

# Ovisnost dometa električnih vozila o uvjetima vožnje

---

Coha, Rafaela

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:149:269597>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-28**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE  
SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ

Rafaela Coha

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, srpanj 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE  
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKE ISPITE

Kandidatkinja **Rafaela Coha**

Predala je izrađen diplomski rad dana: 06. srpnja 2023.

Povjerenstvo u sastavu:

Prof. dr. sc. Igor Sutlović, Sveučilište u Zagrebu Fakultet  
kemijskog inženjerstva i tehnologije

Prof. dr. sc. Veljko Filipan, Sveučilište u Zagrebu Fakultet  
kemijskog inženjerstva i tehnologije

Prof. dr. sc. Emi Govorčin Bajsić, Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije

Izv. prof. sc. Vladimir Dananić, Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije (zamjena)

povoljno je ocijenilo diplomski rad i odobrilo obranu diplomskog  
rada pred povjerenstvom u istom sastavu.

Diplomski ispit održat će se dana: 11. srpnja 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE  
SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ

Rafaela Coha

**OVISNOST DOMETA ELEKTRIČNIH VOZILA O UVJETIMA VOŽNJE**

DIPLOMSKI RAD

Voditelj rada: prof. dr. sc. Igor Sutlović

Članovi ispitnog povjerenstva:

prof. dr. sc. Igor Sutlović

prof. dr. sc. Veljko Filipan

prof. dr. sc. Emi Govorčin Bajsić

Zamjena: izv. prof. dr. sc. Vladimir Dananić

Zagreb, srpanj 2023.

*Zahvaljujem se svom mentoru prof. dr. sc. Igoru Sutloviću na prijedlogu zanimljive teme i iskazanoj susretljivosti tijekom pisanja diplomskog rada.*

*Posebno hvala mojoj obitelji, dečku i prijateljima koji su mi bili velika podrška i moj najveći oslonac tijekom svih godina studiranja.*

## SAŽETAK

Dometa je jedna od najvažnijih karakteristika električnih vozila, a odnosi se na broj kilometara koje električno vozilo može prijeći s potpuno napunjenom baterijom. Postoji veliki broj parametara koji imaju utjecaj na dometa električnog vozila, a neki od njih su baterija, stil vožnje vozača i okolišni uvjeti. U ovome radu istraživana je ovisnost dometa električnih vozila o uvjetima vožnje. U tu svrhu uzete su realne vrijednosti potrošnje električne energije dobivene mjerenjem pri četiri različite brzine vožnje. Pomoću podataka o potrošnji energije i iskoristivom kapacitetu baterije izračunat je dometa električnih vozila pri sve četiri brzine vožnje, te je napravljena usporedba između dometa koji propisuju proizvođači električnih vozila i dometa u realnim uvjetima vožnje. Brzina vožnje ima utjecaj na potrošnju električne energije i na dometa električnih vozila.

Ključne riječi: električno vozilo, dometa, uvjeti vožnje, standardi za određivanje dometa

## **ABSTRACT**

Range is one of the most important characteristics of electric vehicles and it is referred to as the number of kilometers an electric vehicle can travel with a fully charged battery. There are a large number of parameters that have an impact on the range of an electric vehicle, some of them are the battery, the driver's driving style and environmental conditions. In this paper the focus was on the dependence of the range of electric vehicles on driving conditions. For this purpose, real values of electric energy consumption obtained by measurement at four different driving speeds were taken. Using data on energy consumption and usable battery capacity, the range of electric vehicles at all four driving speeds was calculated and a comparison was made between the range prescribed by electric vehicle manufacturers and the range in real driving conditions. Driving speed has an impact on the electric energy consumption and on the range of electric vehicles.

Keywords: electric vehicle, range, driving conditions, standards for determining the range

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. DOMET ELEKTRIČNIH VOZILA</b> .....	2
<b>3. PARAMETRI KOJI UTJEČU NA DOMET</b> .....	4
3.1. Baterija.....	4
3.2. Stil vožnje vozača .....	7
3.3. Okolišni uvjeti.....	9
<b>4. STANDARDI ZA ODREĐIVANJE DOMETA ELEKTRIČNIH VOZILA</b> .....	12
4.1. WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedures) test .....	12
4.2. EPA (Environmental Protection Agency) test .....	15
4.3. CLTC (China Light-Duty Vehicle Test Cycle) test .....	17
<b>5. PUNJENJE ELEKTRIČNIH VOZILA</b> .....	20
5.1. Razine punjenja električnih vozila .....	20
5.2. Načini punjenja električnih vozila .....	21
5.3. Stanice za punjenje.....	23
5.4. Punjenje električnih vozila u budućnosti .....	25
<b>6. REZULTATI I RASPRAVA</b> .....	27
6.1. Uvjeti mjerenja .....	27
6.2. Potrošnja energije električnih vozila .....	28
6.3. Domet električnih vozila .....	29
<b>7. ZAKLJUČAK</b> .....	40
<b>8. LITERATURA</b> .....	41



## 1. UVOD

Baterijska električna vozila (BEV) su vozila koja se pokreću isključivo električnom energijom. Ovaj tip vozila nema motor s unutarnjim izgaranjem i ne koristi nikakvu vrstu tekućeg goriva. Glavni dijelovi električnog vozila su baterija, električni motor i upravljač motora. Baterijska električna vozila koriste električnu energiju iz elektrokemijske baterije, te na taj način napajaju jedan ili više elektromotora. [1]




Električna vozila imati će ključnu ulogu u smanjenju negativnih utjecaja cestovnog prometa na ljudsko zdravlje, klimu i okoliš. U usporedbi s vozilima na benzinski i dizelski pogon, električna vozila ispuštaju manje stakleničkih plinova i onečišćujućih tvari tijekom svog životnog ciklusa. Električna vozila također smanjuju buku jer su tiša od konvencionalnih vozila s motorom s unutarnjim izgaranjem. Iako su emisije onečišćujućih tvari tijekom upotrebe električnih vozila niske, dolazi do ispuštanja onečišćujućih tvari u fazi proizvodnje. U budućnosti se očekuje da će proizvodnja električnih vozila postati učinkovitija, a proizvodnja električne energije čišća. [2, 3]

Broj električnih vozila diljem svijeta raste posljednjih godina i očekuju se da će nastaviti rasti velikom brzinom u bliskoj budućnosti. Razlozi zbog kojih raste broj električnih vozila su razvoj baterija što dovodi do većeg dometa električnih vozila i državni poticaji poput besplatnog punjenja, nižih poreza i smanjenih troškova registracije. Međutim, unatoč rastu prodaje električnih vozila, ona još uvijek nisu općeprihvaćena među širom populacijom zbog zabrinutosti oko dometa i nedostatka stanica za punjenje. Zabrinutost oko dometa se odnosi na strah da će se baterija električnog vozila isprazniti prije nego što se stigne na odredište ili do stanice za punjenje. Proizvođači električnih vozila propisuju domet za svako električno vozilo prema određenom testu, ali ta vrijednost dometa nije jednaka dometu koji električna vozila postižu u realnim uvjetima vožnje.

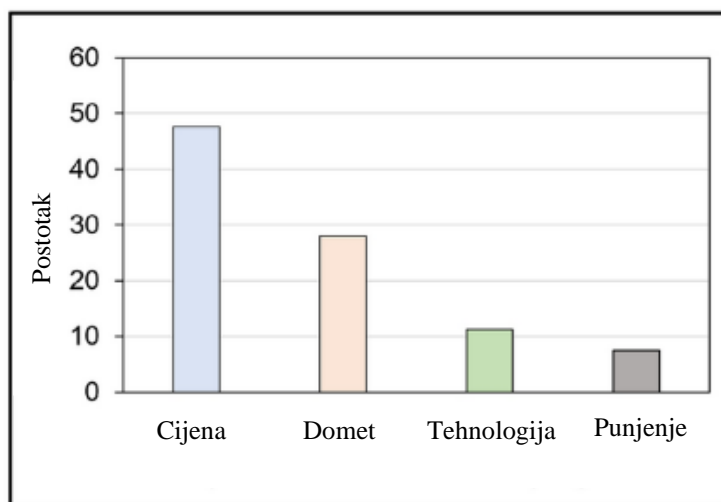
Cilj ovog rada je opisati kako baterija, stil vožnje vozača i okolišni uvjeti utječu na domet, te opisati standarde za određivanje dometa električnih vozila. Također, u ovom radu je prikazana ovisnost dometa električnih vozila o brzini vožnje i usporedba između stvarnog dometa i dometa koji propisuju proizvođači vozila.

## 2. DOMET ELEKTRIČNIH VOZILA

Postoji mnogo stvari koje kupac treba uzeti u obzir kada kupuje novo vozilo, a tri glavne kategorije koje mogu utjecati na odluku kupca da kupi električno vozilo su cijena, performanse i utjecaj na okoliš, što je detaljnije prikazano na Slici 1. Na Slici 2. su pomoću postotaka prikazani glavni razlozi koji sprječavaju kupce da se odluče za kupnju električnog vozila. Problemi koji sprječavaju rast broja električnih vozila vezani su uz trajanje baterije, domet, visoke troškove i ograničen pristup stanicama za punjenje.

		
<b>Cijena</b>	<b>Performanse</b>	<b>Utjecaj na okoliš</b>
Cijena vozila	Domet	Nema emisija CO <sub>2</sub>
Cijena električne energije	Vrijeme punjenja	Prihvatljiviji za okoliš od klasičnih vozila
Cijena održavanja	Dostupnost stanica za punjenje	Doprinosi održivoj budućnosti
Cijena poreza na vozilo		
Cijena ugradnje punjača kod kuće		

**Slika 1.** Karakteristike električnih vozila



**Slika 2.** Problemi koji sprječavaju rast broja električnih vozila [4]

Domet električnog vozila jedan je od najvažnijih faktora kod kupnje takve vrste vozila. Domet električnog vozila odnosi se na udaljenost koju električno vozilo može prijeći s potpuno napunjenom baterijom, odnosno s jednim punjenjem. Proizvođači električnih vozila propisuju domet za svako vozilo, ali taj domet se odnosi na vožnju u idealnim uvjetima. Većina korisnika

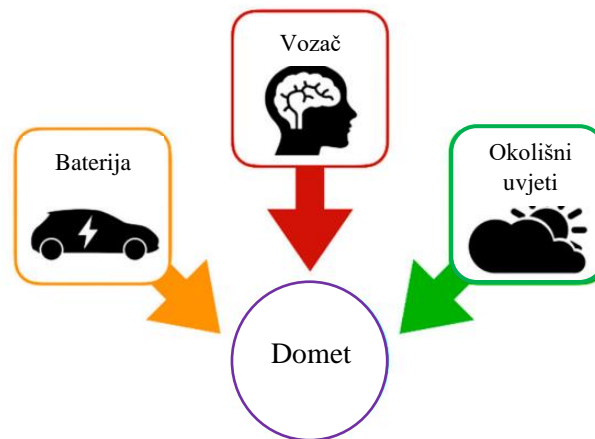
električnih vozila je zabrinuta zbog postojanja rizika pražnjenja baterije, te nemogućnosti dolaska do stanice za punjenje. [5] Klasična vozila na benzin ili dizel su jednostavnija jer kada nestane goriva, potrebno je zaustaviti se na benzinskoj crpki i natočiti gorivo, što traje samo par minuta. Električna vozila nisu tako jednostavna jer kada se baterija isprazni potrebno je pronaći stanicu za punjenje, priključiti vozilo i čekati. Zahvaljujući poboljšanjima i napretku u razvoju baterija, prosječni domet električnih vozila više se nego udvostručio tijekom posljednjeg desetljeća, prema podacima Međunarodne agencije za energiju (engl. *International Energy Agency*, IEA). Od 2021. godine prosječno električno vozilo na baterije može prijeći 349 kilometara s jednim punjenjem što predstavlja povećanje od 44 % u odnosu na 2017. godinu i povećanje od 152 % u odnosu na prošlo desetljeće. U Tablici 1. prikazan je prosječni domet električnih automobile od 2010. do 2021. godine. Razvojem novih tehnologija i baterija, domet električnih vozila će se i dalje povećavati u budućnosti. [6, 7]

**Tablica 1.** Prosječni domet električnih automobila od 2010. – 2021. [6]

<b>Godina</b>	<b>Prosječni domet, km</b>
2010.	127
2011.	138
2012.	159
2013.	188
2014.	209
2015.	211
2016.	233
2017.	243
2018.	304
2019.	336
2020.	338
2021.	349

### 3. PARAMETRI KOJI UTJEČU NA DOMET

Domet električnog vozila ovisi o velikom broju čimbenika koji se mogu podijeliti u tri glavne grupe: baterija, stil vožnje vozača i okolišni uvjeti (Slika 3.). Neki parametri su nepromjenjivi kao što su vrsta vozila, broj sjedala, masa, vrsta baterije, cestovna infrastruktura, dostupnost stanica za punjenje, vrijeme punjenja. Ostali parametri kao što su stanje napunjenosti baterije, zdravstveno stanje baterije, ponašanje vozača, gustoća prometa, vremenski uvjeti podložni su promjenama. [8, 9]

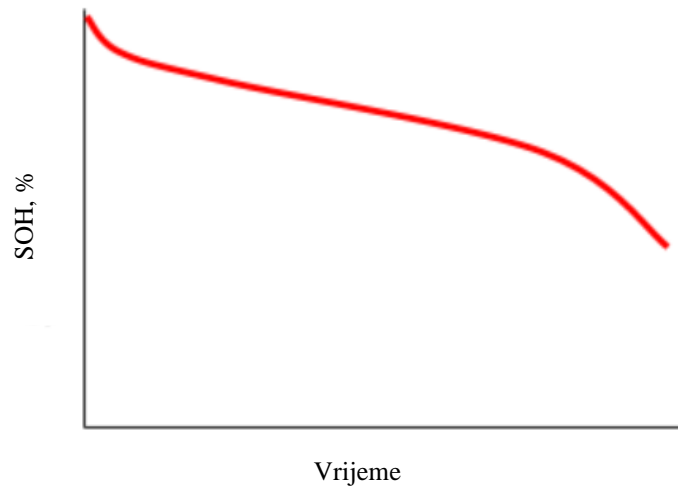


*Slika 3.* Parametri koji utječu na domet [8]

#### 3.1. Baterija

Najčešće korištena vrsta baterija u električnim vozilima su litij-ionske baterije. Domet električnih vozila ovisi o veličini baterije, odnosno o kapacitetu baterije. Kapacitet baterije se odnosi na energiju sadržanu u bateriji, te se mjeri u kilovat-satima. Što više kWh baterija ima, to više kilometara vozilo može prijeći s jednim punjenjem. [10] Domet električnog vozila smanjivati će se s godinama zbog starenja baterije. Degradacija baterije prirodni je proces koji trajno smanjuje količinu energije koju baterija može pohraniti ili količinu energije koju može isporučiti. U električnim vozilima uglavnom dolazi do smanjene sposobnosti baterije da pohranjuje energiju. Potpuno nova električna vozila imati će zdravstveno stanje baterije (engl. *State of Health*, SOH) od 100 %, ali će se s vremenom taj postotak smanjivati. Zdravstveno stanje baterije se odnosi na preostali kapacitet baterije u usporedbi s kapacitetom baterije kada je nova. Na primjer, ako baterija ima kapacitet od 50 kWh i SOH od 90%, zapravo učinkovito djeluje kao baterija od 45 kWh. Prema istraživanjima, električna vozila u prosjeku gube oko 2 % kapaciteta baterije godišnje. Na Slici 4. je prikazana krivulja koja opisuje degradaciju baterije tijekom vremena, odnosno promjenu zdravstvenog stanja baterije tijekom vremena. Dolazi do

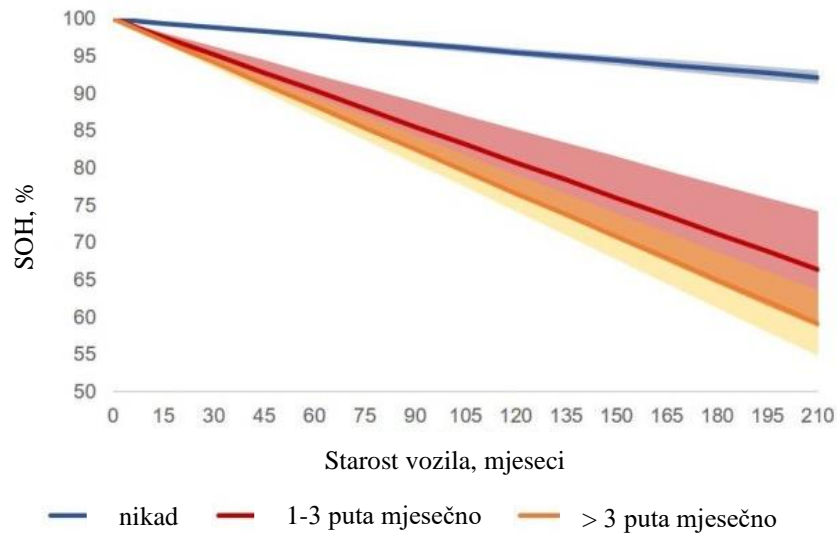
smanjenja zdravstvenog stanja baterije tijekom vremena, a na kraju životnog vijeka baterije javlja se značajan pad. Općenito, životni vijek baterija koje se koriste u električnim vozilima je 10-20 godina, ali to ovisi o brojnim čimbenicima. Baterije su pokrivena garancijom uglavnom u vremenu od 8 godina ili do 100 000 prijeđenih milja, ali to se razlikuje ovisno o proizvođaču i zemlji. [11, 12, 13]



