

Analiza rasprostranjenosti punionica za električna vozila u Republici Hrvatskoj

Latinčić, Nikola

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:175912>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-29**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Nikola Latinčić

Analiza rasprostranjenosti punionica za električna vozila u Republici
Hrvatskoj

Diplomski rad

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Diplomski rad

Analiza rasprostranjenosti punionica za električna vozila u Republici
Hrvatskoj

Distribution of the charging stations for electric vehicles in the
Republic of Croatia

Mentor: dr. sc. Martin Gregurić

Student: Nikola Latinčić

JMBAG: 0135248456

Zagreb, 2021.

Zagreb, 2. lipnja 2021.

Zavod: **Zavod za inteligentne transportne sustave**
Predmet: **Inteligentni transportni sustavi I**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 6549

Pristupnik: **Nikola Latinčić (0135248456)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Analiza rasprostranjenosti punionica za električna vozila u Republici Hrvatskoj**

Opis zadatka:

Razvoj i poticaj korištenja električnih vozila temelj je za provođenje održave mobilnosti kao značajnog stupa u ostvarivanju energetske učinkovitosti transportnih procesa. Jedan od temeljnih poticaja za široko korištenje električnih vozila na nacionalnoj razini je provođenje harmonizacije zastupljenosti punionica električnih vozila. Analizom pokrivenosti cestovne mreže punionicama za električna vozila omogućiti će se uvid u trenutno stanje po tom pitanju na razini RH, te identificirati regije sa slabijom zastupljenosti istih. Na temelju predloženog analitičkog okvira za analizu pokrivenosti punionicama predložit će se eventualno uvođenje istih na prometnoj mreži gdje su slabije zastupljene. Analiza će se temeljiti na komparaciji pokrivenost punionicama većih gradova u RH (kao prometnim čvorovima regija koje predstavljaju), te prometnim vezama između njih.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

dr. sc. Martin Gregurić

ANALIZA RASPROSTRANJENOSTI PUNIONICA ZA ELEKTRIČNA VOZILA U REPUBLICI HRVATSKOJ

SAŽETAK

Posljednjih godina električna vozila su sve zastupljenija u svijetu. Razlog tome su razne inicijative za očuvanje okoliša i smanjenjem emisije stakleničkih plinova koje su usmjerene k održivoj mobilnosti. U tom smjeru je izrađen Plan održive mobilnosti. Zahvaljujući inicijativi nulte emisije štetnih plinova formalizirane kroz Plan Održive Urbane Mobilnosti (POUM). POUM se temelji na promociji korištenja električnih vozila u svrhu ostvarivanja sljedećih ciljeva: smanjenje emisije stakleničkih plinova, korištenje javnog gradskog prijevoza, promoviranje zdravijeg načina života, primjena novih tehnologija u cilju povećanja sigurnosti u održivim gradovima i njihovoj prometnoj mreži. Električna vozila zahtijevaju odgovarajuću infrastrukturu, odnosno punionice za električna vozila. U RH je trenutno 310 punionica za električna vozila koje su dostupna za sve korisnike električnih vozila. Njihova ravnomjerna rasprostranjenost po teritoriju države je jako važna kako bi se ostvarilo zadovoljstvo korisnika električnih vozila i povećao njihov udio na razini države. Istraživanje predstavljeno u radu analizira udio i rasprostranjenost punionica za električna vozila na razini područja i važnih dionica u RH. Također, u analizi su korištene metode za analizu podataka: varijanca i klasterizacija. Pomoću ovih metoda dobit će se uvid u koncentraciju i rasprostranjenost punionica na razini države te u kojima su područjima nedovoljno zastupljena. Informacije o lokacijama i ključnim karakteristikama dobiveni su putem internet stranica pružatelja usluge: puni.hr i hep.hr.

KLJUČNE RIJEČI: električno vozilo; punionica za električna vozila; plan održive mobilnosti; nulta emisija stakleničkih plinova

DISTRIBUTION OF THE CHARGING STATIONS FOR ELECTRIC VEHICLES IN THE REPUBLIC OF CROATIA

SUMMARY

In recent years, electric vehicles have become more common in the world. Reasons are various initiatives to preserve the environment and reduce greenhouse gas (GHG) emissions that are aimed at sustainable mobility. Because of that EU made Sustainable Urban Mobility Plan (SUMP). Thanks to the zero-emission initiative formalized through the Sustainable Urban Mobility Plan. SUMP is based on the promotion of the use of electric vehicles to achieve the following goals: reducing greenhouse gas emissions, using public transport, promoting healthier lifestyles, applying new technologies to increase safety in sustainable cities and their transport network. Electric vehicles require appropriate infrastructure, which are charging stations for electric vehicles. There are currently 310 charging stations for electric vehicles in the Republic of Croatia, which are available to all users of electric vehicles. Their even distribution throughout the country is very important to achieve the satisfaction of electric vehicle users and increase their share at the state level. The research presented in this paper analyzes the share and distribution of charging stations for electric vehicles in regions and important cities in the Republic of Croatia. Also, methods for data analysis were used in the analysis: variance and clustering. These methods will provide insight into the concentration and distribution of charging stations at the state level and in which areas they are underrepresented. Information on locations and key characteristics was obtained through the website of the service provider: puni.hr and hep.hr.

KEYWORDS: electric vehicle; charging station; sustainable urban mobility plan; zero greenhouse gas emission

SADRŽAJ

1. UVOD	7
2. STRATEGIJE PROVOĐENJA ODRŽIVE MOBILNOSTI	4
3. TEHNIČKO – TEHNOLOŠKE ZNAČAJKE ELEKTRIČNIH VOZILA.....	10
3.1. PLUG-IN HIBRIDNA ELEKTRIČNA VOZILA	10
3.2. BATERIJSKA ELEKTRIČNA VOZILA	12
3.3. ELEKTRIČNA VOZILA U REPUBLICI HRVATSKOJ	14
4. TEHNIČKO – TEHNOLOŠKE ZNAČAJKE JAVNIH PUNIONICA ZA ELEKTRIČNA VOZILA	19
4.1. STANDARDI ZA PUNIONICE ZA ELEKTRIČNA VOZILA	19
4.2. VRSTE PRIKLUČAKA.....	20
4.3. POSLOVNI MODELI KORIŠTENJA PUNIONICA	25
4.4. UTJECAJ NA ELEKTRIČNU MREŽU	26
5. ANALITIČKI OKVIR ZA PROCJENU RASPROSTRANJENOSTI PUNIONICA ZA ELEKTRIČNA VOZILA	28
5.1. ANALIZA PREMA ODABRANIM GRADOVIMA	28
5.2. ANALIZA PREMA ŽUPANIJAMA (REGIJAMA).....	34
5.3. METODE ZA ANALIZU PODATAKA.....	37
5.3.1. VARIJANCA	38
5.3.2. METODA KLASTER ANALIZE (GRUPIRANJE).....	38
6. REZULTATI ANALIZE S PRIJEDLOGOM POBOLJŠANJA MREŽE PUNIONICA ZA ELEKTRIČNA VOZILA U RH	40
6.1. REZULTATI ANALIZE PO GRADOVIMA	40
6.2. REZULTATI ANALIZE PO ŽUPANIJAMA (REGIJAMA)	44
7. ZAKLJUČAK	48
LITERATURA.....	51
POPIS SLIKA	54
POPIS TABLICA.....	55
POPIS PRILOGA	56
PRILOZI	57

1. Uvod

U cilju očuvanja zdravlja i okoliša Europska unija je odlučila pokrenuti projekt Plana Održive Urbane Mobilnosti (POUM). Cilj POUM je smanjiti emisije stakleničkih plinova uzrokovanih cestovnim prometom za 90% do 2050. godine. Električna vozila predstavljaju najbolji mogući način u ostvarenju tog cilja u području cestovnog prometa. [1] Fokus plana je na korisnicima za razliku od tradicionalnog načina planiranja prometa koji je usmjeren na povećanje kapaciteta prometne infrastrukture te povećanja brzine putovanja. POUM prvenstveno potiče optimalno korištenje prometne infrastrukture odnosno potiče korištenje javnog gradskog prijevoza kako bi se smanjio broj osobnih vozila na prometnicama.

Električna vozila su temelj za provođenja dugoročne strategije održive mobilnosti zbog čega se auto-industrija sve više orijentira prema njima. Temelj provođenja strategije održive ili zelene mobilnosti je uvođenje električnih vozila čiji je glavni ograničavajući faktor razina njihove autonomije.

Punionice za električna vozila su posebno označena i postavljena mjesta na prometnoj infrastrukturi koja služe za napajanje električnih automobila strujom iz električne mreže. Punionice za električna vozila kao okosnica održive mobilnosti sve su više prisutnija. Prema Međunarodnoj agenciji za energiju u Europi je 2019. godine bilo 862 118 punionica. Dosadašnja istraživanja o punionicama i njihovoj distribuciji prikazala su optimalnu distribuciju punionica na gradskoj i nacionalnoj razini u Italiji. Istraživanje na gradskoj razini prikazuje optimalne lokacije u odnosu na kretanje građana u urbanom području grada Bolzana, dok se na nacionalnoj razini prikazuje optimalne lokacije punionica na cestovnoj mreži Italije. [2] Optimalnim postavljanjem punionica postiže se veće zadovoljstvo korisnika i bolje planiranje iskoristivosti autonomije vozila .

Tema rada je usmjerena prema statističkoj analizi koncentracije punionica električnih vozila na području većih gradova RH, te na cestovnim prometnicama koje ih međusobno spajaju. Inicijalno istraživanje će pružiti pregled razine autonomije najzastupljenijih modela električnih vozila, te proračun prosječnog broja ostvarenih kilometra pri kojem se treba ostvariti pristup punionici. Cilj rada je izdvojiti gradove, županije i regije koje imaju nezadovoljavajući

koncentraciju punionica u usporedbi s prosjekom na razini RH. Očekivani rezultati trebaju ukazati na slabiju koncentraciju punionica u manje razvijenim dijelovima RH.

Rad počinje uvodom u problematiku. Objasnjeni su osnovni pojmovi vezani za električna vozila i punionice te je ukratko opisan Plan održive urbane mobilnosti. Navedena je problematika, cilj rada i očekivani rezultati.

U drugom poglavlju opisane su nove mjere i strategije za provođenje Plana održive urbane mobilnosti (POUM). POUM je strateški plan osmišljen kako bi zadovoljio potrebe građana za mobilnošću, a u isto vrijeme se brinuo za zaštitu okoliša i smanjenja emisija stakleničkih plinova. Potenciranje korištenja električnih vozila su jedna od najboljih opcija za ostvarenje tog cilja. Navedene su osnovne karakteristike i faze provedbe plana kako bi se ostvarila zelena mobilnost u Europi i svijetu.

Treće poglavlje donosi opis glavnih karakteristika i osnovnih dijelova električnih vozila. Navedena je osnovna podjela najzastupljenijih električnih vozila u svijetu. U posebnom potpoglavlju pod nazivom „Električna vozila u Republici Hrvatskoj“ navedeni su statistički podaci o trenutačnoj zastupljenosti električnih vozila u RH. Prikazani su podaci koji ukazuju na broj godišnje registriranih električnih vozila od 2007. do 2020. godine.

Četvrto poglavlje obuhvaća infrastrukturu za električna vozila. Predstavlja podjelu punionica na punionice s izmjeničnom i istosmjernom strujom, te ono koje kombiniraju ta dva pristupa. Daje se uvid u načine rada svake od punionica i mogućnosti njihovog korištenja. Objasnjena je standardizacija priključaka ostvarena prema europskom i američkom i japanskom tržištu. Objasnjeno je na koji način se punionice mogu koristiti u RH i koji su pružatelji usluge punjenja. Na kraju poglavlja ukratko je odrađena analiza utjecaja korištenja punionica na električnu mrežu.

U petom poglavlju pod nazivom „Analitički okvir za procjenu rasprostranjenosti punionica za električna vozila“ prikazano je trenutačno stanje koncentracije punionica po gradovima, županijama i regijama. Pomoću internet stranica pružatelja usluge (Hrvatski telekom i Hrvatska elektroprivreda) prikupljeni su podaci o broju punionica i priključaka u gradovima i između njih, te po županijama i regijama. U izrađenoj izvorišno-odredišnoj matrici prikazane su udaljenosti između gradova, broj punionica između gradova te prosječan potreban broj punjenja na svakoj

relaciji. Navedeni podaci potrebni su kako bi se došlo do rezultata analize, za koje su korištene dvije statističke metode: varijanca i grupiranje (klasterizacija). Varijanca predstavlja odstupanje podataka od srednje vrijednosti i daje nam uvid koji gradovi, županije i regija imaju manje punionica u odnosu na prosjek. Klasterizacija povezuje elemente koji imaju slične vrijednosti u skupine odnosno odvaja elemente u različite skupine tako da skupine budu što manje slične.

Šesto poglavlje obuhvaća rezultate analize provedene u prijašnjem poglavlju. Dobiveni rezultati jasnije prikazuje trenutnu opskrbljenost punionicama za električna vozila u RH. Pomoću metoda navedenih u petom poglavlju dobiveni su rezultati koji prikazuju koji gradovi, županije i regije trebaju intervenciju u smislu potrebe za izgradnjom dodatne infrastrukture za električna vozila u vidu punionica.

U zaključku, kao zadnjem poglavlju, rekapitulirani su podaci i rezultati dobiveni istraživanjem. Zajedno sa podacima o trenutnom broju vozila i broju punionica predstavljeni su prijedlozi za poboljšanje mreže punionica za električna vozila u RH. Analizirani su rezultati i navedene su potrebne za intervencijom po gradovima, županijama i regijama.

2. Strategije provođenja održive mobilnosti

Demografi predviđaju da će, zbog sve većeg razvoja gradova i urbanih područja, do 2030. godine 2/3 stanovništva živjeti u gradovima, a do 2050. čak preko 80% stanovništva. [2] Sve veće preseljenje ljudi u gradska područja ubrzavaju klimatske promjene, onečišćenje gradova i bolesti koje su direktno ili indirektno povezane s prometnim sustavom. Veći broj ljudi je povezan s većom potražnjom, a veća potražnja zahtjeva veći udio vozila i veću količinu obavljenog prijevoza što loše utječe na zdravlje, klimatske promjene i očuvanje okoliša. Iz tog razloga je Europska unija 2009. godine predstavila koncept Plana održive urbane mobilnosti (POUM), a čije su smjernice u prvom izdanju predstavljene 2013. godine. Plan održive urbane mobilnosti predstavlja strateški plan Europske unije koji je nadovezivanje na postojeću praksu u planiranju. Uzima u obzir participacijske, evaluacijske i integracijske principe u cilju zadovoljenja potreba stanovnika gradova za mobilnošću, u sadašnjosti i budućnosti, te kako bi se osigurala bolja kvaliteta života u gradovima i okolici. [3] Cilj održive mobilnosti je stvoriti održivi transportni sustav tako da se:

- Osigura dostupnost poslova
- Poboljša sigurnost i zaštita
- Smanji zagađenje, emisija štetnih stakleničkih plinova i potrošnja energije
- Poveća ekonomičnost i učinkovitost u transportu ljudi i robe
- Poveća aktivnost i kvaliteta gradskog života

Unaprjeđenjem Plana održive urbane mobilnosti Europska unija je 2019. godine donijela tzv. Zeleni plan ima za cilj do 2050. godine smanjiti emisiju stakleničkih plinova uzrokovanih prometom za 90% u odnosu na razinu iz 1990. godine s obzirom na to da je prometni sektor jedini koji u zadnjih 25 godina nije uspio smanjiti emisije stakleničkih plinova. [4] Europska unija predviđa da će do 2030. godine u EU biti 30 milijuna vozila sa smanjenim ili nultim emisijama uz 3 milijuna priključaka za punjenje. [5]

U cilju razvoja i unaprjeđenja prometa u RH Fakultet prometnih znanosti proveo je istraživanje pod nazivom „Razvoj planova održive urbane mobilnosti“ na kojem su uz pomoć GPS uređaja dobiveni podaci o prosječnoj duljini putovanja i brzini putovanja. Projekt istraživanje je odrađen u Gradu Zagrebu gdje je snimana cijela tramvajska mreža. Cilj istraživanja je bio stvoriti

temelj za poboljšanje usluge javnog gradskog prijevoza putnika. Istraživanjem je utvrđena prosječna brzina kretanja tramvaja koja je iznosila 12,4 km/h, koja je manja od prosječne brzine kretanja bicikla koja iznosi 14,5 km/h i osobnog automobila koja je 16,1 km/h u samom centru grada u vršno vrijeme tijekom dana. Rezultati ovog istraživanja utvrđuju smanjenu konkurentnost javnog gradskog prijevoza, ponajviše u odnosu na osobna vozila jer bicikli zbog svoje nulte štetnosti na okoliš predstavljaju dobru alternativu za prijevoz u centru grada.

Tablica 1. Razlike između tradicionalnog i održivog planiranja prometa

Tradicionalni način planiranja prometa u gradovima	Održivo planiranje prometa u gradovima
Naglasak na promet i prometnu infrastrukturu	Naglasak na korisnike prijevoza
Primarni ciljevi poboljšanja: kapacitet i brzina putovanja	Primarni ciljevi poboljšanja: pristupačnost i poboljšanje kvalitete života
Razvoj jednog načina prijevoza	Integrirani razvoj svih načina prijevoza uz poticanje održive mobilnosti
Kratkoročno i srednjoročno planiranje	Kratkoročno i srednjoročno planiranje uz dugoročnu viziju i strategiju
Planiranje koje je financijski zahtjevno	Racionalno financijsko planiranje
Domena inženjera prometa	Interdisciplinarni timovi za planiranje

Izvor: Rupperecht Consult (editor), Guidelines for Developing and Implementing a Sustainable Urban Mobility Plan, Second Edition, 2019.

