

# Električni automobili i okoliš

---

Ćaćić, Mario

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:190750>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-05**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





# Sveučilište Sjever

Diplomski rad br. 112/OMIL/2022

## Električni automobili i okoliš

Mario Čačić, MBS: 0296017894

Koprivnica, rujan 2022. godine





# Sveučilište Sjever

**Održiva mobilnost i logistika**

**Diplomski rad br. 112/OMIL/2022**

## **Električni automobili i okoliš**

### **Student**

Mario Čačić, MBS: 0296017894

### **Mentor**

Izv. prof. dr. sc. Siniša Vilke


Koprivnica, rujan 2022. godine

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za logistiku i održivu mobilnost		
STUDIJ	diplomski sveučilišni studij Održiva mobilnost i logistika		
PRISTUPNIK	Mario Čačić	JMBAG	0296017894
DATUM	12.05.2022.	KOLEGIJ	Promet i okoliš
NASLOV RADA	Električni automobili i okoliš		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Electric cars and environment		
MENTOR	Siniša Vilke	ZVANJE	Izvanredni profesor
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. Doc.dr.sc. Predrag Brlek 2. Prof.dr.sc. Ljudevit Krpan 3. Izv.prof.dr.sc. Siniša Vilke 4. 5.		

## Zadatak diplomskog rada

BROJ	112/OMIL/2022		
OPIS	<p>U ovom diplomskom radu obraditi će se tema električni automobili i okoliš, odnosno detaljnije će se obraditi povijesni razvoj električnih automobila, njihova konstrukcija, klasifikacije, energetska učinkovitost, doseg, prednosti i nedostaci njihove primjene, sustav regenerativnog kočenja, tehnologija i infrastruktura potrebna za njihovo punjenje, njihov učinak i doprinos zaštiti okoliša te statistika njihove primjene u Republici Hrvatskoj. Električni automobili u automobilskoj industriji predstavljaju inovativno rješenje koje je rezultat potrebe za ekonomičnošću i očuvanjem okoliša korištenjem obnovljivih izvora energije. Električni automobili imaju mnoge prednosti u odnosu na klasične, odnosno nemaju emisije stakleničkih plinova, smanjuju ovisnost o fosilnim gorivima, doprinose smanjenju razine buke, imaju veću energetska učinkovitost motora itd. Bez obzira na njihove prednosti javljaju se i određeni nedostaci u njihovoj primjeni, te je za njihov za daljnji razvoj, ali i globalnu primjenu čemu se i teži potrebno riješiti nekoliko značajnih prepreka od koji je najveća ograničen kapacitet baterija i nedostatak infrastruktura e-punionica. Stoga, konstantan napredak na području unaprjeđenja i razvoja baterija te energetske učinkovitosti zasigurno će dovesti električne automobile u fazu svakodnevne uporabe, a samo je pitanje vremena kada će se to ostvariti. U radu se također nalazi SWOT analiza primjene električnih automobila, odnosno definirane su njihove snage i slabosti koje je potrebno maksimizirati te prilike i prijetnje koje je potrebno minimizirati, a sve to kako</p>		
ZADATAK URUČEN	7.6.2022	POTPIS MENTORA	

## Sažetak

U ovom diplomskom radu obraditi će se tema električni automobili i okoliš, odnosno detaljnije će se obraditi povijesni razvoj električnih automobila, njihova konstrukcija, klasifikacije, energetska učinkovitost, doseg, prednosti i nedostaci njihove primjene, sustav regenerativnog kočenja, tehnologija i infrastruktura potrebna za njihovo punjenje, njihov učinak i doprinos zaštiti okoliša te statistika njihove primjene u Republici Hrvatskoj. Električni automobili u automobilskoj industriji predstavljaju inovativno rješenje koje je rezultat potrebe za ekonomičnošću i očuvanjem okoliša korištenjem obnovljivih izvora energije. Električni automobili imaju mnoge prednosti u odnosu na klasične, odnosno nemaju emisije stakleničkih plinova, smanjuju ovisnost o fosilnim gorivima, doprinose smanjenju razine buke, imaju veću energetska učinkovitost motora itd. Bez obzira na njihove prednosti javljaju se i određeni nedostaci u njihovoj primjeni, te je za njihov za daljnji razvoj, ali i globalnu primjenu čemu se i teži potrebno riješiti nekoliko značajnih prepreka od koji je najveća ograničen kapacitet baterija i nedostatna infrastruktura e-punionica. Stoga, konstantan napredak na području unaprjeđenja i razvoja baterija te energetske učinkovitosti zasigurno će dovesti električne automobile u fazu svakodnevne uporabe, a samo je pitanje vremena kada će se to ostvariti. U radu se također nalazi SWOT analiza primjene električnih automobila, odnosno definirane su njihove snage i prilike koje je potrebno maksimizirati te slabosti i prijetnje koje je potrebno minimizirati, a sve to kako bi se vidjelo dali su električni automobili primjenjivi za svakodnevnu uporabu te kakva će njihova primjena biti u budućnosti.

**Ključne riječi:** električni automobil, regenerativno kočenje, e-punionice, zaštita okoliša.

## Summary

This thesis will cover the topic of electric cars and the environment, that is, it will be processed in more detail: historical development of electric cars, their construction, classifications, energy efficiency, range, advantages and disadvantages of their application, regenerative braking system, technology and infrastructure required for their charging, their effect and contribution to environmental protection and statistics of their application in the Republic of Croatia. Electric cars in the automotive industry represent an innovative solution that results from the need for economy and environmental protection through the use of renewable energy sources. Electric cars have many advantages over conventional ones, that is, they have no greenhouse gas emissions, reduce dependence on fossil fuels, contribute to reducing noise levels, have higher energy efficiency of engines, etc. Regardless of their advantages, there are certain shortcomings in their application, and for their further development, but also global application, which is what we strive for, several significant obstacles need to be solved, the largest of which is limited battery capacity and insufficient e-charging infrastructure. Therefore, constant progress in the field of improvement and development of batteries and energy efficiency will certainly bring electric cars into the phase of everyday use, and it is only a matter of time before this is achieved. The paper also presents a SWOT analysis of the use of electric cars, i.e. defines their strengths and opportunities that need to be maximized and weaknesses and threats that need to be minimized, all to see if electric cars are applicable for everyday use and what their application will be in the future.

**Keywords:** electric car, regenerative braking, e-charging stations, environmental protection.

## Sadržaj:

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1. Predmet i problem istraživanja.....	1
1.2. Svrha i cilj istraživanja.....	2
1.3. Radna hipoteza .....	2
1.4. Izvori podataka .....	2
1.5. Metode istraživanja.....	3
1.6. Struktura rada .....	3
<b>2. ELEKTRIČNI AUTOMOBILI</b> .....	<b>5</b>
2.1. Povijest električnih automobila .....	6
2.2. Osnovni sklopovi električnog automobila .....	18
2.2.1. Elektromotor.....	19
2.2.2. Baterija .....	21
2.2.3. Kontroler .....	26
2.2.4. Punjač baterija .....	27
2.2.5. Grijač putničkog prostora.....	27
2.3. Vrste električnih automobila .....	30
2.3.1. 100% električni automobili (EV/BEV).....	30
2.3.2. Hibridni električni automobili (HEV).....	32
2.3.3. Plug-in hibridni električni automobili (PHEV) .....	35
2.3.4. Električni automobili produljenog doseg (E-REV) .....	37
2.3.5. Električni automobili s pogonom na gorive ćelije (FCEV).....	38
2.4. Energetska učinkovitost električnih automobila .....	39
2.5. Doseg električnih automobila na glavnim rutama autocesta.....	40
2.6. Prednosti i nedostaci primjene električnih automobila.....	42
<b>3. SUSTAV REGENERATIVNOG KOČENJA KOD ELEKTRIČNIH I HIBRIDNIH AUTOMOBILA</b> .....	<b>45</b>
3.1. Regenerativni krugovi kočenja.....	46
3.2. Regenerativni kontroleri kočenja.....	46
3.3. Nedostaci sustava regenerativnog kočenja .....	47
3.4. KERS (eng. Kinetic Energy Recovery Systems) .....	48
<b>4. INFRASTRUKTURA I TEHNOLOGIJA PUNJENJA ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA</b> .....	<b>50</b>
4.1. Osnovni podaci o punjenju električnih automobila .....	50



4.2. Načini punjenja.....	51
4.3. Vrste e-punionica.....	52
4.4. Trajanje punjenja .....	54
4.4.1. Prigušivanje .....	54
4.5. Trošak punjenja .....	55
4.6. Punionice za e-vozila u RH i EU.....	56
4.6.1. Naplata usluge punjenja električnih automobila u RH .....	57
4.7. Bežično punjenje električnih automobila.....	59
<b>5. UTJECAJ I DOPRINOS ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA ZAŠTITI OKOLIŠA</b>	
<b>62</b>	
5.1. Onečišćenje zraka u gradovima.....	62
5.2. Utjecaj prometa na zagađenje zraka u gradskim područjima.....	63
5.3. Električni automobili i okoliš.....	65
5.3.1. Doprinos smanjenju emisije stakleničkih plinova .....	66
5.3.2. Doprinos smanjenju buke u gradskim sredinama .....	67
5.3.3. Recikliranje baterija električnih automobila kao eko rješenje .....	68
5.3.4. Električni automobil od održivih materijala.....	71
<b>6. ELEKTRIČNI I HIBRIDNI AUTOMOBILI U REPUBLICI HRVATSKOJ .....</b>	<b>73</b>
6.1. Sufinanciranje nabave energetski učinkovitih vozila u RH .....	73
6.2. Statistika primjene električnih i hibridnih vozila u RH .....	74
6.3. RIMAC automobili.....	77
6.4. DOK-ING.....	79
<b>7. SWOT ANALIZA PRIMJENE ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA.....</b>	<b>80</b>
7.1. Snage.....	81
7.2. Slabosti.....	82
7.3. Prilike .....	84
7.4. Prijetnje .....	86
<b>8. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>89</b>
<b>Popis literature .....</b>	<b>92</b>
<b>Popis slika .....</b>	<b>97</b>
<b>Popis tablica .....</b>	<b>99</b>
<b>Popis grafikona .....</b>	<b>100</b>

# 1. UVOD

Danas električni automobili donose puno tehnoloških inovacija s kojima se baš i ne susrećemo kod automobila koji za pogon koriste fosilna goriva, tj. vozila s benzinskim i dizelskim motorom, a kod kojih ne moramo promišljati i zamarati se koliko ćemo brzo napuniti bateriju, koju ćemo vrstu priključka koristiti za punjenje i kojom ćemo snagom puniti te u konačnici na kojoj lokaciji ćemo napuniti automobil. Na drugu stranu, sve prethodno navedene činjenice su puno lakše rješive u odnosu na zagađenja okoliša i stvaranju emisija stakleničkih plinova kojima konvencionalna vozila bitno pridonose. Upravo iz tog razloga, u sve aktualnijim raspravama po pitanju očuvanja okoliša i rješavanju energetske krize, velika pozornost je usmjerena prema primjeni i razvoju električnih automobila. Uz sve veću uporabu alternativnih izvora električne energije, električni automobili su korak naprijed u smanjenju razine ovisnosti o fosilnim gorivima, odnosno o neobnovljivim izvorima energije. Postoje određene prepreke u globalnom prihvaćanju električnih automobila kao što su kapacitet baterije i njihova cijena, infrastruktura e-punionica itd., no tu je i socijalno-kulturna konzervativnost koja je također jedna od velikih prepreka u njihovom daljnjem razvoju. S druge strane, političko-ekonomske potpore za električne automobile mnogih europskih zemalja jasno pokazuje da razvoj i primjena električnih automobila nije samo aktualan trend, nego je to već potencijalno rješenje za ekološke i energetske izazove čovječanstva.

## 1.1. Predmet i problem istraživanja

Predmet i problem istraživanja je primjena i razvoj električnih automobila te međuodnos između električnih automobila i okoliša, odnosno drugim riječima utjecaj i doprinos električnih automobila zaštiti okoliša. Električni automobili imaju brojne prednosti u odnosu na automobile pokretane fosilnim gorivima kako s aspekta konstrukcijskih značajki tako i s aspekta doprinosa smanjenju emisije stakleničkih plinova. Međutim, s obzirom na brojne prednosti, električni automobili imaju značajnih problema u pogledu baterije te u pogledu ne razvijenosti infrastrukture e-punionica i vrlo visoke nabavne cijene. Naravno, još je mnogo pozitivnih, ali i negativnih činjenica u pogledu primjene i razvoja električnih automobila, a što je najbolje prikazano u sedmom poglavlju rada, odnosno SWOT analizi.

## **1.2. Svrha i cilj istraživanja**

Svrha i cilj ovog istraživanja je upoznati se s povijesnim razvojem električnih automobila, njihovim osnovnim sklopovima kao najvažnijim dijelovima njihove konstrukcije, njihovom klasifikacijom prema pogonu i načinu korištenja pogonskog sustava, njihovom energetske učinkovitošću i dosegom te općenito s prednostima i nedostacima njihove primjene. Također, cilj ovog istraživanja je analizirati sustav regenerativnog kočenja kod električnih i hibridnih automobila, analizirati infrastrukturu i tehnologiju potrebnu za njihovo punjenje, njihov razvoj i primjenu u RH te kao najvažnije, cilj istraživanja je prikazati kakav utjecaj i doprinos električni automobili imaju u pogledu zaštite okoliša.

U sedmom poglavlju diplomskog rada prikazan je SWOT analiza kao okosnica cjelokupnog istraživanja, a čiji je cilj ukazati na snage, slabosti, prilike i prijetnje u pogledu primjene električnih automobila.

## **1.3. Radna hipoteza**

Sukladno prema definiranom predmetu i problemu istraživanja te svrsi i ciljevima istraživanja postavlja se sljedeća radna hipoteza kao vodilja u daljnjem istraživanju:

H: Primjena električnih automobila istovremeno omogućava tehnološki i ekološki napredak za svaku sredinu u kojoj se primjenjuju.

## **1.4. Izvori podataka**

Tijekom izrade ovog diplomskog rada većim dijelom korištena je digitalna i manjim dijelom tiskana literatura. Pri tome je digitalna literatura uglavnom preuzimana s različitih internet stranica, a dok je tiskana podignuta u knjižnicama. Literatura je tijekom izrade diplomskog rada detaljno proučavana i analizirana, a što je bitno pridonijelo jednostavnijem i lakšem izvršenju samoga zadatka, tj. kompletiranju diplomskog rada. Korištena literatura, odnosno popis svih izvora koji su korišteni prilikom izrade ovog rada naveden je u poglavlju "Popis literature".

## **1.5. Metode istraživanja**

U izradi ovog diplomskog rada korištene su različite metode istraživanja kao što su primjerice sljedeće: obrada i integriranje podataka, komparacija, sinteza i analiza te statistička obrada.

## **1.6. Struktura rada**

Diplomski rad sastoji se od sljedećih osam cjelina:

- 1. Uvod**
- 2. Električni automobili**
- 3. Sustav regenerativnog kočenja kod električnih i hibridnih automobila**
- 4. Infrastruktura i tehnologija punjenja električnih automobila**
- 5. Utjecaj i doprinos električnih automobila zaštiti okoliša**
- 6. Električni i hibridni automobili u Republici Hrvatskoj**
- 7. SWOT analiza primjene električnih automobila**
- 8. Zaključak**

U prvom dijelu rada, uvodu, ukratko je obrazložena tematika rada, te su navedeni predmet i problem istraživanja, izvori podataka, metode istraživanja te sama struktura rada po glavnim poglavljima.

U drugom poglavlju, električni automobili, opisuje se povijesni razvoj električnih automobila, njihovi osnovni sklopovi od kojih se sastoje, opisuju se vrste električnih automobila, njihova energetska učinkovitost, uspoređuju se dosezi pojedinih modela na glavnim rutama autocesta te se na kraju poglavlja daje pregled prednosti i nedostataka primjene električnih automobila.

U trećem poglavlju objašnjen je sustav regenerativnog kočenja kod električnih i hibridnih automobila, odnosno pojašnjeni su regenerativni krugovi i kontroleri kočenja, nedostaci regenerativnog kočenja i sustav KERS (eng. Kinetic Energy Recovery Systems).

U četvrtom poglavlju analizira se infrastruktura i tehnologija punjenja električnih automobila, odnosno objašnjeni su osnovni podaci o punjenju električnih automobila, navedeni su načini punjenja, vrste punionica, opisano je trajanje punjenja, trošak punjenja, bežično punjenje te je prikazan udio e-punionica u RH i EU.

U petom poglavlju prikazuje se i objašnjava utjecaj i doprinos električnih automobila zaštiti okoliša, gdje se prvo objašnjava onečišćenje zraka u gradovima te utjecaj prometa na zagađenje zraka u gradskim područjima, a potom se objašnjava međudnos električnih automobila i okoliša, odnosno njihov doprinos smanjenju emisija stakleničkih plinova, doprinos smanjenju razine buke te se prikazuje mogućnost recikliranja baterija kao eko rješenja i mogućnost izgradnje električnih automobila od održivih materijala.

U šestom poglavlju, u pogledu primjene električnih i hibridnih automobila u Republici Hrvatskoj, prikazana je mogućnost sufinanciranja nabave energetski učinkovitih vozila i prikazani su statistički podaci o obujmu primjene električnih i hibridnih automobila na hrvatskim cestama općenito i po županijama. Također, prikazani su i električni automobili koji su proizvedeni u Hrvatskoj, a to su automobili tvrtki RIMAC i DOK-ING.

U sedmom poglavlju prikazana je SWOT analiza primjene električnih automobila, odnosno njihove snage i slabosti te prilike i prijetnje.

Završno poglavlje u ovom diplomskom radu je zaključak, gdje je izneseno vlastito mišljenje o obrađenoj, tj. istraženoj temi.

## 2. ELEKTRIČNI AUTOMOBILI

Električni automobil je automobil koji se pokreće elektromotorom, koristeći električnu energiju pohranjenu u akumulatoru, ili drugim uređajima za pohranu energije. Električni automobili su bili popularni krajem 19. i početkom 20. stoljeća, dok su unapređenja motora s unutarnjim izgaranjem i masovna proizvodnja jeftinijeg vozila na benzin doveli do smanjenja korištenja vozila na električni pogon. Energetske krize 1970-ih i 80-ih dovele su do kratkotrajnog zanimanja za električne automobile, te se sredinom 2000. obnovio interes u proizvodnji električnih automobila, uglavnom zbog zabrinutosti oko ubrzanog povećanja cijene nafte i potrebe za smanjenjem emisije stakleničkih plinova. [1]

Rast cijena nafte i globalno zagrijavanje utjecali su na to da se veliki proizvođači okrenu ekološki prihvatljivijim rješenjima, te su gotovo svi veliki proizvođači automobila već proizveli vlastite električne ili barem hibridne automobile. Prema navedenom, vidi se da će električni automobili igrati vodeću ulogu u bliskoj budućnosti. Planet Zemlja pogođena je klimatskim promjenama i negativnim posljedicama korištenja fosilnih goriva pa su električna vozila jedan segment održivog razvoja koji se počinje primjenjivati kako bi se očuvao okoliš i zdravlje ljudi. Zahvaljujući tome, električni automobili imaju potencijal da promijene svijet i to nabolje. [2]

U pogledu odnosa između električnih automobila i automobila pokretanih motorom s unutarnjim izgaranjem, može se smatrati da automobili pokretani motorima s unutarnjim izgaranjem imaju neograničeni domet jer se mogu napuniti gorivom vrlo brzo i gotovo svugdje. Električni automobili u startu imaju autonomiju kretanja manju od automobila koje pokreću fosilna goriva zbog ograničenja koja im nameću baterije. Zbog dužine trajanja punjenja i nedostatka infrastrukture za punjenje na javnim mjestima, mnogi su proizvođači etiketirali električni automobil kao “automobil za grad” pogodan za dnevne gradske relacije. Uz navedene nedostatke električni automobili imaju nekoliko prednosti u odnosu na automobile pokretane konvencionalnim motorima s unutarnjim izgaranjem. Ne emitiraju CO<sub>2</sub> i ostale štetne čestice jer nemaju ispuh te ne ovise o nafti kao pogonskom gorivu čija cijena svakim danom sve više raste. Udobnost vožnje je mnogo veća zbog njihovog linearnog ubrzanja i tihog rada elektromotora te je lakoća upravljanja zbog izostavljene mjenjačke kutije mnogo veća. Najveća prepreka masovnom korištenju električnih automobila je njihova cijena. Trenutno su znatno skuplji od automobila s konvencionalnim motorima zbog visoke cijene njihovih litij-ionskih baterija. Očekuje se da će cijena baterija

padati uslijed njihove masovne proizvodnje. Proizvođači su počeli proizvoditi baterije koje traju duže i mogu se lakše reciklirati ili ponovno preraditi za novu upotrebu, prodati i iskoristiti u nekoj drugoj industriji. [3] Konstantan napredak na području razvoja baterija i energetske učinkovitosti sigurno dovode električne automobile u svakodnevnu primjenu, a samo je pitanje vremena kada će električni automobili u potpunosti biti konkurentni klasičnim automobilima. [4] Uz cijenu, značajan ograničavajući čimbenik za popularizaciju električnih automobila je strah kupaca da bi im ograničeni doseg vozila mogao biti nedostatan za svakodnevne potrebe (range anxiety). Međutim, masovno uvođenje električnih automobila zahtijevat će transportni sustav sposoban za integriranje i poticanje ove nove tehnologije. [5]

## **2.1. Povijest električnih automobila**

Dostupnost punjivih baterija i jednostavna konstrukcija elektromotora dovode do relativno rane pojave električnih vozila. Do 1830. godine sav transport se odvijao isključivo na parni pogon. Nakon 1830. godine niz otkrića, patenata i tehničkih usavršavanja dovodi do funkcionalnih električnih vozila. [5]

Prvi elektromotor s osnovnim dijelovima rotorom, statorom i komutatorom konstruiran je 1828. godine. Daljnjim usavršavanjem elektromotora dolazi i do prvih komercijalnih primjena elektromotora u industriji pa tako nastaju i prvi električni automobili. Konstrukcija prvog pravog električnog automobila može se pripisati Robertu Andersonu između 1832. – 1839. godine, dvadeset godina prije konstrukcije prvog motora s unutarnjim izgaranjem (Jean Joseph Étienne Lenoir, dvotaktni motor, 1860.; Nicolaus August Otto, četverotaktni motor, 1867.), odnosno prvog automobila na benzinski pogon i tri točka (Karl Friedrich Benz, 1885. - 1886.). [4] Malo se zna o životu Roberta Andersona, no njegovo ime postalo je poznato tijekom 19. stoljeća kada je lansirao prvi ikada prototip kočije na električni pogon koristeći ne punjivu bateriju (također poznatu kao primarne ćelije), no ono što je sigurno jest da je uvelike pridonio razvoju električnih vozila. Vozilo je konstruirao na način da je pričvrstio bateriju i motor na kočiju, čime je eliminiran konj kao primarni zahtjev za ovo stoljetno prijevozno sredstvo. U praktičnom smislu, ono što je stvarno izumio je kočija bez konja. Njegova je ideja bila revolucionarna, nadahnjujući izumitelje koji su došli nakon njega. [6]



Slika 1. Električna kočija, Robert Anderson

Izvor: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/vuka%3A343/datastream/PDF/view>, [22.02.2022.]

U narednim desetljećima dolazi do velikog napretka u razvoju električnog automobila i njihove komercijalne primjene. Godine 1834. Thomas Davenport konstruirao prvi istosmjerni elektromotor u SAD-u, potom je 1838. William H. Taylor (SAD) zaslužan za daljnji razvoj elektromotora. U razdoblju 1837. - 1842. u SAD-u su Thomas i Emily Davenport razvili napredniju konstrukciju Faradayevog istosmjernog elektromotora tako da se mogao koristiti u komercijalne svrhe (napajanje iz jednokratnih baterija) s primjenom u tiskarstvu i pogonu strojnih alata. Pri tome su bili veliki troškovi baterijskih izvora napajanja pa je potražnja za ovom vrstom motora premala (zanemariva šira komercijalna uporaba). Godine 1842. Thomas Davenport i Robert Davidson (Škotska) neovisno konstruiraju bolji električni automobil (cinkove baterije koje se nisu mogle puniti nego su se mijenjale što je bilo vrlo skupo). [4] Izumom poboljšane baterijske tehnologije u Francuskoj 1881., uz napore Gastona Plantea i njegovog zemljaka Camillea Faurea, napokon je otvoren put za električne automobile i njihovo širenje u Europi. [3] U periodu 1859. - 1865. Gaston Plante istražuje i razvija punjive baterije, preteča današnjih akumulatora (olovo u kiselini), a potom 1881. godine Camille Alphonse Faure konstruirao bolje olovne baterije većeg električnog kapaciteta što je preduvjet za daljnji razvoj električnih automobila. Frank Julian Sprague 1886. konstruirao je prvi praktični istosmjerni motor koji je bio sposoban održati konstantnu brzinu pri promjenljivom teretu. [4]



William Morrison je 1891. godine napravio prvi uspješan električni automobil u Sjedinjenim Državama. Stvari su se počele razvijati kada je William potpisao ugovor s tvrtkom American Battery Company za proizvodnju svog izuma i njegovu promociju. Morrison Electric vozila su uglavnom bila loša prema današnjim standardima, odnosno baterijama je trebalo 10 sati da se napune, a najveća brzina vozila bila je između 6 i 22 milja na sat (cca 9 i 36 km/h). [7]

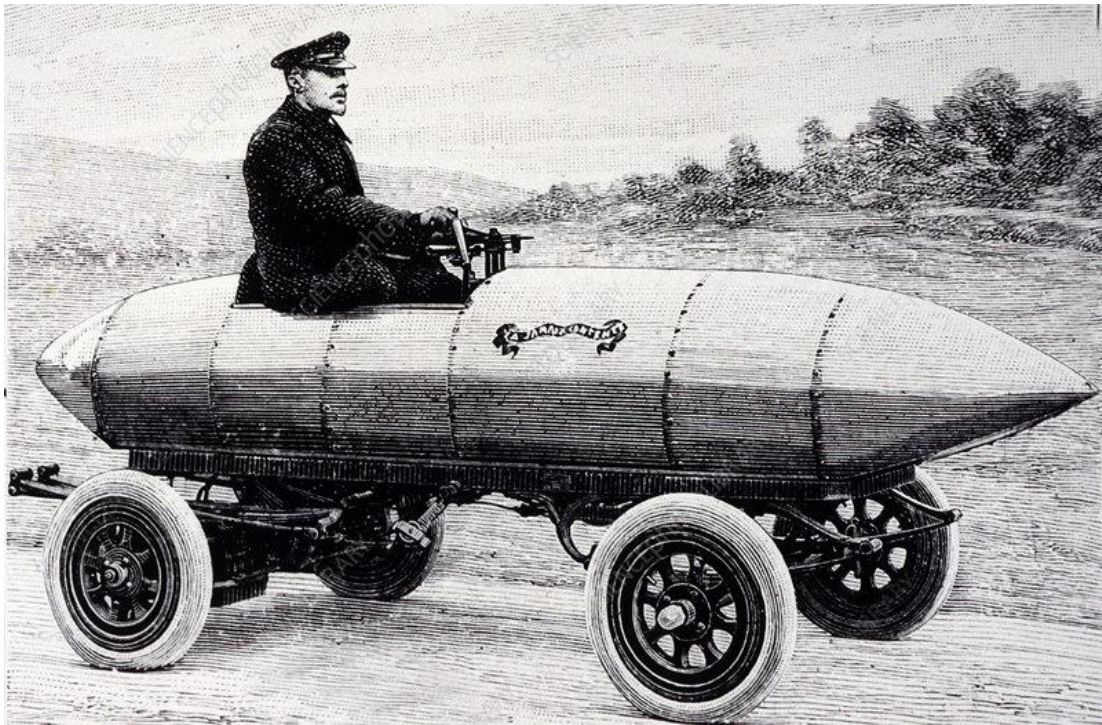


Slika 2. William Morrison u svom EV-u

Izvor: <https://www.mall-11.xyz/products.aspx?cname=william+morrison+first+electric+car&cid=4>,

[23.02.2022.]