**Slika 4.** Degradacija baterije tijekom vremena [11]

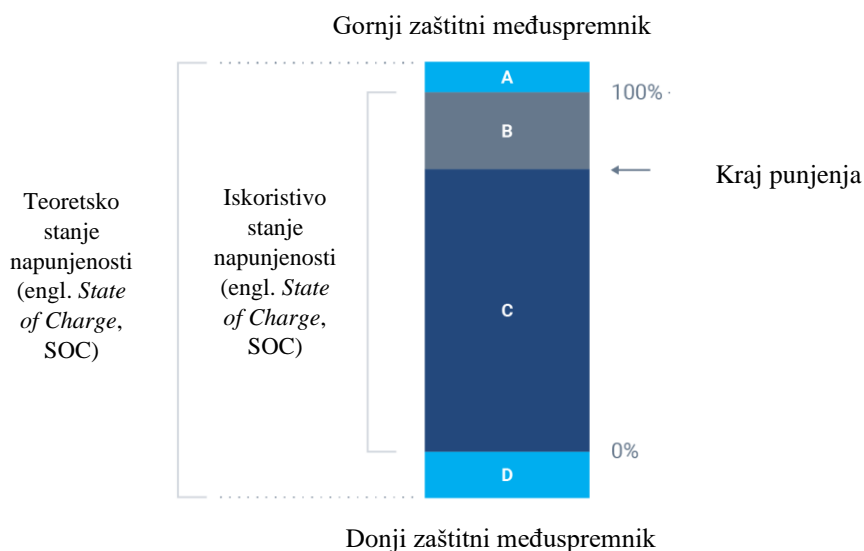
Degradacija baterije ovisi o brojnim čimbenicima kao što su kemija baterije, sustav upravljanja toplinom (engl. *Thermal Management System*, TMS), vrsta punjenja, temperatura. Električna vozila koriste litij-ionske baterije, ali postoji razlika u materijalima koji se koriste za elektrode. Većina električnih vozila u današnje vrijeme opremljena je sustavom za upravljanje toplinom. Dobro upravljanje toplinom omogućuje bolju zaštitu od degradacije baterije. TMS je klima uređaj za bateriju, a glavna razlika je hladi li se baterija ili grije zrakom ili tekućinom. Iako su današnja električna vozila dizajnirana tako da izdrže veliki broj ciklusa punjenja i pražnjenja baterije, česta upotreba brzog punjenja istosmjernom strujom (engl. *Direct Current Fast Charging*, DCFC) ubrzava degradaciju baterije. S obzirom da ova vrsta punjenja dovodi do povišenih temperatura baterije, električno vozilo s TMS-om će automatski aktivirati sustav hlađenja kako bi se izbjegla degradacija baterije uslijed visokih temperatura. Veliki broj proizvođača električnih vozila predlaže ograničavanje korištenja brzog punjenja istosmjernom strujom s ciljem produljenja vijeka trajanja baterije. [11, 12] Na Slici 5. je prikazan utjecaj DCFC-a na zdravstveno stanje baterije. Kod vozila koja koriste brzo punjenje 1 – 3 puta mjesečno i više od 3 puta mjesečno vidljiv je značajan pad zdravstvenog stanja baterije tijekom

vremena. Ovu vrstu punjenja bi trebalo koristiti samo kada je to potrebno, na primjer za vrijeme dugih putovanja.



**Slika 5.** Utjecaj brzog punjenja istosmjernom strujom na degradaciju baterije [12]

Sva električna vozila koja koriste litij-ionske baterije dizajnirana su tako da se njihov puni kapacitet ne može iskoristiti u vožnji. Mnoga električna vozila opremljena su međuspremnikom za zaštitu baterije, te se na taj način onemogućava da baterija dosegne gornju ili donju granicu razine napunjenosti. Vožnja električnog vozila s gotovo punom ili ispražnjenom baterijom ima utjecaj na zdravlje baterije. Električno vozilo može pokazivati 100 % kada je potpuno napunjeno, ali zapravo nije u potpunosti napunjeno. Zaštitni međuspremnik baterije čuva oko 5 – 10 % na gornjem i donjem kraju raspona napunjenosti baterije, te se na taj način smanjuje stopa degradacije baterije. [11, 14] Na Slici 6. je prikazana funkcija zaštitnog međuspremnika baterije.

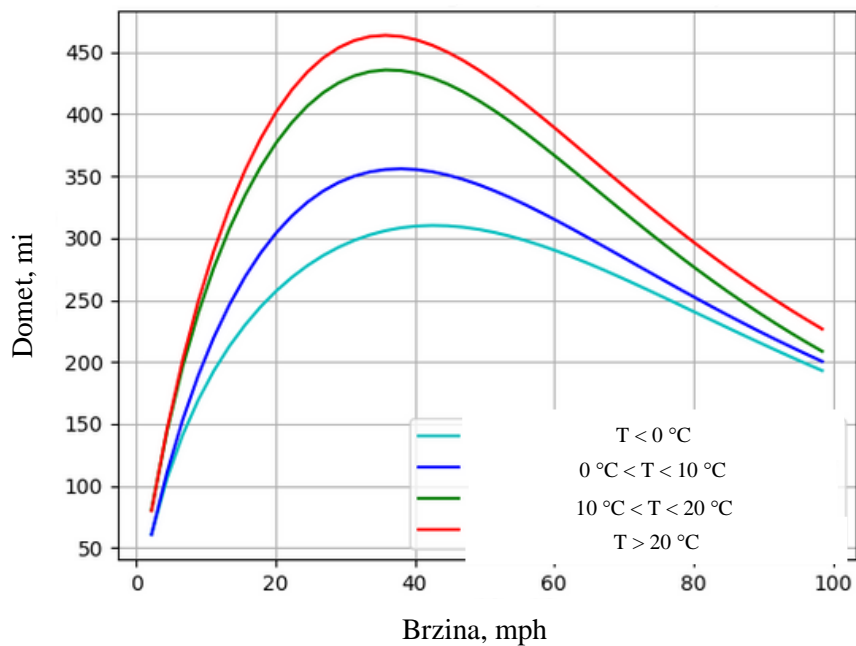


**Slika 6.** Funkcija zaštitnog međuspremnika baterije [11]

### 3.2. Stil vožnje vozača

Ponašanje vozača u prometu je vrlo dinamično i različito. Neki parametri koji utječu na domet električnih vozila su pod kontrolom vozača, a to su ubrzanje i kočenje, vožnja velikim brzinama i regenerativno kočenje. Agresivnija vožnja, odnosno nagla ubrzanja, kočenja i vožnja velikim brzinama smanjuju domet. Upotreba regenerativnog kočenja kod vožnje električnih vozila povećava domet. [15]

Količina energije koju električno vozilo koristi usko je povezana s brzinom vozila. Potrošena energija raste gotovo eksponencijalno s povećanjem brzine vozila. [16] Otpor zraka negativno utječe na potrošnju energije svih vozila, a sila otpora se mijenja s brzinom vožnje. Otpor raste proporcionalno kvadratu brzine, te ovisi i o aerodinamici vozila, gustoći i karakteristikama zraka. Na Slici 7. je prikazan utjecaj brzine na domet električnih vozila pri različitim temperaturama. Idealna brzina pri kojoj se postiže maksimalni domet mijenja se s temperaturom. Iz Slike 7. vidljivo je da se pri brzinama većim od 40 mph smanjuje domet. Vožnjom velikim brzinama se prije stigne do cilja, što znači manje potrošene energije na sustav grijanja i hlađenja, te to ima pozitivan utjecaj na domet. Međutim, velike brzine podrazumijevaju više potrošene energije za prevladavanje otpora, što ima negativan utjecaj na domet vozila. Utjecaj brzine na domet postaje dominantniji pri većim brzinama, a vožnja dozvoljenom brzinom najbolji je način za očuvanje dometa. [15, 17, 18]

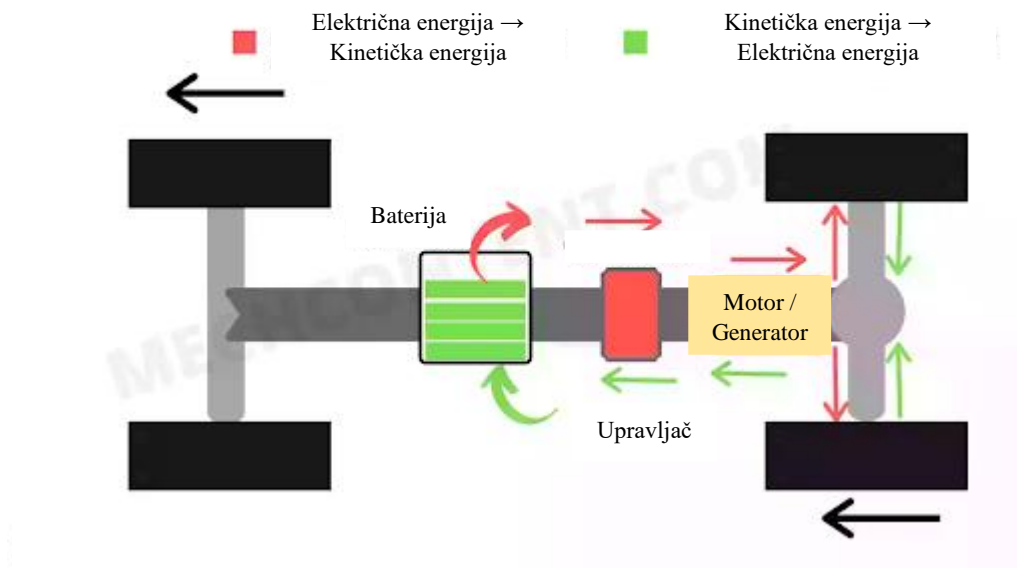


**Slika 7.** Utjecaj brzine na dometa električnih vozila [18]

Nagla ubrzanja i kočenja dovode do bržeg pražnjenja baterije, a samim time i do smanjenja dometa. Tijekom ubrzanja električna energija iz baterije pretvara se, pomoću elektromotora, u kinetičku energiju koju posjeduje vozilo. Kod naglih ubrzanja, baterija mora opskrbljivati motor dodatnom energijom kako bi se postigla željena brzina u kratkom vremenskom razdoblju. Procjenjuje se da veliko ubrzanje može udvostručiti ili čak učeterostručiti energiju potrebnu za postizanje ciljane brzine. Također, tijekom naglog ubrzanja javljaju se određeni gubici kao što su gubici zbog trenja i toplinski gubici. [15, 16, 19]

Regenerativno kočenje jedinstvena je tehnologija koja se koristi u električnim vozilima, te doprinosi povećanju dometa. U električnom vozilu baterija opskrbljuje motor energijom, a motor daje energiju za okretanje kotača vozila proizvodeći kinetičku energiju. S regenerativnim kočenjem, energija iz kotača koji se okreću koristi se za promjenu smjera struje – od elektromotora do baterije. Drugim riječima, motor može raditi unatrag i tada djeluje kao generator. Kada vozilo usporava, generator pretvara kinetičku energiju u električnu energiju koja se koristi za punjenje baterije vozila. Na Slici 8. je prikazan princip regenerativnog kočenja. Kako bi se regenerativno kočenje aktiviralo, potrebno je maknuti nogu s gasa ili, u nekim slučajevima pritisnuti kočnicu. [20, 21]



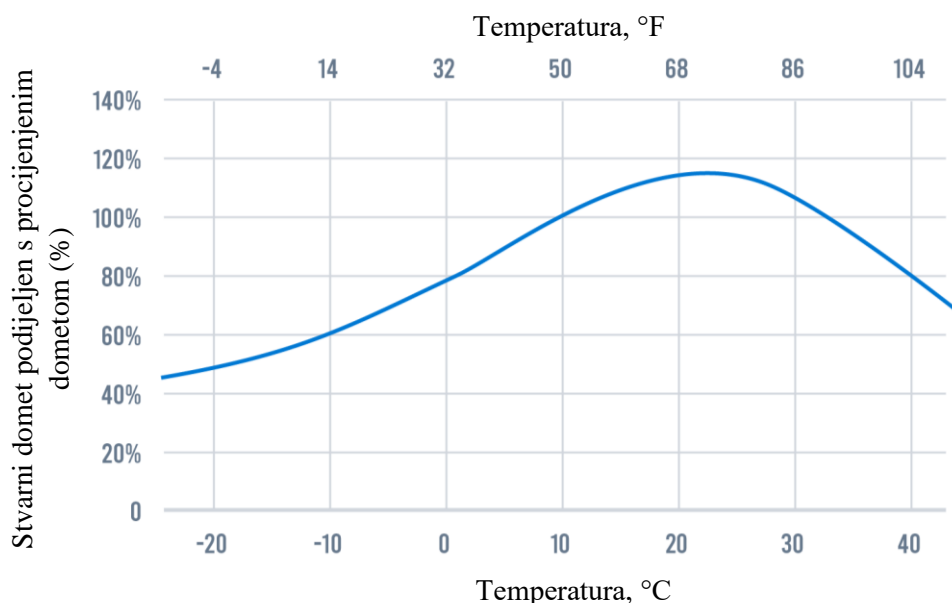


*Slika 8.* Princip regenerativnog kočenja [22]

Primjenom konvencionalnog sustava kočenja, vozilo usporava zbog pojave trenja između kočionih pločica i rotora. Ovaj sustav kočenja je vrlo neučinkovit jer se skoro sva kinetička energija koja pokreće vozilo gubi kao toplina kada se pritisne kočnica. [21] Učinkovitost regenerativnog kočenja značajno ovisi o uvjetima vožnje, terenu i veličini vozila. U gradskoj vožnji učinkovitost regenerativnog kočenja je znatno veća nego pri vožnji autocestom. Za vrijeme vožnje nizbrdo, regenerativno kočenje može se koristiti gotovo stalno za reguliranje brzine dok se baterija puni bez prestanka. Veličina vozila utječe na učinkovitost regenerativnog kočenja jer vozila veće mase imaju i više kinetičke energije. Regenerativno kočenje omogućuje produljenje dometa električnih vozila. Na primjer, vozači električnog vozila Tesla model S ponovno su iskoristili 32 % svoje ukupne potrošnje energije dok su se vozili uzbrdo, a zatim natrag nizbrdo. To bi povećalo domet vozila od 100 milja na 132 milje. [23]

### 3.3. Okolišni uvjeti

Na domet električnih vozila izravno utječe vanjsko okruženje (temperatura, oborine, vjetar), kao i uvjeti unutar vozila (temperatura u putničkom prostoru, korištenje pomoćnih sustava). [8] Temperatura na gotovo isti način utječe na domet električnih vozila različitih marki i modela. I visoke i niske temperature negativno utječu na domet vožnje električnih vozila. Slika 9. prikazuje prosječni domet koji će električno vozilo postići u usporedbi s procijenjenim dometom na različitim temperaturama. [24, 25]

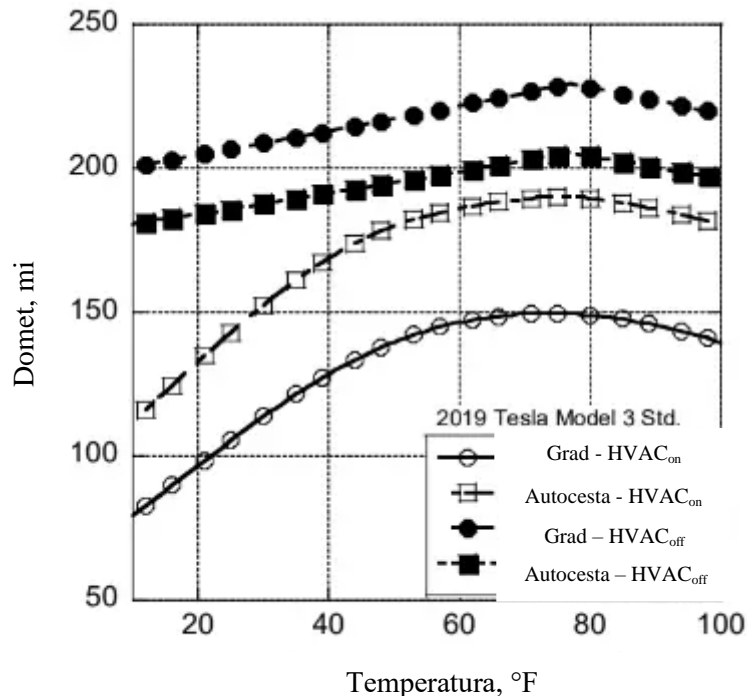


**Slika 9.** Utjecaj temperature na domet električnih vozila [25]

Na optimalnim temperaturama, električna vozila dostižu veći domet od procijenjenog dometa, te postižu vrhunac od 115 % na temperaturi od 21,5 °C. Na temperaturama nižim od 10 °C i višim od 32 °C smanjuje se stvarni domet u usporedbi s procijenjenim dometom. Naprimjer, na temperaturi od -15 °C, stvarni domet električnih vozila se smanjuje na 54 % procijenjenog dometa. Domet se smanjuje brže povećanjem temperature, što vidimo iz strmijeg nagiba krivulje. [24, 25] Još jedan faktor koji utječe na domet električnog vozila je vjetar, te je povezan s otporom i aerodinamikom vozila. Vjetar može imati i pozitivan i negativan utjecaj na domet ovisno u kojem smjeru puše. S konstantnim vjetrom koji puše u stražnju stranu vozila moguće je premašiti očekivani domet. Kada puše jak čeon vjetar, javlja se veliki otpor, te se domet vozila smanjuje. Utjecaj vjetra na domet električnih vozila puno je vidljiviji pri brzinama koje se postižu na autocesti, te je u tim situacijama moguće smanjenje ili povećanje dometa do 20 %. Kiša i snijeg smanjuju domet električnih vozila jer se javlja otpor. Što su oborine jače i obilnije, to je i utjecaj na domet veći. [26, 27]