Model Plana održive urbane mobilnosti temelji se na 8 prihvaćenih načela: [6]

1. Plan za održivu mobilnost u „funkcionalnom urbanom području“

Prvo načelo temelji se na definiranju tzv. „funkcionalnog urbanog područja“. Ovisno o lokalnom kontekstu to može biti grad sa svojom okružujućim prigradskim područjem, cijela policentrična regija ili neka druga definirana općina. Kako bi plan bio relevantan i sveobuhvatan obavlja se analizom dnevnih tokova ljudi i robe, te se tako definira „funkcionalno urbano područje“. Definicija područja se temelji na gustoći naseljenosti kako bi se identificirale urbane jezgre i tokova putovanja na posao čime se identificiraju zaleđa koja su povezana s jezgrama. Održivi prometni sustav je:

- Pristupačan i zadovoljava osnovne potrebe za mobilnost svih korisnika
- Odgovara na sve zahtjeve u smislu mobilnosti i prijevoznih usluga stanovnika, poduzeća i industrije i uravnotežuje ih
- Poboljšava integraciju različitih načina prijevoza
- Uravnotežuje ekonomsku održivost, društvenu pravednost i čuva zdravlje i okoliš
- Optimizira isplativost i učinkovitost
- Povećava sigurnost

2. Suradnja različitih institucija više zemalja

Razvoj i provođenje Plana održive urbane mobilnosti mora biti temeljeno na najvišoj razini suradnje između vlasti i institucija. Plan održive urbane mobilnosti mora biti temeljen na:

- Suradnja između sektora prilikom provođenja planova vezanih za promet, kako bi se osigurala dosljednost
- Komunikacija između različitih nadležnih tijela i razina vlasti (općina, županija, regija, država)
- Koordinacija s pružateljima prometnih usluga iz privatnog i javnog sektora

3. Uključivanje građana i drugih sudionika

Plan održive urbane mobilnosti usredotočen je na zadovoljavanje potreba ljudi u funkcionalnom urbanom području kao i tvrtki i institucija koje imaju sjedište u njemu. Aktivno uključuje građane u proces razvoja i provođenja planova. Rano i aktivno uključivanje građana omogućuje njihovo prihvaćanje i podršku u razvoju i provedbi planova.

4. Procjena sadašnjih i budućih svojstava

Plan održive urbane mobilnosti procjenjuje trenutne i buduće mogućnosti i svojstva prometnog sustava unutar funkcionalnog urbanog područja. Tako se dobiva uvid u postojeće stanje i određuju osnovice na kojima se planira napredak. Nakon toga se definiraju ciljevi u skladu s utvrđenom vizijom, te se definiraju pokazatelji učinka za svaki od tih ciljeva.

5. Definiranje dugoročnih vizija i jasnog plana provedbe

Plan održive urbane mobilnosti temeljen je na dugoročnoj prometnoj viziji razvoja cijelog funkcionalnog urbanog područja obuhvaćajući sve oblike i načine prijevoza: javni i privatni, teretni i putnički, motorizirani i nemotorizirani, u kretanju i u mirovanju te također uključuje uslugu i infrastrukturu.

6. Integrirani razvoj svih oblika prijevoza

Plan održive urbane mobilnosti promovira integrirani razvoj svih oblika prijevoza, ali daje prioritet rješenjima održive mobilnosti. Plan održive mobilnosti bavi se svim oblicima mobilnosti kao što su:

- Tradicionalni javni prijevoz kao i nove usluge dijeljenja
- Aktivna mobilnost (vožnja bicikla i hodanje)
- Intermodalnost
- Cestovna sigurnost
- Isporuka tereta i usluga
- Logistika
- Inteligentni transportni sustavi (ITS)

7. Organiziranje praćenja i procjene

Provedba plana održive urbane mobilnosti mora se temeljito pratiti. Napredak plana prati se i procjenjuje na temelju odabranih pokazatelja uspješnosti. Praćenje razvoja i procjena provedbe mjera mogu predložiti reviziju ciljeva i, ako je potrebno, korektivne mjere u fazi provedbe plana.

8. Osiguranje kvalitete

Plan održive urbane mobilnosti ključan je dokument u razvoju urbanog područja. Važno je osigurati kvalitetu podataka i upravljanja rizicima tijekom provedbe zahtijevaju posebnu pozornost, a mogu se povjeriti vanjskim ocjenjivačima kvalitete ili drugoj državnoj instituciji.



Slika 1. Proces razvoja i provedbe Plana održive urbane mobilnosti

Izvor: Rupprecht Consult (editor), Guidelines for Developing and Implementing a Sustainable Urban Mobility Plan, Second Edition, 2019.

Glavne karakteristike Plana održive urbane mobilnosti mogu se svrstati u 12 koraka koji su svrstani u 4 faze „Ciklusa POUM“: (Slika 1.)

1. Prva faza naziva se „Priprema i analiza“ (engl. Preparation and analysis) i cilj je pripremiti Plan održive urbane mobilnosti tako što će dati odgovore na pitanja: Koji su naši resursi?, Koji je kontekst našeg planiranja? i Koje su naše glavne prednosti i nedostaci?
2. Druga faza naziva se „Razvoj strategije“ (engl. Strategy development) čiji je cilj utvrditi buduće planove u suradnji s građanima. Treba dati odgovore na pitanja: Koje su naše mogućnosti u budućnosti?, Kakav grad želimo? i Kako ćemo odrediti uspješnost?
3. Treća faza naziva se „Planiranje mjera“ (engl. Measure planning) i u ovoj fazi smo usredotočeni na ostvarivanje planiranih ciljeva. Daje odgovore na pitanja: Što ćemo konkretno poduzeti?, Što će biti potrebno i tko će što raditi? i Jesmo li spremni?

4. Četvrta ujedno i završna faza nosi naziv „Provedba i praćenje“ (engl. Implementation and monitoring) i ona obuhvaća sustavno praćenje, vrednovanje i komunikaciju. Odgovara na pitanja: Kako možemo dobro upravljati?, Kako nam ide? i Što smo naučili?

3. Tehničko – tehnološke značajke električnih vozila

Električna vozila sve su više zastupljena u današnjem svijetu i predstavljaju jedno od rješenja za ostvarenje nulte emisije stakleničkih plinova. Električna vozila se u odnosu na konvencionalna vozila u mnogo toga razlikuju. Najveću razliku predstavlja pogon. Konvencionalna vozila pokreću motori s unutarnjim izgaranjem dok električna vozila pogoni elektromotor kao primarni ili sekundarni pogonski izvor. [7] Postoje tri različite kategorije vozila na električni pogon: [8]

1. Hibridna električna vozila (engl. Hybrid Electric Vehicles, HEV)
2. Plug-in hibridna električna vozila (engl. Plug-in Hybrid Electrical Vehicles, PHEV)
3. Baterijska električna vozila (engl. Battery Electric Vehicles, BEV)

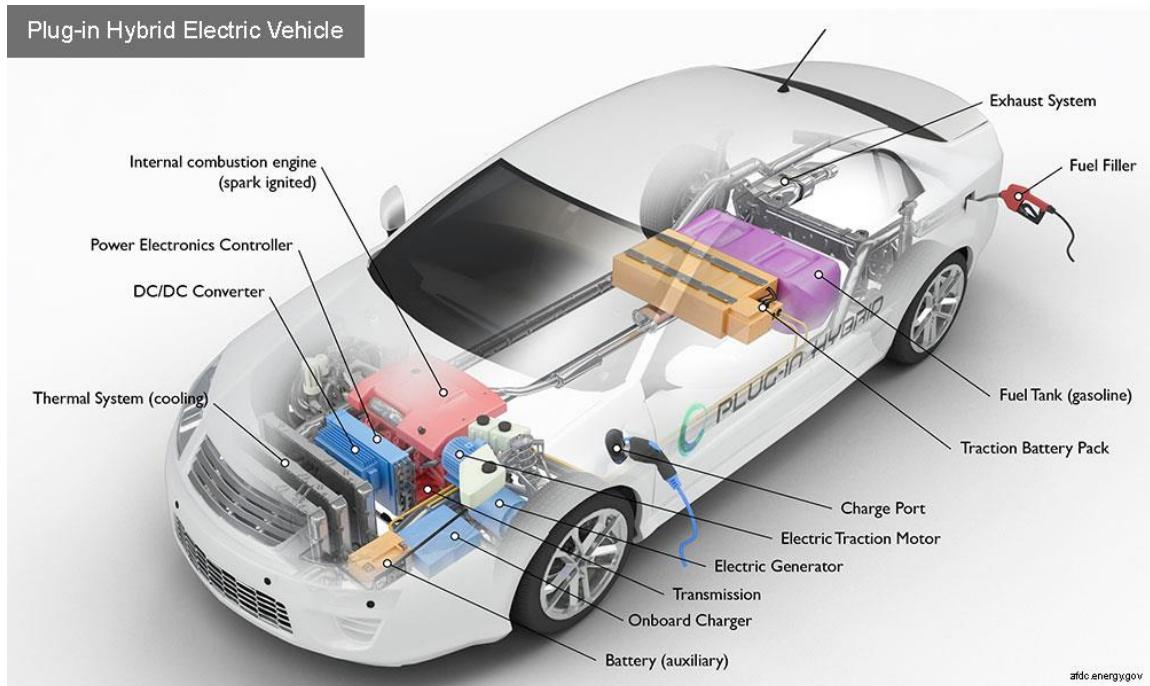
U ovom radu uzeta su u obzir Plug-in hibridna električna vozila i baterijska električna vozila jer se ona napajaju iz vanjske mreže punionica dok se Hibridna električna vozila napajaju regenerativnim kočenjem.

3.1. Plug-in hibridna električna vozila

Plug-in hibridna električna vozila su hibridna vozila koja kombiniraju motor s unutarnjim izgaranjem i elektromotor kapaciteta do otprilike 18 kWh koja se može napajati pomoću utičnice izravno iz električne mreže ili se pomoću regenerativnog kočenja. [9] Iako PHEV imaju motor s unutarnjim izgaranjem, kada ih se koristi za kraće udaljenosti na koje se može stići samo uporabom električne energije iz elektromotora emisija štetnih plinova im je nula. Kada se koristi kombinacija elektromotora i motora s unutarnjim izgaranjem smanjuje se emisija ispušnih plinova za 15 – 55%. [10]

Najprodavaniji plug-in hybrid na europskom tržištu je Mitsubishi Outlander PHEV koji je samo u 2020. godini prodan u 26 673 primjeraka, a do prosinca 2020. ukupno je prodano preko 270 000 primjeraka ovog vozila. [11] Mitsubishi Outlander PHEV posjeduje bateriju kapaciteta 13,8 kWh koja mu omogućuje autonomiju od otprilike 57 km. Udaljenost od Zagreba do Karlovca

iznosi oko 53 km što znači da bi se s ovim vozilom moglo svaki dan putovati iz Karlovca do Zagreba na posao, napuniti vozilo u Zagrebu tijekom radnog vremena i vratiti se nazad u Karlovac bez uporabe motora s unutarnjim izgaranjem. Iz tog razloga Plug-in hibridna vozila su vrlo dobra alternativa klasičnim konvencionalnim vozilima jer za kraće udaljenosti je moguće koristiti samo elektromotor što uvelike pomaže u ostvarenju Plana održive urbane mobilnosti, zaštiti okoliša i smanjenju emisije stakleničkih plinova.



Slika 2. Konfiguracija Plug-in hibridnih vozila

Izvor: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-plug-in-hybrid-electric-cars-work> (pristupljeno 3.8.2021.)

Osnovni dijelovi Plug-in hibridnih vozila su: (Slika 2.) [12]

- Akumulator –osigurava električnu energiju za pokretanje vozila prije uključivanja baterije te također napaja ostalu opremu vozila
- Priključak za napajanje – omogućuje vozilu da se priključi na vanjski izvor napajanja kako bi se ostvarilo punjenje baterije
- DC/DC pretvarač – ovaj uređaj pretvara istosmjernu struju visokog napona iz baterije u niskonaponsku istosmjernu struju koja je potrebna za pokretanje dodatne opreme vozila i punjenje akumulatora

- Električni generator – služi za pretvaranje energije tijekom kočenja rotirajućih kotača u električnu energiju koju sprema u bateriju
- Električni vučni motor – ovaj motor pokreće kotače vozila koristeći snagu iz baterije.
- Ispušni sustav – služi za kanaliziranje ispušnih plinova iz motora kroz ispušne cijevi. Tro-smjerni katalizator dizajniran je kako bi se smanjili ispušni plinovi iz motora.
- Otvor za punjenje goriva – mlaznica iz spremnika za gorivo priključuje se na otvor za punjenje goriva koji je povezan sa spremnikom kako bi se napunio
- Spremnik goriva (benzin) – u ovom spremniku skladišti se gorivo sve dok ne zatreba
- Motor s unutarnjim izgaranjem (benzinski) – kod ovog motora se gorivo ubrizgava u cilindar gdje se miješa sa zrakom te zatim pali iskrom svjeće
- Ugrađeni punjač – služi za pretvaranje izmjenične struje iz vanjskog izvora isporučenu putem priključka za napajanje u istosmjernu za punjenje baterije
- Upravljač energetske elektronike – upravlja protokom električne energije koju isporučuje baterija kontrolirajući pritom brzinu električnog motora i okretnog momenta koji proizvodi
- Toplinski sustav (hlađenje) – održava radnu temperaturu elektromotora, motora, energetske elektronike i drugih elemenata
- Baterija – pohranjuje električnu energiju koji koristi elektromotor za pogon
- Transmisija – služi za prijenos mehaničke snage motora i/ili elektromotora za pogon kotača

3.2. Baterijska električna vozila

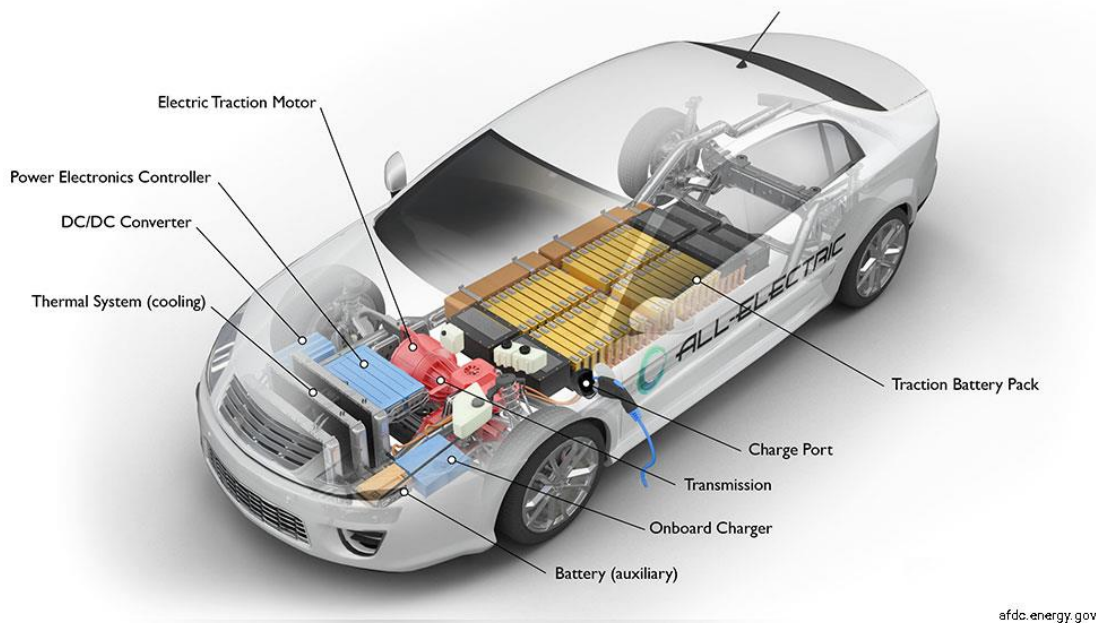
Najvažnija razlika između baterijskih električnih vozila i plug-in hibridnih vozila je u tome što baterijska električna vozila koriste isključivo bateriju i elektromotor za pogon. Iz tog razloga BEV su najbolje rješenje za ostvarenje smanjenja emisije stakleničkih plinova i za očuvanje okoliša. Najveći problem s kojim se susreću električna vozila su baterije koje zauzimaju veliku površinu, a istovremeno omogućuju manju autonomiju u odnosu na kilometražu koju

konvencionalna vozila mogu prijeći s jednim spremnikom goriva. Trenutačno najveći kapacitet baterije (95 kWh) i autonomiju (624 km) ima Tesla Model S. [13]

Osnovni dijelovi baterijskih električnih vozila: (Slika 3.) [14]

- Akumulator – u električnom vozilu služi za napajanje dodatne opreme vozila
- Priključak za napajanje – omogućuje vozilu da se priključi na vanjski izvor napajanja kako bi se ostvarilo punjenje baterije
- DC/DC pretvarač – ovaj uređaj pretvara istosmjernu struju visokog napona iz baterije u niskonaponsku istosmjernu struju koja je potrebna za pokretanje dodatne opreme vozila i punjenje akumulatora
- Električni vučni motor – ovaj motor pokreće kotače vozila koristeći snagu iz baterije
- Ugrađeni punjač – služi za pretvaranje izmjenične struje iz vanjskog izvora isporučenu putem priključka za napajanje u istosmjernu za punjenje baterije. Komunicira s opremom za punjenje i prati karakteristike baterije (napon, struja, temperatura i stanje napunjenosti tijekom punjenja)
- Upravljač energetske elektronike – upravlja protokom električne energije koju isporučuje baterija kontrolirajući pritom brzinu električnog motora i okretnog momenta koji proizvodi
- Toplinski sustav (hlađenje) – održava radnu temperaturu elektromotora, motora, energetske elektronike i drugih elemenata
- Baterija – pohranjuje električnu energiju koji koristi elektromotor za pogon
- Transmisija – služi za prijenos mehaničke snage elektromotora za pogon kotača

All-Electric Vehicle



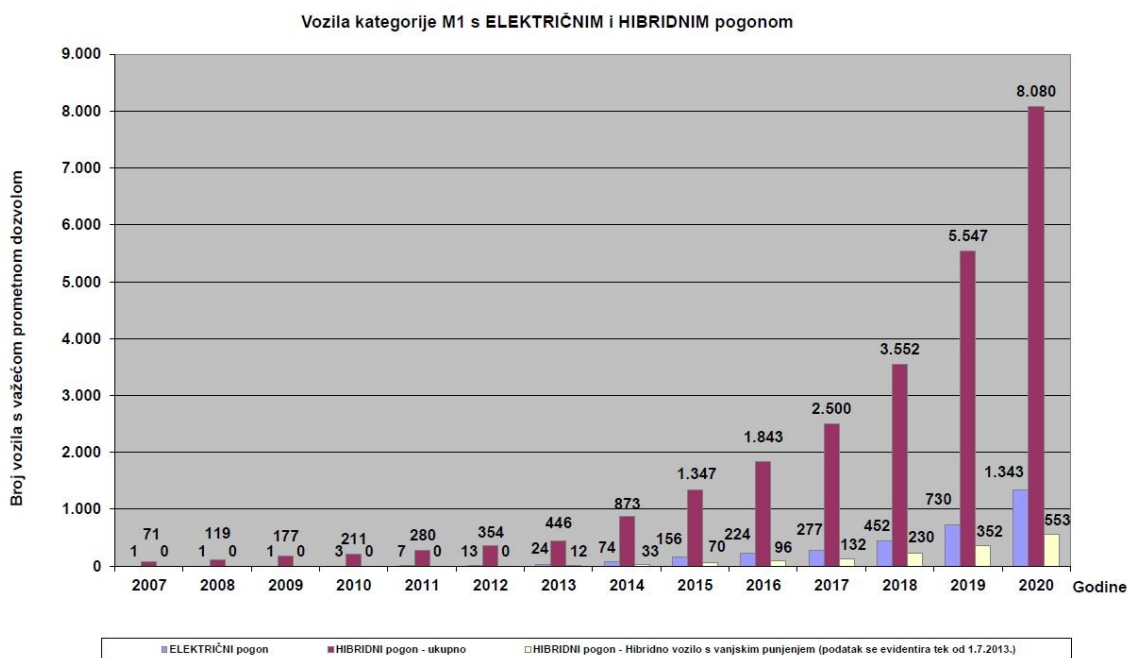
Slika 3. Konfiguracija baterijskog električnog vozila

Izvor: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work> (pristupljeno 4.8.2021.)

