

Analiza eksploatacijskih značajki električnih vozila

Dujmović, Matija

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:068303>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ZAVRŠNI RAD

**ANALIZA EKSPLOATACIJSKIH ZNAČAJKI ELEKTRIČNIH
VOZILA**

**ANALYSIS OF EXPLOITATION FEATURES OF ELECTRIC
VEHICLES**

Mentor: izv.prof.dr.sc. Željko Šarić
Student: Matija Dujmović
JMBAG:0135259771

Zagreb, srpanj 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 11. lipnja 2024.

Zavod: **Samostalne katedre**
Predmet: **Vozila za javni gradski prijevoz**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 7451

Pristupnik: **Matija Dujmović (0135259771)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Gradski promet**

Zadatak: **ANALIZA EKSPLOATACIJSKIH ZNAČAJKI ELEKTRIČNIH VOZILA**

Opis zadatka:

U Završnom radu je potrebno objasniti povijest i značajke električnih vozila. Analizirati trenutno stanje sa zastupljenošću električnih vozila u Republici Hrvatskoj te opisati njihove tehničko eksploatacijske značajke s posebnim osvrtom na baterije električnih vozila.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

izv.prof.dr.sc. Željko Šarić

SAŽETAK

Električna vozila postaju sve značajniji faktor u modernom transportnom sustavu zbog svojih prednosti u odnosu na tradicionalna vozila na fosilna goriva. Ključne prednosti električnih vozila uključuju smanjene emisije štetnih plinova, niže operativne troškove i bolju energetska efikasnost. Performanse ovih vozila su značajno poboljšane u posljednjih nekoliko godina zahvaljujući napretku u baterijskoj tehnologiji. Litij-ionske baterije, koje se najčešće koriste, omogućuju veći domet i kraće vrijeme punjenja.

Električna vozila zahtijevaju manje održavanja u usporedbi s vozilima na unutarnje sagorijevanje. Nedostatak složenih mehaničkih dijelova, poput mjenjača i ispušnog sustava, smanjuje potrebu za čestim servisima. Iako početni troškovi nabavke električnog vozila mogu biti viši, ukupni troškovi vlasništva (TCO) su često niži zbog nižih troškova energije i održavanja. Jedna od najznačajnijih prednosti električnih vozila je njihov pozitivan utjecaj na okoliš. Smanjenje emisije stakleničkih plinova i onečišćenja zraka u urbanim područjima ključni su faktori koji doprinose sve većoj popularnosti električnih vozila. Razvoj infrastrukture za punjenje električnih vozila ključan je za njihovu široku prihvaćenost. Dostupnost brzih punionica na javnim mjestima i radna mjesta s instaliranim punjačima povećavaju praktičnost korištenja EV-a. Uvođenje standardiziranih priključaka i napredne tehnologije punjenja također igraju važnu ulogu.

Analiza eksploatacijskih značajki električnih vozila pokazuje da, unatoč nekim izazovima, električna vozila nude značajne prednosti u smislu performansi, troškova i ekološkog utjecaja. Tehnološki napredak, podrška vlada i razvoj infrastrukture za punjenje bit će ključni za daljnje povećanje prihvaćenosti i uporabe električnih vozila u budućnosti.

Ključne riječi: električna vozila, eksploatacijske značajke, performanse, troškovi, litij – ionska baterija

ABSTRACT

Electric vehicles are becoming an increasingly important factor in the modern transportation system due to their advantages over traditional fossil fuel vehicles. Key benefits of electric vehicles include reduced emissions, lower operating costs and better energy efficiency. The performance of these vehicles has improved significantly in recent years thanks to advances in battery technology. Lithium-ion batteries, which are the most commonly used, allow for a longer range and a shorter charging time.

Electric vehicles require less maintenance compared to internal combustion vehicles. The lack of complex mechanical parts, such as the gearbox and exhaust system, reduces the need for frequent servicing. Although the initial cost of purchasing an electric vehicle may be higher, the total cost of ownership (TCO) is often lower due to lower energy and maintenance costs. One of the most significant advantages of electric vehicles is their positive impact on the environment. Reducing greenhouse gas emissions and air pollution in urban areas are key factors contributing to the growing popularity of electric vehicles. The development of infrastructure for charging electric vehicles is crucial for their widespread acceptance. The availability of fast charging stations in public places and workplaces with installed chargers increase the practicality of using EVs. The introduction of standardized connections and advanced charging technology also play an important role.

An analysis of the exploitation features of electric vehicles shows that, despite some challenges, electric vehicles offer significant advantages in terms of performance, costs and environmental impact. Technological advances, government support and the development of charging infrastructure will be key to further increasing the acceptance and use of electric vehicles in the future.

Keywords: electric vehicles, exploitation features, performance, costs, lithium-ion battery

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
2. POVIJEST I RAZVOJ ELEKTRIČNIH VOZILA	3
2.1. Rani početci i prvi električni automobili.....	3
2.2. Ponovni interes i razvoj u kasnom 20. stoljeću	5
2.3. Suvremena era i ekspanzivan napredak u proizvodnji i uporabi električnih automobila.....	7
3. ZASTUPLJENOST ELEKTRIČNIH VOZILA U VOZONOM PARKU.....	11
3.1. Globalna zastupljenost električnih vozila	11
3.2. Zastupljenost električnih vozila u specifičnim sektorima	14
3.3. Utjecaj političkih i ekonomskih inicijativa na zastupljenost električnih vozila.....	16
4. BATERIJE U ELEKTRIČNIM VOZILIMA I VRSTE PUNJENJA ELEKTRIČNIH BATERIJA	18
4.1. Tehnološki razvoj litij-ionskih baterija	18
4.2. Različite vrste baterijskih tehnologija	20
4.3. Vrste punjenja električnih baterija	21
5. EKSPLOATACIJSKE ZNAČAJKE ELEKTRIČNIH VOZILA	23
5.1. Autonomija i domet električnih vozila.....	23
5.2. Performanse i ubrzanje električnih vozila	25
5.3. Troškovi održavanja i operativni troškovi električnih vozila.....	27
5.4. Usporedba električnih vozila i vozila s unutarnjim izgaranjem.....	30
6. ZAKLJUČAK	33
LITERATURA.....	35
POPIS SLIKA	39
POPIS GRAFIKONA	39
POPIS TABLICA.....	39

1. UVOD

Električna vozila su postala značajna komponenta moderne automobilske industrije jer koriste električne motore i baterije umjesto tradicionalnih motora s unutarnjim izgaranjem. Ova tehnologija nudi brojne prednosti, uključujući smanjenu emisiju štetnih plinova, niže operativne troškove i poboljšane performanse. Baterije su ključna komponenta EV-a i njihova dugovječnost je kritična za ukupne operativne troškove. Moderni EV-i koriste litij-ionske baterije koje mogu trajati od 8 do 15 godina, ovisno o korištenju i uvjetima. Proizvođači obično nude garancije na baterije koje pokrivaju određeni broj godina ili kilometara. Električna vozila ne emitiraju štetne plinove tijekom vožnje, što značajno smanjuje emisiju stakleničkih plinova i onečišćenje zraka u urbanim sredinama. Korištenje obnovljivih izvora energije može dodatno smanjiti ugljični otisak EV-a. Reciklaža baterija je važan aspekt ekološkog utjecaja EV-a. Litij-ionske baterije sadrže vrijedne metale koji se mogu reciklirati i ponovno koristiti. Postoji sve veći interes i razvoj tehnologija za reciklažu baterija kako bi se smanjio ekološki otisak i osigurala održivost.

Naslov završnog rada jest: ANALIZA EKSPLOATACIJSKIH ZNAČAJKI ELEKTRIČNIH VOZILA.

Cilj završnog rada je sveobuhvatna analiza eksploatacijskih značajki električnih vozila kako bi se pružili uvidi u njihove performanse, pouzdanost, ekonomičnost i utjecaj na okoliš. Svrha rada je pridonijeti boljem razumijevanju i prihvaćanju električnih vozila kroz relevantne podatke i analize koje mogu pomoći vladinim agencijama, proizvođačima i drugim ključnim akterima u donošenju informiranih odluka o politikama i strategijama vezanim za električna vozila.

Završni rad je podijeljen u šest cjelina:

1. UVOD
2. POVIJEST I RAZVOJ ELEKTRIČNIH VOZILA
3. ZASTUPLJENOST ELEKTRIČNIH VOZILA U VOZKOM PARKU
4. BATERIJE U ELEKTRIČNIM VOZILIMA I VRSTE PUNJENJA ELEKTRIČNIH BATERIJA
5. EKSPLOATACIJSKE ZNAČAJKE ELEKTRIČNIH VOZILA
6. ZAKLJUČAK

U uvodu je opisana glavna problematika teme analize eksploatacijskih značajki električnih vozila. Drugo poglavlje opisuje povijest i razvoj električnih vozila te analizu njihova aktualnog stanja na tržištu. U trećem poglavlju je prikazana zastupljenost električnih vozila u voznom parku. Čvrto poglavlje opisuje obilježja baterija u električnim vozilima i načine na koje se iste pune. Peto poglavlje obrađuje eksploatacijske značajke električnih vozila, te je napravljena usporedba između električnih vozila i vozila s unutarnjim izgaranjem. U zaključku su iznesene završne misli autora o istraženoj temi.

Kao izvor podataka koristit će se sekundarni izvori podataka prikupljeni iz znanstvene i stručne, domaće i strane literature koja uključuje članke, publikacije, relevantne internetske stranice i baze podataka.

2. POVIJEST I RAZVOJ ELEKTRIČNIH VOZILA

Električna vozila imaju dugu i fascinantnu povijest koja seže više od jednog stoljeća unatrag. Iako se električna vozila često doživljavaju kao suvremena inovacija, njihovi prvi modeli pojavili su se gotovo u isto vrijeme kad i prva vozila s unutarnjim izgaranjem. Razvoj električnih vozila može se podijeliti u nekoliko ključnih faza, od ranih pionirskih dana do suvremene ere visoke tehnologije i globalne ekspanzije.

2.1. Rani počeci i prvi električni automobili

Prvi poznati električni automobil razvijen je 1828. godine kada je mađarski izumitelj Ányos Jedlik izradio mali model automobila koji se pokretao pomoću elektromotora. Tijekom 1830-ih i 1840-ih, brojni izumitelji u Europi i Americi eksperimentirali su s električnim vozilima, ali tek je krajem 19. stoljeća tehnologija napredovala dovoljno da bi se mogla primijeniti u praktičnim vozilima. Thomas Davenport je bio jedan od prvih inovatora koji su eksperimentirali s električnim vozilima. [1] Ovaj američki crtač i izumitelj konstruirao je mali model električnog vozila 1835. godine, koristeći elektromagnetni motor pogonjen baterijama. Iako njegovo vozilo nije bilo praktično za svakodnevnu upotrebu, ovaj eksperiment predstavljao je prvi korak prema razvoju električnih vozila.



Slika 1. Prvo električno vozilo izumitelja Anyosa Jedlika

Izvor: [2]

U Europi, Robert Anderson iz Škotske također je eksperimentirao s ranim verzijama električnih vozila. Oko 1832. godine, Anderson je konstruirao jednostavno električno vozilo koje je koristilo sirove, nepunjive baterije. [3] Ova vozila bila su daleko od praktičnih rješenja zbog ograničenih mogućnosti tadašnjih baterijskih tehnologija. Gustave Trouvé, francuski izumitelj, napravio je značajan iskorak 1881. godine kada je demonstrirao mali tricikl pogonjen električnim motorom. Trouvéovo vozilo koristilo je poboljšane baterije koje su omogućavale duže vožnje, iako još uvijek daleko od današnjih standarda. Ovaj tricikl može se smatrati jednim od prvih stvarno operativnih električnih vozila.

Rana električna vozila suočavala su se s brojnim tehnološkim izazovima. Najveći problem bila je tehnologija baterija. Rane verzije baterija bile su teške, skupe i imale su ograničenu mogućnost pohrane energije, što je rezultiralo kratkim dometom i dugim vremenima punjenja. [4] Također, infrastruktura za punjenje električnih vozila nije postojala, što je dodatno otežavalo njihovu širu primjenu. Osim problema s baterijama, rani električni motori bili su relativno neučinkoviti i skupi za proizvodnju. Nedostatak standardizacije i visokih troškova proizvodnje značio je da su električna vozila bila dostupna samo bogatima i često su se koristila kao luksuzne igračke umjesto praktičnih sredstava za prijevoz.