Istraživanja su pokazala da će pomoćni sustav grijanja i hlađenja unutar vozila uzrokovati značajno smanjenje dometa i zimi i ljeti. Zimi grijanje može dovesti do smanjenja dometa do 54 %, a ljeti sustav hlađenja može uzrokovati smanjenje dometa do 37 %. [8] Na Slici 10. je prikazan utjecaj sustava grijanja i hlađenja (engl. *Heating, Ventilation and Air Conditioning*, HVAC) na domet električnih vozila za vrijeme gradske vožnje i vožnje autocestom. Energija dobivena iz baterije ne napaja samo vozilo već i pomoćne sustave koji reguliraju temperaturu u putničkom prostoru vozila. Na ekstremnim temperaturama smanjuje

se učinkovitost baterije, odnosno sposobnost pohranjivanja i oslobađanja energije. Danas postoje sustavi koji održavaju baterije unutar optimalnog temperaturnog raspona, te na taj način smanjuju gubitak performansi baterije i sam utjecaj na domet vozila. [25, 28]



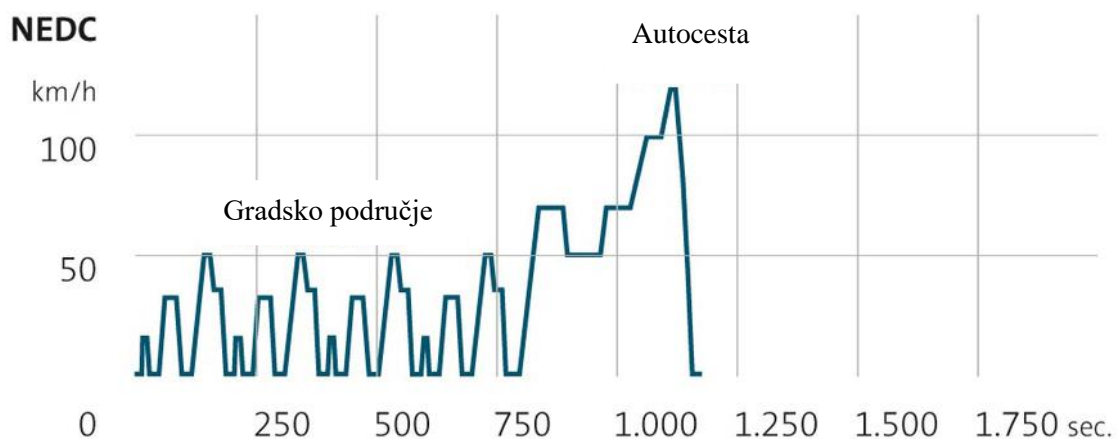
**Slika 10.** Utjecaj sustava grijanja i hlađenja na domet električnih vozila [16]

Kako bi se povećao domet vožnje u svim vremenskim uvjetima, nastoji se smanjiti korištenje sustava za grijanje i hlađenje zraka u kabini vozila. Umjesto uobičajenog sustava grijanja može se uključiti grijanje sjedala i upravljača. Grijač sjedala i upravljača koristi snagu od 75 W, te se toplina prenosi na tijelo kondukcijom. Sustav grijanja zraka u kabini je manje učinkovit, te koristi puno veću snagu (3000-5000 W). Postoji mogućnost da se vozilo zagrije ili ohladi prije nego što se krene na put. Kada se sustav grijanja i hlađenja uključi dok je vozilo još priključeno na punjač, vozilo koristi manje energije iz baterije. Proizvođači automobila preporučuju uključivanje vozila u struju tijekom vrlo toplih ili vrlo hladnih dana kada se vozilo ne koristi jer to omogućuje unutarnjem sustavu da održava temperaturu baterije. Također, moguće je koristiti ekološki način rada vozila koji smanjuje potrošnju energije i povećava domet. [24, 25]

## 4. STANDARDI ZA ODREĐIVANJE DOMETA ELEKTRIČNIH VOZILA

### 4.1. WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedures) test

Proizvođači automobila obvezni su objaviti potrošnju goriva automobila s motorom s unutarnjim izgaranjem ili domet električnih automobila prema standardnom testu. WLTP test je zamijenio NEDC (engl. *New European Driving Cycle*, NEDC) test koji je uveden 1992. godine od strane Europske Unije. NEDC test je vrijedio za osobna i laka gospodarska vozila, te je uključivao vrijednosti potrošnje goriva i emisija ispušnih plinova. Stari NEDC test je određivao ispitne vrijednosti na temelju teorijskog profila vožnje bez realnog prikaza stvarne potrošnje goriva i emisija. Temeljio se na mjerenjima u apstraktnim laboratorijskim uvjetima, te je na temelju dobivenih rezultata bila moguća usporedba različitih vozila. [29, 30] Na Slici 11. su prikazani okvirni uvjeti za mjerenje kod NEDC testa.



*Slika 11.* Uvjeti mjerenja (NEDC test) [30]

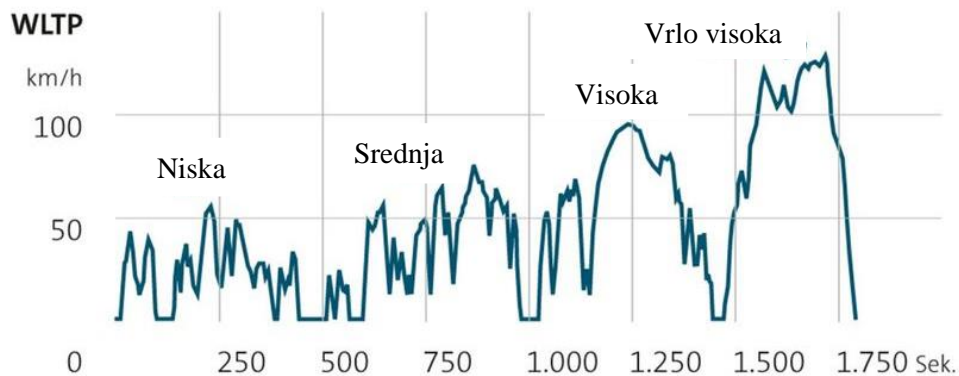
WLTP su razvili stručnjaci iz Europe, Japana i Indije prema uputama Gospodarske komisije Ujedinjenih naroda za Europu. WLTP test je uveden u rujnu 2019. godine, te omogućuje usporedive rezultate testiranja na globalnoj razini. Ovaj test primjenjuje realniji profil vožnje, te je moguće točnije procijeniti stvarnu svakodnevnu potrošnju energije za različite pogonske sustave, domet i emisije ispušnih plinova. Mjerenja se provode u laboratorijskim uvjetima na ispitnim valjcima u sklopu dinamičnog profila vožnje. [29, 30] WLTP se temelji na realnijim i dinamičnijim uvjetima mjerenja što uključuje dulje ispitne udaljenosti, više tipova vožnje (gradska vožnja, prigradska vožnja, vožnja autocestom), veće prosječne i maksimalne brzine, realnije vanjske temperature (bliže europskom prosjeku), dinamičnija ubrzanja i usporavanja, kraća zaustavljanja. [31] U Tablici 2. su prikazane glavne

razlike između dva postupka ispitivanja. Maksimalna brzina veća je za 10 km/h nego kod NEDC testa, a znatno je viša i prosječna brzina. Trajanje ciklusa vožnje povećalo se s 20 minuta na 30 minuta kod WLTP testa. Također, udaljenost ciklusa vožnje (dionica) se više nego udvostručila s 11 kilometara na 23. Kod WLTP testa uzima se u obzir i dodatna oprema koja utječe na masu vozila, aerodinamična svojstva i potrošnju struje u mirovanju. [30]

**Tablica 2.** Usporedba uvjeta mjerenja NEDC i WLTP testa [31]

	NEDC	WLTP
<b>Trajanje ciklusa, min</b>	20	30
<b>Udaljenost, km</b>	11	23,25
<b>Faze vožnje</b>	2 faze, 66 % gradska vožnja i 34 % vožnja izvan grada	4 dinamične faze, 52 % gradska vožnja i 48 % vožnja izvan grada
<b>Prosječna brzina, km/h</b>	34	46,5
<b>Maksimalna brzina, km/h</b>	120	131
<b>Mjenjači brzina</b>	Vozila imaju fiksne točke mijenjanja brzina	Različite točke mijenjanja brzina za svako vozilo
<b>Temperatura</b>	Mjerenja na 20-30 °C	Mjerenja na 23 °C
<b>Utjecaj dodatne opreme</b>	Ne	Da

WLTP je skup ispitnih postupaka koji se sastoji od laboratorijskog testa WLTC (engl. *Worldwide Harmonized Light-duty Vehicle Test Cycle*, WLTC) i RDE (engl. *Real Driving Emissions*, RDE) ispitnog postupka. WLTC test se sastoji od niza pokretanja, ubrzanja i zaustavljanja u kontroliranom okruženju tijekom određenog vremenskog perioda. U ovom testu uzeta su u obzir i kraća zaustavljanja vozila, pa vozilo nešto više od tri minute provede u mirovanju. [32, 33] Ovaj test podijeljen je u faze prema njihovim maksimalnim brzinama: niska, srednja i visoka. Faza koja se odnosi na visoku brzinu dijeli se na dva dijela: jednu fazu s najvećom brzinom karakterističnom za azijsku vožnju i jednu fazu s najvećom brzinom karakterističnom za europsku i američku vožnju. [34] Na Slici 12. i u Tablici 3. su prikazane sve četiri faze, te njihove maksimalne brzine, prosječne brzine i vrijeme trajanja.



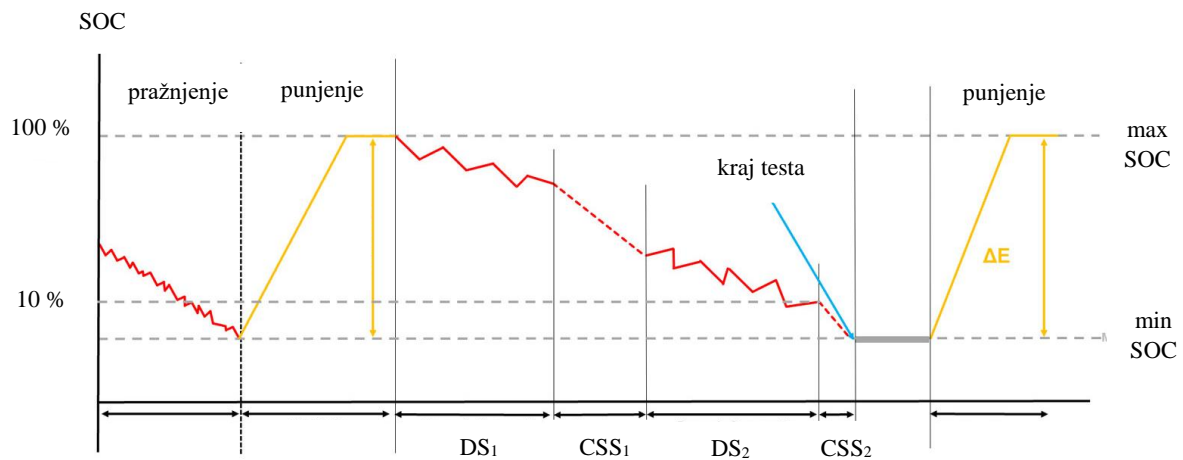
**Slika 12.** Uvjeti mjerenja (WLTP test) [30]

**Tablica 3.** Četiri faze WLTP testa [33]

	<b>Maksimalna brzina (km/h)</b>	<b>Prosječna brzina (km/h)</b>	<b>Vrijeme trajanja (s)</b>
<b>Niska</b>	56,5	25,7	589
<b>Srednja</b>	76,6	44,5	433
<b>Visoka</b>	97,4	60,8	455
<b>Vrlo visoka</b>	131,3	94	323

WLTP test se koristi i za određivanje dometa električnih vozila. Neki proizvođači navode podatke o dometu koji se odnosi na gradsku vožnju. Za izračun te vrste dometa se koriste samo faza niske i srednje brzine iz WLTC ciklusa. Većina proizvođača navodi podatke o dometu koji se odnosi na kombiniranu vožnju (gradska vožnja, autocesta), te se za mjerenje i izračun koriste sve četiri faze WLTC ciklusa. [33] WLTP test za električna vozila dijeli se na dva dinamička ( $DS_1$  i  $DS_2$ ) i dva konstantna dijela ( $CSS_1$  i  $CSS_2$ ) (Slika 13.). U dinamičkom dijelu odvija se ubrzanje i usporavanje, a drugi i četvrti dio uključuju vožnju konstantnom brzinom od 100 km/h. U dinamičkom dijelu najprije se vozi cijeli ciklus, odnosno sve četiri faze WLTP testa, a zatim faza niske i srednje brzine. Ovaj dio služi za određivanje potrošnje energije tijekom vožnje. Duljina drugog i četvrtog dijela ovisi o kapacitetu baterije. Mjere se i struja i napon baterije za vrijeme cijelog ispitivanja. Testna vožnja završava kada električno vozilo više ne može održavati konstantnu brzinu u zadnjem dijelu. Tijekom jednog ciklusa mjerenja bilježi se iskoristivi kapacitet baterije i potrošnja energije. Domet koji se odnosi na kombiniranu vožnju računa se iz prosječnih vrijednosti dva dijela WLTC-a, i to dijeljenjem izmjenjenog sadržaja energije (ne uključuje gubitke pri punjenju) s potrošnjom električne

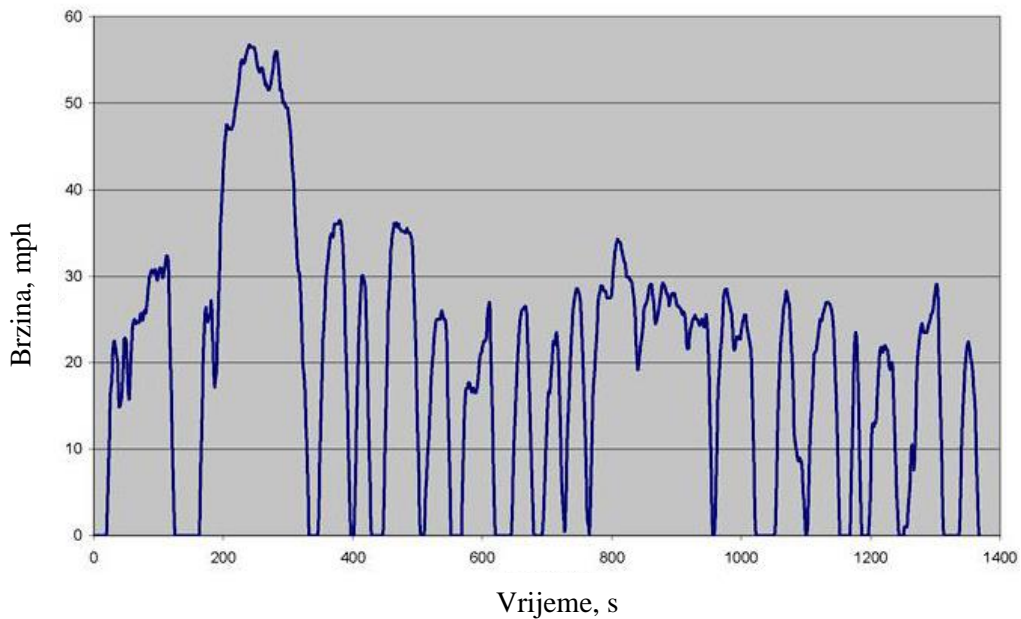
energije. Domet koji se odnosi na gradsku vožnju se računa na isti način, ali samo s vrijednostima iz faze niske i srednje brzine. [35]



*Slika 13.* Određivanje dometa prema WLTP-u [35]

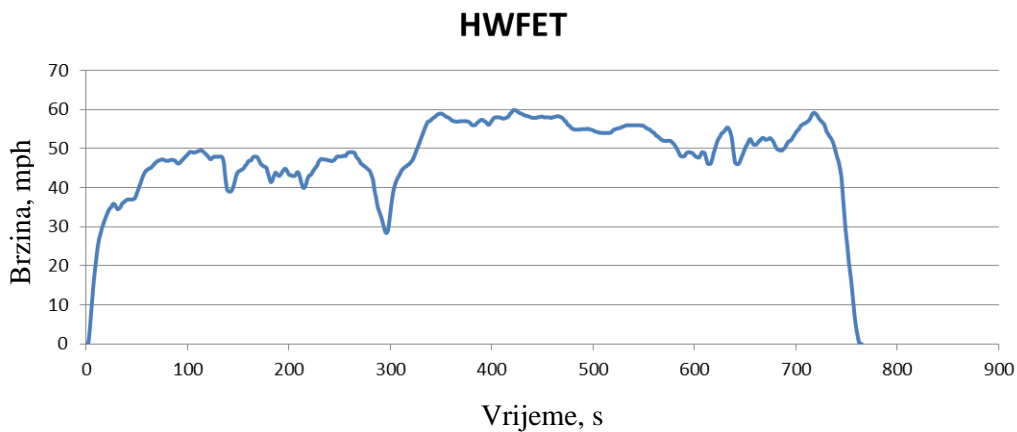
## 4.2. EPA (Environmental Protection Agency) test