3.3. Električna vozila u Republici Hrvatskoj

Nakon 1.7.2013. godine i ulaska u Europsku uniju, Republika Hrvatska priključila se Planu održive urbane mobilnosti kako bi zajedno s Europskom unijom, ali i ostatkom svijeta zaštitila okoliš i smanjila onečišćenje zraka od stakleničkih plinova. Prema podacima koje je obavio Energetski institut Hrvoje Požar, u RH godišnja stopa emisije CO₂ u prometu iznosi oko 5,6 milijuna tona, od čega cestovni promet uzrokuje oko 3 milijuna tona što je 54%. [15] Prema podacima Državnog zavoda za statistiku u RH je 2019. godine bilo registrirano 2 275 027 vozila od kojih osobnih vozila 1 724 900 odnosno 76%. [16] Dok prema podacima Europskog opservatorija za alternativna goriva u 2020. godini imamo 1 665 391 osobno vozilo. [17] Prosječna starost vozila u RH iznosi 12 godina te prosječno osobno vozilo emitira oko 3 tona stakleničkih plinova. U usporedbi s tim hibridna vozila emitiraju prosječno 1 tonu CO₂, dok električna vozila ne emitiraju ništa te ne stvaraju buku osim buku koju proizvode pneumatici. Iz tog razloga je Ministarstvo za zaštitu okoliša i prirode i Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost u

suradnju s RH pokrenuo projekt „Vozimo EKOnomično“. Kroz ovaj projekt se građanima i tvrtkama dodjeljuju bespovratna sredstva do čak 40% cijene vozila. Za Plug-in hibridna vozila osigurava se do 40 000 kn dok za električna vozila do 70 000 kn. U razdoblju od 2014. do 2020. godine ukupno je sufinancirano 153 milijuna kuna za nabavu više od 4500 energetski učinkovitih vozila. Za 2021. godinu osigurano je 105 milijuna kuna za sufinanciranje ovakvog oblika prijevoza. Do 24.6.2021. godine zaprimljeno je 1496 zahtjeva za sufinanciranje 1983 vozila te time iskorišten cijeli iznos osiguran za sufinanciranje. [15]



Slika 4. Električna vozila registrirana u RH (2007. - 2020.)

Izvor: <https://www.cvh.hr/gradani/tehnicki-pregled/statistika/> (pristupljeno 20.8.2020.)

Prema podacima dobivenim od Centra za vozila Hrvatske (CVH) u RH je u 2012. godini bilo registrirano 13 električnih vozila, a 2020. ih je bilo 1343 uz 553 plug-in hibridna vozila. (Slika 4.) Prema popisu najčešćih električnih i plug-in hibridnih vozila u RH je najviše električnih vozila Hyundai Kona (162), Škoda Citigo (150), Renault Zoe (110) i BMW i3 (108) dok je jedini na tom popisu od plug-in hibridnih vozila već spomenuti Mitsubishi Outlander kojih ima 68.

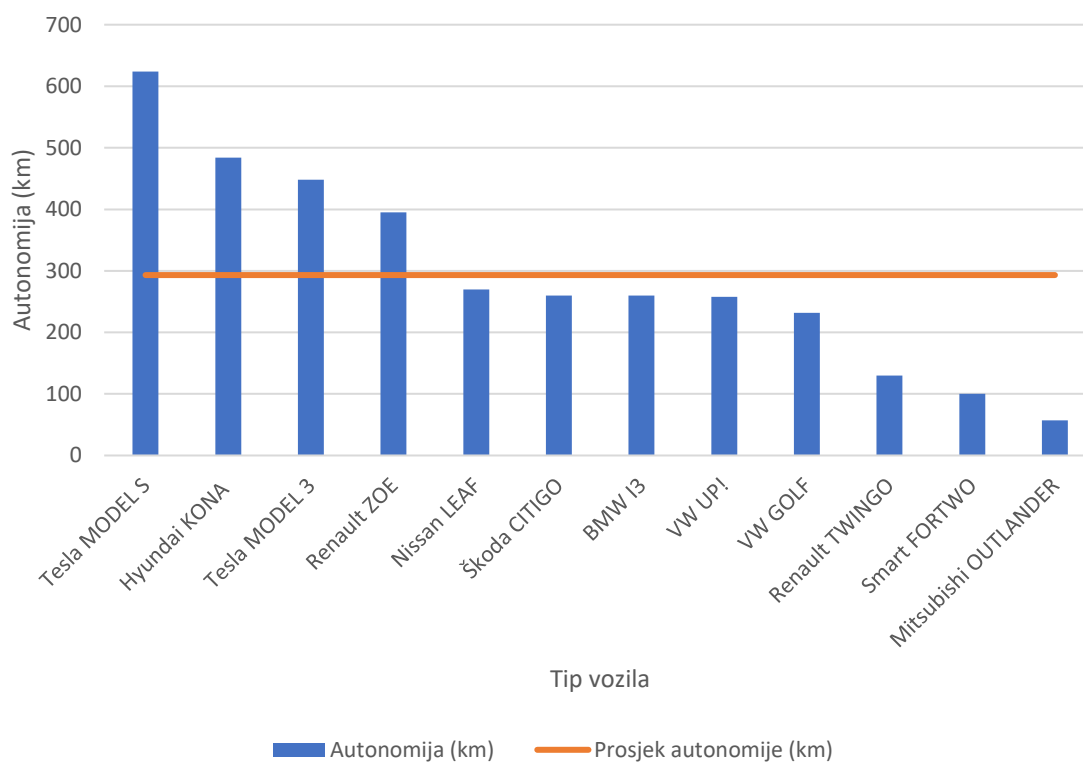
Tablica 2. Popis najčešćih električnih i plug-in hibridnih vozila u Republici Hrvatskoj 2020. godine

Naziv vozila	Tip	Max. Snaga (kW)	Kapacitet baterije (kWh)	Max. Brzina (km/h)	Autonomija (km)	Potrošnja (Wh/km)	Vrijeme punjenja	Broj vozila u RH 2020
Hyundai KONA	Električni	150	64	167	484	132	1h 15min (50kW)	162
Škoda CITIGO	Električni	61	32,3	130	260	126	1h (40kW)	150
Renault ZOE	Električni	80	52	135	395	172	30 min (50kW - 150km)	110
BMW I3	Električni	125	42,2	150	260	165	45 min (50kW)	108
VW UP!	Električni	61	36,8	130	258	145	48 min (50kW)	94
Nissan LEAF	Električni	110	40	144	270	171	60 min (50kW)	91
Renault TWINGO	Električni	60	23	135	130	164	1h 15min (22kW)	72
Mitsubishi OUTLANDER	Plug-in hybrid	130	13,8	135	57	169	25min	68
VW GOLF	Električni	100	35,8	150	232	168	36min (50kW)	64
Smart FORTWO	Električni	60	17,6	130	100	176	4h 30min	61
Tesla MODEL 3	Električni	239	55	225	448	122	21min (170kW - 260km)	52
Tesla MODEL S	Električni	500	95	250	624	136	23min (250kW - 444km)	47

Izvor: Centar za Vozila Hrvatske i <https://ev-database.org/> (pristupljeno 16.5.2021.)

Najprodavaniji električni osobni automobil u RH je Hyundai Kona, prodan u 162 primjerka, ima snagu motora od 150 kW, autonomijom od 484 km i brzinom punjenja od jednog sata i 15

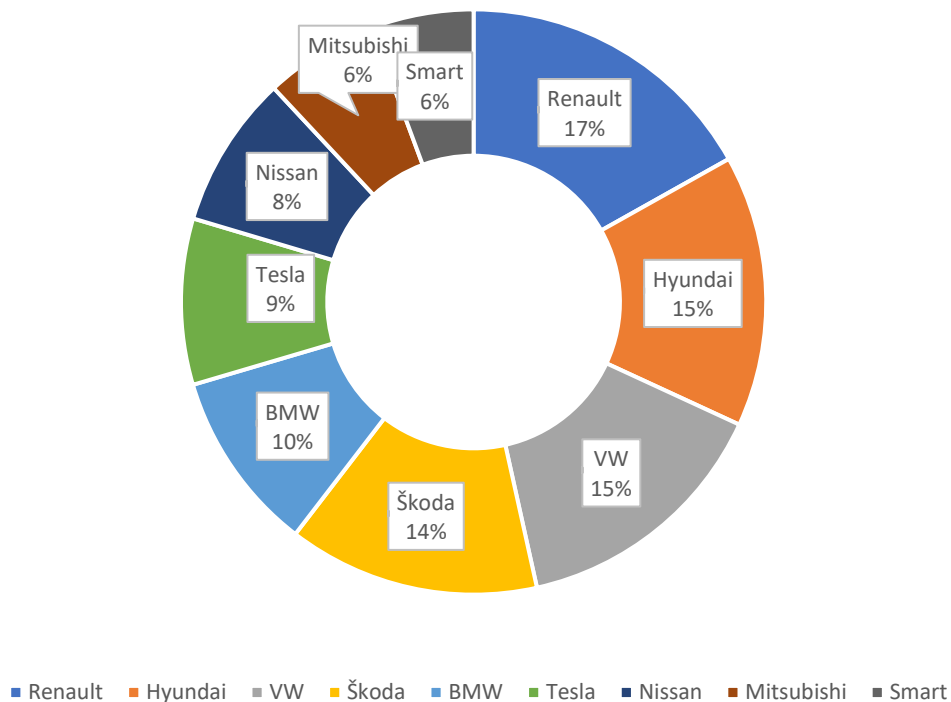
minuta može se dobiti za cijenu od 289 990,00 kn što uz bespovratna sredstva može biti do 219 990,00 kn. Usporedno s tim Hyundai Kona u standardnoj izvedbi s dizelskim motorom snage 145 kW košta oko 210 865,00 kn što je malo manje od 10 000 kn razlike. (Tablica 2.) [18] Ovaj podatak je izvrstan primjer kako je cijena električnih vozila dostigla cijenu konvencionalnih vozila i kako su električna vozila cjenovno pristupačnija za sve korisnike.



Slika 5. Autonomija najčešćih električnih vozila u RH

Izvor: Izradio autor

Autonomija je jedan od najvećih problema električnih automobila. Iako autonomija od 624 km, koju ima Tesla Model S nije mala i dalje je manja od konvencionalnih vozila. Narančasta linije na Grafikonu 1. prikazuje prosječnu autonomiju najčešćih električnih vozila u RH koja iznosi 293 km. (Slika 5.)



Slika 6. Najčešći marke električnih vozila u RH

Izvor: Izradio autor

Trenutačno su u RH najzastupljenija električna vozila francuskog proizvođača Renault-a sa 17% udjela električnih vozila, nakon njega slijede Hyundai i VW s 15%, Škoda s 14%, BMW s 10%, Tesla s 9%, Nissan s 8% i Mitsubishi i Smart s 6% udjela električnih vozila u RH. (Slika 6.)

Iako RH trenutno ima samo 1896 vozila koja imaju mogućnost punjenja iz vanjskog izvora energije i ima još puno mjesta za napredak i razvoj nove tehnologije važno je istaknuti i kako je u RH proizveden trenutačno električni automobil najboljih performansi. Tvrtka Rimac automobili proizvela je 2021. godine potpuno električni automobil Rimac Nevera sa snagom od 1.4 MW (1914 HP), kapacitetom baterije 120 kWh, maksimalnom brzinom od 412 km/h i ubrzanjem do 100 km/h za 1,97 s. Rimac Nevera (Slika 8.) posjeduje 4 elektromotora postavljenih na svaki kotač. [19]

4. Tehničko – tehnološke značajke javnih punionica za električna vozila

Razvojem električnih vozila nužno je osigurati potrebnu infrastrukturu, a razvoj infrastrukture potaknuti će ljude na kupnju električnih vozila. Električna punionica je izgrađeno mjesto na prometnoj infrastrukturi koja služi za opskrbljivanje vozila električnom energijom. Osim na prometnoj infrastrukturi punionice za električna vozila mogu biti izgrađene i u garažama trgovačkih centara i tvrtki čime omogućuju punjenje vozila tijekom boravka u trgovačkom centru ili tijekom radnog vremena. Jedna od najosnovnijih podjela punionica je prema načinu punjenja: [20]

- Punionice s izmjeničnom strujom (AC) – normalno (sporo) punjenje
- Punionice s istosmjernom strujom (DC) – brzo punjenje
- Kombinirane punionice (AC/DC) – izmjenična i istosmjerna struja

Brzina punjenja na svakoj od punionica ovisi o priključku koji je dostupan na toj punionici. Kako bi se omogućila uporaba punionica za električna vozila svugdje u svijetu odnosno da bi punionice bile jednake u svakom dijelu svijeta, potrebno ih je standardizirati.

4.1. Standardi za punionice za električna vozila

Postoje tri organizacije za standardizaciju punionica za električna vozila: (Tablica 3.)

- Society of Automotive Engineering, SAE
- CHAdeMO association
- International Electrotechnical Commission, IEC

Uz navedene organizacije, svjetski lider u proizvodnji električnih automobila, Tesla, razvio je privatni standard za svoja vozila. S obzirom na to da brzo punjenje omogućuje punjenje baterija za 40 - 120 minuta sve je više brzih punjača na javnim punionicama. Korisnicima je bitno što prije napuniti vozilo kako bi nastavili svoje putovanje, odnosno kako ne bi gubili previše vremena

čekajući dok se vozilo napuni. Iako brzi način punjenja omogućuje da se baterija napuni u kratkom vremenskom razdoblju, ovaj način punjenja najviše šteti baterijama. Prilikom brzog punjenja koristi se velika količina struje što dovodi do zagrijavanja baterije i smanjenja vijeka trajanja same baterije. Osim punjenja na javnim punionicama, moguće je osobno vozilo puniti i kod kuće. Takvo punjenje najčešće se koristi tijekom noći, kada je struja jeftinija, a proces punjenja traje 6-9 sati. Sporo punjenje putem normalne kućne utičnice je najpovoljnije za baterije jer ima najmanji štetni utjecaj. [21]

Tablica 3. Standardi za punjenje električnih vozila

Standard	Način punjenja	Maksimalna struja (A)	Maksimalna snaga (kW)
SAE	AC Način 1	12	1.44
		16	1.92
	AC Način 2	≥80	do 19,2
	DC Način 1	80	80
	DC Način 2	400	400
CHAdeMO	DC brzo punjenje	do 125	do 62,5
IEC	AC Način 1	16	11
	AC Način 2	32	22
	AC Način 3	63	43,5
	DC Način 4	400	350
Tesla	DC super brzo punjenje	340	136

4.2. Vrste priključaka

Jedna od glavnih podjela priključaka je na priključke za punjenje izmjeničnom (AC) i istosmjernom (DC) strujom. Vrste priključaka za punjenje električnih vozila: [22]

Naziv i ilustracija priključka	Opis
<p data-bbox="483 247 786 281">Tip 1 SAE J1772-2009</p>  <p data-bbox="354 814 1011 890">Izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/SAE_J1772 (pristupljeno 8.8.2021.)</p>	<p data-bbox="1060 348 1382 789">Jednofazni priključak izmjenične struje razvijen od japanske tvrtke Yazaki, najčešće je korišten u sjevernoj Americi i Japanu. Namijenjen je za Načine 1 i 2 prema SAE standardu. Omogućuje maksimalni protok struje od 32A i 7,4 kW snage</p>
<p data-bbox="597 909 672 942">TIP 2</p> 	<p data-bbox="1060 963 1377 1404">Priključak Tip 2 izmjenične struje, ili popularnije nazvan Mennekes, po tvrtki iz Njemačke koja ga je proizvela. Jednofazni ili trofazni priključak najčešće korišten u Europi omogućuje maksimalni protok struje od 63 A za trofazni i 70 A za jednofazne</p>

TIP 3C



Izvor: <https://www.evchargeking.com/en/t3-charging-cables-for-france> (pristupljeno 8.8.2021.)

Ovaj priključak za izmjeničnu struju je najviše korišten u Francuskoj i na nekim mjestima u Italiji. Razlog tome je što francuski zakon ne dozvoljava da javne električne utičnice nemaju poklopac koji sprječava dodir s kontaktnim iglama. No ovaj priključak nema veliku primjenu s obzirom na to da većina Europe koristi Tip 2 priključak. Ovaj tip ima nekoliko podvrsta koje su jednofazne ili trofazne, a najčešća je Tip 3C koji omogućuje Način 2 punjenja prema IEC standardu.

CHAdeMO



Izvor: https://dydencables.com/EV_Quick_Charger.html (pristupljeno 8.8.2021.)

Priključak koji je prvi ponudio uslugu brzog punjenja sa snagom do 62,5 kW i strujom od 125A. Ista japanska udruga 5 tvrtki je 2018. godine razvila novi priključak nazvan CHAdeMO 2.0 koji omogućuje punjenje snagom do 400 kW.