Krajem 19. i početkom 20. stoljeća, električna vozila su bila u izravnoj konkurenciji s vozilima na unutarnje izgaranje i parnim vozilima. Svaka od ovih tehnologija imala je svoje prednosti i nedostatke. Električna vozila su bila tiša, nisu ispuštala štetne emisije i bila su jednostavnija za vožnju, što ih je činilo popularnim među urbanim stanovništvom i posebice ženama. [5] U to vrijeme, električna vozila su činila značajan dio tržišta automobila, posebno u Sjedinjenim Američkim Državama. Neki od poznatih modela uključuju Columbia Electric i Baker Electric. Električni automobili su bili jednostavni za vožnju, tihi i nisu ispuštali dim, što ih je činilo atraktivnim u urbanim sredinama.

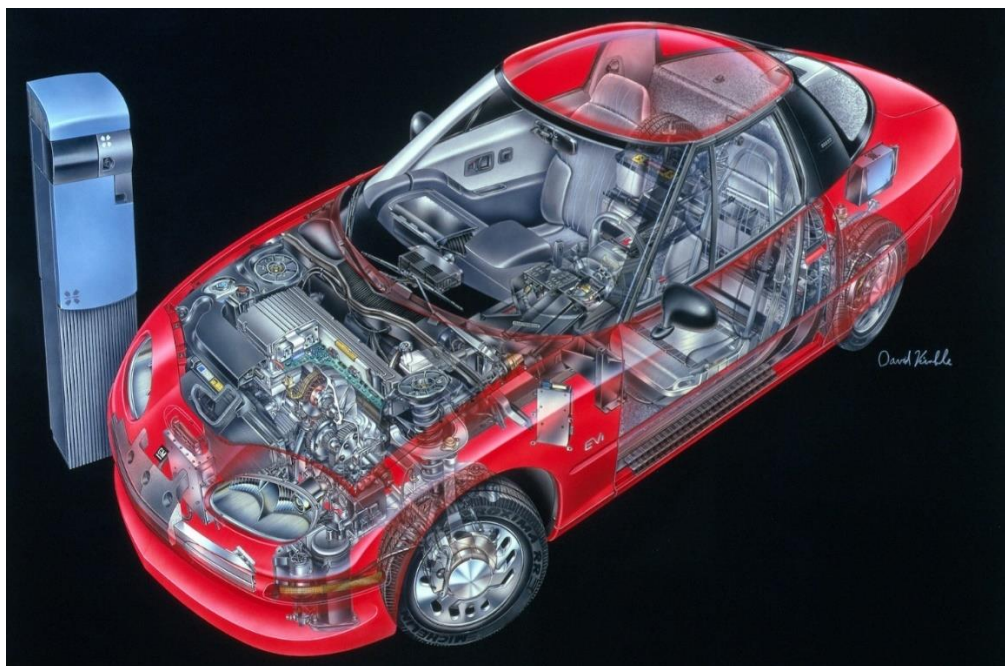
Međutim, vozila s unutarnjim izgaranjem, koja su koristila benzinske ili dizelske motore, brzo su napredovala zahvaljujući nizu tehnoloških inovacija. Henry Ford je 1908. godine predstavio Model T, prvi automobil koji je bio pristupačan širokim masama zahvaljujući linijskoj proizvodnji. [1] S nižom cijenom, većim dometom i brzim punjenjem goriva, vozila na unutarnje izgaranje brzo su stekla prednost na tržištu. Sredinom 20. stoljeća, električna vozila su postupno izgubila popularnost zbog nekoliko ključnih faktora. Razvoj i masovna proizvodnja benzinskih motora, posebno zahvaljujući Henryju Fordu i njegovoj liniji montaže za Model T, učinili su vozila s unutarnjim izgaranjem znatno pristupačnijima. [1] Benzinska vozila nudila su veći domet i brže punjenje (tj. punjenje gorivom), što je bilo pogodno za duža putovanja.

Rani pioniri električnih vozila nisu mogli prevladati izazove povezane s tehnologijom baterija i proizvodnim troškovima. Kako su vozila na unutarnje izgaranje postajala sve popularnija, interes za električna vozila počeo je opadati. Do sredine 20. stoljeća, električna vozila gotovo su potpuno nestala s tržišta, prepuštajući dominaciju automobilima na unutarnje izgaranje. [6] Rani početci električnih vozila obilježeni su entuzijazmom i inovacijama, unatoč brojnim tehnološkim izazovima i ograničenjima. Iako nisu uspjela nadmašiti vozila s unutarnjim izgaranjem u svojim ranim fazama, ovi pionirski napori postavili su temelje za budući razvoj. Danas, s naprednijim tehnologijama baterija i rastućom ekološkom svijesti, električna vozila ponovno doživljavaju procvat, vraćajući se na tržište kao održiva alternativa tradicionalnim vozilima. Pioniri poput Davenporta, Andersona i Trouvéa zaslužuju priznanje za svoje rane napore i viziju koja je bila daleko ispred svog vremena.

2.2. Ponovni interes i razvoj u kasnom 20. stoljeću

Nakon gotovo pola stoljeća dominacije vozila s unutarnjim izgaranjem, ponovni interes za električna vozila počeo je rasti u kasnom 20. stoljeću. Taj period obilježen je nekoliko ključnih događaja i trendova koji su potaknuli razvoj i širu prihvaćenost električnih vozila, postavljajući temelje za modernu eru elektromobilnosti. Jedan od najvažnijih katalizatora za povratak interesa za električna vozila bila je naftna kriza 1970-ih godina. Zbog političkih i ekonomskih sukoba na Bliskom istoku, cijene nafte su drastično porasle, što je dovelo do globalne energetske krize. [5] Ova situacija potaknula je mnoge zemlje, posebno Sjedinjene Američke Države, da traže alternative fosilnim gorivima. U to vrijeme, električna vozila su se ponovno pojavila kao održiva alternativa. Iako su i dalje bila opterećena ograničenim dometom i dugim vremenom punjenja, njihova sposobnost rada bez nafte činila ih je privlačnom opcijom za smanjenje ovisnosti o stranim izvorima energije.

Naftna kriza inspirirala je brojne inovacije i razvoj prototipova električnih vozila. Jedan od najznačajnijih pokušaja u ovom razdoblju bio je projekt General Motors EV1. Lansiran sredinom 1990-ih, EV1 je bio prvo serijski proizvedeno električno vozilo modernog doba. Iako je imao relativno ograničen domet (oko 160 km) i bio dostupan samo kroz leasing program, EV1 je pokazao da su električna vozila tehnološki izvodljiva i komercijalno dostupna. [7] Osim General Motorsa, i druge automobilske kompanije počele su eksperimentirati s električnim vozilima. Toyota, Nissan i Honda razvijali su vlastite modele električnih i hibridnih vozila, uvodeći tehnologije koje su kasnije postale ključne za moderni razvoj električnih vozila.



Slika 2. Model General Motorsa EV 1

Izvor: [7]

Krajem 20. stoljeća, rastuća ekološka svijest i zabrinutost zbog zagađenja zraka i globalnog zatopljenja počeli su utjecati na politike i regulative diljem svijeta. U Sjedinjenim Američkim Državama, Kalifornija je bila na čelu ove promjene. Kalifornijska komisija za zrak (CARB) donijela je Zakon o čistom zraku 1990. godine, koji je uključivao stroge standarde emisije za vozila i poticao razvoj vozila s nultom emisijom. [8] Ove regulative prisilile su automobilske kompanije da povećaju ulaganja u razvoj ekološki prihvatljivih vozila, uključujući električna vozila. Zakon o čistom zraku također je inspirirao slične politike u drugim dijelovima svijeta, dodatno potičući razvoj tehnologija za smanjenje emisija.

Jedan od ključnih faktora koji su omogućili povratak električnih vozila bio je napredak u tehnologiji baterija. Tradicionalne olovno-kiselinske baterije, koje su bile glavni izvor energije za rane EV-ove, zamijenjene su učinkovitijim i dugotrajnijim baterijama. Litij-ionske baterije, razvijene tijekom 1980-ih i 1990-ih, postale su standard za moderne električne automobile zbog svoje veće energetske gustoće, niže težine i dužeg životnog vijeka. [3] Ove baterije omogućile su električnim vozilima da postignu veći domet i bolje performanse, čineći ih konkurentnijim u odnosu na vozila s unutarnjim izgaranjem. S napretkom tehnologije baterija, troškovi proizvodnje su se smanjili, što je dodatno povećalo komercijalnu održivost električnih vozila.

U ovom razdoblju, neki pioniri i inovatori imali su značajan utjecaj na popularizaciju električnih vozila. Jedan od najistaknutijih bio je Elon Musk i njegova kompanija Tesla Motors,

osnovana 2003. godine. Tesla je uvela električna vozila visokih performansi na tržište, počevši s Roadsterom 2008. godine, koji je pokazao da električna vozila mogu biti brza, atraktivna i praktična. [19] Tesla je nastavila s inovacijama, uvodeći modele poput Model S, Model 3, Model X i Model Y, koji su postali simboli modernih električnih vozila. Kompanija je također investirala u razvoj infrastrukture za punjenje, postavljajući mrežu superpunjača diljem svijeta, što je značajno poboljšalo praktičnost korištenja električnih vozila.

Kasno 20. stoljeće obilježilo je značajan povratak interesa za električna vozila, potaknut nizom globalnih događaja, tehnoloških inovacija i regulatornih promjena. Naftna kriza 1970-ih, napredak u tehnologiji baterija, te rastuća ekološka svijest stvorili su uvjete za obnovljeni razvoj i širu prihvaćenost električnih vozila. [10] Ovaj period postavio je temelje za modernu eru elektromobilnosti, gdje su električna vozila postala ključni dio globalne strategije za održivost i smanjenje emisija stakleničkih plinova. Zahvaljujući inovacijama i naporima pionira kao što su Tesla i mnoge druge kompanije [11], električna vozila danas su neizostavan dio automobilske industrije i svakodnevnog života mnogih ljudi diljem svijeta.

2.3. Suvremena era i eksponencijalan napredak u proizvodnji i uporabi električnih automobila

Suvremena era električnih automobila započela je početkom 21. stoljeća i obilježena je značajnim tehnološkim napretkom, rastućom ekološkom svijesću i promjenama u globalnoj automobilskoj industriji. Tijekom posljednja dva desetljeća, električna vozila su prošla kroz transformaciju od nišnih proizvoda do glavnih igrača na tržištu automobila. Jedan od najznačajnijih faktora u suvremenom razvoju električnih automobila je napredak u tehnologiji baterija. [1] Uvođenje litij-ionskih baterija omogućilo je drastično povećanje energetske gustoće, smanjenje težine i poboljšanje sigurnosti. Litij-ionske baterije, koje se koriste u većini modernih električnih vozila, nude bolje performanse i dulji vijek trajanja u usporedbi s ranijim tehnologijama baterija. [11] Osim toga, troškovi proizvodnje litij-ionskih baterija značajno su smanjeni tijekom proteklih godina, što je dovelo do povoljnijih cijena električnih vozila za potrošače.



Slika 3. Litij – ionska baterija električnih vozila postavljena na dno automobila

Izvor: [12]

Napredak u dizajnu električnih motora i pogonskih sistema također je igrao ključnu ulogu. Moderni električni motori su učinkovitiji, kompaktniji i pouzdaniji nego ikada prije. To omogućava bolju raspodjelu težine i veću učinkovitost vozila. Osim toga, regenerativno kočenje, koje vraća energiju natrag u bateriju tijekom usporavanja, dodatno poboljšava učinkovitost i domet električnih automobila. [12] Suvremeni električni automobili često dolaze opremljeni naprednim tehnološkim značajkama kao što su autonomna vožnja, sustavi za pomoć vozaču, napredni infotainment sustavi i povezanost s internetom. Ove tehnologije ne samo da poboljšavaju vozačko iskustvo već i povećavaju sigurnost te učinkovitost vožnje. Softverska ažuriranja putem interneta omogućuju proizvođačima da kontinuirano poboljšavaju performanse vozila i dodaju nove značajke bez potrebe za fizičkom intervencijom.