Prije usavršavanja motora s unutarnjim izgaranjem, električni automobili su držali mnoge rekorde u brzini i dometu. Među najznačajnijim je postizanje brzinskog rekorda od 100 km/h, 29. travnja 1899. godine. [3] Taj rekord postignut je električnim automobilom „La Jamais Contente“ (Nikad zadovoljan), a koje je ujedno bilo i prvo cestovno vozilo kojim je postignuta brzina veća od 100 km/h. Rekord je postigao Belgijanac Camille Jenatzy koji je ovim automobilom postigao brzinu od 105,88 km/h i rekord je držao pune tri godine. [8]



Slika 3. Električni automobil "La Jamais Contente" kojim je postignut brzinski rekord 29. travnja 1899. godine

Izvor: <https://www.sciencephoto.com/media/363057/view/camille-jenatzy-s-electric-car-1900> , [23.02.2022.]

Kasno 19. stoljeće smatra se zlatnim dobom za električne automobile, u Londonu Walter C. Bersey proizvodi električne automobile za potrebe taksi prijevoza, dok s druge strane „Electric Carriage and Wagon Company of Philadelphia“ uvodi električne taksije u New York City-u. [4]

London Electrical Cab Company je od 19. kolovoza 1897. vodila uslugu 12 Bersey taksija s električnim pogonom u središnjem Londonu. Postali su prvi samohodni taksiji na svijetu, s maksimalnom brzinom od 9-12 milja na sat (cca 14-20 km/h). [9] Vozilo je bilo opremljeno s 40-ćelijskom olovnom baterijom i električnim motorom od 3 konjske snage i s dometom od 50 milja (cca 80 km). [10] Električna kabina, odnosno kabina taxia bila je ideja mladog dizajnera i izumitelja Waltera Charlesa Berseya koji je tada imao samo 23 godine. Taksi su brzo postali poznati kao "kolibri" zbog buke koju su stvarali njihovi motori i bili su prepoznatljive crno-žute boje. Kabina je mogla primiti dva putnika i bila je opremljena električnom rasvjetom iznutra i izvana. Taksi su naplaćivali iste cijene kao oni koji su koristili konjske zaprege i u početku su bili prilično popularni, a flota je dostigla vrhunac od oko 75 taksija. [9]



Slika 4. London Electrical Cab, Taxi Waltera C. Berseya

Izvor: <https://aboutse11.com/1897-electric-taxis-first-appear-in-kennington/>, [23.02.2022.]

Od prilike prije 128 godina inženjer Henry G. Morris i kemičar Pedro G. Salom predstavili su električni automobil Electrobat. Oni su prije toga konstruirali električne tramvaje pa su svoje znanje transferirali na proizvodnju automobila. Nisu bili zadovoljni prvom verzijom automobila pa su radili na poboljšanjima. Motor je imao 1.5 KS, domet vozila bio je oko 40 km, a maksimalna brzina 32 km/h. Electrobat je brzo postao vozilo u taksiji službi u New Yorku, Bostonu i drugim američkim gradovima, a slavu je stekao u zimskim mjesecima 1897., 1898. i 1899. godine koji su bili toliko hladni da taksiji s konjskom zapregom nisu mogli redovno prometovati. Inače, 1900. godine električni taksiji su bili u prometu u Berlinu, New Yorku, Philadelphiji, St. Luisu, Detroitu, Bostonu, Mexico Cityju i Londonu. Također, vrlo važna informacija je da su električni automobili 1900. godine činili čak trećinu svih kupljenih automobila, a njihova komercijalna primjena krenula je i još ranije. [11]



**Morris and Salom Electrobats are seen in front of the Old Metropolitan Opera House on 39th Street in the Manhattan borough of New York, 1898. The electrobats were battery-powered cars that served as early taxis in the city.**

Slika 5. Električni automobil Electrobat

Izvor: <https://www.kcstudio.com/electrobat.html>, [23.02.2022.]

Na Slici 5. vide se električna vozila Electrobat koja su konstruirali Henry G. Morris i Pedro G. Salom, a ista se nalaze ispred Old Metropolitan Opera House u 39. ulici u četvrti Manhattan u New Yorku 1898. godine.

Malo je poznato da je prvi automobil koji je konstruirao Ferdinand Porsche bio pogonjen elektromotorom, a godine 1899. Lohner-Porsche konstruirao i prvi hibridni automobil. [4] Ferdinand Porsche, kasnije osnivač istoimene tvrtke, bio je očaran strujom još kao tinejdžer. Već 1893. godine 18-godišnjak je u roditeljskoj kući postavio sustav električne rasvjete. Iste godine Porsche se pridružio tvrtki Vereinigte Elektrizitäts-AG Béla Egger u Beču. Nakon četiri godine rada napredovao je od mehaničara do voditelja odjela za ispitivanje. Prva vozila koja je dizajnirao također su imala električne pogone, tako da povijest Porschea počinje s električnim pogonom. Godine 1898. Ferdinand Porsche

dizajnirao je Egger-Lohner C.2 Phaeton (skraćeno P1). Vozilo je pokretao osmerokutni elektromotor, a s tri do pet KS dostizao je najveću brzinu od 25 km/h. [12]



Slika 6. Egger-Lohner C.2 Phaeton (P1) u Porsche muzeju u Stuttgart-Zuffenhausen u Njemačkoj (plastična rezervirana mjesta prikazuju izvorni dizajn)

Izvor: <https://www.flickr.com/photos/93207294@N04/26843317351>, [26.02.2022.]

Ferdinand Porsche dizajnirao je "osmerokutni električni motor" koji je pokretan električnim baterijama i postavljen je usred amortizera u stražnjem dijelu vozila. Koristeći kompliciranu seriju stupnjeva prijenosa, automobil se vozio pomoću kontrolera s 12 brzina, koji je imao šest stupnjeva prijenosa za naprijed, dva unatrag i četiri stupnja prijenosa s kojima je automobil kočio. P1 je izašao na ulice Beča, Austrija, 26. lipnja 1898. godine. P1 je mogao postići brzinu do 34 km/h i putovati do 49 milja (cca 80 km) s jednim punjenjem. [13]

Kompaktan elektro-motor snage tri konja težio je, za tadašnje prilike samo 130 kilograma. Prilikom značajnijeg opterećenja, što bi se danas reklo "u crvenom", motor je u kratkim intervalima isporučivao snagu od 5 konja. Jedna od inovacija bila je i mogućnost korištenja vozila u svim vremenskim uvjetima što je omogućavala montažna kabina. [15]

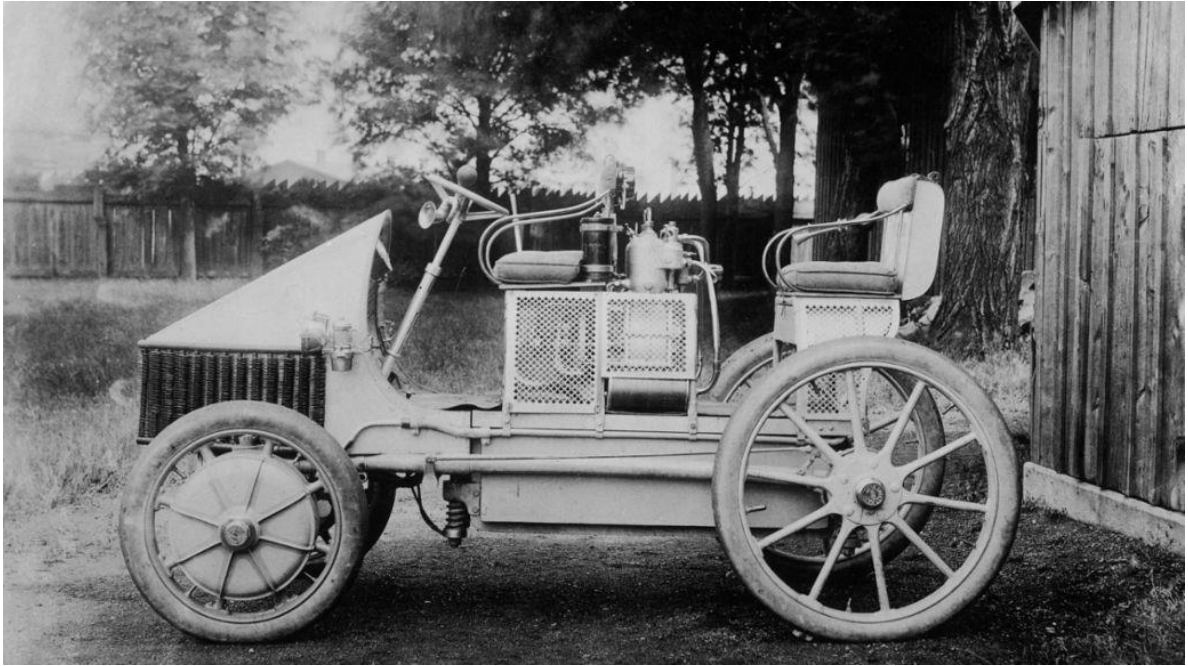
Vozilo je prvi puta ozbiljno iskušano u rujnu 1899. godine na međunarodnoj izložbi motornih vozila u Berlinu u sklopu koje je održana utrka električnih automobila. Zahtjevna ruta od 40 kilometara morala se proći pod punim opterećenjem (vozač i tri putnika). Ferdinand Porsche svojim P1 na cilj je stigao 18 minuta prije drugog vozila na utrci, a više od polovice sudionika nije zbog tehničkih poteškoća uspjelo doći do cilja. Također, P1 se je pokazao kao najučinkovitije električno vozilo budući je potrošio najmanje energije. [15]



Slika 7. Osmerokutni električni motor koji je dizajnirao Ferdinand Porsche

Izvor: <https://www.bbc.com/news/business-25934289>, [22.02.2022.]

Također 1900. Porsche je dizajnirao prvi funkcionalni hibridni automobil na svijetu, "Semper Vivus" (latinski za "uvijek živ"). Tehnologija, reklamirana kao Lohner-Porsche sustav, imala je primjenu izvan sfere električnih vozila. Porsche je proširio domet automobila tako što nije koristio bateriju kao izvor energije, već je umjesto toga koristio motor s unutarnjim izgaranjem za pogon generatora i na taj način opskrbio glavčinu kotača električnom energijom. [12] Naručitelj tog modela tražio je da automobil ima benzinski motor i pogon na sva četiri kotača te se na taj način dobio i prvi hibridni automobil s pogonom na sve kotače. Automobil je bio opremljen s 44 olovne ćelije od 80 V, a svaki elektromotor razvijao je snagu od 2,5 KS do 3,5 KS s mogućnošću kratkog povećanja snage do 7 KS. Zbog velike mase izvedbe s pogonom na sva četiri kotača, kasnije je naručena i izvedba sa samo prednjim pogonom. Koristio se i u utrkama, a mogao je razviti najveću brzinu od 60 km/h. [19]



Slika 8. Lohner-Porsche Semper Vivus, Porsche AG

Izvor: <https://newsroom.porsche.com/en/products/taycan/history-18563.html>, [22.02.2022.]

Zbog tehničkih ograničenja najveća brzina tih najranijih električnih automobila je iznosila oko 32 km/h. Početkom 1900. godine, unatoč njihovoj relativno maloj brzini, električni automobili su imali niz prednosti pred svojim konkurentima. Bili su izuzeti od neugodnih mirisa, vibracija i buke povezanih s benzinskim automobilima. Mijenjanje brzina u automobilima na benzinski pogon bio je najteži dio vožnje, a električni automobili nisu zahtijevali mijenjanje brzina. Električni automobili su također bili u prednosti jer nisu zahtijevali ručno pokretanje motora. Kod benzinskih automobila sprijeda se nalazila ručica čijim se okretanjem pokretao motor, a za što je bila potrebna fizička snaga i spretnost, stoga su se električni automobili često prodavali kao prikladna vozila za žene vozače zbog jednostavnijeg korištenja. [3]

Na prijelazu stoljeća, odnosno između 19. i 20. stoljeća, 40% automobila u SAD-u bilo je pokretano parom, 38% električnom energijom, a 22% benzinom. Većina ranih električnih automobila bila je masivna i ekstravagantno dizajnirana s raskošnim interijerom izrađenim od skupih materijala. Ti automobili proizvodili su se za gornji stalež vrlo bogatih kupaca koje je takav automobil vidljivo izdvajao od okoline. Oni su ih koristili isključivo u gradskom prometu pa im je njihova ograničena autonomija bila nebitna stavka. Osnovni modeli električnih automobila koštali su oko 1 000 \$ (oko 28 000 \$ danas), a prosječno su koštali oko 3 000 \$ (oko 84 000 \$ danas). [3]

Za vrijeme 1. svjetskog rata nastala je velika potražnja za električnim vozilima u Velikoj Britaniji i Europi. Procijenjeno je da je 1914. godine cijela Europa imala oko 3 200 električnih vozila (automobila, autobusa...). Sigurnost električnog vozila, njegov jednostavan dizajn i jednostavan način upravljanja činila su ga vozilom koje su bili sposobni voziti čak i vrlo neiskusni novi vozači. Norveška i Švedska imale su na tržištu veliku flotu komercijalnih električnih vozila i veliki energetska hidropotencijal te su bili vrlo obećavajuće tržište nakon rata. Italija je također generirala električnu energiju pomoću hidroenergije, čineći isto tako izgledno tržište za električne automobile. Australija, Japan, Meksiko i Francuska izvozile su električna vozila u velikom broju te im je budućnost izgledala blistava jer je potražnja bila visoka. [3]

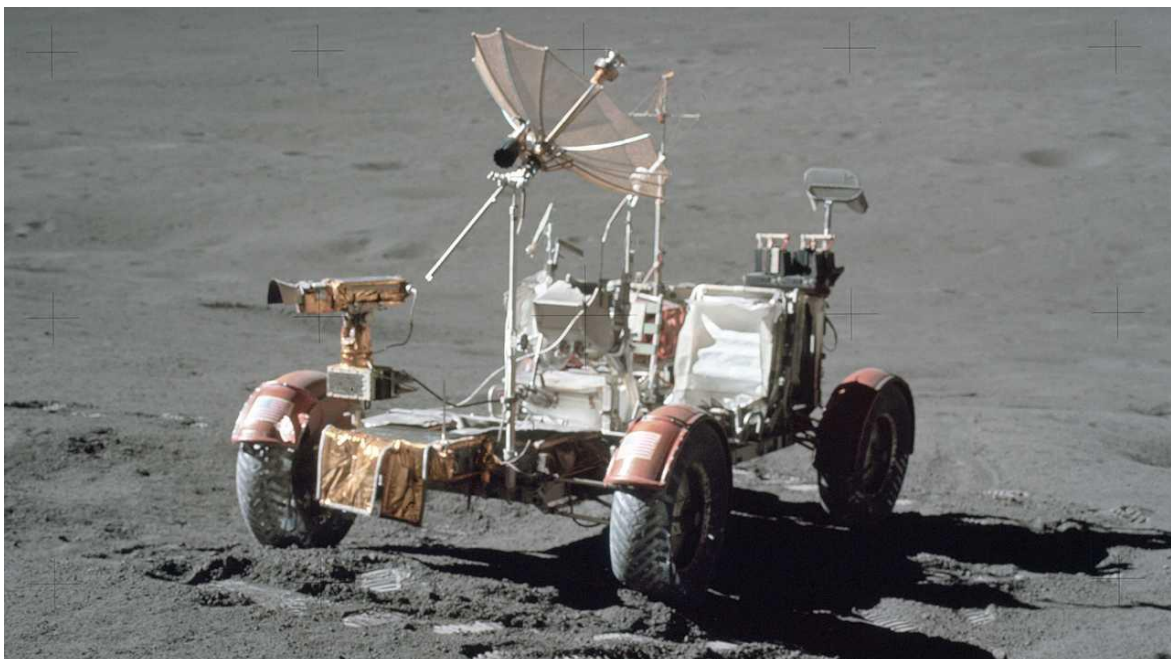
U odnosu na vozila pogonjena benzinskim i dizelskim motorima, električni automobili imali su puno prednosti. Usprkos tome između 1920. i 1970. godine prestaje njihov razvoj i korištenje. [8] Do toga je došlo zbog niza razloga. Nakon 1. svjetskog rata u Americi se gradi razgranata cestovna infrastruktura između američkih gradova. Za korištenje tih cesta bilo je potrebno vozilo s većom autonomijom kretanja od one koju su nudili električni automobili. Otkriće velikih rezervi nafte u Teksasu, Oklahomi i Kaliforniji dovelo je do široke dostupnosti i pristupačne cijene naftnih derivata, [3] a iz čega proizlazi da su naftni derivati postali najisplativiji izvor energije, a s druge strane automobili s motorom s unutarnjim izgaranjem, zahvaljujući serijskoj proizvodnji, nameću se kao jeftinije i pouzdanije prijevozno sredstvo. [4] Električni automobili bili su ograničeni na korištenje u urbanim sredinama zbog njihove male brzine (24 - 32 km/h) i male autonomije kretanja (50 - 65 km) (3). Razvoj tehnologije EV bio je također ograničen i razvojem akumulatorskih baterija kao najslabijom komponentom. [4] Benzinski automobili su tada bili u mogućnosti putovati dalje i brže nego istovrsni električni. Godine 1912. benzinski automobili postali su lakše upravljivi zahvaljujući izumu Charlesa Ketteringa i njegovog elektropokretača, što je eliminiralo potrebu za ručicom za pokretanje benzinskog motora. Buka je također postala podnošljiva zahvaljujući prigušivaču koji je izumio Hiram Maxim Percy 1897. godine. Konačno, početak masovne proizvodnje vozila s benzinskim pogonom pokrenuo je Henry Ford (model T). Godine 1915. cijena njegovih automobila bila je 440 \$ (danas je to oko 10 000 \$), a još je i pala godinu kasnije na samo 360 \$ (danas je to oko 7 700 \$). Nasuprot tome, cijena sličnih električnih automobila i dalje je rasla. Godine 1912. cijena električnog automobila iznosila je oko 1 750 \$ (danas je to oko 42 000 \$). Henry Ford je uz pomoć bolje politike poslovanja, a ne uz pomoć tehnologije, razumio prirodu tržišta i pretpostavio da će



ljudi ukoliko budu viđali više Fordovih automobila na ulici isto tako poželjeti kupiti baš marku Ford. [3]

Model T koji je prodavala Ford Motor Company od 1908.-1927., bio je najraniji pokušaj da se napravi automobil koji je većina ljudi zapravo mogla kupiti. Model T je zapravo bio pristupačan i u jednom trenutku postao toliko popularan da ga je posjedovala većina Amerikanaca što je izravno pomoglo ruralnim Amerikancima da postanu povezani s ostatkom zemlje, a što je dovelo do numeriranog sustava autocesta. Model T je imao ujedno i veliki razmak od tla te je mogao proći i najgorim cestama, a što ga je činilo posebno privlačnim za seoske vozače. [14] Ukupno je do 26. svibnja 1927. godine proizvedeno 15.007.003 primjeraka modela Ford T i to je bio apsolutni rekord u proizvodnji automobila. [17] Niski troškovi izrade automobila i dostupnost pokrenuli su lavinu potražnje što je značilo kraj potražnji za električnim automobilima u narednim desetljećima. [3]

Dana 31. srpnja 1971. godine električni automobil je postao prvo vozilo koje je čovjek vozio na Mjesecu i tako stekao prepoznatljivu razliku u odnosu na sve ostale automobile. To je bio Lunar Roving Vehicle koji su specijalno za Apollo misije razvile tvrtke Boeing i Delco Electronics. Prvi puta „Moon Buggy“ angažiran je tijekom misije Apollo 15 i time najavio ponovno buđenje interesa za električne automobile. [1]



Slika 9. Lunar Roving Vehicle "Moon Buggy"

Izvor: <https://uk.motor1.com/features/360972/lunar-rover-apollo-space-car/>, [22.02.2022.]

Tijekom cijelog 20. stoljeća, električni automobili su u potpunosti zasjenjeni vozilima s pogonskim motorom s unutarnjim izgaranjem, no u zadnje vrijeme ponovno se javlja interes za električnim automobilima. [4] Krajem 20. stoljeća, zbog povećanja cijene nafte, te donošenja novih zakona vezanih uz zagađenje okoliša ispušnim plinovima, došlo je do oživljavanja interesa za proizvodnju vozila s alternativnim pogonom, pa tako i električnih automobila. [8]

Također, početkom 90-ih godina 20. stoljeća američko zakonodavstvo traži ekološki prihvatljive automobile u cilju smanjenja emisija ispušnih plinova i proizvodnje ZEV automobila (Zero Emission Vehicle). Tako se u Californiji (SAD) 1990. zakonom definira najmanje 10% ZEV od ukupnog broja automobila na što su proizvođači automobila uglavnom reagirali plasiranjem električnih automobila na tržište. Jedan od prvih serijski proizvedenih električnih automobila krajem 20. stoljeća bio je General Motorsov EV1 (8).: električni sportski automobil (dvosjed), autonomije 120 km, brzine do 130 km/h i to isključivo u najmu za potrebe ispitivanja. [4] EV1 je bio prvi moderni električni automobil dizajniran za masovno tržište. Počevši od 1996. godine, General Motors je napravio 1117 automobila i većinu njih iznajmio potrošačima u Kaliforniji, Arizoni i Georgiji. General Motors je s EV1 električnim automobilima postao središnja točka nacionalne rasprave o inovacijama i obećanju smanjenja onečišćenja zraka i ovisnosti o nafti. No, 2003. godine GM je naglo otkazao program EV1, navodeći visoke proizvodne troškove i malo tržište. [16]



Slika 10. General Motorsov električni automobil EV1

Izvor: <https://autozona.rtl.hr/povijest/povijest/gm-ev1/>, [23.02.2022.]

Danas gotovo svi proizvođači automobila serijski proizvode i električne modele s velikim dometom i brzinama. Razvoj novih tehnologija, posebno u području baterija, omogućuje vrlo kratko vrijeme punjenja vozila, no glavne prepreke omasovljenja električnih vozila u cestovnom prometu su još uvijek visoka cijena i nedovoljno razvijena mreža punionica u nekim zemljama. Sve stroži zakoni vezani uz zaštitu okoliša, te pogodnosti koje u mnogim zemljama imaju kupci ovih automobila (besplatan parking, manji porezi i cijena osiguranja i sl.) ipak osiguravaju njihovu budućnost. [8]

## **2.2. Osnovni sklopovi električnog automobila**

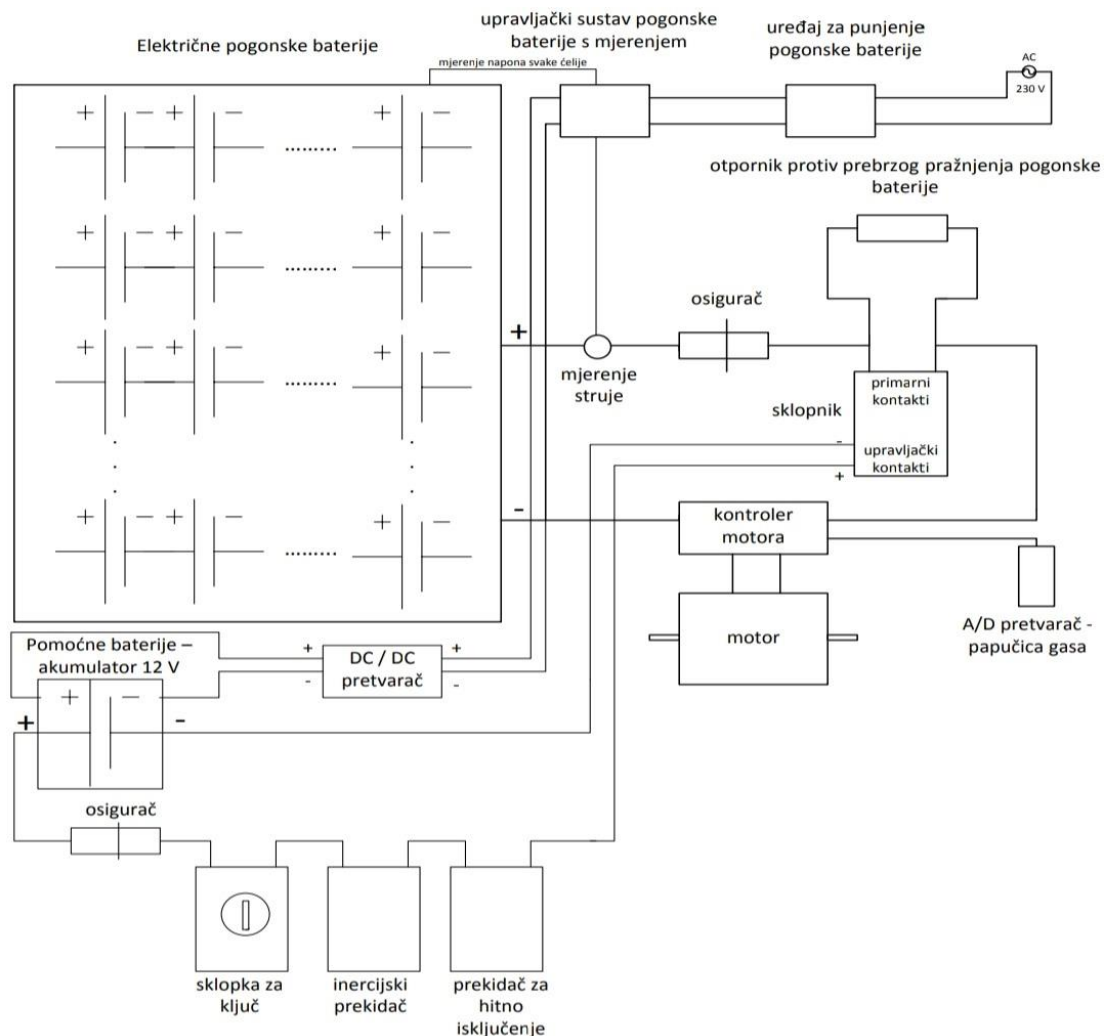
Razlike između automobila pokretanog klasičnim benzinskim ili dizelskim motorom i električnog automobila vidljive su u nekoliko osnovnih sklopova. To su: motor, kontroler, baterija, sustav kočenja i sustav grijanja. [8]

Osnovni elementi za pogon električnog automobila su električni motor, električne pogonske baterije te upravljač (kontroler) motora. Ostali dijelovi električnog automobila su: analogno-digitalni pretvarač signala papučice gasa (informacija željene brzine od strane vozača vozila), sklopnik, osigurač ili prekidač, istosmjerni pretvarač napona za pogon uobičajeno ugrađenih trošila vozila na naponskoj razini 12 V (svjetla, pokazivači smjera, brisači, zvučni signal, radio uređaj i slično), mjerni instrumenti za upravljanje vozila (pokazivač preostalog kapaciteta baterija, napon, struja, snaga, brzina), punjač baterija. Ostali dijelovi koje vozilo na električni pogon mora sadržavati su: kabeli pogonskog napona, kabeli pomoćnog napona 12 V, baterije pomoćnog napona 12 V, kabelaške stopice te kabelaški priključci. [4]

Baterija je komponenta koja određuje ukupne karakteristike električnog vozila, definira njegovu cijenu, autonomiju (doseg) i njegovu raspoloživost. Dva su čimbenika koji određuju performanse baterije, a to su energija (pređena udaljenost) i snaga (ubrzanje). Omjer snage i energije (engl. power/energy ratio) pokazuje koliko je snage po jedinici energije potrebno za određenu primjenu. [4]

Ostali dijelovi koje vozilo na električni pogon može sadržavati su: sklopka za ključ, prekidač hitnog isključenja, inercijski prekidač, otpornik protiv prebrzog pražnjenja električne pogonske baterije, upravljački sustav baterija, upravljački sustav električnog vozila, vakuumska pumpa (ukoliko postoji potreba u kočionom sustavu), električna pumpa za pogon servo-sustava upravljanja volanom, ako isti postoji a nije riješen hidrauličkom

pumpom s remenskim prijenosom. [4] Na Slici 11. prikazana je blok-shema elemenata vozila na električni pogon.