CCS1 i CCS2 Combo priključci



Type 2 CCS plug and socket = Type 2 (or Mennekes) AC plug + CCS



Type 1 CCS plug and socket: Type 1 (or J1772) AC plug + CCS

Izvor: <https://thedriven.io/2018/12/10/what-is-ccs-charging/>

(pristupljeno 9.8.2021.)

CCS Combo – engl. Combined Charging System, je priključak koji zapravo predstavlja unaprijeđene priključke Tip 1 i Tip 2. Ovaj priključak omogućuje brzo punjenje istosmjernom strujom uz pomoć dva dodatna konektora ili normalno punjenje izmjeničnom strujom. Na europskom tržištu koristi se Tip 2 s dodatne dvije kontaktne igle (CCS2 Combo) dok se na američkom i japanskom tržištu koristi Tip 1 s dodatne dvije kontaktne igle (CCS1 Combo).

Teslin priključak za europsko (lijevo) i američko tržište (desno)



Izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_Supercharger
(pristupljeno 9.8.2021.)

ovaj priključak je razvila kompanija Tesla Motors za svoja vozila i može se koristiti isključivo za punjenje Teslinih električnih vozila. Teslin priključak omogućuje brzo punjenje do 250 kW snage.

Wallbox



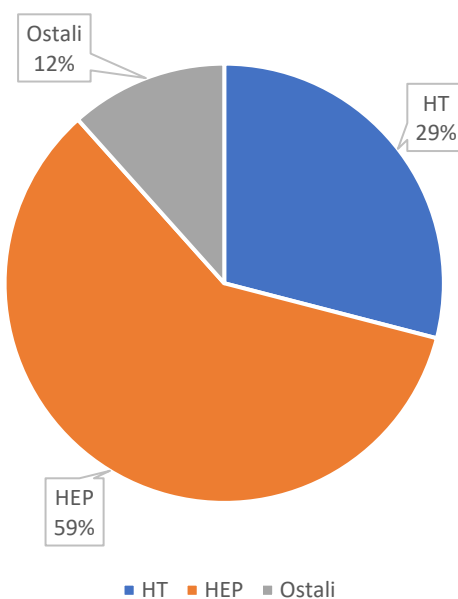
Izvor: <https://moon-power.hr/privatni-korisnici/moon-wallbox-community/> (pristupljeno 9.8.2021.)

Uz naveden priključke koji se koriste na javnim punionicama za električna vozila postoji mogućnost i punjenja kod kuće putem obične kućne utičnice (jednofazne ili trofazne) ili uz pomoć tzv. Wallbox-a. Punjenje putem obične utičnice je najbolje za vozilo, no istovremeno je i najsporije. Punjenje putem Wallbox-a omogućuje brže punjenje vozila kod kuće u odnosu na običnu

	utičnicu. Wallbox omogućuje punjenje snagom do 22 kW.
--	---

4.3. Poslovni modeli korištenja punionica

Punionice za električna vozila mogu biti, kako je navedeno, javne ili privatne. Od privatnih mogu biti privatne kod kuće (obična utičnica ili Wallbox), u drugim ustanovama kao što su npr. hoteli (moguće korištenje samo gostima i radnicima hotela) itd. Javne punionice su obično u vlasništvu nekog od pružatelja usluge, ali mogu biti i općenito javne koje može koristiti svatko tko ima električno vozilo. U RH trenutno postoje dva pružatelja usluge punjenja na električnim punionicama, a to su Hrvatski Telekom (HT) i Hrvatska elektroprivreda (HEP).



Slika 7. Vlasnici punionica u RH

Izvor: Izradio autor

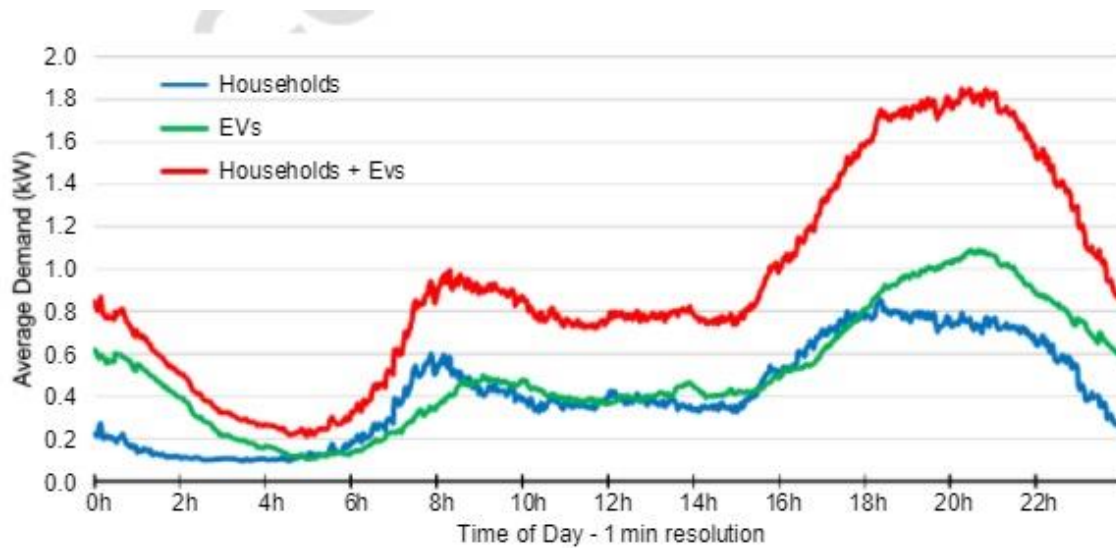
Prema podacima koje pružaju internet portali za pronalazak punionica (navedeni su u poglavlju 6.) Hrvatska elektroprivreda (HEP) posjeduje u svojem vlasništvu 59% punionica u RH, Hrvatski telekom 29% dok je ostalih 12% uglavnom u vlasništvu različitih privatnih tvrtki. (Slika 7.)

Nakon kupnje električnog vozila, vlasnik mora potpisati Ugovor o pravu pristupa mreži javno dostupnih punionica. Moguće je odabrati i više od jednog pružatelja usluge. Prilikom potpisivanja ugovora potrebno je odabrati način pristupa mreži. Osnovne metode pristupa javnim punionicama su identifikacija RFID (engl. Radio-frequency identification) karticom, prijava mobilnim uređajem (SMS ili aplikacija) i metoda priključi i puni (engl. Plug and Charge)

Prije svakog korištenja punionice potrebno je obaviti identifikaciju uz pomoć jedne od navedenih metoda. [23] Usluga punjenja na javnim punionicama u početku je bila besplatna no u zadnje vrijeme je počela naplata punjenja po kWh. Kako u RH trenutno postoje dva pružatelja usluge punjenja električnih vozila ima razlike i u cijeni. HEP trenutačno još uvijek ne naplaćuje uslugu punjenja na svojim punionicama, dok Hrvatski Telekom postepeno uvodi naplatu punjenja. Tako prema cjeniku Hrvatskog Telekoma cijena punjenja na punionicama, na kojima se naplaćuje punjenje, za jedan kWh iznosi od 0,15 do 2,60 kn. [24] Što znači da bi za punjenje najčešćeg električnog vozila u RH, Hyundai Kone, od 0 do 100% koštalo od 9,6 do 166,4 kn.

4.4. Utjecaj na električnu mrežu

Punjenje električnih automobila bi moglo imati negativan utjecaj na distribucijsku mrežu električne energije. Povećanjem broja električnih vozila povećavaju se zahtjevi za električnom energijom. Ako se pretpostavi da se većina vozila puni u popodnevni satima, a glavni razlog tome je što ljudi uglavnom pune svoja vozila kada dođu kući poslije posla uz to najveća uporaba električne energije je u popodnevni i večernji satima, a pogotovo radi korištenja javne gradske rasvjete. Predviđa se da će u RH uporaba električne energije porasti za 70,1% do 2050. u odnosu na 2014. godinu. [25] Takva uporaba električne energije mogla bi uzrokovati tehničke probleme na distribucijskoj mreži jer će stvarni zahtjevi za električnom energijom premašiti predviđene. Prosječno kućanstvo koristi oko 1 kW električne energije, a prema Slici 8. vidljivo je kako uporaba kućanstva i punjenja električnog automobila premašuje tu vrijednost. Jedan od mogućih rješenja je i uporaba Fotonaponskih punionica koje bi mogla i skladištiti energiju dobivenu iz sunčeve svjetlosti i tako smanjiti opterećenje na električnoj mreži. [26]



Slika 8. Zahtjevi za električnom energijom

Izvor: J. Quiros-Tortos, L. Ochoa and T. Butler, "How Electric Vehicles and the Grid Work Together: Lessons Learned from One of the Largest Electric Vehicle Trials in the World," in IEEE Power and Energy Magazine

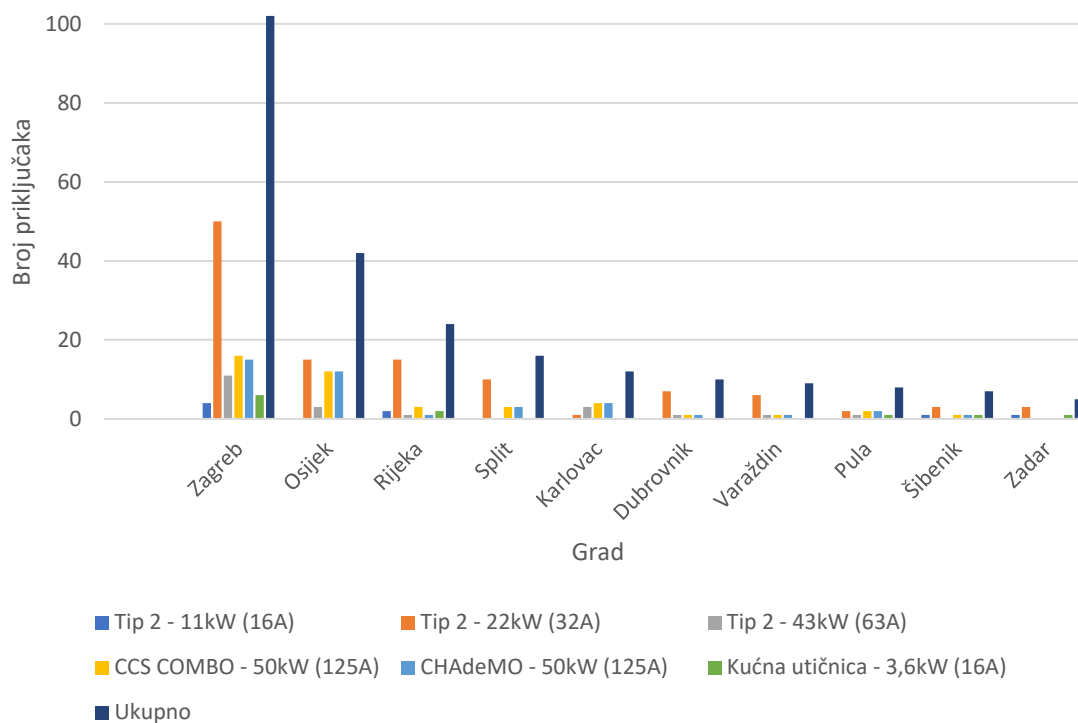
5. Analitički okvir za procjenu rasprostranjenosti punionica za električna vozila

U svrhu analize rasprostranjenosti punionica za električna vozila u RH korištene su internetske stranice www.puni.hr i <https://elen.hep.hr/>. Kao vlasnik Internet stranice www.puni.hr navodi se trgovačko društvo Etrek d.o.o., sa sjedištem u Ljubljani, Slovenija. Kreiran je u suradnji s Hrvatskim telekomom za područje RH. Portal je kreiran kako bi omogućio besplatno informiranje korisnika električnih vozila o dostupnosti punionica u RH, a s obzirom na to da je u vlasništvu slovenske tvrtke istodobno omogućuje pristup i punionicama u Sloveniji. Svrha je olakšati korisnicima pristup punionicama. Način na koji se to ostvaruje je pružanje informacija o trenutnoj dostupnosti punionice, načinu identifikacije (ako je potrebna), cijeni i lokaciji. Iako je izrađen u suradnji s Hrvatskim telekomom pruža informacije i o HEP-ovim punionicama.

Internetska stranica <https://elen.hep.hr/> izrađena je i u vlasništvu Hrvatske elektroprivrede (HEP). Na ovom portalu prikazuju se isključivo punionice koje su u vlasništvu HEP-a. Na ovoj stranici postoje informacije o vrsti priključka dostupnoj na punionici i o lokaciji punionice. Za korištenje HEP-ovih punionica potrebna je aplikacija za pametni telefon koja pruža uvid u trenutnu dostupnost, lokaciju, cijenu i vrsti dostupnih priključaka.

5.1. Analiza prema odabranim gradovima

Prije početka analize odabrani su gradovi koji su analizirani te je odrađena analiza prema županijama u RH, koje su radi lakše analize spojene u 4 regije. Odabrani su prostorno i stanovništvom najveći gradovi, koji su istodobno i od velike važnosti za prometni sustav RH. Gradovi koji su obrađeni u analizi su: Zagreb, Rijeka, Split, Osijek, Karlovac, Dubrovnik, Varaždin, Šibenik, Pula i Zadar. Od navedenih gradova Slavoniju čini jedino Osijek, Središnju Hrvatsku čini Zagreb i Varaždin, Istru, Kvarner i Kotar sastoje se od Rijeke, Karlovca i Pule i Dalmaciju čine Split, Dubrovnik, Šibenik i Zadar.



Slika 9. Broj priključaka u gradovima

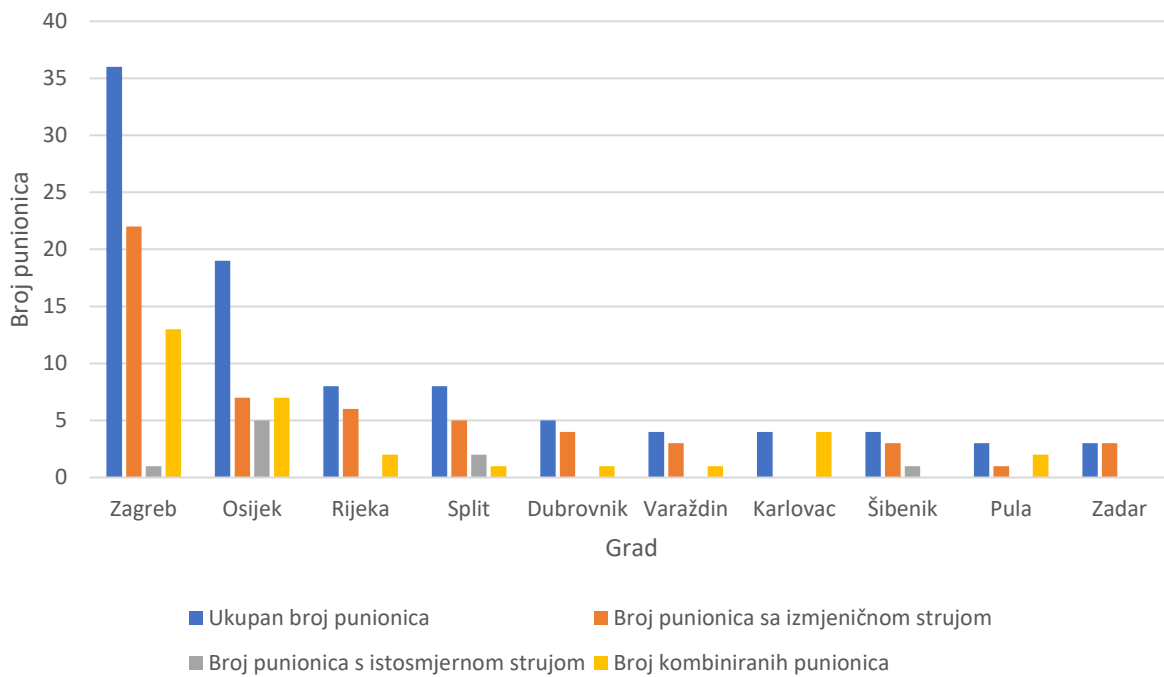
Izvor: Izradio autor

Slika 9. zajedno sa Tablicom 4. prikazuje broj priključaka prema svakom gradu. Vidljivo je da grad Zagreb ima najviše priključaka (102), zatim Osijek (42), Rijeka (24) i Split (16). Ovakvi rezultati su bili očekivani s obzirom na to da su Zagreb, Osijek, Rijeka i Split četiri najveća i najrazvijenija grada u RH. Grad Karlovac je sljedeći s 12 priključaka slijede ga Dubrovnik (10), Varaždin (9), Pula (8), Šibenik (7) i zadnji je Zadar sa samo 5 priključaka. Od priključaka koji omogućuju brzo punjenje, a to su CHAdeMO i CCS Combo najviše ima u Zagrebu (29). Nakon Zagreb slijedi Osijek (24), Karlovac (8), Split (6), Rijeka i Pula (4), Šibenik, Dubrovnik i Varaždin (2) i na kraju Zadar koji nema niti jedan priključak za brzo punjenje.