Mnoge vlade diljem svijeta uvele su razne poticaje kako bi potaknule kupnju električnih vozila. Ovi poticaji uključuju izravne subvencije, porezne olakšice, popuste na registraciju i pristup posebnim trakama za vozila. [1] Na primjer, Norveška, jedna od vodećih zemalja po penetraciji električnih vozila, nudi brojne povlastice za vlasnike električnih vozila, uključujući oslobađanje od PDV-a, besplatno parkiranje i pristup autobusnim trakama. Pooštravanje emisijskih standarda i najave zabrana prodaje vozila s unutarnjim izgaranjem u budućnosti dodatno su potaknuli razvoj i usvajanje električnih vozila. Europska unija, Kina i Kalifornija su

među regijama koje su postavile ambiciozne ciljeve za smanjenje emisija stakleničkih plinova, što je prisililo proizvođače automobila da ulažu u razvoj električnih vozila kako bi zadovoljili te standarde.

Jedan od ključnih faktora u prihvaćanju električnih vozila je dostupnost infrastrukture za punjenje. Tijekom posljednjih desetljeća, broj javnih punionica značajno je porastao. Mnoge zemlje i privatne kompanije uložile su značajna sredstva u razvoj mreže punionica kako bi omogućile lakše i brže punjenje. Tesla je, na primjer, razvio vlastitu mrežu Supercharger punionica koja omogućava brzo punjenje i duža putovanja. [7] Standardizacija punjača i tehnologija punjenja također je ključna za razvoj infrastrukture. Različiti standardi kao što su CHAdeMO, CCS (Combined Charging System) i Tesla Supercharger omogućavaju kompatibilnost između različitih vozila i punionica, čime se olakšava korištenje električnih vozila za potrošače [11].

S povećanjem svijesti o klimatskim promjenama i ekološkim pitanjima, potrošači sve više preferiraju ekološki prihvatljive proizvode, uključujući električna vozila. Električna vozila ne emitiraju štetne plinove tijekom vožnje, što ih čini atraktivnim izborom za ekološki osviještene kupce. Iako je početna cijena električnih vozila često viša od cijene vozila s unutarnjim izgaranjem, niži operativni troškovi čine ih ekonomičnijim na duži rok. Električna vozila imaju niže troškove goriva, manje potrebe za održavanjem i duže vijekove trajanja pojedinih komponenti, što rezultira ukupno nižim troškovima vlasništva. [1] Povećanje dometa i performansi električnih vozila također je utjecalo na promjenu percepcije potrošača. Suvremena električna vozila nude konkurentne domete koji su usporedivi s vozilima na fosilna goriva, što uklanja jedan od glavnih razloga za zabrinutost među potencijalnim kupcima.

Prodaja električnih vozila raste eksponencijalno na globalnoj razini. Kinesko tržište je najveće i najbrže rastuće, zahvaljujući snažnoj podršci vlade i rastućoj domaćoj industriji električnih vozila. [11] Europa i Sjedinjene Američke Države također bilježe značajan rast, potaknut regulacijama i poticajima. Proizvođači automobila neprestano razvijaju nove modele električnih vozila kako bi zadovoljili rastuće zahtjeve tržišta. Pored konvencionalnih osobnih automobila, tržište se širi na segment električnih kamiona, autobusa i komercijalnih vozila. Inovacije u dizajnu, autonomiji i tehnologiji baterija nastavljaju poboljšavati atraktivnost električnih vozila.

Razvoj električnih vozila ide ruku pod ruku s povećanom uporabom obnovljivih izvora energije. Korištenje solarne, vjetroelektrične i hidroenergije za proizvodnju električne energije dodatno smanjuje ugljični otisak električnih vozila, čineći ih još održivijima [11].

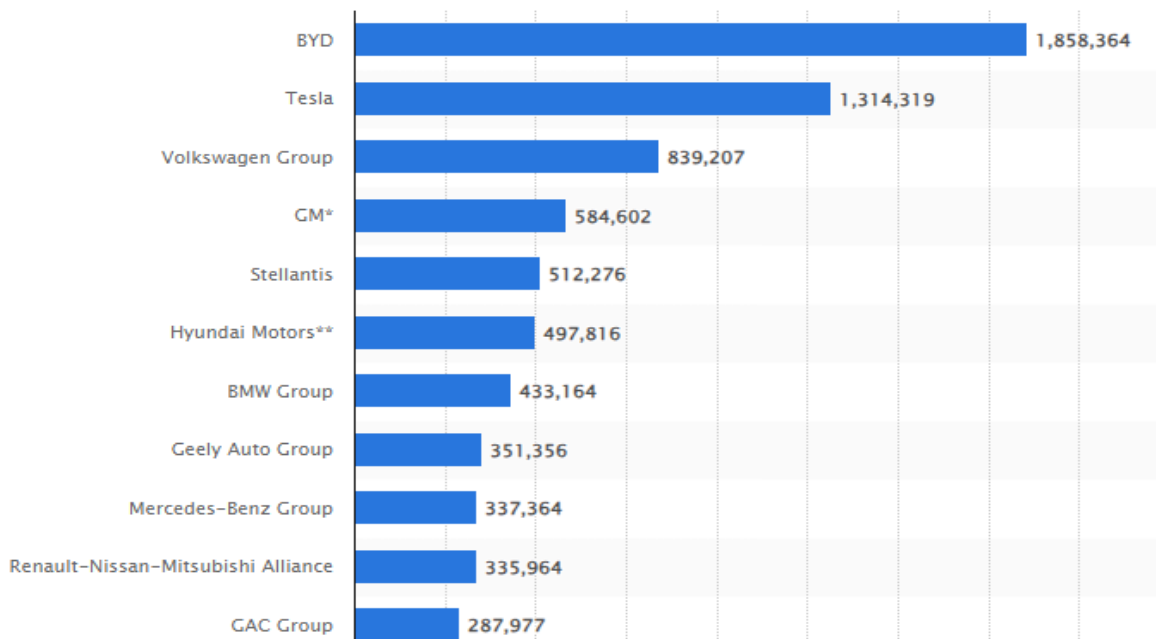
Suvremena era električnih vozila obilježena je eksponencijalnim napretkom u tehnologiji, proizvodnji i uporabi. Kroz napredak u tehnologiji baterija, regulatorne politike, razvoj infrastrukture i promjene u percepciji potrošača, električna vozila postaju sve pristupačnija i atraktivnija opcija. Globalni trendovi ukazuju na nastavak rasta i inovacija u ovom sektoru, što električna vozila postavlja kao ključnu komponentu održive budućnosti mobilnosti.

3. ZASTUPLJENOST ELEKTRIČNIH VOZILA U VOZKOM PARKU

Posljednjih desetljeća svijet svjedoči značajnim promjenama u strukturi voznog parka na globalnoj razini. Električna vozila brzo su se razvila od tehnološke znatiželje do ključnog dijela strategija održivog transporta. Ovaj trend potaknut je nizom faktora, uključujući ekološke regulative, tehnološke inovacije, rastuću svijest o klimatskim promjenama i ekonomske prednosti koje električna vozila nude. Uvođenje električnih vozila u širu upotrebu rezultiralo je rastućim brojem električnih vozila na cestama, uz sveobuhvatne promjene u infrastrukturi i industriji. Električna vozila danas predstavljaju značajan segment u mnogim nacionalnim voznim parkovima, od osobnih automobila do komercijalnih flota. Ova promjena ne samo da doprinosi smanjenju emisija štetnih plinova, već također stimulira inovacije u proizvodnji baterija, razvoju infrastrukture za punjenje i drugim povezanim tehnologijama (IEA, 2021.). Treće poglavlje istražit će trenutnu zastupljenost električnih vozila u voznom parku, analizirajući razlike među regijama i zemljama, te faktore koji utječu na ove razlike.

3.1. Globalna zastupljenost električnih vozila

Globalna zastupljenost električnih vozila postaje sve vidljivija kako tehnološki napredak, ekološka svijest i regulatorne politike potiču prijelaz prema održivijoj mobilnosti. Električna vozila sve su prisutnija na cestama diljem svijeta, no razina zastupljenosti varira ovisno o regiji, ekonomskom statusu i političkim inicijativama. Kina je trenutno vodeće tržište za električna vozila, s ogromnim brojem prodanih vozila svake godine, potaknutim snažnim državnim poticajima i ambicioznim ciljevima za smanjenje emisija stakleničkih plinova. [13] Europa također bilježi značajan rast u prodaji električnih vozila, posebno u zemljama poput Norveške, gdje su poticaji za kupnju električnih vozila iznimno veliki. [14] Sjedinjene Američke Države također pokazuju rastući trend, posebno u saveznim državama poput Kalifornije gdje su postavljeni ambiciozni ciljevi za smanjenje emisija i poticaji za kupnju električnih vozila [15].



Grafikon 1. Globalna proizvodnja električnih automobila u 2022. godini

Izvor: [16]

U 2022. BYD je proizveo oko 1,86 milijuna električnih vozila diljem svijeta. Time je kineski proizvođač postao najveći proizvođač električnih vozila u svijetu. Tesla i Volkswagen grupa bili su drugi i treći na ljestvici, proizvevši procijenjenih 1,31 milijuna odnosno 839.200 plug-in električnih vozila te godine. [16]

Električni automobili čine malen udio u ukupnom broju registriranih vozila u Hrvatskoj. Krajem 2022. u Hrvatskoj je bilo registrirano 1.836.016 osobnih automobila, od čega je njih 4.929 bilo na električni pogon, što čini tek 0,27 posto u ukupnom broju registriranih vozila. Najprodavaniji električni automobil u 2022.godini u Hrvatskoj bio je Renault Twingo s 821 prodanih primjeraka. [43]

Regulatorne politike igraju ključnu ulogu u promicanju električnih vozila. Državne subvencije, porezne olakšice, popusti na registraciju i posebne trake za električna vozila potiču potrošače na kupnju električnih vozila. Osim toga, pooštreni emisijski standardi i najave zabrana prodaje vozila s unutarnjim izgaranjem također pridonose povećanoj zastupljenosti električnih vozila. Dostupnost infrastrukture za punjenje igra ključnu ulogu u prihvaćanju električnih vozila. Razvoj mreže javnih punionica, kao i potpora za instalaciju punionica kod kuće ili na radnom mjestu, osigurava da vozači električnih vozila imaju praktične mogućnosti punjenja. [17] Razvoj brzih punionica dodatno poboljšava praktičnost električnih vozila za duža putovanja.

Cijena električnih vozila i dostupnost financiranja također su važni faktori. Smanjenje troškova baterija i povećana proizvodnja omogućili su pad cijena električnih vozila, čineći ih konkurentnijima u odnosu na vozila s unutarnjim izgaranjem. [18] Osim toga, širenje ponude električnih modela različitih marki i segmenata vozila pruža potrošačima veći izbor. Budući trendovi uključuju nastavak rasta prodaje električnih vozila, povećanje udjela u voznom parku, tehnološke inovacije poput autonomne vožnje i poboljšanih baterija te daljnji razvoj infrastrukture za punjenje. Međutim, postoje i izazovi poput nedostatka infrastrukture, ograničenih raspoloživih resursa za proizvodnju baterija i pitanja povezanih s odlaganjem starih baterija.

Globalna zastupljenost električnih vozila raste iz godine u godinu, potaknuta tehnološkim napretkom, regulatornim politikama i rastućom svijesću o potrebi za održivijom mobilnošću. [13] Kroz daljnje ulaganje u infrastrukturu, tehnološke inovacije i političke poticaje, očekuje se da će električna vozila postati sve dominantnija opcija u budućnosti mobilnosti.