Agencija za zaštitu okoliša (EPA) provodi ispitivanja i određivanje dometa električnih vozila u Sjedinjenim Američkim Državama. EPA ispituje vozila pomoću dinamometra u laboratoriju, te određuje domet električnih vozila provodeći niz testova koji simuliraju realne uvjete vožnje. U usporedbi s WLTP testom, vrijednosti dometa dobivene EPA testom su nešto niže. Električna vozila prolaze kroz dva ciklusa, a to su UDDS (engl. *Urban Dynamometer Driving Schedule*, UDDS), koji se odnosi na gradsku vožnju, i HWFET (engl. *Highway Fuel Economy Driving Schedule*, HWFET), koji se odnosi na vožnju autocestom. UDDS ciklus simulira gradsku vožnju tako što vozilo ubrzava, a zatim usporavanjem vraća na nulu. Koristi se za mjerenje potrošnje energije za vrijeme gradske vožnje. [36, 37] Vrijeme trajanja ispitivanja je 1369 sekundi, prosječna brzina vožnje je 31,5 km/h (19,59 mph), a udaljenost koja se prolazi je 12 kilometara (Slika 14.). [38]



**Slika 14.** UDDS ciklus [38]

HWFET ciklus simulira vožnju autocestom tako što vozilo ubrzava, a zatim varira u rasponu brzina od 48 km/h do 96,5 km/h (30-60 mph) za vrijeme cijelog testiranja. Ovaj test se koristi za mjerenje potrošnje energije za vrijeme vožnje autocestom. [36] Vrijeme trajanja ispitivanja je 765 sekundi, prosječna brzina je 77,7 km/h (48,3 mph), a udaljenost koja se prolazi je 16,45 kilometara (Slika 15.). [39]



**Slika 15.** HWFET ciklus [39]

Prije početka testiranja električno vozilo se mora napuniti, ostaviti parkirano preko noći, te se sljedeći dan stavlja na dinamometar i započinje testiranje. Električno vozilo s potpuno napunjenom baterijom vozi se neprekidno prema UDDS ciklusu sve dok se baterija ne isprazni, te se prati prijeđena udaljenost za vrijeme vožnje. Ovaj korak se ponavlja, ali potpuno napunjeno vozilo sada vozi prema HWFET ciklusu. Ponovno se bilježi prijeđena udaljenost sve



dok se baterija ne isprazni. Ovaj test se sastoji od višestrukih ponovljenih vožnji u oba ciklusa. Domet određen ovim testiranjem uzima u obzir čimbenike kao što su niske temperature, klima uređaj i velika brzina. Preliminarne vrijednosti dometa dobivene ovim testom pomnožiti će se s faktorom 0,7 kako bi se dobio domet u realnijim uvjetima vožnje. [36, 40] Naprimjer, ako je domet na autocesti dobiven laboratorijskim ispitivanjem 300 kilometara, onda će stvarni domet biti 210 kilometara. Kod određivanja kombiniranog dometa 55 % se odnosi na gradsku vožnju, a 45 % na vožnju autocestom. [40] Naprimjer, ako je stvarni domet koji se odnosi na gradsku vožnju 280 kilometara, a stvarni domet na autocesti 210 kilometara, onda je kombinirani domet 249 kilometara.

Agencija za zaštitu okoliša (EPA) uvela je 2010. godine novu jedinicu za učinkovitost električnih vozila, MPGe (engl. *miles per gallon of gasoline – equivalent*, MPGe). MPGe nastoji izjednačiti energiju sadržanu u galonu benzina s energijom pohranjenom u alternativnim gorivima (električna energija, vodik...). EPA tvrdi da je jedan galon benzina energetske jednak 33,7 kWh električne energije. [41] Naprimjer, ako električno vozilo koristi 33,7 kWh električne energije za udaljenost od 80 milja, tada njegova učinkovitost iznosi 80 MPGe. Na Slici 16. su prikazane vrijednosti MPGe za najučinkovitija električna vozila.

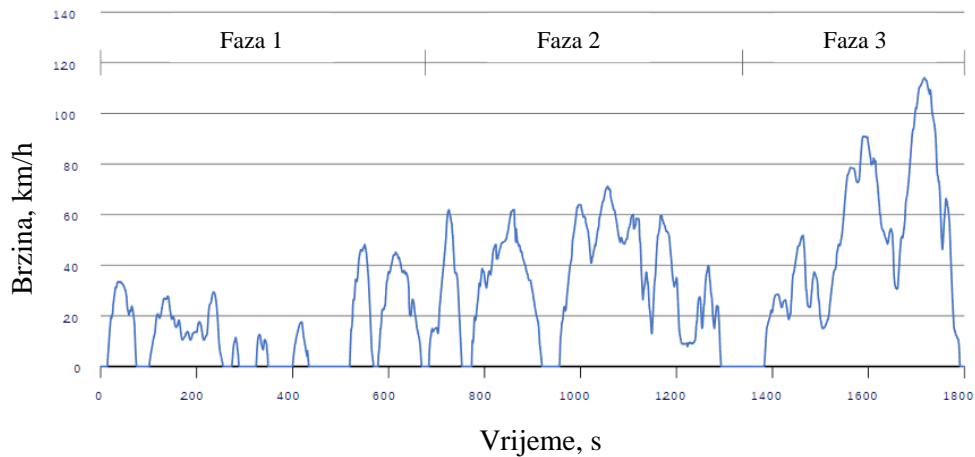


**Slika 16.** Najučinkovitija električna vozila prema MPGe vrijednostima [42]

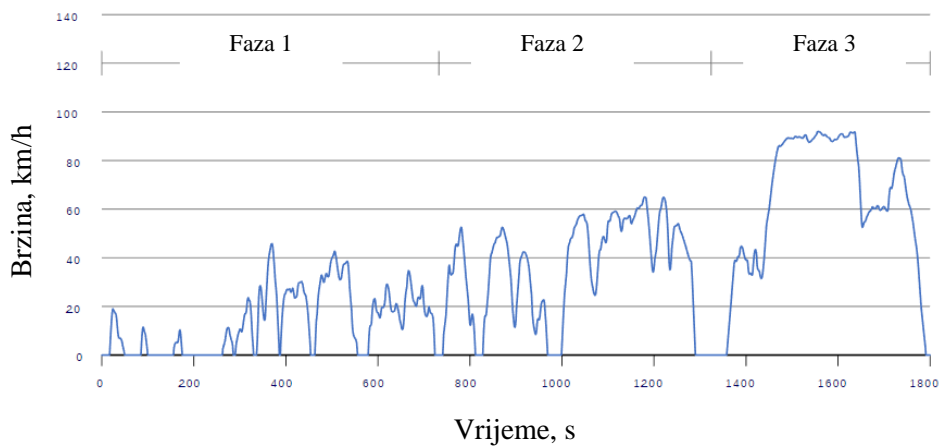
### 4.3. CLTC (China Light-Duty Vehicle Test Cycle) test

CLTC test je razvio Kineski centar za tehnologiju i istraživanje automobila (engl. *China Automotive Technology and Research Center, CATARC*) kako bi zamijenio europske postupke ispitivanja potrošnje goriva, energije i emisija. Ovaj standard uzima u obzir uvjete na cestama

u Kini kao što su velike gužve, niska prosječna brzina vožnje, te česta usporavanja i ubrzanja. CLTC omogućuje da svi modeli koji se prodaju na kineskom tržištu imaju jedinstveni standard za određivanje potrošnje energije i dometa vozila. Postoje dva CLTC testa: CLTC-P test se odnosi na osobna vozila, a CLTC-C test se odnosi na laka gospodarska vozila (Slika 17. i Slika 18.). I jedan i drugi test podijeljeni su u tri faze prema brzinama vožnje: niska, srednja i visoka. [43]



**Slika 17.** CLTC-P test [43]



**Slika 18.** CLTC-C test [43]

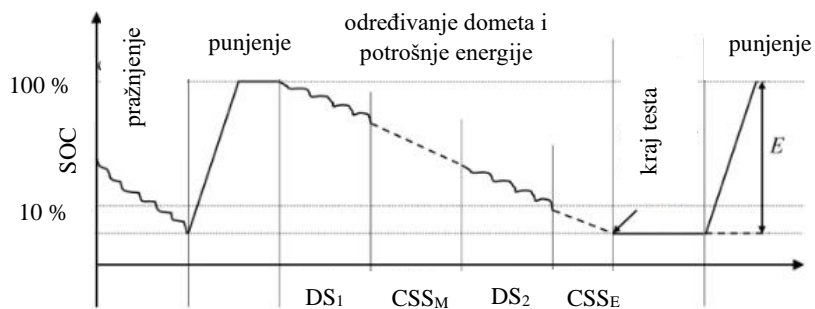
U Tablici 4. su prikazane glavne karakteristike za CLTC-P i CLTC-C test. Za određivanje dometa i potrošnje energije električnih vozila važniji je test za osobna vozila. CLTC-P test sastoji se od 11 kratkih dijelova što uključuje 7 vožnji u fazi niske brzine, 3 vožnje u fazi srednje brzine i 1 vožnja u fazi visoke brzine. Prva faza traje 674 sekunde, te se prelazi udaljenost od 2,45 kilometara s prosječnom brzinom od 13,09 km/h. Faza srednje brzine traje 693 sekunde, te se prelazi udaljenost od 5,91 kilometara s prosječnom brzinom vožnje od 30,68

km/h. Posljednja faza ovog ciklusa traje 433 sekunde, te se prelazi udaljenost od 6,12 kilometara s prosječnom brzinom od 50,90 km/h. [44, 45]

**Tablica 4.** Karakteristike CLTC testa [43]

	CLTC-P	CLTC-C
<b>Udaljenost, km</b>	14,48	16,43
<b>Vrijeme, s</b>	1800	1800
<b>Prosječna brzina, km/h</b>	28,96	32,87
<b>Maksimalna brzina, km/h</b>	114,00	92,00
<b>Prosječno ubrzanje, m/s<sup>2</sup></b>	0,45	0,47
<b>Maksimalno ubrzanje, m/s<sup>2</sup></b>	1,47	1,36
<b>Prosječno usporavanje, m/s<sup>2</sup></b>	-0,49	-0,48
<b>Maksimalno usporavanje, m/s<sup>2</sup></b>	-1,47	-1,39

Postupak određivanja dometa i potrošnje energije se može podijeliti u četiri dijela: dva dinamička i dva konstantna (Slika 19.). Prvi dinamički dio (DS<sub>1</sub>) uključuje dva CLTC-P ciklusa koji prikazuju potrošnju energije u ranoj fazi testa. I jedan i drugi konstantni dio (CSS<sub>M</sub> i CSS<sub>E</sub>) uključuju vožnju brzinom od minimalno 100 km/h. Drugi dinamički dio (DS<sub>2</sub>) također sadrži dva CLTC-P ciklusa koji prikazuju potrošnju energije nakon stabilizacije. [46]

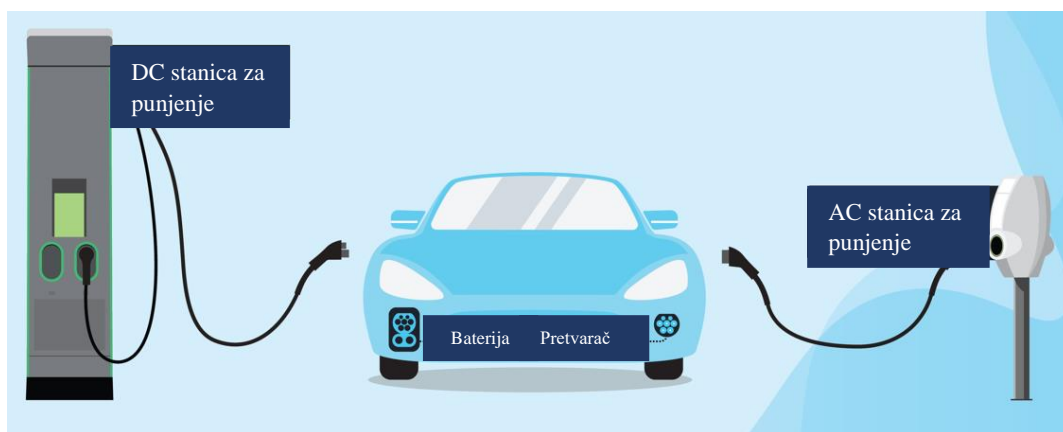


**Slika 19.** Određivanje dometa i potrošnje energije prema CLTC-u [46]

## 5. PUNJENJE ELEKTRIČNIH VOZILA

### 5.1. Razine punjenja električnih vozila

Proces punjenja električnih vozila nije niti jednostavan niti brz. Punjenje električnih vozila se može podijeliti na 3 razine, a njihove karakteristike su prikazane u Tablici 5. Općenito, što je viša razina punjenja, veća je izlazna snaga, te je punjenje vozila brže. Kod punjenja na razini 1 i razini 2 pretvara se izmjenična struja (engl. *Alternating Current*, AC) u istosmjernu struju (engl. *Direct Current*, DC) pomoću pretvarača koji je ugrađen u vozilo. Punjenje na razini 3 izravno opskrbljuje bateriju istosmjernom strujom (DC) i potrebnom snagom. Pretvorba izmjenične struje u istosmjernu struju se odvija u stanici za punjenje. Na Slici 20. su prikazane navedene stanice za punjenje električnih vozila. [47]



Slika 20. AC i DC stanica za punjenje [47]

Punjenje na razini 1 je najsporiji način punjenja električnih vozila. Konektor za punjenje na razini 1 je uključen uz svako vozilo, te se može uključiti u svaku standardnu uzemljenu utičnicu od 120 V. Ova razina punjenja dostupna je u Sjevernoj Americi, a nije dostupna u Europi zbog različitog napona u električnoj mreži. Brzina punjenja na ovoj razini je oko 8 kilometara dometa na sat, što iznosi otprilike 64 kilometara dometa u 8 sati punjenja. Maksimalna struja koja prolazi kroz ove punjače je 16 A, a maksimalna dostavljena snaga je 1,9 kW. Koristi se konektor J1772 kako bi se električno vozilo spojilo na stanicu za punjenje. [48, 49] Punjači razine 1 se uglavnom koriste kod kuće ili na radnom mjestu kada postoji mogućnost punjenja vozila tijekom duljeg vremenskog perioda. Punjenje na razini 1 nije praktično zbog spore brzine punjenja, pogotovo ako se na dnevnoj razini prelaze veće udaljenosti.

Punjenje električnih vozila na razini 2 je znatno brže od punjenja na razini 1. Stanice za punjenje na razini 2 obično se nalaze na javnim parkiralištima i u stambenim područjima. Stanice za punjenje u stambenim područjima koriste jednofazno napajanje od 240 V s maksimalnim protokom struje od 40 A, a javne stanice koriste trofazno izmjenično napajanje od 400 V s maksimalnim protokom struje od 80 A. Jedan sat punjenja na razini 2 može osigurati domet između 16 i 120 kilometara, što ovisi o izlaznoj snazi punjača i maksimalnoj stopi punjenja vozila. Punjači razine 2 u Sjevernoj Americi postižu maksimalnu snagu od 19,2 kW, a u Europi maksimalna snaga iznosi 22 kW. U Sjevernoj Americi i Japanu se koristi konektor J1772, a u Europi Mennekes konektor. Punjenje na razini 2 se najčešće koristi na globalnoj razini. [47, 48, 49]

Punjenje električnih vozila na razini 3 se naziva i DC brzo punjenje, te je značajno brže od punjenja na razini 2. Koristi istosmjernu struju za izravno punjenje baterije vozila. [47] Vrijeme punjenja baterije od 0 do 80 % je obično 15 do 20 minuta s DC brzim punjenjem. Naponi punjenja na razini 3 su od 200 do 600 V, a izlazne snage u rasponu od 30 do 360 kW. U Europi i Sjevernoj Americi se koriste CCS (engl. *Combine Charging System*, CCS) konektori, u Japanu CHAdeMO (engl. *Charge de Move*, CHAdeMO) konektori, a u Kini GB/T konektori. Također, na ovoj razini punjenja se koriste i Teslini punjači koji se nazivaju SuperCharger. Stanice za punjenje na razini 3 su idealne za mjesta gdje električna vozila moraju postići veliki domet u što kraćem vremenu. Većina takvih stanica za punjenje se nalazi na odmorištima na autocesti, trgovačkim centrima, zračnim lukama, benzinskim postajama. [48, 49]