Tablica 4. Broj priključaka po gradovima

Grad	Tip 2 - 11kW (16A)	Tip 2 - 22kW (32A)	Tip 2 - 43kW (63A)	CCS COMBO - 50kW (125A)	CHAdeMO - 50kW (125A)	Kućna utičnica - 3,6kW (16A)	Ukupno
Zagreb	4	50	11	16	15	6	102
Osijek	0	15	3	12	12	0	42
Rijeka	2	15	1	3	1	2	24
Split	0	10	0	3	3	0	16
Karlovac	0	1	3	4	4	0	12
Dubrovnik	0	7	1	1	1	0	10
Varaždin	0	6	1	1	1	0	9
Pula	0	2	1	2	2	1	8
Šibenik	1	3	0	1	1	1	7
Zadar	1	3	0	0	0	1	5

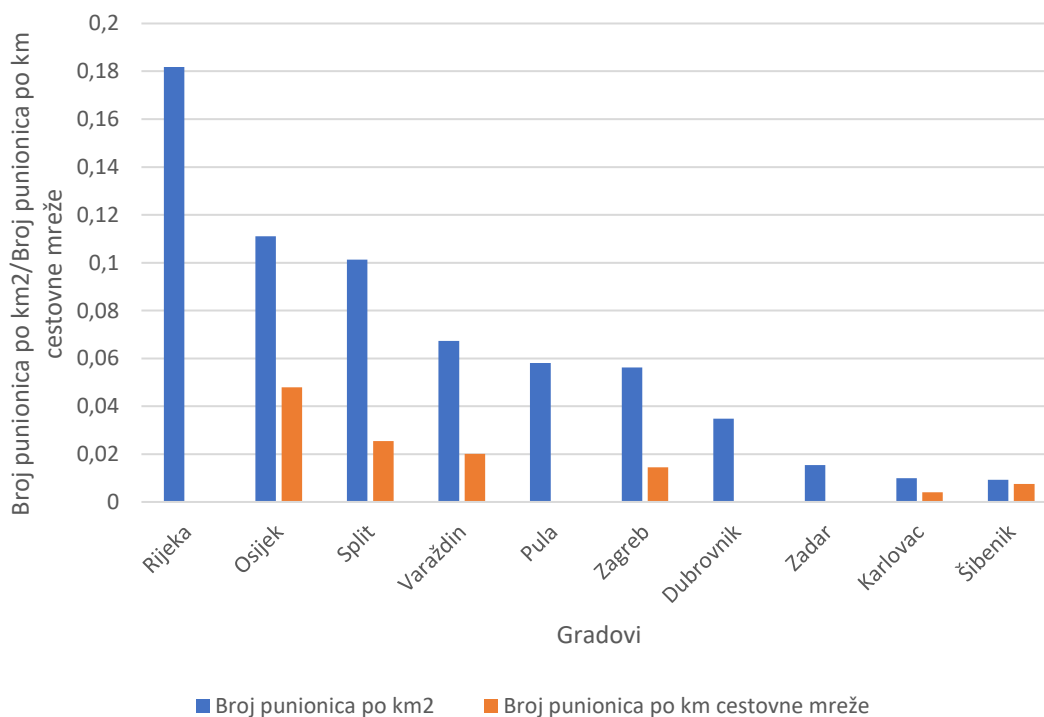
Izvor: Izradio autor



Slika 10. Broj punionica u gradovima po kategorijama

Izvor: Izradio autor

Slika 10. prikazuje ukupan broj punionica i broj punionica prema osnovnoj podjeli. Grad Zagreb ima najviše punionica (36), od kojih su 22 s izmjeničnom strujom koja omogućuje normalno (sporo) punjenje, jednu istosmjernu punionicu s priključcima za brzo punjenje i 13 kombiniranih punionica koje omogućuju normalno (sporo) i brzo punjenje putem dostupnih raznih vrsta priključaka. Osijek ima 19 punionica od kojih je 7 s izmjeničnom strujom, 5 s istosmjernom strujom i 7 kombiniranih punionica. Rijeka posjeduje 8 punionica od kojih je 6 s izmjeničnom strujom, a 2 s kombinirane punionice. Split, kao i Rijeka, ima 8 punionica no 5 ih je s izmjeničnom strujom, 2 s istosmjernom strujom i jedna kombinirana punionica. Dubrovnik ima 5 punionica od kojih 4 s izmjeničnom strujom, te jedna kombinirana punionica. Varaždin, Karlovac i Šibenik imaju po 4 punionice, od kojih Varaždin ima 3 s izmjeničnom strujom i 1 kombiniranu punionicu, Karlovac ima sve kombinirane punionice, a Šibenik ima 3 punionice s izmjeničnom strujom i jednu s istosmjernom strujom. Pula i Zadar imaju 3 punionice od kojih u Puli je jedna s izmjeničnom strujom, a dvije su s istosmjernom strujom dok su u Zadru sve tri s izmjeničnom strujom, odnosno u Zadru nema mogućnosti brzog punjenja vozila.



Slika 11. Broj punionica po km² grada i po km cestovne mreže grada

Izvor: Izradio autor

Slika 11. prikazuje stanje punionica u gradovima po površini grada te za neke po kilometru cestovne mreže. Tako Rijeka ima najveću rasprostranjenost punionica po km² odnosno po površini grada, a iznosi 0,18. Slijedi ga Osijek (0,11), Split (0,10), Varaždin (0,07), Pula i Zagreb (0,06), Dubrovnik (0,03), Zadar (0,02), Karlovac i Šibenik na kraju sa 0,01 punionicom po km² grada.

Tablica 5. Izvorišno - odredišna matrica s udaljenostima između gradova izraženo u kilometrima

Udaljenost (km)	Zagreb	Split	Rijeka	Osijek	Karlovac	Zadar	Šibenik	Dubrovnik	Varaždin	Pula
Zagreb		409	162	286	53,3	288	342	600	89,9	267
Split	409		346	690	342	159	84	230	477	452
Rijeka	162	346		445	117	220	276	534	248	104
Osijek	286	690	445		333	565	621	879	239	546
Karlovac	53,3	342	117	333		216	272	531	137	220
Zadar	288	159	220	565	216		74,4	349	369	328
Šibenik	342	84	276	621	272	74,4		280	425	384
Dubrovnik	600	230	534	879	531	349	280		683	641
Varaždin	89,9	477	248	239	137	369	425	683		350
Pula	267	452	104	546	220	328	384	641	350	

Izvor: Izradio autor

Tablica 5. prikazuje izvorišno-odredišnu matricu s udaljenostima između odabranih gradova, a izražena je u kilometrima. Najveća udaljenost je između Osijeka i Dubrovnika (879 km) dok je najmanja između Zagreba i Karlovca (53,3 km).

Tablica 6. Izvorišno - odredišna matrica s brojem punionica između gradova

Broj punionica	Zagreb	Split	Rijeka	Osijek	Karlovac	Zadar	Šibenik	Dubrovnik	Varaždin	Pula
Zagreb		7	4	7	2	5	6	12	4	6
Split	7		7	12	5	4	3	6	8	8
Rijeka	4	7		9	3	5	6	11	7	6
Osijek	7	12	9		7	10	10	16	5	10
Karlovac	2	5	3	7		3	3	8	5	4
Zadar	5	4	5	10	3		4	6	8	7
Šibenik	6	3	6	10	3	4		6	8	6
Dubrovnik	12	6	11	16	8	6	6		12	11
Varaždin	4	8	7	5	5	8	8	12		8
Pula	6	8	6	10	4	7	6	11	8	

Izvor: Izradio autor

Tablica 6. prikazuje izvorišno-odredišnu matricu s brojem punionica koje se nalaze na svakoj od relacija. Najveći broj punionica je na najduljoj relaciji, Osijek – Dubrovnik, gdje ih ima 16.

Tablica 7. Izvorišno - odredišna matrica s potrebnim brojem punjenja na relacijama

Broj punjenja na relaciji	Zagreb	Split	Rijeka	Osijek	Karlovac	Zadar	Šibenik	Dubrovnik	Varaždin	Pula
Zagreb		2	1	1	1	1	2	3	1	1
Split	2		2	3	2	1	1	1	2	2
Rijeka	1	2		2	1	1	1	2	1	1
Osijek	1	3	2		2	2	3	3	1	2
Karlovac	1	2	1	2		1	1	2	1	1
Zadar	1	1	1	2	1		1	2	2	2
Šibenik	2	1	1	3	1	1		1	2	2
Dubrovnik	3	1	2	3	2	2	1		3	3
Varaždin	1	2	1	1	1	2	2	3		2
Pula	1	2	1	2	1	2	2	3	2	

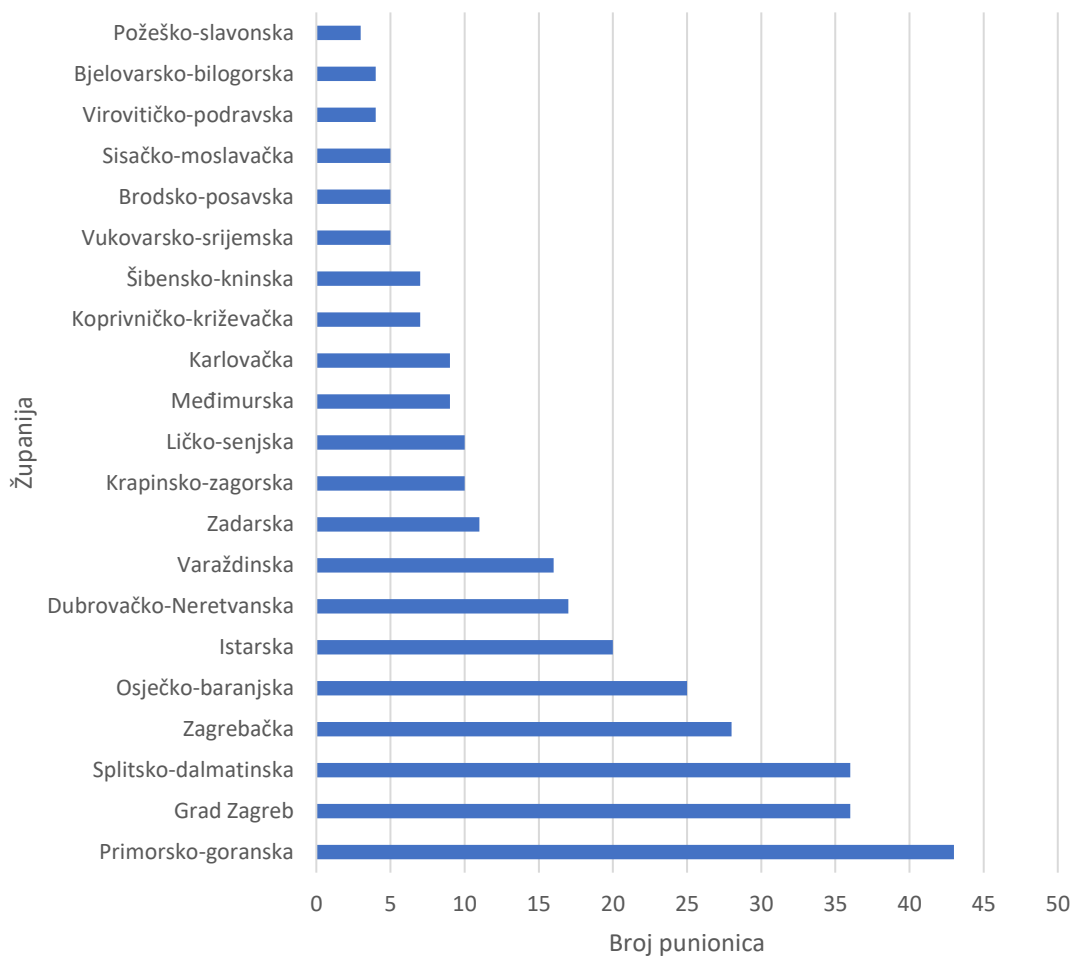
Izvor: Izradio autor

Odnos između udaljenosti na relaciji prema izvorišno-odredišnoj matrici i prosječne autonomije (293 km) daje prosječan potreban broj punjenja na relaciji. Tako najveći broj punjenja koji je potreban na nekoliko relacija iznosi tri punjenja. (Tablica 7.)

5.2. Analiza prema županijama (regijama)

Radi detaljnije analize i boljeg uvida u trenutno stanje rasprostranjenosti punionica za električna vozila, provedena je analiza po županijama u RH. Županije su nakon toga spojene u 4 regije te je odrađena analiza po regijama.

Broj priključaka po pojedinoj županiji grafički je prikazan u Prilogu 1. gdje se vidi kako najveći broj priključaka ima Grad Zagreb (102), zatim slijedi Primorsko-goranska (101), Splitsko-dalmatinska (81), Zagrebačka (56), Osječko-baranjska (55), Istarska (51), Dubrovačko-neretvanska (42), Varaždinska (35), Karlovačka (31), Zadarska (26), Ličko-senjska (23), Šibensko-kninska (20), Krapinsko-zagorska, Međimurska i Koprivničko-križevačka (19), Sisačko-moslavačka (13), Vukovarsko-srijemska (12), Brodsko-posavska (11), Virovitičko-podravska (9) i Bjelovarsko-bilogorska i Požeško-slavonska (7).



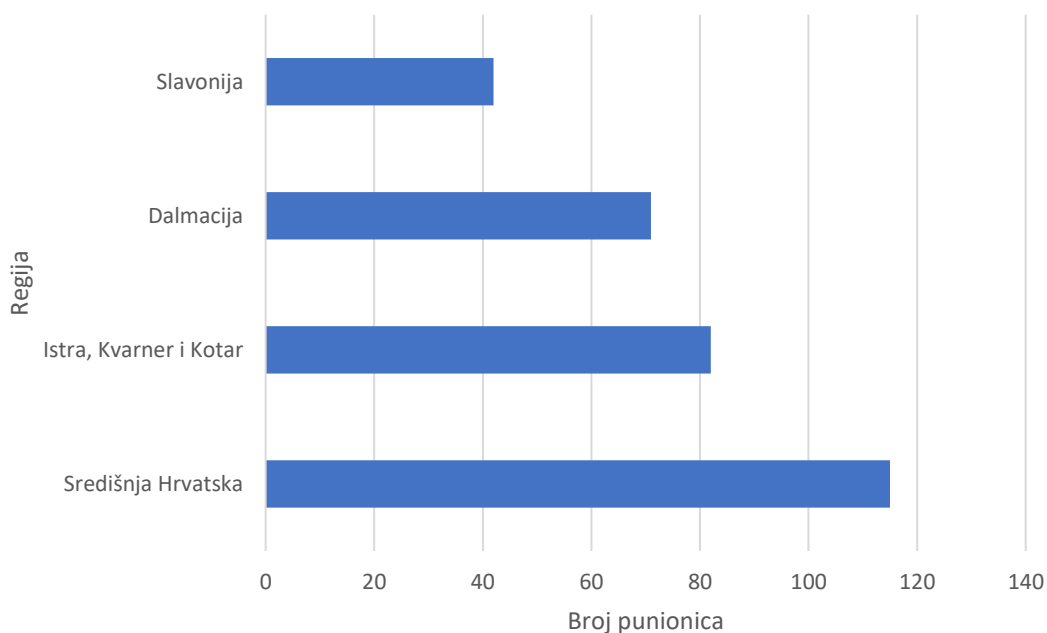
Slika 12. Broj punionica po županijama

Izvor: Izradio autor

Primorsko-goranska županija ima najviše punionica njih 43, Splitsko-dalmatinska i Grad Zagreb imaju po 36, Zagrebačka 28, Osječko-baranjska 25, Istarska 20, Dubrovačko-neretvanska 17, Varaždinska 16, Zadarska 11, Krapinsko-zagorska i Ličko-senjska svaka po 10, Međimurska i Karlovačka po 9, Koprivničko-križevačka i Šibensko-kninska po 7, Vukovarsko-srijemska, Brodsko posavska i Sisačko-moslavačka svaka po 5, Virovitičko-podravska i Bjelovarsko-bilogorska po 4 i najmanje ima Požeško-slavonska koja ima 3 punionice u cijeloj županiji. (Slika 12.)

Županije su spojene u 4 regije koje predstavljaju 4 veće prostorne jedinice RH. Tako Vukovarsko-srijemska, Virovitičko-podravska, Osječko-baranjska, Požeško-slavonska i Brodsko-posavska županija zajedno predstavljaju Slavoniju kao prvu regiju. Bjelovarsko-bilogorska,

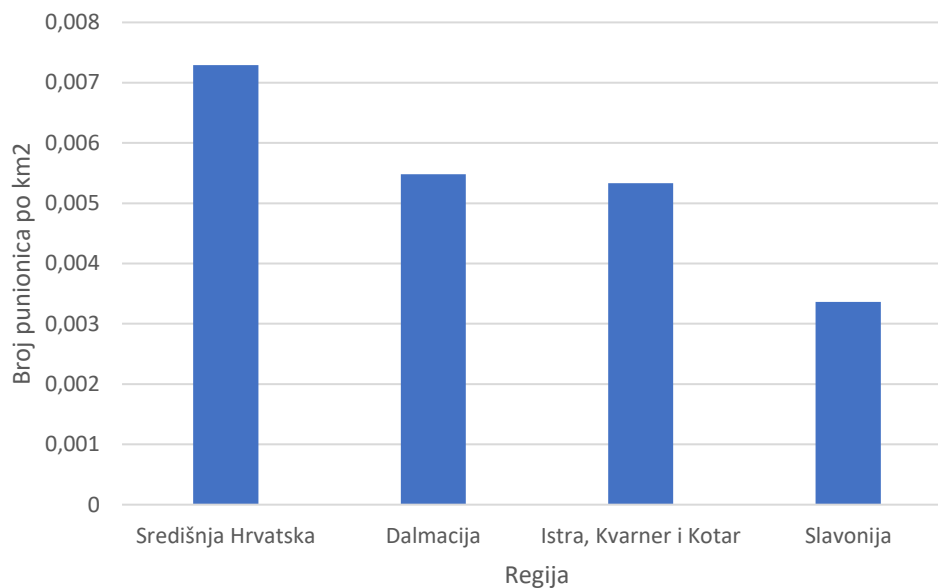
Sisačko-moslavačka, Koprivničko-križevačka, Zagrebačka, Krapinsko-zagorska, Varaždinska, Međimurska županija i Grad Zagreb spojene su u regiju Središnja Hrvatska. Istra, Kvarner i Kotar kao treća regija sastoji se od Karlovačke, Primorsko-goranska, Ličko-senjske i Istarske županije. Zadnja regija je Dalmacija i sastoji se od Zadarske, Šibensko-kninske, Splitsko-dalmatinske i Dubrovačko-neretvanske županije.



Slika 13. Broj punionica po regijama

Izvor: Izradio autor

Prema Slici 13. vidljivo je kako je najveći broj punionica u Središnjoj Hrvatskoj, ukupno 115, zatim u Istri, Kvarneru i Kotaru njih ukupno 82, na trećem mjestu je Dalmacija sa 71 punionicom i Slavonija ima najmanji broj punionica, samo 42.



Slika 14. Broj punionica po km² u regijama

Izvor: Izradio autor

Kada se pogleda ukupan broj punionica po površini regije Središnja Hrvatska ima najviše 0,0073 punionice po km², Dalmacija ima 0,0055 punionica po km², Istra, Kvarner i Kotar imaju 0,0053 punionice po km² i najmanje ima Slavonija 0,0034 punionice po km². (Slika 14.)