Predviđa se da će prihod na tržištu električnih vozila u 2024. godini dosegnuti izvanrednih 623,3 milijarde USD širom svijeta. [19] Prognoze pokazuju stabilnu godišnju stopu rasta (CAGR 2024.-2028.) od 9,82%, što će rezultirati projiciranim obujmom tržišta od 906,7 milijardi USD do 2028. godine. [19] Također se očekuje da će jedinična prodaja na tržištu električnih vozila dostići 17,07 milijuna vozila do 2028. godine. Prilikom ispitivanja tržišta 2024. godine, prosječna ponderirana cijena vozila na tržištu električnih vozila procjenjuje se na 52,9 tisuća USD. [19] S međunarodne perspektive, jasno je da će Kina generirati najveći prihod, s procijenjenih 319.000 milijuna USD u 2024. godini. [19] To pokazuje značajnu prisutnost tržišta električnih vozila na kineskom tržištu. Usvajanje električnih vozila u velikom je porastu diljem svijeta, a zemlje poput Norveške prednjače u smislu tržišnog udjela.

Jedan od glavnih razloga rastuće popularnosti električnih vozila je sve veća briga za okoliš i potreba za smanjenjem emisije ugljika. Kupci postaju sve svjesniji svog ekološkog otiska i odlučuju se za zelenije mogućnosti prijevoza. Električna vozila nude čišću i održiviju alternativu tradicionalnim automobilima na benzin, što ih čini preferiranim izborom za ekološki osviještene potrošače. Dodatno, sve veća cijena goriva i želja za energetsom učinkovitošću također su pridonijeli sve većoj potražnji za električnim vozilima. [19] Tržište električnih vozila svjedoči nekoliko trendova koji pokreću njegov rast. Prvo, postoji sve veći broj vladinih inicijativa i poticaja za promicanje usvajanja električnih vozila. Mnoge zemlje nude subvencije, porezne olakšice i druge poticaje kako bi potaknule potrošače da prijeđu na električne automobile. Ove inicijative nisu samo usmjerene na smanjenje emisije ugljika, već i na jačanje lokalnog gospodarstva podupiranjem razvoja industrije električnih vozila. Još jedan trend na

tržištu je poboljšanje tehnologije baterija. [19] Kako tehnologija baterija napreduje, električna vozila postaju sve pristupačnija, učinkovitija i imaju veći domet vožnje. Time je riješena jedna od glavnih briga potrošača - zabrinutost oko asortimana. S razvojem infrastrukture za brzo punjenje, vrijeme punjenja za električna vozila znatno se smanjilo, što ih čini praktičnijima za svakodnevnu upotrebu.

Na razvoj tržišta električnih vozila utječu i temeljni makroekonomski čimbenici. Na primjer, dostupnost sirovina kao što su litij, kobalt i nikal, koji su neophodni za proizvodnju baterija, može utjecati na rast industrije električnih vozila. Zemlje s obilnim rezervama ovih minerala, poput Australije i Čilea, imaju prednost u proizvodnji električnih vozila. [19] Uz to, vladine politike i propisi koji se odnose na standarde emisija i učinkovitost goriva također igraju značajnu ulogu u razvoju tržišta električnih vozila. Stroži propisi i ciljevi za smanjenje emisija ugljika potiču usvajanje električnih vozila dok proizvođači automobila nastoje ispuniti te zahtjeve. [19]

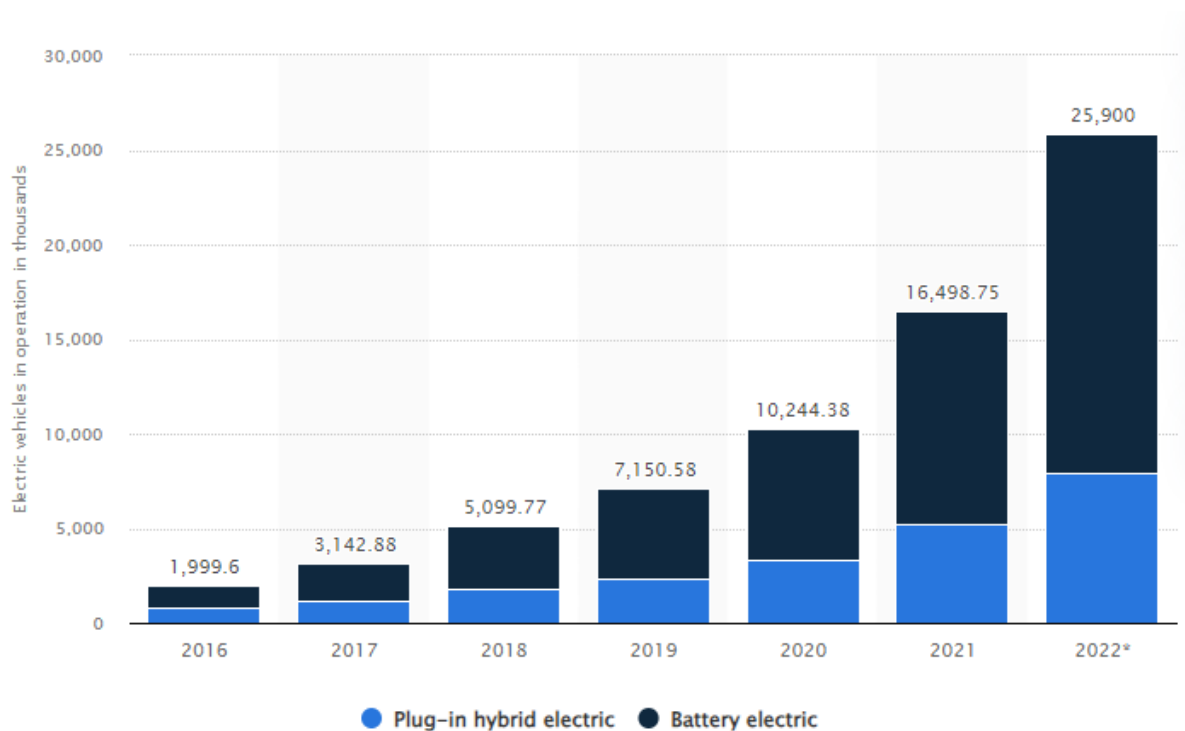
Tržište električnih vozila doživljava značajan rast diljem svijeta zbog preferencija kupaca za zelenijim mogućnostima prijevoza, vladinih inicijativa i poticaja, napretka u tehnologiji baterija i lokalnih posebnih okolnosti. Na razvoj tržišta također utječu temeljni makroekonomski čimbenici kao što su dostupnost sirovina te vladine politike i propisi. Budući da potražnja za električnim vozilima nastavlja rasti, očekuje se da će se tržište dodatno proširiti i razvijati u nadolazećim godinama.

3.2. Zastupljenost električnih vozila u specifičnim sektorima

Uvođenje električnih vozila u različite sektore transporta transformira način na koji se vozila koriste i utječe na različite aspekte društva, uključujući ekonomiju, okoliš i infrastrukturu. Najčešći sektor u kojem se električna vozila sve više koriste su osobni automobili. S rastućom sviješću o klimatskim promjenama i potrebom za smanjenjem emisija stakleničkih plinova, sve veći broj vozača prelazi na električna vozila kao održiviju alternativu vozilima s unutarnjim izgaranjem. [20] Ovo je potaknuto i širim dostupnošću električnih automobila različitih cjenovnih kategorija i modela, kao i poboljšanjem infrastrukture za punjenje.

U sektoru komercijalnih vozila, električna vozila također dobivaju na značaju. Prijevozničke tvrtke, dostavne službe i proizvođači kamiona sve više prelaze na električna vozila kako bi smanjili troškove goriva i emisije. Električni teretni kamioni, autobusi i dostavna

vozila postaju sve popularniji, potaknuti napretkom tehnologije baterija i podrškom vladinih poticaja za održivu logistiku. Javni prijevoz je još jedan sektor gdje električna vozila imaju značajan utjecaj. Gradovi diljem svijeta uvode električne autobuse kako bi smanjili onečišćenje zraka i buku u urbanim područjima. Osim autobusa, sve više gradova ulaže u električne tramvaje, vlakove i trolejbuse kako bi poboljšali kvalitetu života svojih građana i smanjili utjecaj transporta na okoliš.



Grafikon 2. Broj korištenih električnih vozila u svijetu prema vrsti 2016. – 2022. godine

Izvor: [21]

U 2022. godini, globalno je bilo u upotrebi oko 25,9 milijuna električnih vozila. U tom razdoblju, potpuno električna vozila činila su približno 69,5% ukupnog broja električnih vozila koja se pune iz utičnice. Rast tržišta električnih vozila bio je značajan. Prodaja električnih vozila dostigla je otprilike 10,2 milijuna jedinica u 2022. godini. [21] Iako je prodaja konvencionalnih vozila opala zbog pandemije koronavirusa, udio električnih vozila na tržištu povećao se na između četiri i pet posto u 2020. godini, a od tada raste. Kina se istaknula kao tržište s najvećim brojem baterijskih električnih vozila u 2022. godini, čineći oko 11 milijuna vozila od ukupne svjetske flote [21].

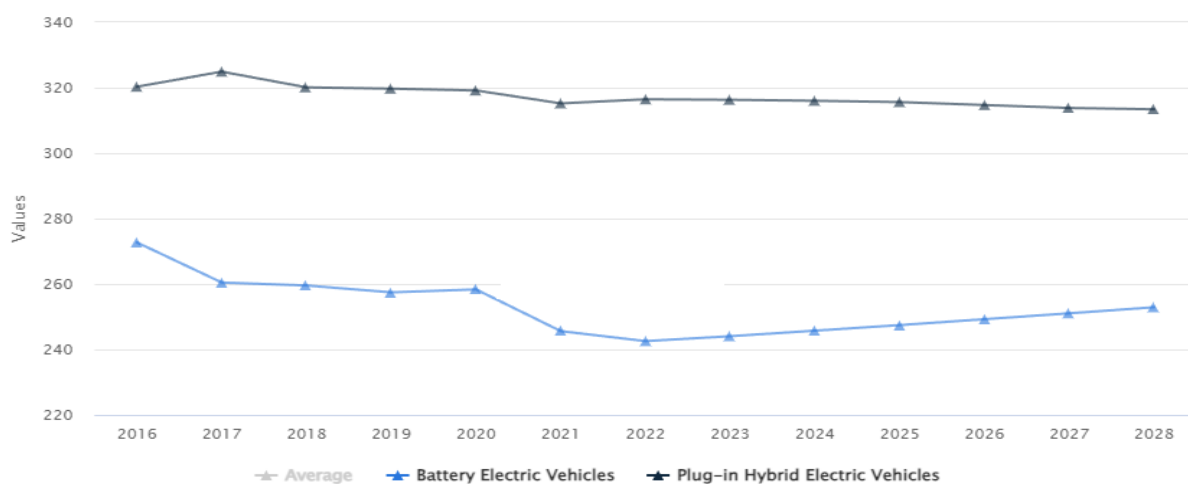
Proizvođači su vodili na kineskom tržištu, pri čemu je domaći proizvođač BYD bio istaknut u 2021. godini. Ova tvrtka dobila je priznanje za svoje inovacije u tehnologiji baterija, a počela je i s proizvodnjom vozila u inozemstvu od 2015. godine. SAIC Motor, državna tvrtka, također je jedan od vodećih domaćih proizvođača vozila. Kao najveće svjetsko tržište osobnih automobila, Kina također privlači međunarodne proizvođače, koji djeluju u partnerstvima s kineskim tvrtkama. Primjerice, Volkswagen i SAIC imaju dugogodišnje partnerstvo, dok GM ima zajedničko ulaganje sa SAIC-om.

Radna vozila, kao što su viljuškari, kamioni za otpad i vozila za održavanje, također su područje gdje električna vozila pronalaze primjenu. Električni viljuškari postaju standard u skladištima i logističkim centrima zbog svoje čistoće i tišine, dok se električni kamioni za otpad koriste u gradskim sredinama radi smanjenja buke i emisija. [22] U nekim specifičnim industrijskim sektorima, poput rudarstva, poljoprivrede i građevinarstva, električna vozila također pronalaze primjenu. Električni kamioni, bageri i ostala vozila koriste se u rudarskim operacijama radi smanjenja emisija plinova i buke. [23] Također se razvijaju električni traktori i ostala poljoprivredna vozila radi povećanja održivosti u poljoprivrednoj industriji.

U svim ovim sektorima, zastupljenost električnih vozila raste, potaknuta napretkom tehnologije, smanjenjem troškova i sve većom svijesti o potrebi za održivim oblicima transporta. Električna vozila igraju ključnu ulogu u transformaciji transportnog sektora prema čišćoj i održivoj budućnosti.

