/Referati\\_po\\_studijskim\\_odborima/SO3/SO3-02.pdf](https://www.ho-cired.hr/images/OPATIJA2018/Referati_po_studijskim_odborima/SO3/SO3-02.pdf) [24.8.2023.]

[38] Energetski institut Hrvoje Požar (EIHP), Analize i podloge za izradu Strategije energetskog razvoja Republike Hrvatske (tzv. Zelena knjiga), 2019., Zagreb, str. 284.-320.

## SAŽETAK

**Naslov:** Analiza utjecaja porasta udjela električnih vozila na opterećenje EES u istočnoj Hrvatskoj

U ovome diplomskom radu prikazan je povijesni razvoj električnih vozila, njihova podjela te buduće smjernice povećanja udjela električnih vozila u upotrebi i samoj prodaji. Istražena su i grafički prikazana trenutna stanja i budući scenariji brojnosti, tržišta električnih vozila i električnih punionica u Svijetu, Europi, Hrvatskoj i istočnoj Hrvatskoj. Također je prikazana potrošnja električne energije na spomenutim razinama te buduće smjernice povećanja električne energije istih. Na osnovi bilance električne energije PrP Osijek i opterećenja trafostanica prema *Strategija niskouglijinog razvoja Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050.* godinu projicirana je potrošnja/potražnja za električnom energijom unutar PrP Osijek i opterećenje samog EES sustava istočne RH.

**Ključne riječi:** električna vozila, vrste električnih vozila, broj električnih vozila, električne punionice, elektroenergetski sustav, potrošnja i proizvodnja električne energije, opterećenje elektroenergetskog sustava, prijenosno područje Osijek.

## **ABSTRACT**

**Title:** Analysis of the impact of increasing electric vehicle market share on the load of the electrical energy system in Eastern Croatia

This master's thesis presents the historical development of electric vehicles, their classification, and future trends in increasing the market share and sales of electric vehicles. It explores and graphically represents the current status and future scenarios of the number and market of electric vehicles worldwide, in Europe, Croatia, and Eastern Croatia. Additionally, it displays the consumption of electric energy at these levels and future directions for increasing electric energy consumption.

Based on the electric energy balance of transmission area Osijek and the load of substations according to the Low-Carbon Development Strategy of Croatia by 2030, with a perspective on 2050, the consumption/demand for electric energy within transmission area Osijek and the load of the Eastern Croatian Electrical Energy System (EES) are projected.

**Keywords:** electric vehicles, types of electric vehicles, electro-energy system, electric energy consumption and production, electrical energy system load, transmission area Osijek.