5.3. Metode za analizu podataka

Metode korištene za opisivanje podataka, čiji su rezultati prikazani u sljedećem poglavlju, su Varijanca i metoda Klaster analize. Varijanca predstavlja mjeru disperzije mjerenih ili slučajnih veličina. U ovom radu je korištena jer omogućuje kvalitetan uvid u odstupanje rasprostranjenosti punionica za električna vozila u pojedinom gradu, županiji ili regiji u odnosu na prosječnu vrijednost na cijelom području. Metoda klaster analize grupira elemente u skupine u cilju pronalaska sličnosti između elemenata. Klasterizacija je korištena kako bi se utvrdili gradovi, županije ili regije koje su što više slične jedne drugima odnosno one da se utvrde gradovi, županije ili regije koje su loše pokrivena punionicama za električna vozila.

5.3.1. Varijanca

Varijanca (σ^2) je mjera disperzije mjerenih ili slučajnih veličina. [27] Varijanca je srednje kvadratno odstupanje niza podataka od aritmetičke sredine. Uzima se kvadrat jer bi se za simetrične raspodjele odstupanja poništavala. Za niz $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$, u kojem je N broj članova niza, aritmetička sredina se računa formulom:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1)$$

Za zadani niz varijanca se računa prema izrazu:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (2)$$

5.3.2. Metoda klaster analize (grupiranje)

Metoda klaster analize (klasterizacija) je metoda kojom se skup elemenata grupira u grupe odnosno u disjunktne podskupove. Cilj klasterske analize je da elementi iste grupe budu što više slični, a da su elementi iz druge grupe što manje slični. K-means algoritam je jedan od najčešće korištenih algoritama kojim se svaki element smješta u jedan od k disjunktih podskupova. U kojem k predstavlja broj klastera koji se unaprijed određuju. Definicija K-means algoritma je sljedeća: [28]

1. Odabere se broj klastera k
2. Svakom k klasteru određuje se središte slučajnim odabirom njihovih koordinata
3. Svaki element dodjeljuje se klasteru k koji mu je najbliži. Na ovaj način se udaljenost koristi kao mjera sličnosti među objektima. U ovom diplomskom radu korištena je Euklidska udaljenost, no moguće je koristiti i neke druge udaljenosti (Minkowski, Manhattan...). Euklidska udaljenost se računa prema formuli:

$$dist(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

4. Svakom određenom klasteru dodjeljuje se novo središte. Novo središte se određuje kao težište određenog klastera. Njegove koordinate se dobivaju kao aritmetička sredina odgovarajućih koordinata članova klastera.
5. Ponavlja se korak broj 3., ali s novim središtima. Ovo dovodi do premještanja nekih elemenata iz jednog u drugi klaster. Svaka promjena elementa dovodi i do promijene težište, što zahtjeva ponavljanje 3. koraka.

Treći i četvrti korak ponavljaju se sve dok ima promjena u rasporedu elemenata unutar klastera.

6. Rezultati analize s prijedlogom poboljšanja mreže punionica za električna vozila u RH

Nakon provedene analize rasprostranjenosti i odabranih glavnih parametara pomoću kojih su opisane karakteristike punionica za električna vozila dobiveni su rezultati koji opisuju trenutno stanje rasprostranjenosti električnih punionica u RH.

6.1. Rezultati analize po gradovima

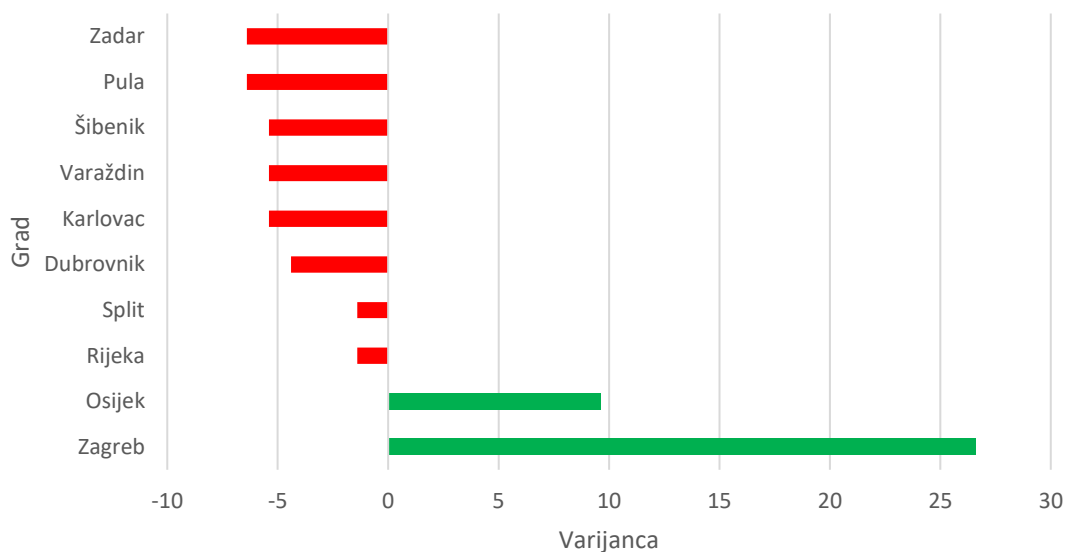
Tablica 8. Prosječna udaljenost između punionica na relaciji izražena u kilometrima

	Zagreb	Split	Rijeka	Osijek	Karlovac	Zadar	Šibenik	Dubrovnik	Varaždin	Pula
Zagreb		31,46	23,14	31,78	26,65	28,80	28,50	35,29	17,98	26,70
Split	31,46		43,25	32,86	28,50	39,75	28,00	38,33	28,06	34,77
Rijeka	23,14	43,25		29,67	23,40	36,67	34,50	41,08	22,55	17,33
Osijek	31,78	32,86	29,67		33,30	31,39	31,05	35,16	23,90	30,33
Karlovac	26,65	28,50	23,40	33,30		24,00	24,73	35,40	22,83	24,44
Zadar	28,80	39,75	36,67	31,39	24,00		18,60	43,63	46,13	29,82
Šibenik	28,50	28,00	34,50	31,05	24,73	18,60		46,67	26,56	29,54
Dubrovnik	35,29	38,33	41,08	35,16	35,40	43,63	46,67		32,52	35,61
Varaždin	17,98	28,06	22,55	23,90	22,83	46,13	26,56	32,52		25,00
Pula	26,70	34,77	17,33	30,33	24,44	29,82	29,54	35,61	25,00	

Izvor: Izradio autor

Tablica 8. prikazuje rezultate usporedbe prosječne udaljenosti na relaciji i broja punionica na relaciji. Time se dobiva prosječna udaljenost između punionica na određenoj relaciji. Najtamnija crvena predstavlja najveću udaljenost u usporedbi s prosječnom udaljenosti na svim relacijama dok najtamnija zelena predstavlja najmanju udaljenost. Najvažniji podatak prema tablici pokazuje da je najveća prosječna udaljenost između punionica na svim relacijama 43,63 km što je manje od prosječne autonomije vozila u RH (293 km) te također prema Tablici 2. to je manje i od najmanje autonomije električnog vozila prema popisu najčešćih vozila u RH. Manja je čak i od autonomije najčešćeg plug-in hibridnog vozila što znači da se s njim može proći cijelim teritorijem RH od Osijeka do Dubrovnika bez da se potroši gorivo. Ta udaljenost se nalazi na relacijama Rijeka – Split i Dubrovnik – Zadar. Najmanja prosječna udaljenost između punionica je na kratkim

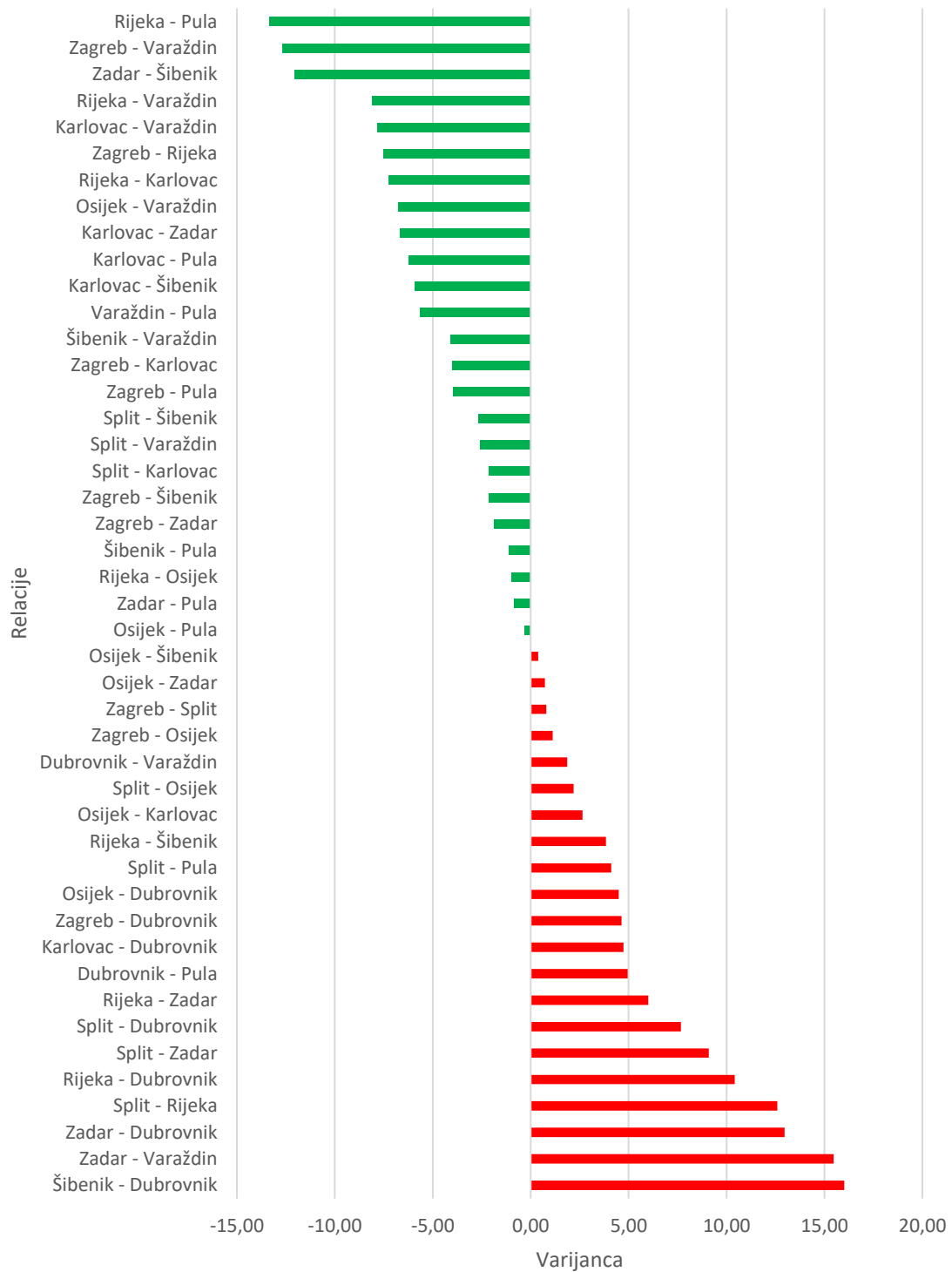
relacijama kao što su Rijeka – Pula, Zadar – Šibenik, Zagreb – Varaždin. Veće udaljenosti kao što su Dubrovnik – Osijek, Pula – Dubrovnik i Rijeka – Osijek nalaze se na sredini prosječne udaljenosti (malo iznad prosjeka) između punionica na relaciji što predstavlja dobru rasprostranjenost na tim relacijama.



Slika 15. Varijanca broja punionica u gradovima

Izvor: Izradio autor

Slika 15. prikazuje varijancu broja punionica u odabranim gradovima. Na grafikonu se jasno vidi kako jedino Zagreb i Osijek imaju veći broj punionica od prosjeka dok svi ostali gradovi imaju manje punionica od prosjeka. Zagreb je za 26,6 iznad prosjeka, Osijek za 9,6 iznad prosjeka dok su Rijeka i Split za 1,4 ispod prosjeka, Dubrovnik za 5,4 ispod prosjeka, Karlovac, Varaždin i Šibenik za 5,4 ispod prosjeka i Zadar i Pula za 6,4 ispod prosjeka.

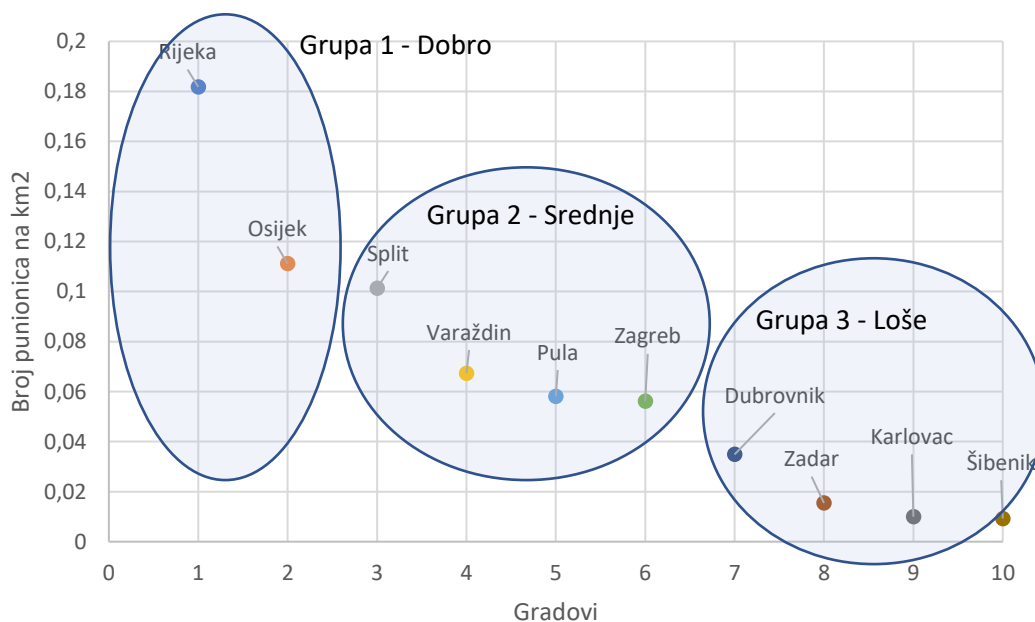


Slika 16. Varijanca na prosječnu udaljenost između punionica

Izvor: Izradio autor

Grafički prikaz varijance na prosječnu udaljenost između punionica na relacijama nam slikovitije prikazuje rasprostranjenost punionica na svim odabranim relacijama. (Slika 16.) Iz prikazanog grafikona je vidljivo koje relacije imaju manju udaljenost između punionica u odnosu na prosjek udaljenosti između punionica na svim relacijama. Prosječna udaljenost između punionica na svim relacijama iznosi 30,66 km. Grafikon nam govori kako je na relaciji Rijeka – Pula udaljenost između punionica za 13,32 km manja u odnosu na prosjek. Isto tako je vidljivo kako je na relacijama od Zagreba do Dubrovnika veća udaljenost između punionica u odnosu na prosjek.

U Prilogu 2. prikazana je analiza rasprostranjenosti punionica za električna vozila na odabranim relacijama primjenom metode klaster analize. Ponovno je vidljivo kako su relacije od Zagreba do Dubrovnika svrstane u kategoriju loše odnosno kategoriju relacija na kojima je potrebna intervencija kako bi se poboljšala infrastruktura.



Slika 17. Klaster analiza broja punionica po km² gradova

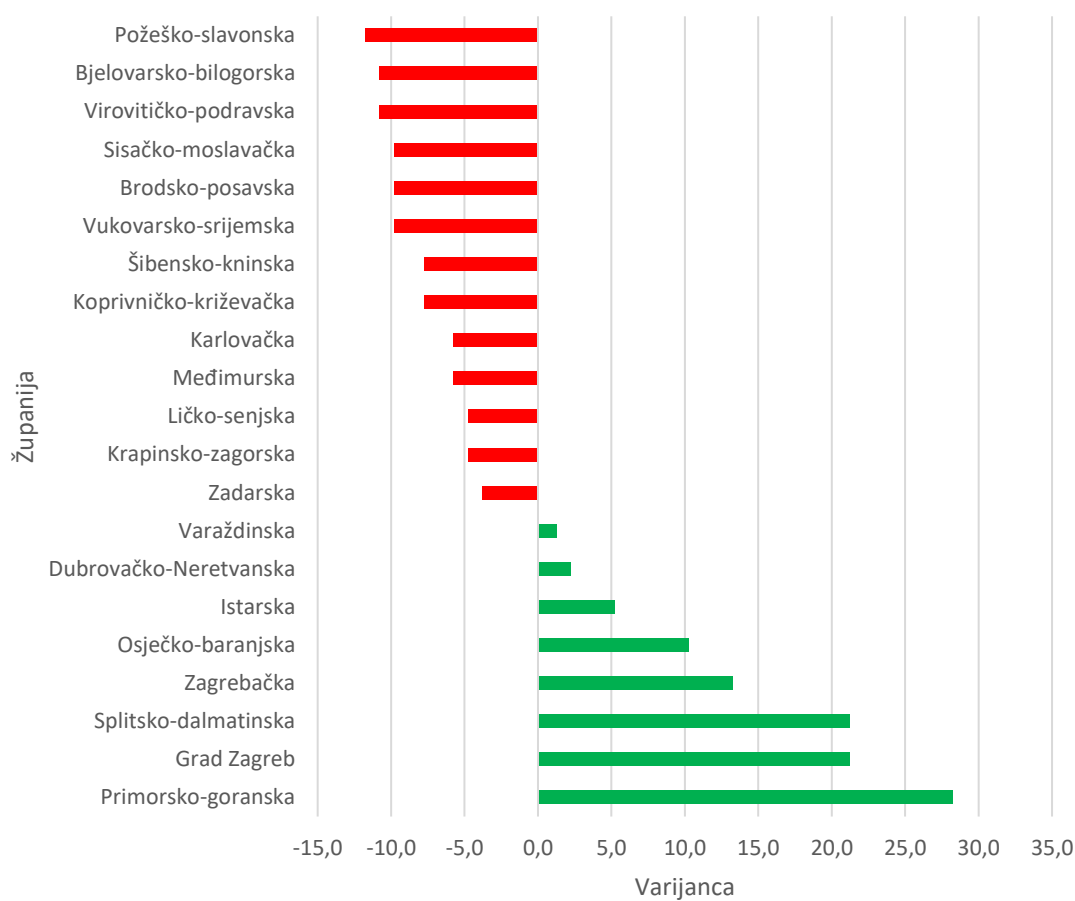
Izvor: Izradio autor

Kada uzmemo u obzir prosječan broj punionica po površinama gradova vidjet ćemo da Rijeka i Osijek spadaju u najbolju skupinu rasprostranjenosti s naglaskom da je Grad Rijeka puno bolje opskrbljena punionicama od svih ostalih gradova. U srednju skupinu spadaju Split, Varaždin, Pula i Zagreb koji imaju dobru infrastrukturu, ali bi trebali povećati svoju infrastrukturu i u zadnjoj,

najlošijoj skupini, je potrebna intervencija odnosno izgradnja punionica, a u tu skupinu spadaju Dubrovnik, Zadar, Karlovac i Šibenik. (Slika 17.)