3.3. Utjecaj političkih i ekonomskih inicijativa na zastupljenost električnih vozila

Politike i ekonomske inicijative imaju značajan utjecaj na zastupljenost električnih vozila u društvu. Kako bi se potaknula tranzicija prema održivijem transportu i smanjile emisije stakleničkih plinova, vlade i regulatorna tijela diljem svijeta provode niz mjera i politika koje podržavaju korištenje električnih vozila. [24] Ove inicijative često uključuju financijske poticaje, regulatorne zahtjeve, infrastrukturne investicije i obrazovne programe koji zajedno utječu na širenje i prihvaćanje električnih vozila. Vladini poticaji u obliku subvencija, poreznih olakšica i poticaja za kupnju električnih vozila igraju ključnu ulogu u poticanju rasta tržišta EV-a. Subvencije i poticaji za kupnju često smanjuju početne troškove kupnje električnih vozila, čineći ih privlačnijim potrošačima. Osim toga, vlade mogu ponuditi i poticaje za instalaciju punionica za električna vozila, dodatno potičući njihovu upotrebu.



Grafikon 3. Cijene električnih vozila od 2016. – 2028. (projekcija)

Izvor: [19]

Uvođenje strožih regulatornih zahtjeva za emisije vozila može potaknuti proizvođače automobila da razvijaju više električnih vozila kako bi zadovoljili propise. Zakonske regulative poput emisijskih standarda i ciljeva za smanjenje emisija mogu prisiliti proizvođače da povećaju proizvodnju električnih vozila kako bi smanjili prosječne emisije flote vozila. Vladine investicije u infrastrukturu za punjenje električnih vozila igraju ključnu ulogu u poticanju prihvaćanja električnih vozila. Izgradnja punionica duž cesta, u urbanim područjima, trgovačkim centrima i na drugim javnim lokacijama ključna je za uklanjanje prepreka koje sprječavaju vozače da pređu na električna vozila. [25] Vladine poticajne mjere mogu potaknuti investitore i operatere punionica da prošire svoju mrežu, čineći punjenje električnih vozila bržim, lakšim i pristupačnijim.







Programi edukacije i informiranja o prednostima električnih vozila mogu povećati svijest među potrošačima i potaknuti ih da razmotre prelazak na električna vozila. Vlade mogu provoditi kampanje javne svijesti, organizirati događaje i pružati informacije o prednostima električnih vozila u smislu ekonomičnosti, održivosti i performansi. [24] Sve ove političke i ekonomske inicijative zajedno imaju značajan utjecaj na zastupljenost električnih vozila u voznom parku. Kombinacija financijskih poticaja, regulatornih zahtjeva, investicija u infrastrukturu i edukacije dovodi do povećane dostupnosti, prihvatljivosti i atraktivnosti električnih vozila za potrošače. Kroz ove inicijative, vlade potiču tranziciju prema održivijem transportu i doprinose smanjenju emisija stakleničkih plinova i poboljšanju kvalitete zraka.

4. BATERIJE U ELEKTRIČNIM VOZILIMA I VRSTE PUNJENJA ELEKTRIČNIH BATERIJA

Električna vozila predstavljaju ključnu komponentu tranzicije prema održivijoj mobilnosti. Središnji element njihove tehnologije su baterije koje osiguravaju pogonsku snagu vozila. Razumijevanje baterijske tehnologije i načina punjenja ključno je za razvoj električnih vozila i infrastrukture za njihovo punjenje. U četvrtom poglavlju istražit će se različite vrste baterija koje se koriste u električnim vozilima, uključujući litij-ionske, nikal-metal-hibridne (NiMH) i litij-polimerne baterije. Analizirat će se njihove karakteristike, prednosti i ograničenja kako bi se dobio uvid u njihovu ulogu u električnim vozilima.

4.1. Tehnološki razvoj litij-ionskih baterija

Tehnološki razvoj litij-ionskih baterija predstavlja ključnu komponentu u napretku električnih vozila, ali i u mnogim drugim područjima, uključujući prijenosne uređaje, pohranu energije i električne sustave na velikoj skali. Litij-ionske baterije su postale preferirana opcija zbog svoje visoke energetske gustoće, dugog vijeka trajanja, niske težine i sposobnosti brzog punjenja. [26] Napredak u kemijskim formulacijama i inženjeringu materijala omogućio je povećanje energetske gustoće litij-ionskih baterija. Razvoj novih katodnih i anodnih materijala, kao što su litij-nikal-mangan-kobalt-oksidi (NMC) i grafen [27], omogućio je povećanje kapaciteta baterija i poboljšanje njihove gustoće snage. To rezultira većim dometom električnih vozila i produženim vijekom trajanja baterije.

Motor s unutarnjim izgaranjem	Blagi hibrid	Potpuni hibrid	Plug - in hibrid	Gorive ćelije	Električna vozila
					

Slika 4. Razvoj i primjena litij – ionskih baterija od motora s unutarnjim izgaranjem do električnih vozila

Izvor: obrada autora prema [28]

Inovacije u proizvodnim procesima i materijalima smanjile su troškove proizvodnje litij-ionskih baterija. Poboljšana tehnologija za proizvodnju elektroda, poboljšani procesi premaza i smanjenje upotrebe rijetkih materijala doprinose ekonomičnijoj proizvodnji. Ovo je ključno za masovnu upotrebu litij-ionskih baterija u električnim vozilima i drugim primjenama. Napredak u tehnologiji upravljanja baterijama omogućio je poboljšanje sigurnosnih standarda litij-ionskih baterija. Implementacija složenih sustava upravljanja baterijom, uključujući termalne i elektronske sigurnosne mjere, smanjuje rizik od pregrijavanja, požara i eksplozija. [29] To povećava povjerenje potrošača i promovira širu upotrebu električnih vozila.

Napredak u tehnologiji brzog punjenja omogućio je smanjenje vremena punjenja litij-ionskih baterija. Razvoj brzih punionica i tehnologija poput litij-gel baterija omogućuje brže punjenje baterija, čime se poboljšava praktičnost i prihvatljivost električnih vozila u širem kontekstu. [30] Inovacije u kemijskom sastavu i tehnologiji proizvodnje omogućuju poboljšanje trajnosti litij-ionskih baterija. Smanjenje degradacije baterije tijekom punjenja i pražnjenja, kao i optimizacija ciklusa punjenja, produžuje vijek trajanja baterije i smanjuje potrebu za čestim zamjenama.

Tehnološki razvoj litij-ionskih baterija ključan je za daljnji napredak električnih vozila i šireg prihvatanja održivih energetske rješenja. Kroz nastavak istraživanja i inovacija, očekuje se daljnje poboljšanje performansi, sigurnosti i ekonomske isplativosti litij-ionskih baterija, što će pridonijeti ubrzanom prijelazu prema održivijoj mobilnosti i energetici.

4.2. Različite vrste baterijskih tehnologija

U svijetu električnih vozila, tehnologija baterija igra ključnu ulogu u određivanju performansi, cijene i praktičnosti vozila. Iako su litij-ionske baterije postale dominantna opcija zbog svoje visoke energetske gustoće i dugog životnog vijeka, postoje i druge vrste baterija koje su se koristile ili se još uvijek koriste u električnim vozilima. Različite vrste baterijskih tehnologija imaju svoje prednosti i nedostatke, te se koriste u različitim aplikacijama ovisno o specifičnim zahtjevima performansi, cijene i sigurnosti.

Nikal-kadmij baterije (NiCd) bile su jedna od prvih baterijskih tehnologija koje su se koristile u električnim vozilima. [26] Iako su imale visoku gustoću energije i mogućnost brzog punjenja, NiCd baterije imaju nekoliko nedostataka, uključujući visoki sadržaj štetnih metala poput kadmija, memorijski efekt i ograničen životni vijek. Danas su NiCd baterije rijetko korištene u električnim vozilima zbog tih nedostataka i zbog šireg prihvata litij-ionskih baterija. [27] Nikal-metal-hibrid (NiMH) baterije su se također koristile u električnim vozilima, posebno u hibridnim vozilima prije šireg usvajanja litij-ionskih baterija. NiMH baterije imaju veću gustoću energije od NiCd baterija, što ih čini pogodnijima za dugotrajnije korištenje. [31] Međutim, imaju i neke nedostatke poput memorijskog efekta i manje tolerancije na visoke temperature. Danas se NiMH baterije sve manje koriste u električnim vozilima zbog napretka u litij-ionskoj tehnologiji. Litij-ionske baterije daleko su superiornije od ove dvije baterije u smislu gustoće energije, životnog ciklusa, stope samo pražnjenja, ekološke prihvatljivosti i slično. [32]

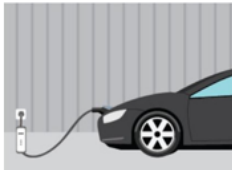
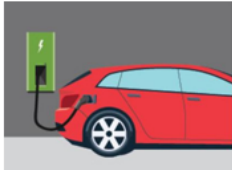

Olovno-kiselinske baterije su starija tehnologija baterija koja se često koristi u početnim fazama električnih vozila. [33] Iako imaju nisku cijenu i dobru toleranciju na širok raspon temperatura, olovno-kiselinske baterije imaju nisku energetske gustoću, teške su i imaju ograničeni životni vijek. Zbog tih nedostataka, olovno-kiselinske baterije rijetko se koriste u modernim električnim vozilima, osim u nekim specifičnim primjenama poput električnih golf vozila. Litij-ionske baterije su postale dominantna tehnologija baterija u električnim vozilima zbog svoje visoke energetske gustoće, niske težine i dugog životnog vijeka. [27] Litij-ionske

baterije nude bolje performanse u smislu domet, trajanja punjenja i trajnosti u usporedbi s drugim vrstama baterija. Danas su litij-ionske baterije standard za većinu električnih vozila, ali se i dalje istražuju inovacije u ovoj tehnologiji kako bi se poboljšale performanse i smanjili troškovi.

Različite vrste baterijskih tehnologija imaju svoje prednosti i nedostatke i koriste se u različitim aplikacijama ovisno o specifičnim zahtjevima. Iako su litij-ionske baterije postale dominantne u električnim vozilima zbog svojih izvanrednih performansi, starije tehnologije poput NiCd, NiMH i olovno-kiselinskih baterija još uvijek imaju svoju ulogu u nekim specifičnim primjenama. [34] Daljnji razvoj tehnologije baterija nastavit će poboljšavati performanse, pouzdanost i održivost električnih vozila u budućnosti.

4.3. Vrste punjenja električnih baterija

Postoje različite vrste punjenja električnih baterija, svaka s vlastitim karakteristikama i primjenama. Kućno punjenje je najčešći način punjenja električnih vozila, gdje se vozilo povezuje s kućnom električnom mrežom putem kućnog punjača ili punjača koji se isporučuje s vozilom. Ovaj proces koristi izmjeničnu struju (AC) i obično traje nekoliko sati za potpuno punjenje baterije, ovisno o kapacitetu baterije i brzini punjenja. [35] Javne punionice su dostupne na javnim lokacijama poput parkirališta, benzinskih postaja, trgovačkih centara i drugih mjesta. One mogu pružiti punjenje putem izmjenične struje (AC) ili izravne struje (DC), ovisno o vrsti punionice i potrebama vozila. Brzina punjenja varira ovisno o vrsti punionice, ali moderni DC punjači omogućuju brzo punjenje baterija u roku od sati ili čak manje.