Slika 11. Blok-shema elemenata vozila na električni pogon

Izvor: Stojkov, M., Gašparović, D. i dr. (2014.): Električni automobil – povijest razvoja i sastavni dijelovi Electric Car – history and components, Strojarski fakultet u Slavenskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod.

### 2.2.1. Elektromotor

Sigurno najveća razlika između klasičnih i električnih automobila jest motor. Konvencionalni automobili koriste benzinske ili dizel motore, za razliku od električnog automobila kojeg pokreće elektromotor što je i njegova najvažnija komponenta. Elektromotori su znatno jednostavnije konstrukcije od motora s unutarnjim izgaranjem.

Moderni motori s unutarnjim izgaranjem sastoje se od oko tisuću sitnih dijelova, dok se elektromotor u pravilu sastoji od tri do pet pokretnih dijelova. [2] Upravo to elektromotor čini mnogo jeftinijim, pouzdanijim i trajnijim od dizelskog ili benzinskog motora te je ujedno i znatno manji, lakši i ne zahtijeva praktički nikakvo održavanje te u odnosu na motore s unutarnjim izgaranjem ima do tri puta veću iskoristivost energije (do 90 %). [8]

Električni motor je električni stroj koji električnu energiju pretvara u mehaničku koristeći princip elektromagnetske indukcije. Motori konstrukcijski imaju dva namota (stator i rotor) od kojih je jedan uzбудni a drugi radni ili armaturni namot. Postoje i konstrukcije gdje je uzbudni namot zamijenjen permanentnim magnetima. [4]

Osnovna podjela je na motore koji za svoj rad koriste istosmjernu struju te se nazivaju istosmjerni elektromotori (DC) i na motore koji koriste izmjeničnu struju te se nazivaju izmjenični elektromotori (AC). Neke vrste mogu koristiti i izmjeničnu i istosmjernu struju te se takvi motori nazivaju univerzalni elektromotori. Svaka od ovih grupa dalje se dijeli na svoje podvrste s obzirom na konstrukciju. Tako imamo istosmjerne motore s trajnim magnetima, motore sa serijskom, paralelnom ili kombiniranom uzbuđom te sinkrone i asinkrone izmjenične motore. Svi ti motori razlikuju se i po naponu potrebnom za rad, a kod izmjeničnih je još važna i frekvencija struje. Svaki od njih razlikuje se po karakteristikama, npr. krivulji momenta, stupnju iskorištenja itd. Kod pogona električnih automobila susrećemo sve ove tipove elektromotora. Donedavno su istosmjerni (DC) motori suvereno vladali kao pokretači električnih vozila, no razvojem elektronskih sustava upravljanja sve više ih istiskuju izmjenični motori (AC) koji su po svojoj konstrukciji jednostavniji, ali je upravljanje njima složenije. [8] Električna energija koju EV baterije pohranjuju je istosmjerna, pa je za EV s AC motorima potreban inverter za pretvaranje istosmjerne struje u izmjeničnu struju kako bi energija koja se generira mogla obaviti svoj posao i napajati motor automobila. [18]

Prednosti asinkronih (AC) elektromotora u odnosu na istosmjerne DC motore (po jedinici snage) su [4]:

- manja masa,
- manje dimenzije,
- manji moment inercije,
- manja cijena,
- veća brzina vrtnje,

- veći stupanj korisnog djelovanja (0,95-0,97 u odnosu na DC gdje je ta vrijednost 0,85-0,89),
- jednostavno i jeftino održavanje.

Prednost istosmjernih elektromotora u odnosu na asinkrone je lakše i jeftinije upravljanje. [4]

### 2.2.2. Baterija

Baterija je glavni i najskuplji dio električnog vozila. Njihov napon i kapacitet definiraju sve ostale komponente pogona električnog vozila. Uspješno uvođenje električnih vozila na tržište izuzetno je ovisno o dostupnosti tehnologije baterija, koja omogućava pouzdanu pohranu električne energije u vozilu i time izravno utječe na njegovu autonomiju kretanja. Već danas su kapaciteti baterija dovoljno veliki da mogu pokriti dnevne potrebe korištenja osobnog automobila za većinu potrošača. Svjetski proizvođači baterija najavljuju intenzivno povećanje kapaciteta u skoroj budućnosti te se očekuje autonomija kretanja do 350 km i čak više s jednim punjenjem. Životni vijek baterija u pravilu je zajamčen za razdoblje od najmanje 8 do 10 godina. [3]

Baterije trebaju ponuditi znatnu autonomiju vožnje, kao i odgovarajuće performanse vozila. Moraju se osigurati i visoke sigurnosne norme, s obzirom na veliku količinu pohranjene električne energije u njima. Rizik od naglog nekontroliranog pražnjenja, u slučaju kratkog spoja, preopterećenja i pregrijavanja, treba svesti na minimum. Općenito, početni kapacitet baterije neovisno o vrsti upotrebe se smanjuje tijekom životnog vijeka s obzirom na broj i vrstu ciklusa pražnjenja. Sigurnosna pitanja u odnosu na električne, elektrokemijske, toplinske i mehaničke utjecaje smatraju se savladivim, no zahtijevaju korištenje sustava upravljanja baterijama koji regulira napon i temperaturu ćelija u bilo koje vrijeme. [3]

Baterije su u električnim automobilima komponenta s najvećom dodanom vrijednošću i predstavljaju najskuplji dio električnog automobila te samim time utjecaj proizvođača baterija naspram proizvođačima automobila može biti tolik da će u budućnosti sami proizvođači baterija postati i proizvođači cijeloga automobila. [3]

Glavni razlog sporog razvoja električnih automobila je problem skladištenja električne energije. Do prije desetak godina za skladištenje većih količina električne energije koristile su se u pravilu olovne akumulatorske baterije, ili iznimno nikal-kadmijeve baterije.

Najveći nedostatak olovnih baterija je njihova masa. U pravilu za skladištenje jednog kWh električne energije potrebno je oko 60 kg olovnih baterija. Ako to pretvorimo u domet, za neki prosječni gradski automobil potrebno je oko 7 kg baterija na jedan prijeđeni kilometar. Prema tome, za 100 kilometara dometa trebalo bi oko 700 kg baterija, što bi zauzimalo oko 300 litara prostora. Masa i volumen olovnih baterija bili su ključni kamen spoticanja znatnijem razvoju električnih automobila. Uz sve navedeno, olovnim baterijama na niskim temperaturama (već kod +10 °C) kapacitet znatno pada što rezultira drastičnim padom dometa u zimskim uvjetima. Olovne baterije ne podnose brza punjenja već ono u pravilu traje od 6 do 12 sati, ovisno o snazi punjača. Vijek trajanja im je ograničen na 500 do 1000 ciklusa punjenja što je otprilike 5 godina umjerenog korištenja. [8]

U novije vrijeme na tržištu su se pojavile akumulatorske baterije zasnovane na litiju i njihove prednosti pred olovnim brzo su prepoznate. Razvoj električnih automobila u novije vrijeme možemo zahvaliti upravo njihovoj pojavi na tržištu. Postoji više tipova litijskih baterija koje se međusobno bitno razlikuju konstrukcijom, materijalima, kemijskim procesima i drugim svojstvima. Tako razlikujemo LiMnCo (litij-mangan-kobalt), LiFeP04 (litij-željezo-fosfat), LiPo (litij-polimer), a svakim danom se pojavljuju nove inačice. [8]

U usporedbi s drugim uobičajenim baterijama, litij-ionsku bateriju karakterizira velika gustoća energije, velika gustoća snage, duži životni vijek i prihvatljivija je za okoliš. Automobilističke litij-ionske baterije imaju veliki kapacitet i veliki broj serijsko-paralelnih kombinacija spajanja članaka, koji su, zajedno s problemima kao što su sigurnost, trajnost, ujednačenost rada i cijena samih baterija veliko ograničenje za široku primjenu litij-ionskih baterija. Litij-ionske baterije moraju raditi u sigurnom i pouzdanom okruženju, što je ograničeno temperaturom i naponom. Prekoračenjem tih ograničenja će dovesti do brzog slabljenja učinkovitosti baterije, pa čak dovesti i do ugrožavanja sigurnosti. Litij-ionska baterija (Li-Ion) predstavlja veći korak u evoluciji punjivih baterija. Budući da kao osnovnu aktivnu tvar koristi litij, jedan od najlakših metala, ova vrsta baterije odlikuje se vrlo malom masom što je itekako korisna karakteristika kod električnih i hibridnih vozila. [21]

U pravilu, litijske baterije tri puta su lakše i manje od olovnih baterija za isti kapacitet. Neki tipovi litijskih baterija podnose brza punjenja i uz upotrebu dovoljno snažnog punjača mogu se napuniti za dvadesetak minuta. Trajnost ovisi o vrsti litijske tehnologije, od tisuću ciklusa za LiPo (litij-polimer) baterije do pet tisuća ciklusa za LiFeP04 (litij-željezo-fosfat) ili deset kalendarskih godina. Iako im je cijena znatno veća od olovnih baterija (3 - 15 puta) svojom trajnošću i karakteristikama znatno su isplativiji izbor. [8] Olovne baterije koje se

još uvijek najčešće koriste kod klasičnih automobila zbog manje specifične energije (Wh/kg) i snage (W/kg) nisu naišle na širu uporabu u električnim i hibridnim automobilima. Naravno, jedan od razloga zašto se olovne baterije više ne upotrebljavaju je i njihov nepovoljan učinak na okoliš. [19]

Snaga baterije uvelike ovisi o korištenju maksimalnog kapaciteta baterije i prilagođavanju sustava da bi se životni vijek baterije produžio. Da bi se to postiglo potrebno je cijelo vrijeme nadzirati stanje baterije. Glavni parametri koji se moraju kontrolirati su njeno stanje punjenja (eng. State of charge, SOC) te radna temperatura. Sa stanovišta baterije raspon punjenja trebao bi biti što manji, a prevelika pražnjenja baterije trebalo bi generalno izbjegavati. Bitna karakteristika baterije je i njena masa, da se ne bi previše povećala masa vozila, ali je isto tako jedan od načina ocjenjivanja baterije odnos snage baterije u odnosu na masu vozila. Sustavi vozila nastoje održati bateriju na istom energetsom stupnju u svim uvjetima rada, pri tome prateći i računajući potrebnu količinu energije za pražnjenje pri ubrzanju ili nadopunjavanju baterije regenerativnim kočenjem ili viškom energije pri normalnim uvjetima vožnje. [19]

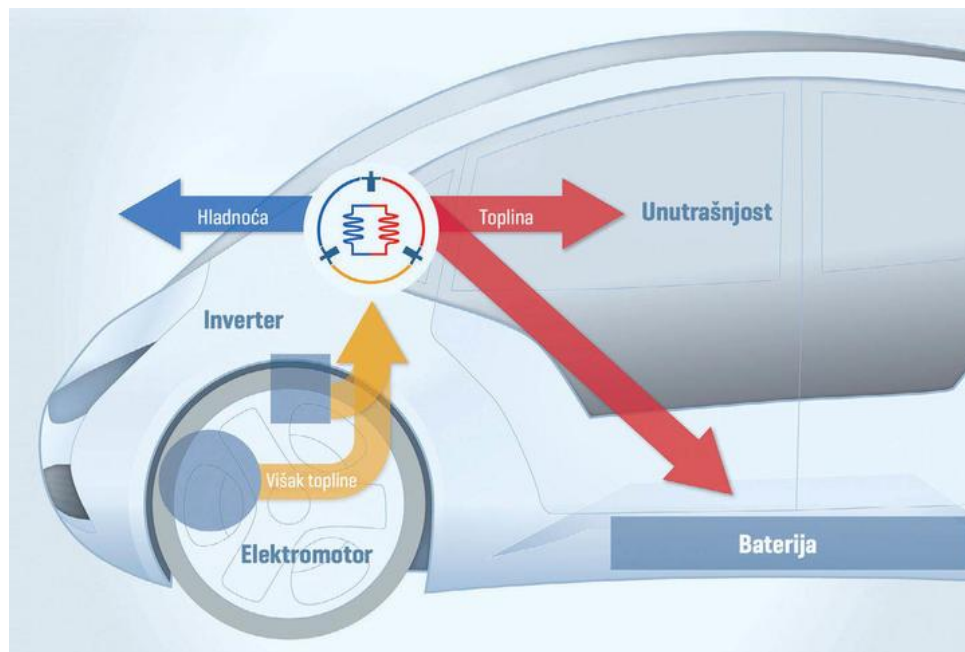
#### Utjecaj vanjske temperature na rad baterije

Baterije električnih automobila su poput ljudskog tijela i najviše im godi ugodnih 20-ak stupnjeva. Iako pogon automobila s motorima s unutarnjim izgaranjem i onih s elektromotorom u osnovi nema previše zajedničkog, jedna stvar je ista – ni jedni ni drugi ne vole hladnoću. Kod benzinskih i dizel motora hladni start na niskim temperaturama kad je ulje vrlo gusto (što znači i vrlo loše podmazivanje) uzrokuje oštećenja dijelova koji su u međusobnom gibanju. [20]

Električni automobili nemaju problem s podmazivanjem, ali svejedno ih muči hladnoća koja jako utječe na rad baterije čiji će se elektrolit na ekstremno niskim temperaturama (-25 °C i niže) smrznuti te baterije neće moći funkcionirati. I dok je kod klasičnih motora problem manje-više riješen, nakon nekoliko minuta koliko motoru treba da se zagrije, kod električnih je to nešto kompliciranije. Budući se kod klasičnih motora tek oko polovice kemijske energije goriva pretvori u mehanički rad dok je ostalo (najvećim dijelom) toplinski suficit kojim se motor održava u optimalnim temperaturnim granicama, ali i grije putnički prostor tako da nema dodatnih gubitaka energije. [20]



Litij-ionska baterija ima tekući elektrolit koji se na vrlo niskim temperaturama može smrznuti te onemogućiti rad baterije. Da bi baterije optimalno funkcionirale nužno ih je držati na (manje-više) sobnoj temperaturi od oko 20 stupnjeva, što znači da ih je u nekim uvjetima potrebno hladiti, a u nekim grijati. Budući da su elektromotori vrlo učinkoviti te (kao ni ostali visokonaponski uređaji u automobilu) nemaju ozbiljan višak topline, sve operacije grijanja i hlađenja baterije, ali i putničkog prostora moraju se (najvećim dijelom) izvoditi pomoću energije iz baterije što naravno oduzima dragocjenu energiju potrebnu za pogon. Baterija u uvjetima niskih temperatura ne radi optimalno, veći su unutarnji otpori prilikom pražnjenja (odnosno pogona elektromotora). [20]

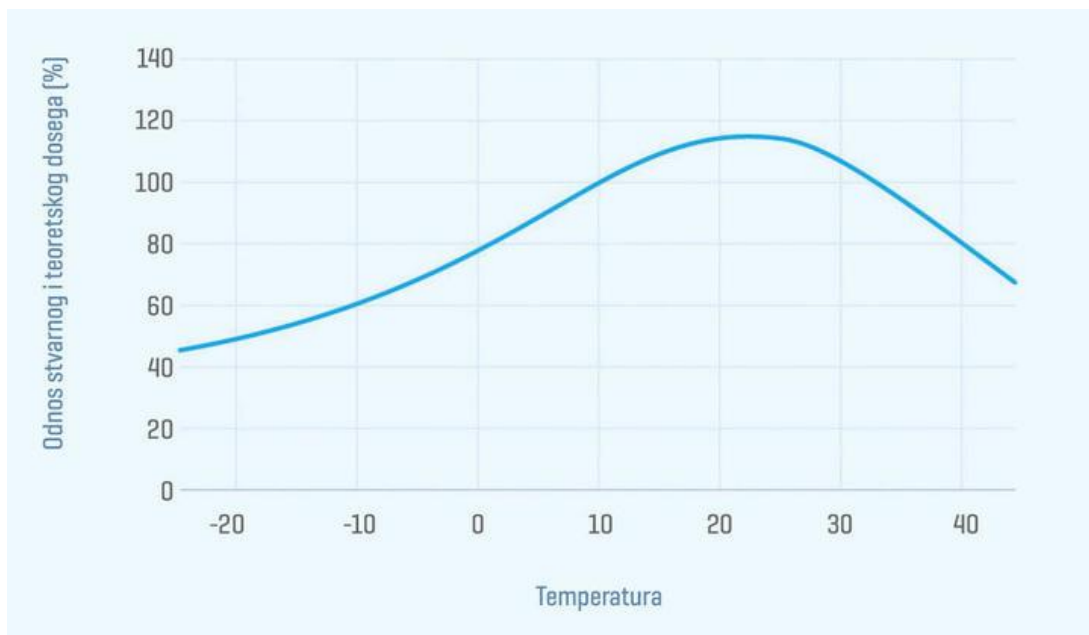


Slika 12. Upravljanje toplinom - jedna od najvažnijih stvari u električnom automobilu

Izvor: <https://www.zemobility.hr/5927/Utjecaj-vanjske-temperature-na-rad-baterije>, [01.03.2022.]

Istraživanja su pokazala kako je doseg električnih vozila pri vanjskoj temperaturi od -5 °C oko 10 posto manji samo zbog niže temperature na kojoj radi baterija. Bateriju se grijanjem može držati na optimalnoj temperaturi, ali za to se troši energija iz baterije te se u konačnici opet smanjuje doseg. Bez obzira na dodatnu potrošnju energije to je u konačnici bolji izbor jer se produžava vijek trajanja baterije, a i tijekom vožnje se bolje koristi regenerativno usporenje. Preporuka je držati automobil priključen na napajanje tijekom hladnih noći kako bi se za grijanje baterija trošila energija iz mreže. [20]

Jako niske temperature mogu značajno smanjiti doseg ili potpuno onemogućiti rad baterije. U nekim slučajevima je doseg tek 40% onoga u idealnim uvjetima. Dodatni problem je grijanje (i hlađenje) putničkog prostora za koje također se mora osigurati dostatnu energiju. Pri vanjskoj temperaturi od  $-5^{\circ}\text{C}$  za grijanje putničkog prostora pomoću električnog grijača potrebno je oko 4 kW energije, odnosno 4 kWh kapaciteta baterije svakog sata. Ukoliko postoji mogućnost treba unaprijed zagrijati unutrašnjost automobila dok je priključen na napajanje što će značajno smanjiti gubitke u vožnji. [20]



Grafikon 1. Utjecaj vanjske temperature na odnos stvarnog i teoretskog dosega

Izvor: <https://www.zemobility.hr/5927/Utjecaj-vanjske-temperature-na-rad-baterije>, [01.03.2022.]

Ovisno o tome kako je riješeno grijanje putničke kabine, doseg električnog vozila pri vanjskoj temperaturi od  $-5^{\circ}\text{C}$  s uključenim grijanjem putničkog prostora može biti i do 40 posto manji u usporedbi s vožnjom na optimalnih  $25^{\circ}\text{C}$  i bez uključene klimatizacije. Preporuka je koristiti grijanje sjedala i upravljača (ako postoji) umjesto povećanja temperature zraka u kabini jer navedeni potrošači troše bitno manje struje od grijanja cijelog prostora. Zato neki modeli električnih automobila na početku vožnje na niskim temperaturama automatski uključuju grijanje sjedala i upravljača. Visoka temperatura, npr.  $+35^{\circ}\text{C}$  također negativno utječe na rad baterije, no u manjoj mjeri nego hladnih  $-5^{\circ}\text{C}$ , pa je doseg (bez korištenja klimatizacije) oko 5 posto manji. Previsoka temperatura također nije poželjna jer uključena klima može smanjiti doseg do 20 posto, no dosta ovisi o modelu i načinu na koji je izvedeno grijanje/hlađenje. [20] U Tablici 1. prikazano je istraživanje koje

je 2019. godine provela American Automobile Association (AAA), odnosno prikazan je doseg pojedinih električnih automobila (u km) ovisno o vanjskoj temperaturi te grijanju i hlađenju putničkog prostora.

Tablica 1. Doseg (km) električnih automobila ovisno o vanjskoj temperaturi te grijanju i hlađenju putničkog prostora

Doseg (km) električnih automobila ovisno o vanjskoj temperaturi te grijanju i hlađenju putničkog prostora						
Model	-5 °C		+25 °C optimalna temp	+35 °C		
	Vanjska temperatura	bez grijanja		s grijanjem	bez klime	s klimom
BMW i3S [33,8 kWh]		162	101	203	195	160
Nissan Leaf [40 kWh]		200	154	224	219	197
Tesla S 75D [75 kWh]		339	237	382	357	322
Volkswagen e-Golf [35,8 kWh]		184	126	198	192	162

Izvor: <https://www.zemobility.hr/5927/Utjecaj-vanjske-temperature-na-rad-baterije>, [01.03.2022.]

### 2.2.3. Kontroler

Kontroler je vrlo složen upravljački elektronski sklop te ga možemo promatrati kao funkcionalnu cjelinu s elektromotorom. Cijena ovog elektronskog sklopa je često veća nego cijena elektromotora kojim upravlja. Kontroler upravlja radom motora i po funkciji ga možemo usporediti s rasplinjačem kod starijih tipova benzinskih motora ili visokotlačnom pumpom kod dizelskih motora. Ovisno o pritisku na papučicu gasa ili kočnicu, kontroler će osigurati elektromotoru potrebnu struju ili ga koristiti kao generator u regenerativnom kočenju. [2]



Slika 13. Kontroler motora električnog automobila

Izvor: <https://eveurope.eu/en/product/curtis-controller-1236se/>, [09.03.2022.]

#### **2.2.4. Punjač baterija**

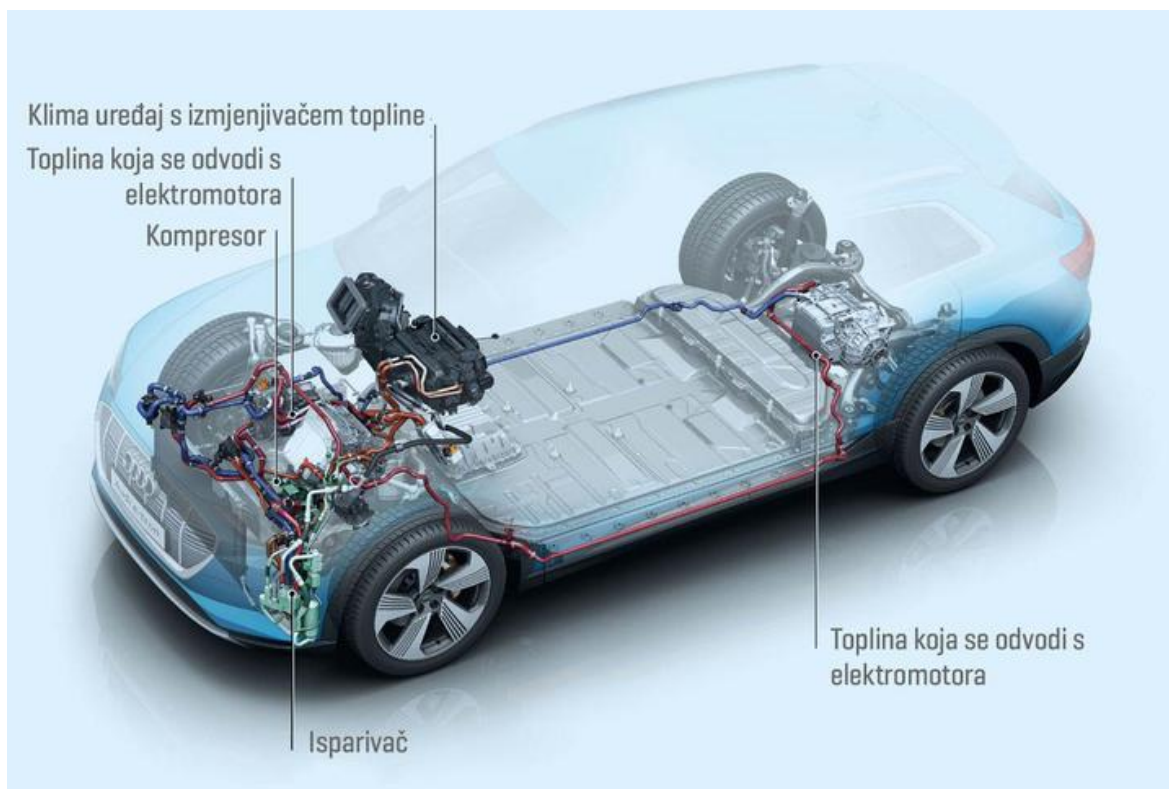
Punjač baterija jedan je od važnih dijelova električnog automobila. O njemu ovisi vrijeme punjenja baterija. Tako se punjači razlikuju po snazi. Slabiji punjači električni automobil mogu napuniti za 8 - 10 sati dok jači punjači to čine puno brže i električni automobil napune za 20 - 30 minuta. Punjač se može ugraditi u auto, ali i ne mora. U auto se obično ugrađuje punjač manje snage kojim je moguće napuniti automobil na kućnoj utičnici za 8 - 10 sati. Snažniji punjači se zbog svoje masivnije konstrukcije ne ugrađuju u automobil, već se mogu koristiti kao stacionarni punjač u garaži. [8]

#### **2.2.5. Grijač putničkog prostora**

Dizelski odnosno benzinski motori imaju korisnost do 30% što znači da se samo 30% posto energije pretvara u mehanički rad, a ostalih 70% odlazi na toplinu. Od tih 70% topline samo mali dio koristi se za grijanje putničkog prostora. Zbog visoke iskoristivosti elektromotora toplinski gubici su vrlo mali i nedostatni za grijanje, stoga je potrebno koristiti zaseban izvor topline. U tu svrhu koristi se električni grijač kojim se zagrijava zrak i zatim upuhuje u putnički prostor ili grijač (poput onog u električnom bojleru) za grijanje vode koja se koristi kao medij za grijanje putničkog prostora kao i kod automobila s dizelskim i benzinskim motorom. Putnički prostor može se zagrijavati i klima uređajem. [8]

Efikasni transfer topline (toplinska pumpa)

Iako je višak topline prilikom rada električnog automobila značajno manji u usporedbi s klasičnim, on svejedno postoji. Visokonaponske komponente se tijekom rada griju te ih je potrebno hladiti. U slučaju korištenja toplinske pumpe moguće je (indirektno) iskoristiti višak topline električnih komponenti za grijanje putničkog prostora, a ona se može koristiti i za grijanje baterija kad je to potrebno. Upravljanje toplinom možda je i najvažniji element nekog električnog automobila te se upravo na načinu izvedbe toplinskog menadžmenta razlikuju premium i ostali modeli. Audi za grijanje unutrašnjosti (Slika 14.) efikasno koristi i višak topline koji stvara na elektromotorima te se koristi za grijanje radnog medija toplinske pumpe. [20]



Slika 14. Grijanje kabine pomoću toplinske pumpe u Audiju e-tron 55 quattro

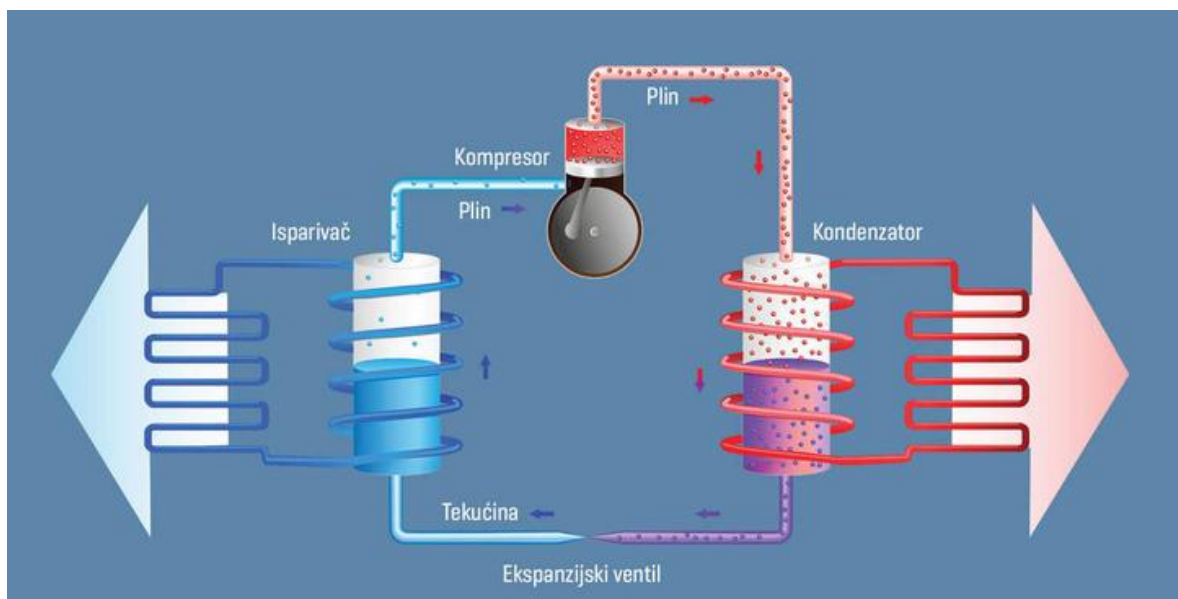
Izvor: <https://www.zemobility.hr/5927/Utjecaj-vanjske-temperature-na-rad-baterije>, [01.03.2022.]