6.2. Rezultati analize po županijama (regijama)

Analiza prema županijama daje bolji uvid u trenutno stanje rasprostranjenosti punionica za električna vozila u RH.

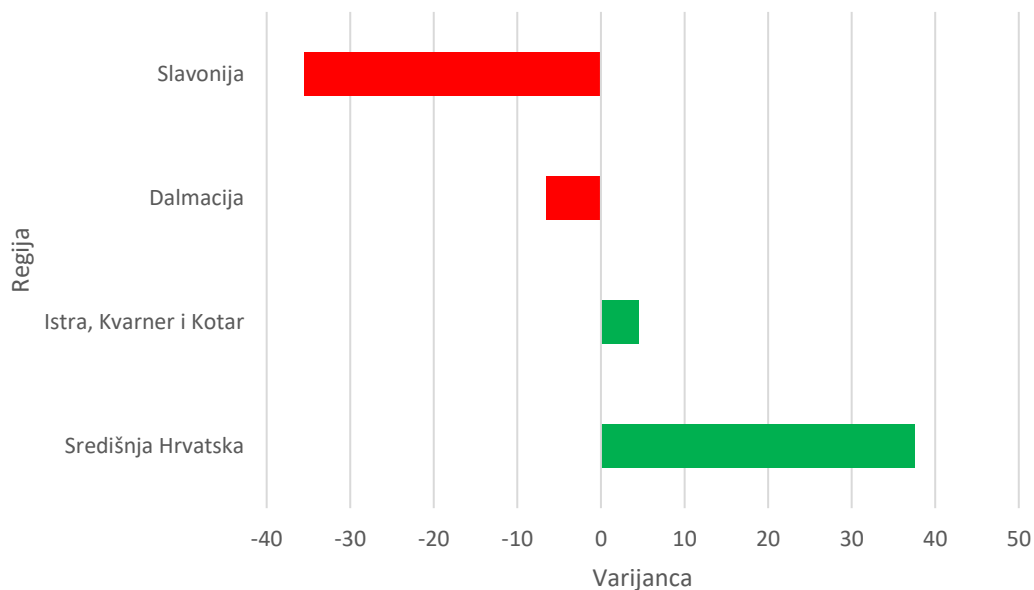


Slika 18. Varijanca punionica po županijama

Izvor: Izradio autor

Slika 18. prikazuje varijancu punionica po pojedinoj županija. Primorsko-goranska ima najveći broj punionica u odnosu na prosjek (28,2), Grad Zagreb i Splitsko-dalmatinska imaju 21,2

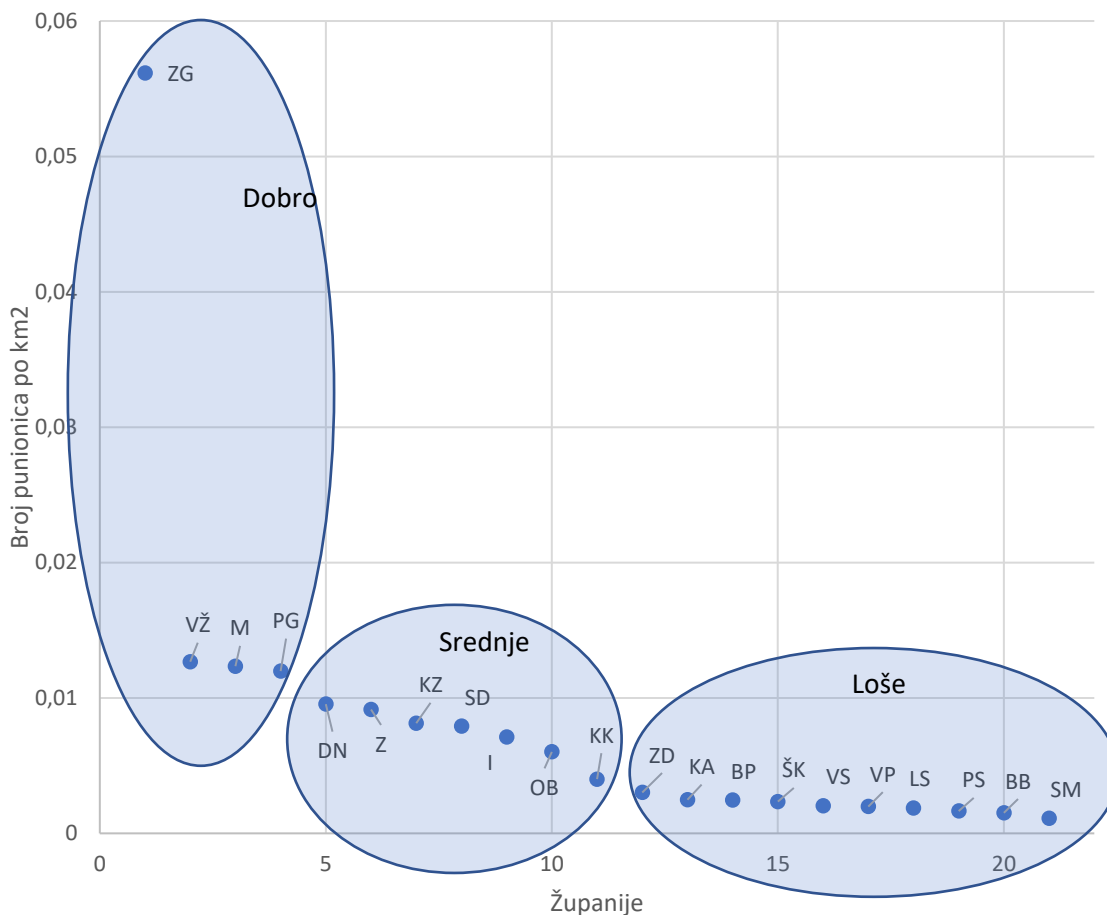
punionice više od prosjeka, Zagrebačka županija ima 13,2 punionice više od prosjeka, Osječko-baranjska ima 10,2 punionice više od prosjeka, Istarska 5,2 punionice više od prosjeka, Dubrovačko-neretvanska 2,2 punionice više od prosjeka, a Varaždinska 1,2 punionice više od prosjeka. Najlošije stoje županije istočne Hrvatske Vukovarsko-srijemska, Brodsko-posavska, Sisačko-moslavačka, Virovitičko-podravska, Bjelovarsko-bilogorska i Požeško-slavonska koje imaju od 9,8 do 11,8 punionica manje od prosjeka.



Slika 19. Varijanca punionica po regijama

Izvor: Izradio autor

Varijanca po regijama daje slične rezultate kao i analiza županija. Slavonija ima 35,5 punionica manje od prosjeka dok trenutno najrazvijenija regija Središnja Hrvatska ima čak 37,5 punionica više od prosjeka. (Slika 19.)



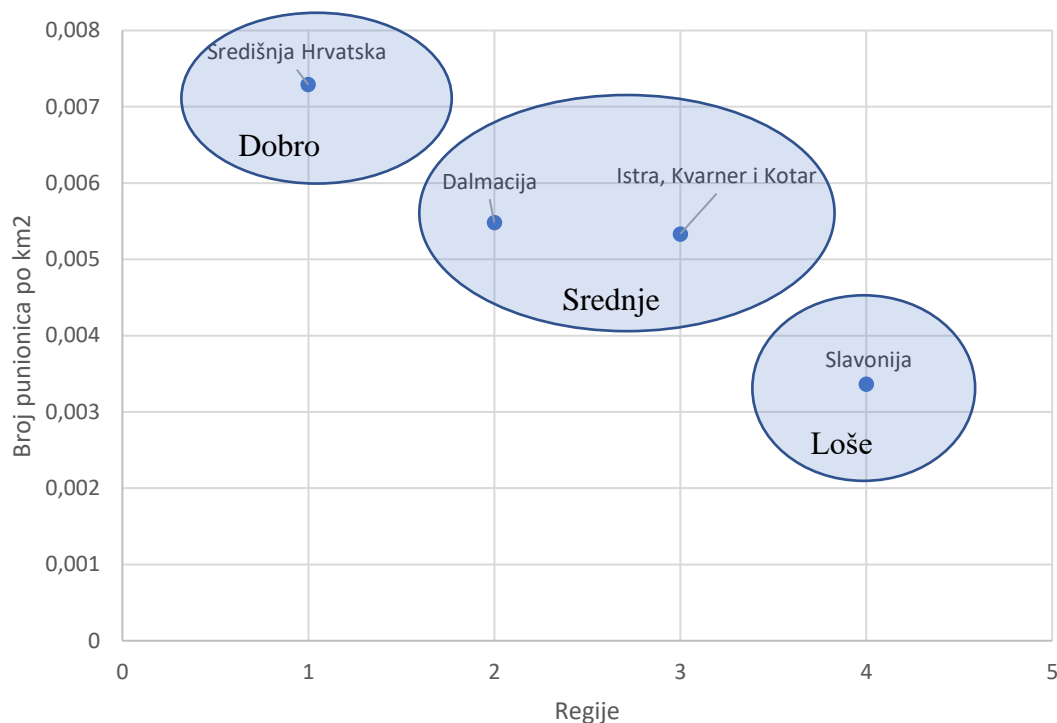
Slika 20. Klaster analiza rasprostranjenosti punionica po županijama

Izvor: Izradio autor

Slika 20. prikazuje klaster analizu rasprostranjenosti punionica za električna vozila u RH prema županijama. Objašnjenje skraćenica: Grad Zagreb (ZG), Varaždinska županija (VŽ), Međimurska županija (M), Primorsko-goranska županija (PG), Dubrovačko-neretvanska županija (DN) Zagrebačka županija (Z), Krapinsko-zagorska županija (KZ), Splitsko-dalmatinska županija (SD), Istarska županija (I), Osječko-baranjska v (OB), Koprivničko-križevačka županija (KK), Zadarska županija (ZD), Karlovačka županija (KA), Brodsko-posavska županija (BP), Brodsko-posavska županija (BP), Šibensko-kninska županija (ŠK), Vukovarsko-srijemska županija (VS), Virovitičko-podravska županija (VP), Ličko-senjska županija (LS), Požeško-slavonska županija (PS), Bjelovarsko-bilogorska županija (BB) i Sisačko-moslavačka županija (SM).

Prema Slici 27. je vidljivo kako Zagrebačka, Varaždinska, Međimurska i Primorsko-goranska županija imaju najbolju rasprostranjenost punionica među županijama uz naglasak kako

se Grad Zagreb nalazi visoko iznad prosjeka u odnosu na ostale županije. Najvažniji podatak dobiven iz ove analize je da se sve županije istočnije od Zagrebačke županije, osim Osječko-baranjske, nalaze u najlošijoj skupini županija. Ovakvi podaci ukazuju na lošu infrastrukturu u istočnom dijelu RH.



Slika 21. Klaster analiza rasprostranjenosti punionica po regijama

Izvor: Izradio autor

Kako je u prijašnjem poglavlju objašnjeno na koji način su spojene županije u 4 regije tako su dobiveni i rezultati po regijama pomoću klaster analize. (Slika 21.) Kako je i na prijašnjem grafikonu navedeno da su županije koje se nalaze istočnije od Zagrebačke županije u lošijoj skupini rasprostranjenosti punionica, Grafikon 14. to potvrđuje jer Slavonija kao regija spada u najlošiju skupinu, Dalmacija i Istra, Kvarner i Kotar spadaju u srednju skupinu koja predstavlja regije koje su dobro opskrbljene punionicama, ali bi trebalo nastaviti poboljšavati infrastrukturu. Središnja Hrvatska predstavlja najbolje opskrbljenu regiju punionicama za električna vozila.

7. Zaključak

Povećanje broja ljudi u gradskom području doprinosi bržem razvoju gradova, ali i sve većem onečišćenju i zagađenju okoliša. Iz tog razloga donesene su važne odluke u pogledu zaštite okoliša i smanjenja emisije stakleničkih plinova. Odluke su postale sastavni dio Plana održive gradske mobilnosti čiji je glavni cilj očuvati okoliš i promovirati zdraviji način života. Kako bi se to ostvarilo predstavljen je niz mjera koje je potrebno provesti. Jedna od takvih mjera je ostvarenje zelene mobilnosti, odnosno korištenje vozila koja smanjuju emisije stakleničkih plinova ili ih uopće ne emitiraju. Vozila koja smanjuju emisiju stakleničkih plinova su hibridna vozila odnosno „plug-in“ hibridna vozila koja kombiniraju elektromotor s motorom na unutarnje izgaranje i vozila koja ne emitiraju stakleničke plinove, a to su baterijska električna vozila. Navedena vozila zahtijevaju potrebnu infrastrukturu odnosno punionice koje služe za napajanje vozila električnom energijom. Za prometni sustav koji se temelji na električnim i hibridnim vozilima neophodna je odgovarajuća koncentracija i rasprostranjenost punionica za električna vozila. Kako bi investitor izgradio određeni broj punionica potrebno je imati i određenu razinu zastupljenosti vozila koji će ju koristiti. U isto vrijeme vozači žele postojanje infrastrukture da bi se odlučili na kupnju električnog vozila. Spomenuti problem je donekle riješen od strane EU koja nudi poticaje kojima se kupce privlači da kupe električno vozilo uz financijsku pomoć države odnosno EU, a cilj je smanjiti zagađenje okoliša uzrokovano prometom. Investitorima se također daje financijska pomoć u vidu poticaja prilikom izgradnje punionica za električna vozila.

Ovaj rad je imao za cilj provesti analizu o rasprostranjenosti punionica za električna vozila u RH. Analiza je provedena uz pomoć podataka o punionicama koje pružaju dva pružatelja usluge u RH, a to su Hrvatski telekom i Hrvatska elektroprivreda. Analiza je provedena prema gradovima važnim za prometni sustav RH, te prema županijama i regijama RH.

Analizom prema gradovima prikazani su rezultati o broju punionica u gradovima i odnosu na broja punionica i površine gradova. Tako dobiveni rezultati daju očekivane rezultate koji ukazuju kako najveći i najrazvijeniji gradovi u RH (Zagreb, Osijek, Rijeka i Split) imaju i najveći broj punionica.. Nadalje skupina većih gradova: Osijek, Rijeka i Split imaju ukupno manje punionica nego Grad Zagreb. Grad Zadar kao jedno od turističkih središta RH nema niti jednu punionicu koja omogućuje brzo punjenje električnog vozila. Kada se uzme u obzir broj punionica

po površini grada. Grad Zagreb se nalazi na sredini tablice dok su Rijeka, Osijek i Split na vrhu tablice. Primjenom izračuna varijance na broj punionica u gradu jedino Zagreb i Osijek imaju veći broj punionica u odnosu na prosjek. U analizu je uključeno 10 gradova što znači da više od pola gradova nema zadovoljavajuću infrastrukturu. Prema izvorišno-odredišnoj matrici za prosječnu udaljenost između punionica na relacijama između odabranih gradova sve relacije imaju zadovoljavajuću prosječnu udaljenost. Najveća udaljenost je 43,63 km što je optimalno i dovoljno prilikom putovanja. Klasterizacija na broj punionica po km² prikazuje da su Rijeka i Osijek najbolje opskrbljeni punionicama, uz naglasak da je Rijeka najbolje opskrbljena, dok je u ostalim gradovima potrebna intervencija.

Analiza po županijama i regijama daje bolji uvid o rasprostranjenosti punionicama po cijeloj RH. Očekivani rezultati su bili da će manje razvijenija područja imati i manji broj punionica. Tako već prvi podaci ukazuju kako je regija Slavonija najlošije opskrbljena punionicama za električna vozila. Prema njima je vidljivo kako se 4 od 5 županija koje spadaju u tu regiju nalaze pri samom dnu po broju rasprostranjenosti i koncentracije punionica. Jedina županija koja u toj skupini ima zadovoljavajući broj punionica je Osječko-baranjska. Iako se dvije županije (Bjelovarsko-bilogorska i Sisačko-moslavačka županija) koje spadaju u regiju Središnja Hrvatska nalaze na samom dnu po broju punionica regija se, ponajviše zahvaljujući Gradu Zagrebu i Zagrebačkoj županiji, nalazi na prvom mjestu po broju punionica.

Varijanca po županijama daje slične rezultate kao i po gradovima. Županije s najvećim gradovima nalaze se iznad prosjeka uz Varaždinsku, Istarsku, Dubrovačko-neretvansku i Zagrebačku županiju. Također ovi podaci ukazuju na to da se najmanje punionica nalazi u županijama istočnije od glavnog grada.

Slavonija je trenutno najnerazvijenija regija RH i regija s najmanje iskorištenim resursima koje posjeduje. Zbog toga ovakvi rezultati nisu iznenađujući. U cilju promocije održive mobilnosti i zaštite okoliša potrebno je izgraditi infrastrukturu za električna vozila. Neovisno o trenutnom broju električnih vozila u Slavoniji, vozila iz cijele RH pa i Europe prolaze kroz prometnu mrežu RH te je iz tog razloga infrastruktura potrebna. Uzmemo li u obzir da su autocesta A3, koja prometuje kroz Slavoniju, jedna od tri najprometnijih prometnica u RH i državna cesta D2, tzv. „Podravska magistrala“, koja također ima značajnu količinu prometa, vrlo je važno osigurati odgovarajući broj punionica na tom području. Pogotovo tijekom ljetnih mjeseci kada ovim

prometnicama prođe veliki broj vozila među kojima bude i određeni broj električnih vozila kojima je potrebna infrastruktura da bi došli do svog odredišta.