		Domet	Primjena
Razina 1		4 - 10 km dometa na sat	Stambene kuće ili stanovi Zgrade s više stambenih jedinica Stanovi
Razina 2		20 - 60 km dometa na sat	Stanovi Zgrade s više stambenih jedinica Poslovni prostori Šira javnost
Razina 3 - brzo punjenje istosmjernom strujom		300 - 700+ km dometa na sat	Šira javnost Zgrade s više stambenih jedinica

Slika 5. Vrste i načini punjenja električnih baterija u vozilima

Izvor: obrada autora prema [36]

Brze punionice, poznate i kao DC punionice, omogućuju punjenje baterija električnih vozila visokom snagom izravnim strujom (DC). [37] Ove punionice mogu značajno smanjiti vrijeme punjenja, omogućujući vozačima da u kratkom vremenskom roku napune veći dio kapaciteta baterije. Brze punionice često se nalaze duž autocesta i na stratezijskim lokacijama kako bi omogućile dugi doseg električnih vozila. Induktivno punjenje koristi elektromagnetske valove za prijenos energije između punjača i vozila, eliminirajući potrebu za fizičkim priključkom. Ova tehnologija omogućuje bežično punjenje baterija vozila kada su vozila parkirana iznad induktivnih punjača. Iako je još uvijek manje uobičajeno od drugih vrsta punjenja, induktivno punjenje postaje sve popularnije, posebno za primjenu u urbanim okruženjima. [34]

Pametno punjenje koristi napredne sustave upravljanja kako bi optimiziralo proces punjenja električnih vozila. Ovi sustavi mogu prilagoditi brzinu punjenja i raspodjelu energije kako bi se minimizirali troškovi punjenja, optimizirala učinkovitost mreže ili pružila dodatna korisnička iskustva poput daljinskog upravljanja i praćenja punjenja putem mobilnih aplikacija. [38] Svaka od ovih vrsta punjenja ima svoje prednosti i nedostatke, a njihov izbor ovisi o potrebama i preferencijama korisnika, kao i dostupnosti infrastrukture punjenja na određenom području. Kombinacija različitih vrsta punjenja pruža fleksibilnost i praktičnost u korištenju električnih vozila u svakodnevnom životu.

5. EKSPLOATACIJSKE ZNAČAJKE ELEKTRIČNIH VOZILA

Razvoj i primjena električnih vozila postali su ključni elementi u globalnom naporu za smanjenje emisija stakleničkih plinova i prijelazu na održivije oblike transporta. Eksploatacijske značajke električnih vozila, koje uključuju performanse, autonomiju, troškove održavanja, pouzdanost i korisničko iskustvo, predstavljaju temeljne aspekte koje treba analizirati kako bi se bolje razumjele njihove prednosti i ograničenja u usporedbi s tradicionalnim vozilima s unutarnjim izgaranjem. Troškovi održavanja i ukupni troškovi vlasništva (TCO) također su kritični aspekti eksploatacije električnih vozila. Usporedit će se troškovi održavanja električnih vozila s onima za vozila s unutarnjim izgaranjem, uzimajući u obzir faktore kao što su trajnost komponenti, učestalost servisnih intervala i troškovi energije. Pouzdanost električnih vozila, uključujući učestalost kvarova i dugovječnost ključnih komponenti, bit će detaljno razmotrena kako bi se procijenila njihova praktičnost i održivost za dugotrajnu upotrebu. Korisničko iskustvo vožnje električnih vozila obuhvaća mnoge aspekte, od tihe i glatke vožnje do naprednih funkcija povezivosti i asistencije vozaču. Ove karakteristike značajno utječu na prihvaćanje električnih vozila među potrošačima.

Peto poglavlje istražuje ključne eksploatacijske značajke električnih vozila, s ciljem pružanja sveobuhvatnog uvida u njihov operativni učinak. Analizirat ćemo različite faktore koji utječu na performanse električnih vozila, uključujući tehnologiju baterija, sustave upravljanja energijom, aerodinamiku i težinu vozila. Posebna pažnja posvetit će se autonomiji, koja je jedno od najvažnijih pitanja za korisnike električnih vozila, te načinima optimizacije dometa putem naprednih tehnologija i strategija punjenja.

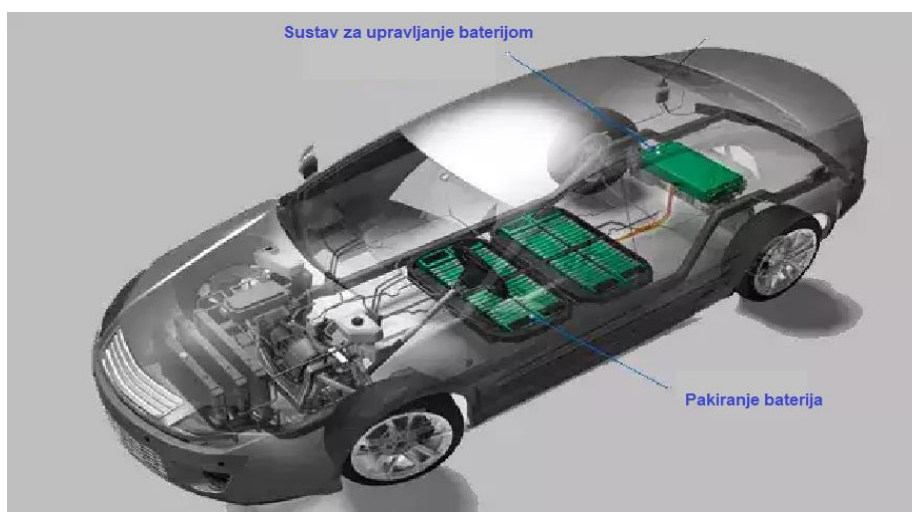
5.1. Autonomija i domet električnih vozila

Autonomija i domet električnih vozila predstavljaju ključne eksploatacijske značajke koje značajno utječu na prihvaćenost i korisničko iskustvo ovih vozila. S obzirom na to da tehnologija baterija kontinuirano napreduje, razumijevanje faktora koji utječu na autonomiju i domet, te strategija za njihovo optimiziranje, postaje sve važnije. Tehnologija baterija je srž električnih vozila i ključni čimbenik koji određuje njihov domet. [34] Litij-ionske baterije su

najčešće korištene u današnjim električnim vozilima zbog svoje visoke energetske gustoće, dugog vijeka trajanja i relativno brze sposobnosti punjenja. Međutim, kapacitet baterije, izražen u kilovat-satima (kWh), izravno utječe na domet vozila. [38] Veći kapacitet baterije omogućava veći domet, ali također povećava težinu i troškove vozila.

Razvoj novih kemijskih sastava baterija, poput litij-željezo-fosfata (LFP) i solid-state baterija, obećava daljnje poboljšanje energetske gustoće i sigurnosti. Solid-state baterije, koje koriste čvrste elektrolite umjesto tekućih, mogu pružiti veću energetska gustoću i sigurnost, smanjujući rizik od požara i eksplozija. [9] Energetska učinkovitost električnog vozila također značajno utječe na njegov domet. Aerodinamički dizajn, masa vozila, te učinkovitost elektromotora i sustava upravljanja energijom igraju ključne uloge. Aerodinamički optimizirana vozila smanjuju otpor zraka, što rezultira manjom potrošnjom energije pri višim brzinama. Upotreba laganih materijala, kao što su aluminij i kompoziti, također doprinosi smanjenju mase vozila i poboljšanju energetske učinkovitosti.

Sustavi za upravljanje baterijama (Battery Management Systems - BMS) optimiziraju rad baterije i produljuju njezin vijek trajanja. BMS nadzire temperaturu, napon i struju svake ćelije u baterijskom paketu, te osigurava optimalne uvjete rada kako bi se smanjila potrošnja energije i produžio domet vozila. [9] Postoje razne strategije koje vozači i proizvođači mogu koristiti za optimizaciju dometa električnih vozila. Vozači mogu usvojiti ekološki prihvatljiv stil vožnje, uključujući lagano ubrzavanje i kočenje, te održavanje konstantne brzine. Korištenje regenerativnog kočenja, koje pretvara kinetičku energiju u električnu energiju tijekom kočenja, također može značajno produžiti domet.



Slika 6. Sustavi za upravljanje baterijama kod električnih vozila

Izvor: [39]

Proizvođači razvijaju napredne navigacijske sustave koji optimiziraju rute prema dostupnim punionicama i prometnim uvjetima, smanjujući nepotrebne zastoje i potrošnju energije. Integracija inteligentnih sustava za upravljanje energijom u vozila omogućava prediktivno upravljanje baterijom i motorom, optimizirajući potrošnju energije u realnom vremenu. [11] Razvoj infrastrukture za punjenje igra ključnu ulogu u podršci autonomiji i dometu električnih vozila. Brze DC punionice omogućuju brzo punjenje baterija, smanjujući vrijeme čekanja i omogućujući duža putovanja. Dostupnost mreže punionica, uključujući kućne punjače, javne punionice i bežične punionice, povećava praktičnost i smanjuje "range anxiety" - strah od ostajanja bez dovoljno napunjenosti.

Iako su električna vozila postigla značajan napredak u autonomiji i dometu, još uvijek postoje izazovi. Kapacitet baterija ograničen je trenutnom tehnologijom, a razvoj novih, učinkovitijih baterija zahtijeva vrijeme i značajna ulaganja. [13] Također, ekstremne vremenske uvjete mogu utjecati na performanse baterija, smanjujući njihov kapacitet i učinkovitost. Budući trendovi uključuju razvoj solid-state baterija, poboljšanje tehnologije brzog punjenja, te integraciju obnovljivih izvora energije u infrastrukturu punjenja. Autonomna vozila i napredne tehnologije povezivosti također će igrati ulogu u optimizaciji potrošnje energije i poboljšanju dometa.

Autonomija i domet su ključne eksploatacijske značajke koje oblikuju prihvaćenost i upotrebu električnih vozila. [40] Kroz kontinuirani tehnološki napredak u baterijama, upravljanju energijom i razvoju infrastrukture za punjenje, električna vozila postaju sve praktičnija i konkurentnija alternativa tradicionalnim vozilima s unutarnjim izgaranjem. Razumijevanje i optimizacija ovih značajki ključni su za budućnost održive mobilnosti.

5.2. Performanse i ubrzanje električnih vozila

Performanse i ubrzanje su ključne eksploatacijske značajke koje značajno utječu na iskustvo vožnje električnih vozila. Električna vozila su poznata po svojoj eksponencijalnoj sposobnosti ubrzanja i voznim karakteristikama koje su rezultat specifičnih tehničkih prednosti elektromotora u usporedbi s motorima s unutarnjim izgaranjem (ICE). Jedna od najznačajnijih prednosti električnih vozila u smislu performansi je trenutni obrtni moment koji pružaju elektromotori. Za razliku od ICE vozila, gdje motor mora dostići određeni broj okretaja prije nego što postigne maksimalni obrtni moment, elektromotori isporučuju maksimalni obrtni moment od trenutka kada se počnu okretati. [41] Ovo omogućava električnim vozilima da

postignu brzo ubrzanje odmah nakon starta, što rezultira glatkom i momentalnom reakcijom na pritisak papučice gasa. Ova karakteristika doprinosi iznimnoj agilnosti i dinamičnosti vožnje, što je posebno cijenjeno u urbanim sredinama i pri pretjecanju na autocestama.

Električna vozila obično imaju baterije smještene nisko u šasiji, što rezultira niskim težištem. Nisko težište poboljšava stabilnost i upravljivost vozila, omogućujući bolje držanje ceste i smanjenje rizika od prevrtanja. [11] Osim toga, težina baterija često je ravnomjerno raspoređena između prednje i stražnje osovine, što dodatno poboljšava ravnotežu vozila. Kombinacija niskog težišta i uravnotežene distribucije težine omogućava električnim vozilima da se ponašaju bolje u zavojima i pri naglim promjenama smjera u usporedbi s mnogim ICE vozilima. Električna vozila često nadmašuju ICE vozila u različitim uvjetima vožnje zbog svojih jedinstvenih performansi. Na primjer, u gradskim uvjetima vožnje, gdje su česta zaustavljanja i kretanja, električna vozila pružaju izuzetnu brzinu reakcije i ubrzanja, čineći vožnju glatkom i ugodnom. [9] Na autocestama, električna vozila mogu održavati stabilnu i visoku brzinu bez potrebe za promjenom stupnja prijenosa, jer većina električnih vozila koristi jedno stupanjski prijenos. Ovo rezultira neprekinutim i tihim voznim iskustvom, bez buke i vibracija koje su uobičajene kod ICE vozila pri visokim brzinama.