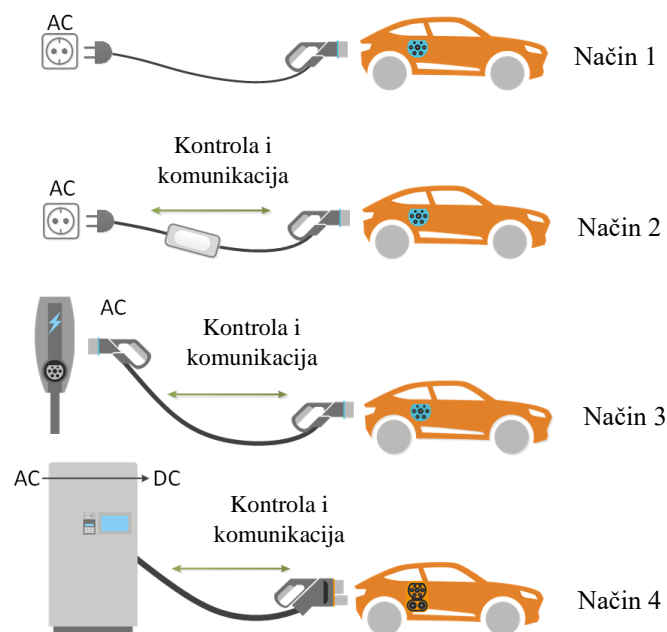
**Tablica 5.** Razine punjenja i njihove karakteristike [48, 49]

	Izlazna snaga	Vrijeme punjenja (40 kWh)	Domet po satu punjenja
<b>Razina 1</b>	1,4-1,9 kW	22-40 h	4,5-8 km
<b>Razina 2</b>	3-22 kW	2-13 h	16-120 km
<b>Razina 3</b>	30-360 kW	15 min-1,5 h	193-2000+ km

## 5.2. Načini punjenja električnih vozila

Postoje različite veličine i oblici konektora i kabela za punjenje električnih vozila što ovisi o vozilu, zemlji i vrsti stanice za punjenje. S obzirom na kabele za punjenje koji se koriste i sigurnosni komunikacijski protokol između vozila i stanice za punjenje, načini punjenja dijele se u četiri grupe. Neke stanice za punjenje imaju već priključene kabele za punjenje, a neke










zahtijevaju da ponese svoje. Način 1 podrazumijeva spajanje električnog vozila s punjačem na standardnu kućnu utičnicu. Ovaj način punjenja ne uključuje zaštitne i sigurnosne elemente, te je punjenje vrlo sporo. Može se koristiti za punjenje manjih električnih vozila kao što su električni bicikli i skuteri, ali ovaj način punjenja električnih automobila nije siguran. Način 2 se odnosi na sporo punjenje gdje se kabel na jednom kraju priključuje u vozilo, a na drugom u standardnu kućnu utičnicu. Kabeli za punjenje imaju ugrađene zaštitne elemente koji štite od strujnog udara. Ovaj način punjenja se uglavnom koristi u kućanstvima. Način 3 se najčešće koristi za punjenje električnih vozila na globalnoj razini. Kabel za punjenje povezuje električno vozilo sa stanicom za punjenje, te ovi kabeli imaju funkciju kontrole i zaštite procesa punjenja. Ovaj način punjenja se koristi u javnim punionicama gdje je potrebno punjenje vozila u što kraćem vremenu. Način 4 se odnosi na brzo punjenje pri kojem se koristi istosmjerna struja i specifični punjači koji imaju funkciju kontrole i zaštite. Velika količina energije se prenosi izravno na bateriju električnog vozila, te su kabeli trajno povezani sa stanicom za punjenje. Na Slici 21. su prikazana sva četiri načina punjenja. [47, 50]



**Slika 21.** Načini punjenja električnih vozila [50]

Ne postoji univerzalni tip konektora koji bi se mogao instalirati u svako električno vozilo. Postoje četiri vrste konektora: 2 za izmjeničnu struju (tip 1 i tip 2) i 2 za istosmjernu struju (CHAdeMo i CCS), te su prikazani na Slici 22. Konektor tipa 1 naziva se i SAE J1772, te ga uglavnom koriste proizvođači vozila iz Sjeverne Amerike i Japana (Toyota, Honda, Ford...). Ovi konektori su jednofazni i mogu isporučiti snagu do 7,4 kW. Konektori tipa 2

nazivaju se i Mennekes po njemačkoj tvrtki koja ih je dizajnirala. Službeni su standard za konektore na razini Europske Unije, te ga koriste proizvođači vozila iz Europe (Audi, Mercedes, BMW...). Ovi konektori su trofazni i imaju veći kapacitet prijenosa energije, te mogu isporučiti snagu do 43 kW na javnim stanicama za punjenje. CCS konektor je standard za brzo punjenje u Sjevernoj Americi (CCS1) i Europi (CCS2), te podržava i AC i DC punjenje. CCS konektori imaju dva dodatna kontakta za napajanje kako bi se omogućilo brzo punjenje istosmjernom strujom. Ovi konektori mogu isporučiti snagu do 350 kW. CHAdeMo konektor je standard za brzo DC punjenje u Japanu. Kompatibilni su s različitim markama vozila kao što su Honda, Mazda, Nissan, Toyota. Električnom vozilu trebati će 20 do 40 minuta da se napuni do 80 % koristeći ovu vrstu konektora. GB/T konektor je standard za AC i DC punjenje u Kini. GB/T AC konektor je jednofazni, te može isporučiti snagu do 7,4 kW. GB/T DC konektor se koristi za brzo punjenje, te može isporučiti snagu do 237,5 kW. Samo električna vozila marke Tesla mogu koristiti svoje punjače za brzo DC punjenje. Nazivaju se i Tesla SuperCharger, te mogu isporučiti snagu do 250 kW. [47, 48, 51, 52]

	Sj. Amerika	Japan	Europa	Kina	Cijeli svijet
AC	 J1772 (Type 1)	 J1772 (Type 1)	 Mennekes (Type 2)	 GB/T	 Tesla
DC	 CCS1	 CHAdeMO	 CCS2	 GB/T	

*Slika 22.* Vrste konektora [51]

### 5.3. Stanice za punjenje

Većina vlasnika električnih vozila puni svoja vozila kod kuće jer im to omogućava višesatno punjenje. Postoji mogućnost punjenja vozila korištenjem standardne kućne utičnice ili instaliranjem kućne stanice za punjenje (punjenje na razini 2). Kućni punjači su isplativiji jer koriste jeftiniju električnu energiju. Cijena punjenja vozila kod kuće ovisi o tome koja je cijena kilovatsata (kWh) potrošene električne energije. Cijena punjača razine 2 iznosi između 500 i

2000 dolara, te ovisi o mnogim čimbenicima. Kućne stanice za punjenje se mogu lako ugraditi na zidove garaža ili kuća, te se nazivaju Wallbox punionice (Slika 23.). [47]



**Slika 23.** Wallbox kućna punionica [53]

Svakim danom raste broj električnih vozila, pa samim time i broj javnih stanica za punjenje. 2021. godine u svijetu je bilo dostupno oko 1,8 milijuna javnih punionica, te se predviđa da će do 2030. godine biti dostupno 12,9 milijuna javnih punionica na globalnoj razini. Javne stanice za punjenje se najčešće nalaze na parkiralištima, benzinskim pumpama, odmorištima na autocesti, trgovačkim centrima, kolodvorima, zračnim lukama, hotelima. Uglavnom koriste brzo punjenje na razini 2 ili razini 3 jer je cilj u što kraćem vremenu osigurati što veći domet. [54] Na Slici 24. je prikazana javna punionica električnih vozila.

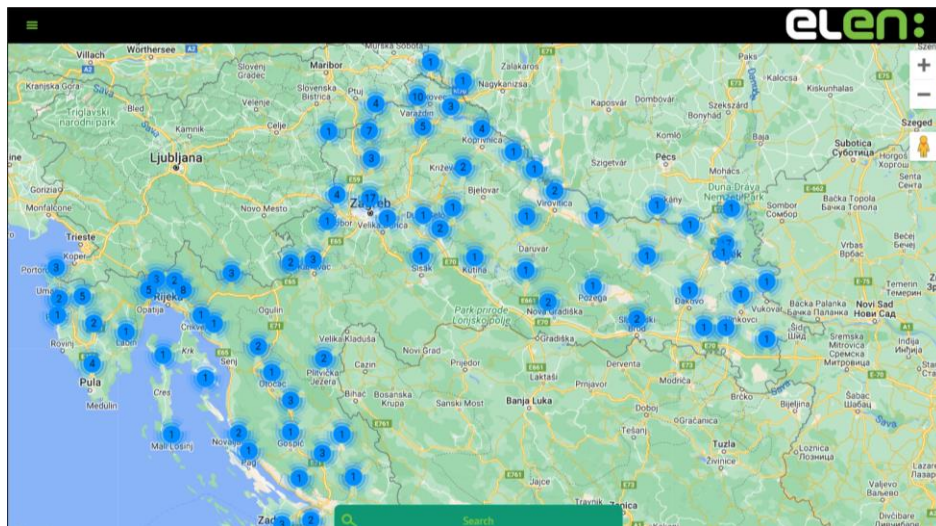


**Slika 24.** Javna stanica za punjenje [55]

Porast broja električnih vozila i prelazak na alternativne oblike energije utječu i na povećanje broja stanica za punjenje u Hrvatskoj. 2022. godine broj registriranih vozila kategorije M1 s električnim pogonom u Hrvatskoj bio je 4799, a broj vozila s hibridnim pogonom 26 467. [56] Najveći distributeri i vlasnici javnih punionica u Hrvatskoj su Hrvatska



elektroprivreda (HEP) i Hrvatski Telekom. HEP-ova mreža javnih punionica ELEN sastoji se od javno dostupnih stanica za punjenje koje koriste tri vrste konektora: tip 2, CCS i CHAdeMo. Usluga punjenja na ELEN punionicama se naplaćuje i na autocestama i izvan autocesta, a cijena po kWh ovisi o lokaciji punionice, nazivnoj snazi konektora i o dijelu dana odnosno dijelu godine. [57] Na Slici 25. je prikazana karta s ELEN punionicama u Hrvatskoj. Prema podacima iz karte HEP ima 229 stanica za punjenje ELEN u cijeloj zemlji.



**Slika 25.** Lokacije ELEN stanica za punjenje [57]

#### **5.4. Punjenje električnih vozila u budućnosti**

Kao što raste broj stanica za punjenje, u budućnosti će biti i sve veći broj stanica za zamjenu baterije. Na stanici za zamjenu baterije se ispražnjena baterija jednostavno zamijeni potpuno napunjenom baterijom, a stanica nastavlja puniti baterije koje ima na zalih. NIO je kineski proizvođač električnih vozila koji razvija i stanice za zamjenu baterija (engl. *Power Swap Station*). Cijeli proces je jednostavan i automatiziran, te traje samo 3 minute. Većina Power Swap stanica se nalazi u Kini jer se i koriste isključivo za vozila marke NIO, ali je već nekoliko ovakvih stanica u funkciji i u Europi. [58, 59] Testira se bežično punjenje električnih vozila koje može biti dinamičko (u vožnji) i statičko (u stanju mirovanja). Dinamičko bežično punjenje podrazumijeva vožnju električnim vozilom po traci za neprekidno punjenje (Slika 26.). Sustav metalnih zavojnica je postavljen ispod ceste, te dolazi do prijenosa magnetske frekvencije s zavojnica na posebne prijemnike u električnim vozilima. Ova tehnologija se može prilagoditi za sva vozila: automobile, kamione, autobuse. [58, 60] U budućnosti će se razvijati sve više novih tehnologija za punjenje električnih vozila s ciljem povećanja njihovog dometa u što kraćem vremenskom periodu.



*Slika 26.* Traka za punjenje električnih vozila [61]

## 6. REZULTATI I RASPRAVA

### 6.1. Uvjeti mjerenja

U ovom dijelu rada prikazani su realni rezultati potrošnje energije za različita električna vozila pri različitim brzinama vožnje. Na temelju tih rezultata napravljen je izračun za domet u realnim uvjetima vožnje, te usporedba između dometa koji propisuju proizvođači električnih vozila i stvarnog dometa. Također, prikazano je kako brzina vožnje utječe na domet električnog vozila. Kako bi rezultati i usporedba bili što točniji, uzeta je potrošnja energije dobivena mjerenjem pri realnim uvjetima u Poljskoj. Ovaj test podijeljen je u četiri faze prema brzini vožnje, a pri svakoj brzini vozila se dionica dugačka 33 km. Prva faza odnosi se na mjerenje potrošnje energije za vrijeme gradske vožnje pri brzini 50 km/h. U drugoj fazi vozi se brzinom od 90 km/h, te se to odnosi na vožnju izvan naseljenog područja. U trećoj fazi mjeri se potrošnja energije za vrijeme vožnje brzom cestom pri brzini 120 km/h, a četvrta faza se odnosi na vožnju autocestom pri brzini 140 km/h. Mjerenje je provedeno s 9 različitih električnih vozila.

Uz pretpostavku da je brzina ( $v$ ) u svakoj fazi konstantna i uz poznatu duljinu dionice ( $s$ ), možemo izračunati potrebno vrijeme ( $t$ ) na temelju sljedećih jednadžbi:

$$v = \frac{s}{t} \quad (1)$$

$$t = \frac{s}{v} \quad (2)$$

U nastavku je prikazan račun za vrijeme za sve četiri faze:

$$t_1 = \frac{s}{v_1} = \frac{33 \text{ km}}{50 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 0,66 \text{ h} = 2376 \text{ s}$$

$$t_2 = \frac{s}{v_2} = \frac{33 \text{ km}}{90 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 0,37 \text{ h} = 1332 \text{ s}$$

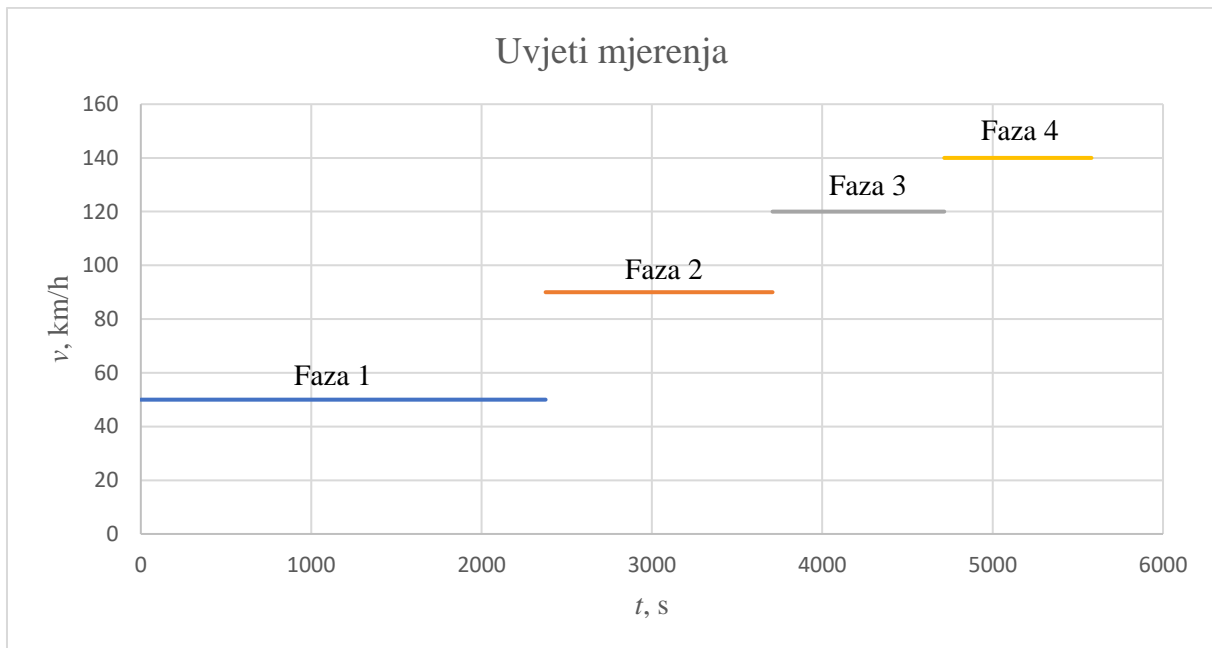
$$t_3 = \frac{s}{v_3} = \frac{33 \text{ km}}{120 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 0,28 \text{ h} = 1008 \text{ s}$$

$$t_4 = \frac{s}{v_4} = \frac{33 \text{ km}}{140 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 0,24 \text{ h} = 864 \text{ s}$$

U Tablici 6. i na Slici 27. prikazane su sve četiri faze i uvjeti mjerenja za ovaj test.