Audi e-tron ima ukupno četiri kruga hlađenja/grijanja koji se mogu međusobno povezivati ovisno o potrebama. Radi se o upravljanju temperaturom dvaju elektromotora, punjača (invertera) i upravljačke elektronike, baterija te unutrašnjosti vozila, a e-tron ima ukupno 22 litre rashladne tekućine koja putuje kroz 40 metara rashladnih kanala. Dva snažna elektromotora s ukupnom snagom od 300 kW su najtoplija mjesta u vozilu te čak i uz 99% učinkovitost još uvijek generiraju oko 3 kW toplinske energije koje toplinska pumpa može koristiti za grijanje putničkog prostora. Sustav mora osigurati i optimalnu temperaturu baterije, što znači da ih se tijekom ljeta (te pogotovo tijekom punjenja) mora hladiti, a zimi grijati kako bi se osigurao ne samo maksimalni energetska kapacitet već i dulji vijek trajanja. Naravno, što je veća snaga i napon baterija to će njezino zagrijavanje biti intenzivnije, vruća baterija isporučuje manje struje te se sporije puni. Automobili s kvalitetnim toplinskim menadžmentom svoje baterije drže na optimalnoj temperaturi, ali je određeni gubitak energije svejedno neizbježan. [20]

Jeftiniji automobili u pravilu ne koriste toplinsku pumpu već se putnički prostor grije uz pomoć električnog (otporničkog) grijača što je energetska nepovoljnije, ali i bitno

jednostavnije i jeftinije. U tom slučaju krugovi hlađenja električnih komponenti i kabine nisu povezani, a elektromotor i baterije se najčešće hlade zrakom. [20]

Kako radi toplinska pumpa? Toplinska pumpa je u stvari klima uređaj koji može grijati i hladiti ovisno o tome što nam treba. U osnovi uređaj uzima toplinu iz okoliša te je putem radnog medija prenosi u kabinu vozila, a to je moguće čak i kod vrlo niskih vanjskih temperatura budući je temperatura vrelišta radnog medija jako niska. Tako npr. R410A (rashladno sredstvo) ima vrelište na  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  te može preuzimati energiju iz okoliša prilikom ekspanzije praktički u svim uvjetima. Jednostavnom zamjenom toka radnog medija toplinska pumpa može hladiti putnički prostor. Radi se, u stvari, o klima uređaju koji može hladiti i grijati, a funkcija se mijenja zamjenom smjera strujanja radnog medija te funkcije kondenzatora i isparivača. U osnovi se ništa ne mijenja jer pumpa uvijek prenosi toplinu iz jednog prostora u drugi, a pomoću sustava ventila se samo određuje smjer transfera topline. Kompresor tlači plinoviti radni medij kojem se povećava tlak i temperatura te se šalje u kondenzator gdje se hladi (oslobađa toplinu) i prelazi u tekuće stanje. Tekućina nakon toga odlazi u ekspanzijski ventil gdje u uvjetima niskog tlaka isparava i hladi se te u isparivaču oduzima toplinu okolnom prostoru, nakon čega ponovno odlazi u kompresor čime se krug nastavlja. Budući su i kondenzator i isparivač izmjenjivači topline, mogu zamijeniti uloge ovisno želimo li hladiti ili grijati putnički prostor, a pri tome je, naravno, nužno promijeniti i smjer kruženja rashladnog medija. [20]



Slika 15. Princip rada toplinske pumpe

Izvor: <https://www.zemobility.hr/5927/Utjecaj-vanjske-temperature-na-rad-baterije>, [01.03.2022.]

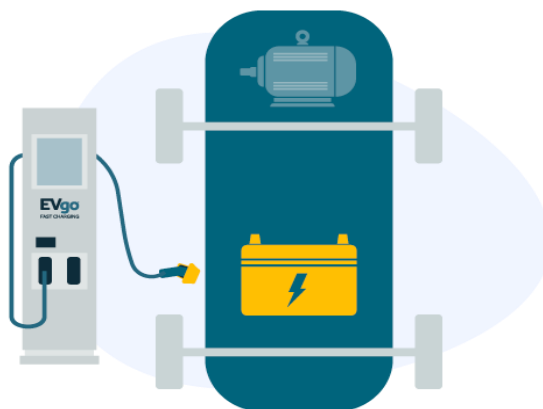
## 2.3. Vrste električnih automobila

Električne automobile prema pogonu i korištenju pogonskog sustava možemo podijeliti u 5 skupina:

1. 100 % električni automobili (EV – electric vehicle) ili baterijski električni automobili (BEV – battery electric vehicle);
2. Hibridni električni automobili (HEV – hybrid electric vehicle);
3. Plug-in hibridni električni automobili (PHEV – plug-in hybrid electric vehicle);
4. Električni automobili produljenog doseg (E-REV – extended range electric vehicle/Voltec tehnologija);
5. Električna vozila s pogonom na gorive ćelije (FCEV – fuel cell electric vehicle).

### 2.3.1. 100% električni automobili (EV/BEV)

Električna vozila na baterije, koja se također nazivaju BEV i češće EV, potpuno su električna vozila s punjivim baterijama i bez benzinskog ili dizelskog motora. Sva energija za pokretanje vozila dolazi iz baterije koja se puni iz mreže. BEV su vozila s nultom emisijom, jer ne stvaraju nikakve štetne emisije iz ispušne cijevi i nema opasnosti od onečišćenja zraka uzrokovane tradicionalnim vozilima na benzinski ili dizelski pogon. [22]



Slika 16. Baterijski električni automobil (BEV/EV)

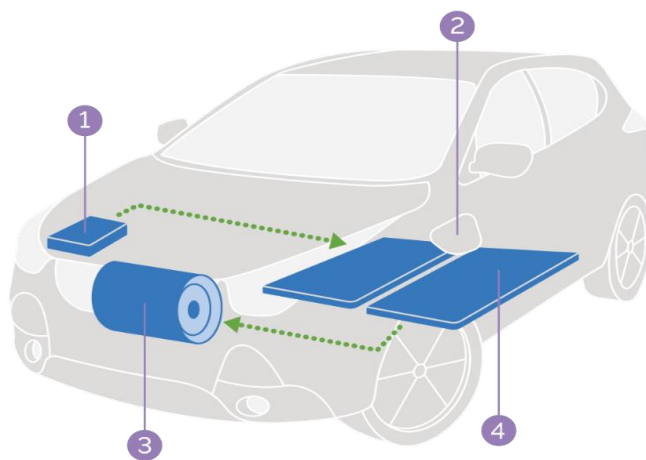
Izvor: <https://www.evgo.com/ev-drivers/types-of-evs/#42>, [02.03.2022.]

Elektromotor daje bolje ubrzanje u usporedbi s benzinskim motorom (ima linearno ubrzanje). To znači da će većina električnih automobila ubrzavati brže od 0 do 100 km/h nego benzinski ili dizelski automobili. Indukcijski motor (AC asinhroni motor) je najčešći model elektromotora koji se ugrađuje u električne automobile. To je uglavnom zbog njegovog jednostavnog dizajna i niskih troškova proizvodnje. [3]

Kočioni sustav električnih vozila konstruiran je tako da se prilikom usporavanja oslobođena energija deceleracije pohranjuje nazad u bateriju (tzv. regenerativno kočenje). Ova osobitost električnih vozila ističe se osobito u gradskim sredinama gdje je najčešći stani – kreni princip vožnje. [3]

Električni automobili se trebaju puniti češće nego što je to slučaj kod punjenja klasičnih automobila, no mogu se puniti svugdje gdje postoji električna utičnica. Trajanje punjenja ovisi o trenutnoj napunjenosti baterije i mogućnostima stanice za punjenje. Kod stanica za brzo punjenje baterija automobila može biti puna već za 20 do 30 minuta, a kod sporog sustava punjenja (spore punionice ili kućne punionice) vrijeme punjenja je od 6 do 8 sati. [3]

Trenutno se većina električnih automobila pokreće punjivim litij-ionskim baterijama koje su kompaktne i imaju vrlo veliku gustoću energije. Pune se prvenstveno putem vanjskog izvora električne energije, koji može biti jednostavan kao i standardna utičnica od 120 volti. Ugrađeni punjač uzima dolaznu izmjeničnu struju (AC) i pretvara je u istosmjernu (DC) snagu za punjenje glavne baterije. Snaga se isporučuje takozvanom električnom vučnom motoru koji pokreće kotače automobila, a u proces rada baterijskog električnog automobila su uključene razne sofisticirane elektroničke komponente. [23]



Slika 17. Komponente baterijskog električnog automobila (BEV/EV)

Izvor: <https://driveclean.ca.gov/battery-electric>, [02.03.2022.]

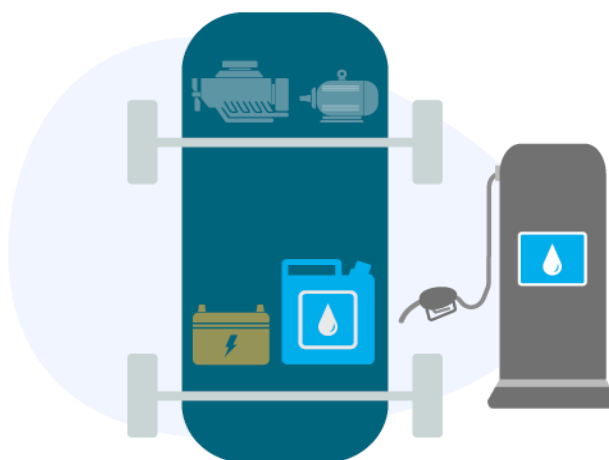


Na Slici 17. su prikazane osnovne komponente baterijskog električnog automobila (BEV) [23]:

1. Ugrađeni punjač – pretvara dolaznu izmjeničnu struju u istosmjernu za punjenje baterije;
2. Priključak za punjenje – omogućuje priključenje automobila na vanjski izvor napajanja radi punjenja baterije;
3. Električni motor – napajan je iz baterije te ujedno pokreće automobil u svakom trenutku;
4. Baterija – obično postavljene ispod sjedala radi bolje raspodjele težine. Baterije mogu biti velike i do 100 kWh i napajaju električni motor.

### 2.3.2. Hibridni električni automobili (HEV)

Hibridni automobili su vozila koja koriste i standardni motor s unutarnjim izgaranjem i elektromotor. Hibridni automobili većinu snage dobivaju iz motora s unutarnjim izgaranjem. Prema potrebi, elektromotor može dati dodatnu snagu. Energija za rad elektromotora generira se dok je auto u vožnji te se zatim skladišti u baterije, stoga nije potrebno punjenje preko vanjskog izvora električne energije da bi elektromotor radio. Elektromotor se ujedno koristi i kao generator koji stvara električnu energiju dobivenu regenerativnim kočenjem i skladišti je u baterije. [3]



Slika 18. Hibridni električni automobil (HEV)

Izvor: <https://www.evgo.com/ev-drivers/types-of-evs/#42>, [02.03.2022.]

## Podjela HEV-a s obzirom na vezu električnog i mehaničkog dijela

Postoji nekoliko načina na koji se motor s unutarnjim izgaranjem može kombinirati s elektromotorom. S obzirom na vezu električnog i mehaničkog dijela hibridna električna vozila dijele se na [19]:

- Serijske hibridne pogone,
- Paralelne hibridne pogone i
- Serijsko-paralelne hibridne pogone.

Kod serijskih hibridnih pogona motor s unutarnjim izgaranjem pokreće generator, koji proizvedenu električnu energiju koristi za pokretanje elektromotora koji pokreće kotače. Snaga se prenosi prema kotačima „serijski“. Ovo je najjednostavnija hibridna izvedba jer kod nje samo elektromotor direktno pokreće kotače. Elektromotor se pogoni ili električnom energijom iz akumulatora ili generatora, a računalo određuje koliko snage dolazi iz baterije ili kombinacije motor s unutarnjim izgaranjem/generator. Punjenje baterija ostvaruje se preko paketa motor s unutarnjim izgaranjem/generator i regenerativnog kočenja. U ovakvim izvedbama motori su obično manjih dimenzija jer trebaju zadovoljiti prosječne zahtjeve za snagom, pogone samo generator, dok su baterije generalno većih kapaciteta nego u ostalim izvedbama kako bi se postigle zahtijevane „vršne“ snage. Dok su motori kod konvencionalnih vozila prisiljeni raditi u nepovoljnim režimima kako bi zadovoljili zahtjeve za stalnu promjenu snage na „stop&go“ („stani-kreni“) vožnjama, serijski hibridni pogoni svoje najbolje karakteristike daju baš u tim uvjetima. To je zbog toga što kod serijskih hibridnih pogona benzinski motor nije u mehaničkoj vezi s kotačima, što znači da motor nije izložen stalnim potrebama za različitim snagama kod „stani-kreni“ vožnje i može raditi u uskom području gdje mu je najbolja iskoristivost. Nema ni potrebe za kompliciranim prijenosnicima snage i spojka. Budući da su najbolje vozne performanse serijskih hibridnih pogona kod „stani-kreni“ vožnji, oni se primarno koriste kod autobusa i kod ostalih urbanih radnih vozila. [19]

Kod paralelnog hibridnog pogona kotači se pokreću motorom s unutarnjim izgaranjem ili elektromotorom, a izvor snage se određuje prema uvjetima vožnje. Naziv dolazi od činjenice da izvori snage rade paralelno. Primarni motor je motor s unutarnjim izgaranjem, a elektromotor se koristi kao dodatan izvor snage tijekom ubrzavanja. Međutim, elektromotor se ne može koristiti za pogon vozila dok radi kao generator. Kod paralelnog pogona hibridnog električnog vozila, i motor s unutarnjim izgaranjem i elektromotor

proizvode energiju za pokretanje kotača. Računalno upravljanje i prijenosnik snage omogućavaju da različiti izvori energije rade zajedno. Paralelni hibridni pogoni mogu koristiti manje baterije i zbog toga njihovo punjenje najviše ovisi o regenerativnom kočenju. Pa ipak, kada su potrebe za snagom male, paralelni hibridni pogoni koriste pogonski elektromotor kao generator koji dodatno puni baterije, nešto kao alternator kod konvencionalnih vozila. Kako je u ovoj konfiguraciji motor direktno spojen s kotačima, eliminiraju se gubici pretvaranja mehaničke energije u električnu i obratno, što čini ove hibridne pogone poprilično iskoristivim na brzim cestama i autocestama. S druge strane, ovakva izvedba smanjuje iskoristivost u gradskoj vožnji zbog stalne potrebe za zahtjevima u širokom području rada motora s unutarnjim izgaranjem. [19]

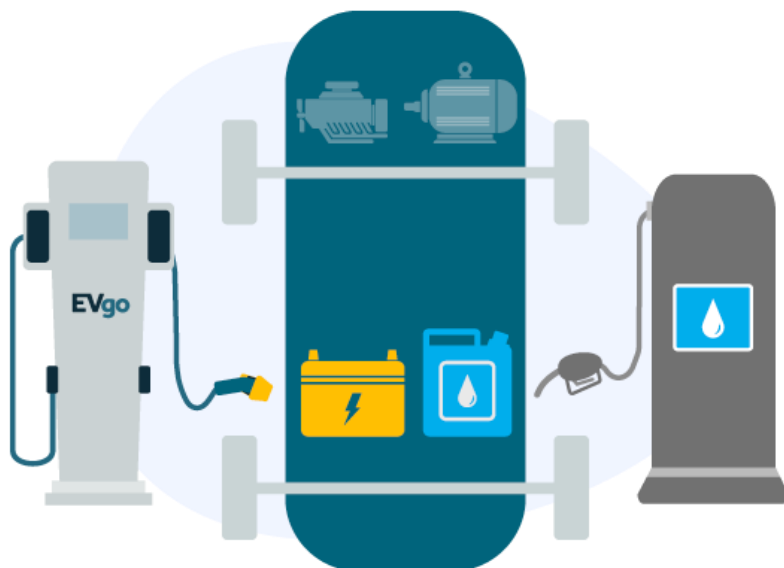
Sa serijsko-paralelnim hibridnim sustavom moguće je pogoniti kotače korištenjem dva izvora snage, odnosno od elektromotora i/ili motora s unutarnjim izgaranjem, a također je moguće proizvoditi električnu energiju dok radi elektromotor. Sustav pokreće automobil samo snagom elektromotora ili kombinacijom motora s unutarnjim izgaranjem s elektromotorom ovisno o uvjetima vožnje. Kako je generator integriran u sustav, baterija se može puniti dok je vozilo u vožnji. Osnovne elemente sustava čine elektromotor, motor s unutarnjim izgaranjem, generator, razdjelnik snage i upravljačka jedinica s inverterom i pretvaračem. Razdjelnik snage prenese dio snage proizvedene od motora s unutarnjim izgaranjem za pogon kotača, a ostatak snage koristi za pokretanje elektromotora ili za punjenje baterije. Serijsko-paralelni sustav koristi prednosti iskoristivosti elektromotora pri malim brzinama vozila, te prednosti motora s unutarnjim izgaranjem kada vozilo ima potrebu za kretanjem većim brzinama. Drugim riječima, sustav može kontrolirati dvostruki izvor energije kako bi ga se optimalno koristilo pri bilo kojim uvjetima vožnje. Ovaj način spaja prednosti paralelnog i serijskog sustava. Kombinirajući ove dvije konstrukcije motor može raditi kao u paralelnom sustavu i može biti pogonjen samo elektromotorom kao kod serijskog sustava. Kao rezultat korištenja ovog sustava jest da motor radi češće u optimalnom režimu. Kod manjih brzina radi više kao serijska izvedba, dok pri većim brzinama kada je iskoristivost serijskog sustava manja, motor s unutarnjim izgaranjem prevladava i gubici energije se minimiziraju. Ovaj sustav je skuplji zbog potrebe za generatorom, te potrebe za većim kapacitetom baterije i snažnim računalima za upravljanje sustavom. Ipak serijsko-paralelni sustav ima mogućnost bolje iskoristivosti nego svaki pojedinačni sustav zasebno. [19]

## Podjela HEV-a s obzirom na autonomnost električnog pogona

Nisu sva hibridna vozila ista, odnosno mogući su različiti stupnjevi hibridizacije, pa tako postoje djelomični (eng. Mild hybrid) i potpuni (eng. Full hybrid) hibridni sustavi koji se razlikuju s obzirom na autonomnost električnog pogona. Razlika između djelomičnog i potpunog hibridnog sustava je što kod djelomičnog elektromotor pomaže motoru s unutarnjim izgaranjem dok je kod potpunog, barem kratko, moguće pokretati automobil samo s elektromotorom. Ostale tehnologije još više dodatno omogućavaju hibridnim pogonima superiornost u smanjenju potrošnje goriva i smanjenju utjecaja štetnih ispušnih plinova. [19]

### 2.3.3. Plug-in hibridni električni automobili (PHEV)

PHEV vozila imaju dvostruki pogon, odnosno motor s unutarnjim izgaranjem i električni motor. Baterije su većeg kapaciteta u odnosu na obična hibridna vozila tako da je domet vožnje na energiju pospremljenu u baterijama otprilike 30 kilometara prije nego se uključi pogon na motor s unutarnjim izgaranjem. [24]



Slika 19. Plug-in hibridni električni automobil (PHEV)

Izvor: <https://www.evgo.com/ev-drivers/types-of-evs/#42>, [02.03.2022.]

PHEV hibridna vozila, ovisno o njihovoj uporabi, mogu smanjiti emisiju stakleničkih plinova koji pridonose globalnom zatopljenju, ako ih se koristi kao električna vozila koja koriste električnu energiju iz obnovljivih izvora energije. Također omogućavaju veću autonomnost od električnih vozila jer koriste i motor s unutarnjim izgaranjem, koji se koristi kad su baterije istrošene te im je stoga autonomnost jednaka konvencionalnim vozilima. Isto tako smanjuju broj punjenja gorivom, smanjujući potrošnju, a mogu se puniti na kućnoj mreži, a kod nekih sustava mogu po potrebi i vraćati električnu energiju u mrežu. Isto kao kod konvencionalnih električnih hibrida postoje tri vrste osnovnih tipova pogona „plug-in“ hibridnih električnih vozila, a to su serijski, paralelni i serijsko-paralelni. [19]

### Sustav napajanja PHEV-a

Baterije su istosmjerni uređaji dok je mreža električne energije izmjenična. Da bi se baterije mogle puniti potrebno je koristiti istosmjerni punjač. Punjači postavljeni na vozilu osiguravaju da će se punjenje moći obaviti bilo gdje postoji izvor napajanja, a nedostatak njihove ugradnje na vozilo je što zauzimaju mjesto i povećavaju masu, a snaga punjenja im je ograničena zbog njihove mase i dimenzije. Vanjski punjači mogu biti veliki prema potrebi i može ih se postaviti tamo gdje ima potrebe za njima, npr. u garaži ili na određenim mjestima za punjenje. S određenim vodičima ovi punjači mogu raditi s većim snagama i puno brže puniti baterije. [19]

### Režimi rada PHEV-a

Bez obzira da li se radi o serijskom, paralelnom ili serijsko paralelnom pogonu, „plug-in“ hibridni pogoni mogu raditi u dva režima rada, režimu pražnjenja odnosno radu na bateriji kao jedinom izvoru energije i režimu rada koji koristi dva izvora energije – bateriju i motor s unutarnjim izgaranjem. Kombinacija ova dva režima zove se mješoviti režim (eng. Blended mode). Ovi režimi određuju način pražnjenja baterije i njihova uporaba ima direktan utjecaj na veličinu i tip baterije. [19]

### Spremanje električne energije kod PHEV-a

PHEV hibridni sustavi zahtijevaju baterije koje se stalno u potpunosti pune i prazne što nije slučaj kod konvencionalnih hibridnih sustava. Broj ciklusa punjenja i pražnjenja

utječe na životni vijek baterija. Zbog toga vijek trajanja im je kraći nego kod HEV hibridnih sustava. „Plug-in“ hibridni sustavi zahtijevaju znatno veće baterije od običnih hibrida pa su samim time i skuplji. [19]