Kada se uspoređuju električna vozila s tradicionalnim vozilima s unutarnjim izgaranjem, razlike u performansama i ubrzanju postaju očite. Dok mnogi sportski automobili s ICE motorima mogu pružiti izvanredno ubrzanje, EV-i su sposobni pružiti usporedive, a često i superiorne performanse bez potrebe za kompliciranim mehaničkim sustavima. Na primjer, Tesla Model S Plaid može ubrzati od 0 do 100 km/h za manje od 2 sekunde, što je postignuće koje je do prije nekoliko godina bilo rezervirano samo za najskuplje i najekskluzivnije sportske automobile. Ovakve performanse čine električna vozila atraktivnima ne samo za svakodnevne korisnike, već i za entuzijaste performansi.



Slika 7. Tesla Model S Plaid sa značajnim ubrzanjem

Izvor: [42]

Izvanredne performanse i ubrzanje električnih vozila imaju značajan utjecaj na tržište automobila. Potrošači sve više prepoznaju prednosti EV-a, ne samo u smislu održivosti i ekonomske učinkovitosti, već i u pogledu vozačkog užitka i performansi. [9] Proizvođači automobila također prepoznaju ovaj trend i ulažu u razvoj novih električnih modela koji kombiniraju ekološke prednosti s visokim performansama. Očekuje se da će budući razvoj tehnologije baterija i elektromotora dodatno poboljšati performanse električnih vozila, čineći ih još atraktivnijima za širu publiku.

Performanse i ubrzanje električnih vozila predstavljaju ključne eksploatacijske značajke koje ih izdvajaju od tradicionalnih vozila s unutarnjim izgaranjem. S trenutnim obrtnim momentom, niskim težištem, ravnomjernom distribucijom težine i superiornim voznim karakteristikama, električna vozila pružaju izvanredno vozačko iskustvo koje je privuklo mnoge korisnike. Kako tehnologija napreduje, očekuje se da će performanse električnih vozila nastaviti rasti, dodatno cementirajući njihovu poziciju kao budućnost transporta.

5.3. Troškovi održavanja i operativni troškovi električnih vozila

Električna vozila predstavljaju sve popularniju alternativu tradicionalnim vozilima s unutarnjim izgaranjem (ICE), dijelom zbog svojih prednosti u smislu održavanja i operativnih

troškova. Dok ICE vozila zahtijevaju redovite servise i zamjenu brojnih komponenti zbog složenosti motora s unutarnjim izgaranjem, električna vozila imaju manje pokretnih dijelova, što rezultira nižim troškovima održavanja. Operativni troškovi također su često niži zbog nižih cijena električne energije u usporedbi s fosilnim gorivima

Troškovi održavanja električnih vozila mogu se ubrojiti u sljedeće grupe troškova [9]:

1. Manji broj pokretnih dijelova

Električni motori su jednostavniji od motora s unutarnjim izgaranjem, što rezultira manjim brojem pokretnih dijelova koji se mogu pokvariti. Nema potrebe za uljem, filterima za ulje, remenima, svjećicama i mnogim drugim dijelovima koji su uobičajeni kod ICE vozila. To smanjuje potrebu za redovitim servisima i zamjenama dijelova.

2. Kočioni sustav

Regenerativno kočenje, koje se koristi u električnim vozilima, pretvara kinetičku energiju u električnu energiju prilikom kočenja, čime se smanjuje trošenje tradicionalnih kočionih sustava. Ovo ne samo da produžuje vijek trajanja kočionih pločica i diskova, već također smanjuje potrebu za njihovom čestom zamjenom.

3. Dugotrajnost baterije

Iako zamjena baterije može biti skup postupak, većina modernih litij-ionskih baterija ima dug vijek trajanja, često između 8 i 15 godina, ovisno o korištenju i uvjetima. Mnogi proizvođači nude jamstva na baterije do 8 godina ili 160.000 kilometara, što pokriva većinu potrebe vlasnika za servisom baterija tijekom životnog vijeka vozila.

4. Softverska ažuriranja

Električna vozila često dobivaju softverska ažuriranja koja mogu poboljšati performanse, dodati nove funkcije i popraviti bugove, bez potrebe za fizičkim servisom. To dodatno smanjuje troškove održavanja i povećava dugovječnost vozila.

Operativni troškovi električnih vozila mogu se ubrojiti u sljedeće grupe troškova [9]:

1. Troškovi energije

Jedna od najvećih prednosti električnih vozila su niži troškovi energije. Cijena električne energije je obično niža od cijene benzina ili dizela, što rezultira nižim operativnim troškovima po kilometru. Troškovi punjenja mogu dodatno biti smanjeni korištenjem solarnih panela ili noćnih tarifa za struju.

2. Punjenje kod kuće

Mogućnost punjenja električnog vozila kod kuće pruža dodatnu uštedu u odnosu na posjete benzinskim stanicama. Kućni punjači omogućuju vlasnicima punjenje vozila preko noći, što je često jeftinije i praktičnije.

3. Javne punionice

Iako su javne punionice često skuplje od kućnog punjenja, one nude fleksibilnost za duža putovanja. Razvoj mreže brzih punionica omogućava vlasnicima EV-a brže punjenje, smanjujući vrijeme čekanja i povećavajući praktičnost.

4. Vrednovanje vozila

Električna vozila često imaju bolju dugoročnu vrijednost preprodaje u usporedbi s ICE vozilima. Zbog nižih troškova održavanja i rastuće potražnje za održivim rješenjima, električna vozila zadržavaju svoju vrijednost duže.

5. Poticaji i subvencije

Mnogi programi državnih poticaja i subvencija za kupnju električnih vozila, kao i porezne olakšice, dodatno smanjuju ukupne operativne troškove. Ovi poticaji čine EV-ove pristupačnijima i atraktivnijima za širi krug potrošača.

Troškovi održavanja i operativni troškovi električnih vozila značajno su niži u usporedbi s tradicionalnim vozilima s unutarnjim izgaranjem. S manjim brojem pokretnih dijelova, regenerativnim kočenjem, dugotrajnošću baterija i nižim troškovima energije, EV-ovi nude ekonomičniju i održiviju alternativu. Kroz nastavak tehnološkog napretka i širenje infrastrukture za punjenje, očekuje se daljnje smanjenje ovih troškova, čineći električna vozila sve privlačnijom opcijom za potrošače diljem svijeta.

5.4. Usporedba električnih vozila i vozila s unutarnjim izgaranjem

Usporedba električnih vozila (EV) i vozila s unutarnjim izgaranjem (ICE) temeljna je tema u suvremenim raspravama o budućnosti mobilnosti i održivosti. Oba tipa vozila imaju svoje prednosti i izazove, te ih je važno sagledati s različitih aspekata kako bi se donijele informirane odluke o njihovoj primjeni i razvoju. Električna vozila pokreću se baterijama koje napaja električna energija (Anderson i Anderson, 2010.). Glavna prednost EV-a u ekološkom smislu je smanjenje emisija štetnih plinova tijekom vožnje. Budući da ne koriste unutarnje sagorijevanje goriva, ne proizvode ispušne plinove poput CO₂, NO_x i čestica koje pridonose onečišćenju zraka i klimatskim promjenama. Osim toga, EV-ovi mogu biti napajani iz obnovljivih izvora energije poput solarnih panela ili vjetroturbina, što dodatno smanjuje njihov ekološki otisak.

Vozila s unutarnjim izgaranjem koriste fosilna goriva poput benzina ili dizela za pokretanje motora. Ova vozila emitiraju CO₂ i druge onečišćujuće tvari tijekom izgaranja goriva, što značajno doprinosi globalnom zagrijavanju i zagađenju zraka (Ehsani et al., 2018.). Unatoč napretku u tehnologiji motora s unutarnjim izgaranjem koji smanjuju emisije, oni i dalje ostaju značajan izvor emisija stakleničkih plinova i zagađenja u urbanim sredinama.

Tablica 1. Usporedba električnih vozila i vozila s unutarnjim izgaranjem

Aspekt	Električna vozila	Vozila s unutarnjim izgaranjem
Izvor pogona	Električni motori napajani baterijama	Motori koji koriste benzin ili dizel
Emisije	Nula emisija CO ₂ i ispušnih plinova tijekom vožnje	Emisije CO ₂ i štetnih plinova iz ispušnog sustava
Performanse	Brže ubrzanje i tiša vožnja	Manje brzo ubrzanje, više buke
Infrastruktura punjenja	Potreba za punionicama i punjenjem baterija	Mreža benzinskih pumpi i punjenje goriva
Raspon	Prosječno manji raspon vožnje prije punjenja	Dulji raspon vožnje s jednim punjenjem goriva
Troškovi	Niži troškovi po kilometru za električnu energiju	Viši troškovi za gorivo i održavanje
Ekonomski faktori	Skuplja početna kupovna cijena, ali niži troškovi tijekom životnog vijeka	Jeftinija početna kupovna cijena, ali viši troškovi goriva i održavanja
Ekološki utjecaj	Manji ekološki utjecaj u cjelokupnom životnom ciklusu	Veći ekološki utjecaj zbog emisija tijekom vožnje i rafiniranja goriva

Izvor: izrada autora prema Anderson i Anderson, 2010. i Ehsani et al., 2018.)

Raspon električnih vozila bio je jedno od ključnih ograničenja, ali tehnološki napredak u baterijama omogućio je povećanje autonomije. Moderna električna vozila mogu imati raspon od više stotina kilometara na jednom punjenju, što zadovoljava potrebe većine vozača za dnevnim putovanjima (Anderson i Anderson, 2010.). Također, električni motori nude brzu i glatku ubrzanost te manju buku tijekom vožnje. Vozila s ICE motorima tradicionalno imaju dulji raspon od većine trenutnih električnih vozila, pogotovo kada se uzme u obzir brza ponovna punjenja goriva. Međutim, njihova učinkovitost može varirati ovisno o vrsti goriva, motoru i

težini vozila. Performanse ICE vozila često uključuju visoku snagu i dugotrajnost motora, ali s naglaskom na potrošnju goriva i emisije.

Cijene električnih vozila variraju, ali su obično skuplja u početnoj investiciji zbog visokih troškova baterija. Međutim, troškovi vožnje električnih vozila obično su niži jer je električna energija jeftinija od benzina ili dizela (Ehsani et al., 2018.). Dodatno, manje održavanje elektromotora može dugoročno smanjiti troškove vlasništva. ICE vozila imaju niže početne troškove kupnje, ali dugoročno troškovi goriva, održavanja i popravaka mogu biti viši. Ovisno o cijenama goriva i porezima na CO₂, njihovi operativni troškovi mogu varirati, ali često su viši u usporedbi s električnim vozilima.

Razvoj infrastrukture za punjenje električnih vozila važan je čimbenik za njihovu širu upotrebu. Mreža punionica brzo raste diljem svijeta, omogućujući brže punjenje i veću dostupnost (Ehsani et al., 2018.). Međutim, punjenje i dalje može biti izazov u nekim ruralnim područjima ili za vozače koji putuju na dugim udaljenostima. ICE vozila imaju dobru infrastrukturu punjenja goriva, s benzinskim pumpama i stanicama za punjenje dizela širom svijeta (Anderson i Anderson, 2010.). Pristup gorivima je uglavnom lak i brz, što čini ICE vozila pogodnijima za duža putovanja i hitne situacije.

Usporedba električnih vozila i vozila s unutarnjim izgaranjem pokazuje da oba imaju svoje prednosti i izazove. Električna vozila nude ekološki prihvatljiviju alternativu s manjim operativnim troškovima, dok vozila s ICE motorima trenutno pružaju veći raspon i brže punjenje goriva. Razvoj tehnologije i infrastrukture ključni su za daljnje poboljšanje električnih vozila i promicanje održive mobilnosti u budućnosti.

6. ZAKLJUČAK

Električna vozila simboliziraju jednu od najznačajnijih promjena u automobilskom sektoru u posljednjih nekoliko desetljeća, nudeći održiviji i ekološki prihvatljiviji način transporta. U posljednjem desetljeću, tržište električnih vozila doživjelo je eksponencijalan rast. Broj registriranih EV-a globalno se povećava, uz značajan porast prodaje svake godine. Tehnološke inovacije u razvoju baterija, uključujući povećanje energetske gustoće i smanjenje troškova proizvodnje, ključni su pokretači ovog rasta. Litij-ionske baterije postale su standard zahvaljujući svojoj učinkovitosti i dugovječnosti, dok se istražuju nove tehnologije poput solid-state baterija koje obećavaju još bolja svojstva.