**Tablica 6.** Uvjeti mjerenja

	<b>Brzina (km/h)</b>	<b>Vrijeme trajanja (s)</b>
<b>Faza 1</b>	50	2376
<b>Faza 2</b>	90	1332
<b>Faza 3</b>	120	1008
<b>Faza 4</b>	140	864



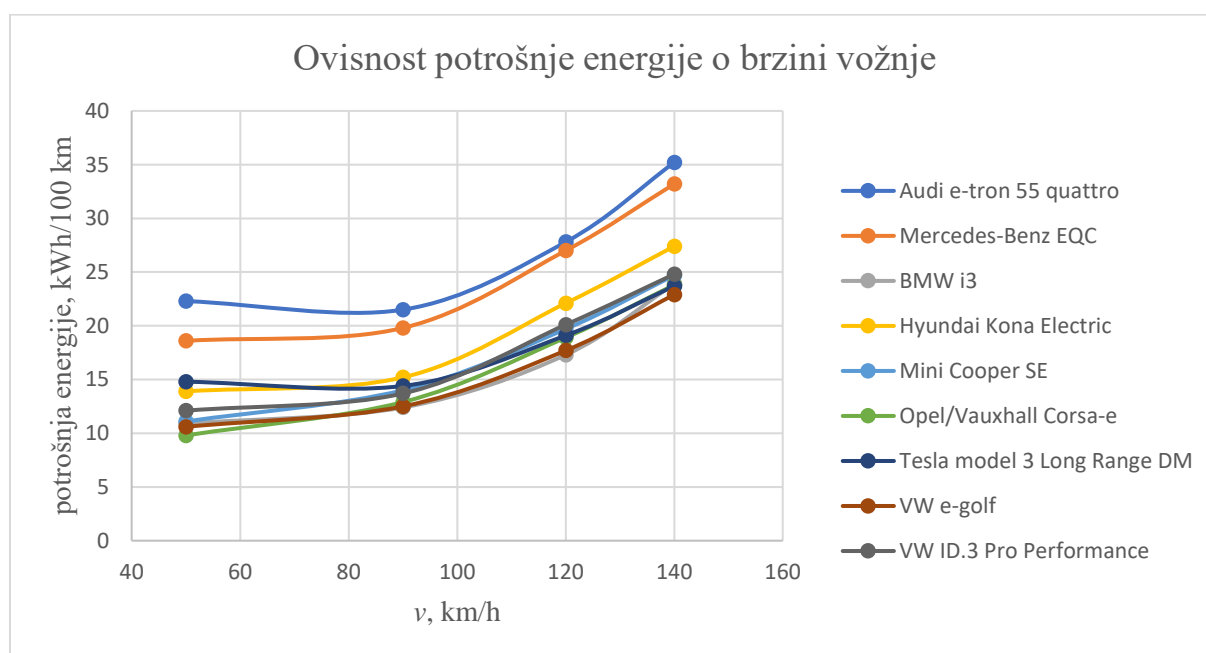
**Slika 27.** Uvjeti mjerenja

## 6.2. Potrošnja energije električnih vozila

U Tablici 7. je prikazana izmjerena potrošnja električne energije u kWh/100 km za 9 različitih električnih vozila u 4 faze mjerenja. Kao i kod klasičnih vozila s unutarnjim izgaranjem, stil vožnje vozača utječe na potrošnju energije električnog vozila. Iz grafičkog prikaza ovisnosti potrošnje energije o brzini vožnje vidljivo je da povećanjem brzine vožnje, raste i potrošnja električne energije (Slika 28.). Najveća potrošnja električne energije pri svim brzinama vožnje izmjerena je za Audi e-tron 55 quattro. Najmanju izmjerenu potrošnju energije u gradskoj vožnji ima Opel/Vauxhall Corsa-e. BMW i3 troši najmanje električne energije za vrijeme vožnje brzinom od 90 km/h i 120 km/h. Najmanja potrošnja električne energije za vrijeme vožnje autocestom izmjerena je Volkswagen e-golfu.

Tablica 7. Izmjerena potrošnja energije električnih vozila u kWh/100 km

Brzina	50 km/h	90 km/h	120 km/h	140 km/h
Potrošnja	kWh/100 km	kWh/100 km	kWh/100 km	kWh/100 km
<b>Audi e-tron 55 quattro</b>	22,3	21,5	27,8	35,2
<b>Mercedes-Benz EQC</b>	18,6	19,8	27,0	33,2
<b>BMW i3</b>	10,9	12,4	17,3	23,9
<b>Hyundai Kona Electric</b>	13,9	15,2	22,1	27,4
<b>Mini Cooper SE</b>	11,1	14,0	19,7	24,7
<b>Opel/Vauxhall Corsa-e</b>	9,8	12,9	18,9	23,8
<b>Tesla model 3 Long Range DM</b>	14,8	14,4	19,1	23,7
<b>Volkswagen e-golf</b>	10,6	12,5	17,7	22,9
<b>Volkswagen ID.3 Pro Performance</b>	12,1	13,7	20,1	24,8



Slika 28. Grafički prikaz ovisnosti potrošnje energije o brzini vožnje za različita električna vozila

### 6.3. Domet električnih vozila

Domet električnih vozila ovisi i o kapacitetu baterije. Proizvođači električnih vozila navode kapacitete baterija, ali treba razlikovati ukupni kapacitet od iskoristivog kapaciteta. Iskoristivi kapacitet je količina energije koju vozilo zapravo može iskoristiti da bi se pokrenulo, odnosno to je energija koja ja stvarno dostupna vozilu, te je iskoristivi kapacitet uvijek manji

od ukupnog kapaciteta. U Tablici 8. su prikazani iskoristivi kapaciteti baterija za sva električna vozila koja su se koristila u ovom ispitivanju. Iz podataka koje su objavili proizvođači električnih vozila je vidljivo da najveći kapacitet baterije ima Audi e-tron 55 quattro, a najmanji Mini Cooper SE.

**Tablica 8.** Kapaciteti baterija električnih vozila u kWh i Wh [62]

Kapacitet baterije	kWh	Wh
<b>Audi e-tron 55 quattro</b>	86,5	86500
<b>Mercedes-Benz EQC</b>	80,0	80000
<b>BMW i3</b>	37,9	37900
<b>Hyundai Kona Electric</b>	64,0	64000
<b>Mini Cooper SE</b>	28,9	28900
<b>Opel/Vauxhall Corsa-e</b>	46,3	46300
<b>Tesla model 3 Long Range DM</b>	75,0	75000
<b>Volkswagen e-golf</b>	32,0	32000
<b>Volkswagen ID.3 Pro Performance</b>	58,0	58000

Domet električnih vozila se računa iz poznatog kapaciteta baterije i potrošnje energije:

$$Domet, km = \frac{Kapacitet\ baterije, Wh}{Potrošnja\ energije, \frac{Wh}{km}} \quad (3)$$

U nastavku je prikazan primjer računanja stvarnog dometa pri sve četiri brzine vožnje za Audi e-tron 55 quattro, koji je prikazan na Slici 29.



**Slika 29.** Audi e-tron 55 quattro

$$Domet = \frac{Kapacitet\ baterije}{Potrošnja\ energije} = \frac{86500\ Wh}{223\ \frac{Wh}{km}} = 388\ km$$

Audi e-tron 55 quattro ima domet od 388 kilometara pri brzini od 50 km/h.

$$Domet = \frac{Kapacitet\ baterije}{Potrošnja\ energije} = \frac{86500\ Wh}{215\ \frac{Wh}{km}} = 403\ km$$

Audi e-tron 55 quattro ima domet od 403 kilometara pri brzini od 90 km/h.

$$Domet = \frac{Kapacitet\ baterije}{Potrošnja\ energije} = \frac{86500\ Wh}{278\ \frac{Wh}{km}} = 312\ km$$

Audi e-tron 55 quattro ima domet od 312 kilometara pri brzini od 120 km/h.

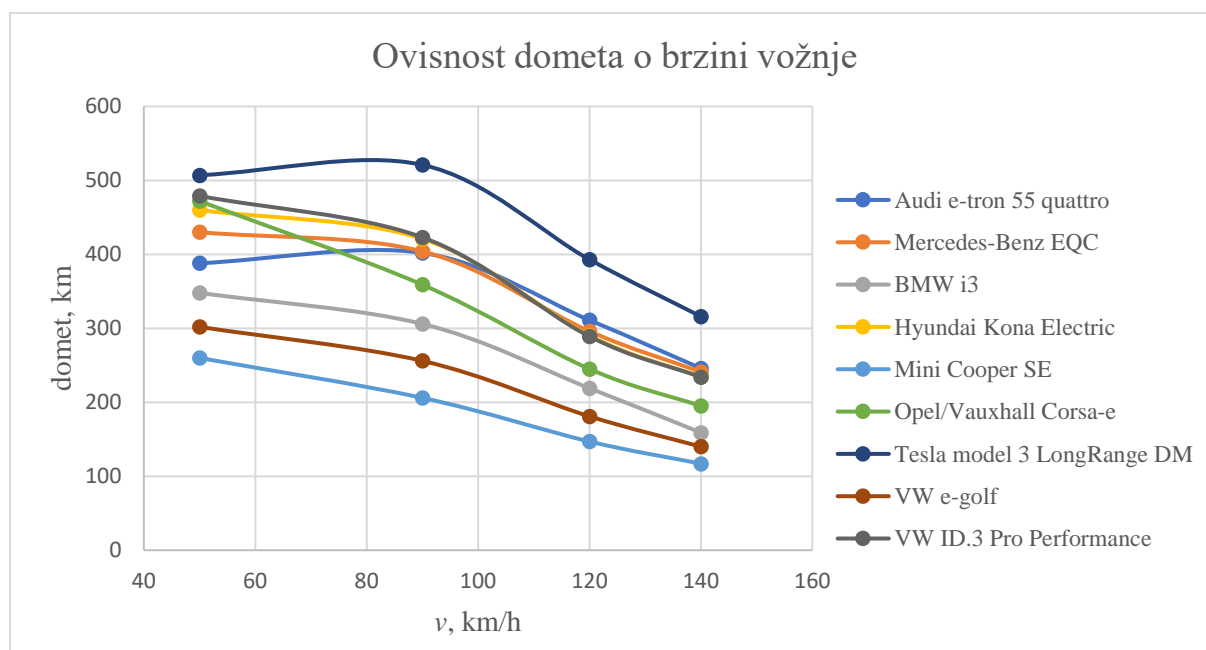
$$Domet = \frac{Kapacitet\ baterije}{Potrošnja\ energije} = \frac{86500\ Wh}{352\ \frac{Wh}{km}} = 246\ km$$

Audi e-tron 55 quattro ima domet od 246 kilometara pri brzini od 140 km/h.

Na isti način, uzevši u obzir izmjerenu potrošnju električne energije i zadani kapacitet baterije, izračunat je stvarni domet za svih 9 električnih vozila pri sve četiri brzine vožnje. Iz dobivenih rezultata koji su prikazani u Tablici 9. i na Slici 30. vidljivo je da brzina vožnje ima utjecaj na domet električnih vozila, te se povećanjem brzine domet smanjuje. Pri svim brzinama vožnje najveći domet ima Tesla model 3 Long Range DM, a najmanji Mini Cooper SE. Kao i kod vozila s unutarnjim izgaranjem, električna vozila imati će različitu učinkovitost i domet kada se voze u gradu ili na autocesti. Električna vozila puno su učinkovitija u gradskoj vožnji. Za vrijeme gradske vožnje kod čestog kočenja i zaustavljanja, primjenom regenerativnog kočenja pretvara se dio kinetičke energije u električnu energiju za napajanje baterije.

**Tablica 9.** Stvarni domet električnih vozila

Brzina	50 km/h	90 km/h	120 km/h	140 km/h
<b>Domet</b>	km	km	km	km
<b>Audi e-tron 55 quattro</b>	388	402	311	246
<b>Mercedes-Benz EQC</b>	430	404	296	241
<b>BMW i3</b>	348	306	219	159
<b>Hyundai Kona Electric</b>	460	421	290	234
<b>Mini Cooper SE</b>	260	206	147	117
<b>Opel/Vauxhall Corsa-e</b>	472	359	245	195
<b>Tesla model 3 Long Range DM</b>	507	521	393	316
<b>Volkswagen e-golf</b>	302	256	181	140
<b>Volkswagen ID.3 Pro Performance</b>	479	423	289	234



**Slika 30.** Grafički prikaz ovisnosti dometa o brzini vožnje za različita električna vozila

Potrebno je izračunati prosječni domet električnih vozila kako bi se napravila usporedba s dometom koji propisuju proizvođači. Proizvođači električnih vozila uglavnom daju informaciju o dometu koji se odnosi na kombiniranu vožnju, a kombinirana vožnja uključuje gradsku vožnju i vožnju autocestom. U Tablici 10. je prikazan domet koji propisuju proizvođači prema WLTP testu za svih 9 električnih vozila. Iz podataka o propisanom dometu vidljivo je



da najveći domet prema WLTP testu ima Tesla model 3 Long Range DM, a najmanji Volkswagen e-golf . U nastavku je prikazan primjer računanja prosječnog dometa za Audi e-tron 55 quattro. Prosječni domet računa se uzevši u obzir stvarni domet pri sve četiri brzine vožnje:

$$\text{Prosječni domet, km} = \frac{\text{Domet}_{50} + \text{Domet}_{90} + \text{Domet}_{120} + \text{Domet}_{140}}{4} \quad (4)$$

$$\text{Prosječni domet} = \frac{388 \text{ km} + 402 \text{ km} + 311 \text{ km} + 246 \text{ km}}{4} = 337 \text{ km}$$

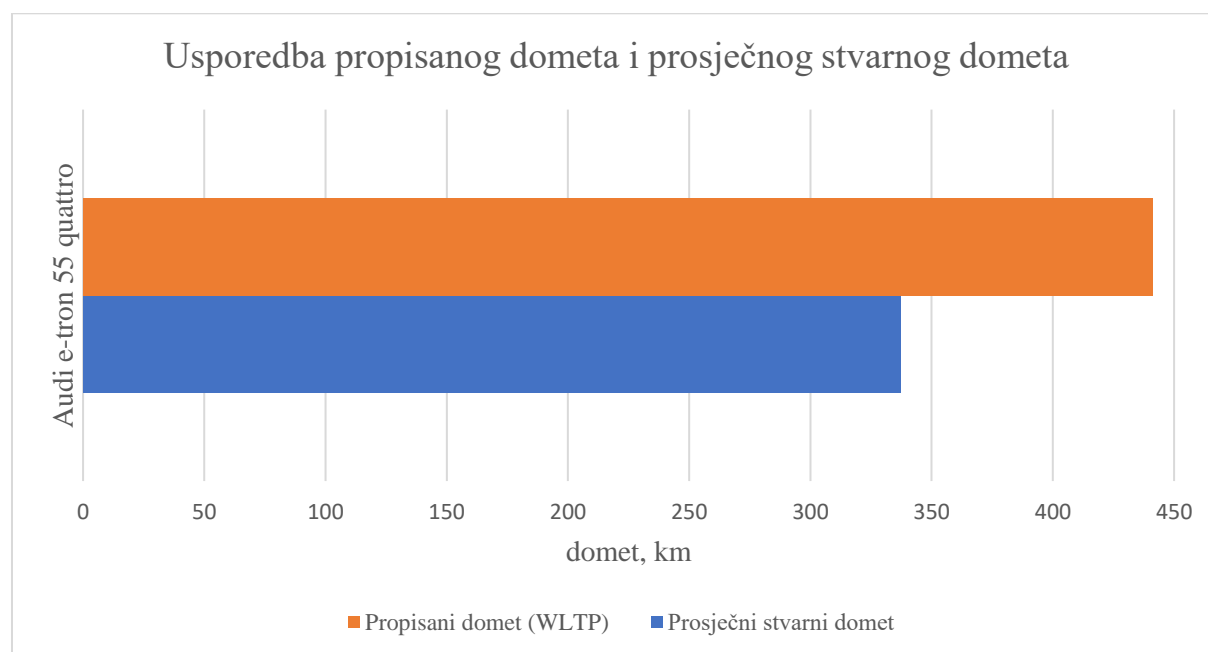
Na isti način izračunat je prosječni domet pri sve četiri brzine vožnje i za ostala električna vozila koja su se koristila u ispitivanju, te su dobiveni rezultati prikazani u Tablici 11. Na Slikama 31. – 39. je grafički prikazana usporedba prosječnog dometa dobivenog pri realnim uvjetima vožnje i dometa koji propisuju proizvođači električnih vozila.