Nedostatci „plug-in“ hibridnih sustava

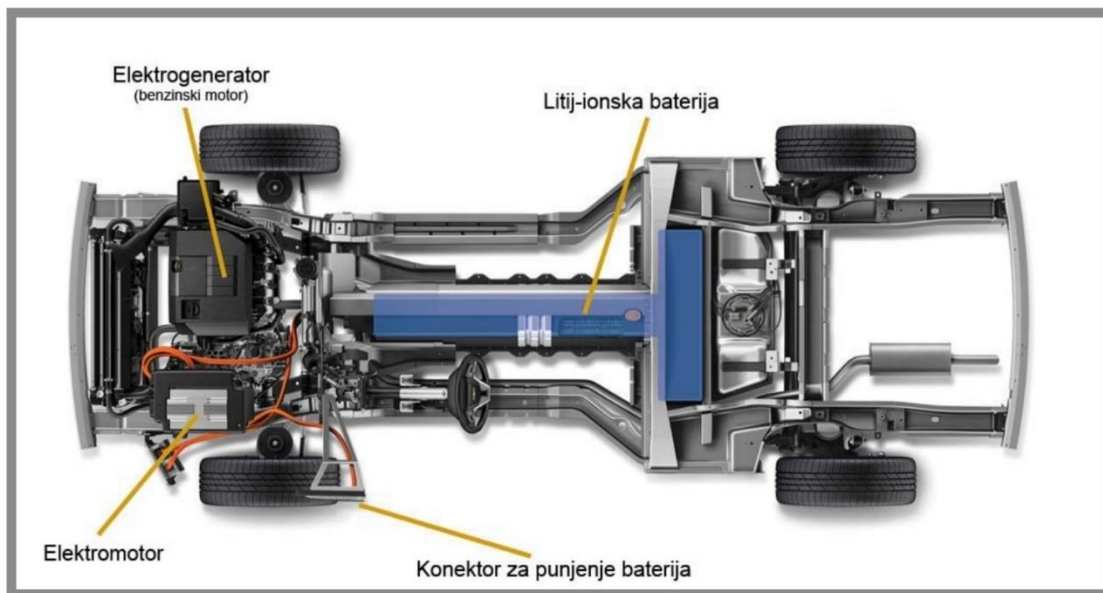
Nedostatci „plug-in“ hibridnih sustava su veća cijena, veća masa i potreba za dodatnim mjestom za smještaj baterija. Bez razvijene infrastrukture nije moguće očekivati korištenje većeg broja „plug-in“ vozila, jer ako nema mogućnosti punjenja vozila na ulici, ispred radnih mjesta i na parkiralištima, mala je vjerojatnost da će se netko odlučiti kupiti vozilo za koje nije siguran gdje će ga moći napuniti. Korištenje obnovljivih izvora energije smanjuje emisiju štetnih ispušnih plinova, međutim korištenjem izvora energije kao npr. termoelektrana je dvojbeno, jer je upitno je li emisija štetnih plinova zbog proizvodnje električne energije za napajanje PHEV vozila manja od emisije motora s unutarnjim izgaranjem. Utjecaj PHEV-a vozila na emisiju štetnih plinova je vrlo kompleksan. Dok rade u elektro-režimu ne ispuštaju štetne plinove, a korist od čistog zraka je lokalnog karaktera, jer elektrane koje proizvode električnu energiju, koja se koristi za punjenje baterija, uglavnom proizvode emisiju štetnih plinova na samom mjestu elektrane. Iz perspektive cijelog ciklusa proizvodnje i korištenja električne energije potrebni su obnovljivi izvori energije kao što su vjetroelektrane, solarni izvor, hidro ili nuklearne elektrane kako bi se moglo smatrati da PHEV vozila nemaju emisiju ispušnih plinova u cjelovitom ciklusu proizvodnje i korištenja električne energije. Kada se PHEV vozila pune električnom energijom iz termoelektrana obično proizvode nešto više štetnih plinova koji utječu značajnije ne efekt staklenika nego motori s unutarnjim izgaranjem. [19]

#### **2.3.4. Električni automobili produljenog doseg (E-REV)**

U konvencionalnim hibridima kotače pokreće benzinski motor, elektromotor ili oboje. U praksi se električno vozilo produljenog doseg (E-REV) razlikuje od hibrida i plug-in hibrida i u tome što kotače uvijek pokreće elektromotor. [3]

Voltec tehnologija nije zamišljena da radi na principu koji danas znamo pod nazivom "hibrid". Da ne bude zabune, i Voltec je varijanta hibridnog pogona no postoji značajna razlika u odnosu na hibridne sustave koji se danas ugrađuju u automobile. Naime, kod

Volteca se radi o pogonu električnom energijom kao primarnom, a benzinski motor je tu kao ispomoć i to ne na klasičan način koji podrazumijeva njegov konstantan rad. [30] Voltec tehnologiju pogonskog sustava koriste Opel Ampera i Chevrolet Volt. Dva automobila blizanca. Oni se mogu puniti priključivanjem na bilo koju utičnicu od 230 V u kućanstvu. Energija se pohranjuje u litij-ionskoj bateriji kapaciteta 16 kWh. Baterija napaja električni agregat koji samostalno ostvaruje sve radne značajke u pogledu brzine i ubrzanja vozila za put od 40 do 80 kilometara. Za duža putovanja se za pogon električnog generatora koristi ugrađeni benzinski motor za produljen doseg. Benzinski motor u stanju je generirati dodatnu električnu energiju za napajanje automobila i vožnju na udaljenosti većoj od 500 km. [3]



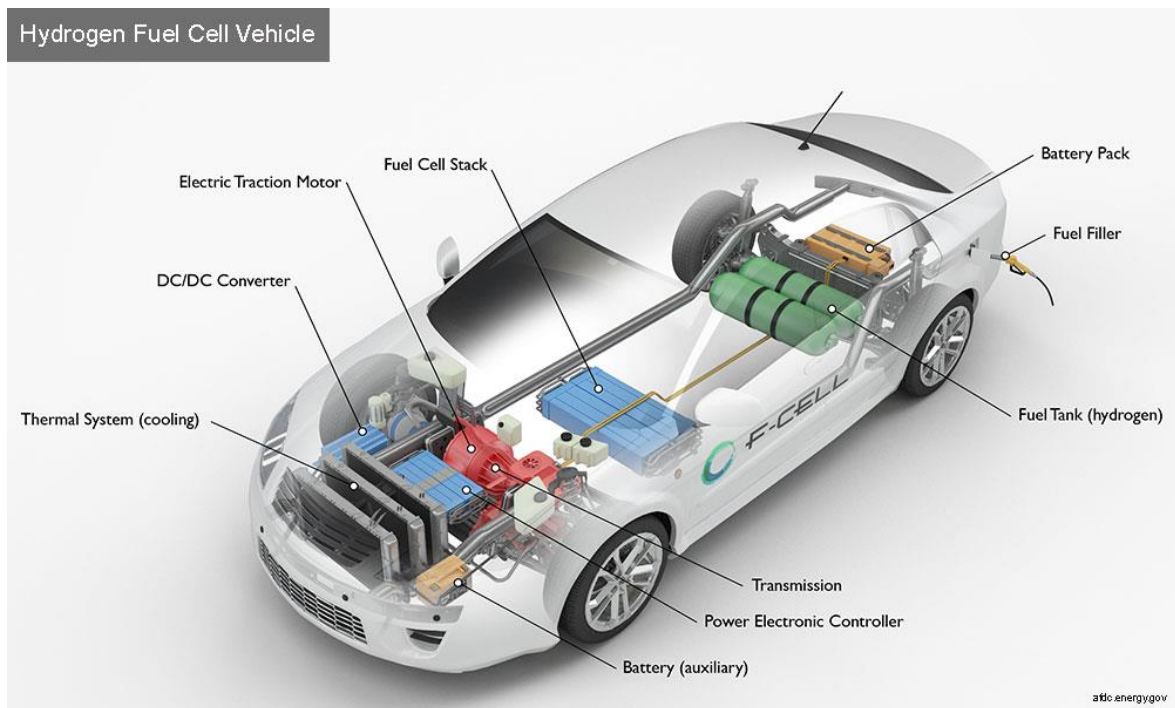
Slika 20. Osnovni dijelovi pogonskog sustava Ople Ampere i Chevrolet Volta (Voltec tehnologija)

Izvor: Ćurković, T., Fabijanić, T. i dr. (2017.): ELEKTROMOBILNOST – Učenje o elektromobilnosti u okviru projekta „Learning E-Mobility“, Škola za cestovni promet, Zagreb, str. 19.

### 2.3.5. Električni automobili s pogonom na gorive ćelije (FCEV)

FCEV su električna vozila koja energiju dobivaju iz gorive ćelije koju pokreće vodik, umjesto da je crpe samo iz baterije. Za razliku od konvencionalnih električnih vozila, gdje je baterija primarni izvor vučne sile vozila, FCEV-ovi koriste električnu energiju generiranu gorivim ćelijama na vodik i potrebna im je baterija za pomoćne funkcije kao što je pokretanje vozila ili za pohranjivanje energije dobivene regenerativnim kočenjem. Stoga FCEV-ovi ne

zahtijevaju mogućnost priključivanja vozila za punjenje baterije, ali im je za rad potreban vodik kao gorivo. [31] Za razliku od konvencionalnih vozila s motorom s unutarnjim izgaranjem, ova vozila ne proizvode štetne emisije iz ispušne cijevi. Slično kao kod konvencionalnih vozila s motorom s unutarnjim izgaranjem, mogu napuniti gorivo za manje od 4 minute i imaju domet vožnje preko 300 milja (cca 480 km). [25]



Slika 21. Komponente električnog automobila na gorive ćelije (FCEV)

Izvor: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-fuel-cell-electric-cars-work>, [03.03.2022.]

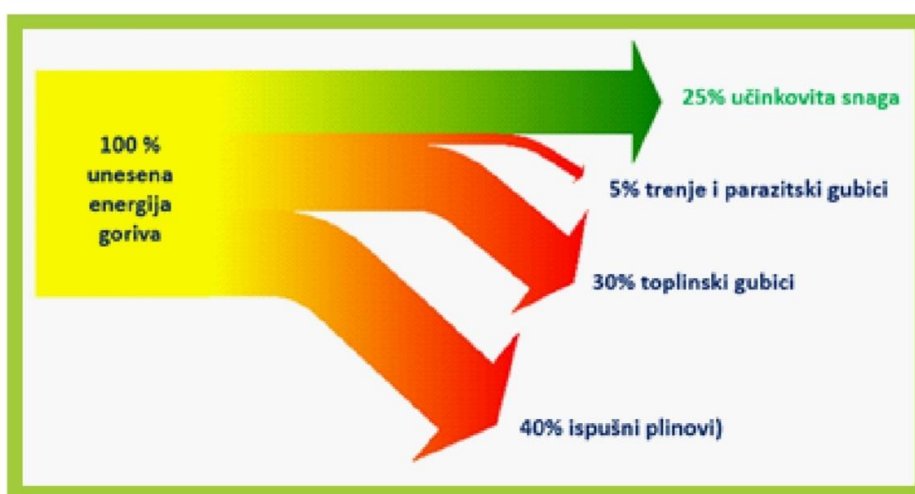
## 2.4. Energetska učinkovitost električnih automobila

Usporedi li se električni pogon i pogon s unutarnjim izgaranjem vidi se da električni motor daje vozilu trenutnu obrtnu silu već od 0 okretaja u minuti, stvarajući snažno i glatko ubrzanje. Još jedna usporedba je vrlo važna, a to je energetska učinkovitost. Dok motor s unutarnjim izgaranjem ima 25 do 30% učinkovitosti, električni motor prenosi preko 90% energije u učinkovitu snagu. Električna vozila su također znatno tiša od vozila pokretanih motorom s unutarnjim izgaranjem. Ona ne emitiraju zagađivanje iz ispušnih cijevi, te tako doprinose velikom smanjenju lokalnog onečišćenja zraka i u mnogim slučajevima smanjenju



stakleničkih plinova i drugih emisija štetnih sastojaka. Količina zagađenja u konačnici ovisi o metodi koja se koristi za proizvodnju električne energije. [3]

Obično konvencionalni benzinski motori učinkovito koriste samo 15% energetskeg sadržaja goriva za kretanje vozila ili za napajanje dodatne opreme, a dok Dizel motori koriste do 20% energetskeg sadržaja goriva. [1] Na Slici 22. je prikazana učinkovitost Otto motora, odnosno prikazana je tipična raspodjela utrošene energije goriva u motorima s unutarnjim izgaranjem gdje se može vidjeti da motor s unutarnjim izgaranjem od 100% unesene energije goriva, 25% prenosi u učinkovitu snagu, 5% otpada na trenje i parazitske gubitke, 30% otpada na toplinske gubitke, a najveći udio od 40% otpada na ispušne plinove.



Slika 22. Učinkovitost Otto motora (tipična raspodjela energije goriva u motorima s unutarnjim izgaranjem)

Izvor: Ćurković, T., Fabijanić, T. i dr. (2017.): ELEKTROMOBILNOST – Učenje o elektromobilnosti u okviru projekta „Learning E-Mobility“, Škola za cestovni promet, Zagreb, str. 16.

## 2.5. Doseg električnih automobila na glavnim rutama autocesta

Za mnoge potrošače najvažniji aspekt električnog vozila je koliko daleko mogu putovati s jednim punjenjem. Bilo da se radi o dugim putovanjima na posao ili izvan grada, vozila moraju dosegnuti minimalni prag da bi se u mnogim domaćinstvima smatrala praktičnim. Do 2040. godine predviđa se da će prodaja električnih vozila predstavljati 58 posto prodaje novih automobila, u odnosu na trenutnih samo oko 2,7 posto. No, potpuni prelazak s benzinskih i dizelskih automobila na električne neće biti jednostavan. Prateća

infrastruktura za električna vozila u mnogim zemljama još nije na razini koja bi mogla opskrbljivati veliki broj električnih vozila i, ono najvažnije, domet električnih automobila je nešto na čemu se i dalje mora raditi. Ova infografika (Slika 23.) pokazuje doseg potpuno električnih automobila na poznate tri rute, dvije u SAD-u i jednu u Europi. Kao što pokazuje tablica u nastavku, Teslini dobro poznati modeli daleko su najbolja opcija za vozače dugog domet. [26]



Slika 23. Domet i cijena električnih automobila na glavnim rutama autocesta

Izvor: <https://lider.media/poslovna-scena/tehnopolis/infografika-pogledajte-koji-elektricni-automobili-imaju-najveci-doseg-133359>, [03.03.2022.]

U industriji u kojoj su inovacije i učinkovitost od vitalnog značaja očita je Teslina prednost. Od pristupačnog Modela 3 do luksuznijeg S, osam najboljih električnih vozila s najvećim dometom nose potpis Tesle. Iako Tesla prednjači u ukupnom dometu i kapacitetu baterija, obračun cijene svakog vozila pokazuje da je isplativost daleko konkurentnija među drugim markama. Podjelom maloprodajne cijene s maksimalnim dometom svakog vozila može se dati jasniju sliku učinkovitosti. Vodeći je Chevrolet Bolt, koji ima cijenu od 141,39 američkih dolara po milji. Na drugom je mjestu Hyundai Kona electric s dosegom 144,15 dolara po milji, a slijedi ga Tesla Model 3. Top 10 zaokružuju Nissan LEAF i Tesla Model S. [26]

## **2.6. Prednosti i nedostaci primjene električnih automobila**

U suvremenom dobu cestovni promet se ubrzano mijenja i prilagođava novim gospodarskim, ekološkim i energetske potrebama. Istražuju se mogućnosti primjene novih tehnologija, s naglaskom na razvoju vozila koja su što manje ili potpuno neovisna o nafti kao izvoru energije za pokretanje. Tu se prije svega misli na hibridne i električne automobile. Automobil na električni pogon umjesto motora s unutarnjim izgaranjem ima elektromotor, što mu donosi niz prednosti [8]:

- električna energija je široko dostupna i uključuje proizvodnju iz obnovljivih izvora energije (vjetar, sunce, voda i ostalo);
- pogon električnom energijom smatra se čistijim od pogona motora s unutarnjim sagorijevanjem za 50% iako je i prilikom proizvodnje električne energije došlo do emisije CO<sub>2</sub> u okolinu;
- jednostavnije je smanjiti emisiju CO<sub>2</sub> ugradnjom filtera u elektranama nego u milijunima vozila s unutarnjim sagorijevanjem;
- električna vozila stvaraju manje buke - zvučno zagađenje u odnosu na vozila s unutarnjim sagorijevanjem;
- električni motori ne trebaju kisik za razliku od motora s unutarnjim sagorijevanjem što se posebno može koristiti u podmornicama ili svemirskim vozilima, vozilima za gašenje požara;
- električni motori su mehanički vrlo jednostavni;
- električni motori dosežu korisnost od 90% kroz cijeli raspon brzine vrtnje, lako se upravlja brzinom vrtnje;

- električna vozila koriste regenerativno kočenje što znači da se energija kočenja u pogonskom elektromotoru koji radi u generatorskom režimu rada pretvara u električnu energiju i nadopunjava akumulatore smanjujući ukupnu potrošnju. Ekonomičnost regenerativnog kočenja posebno je izražena u gradskoj vožnji;
- pomoću kontrolera se električnim motorima može upravljati u punom opsegu brzine vrtnje održavajući veliki zakretni moment što omogućava rad bez reduktora i mjenjača za razliku od motora s unutarnjim sagorijevanjem;
- ekonomičnija vožnja i do pet puta u odnosu na vozila s motorima s unutarnjim sagorijevanjem. [24]

Koliko električni automobili imaju prednosti, toliko imaju i mana, barem za sada, dok se još vode kao noviteti na automobilskom tržištu. Loše strane električnih automobila su:

- Visoka cijena - Električni automobili su skupi, iako će se cijene ovih automobila smanjivati kako njihova proizvodnja bude rasla, trenutačno ih rijetko tko sebi može priuštiti. Najjeftiniji električni auto u Hrvatskoj stoji oko 135.000 kn. [27]
- Zamjena baterija - Baterije u električnom automobilu su skupe i možda će se morati zamijeniti više puta tijekom životnog vijeka automobila. [28]
- Doseg - Ono što je jedan od najvećih problema vlasnika električnih vozila jest veća vjerojatnost da će im se baterija potrošiti prije nego što stignu do stanice za punjenje ili do kuće. Stanice za punjenje električnih automobila još se uvijek ne nalaze na svakom kutu pa se onima koji idu na duža putovanja automobil može isključiti na pola puta. Teslin Model X može prijeći 550 kilometara ako se do kraja napuni, ali za njega treba izdvojiti puno novaca, dok dostupniji električni automobili prelaze do 250 km. [27] To može biti problem ako se često ide na duga putovanja. Dostupnost stanica za punjenje može ih učiniti manje prikladnim za takve aktivnosti. [28]
- Vrijeme punjenja - Da bi se spremnik napunio do vrha gorivom kod automobila s motorima s unutarnjim sagorijevanjem potrebno je manje od pet minuta, dok punjenje baterije električnog vozila oduzima puno više vremena. Da bi se do kraja napunila baterija, potrebno je sjediti na stanici za punjenje i do pet sati prije nego što se nastavi dalje s putovanjem. [27]

- Servis i popravak – Električna vozila neće biti lako popravljati u toj mjeri da bi njihovi vlasnici mogli sami izvesti bilo kakve popravke osim promjene gume, žarulje i slično. To znači i da će takva vozila morati biti pouzdanija od konvencionalnih. Kvarovi kod konvencionalnih vozila mogu se riješiti u većini autoservisa, u kratkom roku i po uglavnom prihvatljivoj cijeni. Nijedan privatni servis uglavnom ne zna popraviti moderan električni motor, a nema ni odgovarajuće alate za takve popravke. Dakle, umjesto da se automobil povoljnije popravi u lokalnom servisu, morati će ga se voziti na popravak u ovlaštenu servis. [29]
- Zastarjelost – Razina zastarjelosti bi trebala nadmašiti razinu konvencionalnih vozila, jer bi prema procjenama do 2026. godine baterije trebale postati izvrsne, a vrijeme punjenja također bi se trebalo drastično skratiti. Vrijednost preprodaje takvog automobila može postati značajan teret za vlasnike, jer je pitanje ima li uopće kupaca za električno vozilo staro deset godina? [29]
- Ograničeni resursi litija – Baš kao i nafta, litij je ograničen resurs i zbog povećane potražnje sve je skuplji, a zato će i električnim automobilima rasti dodatno cijena. [29]

### 3. SUSTAV REGENERATIVNOG KOČENJA KOD ELEKTRIČNIH I HIBRIDNIH AUTOMOBILA

Regenerativno kočenje koristi se u vozilima koja koriste električne motore, prvenstveno kod u potpunosti električnih i hibridnih električnih vozila. Jedna od zanimljivijih svojstava električnog motora je da, kada se okreće u jednom smjeru, pretvara električnu energiju u mehaničku energiju koja se može koristiti za obavljanje rada (kao što je okretanje kotača automobila), ali kad se motor okreće u suprotnom smjeru, pravilno dizajniran motor postaje električni generator, pretvara mehaničku energiju u električnu. U tradicionalnom kočionom sustavu disk pločice stvaraju trenje s diskom kočnice kako bi usporile ili zaustavile vozilo. Dodatno trenje se proizvodi između usporavanja kotača i površine ceste. Ovo trenje pretvara kinetičku energiju automobila u toplinu. S regenerativnim kočnicama, s druge strane, sustav koji upravlja vozilom čini većinu kočenja. Kad vozač stane na papučicu kočnice električnog ili hibridnog vozila, električnom motoru dolazi signal kojim se on počinje okretati u suprotnom smjeru čime usporava kotače automobila. Za vrijeme rada u obrnutom smjeru, motor također radi kao električni generator, proizvodi električnu energiju koja se pohranjuje u baterijama vozila. Ova vrsta kočnica radi bolje pri određenim brzinama. Najučinkovitija je u vožnji „kreni-stani“ (Stop-and-Go). Međutim hibridi i potpuno električni automobili imaju i tradicionalne kočnice koje rade na principu trenja, kao vrsta back-up sustava u situacijama u kojima regenerativno kočenje jednostavno neće osigurati dovoljno snage za zaustavljanje. [32]

Postoje dva uvjeta kada dolazi do regeneracije [33]:

1. Kada vozač pritisne papučicu kočnice i
2. Kada vozač otpusti papučicu gasa, ali vozilo se dalje kreće.

U oba slučaja, sustav stvara električnu energiju za punjenje baterije. Vozači mogu vidjeti taj regenerativni učinak na mjeracu napunjenosti vozila, koji ga prikazuje kao energiju koja se kreće od kotača do baterije. Količina električne energije koju sustav proizvodi proporcionalna je razini sile kočenja. To znači da što je jača sila kočenja, to je veća električna energija. U konačnici, količina energije koju sustav „hvata“ ovisi o brzini vozila i trajanju primjene kočnice. Svake godine dolaze novi hibridni ili EV modeli sa sve sofisticiranijim sustavima regenerativnog kočenja, poboljšavajući količinu energije koju ti

sustavi mogu prikupiti i pohraniti. U nekim slučajevima, najnoviji sustavi regenerativnog kočenja mogu povratiti do 70% kinetičke energije koja je inače izgubljena tijekom kočenja . [33] No regenerativni sustav nije dovoljan za zaustavljanje vozila u svakoj situaciji, posebno kada se vozi većim brzinama, i zato svako hibridno ili vozilo na baterije ima i konvencionalne hidraulične kočnice. [34]

### **3.1. Regenerativni krugovi kočenja**

Sofisticirani elektronski krugovi odlučuju u kojem trenutku motori trebaju okrenuti smjer te preusmjeriti električne krugove kako bi proizvedenu električnu energiju od strane motora pohranili u baterije vozila. U određenim slučajevima, energija proizvedena ovim vrstama kočnica pohranjuje se u nizu kondenzatora za kasniju upotrebu. Osim toga, s obzirom na to da vozila koja koriste te vrste kočnica imaju i standardni sustav kočenja, elektronika vozila mora odlučiti koji je kočioni sustav prikladan u kojem trenutku. Budući da se toliko toga kontrolira elektroničkim putem u regenerativnom kočenju, vozaču je čak dana mogućnost odabrati određene pripremne postavke koje određuju kako će vozilo reagirati u različitim situacijama. Na primjer, u nekim vozilima vozač može odabrati da li bi regenerativno kočenje trebalo odmah započeti kad god se vozačeva noga makne s papučice gasa i hoće li sustav kočenja djelovati cijelo vrijeme do potpunog zaustavljanja automobila (brzina 0 km/h) ili će prestati djelovati nešto ranije, dok je automobil još u fazi laganog kretanja. [32]

### **3.2. Regenerativni kontroleri kočenja**

Kontroleri kočnica su elektronički uređaji koji mogu upravljati kočnicama na daljinu, odlučivši kad počinje kočenje, završava i koliko brzo treba primijeniti kočnice. U slučaju vučenja, na primjer, kontrolori kočnica mogu osigurati sredstvo za koordinaciju kočnica na prikolici s kočnicama na vozilu koje radi vuču. Regenerativno kočenje provodi se zajedno s anti-lock kočionim sustavima (ABS), tako da je regenerativno vođenje kočenja slično ABS kontroleru koji prati brzinu rotacije kotača i razliku u toj brzini od jednog kotača u odnosu na drugi. U vozilima koja koriste ove vrste kočnica, upravljač kočnica ne samo da nadzire brzinu kotača, već može izračunati koliko je zakretnog momenta – rotacijske sile – dostupno za proizvodnju električne energije koja se može vratiti u baterije. Tijekom postupka kočenja

kočioni kontroler usmjerava električnu energiju koju proizvodi motor u baterije ili kondenzatore. Osigurava da baterije prime optimalnu količinu energije, ali također jamči da količina novoprodukcije električne energije nije viša nego što baterije mogu podnijeti. Međutim, najvažnija je funkcija odluka upravljačkog sklopa kočnica je li motor trenutno sposoban podnijeti silu potrebnu za zaustavljanje vozila. Ako nije, upravljački sklop kočnica prebacuje radnju kočenja na tradicionalne kočnice koje rade na principu trenja, izbjegavajući moguću katastrofu. U vozilima koja koriste te vrste kočnica, kao i bilo koji drugi dio elektronike na hibridnim ili električnim automobilima, kočioni kontroler čini cijeli regenerativni proces kočenja mogućim. [32]

### **3.3. Nedostatci sustava regenerativnog kočenja**

Osim prirodnog pada učinkovitosti regeneracijskog kočenja pri malim brzinama, tehnologija također pati od brojnih drugih ograničenja. Neka od najznačajnijih uključuju [32]:

- Regenerativno kočenje radi samo na “pogonskim kotačima”;
- Regenerativne kočnice obično ne daju dovoljno sile kočenja u uvjetima brzog zaustavljanja;
- Učinkovitost regenerativnog sustava ograničena je faktorima poput kapaciteta sustava za skladištenje energije;
- Tradicionalni regenerativni sustavi nespojivi su s ne električnim i ne hibridnim vozilima;
- Neki regenerativni sustavi su prisiljeni koristiti dodatno “dinamičko kočenje” koje ne pohranjuje regenerativnu kinetičku energiju.