Proizvođači automobila diljem svijeta prepoznali su potencijal električnih vozila, uvodeći raznolike modele koji zadovoljavaju različite segmente tržišta, od luksuznih vozila do pristupačnih gradskih automobila. Kina, kao najveće tržište za EV-e, predvodi u proizvodnji i inovacijama, dok Europa i Sjeverna Amerika također bilježe značajan porast u prihvaćanju električnih vozila. Mreže javnih punionica postaju sve raširenije, uključujući brze DC punionice koje omogućuju brzo punjenje baterija. Kućni punjači i bežične punionice dodatno poboljšavaju praktičnost korištenja EV-a.

Eksploatacijske značajke električnih vozila igraju ključnu ulogu u njihovoj sve većoj popularnosti i prihvaćanju na globalnom tržištu. Ove značajke, koje obuhvaćaju domet, performanse, ubrzanje, troškove održavanja i operativne troškove, značajno utječu na percepciju i izbor potrošača, čineći električna vozila atraktivnom alternativom tradicionalnim vozilima s unutarnjim izgaranjem. Jedna od najvažnijih eksploatacijskih značajki električnih vozila je njihov domet, odnosno sposobnost vozila da prijeđe određenu udaljenost s jednim punjenjem baterije. Razvoj tehnologije baterija, posebno litij-ionskih baterija, značajno je poboljšao domet modernih električnih vozila, omogućujući im da zadovolje svakodnevne potrebe većine vozača. Međutim, i dalje postoji prostor za napredak, posebno u smislu smanjenja vremena punjenja i povećanja energetske gustoće baterija. Budući razvoj baterijskih tehnologija i infrastrukture za punjenje ključan je za daljnje poboljšanje dometa i praktičnosti električnih vozila.

Performanse i ubrzanje električnih vozila ističu se kao jedna od njihovih najatraktivnijih značajki. Električni motori omogućuju trenutno isporučivanje maksimalnog obrtnog momenta, pružajući brzo ubrzanje i agilno upravljanje. Ove karakteristike čine električna vozila idealnim za gradsku vožnju, gdje su česta zaustavljanja i kretanja, ali i za vožnju na autocesti. Visoka

razina performansi, često usporediva ili superiorna u odnosu na konvencionalne sportske automobile, privlači vozače koji traže uzbudljivo i dinamično vozačko iskustvo. Još jedna ključna eksploatacijska značajka električnih vozila je njihova ekonomičnost u smislu održavanja i operativnih troškova.

LITERATURA

1. Anderson, C. D., Anderson, J. (2010). *Electric and Hybrid Cars: A History*. McFarland.
2. Shahan, Z. (2015): *Electric Car Evolution*, dostupno na <https://cleantechnica.com/2015/04/26/electric-car-history/>, pristupljeno 27.06.2024.
3. Kirsch, D. A. (2000). *The Electric Vehicle and the Burden of History*. Rutgers University Press.
4. Mom, G. (2004). *The Electric Vehicle: Technology and Expectations in the Automobile Age*. Johns Hopkins University Press.
5. Schiffer, M. B. (1994). *Taking Charge: The Electric Automobile in America*. Smithsonian Institution Press.
6. Sovacool, B. K., Hirsh, R. F. (2009). Beyond Batteries: An Examination of the Benefits and Barriers to Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEVs) and a Vehicle-to-Grid Transition. *Energy Policy*, 37(3), 1095-1103.
7. Top Gear (2024): GM could have led the electric revolution with the EV1, dostupno na <https://www.topgear.com/car-news/electric/gm-could-have-led-electric-revolution-ev1>, pristupljeno 27.06.2024.
8. Høyer, K. G. (2008). The History of Alternative Fuels in Transportation: The Case of Electric and Hybrid Cars. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1140(1), 12-28.
9. Ehsani, M., Gao, Y., Emadi, A. (2018). *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design*. IEEE Press.
10. Wakefield, E. H. (1998). *History of the Electric Automobile: Battery-Only Powered Cars*. SAE International.
11. Bellis, M. (2019). *The History of Electric Vehicles*. ThoughtCo.
12. Renault Group (2019): *The electric car: How does its lithium-ion battery work?*, dostupno na <https://www.renaultgroup.com/en/news-on-air/news/the-electric-car-how-does-its-lithium-ion-battery-work/>, pristupljeno 27.06.2024.
13. International Energy Agency (IEA). (2021): *Global EV Outlook 2021: Accelerating the transition to electric mobility*. IEA Publications, dostupno na <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>, pristupljeno 28.06.2024.
14. European Environment Agency (EEA). (2020): *Electric vehicles in Europe: Balancing environmental benefits and social challenges*. EEA Report No 29/2020, dostupno na

- <https://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-in-europe>, pristupljeno 28.06.2024.
15. California Air Resources Board (CARB). (2020): Zero-Emission Vehicle Market Trends Report. CARB Report, dostupno na <https://ww2.arb.ca.gov/resources/fact-sheets/snapshot-zero-emission-vehicle-market-trends>, pristupljeno 28.06.2024.
 16. Statista (2024): Global plug-in electric vehicle production in 2022, by leading automotive manufacturer, dostupno na <https://www.statista.com/statistics/271.0.13/worldwide-leading-electric-car-manufacturers-based-on-vehicle-production/>, pristupljeno 29.06.2024.
 17. International Council on Clean Transportation (ICCT). (2019): Global electric vehicle market trends. ICCT White Paper, dostupno na <https://theicct.org/sites/default/files/ICCT-AnnualReport-2019.pdf>, pristupljeno 29.06.2024.
 18. National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2020): Electric Vehicle Market Dynamics and Federal Policy. NREL Technical Report No. TP-5400-76624, dostupno na <https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/66980.pdf>, pristupljeno 29.06.2024.
 19. Statista (2024): Electric Vehicles – Worldwide, dostupno na <https://www.statista.com/outlook/mmo/electric-vehicles/worldwide#unit-sales>, pristupljeno 29.06.2024.
 20. BloombergNEF. (2021): Electric Vehicle Outlook 2021. BloombergNEF Report, dostupno na <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>, pristupljeno 29.06.2024.
 21. Statista (2024): Estimated number of electric vehicles in use worldwide between 2016 and 2022, by type, dostupno na <https://www.statista.com/statistics/1101415/number-of-electric-vehicles-by-type/>, pristupljeno 29.06.2024.
 22. International Transport Forum (ITF). (2019): Electric Vehicles: What Role for Policymakers?. ITF Policy Papers No. 61, dostupno na https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/shifting-the-focus-smaller-electric-vehicles-sustainable-cities_0.pdf, pristupljeno 29.06.2024.
 23. Centre for Solar Energy and Hydrogen Research Baden-Württemberg (ZSW). (2020): Global Electromobility: Status Quo and Development Trends. ZSW Report, dostupno na <https://www.zsw-bw.de/en/research/hydrogen-efuels/topics.html>, pristupljeno 29.06.2024.
 24. The Electric Vehicle World Sales Database. (2021): World Electric Vehicle Sales, dostupno na <https://ev-volumes.com/>, pristupljeno 29.06.2024.

25. United Nations Environment Programme (UNEP). (2021): E-Mobility Trends 2021: A Review of Electric Mobility Status and Opportunities for Improved Policy Support. UNEP Report, dostupno na https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/05/the_role_of_electric_mobility_for_low-carbon_and_sustainable_cities_1.pdf, pristupljeno 29.06.2024.
26. Goodenough, J. B., Park, K. S. (2013): The Li-ion rechargeable battery: a perspective. *Journal of the American Chemical Society*, 135(4), 1167-1176.
27. Zhang, S. S. (2018): A review on electrolyte additives for lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 194-210.
28. Kuckhaus, V. (2022): Deducting E-Mobility Loading Station Locations from City Parking Dana, NestLab, 14 83), str. 45 – 58
29. Scrosati, B., Garche, J. (2010): Lithium batteries: status, prospects and future. *Journal of Power Sources*, 195(9), 2419-2430.
30. Armand, M., Tarascon, J. M. (2008): Building better batteries. *Nature*, 451(7179), 652-657.
31. Wang, Q., Ping, P., Zhao, X., Chu, G., Sun, J. (2012): An overview of the safety issues related to lithium-ion batteries. *Safety science*, 50(5), 1158-1171.
32. Tycorun (2022): Comparative analysis on NiCd vs niMH battery - is there a better choice, dostupno na <https://www.tycorun.com/blogs/news/comparative-analysis-on-nicd-vs-nimh-battery-is-there-a-better-choice>, pristupljeno 01.07.2024.
33. Sripad, S., Ramadass, P., White, R. E., Popov, B. N. (2009): Current-induced dissolution of MnO₂ cathodes in rechargeable alkaline cells. *Journal of Power Sources*, 187(1), 127-133.
34. Gao, Y., Goodenough, J. B. (2016): The effects of electrolyte additives and vinylene carbonate on the solid electrolyte interphase on graphite. *Journal of the Electrochemical Society*, 163(10), A2217-A2221.
35. Jafari, T., Brandt, K., Martin, B. (2017): Wireless charging of electric vehicles: A comprehensive overview of current trends, technologies and challenges. *IEEE Access*, 5, 11815-11828.
36. City of Phoenix (2024): Levels of Charging, dostupno na <https://www.phoenix.gov/sustainability/electricvehicles/charging-basics>, pristupljeno 01.07.2024.
37. Lim, S. G., Zheng, H., Wu, B. (2013): Wireless charging technologies: fundamentals, standards, and network applications. *IEEE Wireless Communications*, 20(2), 62-70.

38. Soltani, S., Hu, X., Hadi, M. A., Liao, Y. (2019): Wireless power transfer technologies for electric vehicle charging: A review of magnetic resonant systems. *Energies*, 12(5), 939.
39. Auto ET (2022): Renesas introduces CDD software to ease the development of BMS for EVs, dostupno na <https://auto.economictimes.indiatimes.com/news/auto-components/renesas-introduces-cdd-software-to-ease-the-development-of-bms-for-evs/91979413>, pristupljeno 02.07.2024.
40. Zhang, L., Li, W., & Jin, L. (2019). Performance Analysis of Electric Vehicles: A Comprehensive Review. *Proceedings of the 2019 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*.
41. Wirasingha, S. G., & Emadi, A. (2011). Classification and Review of Control Strategies for Plug-In Hybrid Electric Vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 60(1), 111-122.
42. Top Gear (2024): Tesla Model S Plaid Track Package review, dostupno na <https://www.topgear.com/car-reviews/tesla/plaid-awd-5dr-auto/first-drive-0>, pristupljeno 02.07.2024.
43. Centar za vozila Hrvatske (CVH): dostupno na <https://n1info.hr/magazin/auto/koliko-je-elektricnih-automobila-u-hrvatskoj-donosimo-i-20-najcescih-modela/> , pristupljeno 28.8.2024.

POPIS SLIKA

Slika 1. Prvo električno vozilo izumitelja Anyosa Jedlika.....	3
Slika 2. Model General Motorsa EV 1.....	6
Slika 3. Litij – ionska baterija električnih vozila postavljena na dno automobila.....	8
Slika 4. Razvoj i primjena litij – ionskih baterija od motora s unutarnjim izgaranjem do električnih vozila.....	19
Slika 5. Vrste i načini punjenja električnih baterija u vozilima.....	22
Slika 6. Sustavi za upravljanje baterijama kod električnih vozila.....	24
Slika 7. Tesla Model S Plaid sa značajnim ubrzanjem.....	27

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Globalna proizvodnja električnih automobila u 2022. godini.....	12
Grafikon 2. Broj korištenih električnih vozila u svijetu prema vrsti 2016. – 2022. godine.....	15
Grafikon 3. Cijene električnih vozila od 2016. – 2028. (projekcija).....	17

POPIS TABLICA

Tablica 1. Usporedba električnih vozila i vozila s unutarnjim izgaranjem.....	32
---	----

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je _____ završni rad _____
rada) *(vrsta*

isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da 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 završnog/diplomskog rada pod naslovom Analiza eksploatacijskih značajki električnih vozila, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student:

(ime i prezime, potpis)

U Zagrebu, _____