**Tablica 10.** Domet koji propisuju proizvođači prema WLTP-u [62]

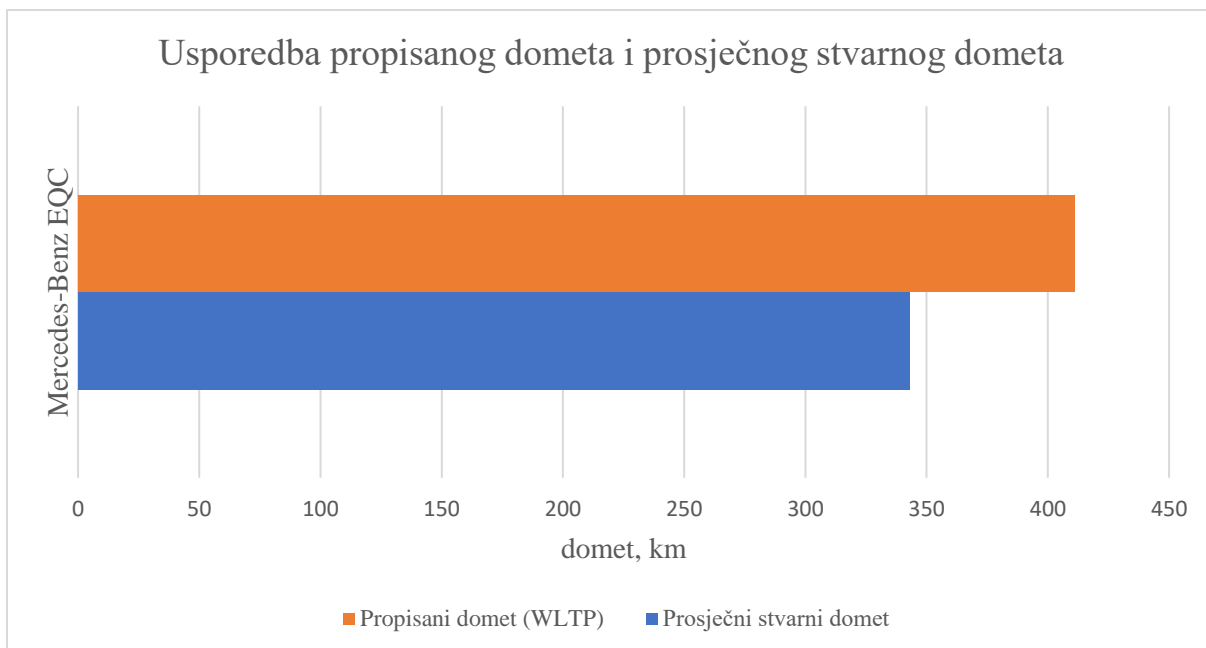
	<b>Propisani domet, km</b>
<b>Audi e-tron 55 quattro</b>	441
<b>Mercedes-Benz EQC</b>	411
<b>BMW i3</b>	308
<b>Hyundai Kona Electric</b>	484
<b>Mini Cooper SE</b>	253
<b>Opel/Vauxhall Corsa-e</b>	359
<b>Tesla model 3 Long Range DM</b>	602
<b>Volkswagen e-golf</b>	232
<b>Volkswagen ID.3 Pro Performance</b>	425

**Tablica 11.** Prosječni stvarni domet električnih vozila

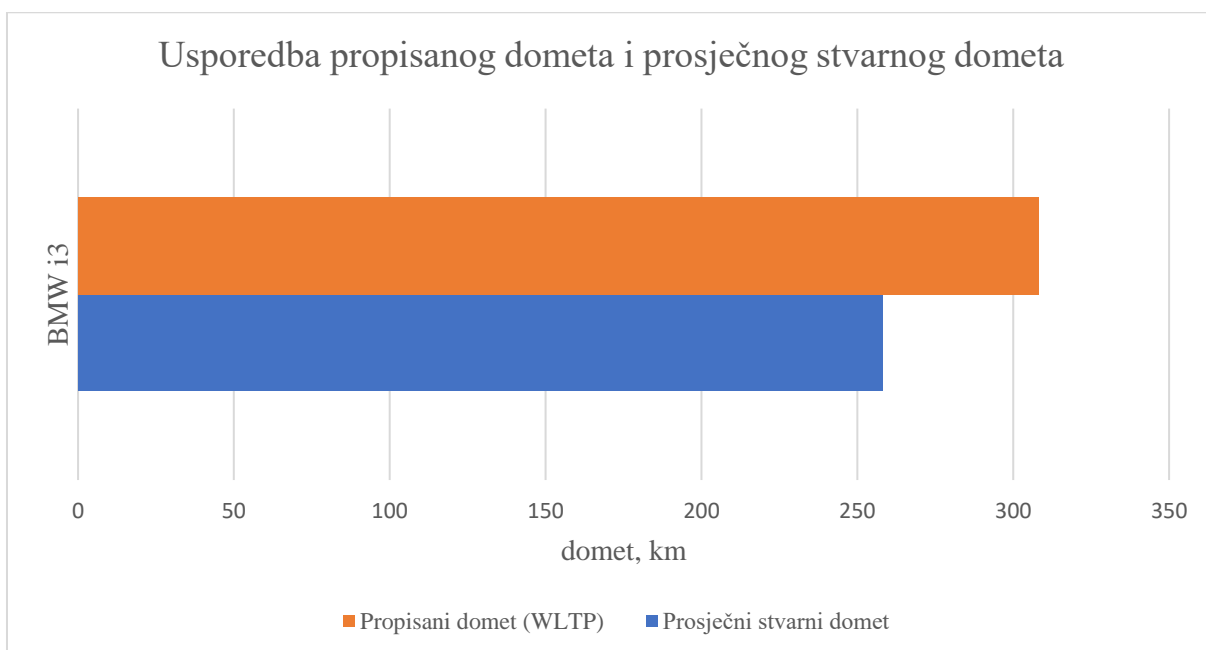
	Prosječni domet, km
<b>Audi e-tron 55 quattro</b>	337
<b>Mercedes-Benz EQC</b>	343
<b>BMW i3</b>	258
<b>Hyundai Kona Electric</b>	351
<b>Mini Cooper SE</b>	183
<b>Opel/Vauxhall Corsa-e</b>	318
<b>Tesla model 3 Long Range DM</b>	434
<b>Volkswagen e-golf</b>	220
<b>Volkswagen ID.3 Pro Performance</b>	356



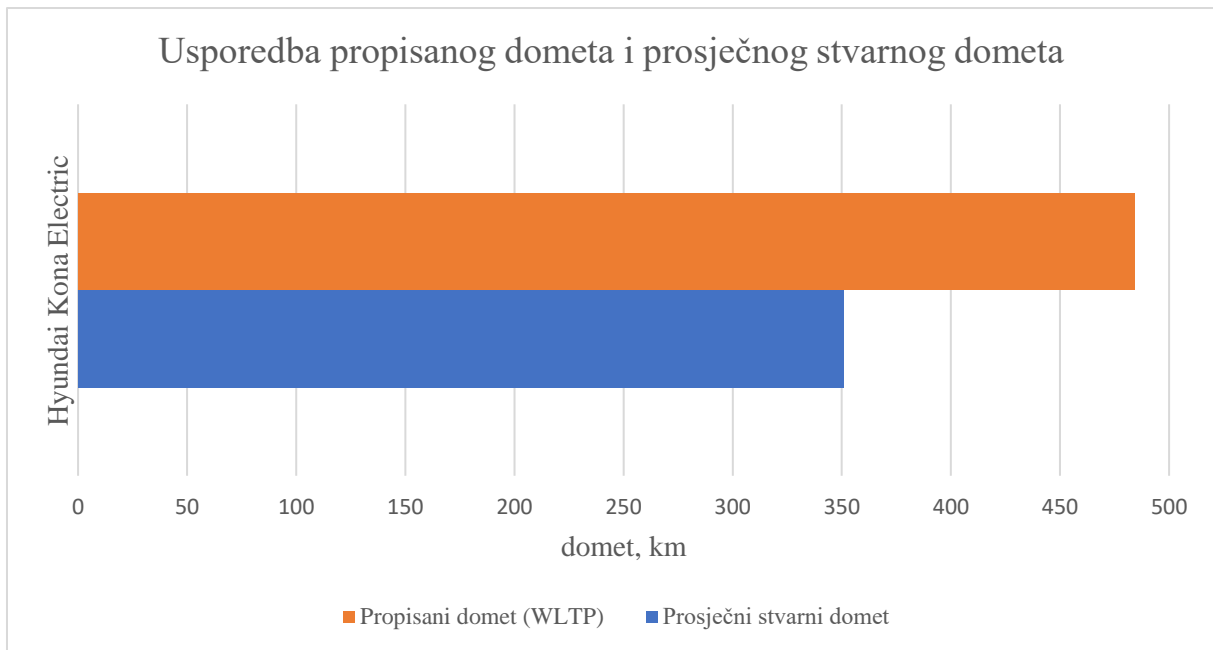
**Slika 31.** Grafički prikaz usporedbe propisanog dometa i prosječnog stvarnog dometa za Audi e-tron 55 quattro



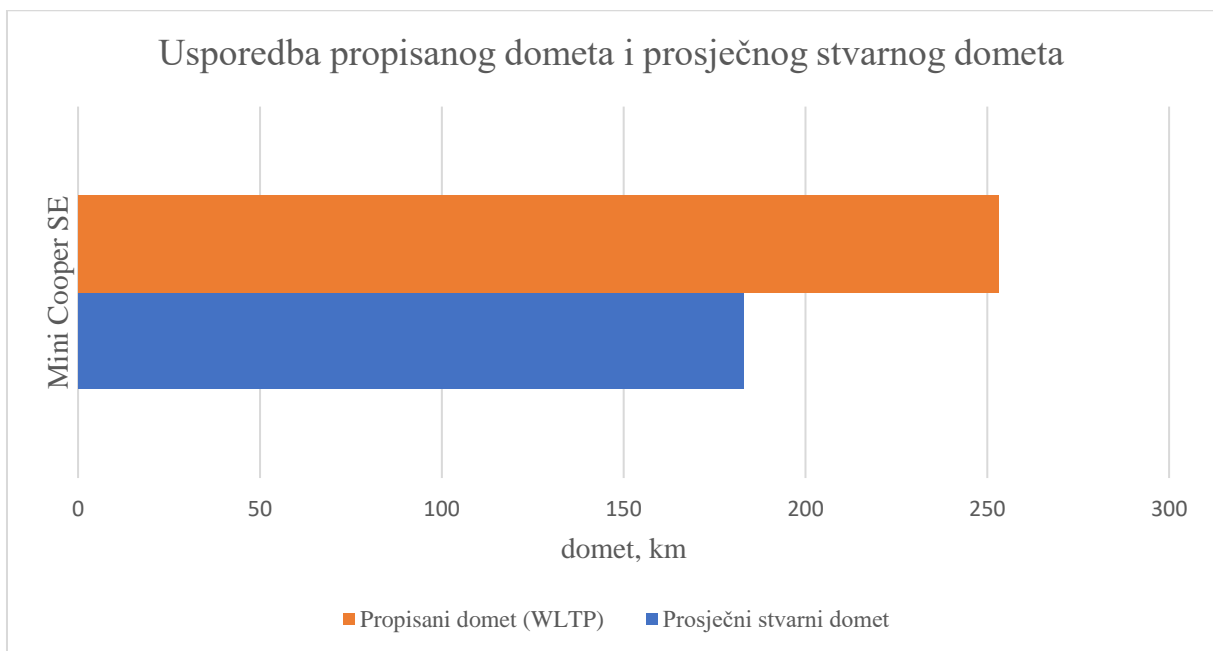
**Slika 32.** Grafički prikaz usporedbe propisanog dometa i prosječnog stvarnog dometa za Mercedes-Benz EQC



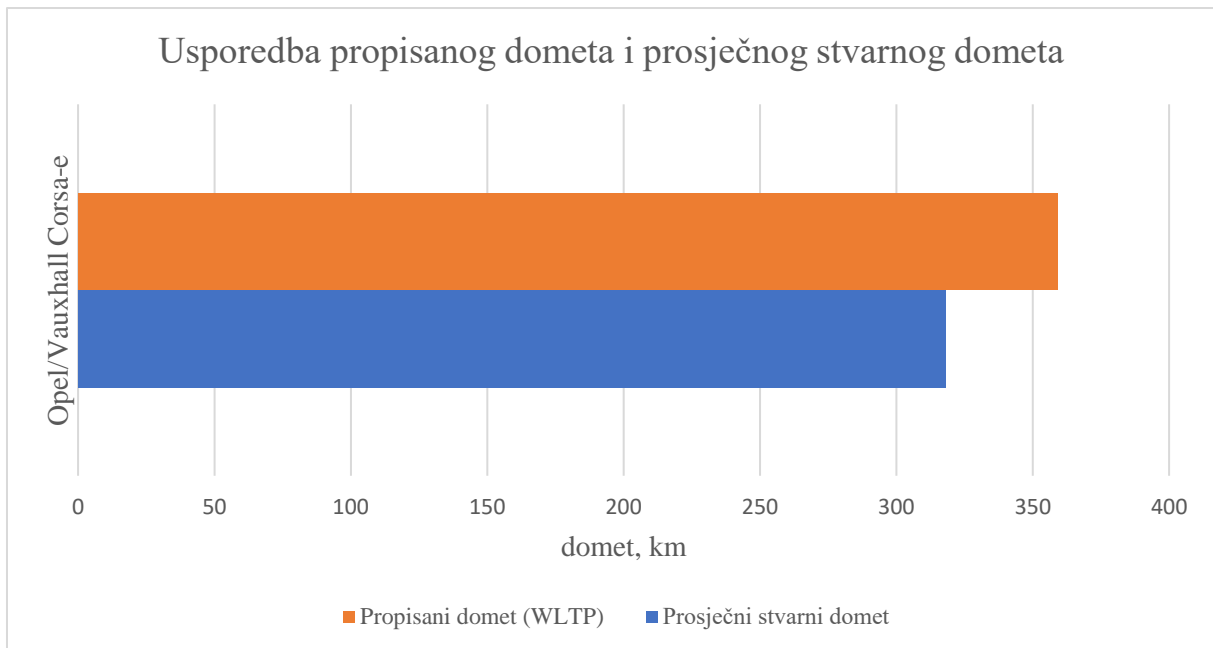
**Slika 33.** Grafički prikaz usporedbe propisanog dometa i prosječnog stvarnog dometa za BMW i3



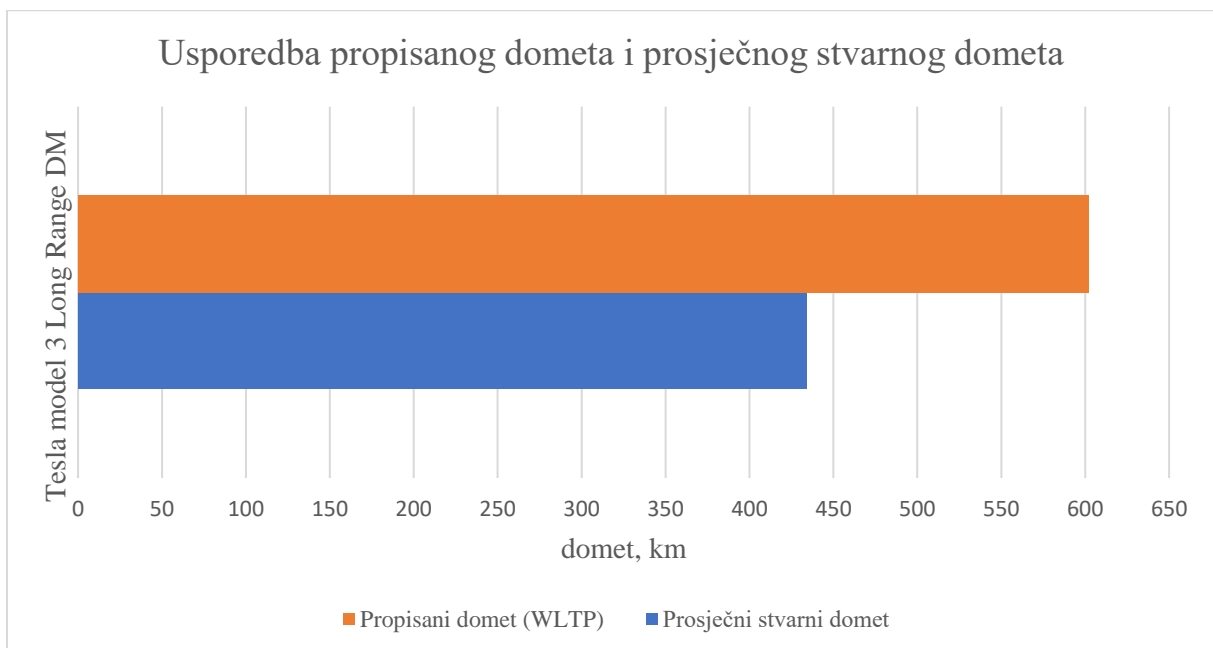
**Slika 34.** Grafički prikaz usporedbe propisanog dometa i prosječnog stvarnog dometa za Hyundai Kona Electric



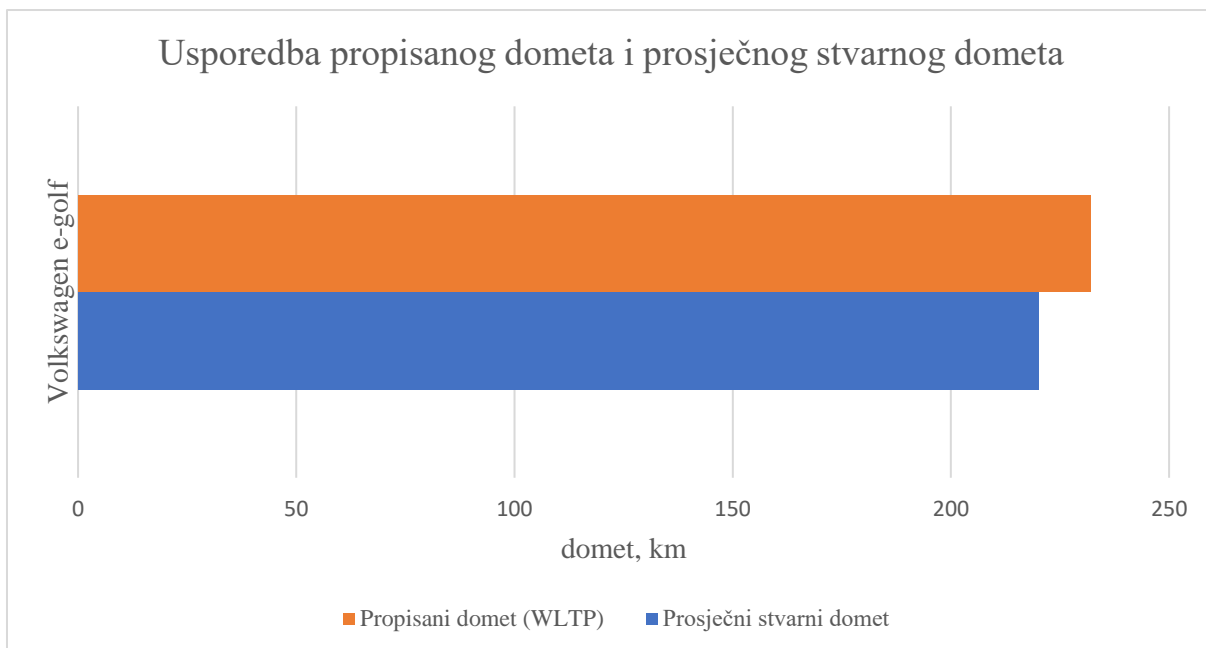
**Slika 35.** Grafički prikaz usporedbe propisanog dometa i prosječnog stvarnog dometa za Mini Cooper SE