Još jedan nedostatak nekih regenerativnih kočionih sustava je način na koji on mijenja osjećaj i modulaciju papučice kočnice. Ovisno o vozilu i dizajnu, regenerativne kočnice mogu pružiti osjećaj kao da trenutno ne reagiraju ili ih je teško modulirati za glatko, čisto kočenje i zaustavljanje, odnosno ti osjećaji možda neće potaknuti vozača na povjerenje ili udobnost vožnje. [33]



### 3.4. KERS (eng. Kinetic Energy Recovery Systems)

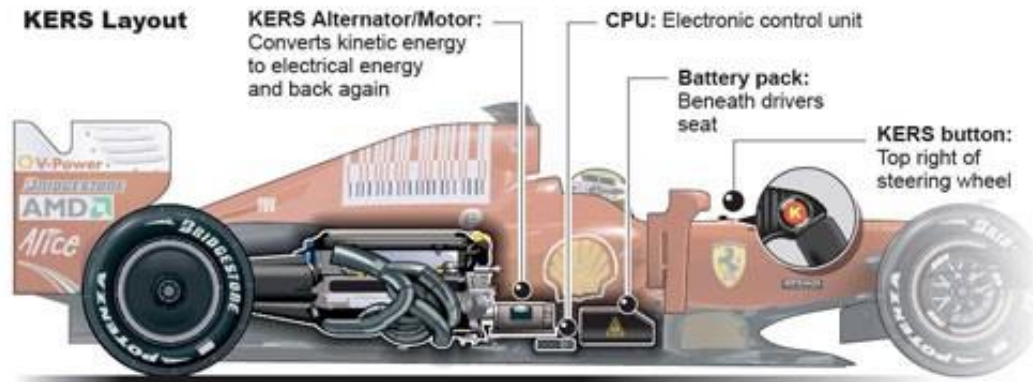
KERS se počeo koristiti u Formuli 1 u sezoni 2009. da bi se godinu kasnije izbacio iz uporabe, a 2011. godine ponovno vratio. [19]

Zakon o očuvanju energije kaže da se energija ne može niti stvoriti niti uništiti, već se umjesto toga može kontinuirano pretvarati u različite oblike. Za bolid Formule 1, to znači da se sva energija koju automobil posjeduje dok postiže brzinu od 200 mph (cca 321 km/h) mora prenijeti na druge oblike energije kada automobil namjerava voziti sporije. Kada automobil koči, ova energija se obično prenosi u toplinsku i zvučnu energiju koja se, za potrebe automobila i njegovog vozača, gubi. Zadatak KERS-a je prikupiti dio ove energije i ponovno je rasporediti u automobil kao dodatnu konjsku snagu. Inicijativu da timovi Formule 1 implementiraju KERS u svoje automobile predvodio je predsjednik FIA-e, upravljačkog tijela za utrke Formule 1. Njegov poticaj bio je poboljšati javnu sliku odnosa Formule 1 s okolišem. Sport se često povezivao s negativnim doprinosom okolišu, a uvođenje KERS-a bio je pokušaj diskreditacije tog ugleda. U vrijeme uvođenja, mnogi proizvođači cestovnih automobila počeli su nuditi hibridne automobile koji su koristili sličan princip za prikupljanje i ponovnu upotrebu energije pa je koncept KERS-a bio onaj koji je javnost mogla brzo razumjeti i cijiniti. [35]

Postoje dvije glavne implementacije KERS sustava i razlikuju se po načinu pohranjivanja energije. Električni KERS koristi elektromagnet za prijenos kinetičke energije u električnu potencijalnu energiju koja se na kraju pretvara u kemijsku energiju koja je pohranjena u bateriji. Zatim ponovno isporučuje pohranjenu energiju u pogon motora. Mehanička implementacija u početku je razvijena od strane Flybrid Systems. Za prikupljanje energije nakon kočenja, sustav koristi energiju kočenja za okretanje zamašnjaka koji djeluje kao rezervoar te energije. Kada je potrebno, ponovna isporuka energije je slična onoj u električnoj implementaciji KERS-a, rotirajući zamašnjak povezan je s kotačima automobila i kada se pozove daje pojačanje snage. Poznato je da je mehanička implementacija KERS-a učinkovitija od električnog ekvivalenta zbog manjeg broja konverzija energije koje se odvijaju. [35]

Očigledna prednost KERS-a je pojačanje koje pruža. KERS pojačanje može vozačima pružiti dodatnih 80 KS, odnosno do 7 sekundi u krugu, odnosno što znači da daje mogućnost snažnijeg ubrzanja. Vozači ga koriste u sporim zavojima kao i na ravninama, a kako bi prije postigli svoju maksimalnu brzinu. Iako bi KERS i dalje mogao osigurati još

više snage za bolide Formule 1, postoji nekoliko razloga zašto trenutni sustavi ne dostižu svoj puni potencijal. Jedna od njih je težina sustava. Bolidi Formule 1 imaju ograničenju maksimalne težine, a komponente mogu težiti do 45 kilograma. Veći zamašnjaci mogu pohraniti i stoga isporučiti više snage, ali to dolazi po cijeni dodatne težine. [35]



Slika 24. Izvedba KERS-a kod vozila Formule 1

Izvor: <https://medium.com/@sakshibose1/kinetic-energy-recovery-system-kers-b5fdac0e76>, [08.03.2022.]

Također, Volvo radi na ispitivanjima KERS-a u serijskim automobilima. Prema njemu nova tehnologija radila bi na načelu da je KERS ugrađen na stražnjoj osovini. Kada bi vozač aktivirao kočnicu energija kočenja pokrenula bi zamašnjak (eng. flywheel) na brzinu okretaja od 60.000 okr/min. Također, motor bi se automatski ugasio preko start/stop sustava jer je snaga unutar zamašnjaka dovoljna da se automobil pokrene preko stražnje osovine kada se kočnica otpusti. Ova tehnologija naročito je korisna kod gradske vožnje kada se često koristi kočnica. Da bi se smanjila masa i povećala mogućnost rotacije zamašnjaka koriste se karbonska vlakna koja rotiraju u vakuumu te na taj način smanjuju gubitak trenja. [19]

## **4. INFRASTRUKTURA I TEHNOLOGIJA PUNJENJA ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA**

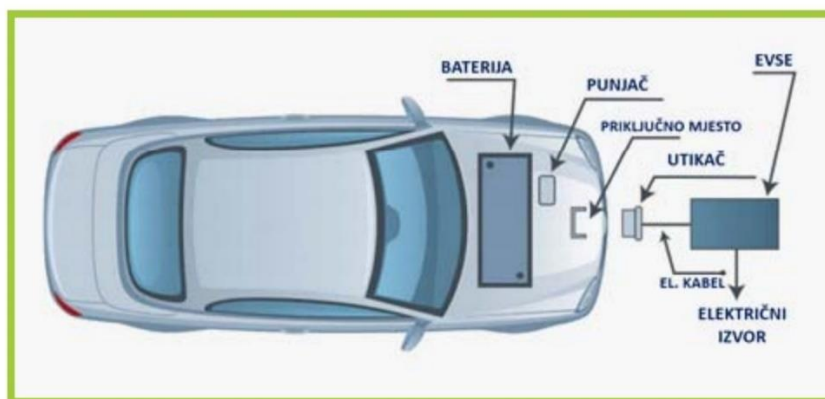
Zbog naglog porasta broja prodanih električnih vozila u posljednjih nekoliko godina, infrastruktura za punjenje električnih vozila je postala glavna tema razgovora o e-mobilnosti. Budući da vlasnici električnih vozila nemaju iste pogodnosti kod „nadopunjavanja gorivom“ kao vlasnici vozila s unutarnjim izgaranjem (nepostojanje jedinstvenog standarda utičnice, manja autonomija kretanja), potreba za širenjem mreže punionica je ključna za daljnji razvoj i širenje e-mobilnosti. [3]

### **4.1. Osnovni podaci o punjenju električnih automobila**

Da bi se u potpunosti razumjela tehnologija punjenja električnih vozila, mora se spomenuti neke pojmove koji se koriste u infrastrukturi punjenja električnih vozila [3]:

- Jedinica za napajanje energijom - uređaj koji osigurava električnu energiju za punjenje. Postoje dvije vrste tih uređaja – kućni i javni. Ovi uređaji se nazivaju oprema za napajanje električnog vozila.
- Priključak za vozila - uređaj koji osigurava fizičku vezu između vozila i opreme za napajanje. Trenutno ne postoji jedinstveni tip priključka, a proizvođači električnih vozila koriste nekoliko standardnih tipova priključaka.
- Priključak na električnom vozilu – ugrađen na električno vozilo, on pruža vezu između priključka i električnog vozila. Isto kao i kod priključka, ne postoji standardni tip ulaza. Kao što ne postoji standardni tip, ne postoji niti standardno mjesto za postavljanje ulaza na vozilu. Većina električnih vozila koristi mjesto na kojem se kod vozila s unutarnjim izgaranjem nalazi poklopac rezervoara za benzin.
- Punjač za baterije – ugrađeni uređaj koji pretvara izmjeničnu struju (AC) u istosmjernu struju (DC) koja je potrebna za punjenje baterije električnog vozila. Punjač baterija nije potreban kada se istosmjerna struja provodi direktno do baterije, ali njegova funkcija je pratiti proces punjenja.
- Baterije električnog vozila – osiguravaju energiju potrebnu za pogon električnih vozila. Isto kao i kod priključaka, trenutno postoji više različitih vrsta baterija koje se razlikuju

po svom kapacitetu energije i masi. Veći kapacitet energije znači veću autonomiju kretanja. Većina električnih vozila danas koristi litij-ionske baterije.



Slika 25. Sustav za punjenje električnog automobila

Izvor: Ćurković, T., Fabijanić, T. i dr. (2017.): ELEKTROMOBILNOST – Učenje o elektromobilnosti u okviru projekta „Learning E-Mobility“, Škola za cestovni promet, Zagreb, str. 28.

## 4.2. Načini punjenja

Ovisno o namjeni punionice postoji nekoliko tipova istih koji mogu zadovoljiti potrebe onoga koji će ih koristiti. [36]

Tablica 2. Načini punjenja električnih automobila

Način punjenja	Glavni priključak	Snaga [kW]	Struja [A]	Intenzitet punjenja po satu	Snaga punjenja
1	AC, 1F	≤ 3,7	10 - 16	< 20 km	niska
2	AC, 1F	3,7 - 22	16 - 32	20 - 110 km	srednja
	AC, 3F				
3	AC, 3F	> 22	> 32	> 110 km	visoka
4	DC	> 22	> 32	> 110 km	visoka

Izvor: Radošević, V., Puzak, D. i Cvitanović, M. (2018.): Tehnički i regulatorni uvjeti priključenja punionica električnih vozila na elektroenergetsku mrežu, 6. (12.) savjetovanje, SO1 – 22, Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konferencije – HO CIRED, Opatija, str. 3.

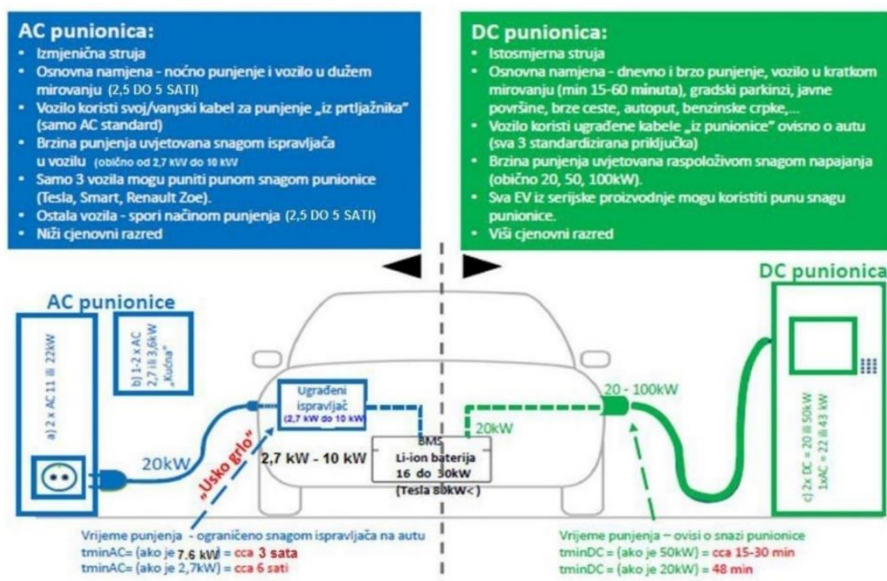
Ovisno o namjeni punionice bira se jedan od sljedećih tipova koji će odrediti vrijeme punjenja baterije električnog vozila [36]:

- Način punjenja 1 - Prvi način punjenja ili sporo punjenje je najčešći način punjenja električnih vozila. U većini slučajeva standardni jednofazni priključak struje 16 A može isporučiti snagu do 3,7 kW. S maksimalnom snagom potrebno je bateriji od 6 do 8 sati da se napuni, što naravno ovisi o kapacitetu baterije. Ovakve punionice se najčešće koriste u kućanstvima gdje ljudi pune svoja vozila preko noći. Prvi tipovi javno dostupnih punionica su bili ovakvog tipa, no iste su sada zamijenjene punionicama većih snaga.
- Način punjenja 2 - Drugi način punjenja ili brzo punjenje skraćuje period potreban bateriji električnog vozila da se napuni. U ovom načinu možemo imati jednofazni priključak snage do 7,36 kW. Vrijeme potrebno bateriji da se napuni je prepolovljeno u odnosu na prvi način punjenja te ono sada iznosi od 3 – 4 sata što ovisi o kapacitetu baterije. Isto tako u ovom načinu moguće je i trofazno punjenje električnog vozila snagom do 22,08 kW čime se vrijeme potrebno za punjenje baterije još smanjuje. Ovaj način punjenja bi mogao postati najčešće upotrebljavan iz razloga što omogućuje relativno brzo punjenje baterije u kratkom periodu.
- Način punjenja 3 - Treći način punjenja ili jako brzo punjenje pruža mogućnost punjenja baterije električnog vozila izmjeničnom strujom do 63 A što iznosi do 43 kW snage. Na ovoj snazi baterija električnog vozila obično se može napuniti do razine od 80% u manje od pola sata, no to uvelike ovisi o ispravljaču na samom vozilu koji može izazvati efekt „uskog grla“ neovisno o dostupnoj AC snazi same punionice. Ovakav model punionica biti će postavljan na onim lokacijama gdje se ljudi kratko zadržavaju, npr. autoceste.
- Način punjenja 4 - Četvrti način punjenja ili brzo punjenje istosmjernom strujom napaja se snagom do 50 kW, a u budućnosti moguće je i više (preko 150kW). Ovakav način punjenja omogućuje dostizanje od 80% kapaciteta baterije za manje od pola sata. Ukoliko se snaga poveća, vrijeme punjenja se još smanjuje.
- Kod punjenja električnih vozila postoji još jedan način punjenja, a radi se o pametnom načinu punjenja automobila.

### **4.3. Vrste e-punionica**

Ovisno o željenom načinu punjenja odabire se i vrsta punionice. Trenutno su na tržištu dostupne AC i DC punionice. AC punionice predviđene se za kućnu upotrebu, komunalne odjele, otvorena i zatvorena parkirališta, trgovačke centre, poslovne centre,

gradske ulice, međugradske ulice, benzinske postaje itd. Dok su DC punionice predviđene isto tako za gradske ulice, međugradske ulice, benzinske postaje, poslovne centre i ostale frekventnije lokacije s kraćim periodom zadržavanja na lokaciji. Glavna razlika koja razlikuje AC i DC punionice je snaga, a o njoj ovisi i brzina punjenja. Tako brzina punjenja kod AC punionica manjih snaga može biti od 8 do 15 sati, kod AC punionica malo većih snaga od 2,5 do 5 sati dok kod DC punionica do 80% baterije unutar 30 minuta. [36]



Slika 26. Razlika između AC i DC punionica

Izvor: Radošević, V., Puzak, D. i Cvitanović, M. (2018.): Tehnički i regulatorni uvjeti priključenja punionica električnih vozila na elektroenergetsku mrežu, 6. (12.) savjetovanje, SO1 – 22, Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konferencije – HO CIRED, Opatija, str. 4.

Razlika između AC i DC punionica je u tome što AC punionica ne može puniti električno vozilo punom snagom kao što to može DC punionica. Da bi se električno vozilo moglo napuniti AC punionicom potrebno je izmjeničnu struju ispraviti u istosmjernu preko ispravljača. Takav ispravljač se nalazi u automobilu na samome ulazu od glavne utičnice. Samim time što dolazi do ispravljanja struje dolazi se do smanjenja snage koju ispravljač propušta (u ovom slučaju AC punionica na jednom izlazu ima 22 kW, a kroz ispravljač u većini automobila na tržištu može najviše ispraviti od 2,7 kW do 10 kW). Tako dolazimo i do potrebnog vremena za punjenje gdje uzimamo u obzir standardnu veličinu Li-ion baterije od 24 kWh i podijelimo sa 7,6 kW nakon ispravljanja pa dolazimo do cca 3 sata punjenja u najboljem slučaju. Ipak, autoindustrija napreduje i po pitanju AC punjenja, pa se na tržištu sve češće nalaze vozila koja se mogu puniti s barem 22kW AC. Brza DC punionica ima u

sebi ugrađen ispravljač gdje ispravlja i propušta puno veću snagu koju može iskoristiti i tako brže napuniti električno vozilo. Na tržištu trenutno postoje brze punionice kapaciteta 20kW i 50kW. Potrebno vrijeme punjenja standardne baterije kapaciteta 24kWh potrebno je oko 30 – 60 minuta. Brze DC punionice namijenjene su za jako frekventne lokacije poput benzinskih postaja, brze ceste, autoput i drugo. [36]

#### **4.4. Trajanje punjenja**

Trajanje punjenja baterije je pod utjecajem ovih faktora [3]:

- Kapacitet baterije - Što je veći kapacitet baterije, to više treba vremena za punjenje. Različita električna vozila koriste baterije različitih kapaciteta. I to u rasponu od 10 kWh do 90 kWh.
- Načini punjenja - Kao što je objašnjeno ranije, postoje 4 načina punjenja, od kojih svaki ima različito trajanje punjenja. Najsporiji je način 1, koristeći najviše 16 A - 3,7 kW, a najbrži je istosmjerno punjenje načinom 4.
- Stanje napunjenosti (State of Charge - SOC) SOC - je informacija o razini napunjenosti baterije na početku ciklusa punjenja. Što je razina napunjenosti niža, duže će trajati punjenje baterije do 100 %.
- Punjač baterije - Kao što je ranije objašnjeno, električno vozilo je opremljeno ugrađenim punjačem koji pretvara izmjeničnu u istosmjernu struju, i na taj način puni bateriju. Ovi punjači reguliraju kapacitet snage koji se koristi za napajanje postupka punjenja, a oni su ocijenjeni u skladu s tim.





















Učestalost punjenja je direktno povezana s trajanjem punjenja. Vozač ne može utjecati na trajanje punjenja, ali učestalost u cijelosti ovisi o vlasniku električnog vozila. Kao kod vozila s unutarnjim izgaranjem, agresivna vožnja, učestala ubrzanja i jako kočenje troše više “energije” iz baterije, i na taj način je brže prazne. [3]

##### **4.4.1. Prigušivanje**

Treba razumjeti jednu važnu stvar kada se govori o punjenju električnih automobila, a to je da brzina punjenja nije jednaka tijekom cijelog procesa punjenja. Na početku punjenja kada je baterija prazna, punjenje je brže. Kako se baterija sve više puni, struja se smanjuje

te je potrebno više vremena da se u potpunosti napuni baterija. Ova pojava se zove “prigušivanje”, i može se uočiti na oko 80 % popunjenosti baterije, a najuočljivije je na zadnjih 5 %. Neke stanice za punjenje automatski zaustave postupak punjenja čim baterija dosegne 80 %. [3]

Tablica 3. Vrijeme potrebno za punjenje svakih 5 % kapaciteta baterije - testirano na modelu Tesla S

Supercharge times for each 5%		
This applies to 60,70, 85 and 90 kWh batteries. They all supercharge to same percentage at the same time.		
0%-5%	02 min 48 sec	
5%-10%	02 min 00 sec	
10%-15%	02 min 06 sec	
15%-20%	02 min 18 sec	
20%-25%	02 min 24 sec	
25%-30%	02 min 36 sec	
30%-35%	02 min 42 sec	
35%-40%	03 min 00 sec	
40%-45%	03 min 06 sec	
45%-50%	03 min 18 sec	
50%-55%	03 min 36 sec	
55%-60%	03 min 54 sec	
60%-65%	04 min 06 sec	
65%-70%	04 min 30 sec	
70%-75%	04 min 54 sec	
75%-80%	05 min 24 sec	
80%-85%	06 min 12 sec	
85%-90%	07 min 18 sec	
90%-95%	09 min 54 sec	
95%-100%	32 min 54 sec	

Izvor: Ćurković, T., Fabijanić, T. i dr. (2017.): ELEKTROMOBILNOST – Učenje o elektromobilnosti u okviru projekta „Learning E-Mobility“, Škola za cestovni promet, Zagreb, str. 37.

Na Tablici 3. može se vidjeti kako to izgleda u praksi. Jedan vlasnik Tesla modela S mjerio je vrijeme potrebno za punjenje svog električnog automobila. Produljenje vremena potrebnog za punjenje svakih 5 % je vidljivo kako se baterija približava 100 % napunjenosti, a posljednjih 5 % kapaciteta puni se 16 puta dulje od prvih 5 %. [3]

#### 4.5. Trošak punjenja

Kada govorimo o trošku punjenja, postoji nekoliko čimbenika koji moraju biti navedeni. Prije svega, postoje dvije vrste troškova koji se pojavljuju. Prvi se pojavljuje samo jednom, i ne traži se od vlasnika električnog vozila. Ovo je trošak nabave i instaliranja



opreme za napajanje električnog vozila (EVSE). Kao što je navedeno, to nije obavezan trošak, jer vlasnici električnih vozila mogu koristiti kućnu utičnicu za punjenje električnih vozila. Drugi trošak je korištenje energije. Za kućno punjenje trošak punjenja se izračunava tako da se broj kWh potrošenih za 100 prijeđenih kilometara pomnoži s iznosom cijene kWh. To znači da ako električno vozilo ima bateriju od 30 kWh s dosegom od 150 km, 20 kWh potrebno je za putovanje od 100 km. Trošak za 100 km putovanja je cijena uporabe 20 kWh u kućanstvu. Za javno punjenje je ovo malo drugačije. Svaka komercijalna tvrtka koja instalira punjače električnih vozila za javnu upotrebu može sama odlučiti o vlastitom sistemu naplate. To znači da javni punjači mogu primati kovanice, papirnati novac ili kreditne kartice za plaćanje, ili se može koristiti plaćanje mobitelom, RFID identifikacijom itd. Cijena punjenja se može utvrditi potrošenim kWh, količinom vremena potrošenog za punjenje ili paušalnim plaćanjem unaprijed ili kasnije. Također, punjenje može biti besplatno u nekim slučajevima. Ovo se posebno odnosi na punjače električnih vozila u vlasništvu tvrtki koje se bave opskrbom energije, koje uključuju to punjenje u svoje mjesečne naknade. [3]

#### **4.6. Punionice za e-vozila u RH i EU**

Europsko udruženje proizvođača automobila objavilo je ljestvicu europskih zemalja prema broju punjača za električna vozila na 100 kilometara cesta, kao i tržišne udjele električnih vozila. Najnoviji podaci Europskog udruženja proizvođača automobila (ACEA) pokazuje kako se Hrvatska smjestila otprilike na sredinu europske ljestvice kad je riječ o količini punionica za električna vozila, a kad je riječ o udjelu električnih vozila na cestama, tu smo pri dnu. Generalni je zaključak da u Europi i dalje kronično nedostaje punionica za električne automobile te da postoji nekoliko zemalja u kojima je prosjek ispod jedne na svakih 100 kilometara javne ceste. U 18 zemalja članica EU taj broj je ispod 5, a u samo četiri zemlje postoji više od 10 punjača na 100 kilometara cesta. Takva je situacija u neskladu s politikama EU koje govore da bi se kupci trebali sve brže prebacivati na vozila bez emisija, a u slučaju kada infrastruktura nije dovoljna, onda niti taj prelazak neće biti brz. [37]

Ljestvicu (Tablica 4.) prema broju punionica predvodi Nizozemska, a slijede je Luksemburg, Njemačka i Portugal s dvoznamenkastim brojem punionica na svakih 100 kilometara ceste. Nakon toga slijedi velik broj zemalja, među kojima je i Hrvatska, s jednom do deset punionica. Kod nas ih je, prema ovom izračunu, 2,3, i tu smo bolji od, primjerice, Slovenije i Mađarske, a lošiji od Austrije i Italije. [37]

Tablica 4. Broj punionica za e-vozila na 100 km i udio e-vozila po članicama EU

Zemlja	Broj punionica na 100 km	Udio e-vozila			
Nizozemska	47,5	25,0%	Slovačka	2,0	1,9%
Luksemburg	34,5	11,4%	Slovenija	1,6	3,1%
Njemačka	19,4	13,5%	Španjolska	1,1	4,8%
Portugal	14,9	13,5%	Irska	1,0	7,4%
Austrija	6,1	9,5%	Češka	0,9	2,5%
Belgija	5,5	10,7%	Bugarska	0,8	–
Italija	5,1	4,3%	Estonija	0,7	1,8%
Švedska	5,0	32,2%	Mađarska	0,6	4,7%
Danska	4,4	16,4%	Latvija	0,5	2,7%
Francuska	4,1	11,2%	Rumunjska	0,5	2,2%
Malta	3,4	–	Cipar	0,5	0,5%
Finska	3,3	18,1%	Poljska	0,4	1,9%
HRVATSKA	2,3	1,9%	Grčka	0,2	2,6%
			Litva	0,2	1,1%

Izvor: <https://www.autonet.hr/aktualno/vijesti/u-hrvatskoj-23-punionice-e-vozila-na-100-kilometara>, [11.03.2022.]

Drugi stupac govori o udjelu električnih vozila u pojedinoj zemlji. U Hrvatskoj on iznosi 1,9% (to uključuje i plug-in hibride), i po tome je Hrvatska u donjem domu – manje e-vozila imaju samo Estonija, Litva i Cipar. Zanimljivo je da udio e-vozila nije svugdje u uskoj korelaciji s brojem javnih punionica, pa tako imamo situaciju u kojoj Švedska, Danska, Finska i Irska imaju relativno veći udio električnih vozila na cestama, na kojima ima relativno manje punionica. U Nizozemskoj, Luksemburgu i Njemačkoj, pak, situacija je obratna – tamo broj punionica značajno premašuje udio električnih vozila. [37]

#### 4.6.1. Naplata usluge punjenja električnih automobila u RH

Bitan segment u pogledu razvoja električnih automobila u Hrvatskoj bila je i mogućnost besplatnog punjenja, no ta se mogućnost na određenim punionicama promijenila.

Hrvatska elektroprivreda je od 24. siječnja 2022. godine počela naplaćivati punjenje na javno dostupnim ELEN punionicama (HEP-ova mreža javnih punionica) na nizu lokacija na autocestama. [48]

Naplata počinje na autocesti A1 i to na punionicama: Vukova Gorica, Brinje Istok, Brinje Zapad, Janjče Istok, Janjče Zapad, Zir Istok, Zir Zapad, Kozjak Jug, Kozjak Sjever, Nadin Jug, Nadin Sjever, Prokljan Jug, Prokljan Sjever i Rašćane Gornje. Osim tih dionica punjenje električnih vozila plaćat će se i na autocesti A2 na lokaciji Lepa Bukva, te na autocesti A3 na postajama Spačva, Babina Greda, Dragalić Jug, Gradna Jug, Gradna Sjever, Novska Jug, Novska Sjever, Križ Jug, Križ Sjever, Rastovica, Lučko Jug i Lučko Sjever. Vlasnike električnih vozila naplata očekuje i na autocesti A4, na postajama Ljubeščica Istok i Ljubeščica Zapad, kao i na autocesti A6 na lokacijama Cernik i Lepenica Sjever. [48]

Cijene se razlikuju prema tome koristite li AC ili DC priključke, odnosno superbrzi punjač – tamo gdje on postoji. Naravno, razlike su i prema tome koristiti li se punjač tijekom dana ili noći. Isto tako HEP je propisao, ovisno o tome kakav punjač se koristi, vrijeme korištenja punionice, kao i penalnu kaznu nakon što se navedeno vrijeme premaši. [49]

Tablica 5. Cjenik punjenja na ELEN-ovim punionicama

Tip punjenja	Punjenje na priključcima nazivne snage do 22,1 kW	Punjenje na priključcima nazivne snage od 22,2 kW do 50 kW	Punjenje na priključcima nazivne snage iznad 50 kW
Cijena za kWh u razdoblju više tarife (s PDV-om)*	2,70 kn	3,50 kn	4,95 kn
Cijena za kWh u razdoblju niže tarife (s PDV-om)*	2,31 kn	2,90 kn	4,45 kn
Dozvoljeno trajanje punjenja	180 min	60 min	45 min
Prekoračenje dozvoljenog trajanja punjenja (s PDV-om)	1,00 kn/min	1,00 kn/min	1,00 kn/min

Izvor: <https://www.autonet.hr/aktualno/objavljujemo-pregled-cijena-punionica-elektricnih-automobila-u-hrvatskoj/>, [17.03.2022.]