Druga regija koja je loše opskrbljena punionicama je Dalmacija. Iako je malo ispod prosjeka potrebna je intervencija u vidu punionica iz istih razloga kao što je navedeno za Slavoniju. Zadar i Šibenik zajedno imaju 7 punionica. Uzimajući u obzir sve veći broj turista koji pristižu tijekom sezone u RH koristeći električna vozila vrlo je važno da im se osigura zadovoljavajuća zastupljenost infrastrukture u vidu punionica za električna vozila.

Trenutno je u RH ukupno 310 punionica za električna vozila na 1896 vozila koja zahtijevaju punjenje iz vanjskog izvora što predstavlja 0,16 punionica po električnom vozilu. Uzimajući u obzir razvijenije zemlje poput Njemačke i Austrije, Hrvatska trenutno ima veći broj punionica po vozilu od njih. Prema podacima Europskog opservatorija za alternativna goriva Austrija ima 0,14 punionica po vozilu dok Njemačka ima samo 0,08. [30] Za očekivati je da će i u Hrvatskoj ovaj broj padati s vremenom odnosno kako se bude povećavao broj električnih vozila. Zbog toga je potrebna intervencija ponajviše u Slavoniji i gradovima Zadar, Šibenik i Karlovac.

U Slavoniji je potrebno izgraditi barem 10 punionica uz mogućnost da na svakoj bude omogućeno standardno i brzo punjenje. Brzo punjenje je potrebno zbog tranzitnog prometa kojemu je važno što prije napuniti vozilo. U Zadru je također potrebno izgraditi također barem 10 punionica kako bi se povećao odnos punionica po km², a pogotovo zbog turista koji dolaze u Zadar. U Zadru je nužno izgraditi punionice koje omogućuju brzo punjenje s obzirom da trenutno nema niti jedne. Šibenik i Karlovac bi zbog svoje veličine i važnosti trebali dobiti 15-20 punionica. Karlovac se nalazi na vrlo važnoj prometnici (državna cesta D1) i iz tog razloga bi što više punionica trebalo imati brzo punjenje ili kombiniranu punionicu. U Šibeniku bi trebalo izgraditi punionice s kombiniranim i brzim i sporim punjenjem čime se omogućuje odabir između brzine punjenja. Šibenik kao i Zadar je jedno od glavnih turističkih središta i vrlo je važno da posjeduje odgovarajuću infrastrukturu.

Literatura

- [1] G. Razeghi, M. Carreras-sospedra, T. Brown, J. Brouwer, D. Dabdub, and S. Samuelson, "Episodic air quality impacts of plug-in electric vehicles," *Atmospheric Environment*, vol. 137, pp. 90–100, 2016
- [2] Dimitrios Gkatzoflias, Yannis Drossinos, Alyona Zubaryeva, Pietro Zambelli, Panagiota Dilara, and Christian Thiel, *Optimal allocation of electric vehicle charging infrastructure in cities and regions*, EUR
- [3] *Pametno kretanje u gradu i održiva mobilnost u urbanom prometu -*
http://www.civilnodrustvo-istra.hr/images/uploads/files/Brosura_EDIC_2016_1.pdf
(pristupljeno 30.7.2021.)
- [4] *ZBORNIK s okruglog stola "Planovi održive urbane mobilnosti - SUMP"* -
<https://www.fpz.unizg.hr/zgp/wp-content/uploads/2015/02/Zbornik-Planovi-odrzive-urbane-mobilnosti-SUMP-Zagreb-lipanj-2014-ISBN-978-953-243-067-7-.pdf>
(pristupljeno 30.7.2021.)
- [5] Rick Wolbertus, Bas Gerzon, "Improving Electric Vehicle Charging Station Efficiency through Pricing", *Journal of Advanced Transportation*, vol. 2018
- [6] *Strategija za održivu i pametnu mobilnost – usmjeravanje europskog prometa prema budućnosti* - <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX:52020DC0789> (pristupljeno 29.7.2021.)
- [7] Rupprecht Consult, *Guidelines for Developing and Implementing a Sustainable Urban Mobility Plan*, Second Edition, 2019.
- [8] Dell, R. M., Moseley, P. T. i Rand, D. A. J. *Towards Sustainable Road Transport*. Oxford: Academic Press. 2014.
- [9] G. Nanda and N. C. Kar, "A Survey and Comparison of Characteristics of Motor Drives Used in Electric Vehicles," *2006 Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, pp. 811-814, 2006
- [10] Robert C. Green, Lingfeng Wang, Mansoor Alam, *The impact of plug-in hybrid electric vehicles on distribution networks: A review and outlook*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 15, Issue 1, Pages 544-553, 2011.
- [11] Plötz P., Moll C., Bieker G, Mock P., Li ., *Real-World Usage of Plug-In Hybrid Electric Vehicles Fuel Consumption, Electric Driving, and Co2 Emissions*, 2020

- [12] OUTLANDER PHEV Became Europe's Best-selling Plug-in Hybrid SUV in 2020 - <https://www.mitsubishi-motors.com/en/newsrelease/2021/detail1315.html> (pristupljeno 4.8.2021.)
- [13] How Do Plug-In Hybrid Electric Cars Work? - <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-plug-in-hybrid-electric-cars-work> (pristupljeno 3.8.2021.)
- [14] Tesla Model S Long Range - <https://ev-database.org/car/1194/Tesla-Model-S-Long-Range> (pristupljeno 4.8.2021.)
- [15] How Do All-Electric Cars Work? - <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work> (pristupljeno 4.8.2021.)
- [16] Sufinanciranje nabave energetske učinkovitijih vozila - <https://www.fzoeu.hr/hr/sufinanciranje-nabave-energetske-ucinkovitijih-vozila/7713> (pristupljeno 5.8.2021.)
- [17] REGISTRIRANA CESTOVNA VOZILA I CESTOVNE PROMETNE NESREĆE U 2019. - https://www.dzs.hr/Hrv_Eng/publication/2020/05-01-04_01_2020.htm (pristupljeno 5.8.2021.)
- [18] European Alternative Fuels Observatory - <https://www.eafo.eu/countries/croatia/1727/summary> (pristupljeno 5.8.2021.)
- [19] Nova Hyundai Kona - <https://hyundai.hr/cjenici/KONA-cjenik.pdf> (pristupljeno 7.8.2021.)
- [20] Rimac Nevera Takes the Hypercar Market by Storm - <https://www.rimac-automobili.com/media/press-releases/rimac-nevera-takes-the-hypercar-market-by-storm/> (pristupljeno 8.8.2021.)
- [21] M. C. Falvo, D. Sbordone, I. S. Bayram and M. Devetsikiotis, "EV charging stations and modes: International standards," 2014 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, pp. 1134-1139, 2014
- [22] Giménez-Gaydou D., Ribeiro A., Gutiérrez J., Pais Antunes A. (2016): Optimal location of battery electric vehicle charging stations in urban areas: A new approach, International Journal of Sustainable Transportation
- [23] R. Raff, V. Golub, D. Pelin, D. Topić, Overview of charging modes and connectors for the electric vehicles, 2019 7th International Youth Conference on Energy (IYCE), srpanj 2019.

- [24] Kako mogu započeti koristiti javne električne punionice? - <http://puni.hr/staticAdminMgr.php?action=read&menu=howtouseinfrastructure> (pristupljeno 9.8.2021.)
- [25] E-mobilnost - <https://www.hrvatskitelekom.hr/poslovnict/e-mobilnost> (pristupljeno 9.8.2021.)
- [26] Tomšić, Ž.; Raos, S.; Rajšl, I.; Ilak, P. Role of Electric Vehicles in Transition to Low Carbon Power System—Case Study Croatia. *Energies*, 2020
- [27] J. Quiros-Tortos, L. Ochoa and T. Butler, "How Electric Vehicles and the Grid Work Together: Lessons Learned from One of the Largest Electric Vehicle Trials in the World," in *IEEE Power and Energy Magazine*
- [28] Varijanca - <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=63913> (pristupljeno 14.7.2021.)
- [29] K-means Cluster Analysis - <https://www.real-statistics.com/multivariate-statistics/cluster-analysis/k-means-cluster-analysis/> (pristupljeno 14.7.2021.)
- [30] European Alternative Fuels Observatory - <https://www.eafo.eu/> (pristupljeno 28.8.2021.)

Popis slika

Slika 1. Proces razvoja i provedbe Plana održive urbane mobilnosti.....	8
Slika 2. Konfiguracija Plug-in hibridnih vozila	11
Slika 3. Konfiguracija baterijskog električnog vozila	14
Slika 4. Električna vozila registrirana u RH (2007. - 2020.).....	15
Slika 5. Autonomija najčešćih električnih vozila u RH	17
Slika 6. Najčešći marke električnih vozila u RH.....	18
Slika 7. Vlasnici punionica u RH	25
Slika 8. Zahtjevi za električnom energijom.....	27
Slika 9. Broj priključaka u gradovima.....	29
Slika 10. Broj punionica u gradovima po kategorijama	30
Slika 11. Broj punionica po km ² grada i po km cestovne mreže grada	31
Slika 12. Broj punionica po županijama.....	35
Slika 13. Broj punionica po regijama	36
Slika 14. Broj punionica po km ² u regijama.....	37
Slika 15. Varijanca broja punionica u gradovima	41
Slika 16. Varijanca na prosječnu udaljenost između punionica	42
Slika 17. Klaster analiza broja punionica po km ² gradova	43
Slika 18. Varijanca punionica po županijama	44
Slika 19. Varijanca punionica po regijama.....	45
Slika 20. Klaster analiza rasprostranjenosti punionica po županijama	46
Slika 21. Klaster analiza rasprostranjenosti punionica po regijama.....	47

Popis tablica

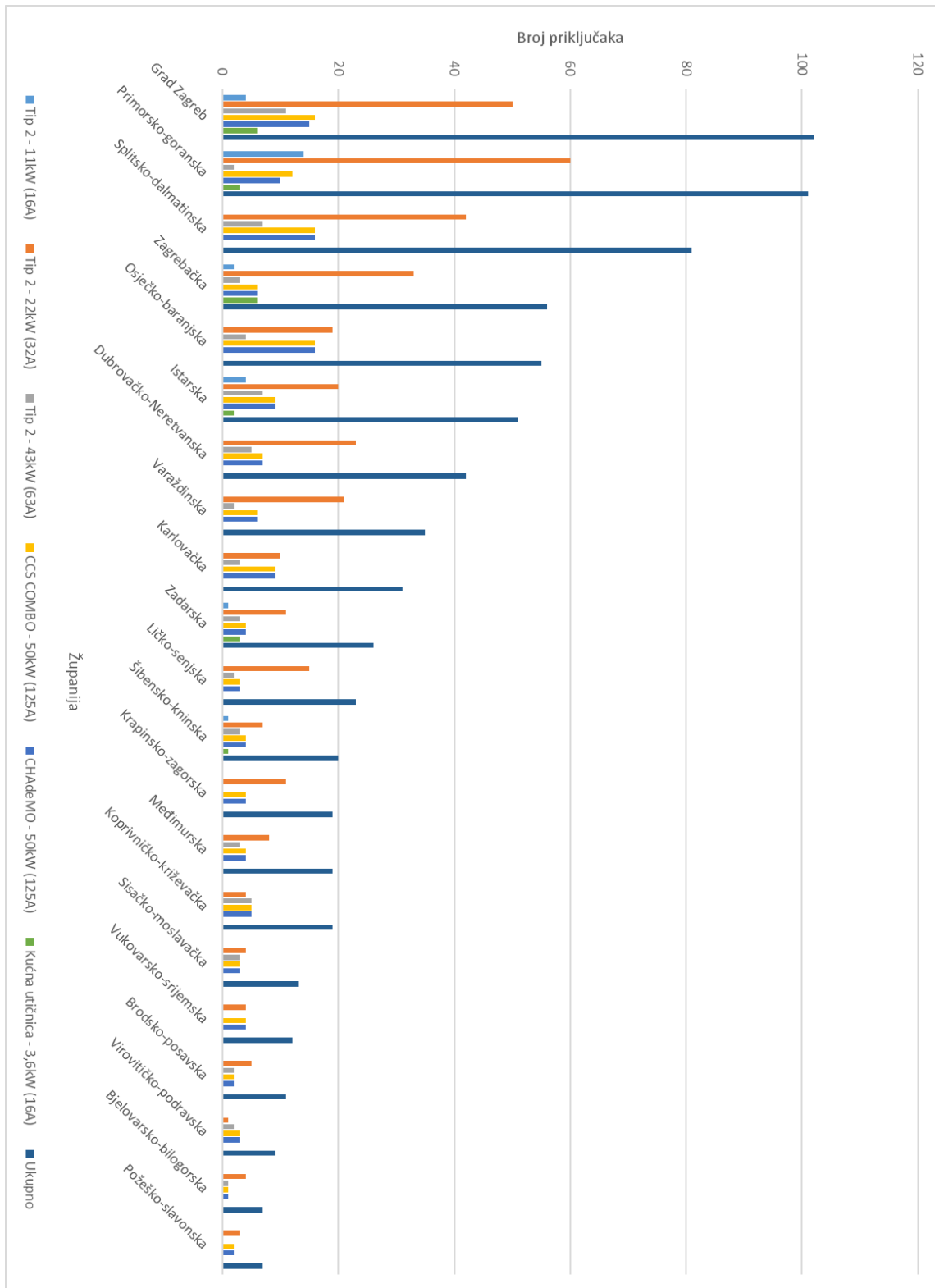
Tablica 1. Razlike između tradicionalnog i održivog planiranja prometa.....	5
Tablica 2. Popis najčešćih električnih i plug-in hibridnih vozila u Republici Hrvatskoj 2020. godine	16
Tablica 3. Standardi za punjenje električnih vozila.....	20
Tablica 4. Broj priključaka po gradovima	30
Tablica 5. Izvorišno - odredišna matrica s udaljenostima između gradova izraženo u kilometrima.....	32
Tablica 6. Izvorišno - odredišna matrica s brojem punionica između gradova.....	33
Tablica 7. Izvorišno - odredišna matrica s potrebnim brojem punjenja na relacijama.....	33
Tablica 8. Prosječna udaljenost između punionica na relaciji izražena u kilometrima.....	40

Popis priloga

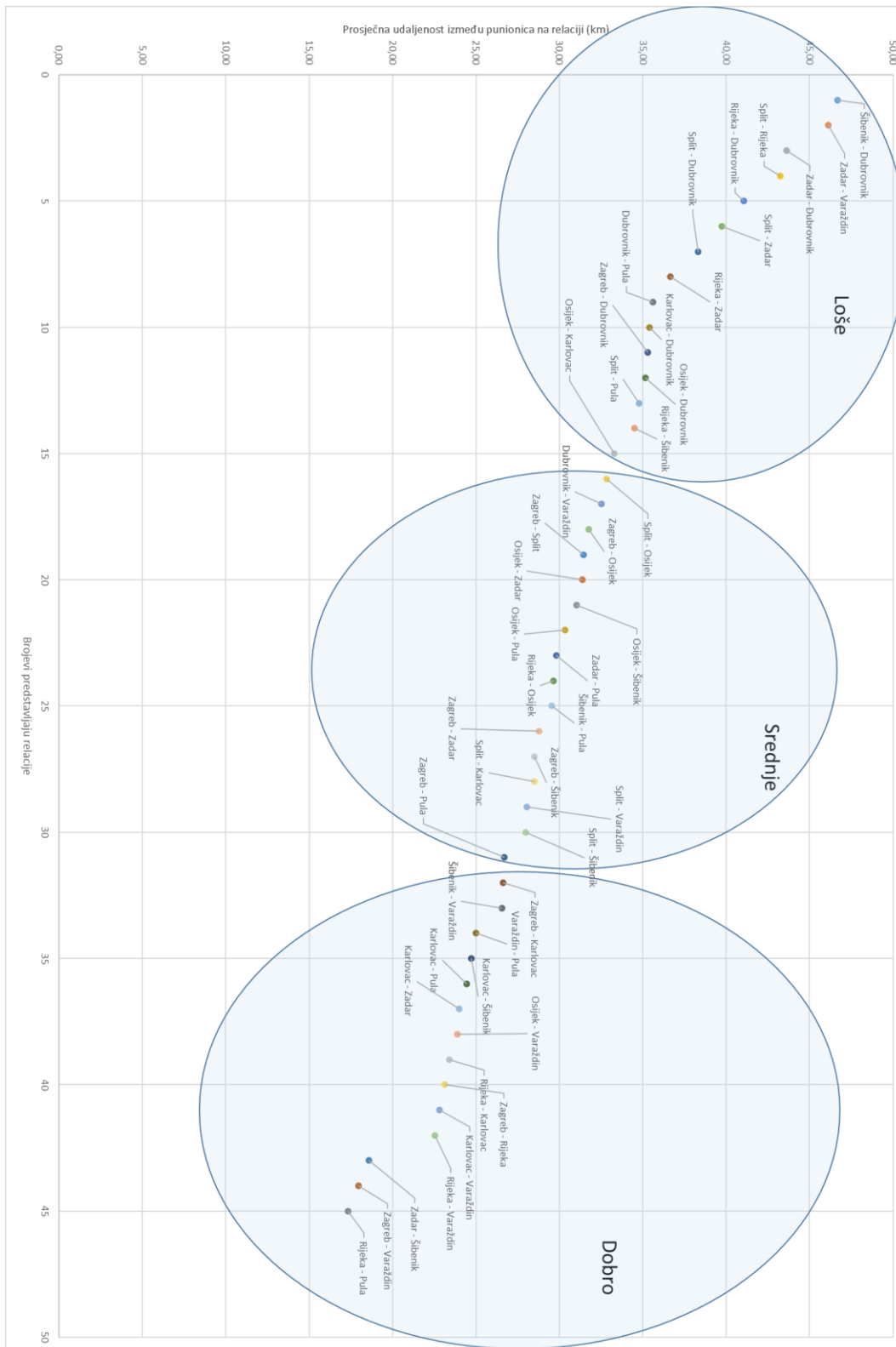
Prilog 1. Broj priključaka po županijama.....	57
Prilog 2. Klusterska analiza rasprostranjenosti električnih punionica.....	58

Prilozi

Prilog 1. Broj priključaka po županijama



Prilog 2. Klasterska analiza rasprostranjenosti električnih punionica



Izjava o akademskoj čestitosti i suglasnosti




Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ diplomski rad
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.
Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.
Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.
Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ diplomskog rada
pod naslovom **Analiza rasprostranjenosti punionica za električna vozila u**
Republici Hrvatskoj
na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 2.9.2021

Student/ica:

(potpis)