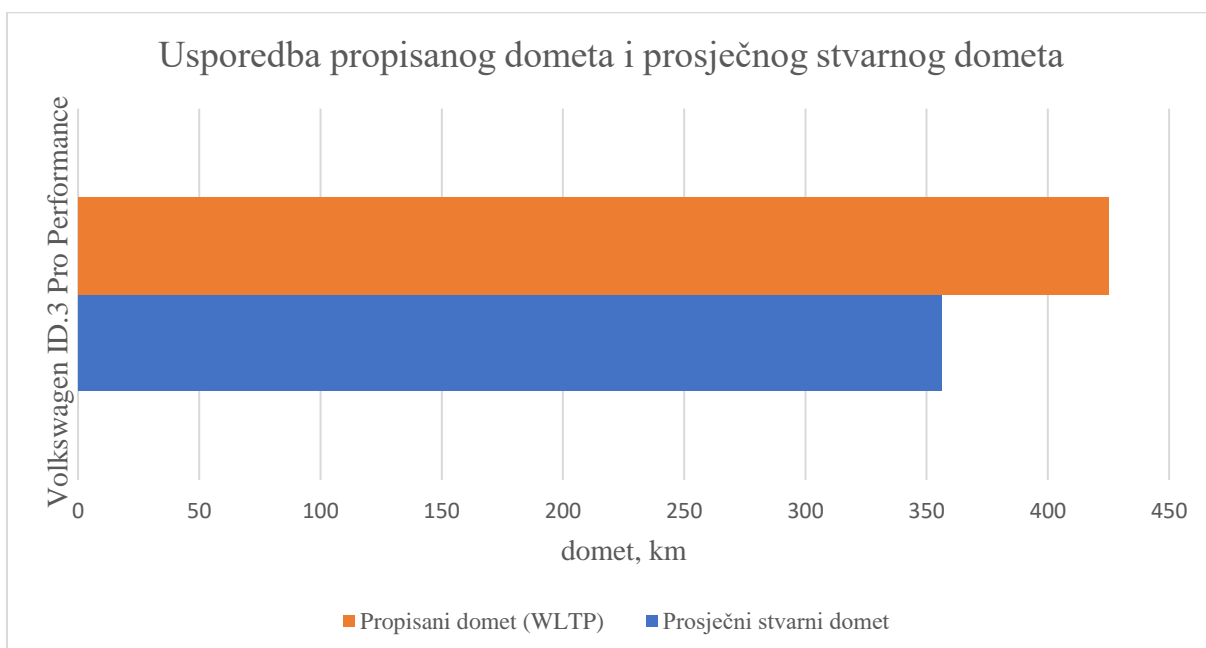
**Slika 36.** Grafički prikaz usporedbe propisanog dometa i prosječnog stvarnog dometa za Opel/Vauxhall Corsa-e



**Slika 37.** Grafički prikaz usporedbe propisanog dometa i prosječnog stvarnog dometa za Tesla model 3 Long Range DM



**Slika 38.** Grafički prikaz usporedbe propisanog dometa i prosječnog stvarnog dometa za Volkswagen e-golf



**Slika 39.** Grafički prikaz usporedbe propisanog dometa i prosječnog stvarnog dometa za Volkswagen ID.3 Pro Performance

Iz prosječnog dometa koji se temelji na realnim uvjetima vožnje i dometa koji propisuju proizvođači moguće je izračunati postotak odstupanja:

$$\% \text{ odstupanja} = \left(1 - \frac{\text{Prosječni domet, km}}{\text{Propisani domet, km}}\right) \times 100 \% \quad (5)$$

U nastavku je prikazan primjer računanja odstupanja za Audi e-tron 55 quattro:

$$\% \text{ odstupanja} = \left(1 - \frac{337 \text{ km}}{441 \text{ km}}\right) \times 100 \% = 23,58 \%$$

Na isti način izračunat je postotak odstupanja i za ostala električna vozila, te su dobiveni rezultati prikazani u Tablici 12. Domet koji propisuju proizvođači električnih vozila uvijek je veći od dometa pri realnim uvjetima vožnje. Iz dobivenih rezultata vidljivo je da najveći postotak odstupanja, odnosno najveću razliku između stvarnog i propisanog dometa ima Tesla model 3 Long Range DM. Najmanja razlika između dometa pri realnim uvjetima vožnje i propisanog dometa prema WLTP testu vidljiva je kod Volkswagen e-golfa i iznosi svega 5,17 %.

**Tablica 12.** Postotak odstupanja (usporedba stvarnog i propisanog dometa)

	<b>Odstupanje, %</b>
<b>Audi e-tron 55 quattro</b>	23,58
<b>Mercedes-Benz EQC</b>	16,55
<b>BMW i3</b>	16,23
<b>Hyundai Kona Electric</b>	27,48
<b>Mini Cooper SE</b>	27,67
<b>Opel/Vauxhall Corsa-e</b>	11,42
<b>Tesla model 3 Long Range DM</b>	27,91
<b>Volkswagen e-golf</b>	5,17
<b>Volkswagen ID.3 Pro Performance</b>	16,24

## 7. ZAKLJUČAK

Električna vozila imaju brojne prednosti u usporedbi s vozilima na benzinski i dizelski pogon, ali imaju i određene nedostatke. Glavni problemi povezani s električnim vozilima su njihov ograničeni domet, nedostatak stanica za punjenje i vrijeme punjenja. Međutim, razvojem novih tehnologija u budućnosti očekuje se pronalazak rješenja za ove probleme, a samim time očekuje se i povećanje broja električnih vozila na prometnicama diljem svijeta.

Domet električnih vozila ovisi o nizu parametara koji mogu biti nepromjenjivi ili promjenjivi. Domet ovisi o kapacitetu baterije električnog vozila, te što je veći kapacitet baterije, veći je i domet. Stil vožnje vozača također utječe na domet električnih vozila, te je to promjenjivi parametar koji uključuje brzinu vožnje, ubrzanja, kočenja i regenerativno kočenje. Vožnja velikim brzinama, nagla ubrzanja i kočenja smanjuju domet električnog vozila, a regenerativno kočenje povećava. Također, okolišni uvjeti imaju utjecaj na domet električnih vozila. Pri ekstremno visokim i niskim temperaturama domet će biti manji. Upotrebom pomoćnog sustava grijanja i hlađenja, koji se nalazi unutar vozila, značajno se smanjuje domet električnih vozila.

Na temelju realnih podataka o potrošnji električne energije i iskoristivom kapacitetu baterije izračunat je domet za devet različitih električnih vozila pri četiri brzine vožnje. Brzina vožnje utječe na potrošnju električne energije, te povećanjem brzine vožnje, raste i potrošnja energije. Iz dobivenih rezultata vidljivo je da se povećanjem brzine vožnje domet smanjuje. Najveći domet ima Tesla model 3 Long Range DM, a najmanji Mini Cooper SE pri sve četiri brzine vožnje. Tesla model 3 Long Range DM ima prosječni domet od 434 kilometara, a Mini Cooper SE ima prosječni domet od svega 183 kilometara.

Na temelju usporedbe između dometa koji propisuju proizvođači električnih vozila i dometa pri realnim uvjetima vožnje vidljivo je da kod svih vozila postoje određena odstupanja, te da je stvarni domet uvijek manji od propisanog dometa. Najveću razliku između stvarnog i propisanog dometa ima Tesla model 3 Long Range DM, te postotak odstupanja iznosi 27,91 %. Najmanju razliku između dometa pri realnim uvjetima vožnje i propisanog dometa ima Volkswagen e-golf i postotak odstupanja iznosi svega 5,17 %.

Električna vozila imaju znatno veću učinkovitost pri vožnji manjim brzinama, odnosno za vrijeme gradske vožnje jer uslijed kočenja, čestog zaustavljanja i regenerativnog kočenja dolazi do pretvaranja energije koja se koristi za napajanje baterije.



## 8. LITERATURA

1. Sanguesa, J. A., Torres-Sanz, V., Garrido, P., Martinez, F. J., Marquez-Barja, J. M., A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges, *Smart Cities*, 4(1) (2021) 372–404.
2. <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/electric-vehicles> (pristup 13.03.2023.)
3. <https://www.epa.gov/greenvehicles/electric-vehicle-myths> (pristup 13.03.2023.)
4. Chakraborty, P., Parker, R., Hoque, T., Cruz, J., Du, L., Wang, S., Bhunia, S., Addressing the range anxiety of battery electric vehicles with charging en route, *Scientific Reports*, 12 (2022) 5588.
5. Sarrafan, K., Sutanto, D., Muttaqi, K. M., Town, G., Accurate range estimation for an electric vehicle including changing environmental conditions and traction system efficiency, *IET Electr. Syst. in Transp.*, 7(2) (2017) 117–124.
6. <https://www.visualcapitalist.com/visualizing-the-range-of-electric-cars-vs-gas-powered-cars/> (pristup 18.03.2023.)
7. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/evolution-of-average-range-of-electric-vehicles-by-powertrain-2010-2021> (pristup 18.03.2023.)
8. Varga, B., Sagoian, A., Mariasiu, F., Prediction of Electric Vehicle Range: A Comprehensive Review of Current Issues and Challenges, *Energies*, 12(5) (2019) 946.
9. Szumska, E. M., Jurecki, R. S., Parameters Influencing on Electric Vehicle Range, *Energies*, 14 (2021) 4821.
10. <https://www.caranddriver.com/features/a36051980/evs-explained-battery-capacity-gross-versus-net/> (pristup 14.04.2023.)
11. <https://www.geotab.com/blog/ev-battery-health/> (pristup 14.04.2023.)
12. <https://www.chargedfuture.com/electric-car-battery-degradation/> (pristup 14.04.2023.)
13. <https://www.mantapower.co.uk/resource/what-factors-affect-ev-range> (pristup 14.04.2023.)
14. <https://chargedevs.com/newswire/ev-tech-explained-why-do-evs-restrict-the-amount-of-battery-capacity-that-can-be-used-for-driving/> (pristup 14.04.2023.)
15. <https://www.mobilityoutlook.com/commentary/how-driving-affects-an-electric-vehicles-battery-range/> (pristup 19.04.2023.)
16. <https://fullchargedriving.com/factors-that-impact-range/> (pristup 19.04.2023.)
17. <https://www.geotab.com/blog/ev-range-impact-of-speed-and-temperature/> (pristup 19.04.2023.)

18. <https://cleantechnica.com/2018/07/15/tesla-range-plotted-relative-to-speed-temperature-graphs/> (pristup 19.04.2023.)
19. <https://cleantechnica.com/2018/04/16/how-ev-range-is-affected-by-quick-acceleration/> (pristup 19.04.2023.)
20. Doyle, A., Muneer, T., Traction energy and battery performance modelling, u: Doyle, A., Muneer, T., Kolhe, M. L., Electric Vehicles: Prospects and Challenges, Edinburgh, Elsevier Inc., (2017) 93–124.
21. <https://www.tiresplus.com/blog/brakes/what-is-regenerative-braking-in-electric-vehicles/#> (pristup 21.04.2023.)
22. <https://www.formulabharat.com/blog/regenerative-braking-in-evs-an-overview/> (pristup 21.04.2023.)
23. <https://electrek.co/2018/04/24/regenerative-braking-how-it-works/> (pristup 21.04.2023.)
24. <https://monta.com/uk/blog/how-temperature-affects-ev-range/> (pristup 28.04.2023.)
25. <https://www.geotab.com/blog/ev-range/> (pristup 28.04.2023.)
26. <https://caredge.com/guides/temperature-affects-electric-vehicle-performance> (pristup 28.04.2023.)
27. <https://www.chargedfuture.com/7-factors-that-affect-electric-vehicle-range/> (pristup 28.04.2023.)
28. Zhao, C., Li, Y., Yang, Y., Wan, S., Yu, F., Yu, C., Deng, C., Zhou, A., Shen, X., Research on electric vehicle range under cold condition, Adv. Mech. Eng., 14 (3) (2022) 1-11.
29. <https://www.wltpfacts.eu/what-is-wltp-how-will-it-work/> (pristup 02.05.2023.)
30. <https://www.audi.hr/aktualno/wltp> (pristup 02.05.2023.)
31. <https://www.wltpfacts.eu/wltp-benefits/> (pristup 02.05.2023.)
32. <https://www.skoda-storyboard.com/en/emobility/how-is-an-electric-cars-range-measured/> (pristup 02.05.2023.)
33. <https://evdb.nz/wltp> (pristup 02.05.2023.)
34. Tutuianu, M., Bonnel, P., Ciuffo, B., Haniu, T., Ichikawa, N., Marotta, A., Pavlovic, J., Steven, H., Development of the World-wide harmonized Light duty Test Cycle (WLTC) and a possible pathway for its introduction in the European legislation, Transp. Res. D: Transp. Environ., 40 (2015) 61–75.
35. <https://www.electrive.com/2022/05/23/how-wltp-range-is-really-calculated/> (pristup 02.05.2023.)

36. <https://cleantechnica.com/2020/08/18/how-does-epa-calculate-electric-car-range/> (pristup 09.05.2023.)
37. <https://www.capitalone.com/cars/learn/finding-the-right-car/how-does-the-epa-calculate-ev-range/1677> (pristup 09.05.2023.)
38. <https://www.epa.gov/emission-standards-reference-guide/epa-urban-dynamometer-driving-schedule-udds> (pristup 09.05.2023.)
39. <https://www.car-engineer.com/the-different-driving-cycles/> (pristup 09.05.2023.)
40. <https://www.epa.gov/greenvehicles/testing-national-vehicle-and-fuel-emissions-laboratory> (pristup 09.05.2023.)
41. <https://www.capitalone.com/cars/learn/finding-the-right-car/what-does-mpge-mean/1305> (pristup 09.05.2023.)
42. <https://cleantechnica.com/2022/09/27/17-ev-models-have-epa-combined-rating-of-100-mpge-in-model-year-2022/> (pristup 09.05.2023.)
43. <https://dieselnet.com/standards/cycles/cltc.php> (pristup 20.05.2023.)
44. Liu, Y., Ma, K., Yu, H., Li, J., An, X., Influence of Test Cycles on Energy Consumption Test of Electric Vehicles, E3S Web. Conf., 241 (11) (2021) 02004.
45. Liu, Y., Liang, Y., Yu, H., An, X., Li, J., Comparative Analysis of China Light-duty Vehicle Test cycle for Passenger Car and Other Typical Driving Cycles, E3S Web. Conf., 241 (9) (2021) 02002.
46. Liu, Z., Liu, S., Zheng, T., The influence of NEDC and CATC type approval test procedure on the E-range of battery electric vehicles, Energy Rep., 8 (2022) 36-42.
47. <https://evbox.com/en/ev-charging-guide#chaptertwo> (pristup 27.05.2023.)
48. <https://www.power-sonic.com/blog/levels-of-ev-charging/> (pristup 27.05.2023.)
49. Mastoi, M. S., Zhuang, S., Munir, H. M., Haris, M., Hassan, M., Usman, M., Bukhari, S. S. H., Ro, J. S., An in-depth analysis of electric vehicle charging station infrastructure, policy implications, and future trends, Energy Rep., 8 (2022) 11504-11529.
50. <https://deltrixchargers.com/about-emobility/charging-modes/> (pristup 27.05.2023.)
51. <https://www.ovoenergy.com/guides/electric-cars/ev-charging-types> (pristup 27.05.2023.)
52. <https://www.enelxway.com/us/en/resources/blog/ev-charging-connector-types> (pristup 27.05.2023.)
53. <https://www.ezoomed.in/blog/electric-car-charging/wallbox-ev-charger-india/> (pristup 27.05.2023.)

54. <https://www.twilio.com/blog/10-ev-charging-statistics-you-should-know-for-2023> (pristup 03.06.2023.)
55. <https://www.plugndrive.ca/public-charging/> (pristup 03.06.2023.)
56. <https://www.cvh.hr/gradani/tehnicki-pregled/statistika/> (pristup 03.06.2023.)
57. <https://elen.hep.hr/> (pristup 03.06.2023.)
58. Leijon, J., Boström, C., Charging Electric Vehicles Today and in the Future, World Electr. Veh. J., 13 (2022) 139.
59. <https://www.nio.com/nio-power> (pristup 03.06.2023.)
60. <https://www.stellantis.com/en> (pristup 03.06.2023.)
61. <https://news.cornell.edu/stories/2022/07/study-conceptualizes-energy-efficient-wireless-charging-roads> (pristup 03.06.2023.)
62. <https://ev-database.org/> (pristup 03.06.2023.)

## ŽIVOTOPIS

████████████████████ Osnovnu školu Mihaela Šiloboda u Svetom Martinu pod Okićem završavam 2013. godine i nakon toga upisujem XVI. gimnaziju u Zagrebu, smjer jezična gimnazija. Srednju školu završavam 2017. godine i iste godine upisujem Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, preddiplomski studij Ekoinženjerstvo. U rujnu 2021. godine završavam preddiplomski studij, te iste godine upisujem sveučilišni diplomski studij Ekoinženjerstvo. Stručnu praksu sam odradila u tvrtki Dechra Pharmaceuticals PLC (Genera d.d.), točnije u kontroli kvalitete (instrumentalni laboratorij). Aktivno se služim engleskim, njemačkim i španjolskim jezikom.