Prvi je s naplatom krenuo Tifon, kao dio mađarske MOL grupe koji ima punionice koje djeluju pod Plugsee brandom. One su već mijenjale modele naplate, a sada su im malo i kompleksniji. Tako pored toga koriste li se AC ili DC vrstu punjenja, razlikuje se i opcija bržeg DC punjenja, iznad 75 kW (tamo gdje je to moguće). Isto tako cijena ovisi i plaća li se sesiju punjenja na blagajni Tifona ili se to obavlja samostalno putem aplikacije. Nadalje,

tu je razlika dali ste registrirani ili neregistrirani korisnik. Razlika je veća od 26% govori li se o DC punjenju. Nakon 30 minuta punjenja naplaćuju se i dodatne 4 lipe po minuti za daljnje punjenje. Sesija punjenja koju je moguće kupiti na blagajni benzinske punionice je od 20 ili 40 kWh, a kad cijena jednog kWh iznosi 4,5 kn. [49]

Također, i Petrol naplaćuje uslugu punjenja, a cijena punjenja ovisi o tome da li se radi o registriranom ili privremenom korisniku OneCharge aplikacije. Cijena korištenog kWh je 2,99 odnosno 3,5 kn. Nakon 60 minuta korištenja naplaćuje se i 1,1 kn po daljnjoj minuti korištenja punionice. [49]

Iako imaju samo dvije lokacije u Hrvatskoj, brand Ionity se može pohvaliti punjenjem snagom do čak 350 kW, ali i oglašenom cijenom od 5,6 kn/kWh. Ova mreža punionica napravljena je u suradnji BMW grupe, Forda, Daimlera, Volkswagen grupe te Hyundai grupe (Hyundai i Kia), a koji su za svoje korisnike osigurale i različite uvijete korištenja. [49]

Prvi je u građenje mreže punionica krenuo Hrvatski Telekom koji osim što je operater mreže punionica, istovremeno je i pružatelj usluge punjenja za druge vlasnike punionica. Cijene punjenja se dogovaraju u suradnji s vlasnikom punionice, a kreću se od 1,78 kn/kWh do 2,84 kn/kWh ili recimo 1,06 kn po minuti punjenja, sve to govorimo li o DC punjenju. Cijene AC punjenja u pravilu su niže kod svih operatera. [49]

Hrvatska elektroprivreda i dalje će nuditi besplatno punjenje na punionicama koje nisu postavljene na autocestama, ali ne zna se do kada će to biti tako. Također, besplatne će punionice zasigurno i dalje biti popularne kod nekih shopping centara koji time žele privući korisnike električnih vozila da novce potroše kod njih, a ne kod konkurencije koja ne nudi punionice. [49]

#### **4.7. Bežično punjenje električnih automobila**

Električna vozila sve se češće pojavljuju u prometnicama diljem svijeta. Rastom broja električnih vozila, porast će i potražnje za punjenjem tih istih vozila pa je tako sve više onih inovatora koji razmišljaju u smjeru izgradnje ceste koja će moći puniti sva električna vozila. Jednu takvu metodu su u svibnju 2021. godine predstavili i istraživači Sveučilišta Cornell, a koja će se i uskoro testirati na cesti u Detroitu (SAD). “Električna cesta” u mogućnosti je puniti sve vrste električnih vozila; od automobila, autobusa, kombija i kamiona te će induktivnim punjenjem moći puniti vozila bez obzira jesu li u pokretu ili su

parkirani na jednom mjestu. Ovaj proces će funkcionirati prijenosom magnetske frekvencije s metalnih zavojnica ukopanih ispod cesta na posebnim prijemnicima u donjem dijelu EV-a. Ono što je svakako bitno spomenuti, ovom cestom nove generacije moći će prometovati i druga vozila koja nisu električna. [38]



Slika 27. Autocesta s prometnim trakom za bežično punjenje električnih vozila

Izvor: [https://www.boredpanda.com/electric-car-charge-road-highways-england/?utm\\_source=google&utm\\_medium=organic&utm\\_campaign=organic](https://www.boredpanda.com/electric-car-charge-road-highways-england/?utm_source=google&utm_medium=organic&utm_campaign=organic), [11.03.2022.]

Također, Volvo testira novu tehnologiju bežičnog punjenja, poznatu iz svijeta mobilnih uređaja. Punjenje počinje automatski kada se kompatibilno vozilo parkira preko podloge za punjenje ugrađene na ulici, što vozačima omogućuje praktično punjenje bez izlaska iz automobila. Volvo Cars je objavio kako integrira i testira novu tehnologiju bežičnog punjenja u živom gradskom okruženju zajedno s odabranim partnerima, procjenjujući njezin potencijal za buduće električne automobile. Tijekom trogodišnjeg razdoblja, mali vozni park potpuno električnih automobila Volvo XC40 Recharge koristit će se kao taksi od strane Cabonlinea, najvećeg taksi operatera u nordijskoj regiji, a punit će se bežično na postajama u Göteborgu u Švedskoj. Test bežičnog punjenja jedan je od mnogih projekata zacrtanih u okviru strateške inicijative Gothenburg Green City Zone, u okviru koje se određena područja unutar grada koriste kao testne stanice za razvoj održivih tehnologija. [47]

Stanice za punjenje korištene u testu isporučuje Momentum Dynamics, vodeći pružatelj bežičnih sustava električnog punjenja. Punjenje počinje automatski kada se kompatibilno vozilo parkira preko podloge za punjenje ugrađene na ulici, što vozačima omogućuje praktično punjenje bez izlaska iz automobila. Stanica za punjenje šalje energiju kroz podlogu za punjenje, koju preuzima prijemna jedinica u automobilu. Za jednostavno poravnavanje automobila s podlogom za punjenje, Volvo Cars će koristiti svoj sustav kamera od 360 stupnjeva. Za potpuno električne automobile XC40 Recharge, snaga bežičnog punjenja bit će veća od 40 kW, što čini brzinu punjenja oko četiri puta bržom od žičanog punjača od 11 kW AC i gotovo jednako brzo kao žičani brzi punjač od 50 kW DC. [47]

Ukupno će se Volvo automobili koristiti više od 12 sati dnevno i prijeći 100.000 km godišnje, što ujedno čini ovo prvim testom izdržljivosti potpuno električnih Volvo automobila u scenariju komercijalne uporabe. Prošle je godine, odnosno 2021. godine Volvo Cars sudjelovao u pokretanju inicijative Gothenburg Green City Zone, koja ima za cilj postići promet bez emisija do 2030. Korištenje pravog grada kao poligona omogućit će kompaniji da ubrza razvoj tehnologija i usluga u područjima elektrifikacija, zajednička mobilnost, autonomna vožnja, povezanost i sigurnost. [47]



Slika 28. Bežično punjenje parkiranih Volvo XC40 Recharge taxia (Cabonline taxi)

Izvor: <https://www.topgear.com/car-news/future-tech/volvo-testing-out-wireless-electric-car-charging>,  
[17.03.2022.]

## **5. UTJECAJ I DOPRINOS ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA ZAŠTITI OKOLIŠA**

Nagli rast broja automobila u svijetu te velike količine ispušnih plinova doveli su do problema zagađenja okoliša. Diljem cijelog svijeta promet motornih vozila je u porastu. Sektor prometa ujedno je i najznačajniji potrošač energije (preko 30% u strukturi finalne potrošnje), a u budućnosti se očekuje još brži rast potrošnje nego kod ostalih sektora. Gradski promet, osobito korištenje automobila u gradskom prometu predstavlja jedan od najvećih izvora onečišćenja zraka u većim gradovima. Dovođenje kvalitete zraka u I. kategoriju za veće gradove neće biti izvedivo bez velikih zahvata u gradski prometni sustav. Rješenje će se morati tražiti u jačanju javnog gradskog prometa, uvođenju ekološki prihvatljivijih vozila i goriva za javni promet, intenzivnoj promidžbi i edukaciji o ekološki prihvatljivom načinu korištenja vozila - eko vožnji, te promicanju novih koncepata urbane mobilnosti, npr. „car sharing“. [3]

Elektromobilnost je novi koncept mobilnosti u urbanim sredinama koji predstavlja jedan od najučinkovitijih i ekološki najprihvatljivijih prijevoznih oblika, posebno ukoliko se električna energija dobiva iz obnovljivih izvora energije. Cilj elektromobilnosti je pronaći održivu ravnotežu između ljudi, automobila i okoliša. Elektromobilnost ima pozitivan učinak na smanjenje emisija stakleničkih plinova. Studije pokazuju da je ukupni izračun emisija stakleničkih plinova za električne automobile mnogo niži od emisije kod konvencionalnih vozila. Smanjenje CO<sub>2</sub> iznosi od 11% do 100% ukoliko je električna energija kojom punimo automobil proizvedena iz obnovljivih izvora. [3]

### **5.1. Onečišćenje zraka u gradovima**

Kroz povijest razvoja gradova ljudi su se uvijek morali prilagoditi uvjetima života koji odudaraju od prirodnih kako bi uživali u dobrobitima koje im pruža život u gradskoj sredini. Istovremeno su pokušavali svesti na najmanju moguću mjeru sve negativnosti koje sa sobom nosi život u mnogoljudnoj zajednici na skučenom prostoru. Razvojem gradova postupno su se rješavali svi glavni problemi s kojima su se njihovi stanovnici susretali, poput opskrbe pitkom vodom i odvodnje. S početkom industrijalizacije gradske sredine su se istovremeno suočile s dva izazova – naglim porastom broja stanovnika i velikim zagađenjem

koje je proizvodio sve veći broj industrijskih postrojenja, kao i rastući broj domaćinstava. U 20. stoljeću ovim uzrocima zagađenja u gradovima možemo pridodati i razvoj prometa koji je do danas poprimio tolike razmjere da je uz industrijska postrojenja postao jednim od glavnih uzročnika zagađenja okoliša. Prometnice oduzimaju znatan dio prostora u gradovima te tako izravno utječu na ionako oskudne površine za druge namjene poput parkova i drugih zelenih površina. Osim što zauzima znatne površine, promet je također izvor znatnog zagađenja bukom, svjetlosti i vibracijama koje dodatno umanjuju kvalitetu života u urbanim sredinama. Uz sve navedeno promet zagađuje tlo, vodu i zrak. Istraživanja su pokazala da u ukupnom onečišćenju zraka udio onečišćenja uzrokovan prometom iznosi 25% od čega većina otpada na cestovni promet. [3]

Onečišćenje zraka postalo je jedan od najvećih problema suvremenog svijeta jer izravno utječe i na stanje okoliša i na ljudsko zdravlje. Budući da se većina industrijskih i prometnih aktivnosti odvija upravo u urbanim sredinama, upravo su to područja u kojima je kvaliteta zraka najlošija. Istovremeno u tim područjima živi i najveći broj stanovnika, stoga loša kvaliteta zraka utječe na zdravlje većine populacije. Danas većina gradskih sredina u Europi i svijetu nema zadovoljavajuću kvalitetu zraka. Čim se poklopi nekoliko parametara (temperatura zraka, vlažnost, smjer i brzina zračnih strujanja...), svjedoci smo zagađenja zraka kataklizmičkih razmjera. [3]

## **5.2. Utjecaj prometa na zagađenje zraka u gradskim područjima**

Iako se u posljednjih nekoliko desetljeća sustavno radi na smanjenju emisije štetnih tvari sagorijevanjem fosilnih goriva u cestovnom prometu, zbog stalnog porasta broja vozila konačni rezultat u smanjenju zagađenja zraka nije bitno bolji. Sa stupnjem razvoja prometa (izgradnja infrastrukture, sredstva prometa te prometovanje) eksponencijalno je rastao i štetan utjecaj prometa na sve sastavnice okoliša (zrak, tlo, vode i dr.). Mnoga od tih onečišćenja neposredno ugrožavaju zdravlje čovjeka, ali i životinjskog i biljnog svijeta. Također, onečišćenja uzrokovana prometom doprinose globalnim klimatskim poremećajima. Cestovni promet, obzirom na svoj obim (broj prevaljenih putničkih kilometara), potrošeno gorivo te prostor zauzet cestovnom infrastrukturom prometna je grana koja najznačajnije onečišćuje okoliš s izravnim negativnim utjecajem na zrak, vode, tlo, biljni i životinjski svijet te ostalim negativnim utjecajima na cjelokupni okoliš. [3]



Utjecaj na zrak [3]:

- izgaranjem tekućih naftnih (manjim dijelom i plinovitih) goriva u zrak se ispuštaju staklenički plinovi, onečišćujuće tvari (različiti štetni, odnosno otrovni plinovi), teški i drugi metali (olovo, bakar, cink, kadmij, krom), pri čemu se utječe na globalnu koncentraciju stakleničkih plinova u troposferi, lokalna onečišćenja (suho i vlažno taloženje), prekogranična onečišćenja (uglavnom kisele kiše), oštećenje ozonskog sloja i dr.

Utjecaj na vode [3]:

- otjecanjem s cesta vode koja sadrži produkte goriva, soli (uglavnom sredstva protiv zaleđivanja kolničkog zastora), otapala, teške metale i dr. utječe se na onečišćenje površinskih i podzemnih voda i povećanje kiselosti u hidrološkim sustavima.

Utjecaj na tlo [3]:

- ispiranjem cesta kišom i vjetrom nošenom prašinom koja sadrži produkte goriva, soli, otapala, teških metala i dr., utječe se na onečišćenje tla u gravitacijskom predjelu prometnog puta.
- izgradnjom cestovne i druge prometne infrastrukture zauzima se neposredni prostor za ceste i pripadajuću infrastrukturu te barem još toliko površina više nije iskoristivo ili mijenja svoju namjenu.
- cestovna infrastruktura presijeca određene poljoprivredne površine te im umanjuje vrijednost, a često sprječava ranije slobodan pristup tim površinama.

Utjecaj na biljni i životinjski svijet [3]:

- pejzaž se degradira korištenjem materijala za gradnju cesta (kamenolomi i druga pozajmišta materijala), samom gradnjom cesta (usjeci, nasipi, potporni zidovi, mostovi, vijadukti i sl.) i odlaganjem materijala (odlagališta).
- staništa određenih svojiti, osobito životinjskih, presijecaju se izgradnjom cesta, te se na taj način usitnjavaju njihovi životni prostori i time često otežavaju ili u potpunosti onemogućavaju njihovi sezonski migracijski putovi.

Bez fosilnih goriva današnja industrija i promet se teško mogu zamisliti, no zagađenje zbog njihova sagorijevanja djeluje pogubno na zdravlje. Tvari koje zagađuju okoliš nanose veliku štetu ljudima i drugim živim bićima, a onečišćenje zbog sagorijevanja

fosilnih goriva na vodećem je mjestu. Najveći doprinos zagađenju zraka u gradovima daje sagorijevanje goriva za potrebe prijevoza u kojem opet dominira cestovni promet. Ispušni plinovi iz motornih vozila glavni su krivci među raznolikim izvorima zagađenja zraka, jer sadrže brojne otrovne tvari. Kad ih udahnemo, one iz pluća prelaze u krvotok i tako se šire cijelim organizmom. Mnoga oboljenja i smrtni slučajevi mogu se pripisati upravo onečišćenju zraka zbog korištenja fosilnih goriva u cestovnom prometu. Najtoksičnija tvar koju proizvode motorna vozila dok sagorijevaju fosilna goriva je ugljični monoksid. Ulaskom u krv taj spoj smanjuje sposobnost crvenih krvnih zrnaca da prenose i dostavljaju kisik u organe i tkiva. Ostale toksične tvari, kao što je olovo, ometaju proizvodnju crvenih krvnih zrnaca, čime potencijalno dovode do anemije. Olovo može oštetiti i živčani sustav te naškoditi mentalnim funkcijama, kao što su koncentracija i pamćenje. Benzen, dušični dioksid i sitne toksične čestice mogu izazvati štetu na koštanoj srži i na imunitetnom sustavu. Tako je, primjerice, pronađena veza između benzena i leukemije, osobito nakon dulje izloženosti tom spoju. Policiklični ugljikovodici, koji također nastaju izgaranjem fosilnih goriva u motorima s unutarnjim sagorijevanjem, imaju pak potencijalno karcinogeno djelovanje na djecu, novorođenčad i trudnice. [3]

### **5.3. Električni automobili i okoliš**

Glavno pitanje koje se danas postavlja glasi: Jesu li električni automobili u potpunosti ekološki, odnosno zagađuju li okoliš? Električni automobili tijekom korištenja ne emitiraju štetne plinove i mogu se smatrati ekološkima, dok hibridna vozila emitiraju znatno manju emisiju nego vozila s konvencionalnim pogonom, pa ukupno gledano ova vozila znatno manje zagađuju okoliš od automobila pokretanih benzinskim ili dizelskim motorom, te danas predstavljaju jedina tehnološka rješenja kojima se mogu postići zadani ciljevi smanjenja onečišćenja zraka i okoliša. [3]

Trenutno električni automobili u velikom postotku nisu vozila s nultom emisijom štetnih plinova. Prije svega, komponente tih automobila proizvedene su u tvornicama koje se u najvećoj mjeri koriste fosilnim gorivima. Električni automobili koriste električnu energiju koja se još uvijek velikim dijelom dobiva iz ugljena ili prirodnog plina, dakle fosilnih goriva, koja ne spadaju u obnovljive izvore energije, te za potrošenu električnu energiju tijekom vožnje električnih automobila elektrane ispuštaju znatnu količinu štetnih plinova u okoliš. Potrebno je napomenuti da upravo povećana proizvodnja električnih

automobila zahtijeva veću proizvodnju električne energije koja se u velikom postotku dobiva iz ugljena i prirodnog plina, što doprinosi većem zagađenju okoliša. Gledano iz ekološkog aspekta, ugljen je najopasniji izvor energije, a oko 38% generirane električne energije u svijetu dobiveno iz ugljena. [3]

Stručnjaci danas upozoravaju da je jedan od glavnih problema u proizvodnji električnih automobila baterija u kojoj se skladišti električna energija, a za čiju proizvodnju treba utrošiti veliku količinu energije. Najveći problem po završetku radnog vijeka baterije je njeno zbrinjavanje, jer u sebi sadrži opasne elemente i tvari za čije sigurno zbrinjavanje se opet troši energija i oslobađaju se određeni štetni plinovi. Kada je riječ o električnim automobilima, ključ se krije u izvoru energije. Ukoliko je izvor elektrana na ugljen, onda takvi automobili utječu na proizvodnju 3,6 puta više čađe nego oni na benzin, te se za toliko povećava smrtnost uzrokovana zagađenjem zraka. Međutim, ukoliko električni automobil koristi struju iz obnovljivih izvora energije (vjetar, voda, sunce, biomasa) onda može smanjiti smrtnost uzrokovanu zagađenjem zraka za čak 70%. [3]

### **5.3.1. Doprinos smanjenju emisije stakleničkih plinova**

Globalno zatopljenje ili globalno zagrijavanje je postupno zagrijavanje Zemljine površine i najnižih slojeva atmosfere uzrokovano učinkom staklenika, što dovodi i do globalnih promjena klime. Klima se mijenjala i u Zemljinoj prošlosti, no smatra se da sadašnje globalno zagrijavanje nastaje zbog povećanih emisija stakleničkih plinova. Upravo zbog toga se teži smanjenju emisija stakleničkih plinova. [1]

Veliki problem kod benzinskog i dizelskog motora je ispuh koji sadrži oko dvjesto različitih tvari velike otrovnosti (ugljični monoksid, ugljični dioksid, organski spojevi s kisikom (aldehidi i ketoni, karboksilne kiseline), olovni spojevi, produkti nepotpunog sagorijevanja u motoru, razni ugljikovodici, itd.). Kod dizelskog motora dodatni problem u ispuhu je čađa koja se uklanja raznim filterima. [8]

Električni automobili pridonose čistijem zraku u gradovima jer ne ispuštaju štetne tvari u okolinu kao što su: čestice (čađa), hlapivi organski spojevi, ugljikovodici, ugljični monoksid, ozon, olovo, i razni dušikovi oksidi. Koristi od čistog zraka su najčešće lokalne prirode zbog toga što su, ovisno o izvoru električne energije koja se koristi za punjenje akumulatora, emisije štetnih tvari u zrak pomaknute na mjesto proizvodnje električne energije. Kada bi se sva električna energija za punjenje električnih automobila dobila iz

obnovljivih izvora energije (taj scenarij je i moguć) tada bi električni automobili bili u potpunosti bez emisije štetnih plinova. Iako kod njih nema lokalne emisije štetnih plinova (nema ispušnih plinova), kad se uzme u obzir proizvodnja električne energije uslijed koje se stvaraju štetni plinovi, prosječan električni automobil ima ukupnu emisiju od 69 g CO<sub>2</sub> /km. U usporedbi s konvencionalnim automobilima opremljenim motorima s unutarnjim izgaranjem, čija je prosječna emisija CO<sub>2</sub> po prijeđenom kilometru oko 165 g CO<sub>2</sub> /km (IEA procjena stvarnih emisija), evidentna je činjenica da električni automobili opterećuju okoliš gotovo 2,5 puta manje od konvencionalnih automobila. [3]

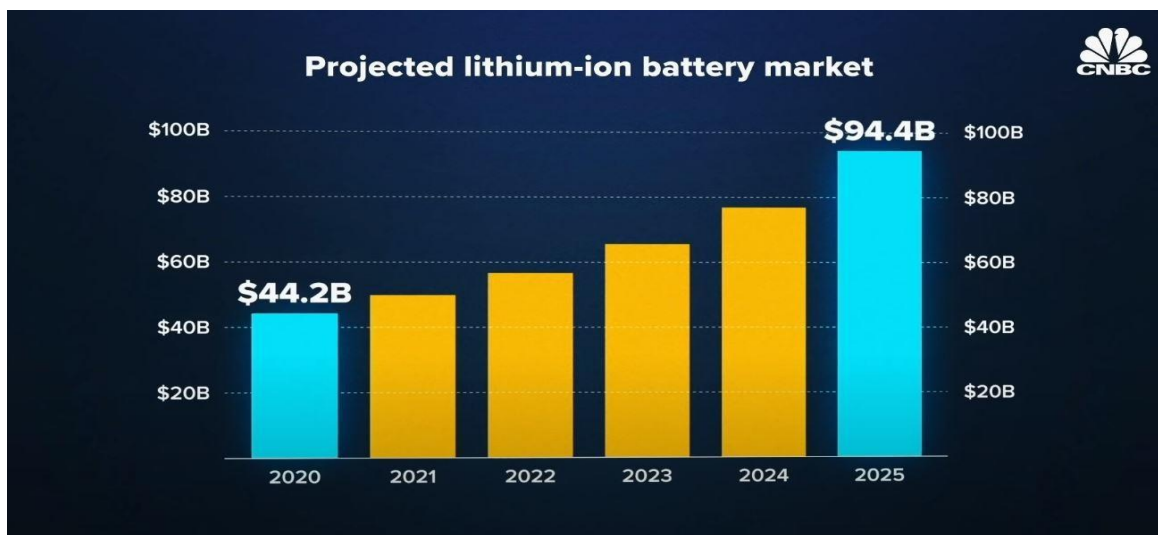
### **5.3.2. Doprinos smanjenju buke u gradskim sredinama**

Električni automobili su jedini transportni oblik koji omogućuje gotovo nultu stopu buke kod korištenja pri maksimalnim brzinama propisanim za gradske sredine. Uvođenjem električnih automobila znatno će se doprinijeti smanjenju opterećenja okoliša bukom, a samim time i većoj kvaliteti života građana. Nulta stopa buke električnih vozila ima jednu negativnu sigurnosnu karakteristiku. Naime, prilikom kretanja električnih automobila gradskim prometnicama javlja se relativni sigurnosni problem za slijepe i slabovidne građane te bicikliste. [3]

Dana 1. srpnja 2019. godine na snagu je stupila odredba EU prema kojoj nova električna vozila neće na području Unije moći proći homologaciju ako su pretiha. Točnije rečeno, sva vozila koja pri malim brzinama kretanja ne proizvode dovoljno buke i samim time su manje čujna od vozila na klasični pogon, morat će imati ugrađen sustav zvučnog upozorenja (AVAS). Sustav AVAS automatski proizvodi zvuk u najnižem rasponu brzine vozila od pokretanja vozila do brzine od približno 20 km/h te pri vožnji unatrag. Ako je vozilo opremljeno motorom s unutarnjim sagorijevanjem koji radi u prethodno navedenom rasponu brzine vozila, sustav AVAS ne proizvodi zvuk. Za vozila koja imaju uzvratni zvučni uređaj za upozorenje nije potrebno da sustav AVAS proizvodi zvuk pri vožnji unatrag. Zvuk koji proizvodi sustav AVAS trebao bi biti neprekinuti zvuk koji pruža informaciju pješacima i drugim sudionicima u prometu o vozilu u vožnji. Zvuk bi trebao jasno pokazivati ponašanje vozila i trebao bi zvučati slično zvuku vozila iste kategorije opremljenog motorom s unutarnjim izgorijevanjem. Isto tako, trebao bi jasno pokazivati ponašanje vozila: na primjer, automatskom varijacijom razine zvuka ili sinkronizacijom s brzinom vozila. [53]

### 5.3.3. Recikliranje baterija električnih automobila kao eko rješenje

Baterije predstavljaju najveću komponentu troškova električnih vozila, stoga bi recikliranje kao eko opcija moglo u velikoj mjeri sniziti njihove cijene. Zalihe sirovina koje ulaze u baterije nisu baš toliko velike, a u sljedećih nekoliko godina upravo bi po tom pitanju moglo doći do problema. Nema se dovoljno materijala u opskrbnom lancu da bi se danas sve izgradilo. Puno više ulaganja mora pronaći svoj put do vrha prehrambenog lanca kako bi se utvrdilo odakle će potrebiti materijali za baterije doći, kao što je ulaganje u nove rudnike, u rafiniranje i u recikliranje. Recikliranje i mogućnost učinkovite upotrebe potrebitih materijala može osloboditi dio tereta potrebe za novim rudnicima. [41]



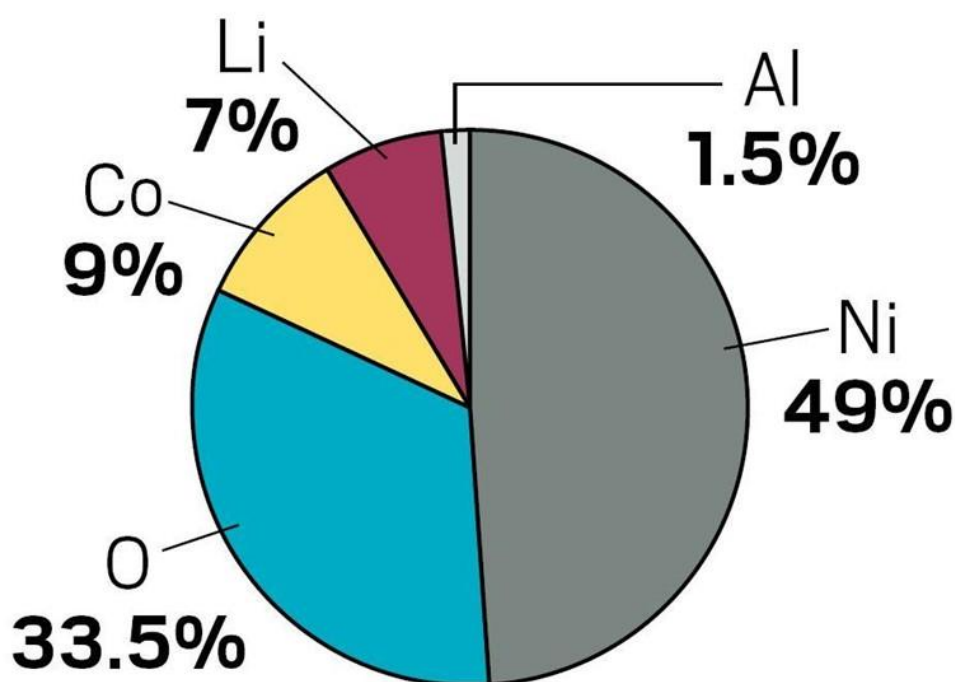
Grafikon 2. Projekcija tržišta litij-ionske baterije

Izvor: <https://www.jutarnji.hr/autoklub/aktualno/litija-za-baterije-elektricnih-auta-nema-u-izobilju-recikliranje-postaje-biznis-i-eko-rjesenje-15070534>, [15.03.2022.]

Drugim riječima, jedino rješenje koje je moguće je osiguravanje da se postojeće baterije recikliraju. Riječ je o metalima koji su veoma izdržljivi i u koje se ulaže mnogo truda kako bi se izvadili iz zemlje. Zaista bi bilo šteta da se ne iskoristi sposobnost starijih ćelija da se stvori sljedeću generaciju električnih automobila. [41]

Litij-ionske baterije se proizvode i još će se više proizvoditi, uz utrošak skupih i rijetkih sirovina, a kad se istroše – što onda? Za razliku od olovnih akumulatora koji se u SAD gotovo potpuno, 100 % recikliraju, udio recikliranih litij-ionskih baterija dvadeset je puta manji i iznosi jedva 5 %. Razlog tomu nije teško dokučiti, olovni se akumulator sastoji

praktički samo od olova (60 %) i sumporne kiseline, a dok se litij ionska baterija sastoji pak od mnogih materijala: grafita, anodnog materijala, elektrolitne otopine, plastike, ljepila... U kemijskom smislu sastoji se od aluminija, litija, kobalta, nikla i bakra, a ponekad u njoj ima mangana i željeza. Od nemetala sadržava pak vodik, kisik, ugljik, fosfor i fluor. Ništa od toga nije za baciti. Kobalt je izuzetno skupa sirovina. Još gore, pola svjetske proizvodnje kobalta odnosi se samo na jednu zemlju, na Kongo, pa promjena političko-ekonomskih prilika može izazvati kaos na tržištu. [42]



Grafikon 3. Kemijski sastav katode litij-ionske baterije

Izvor: <https://www.bug.hr/znanost/kako-reciklirati-litij-ionske-baterije-iz-elektricnih-automobila-18111>,

[15.03.2022.]

Tehnologija recikliranja vatrom vrlo je jednostavna: sav otpad od litij-ionskih baterija se stavi u isti lonac i zagrije na 1500 °C, dok se sve ne rastali. Vatra je jak, ali ne selektivan reagens, pa se taljenjem baterija može spasiti bakar, kobalt, nikel i mangan, ali ne i aluminij, a posebice ne vrlo vrijedan litij, i to iz razloga jer litij i aluminij lako gore, oksidiraju se, pa završavaju u troski i dimu. Drugim su pak putem pošli Kinezi. Njihov se postupak temelji na otapanju metala iz baterija jakim kiselinama (klorovodičnom, sumpornom i dušičnom) uz dodatak vodikova peroksida. Nakon toga se pojedini metali

odvajaju iz otopine te pročišćavaju elektrolizom. Sve se to odigrava na niskim temperaturama, očito nižim od vrelišta vode. Postupak troši manje energije, ne onečišćuje zrak, ali zato onečišćuje vodu. No tehnologija ide dalje. [42]

U Vancouveru su razvili postupak kojim već sada prerađuju kilogram baterijskog otpada na sat bez upotrebe klorovodične kiseline i vodikova peroksida. Najvažniji je reagens sumporov dioksid. Drugi pak istražuju kako bi se baterijske komponente odvajale bez "kemijanja". Tako su znanstvenici iz istraživačkog centra za recikliranje baterija ReCell američkog ministarstva energetike (US Department of Energy, DOE) razvili postupak kojim se baterije prvo izmrve (u atmosferi CO<sub>2</sub> da se ne bi zapalile), a zatim se komponente fizički odvajaju. Prednost tog postupka je da se dobiva gotov materijal za baterije jer se otpad kemijski ne mijenja pri recikliranju. [42]

Dobar primjer je Straubelov Redwood (američka tvrtka za recikliranje litij-ionskih baterija) koja dnevno primi oko 60 tona baterija, i to ne samo od EV-ova, već i od drugih električnih proizvoda. Nakon drobljenja istrošenih baterija, Redwood koristi ogromne strojeve za odvajanje materijala. U stanju je povratiti čak 80 posto litija iz baterije, i do 95 posto ostalih materijala, poput kobalta, aluminijskog, grafita i nikla. Na kraju postupka, oni se pakiraju u bačve, da bi se kasnije isporučili kupcima i iskoristili za nove baterije. Redwood nije jedini "igrač" u recikliranju. Tu je i Li-Cycle, koji pogone za reciklažu ima u Ontariju i New Yorku. Procjene su da bi, samo u Sjedinjenim Američkim Državama, trebalo još barem pet ili šest takvih objekata kako bi se podržala potražnja za električnim automobilima koja se očekuje u sljedećih par godina. Recikliranje je učinkovitije od rudarstva, jer ono troši znatno manje energije, manje vode i manje otrovnih kemikalija. [41]

Zadnji je čas za razvoj tehnologije recikliranja jer će automobili trebati baterije sve više i više. Čak i hibridni automobili ili automobili na vodik, a o kojima se u posljednje vrijeme mnogo govori, moraju imati bateriju, mada manjeg kapaciteta. Računa se da će krajem ovog desetljeća svjetska godišnja proizvodnja litij-ionskih baterija iznositi dva milijuna tona, od čega će se četvrtina odnositi na Kinu. Do 2030. godine trebat će preraditi 11 milijuna tona otpadnih baterija ako ne želimo da iscrpimo prirodne sirovine i još onečistimo okoliš otrovnim smećem (poglavito teškim metalima) uz dizanje cijena litija, kobalta i nikla u "nebo". U rješavanju tog problema sigurno će pomoći kemija, i to kemija vodenog tipa. Ona će uz druge pogodnosti omogućiti recikliranje baterija i u malim pogonima. [42]

### 5.3.4. Električni automobil od održivih materijala

Mercedes-Benz je predstavio novi električni konceptni automobil Vision EQXX koji nudi znatno poboljšanu kilometražu za električni automobil, te interijer izrađen od održivih materijala poput veganske kože na bazi kaktusa i gljiva, što će ga pozicionirati na tržištu kao jednog od najodrživijih automobila na svijetu. Za novi Mercedes Vision EQXX očekuje se da će moći prijeći skoro 1000 km s jednim punjenjem što je duže od svih električnih automobila do sada. Za usporedbu, Toyota Prius može prijeći oko 900 km, a Tesla Model S iz 2020. godine oko 675 km. Osim toga, zanimljivo je i da tvrtka planira opremiti automobilske solarne panele kako bi osigurala dodatnu energiju za električne sustave, uključujući monitor osjetljiv na dodir, svjetla i klima uređaj. [39]



Slika 29. Mercedes-Benz Vision EQXX

Izvor: <https://green.hr/novi-mercedes-vision-eqxx-mogao-bi-biti-najodrziviji-automobil-do-sada/>,

[14.03.2022.]



Kako i priliči zadnjim trendovima u autoindustriji u putničkoj se kabini uvelike koriste održivi materijali, od gljiva do veganske svile. Na vratima, odnosno njegovim ručkama koristi se tzv. Biosteel svilena vlakna. Ova tkanina visoke čvrstoće, temeljena na biotehnologiji i certificirana veganska svilana tkanina dolaze od izumitelja biofabriciranih (prirodno identičnih) vlakana. Kombinirajući revolucionarnu znanost s istinskim ekološkim integritetom, njegova upotreba ovdje je prvi put predstavlja u automobilskom sektoru. Još jedan održivi materijal koji krase unutrašnjost novog koncepta – Mylo. Riječ je o provjerenoj veganskoj kožnoj alternativi napravljenoj od micelija, koji je podzemna struktura gljiva nalik korijenu. Certificirana je na biološkoj bazi, što znači da je napravljena pretežno od obnovljivih sastojaka koji se nalaze u prirodi. Ova potpuno nova kategorija materijala stvorena snagom biotehnologije dizajnirana je tako da bude manje štetna za okoliš i koristi se za dijelove jastuka sjedala. Alternativa koži bez životinja nazvana Deserttex je održivi biomaterijal na bazi kaktusa izrađen od usitnjenih vlakana kaktusa u kombinaciji s održivom poliuretanskom matricom na bazi biologije. U ovoj kombinaciji, kožna alternativa ima iznimno gipku završnu obradu koja je mekana na dodir. Nadolazeće verzije imaju veći sadržaj kaktusa, što ovom materijalu daje potencijal da prepolovi ekološki otisak povezan s konvencionalnom umjetnom kožom. [40]

Na podu, tepisi su izrađeni od 100% bambusovih vlakana. Osim što je brzorastuća i obnovljiva, ova prirodna sirovina nudi iznimno luksuzan izgled i dojam. Mercedes-Benz je odabrao ove održive, inovativne materijale visokih performansi jer oni, i drugi slični njima, imaju potencijal zamijeniti sve vrste naftnih i životinjskih proizvoda koji se trenutno koriste u automobilskoj industriji. Zajedno pokazuju put naprijed za luksuzni dizajn koji čuva resurse i koji je u ravnoteži s prirodom. U konačnici, Vision EQXX uvelike koristi reciklirane otpadne materijale, kao što su reciklirane PET boce koje se koriste u svjetlucavom tekstilu za povećanje površine poda i obloga vrata. Koristi se materijal Dinamica izrađen od 38% recikliranog PET-a kako bi se stvorio efekt omotača koji povezuje gornji rub jednodijelnog zaslona s vratima i oblogom glave. Unutrašnjost također sadrži UHQ materijal, održivu zamjenu za plastiku napravljenu od kućnog i komunalnog otpada. [40]

## **6. ELEKTRIČNI I HIBRIDNI AUTOMOBILI U REPUBLICI HRVATSKOJ**

U Hrvatskoj ima oko 660 punionica i oko 3000 električnih automobila. Očekuje se rast broja automobila, ali u dogledno vrijeme, ali i s binom činjenicom ukidanja besplatnog punjenja na postajama. Počela je naplata električne energije na HEP-ovim punionicama na nizu lokacija na autocestama, dok se na ostalim lokacijama ona i dalje ne naplaćuje. Električni automobili u prosjeku su skuplji od klasičnih, no uz subvenciju države su znatno pristupačniji. Skandinavci voze najviše električnih vozila, a najmanje ih je na Cipru. Kod nas je registrirano oko 4200 električnih i hibridnih vozila s vanjskim punjenjem i imamo malo više od dvije punionice na 100 kilometara tako da je još mnogo prostora da ojačamo to tržište. Baterije za električna vozila i dalje imaju dvije mane: njihov kapacitet i brzina punjenja. Tako da bismo ih doveli u taj rang s klasičnim vozilima, te da bismo ih brzo punili i da ne bismo imali problema s autonomijom, morat ćemo imati veći broj punionica u Hrvatskoj, a što će i bitno utjecati na povećanje broja novih električnih automobila. [46]

### **6.1. Sufinanciranje nabave energetski učinkovitih vozila u RH**

Jedna od ključnih mjera poticanja energetske učinkovitosti u prometu je poticanje korištenja energetski učinkovitih vozila. Prema podacima Energetskog instituta Hrvoje Požar, emisije CO<sub>2</sub> u ukupnom domaćem prometu iznose oko 5,6 milijuna tona, od čega na cestovni promet otpada gotovo 3 milijuna tona. U Hrvatskoj je danas registrirano više od 2 milijuna cestovnih vozila, od čega je gotovo 1,5 milijuna osobnih automobila. Prosječna starost osobnih vozila je više od 12 godina te prosječno osobno vozilo u RH godišnje emitira oko 3 tone CO<sub>2</sub>. Za ilustraciju, hibridno vozilo godišnje emitira 1 tonu CO<sub>2</sub>, dok električna vozila uopće nemaju emisija niti zagađuju okoliš bukom. [43]

S ciljem poticanja čistijeg transporta u Hrvatskoj i smanjenja onečišćenja zraka, 2014. godine je pokrenut projekt Vozimo ekonomično, kroz koji se građanima i tvrtkama dodjeljuju bespovratna sredstva za kupnju energetski učinkovitijih vozila. Od 2014. do 2020. godine je Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost sa 153 milijuna kuna sufinancirao nabavu više od 4.500 energetski učinkovitijih vozila (električnih, hibridnih te plug in hibridnih vozila). Prema podacima Centra za vozila Hrvatske, evidentan je porast

električnih i hibridnih vozila u posljednjih nekoliko godina. U Hrvatskoj je 2012. godine bilo svega 13 električnih automobila, dok ih je u 2020. godini registrirano preko 1.300. [43]

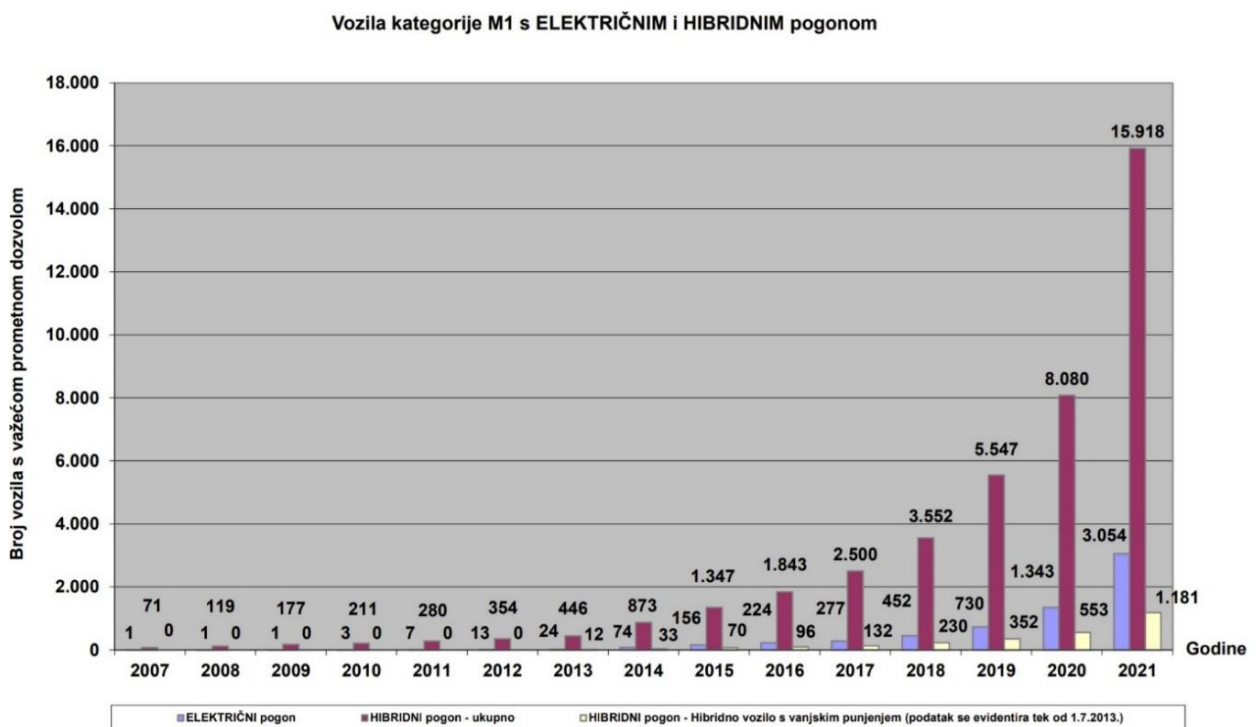
Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost je u 2021. godini osigurao 105 milijuna kuna za sufinanciranje kupnje energetske učinkovite vozila - 90 milijuna za fizičke i pravne osobe te 15 milijuna za javni sektor. Za građane i tvrtke prijavu su podnosili prodavatelji vozila putem prijavne aplikacije Fonda dok će se javni sektor, kao obveznik Zakona o javnoj nabavi, prijavljivati izravno na Javni poziv Fonda. Nakon što je Fond objavio Javni poziv za građane i tvrtke, prodavatelji su putem prijavne aplikacije Fonda korisnike prijavljivali za sufinanciranje. Unosom obveznih podataka prijavitelja i učitavanjem potrebne dokumentacije u sustav, za korisnika se automatski rezervirao dostupan iznos poticaja. Kako bi ostvario pravo na sufinanciranje, kupac u određenom roku mora uplatiti i obvezni minimalni predujam za vozilo, u iznosu od 7% traženih sredstava Fonda. Za fizičke osobe to će maksimalno biti 4.900 kuna, dok je za pravne osobe do 28.000 kuna. [43]

Nabavka vozila se sufinancira s do 40% po vozilu, a maksimalni iznos poticaja ovisi o kategoriji. Za električna vozila L1-L7 kategorije osigurano je do 20.000,00 kuna, za plug-in hibride do 40.000,00 kuna, dok će se za kupnju vozila s električnim pogonom ili čak na vodik moći dobiti do 70.000,00 kuna. Sredstva su dostupna i za vozila N1 kategorije i to plug-in hibridna vozila (do 40.000,00 kuna) te ona s električnim pogonom ili pogonom na SPP, UPP ili vodik, za koja se može dobiti do 70.000,00 kuna. S maksimalno 400.000 kuna sufinanciraju se i vozila kategorije N2, N3, M2, M3 s električnim, „plug-in“ hibridnim pogonom, pogonom na SPP, UPP ili vodik. Građani sufinanciranje mogu ostvariti za jedno novo vozilo, dok tvrtke mogu kupiti i više njih, ali maksimalno mogu dobiti do 400.000 kuna bespovratnih sredstava. I jedni i drugi kupljena vozila moraju zadržati u vlasništvu dvije godine. [43]

## **6.2. Statistika primjene električnih i hibridnih vozila u RH**

Koliko su električna i hibridna vozila popularna i u kojem broju se primjenjuju u Republici Hrvatskoj prikazano je Grafikonom 4. i to za razdoblje od 2007. do 2021. godine za vozila s električnim i hibridnim pogonom te za vozila s hibridnim pogonom s vanjskim punjenjem za koje se podaci evidentiraju tek od 1.7.2013. godine. Grafikon 4. prikazuje broj

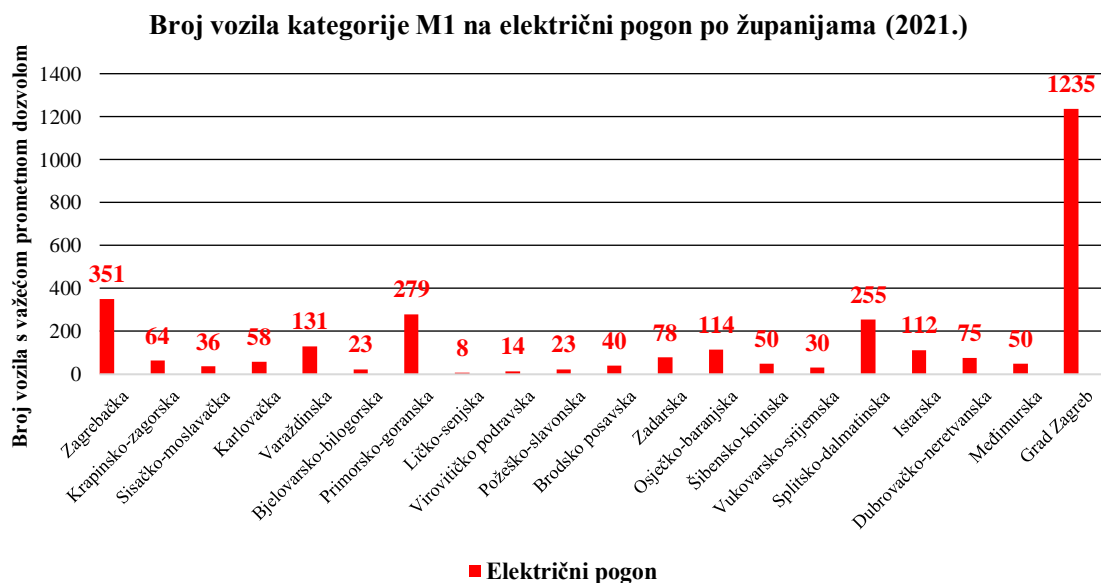
vozila kategorije M1, odnosno motorna vozila za prijevoz putnika koja osim sjedišta vozača imaju najviše 8 sjedišta te koja posjeduju važeću prometnu dozvolu. Prema predočenim podacima može se vidjeti da su najzastupljenija vozila s hibridnim pogonom, a kojih je u zadnjoj, odnosno 2021. godini bilo evidentirano 15.918 u odnosu na 2007. godinu kada je taj broj bio znatno manji, a iznosio je samo 71 vozilo. Broj vozila isključivo sa električnim pogonom i vozila s hibridnim pogonom s vanjskim punjenjem je znatno manje u odnosu na klasične hibridne pogone. Broj vozila sa električnim pogonom je u 2021. godini bilo 3.054, a dok je 2007. godine bilo registrirano tek samo jedno električno vozilo. Najmanje je evidentirano vozila s hibridnim pogonom s vanjskim punjenjem koji je 2021. godine bilo evidentirano 1.181, a dok ih je 2013. godine od kada su se počeli evidentirati bilo samo evidentirano 12 vozila. U konačnici se može se primijetiti da od 2007. pa do 2021. godine sve tri kategorije vozila poprimaju sve veću vrijednost, odnosno vidljiv je eksponencijalni rast.



Grafikon 4. Broj vozila s električnim i hibridnim pogonom kategorije M1 u RH

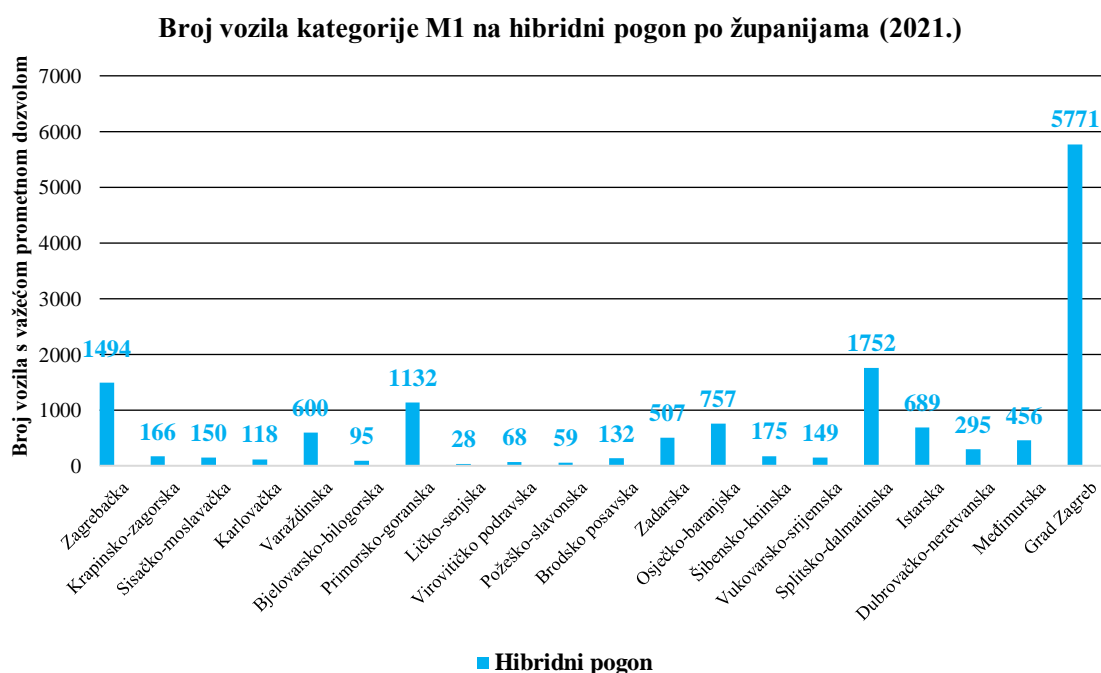
Izvor: <https://www.cvh.hr/gradani/tehnicki-pregled/statistika/>, [15.03.2022.]

Grafikon 5., 6. i 7. prikazuju broj vozila kategorije M1 s električnim pogonom, hibridnim pogonom i broj vozila na hibridni pogon s vanjskim punjenjem i to po županijama za 2021. godinu.



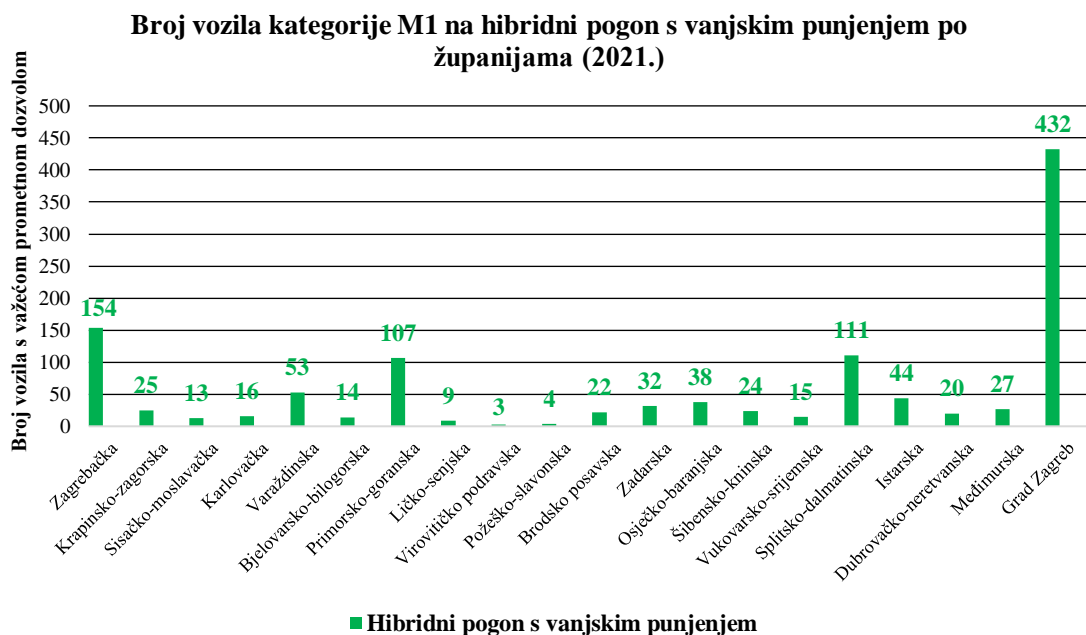
Grafikon 5. Broj vozila kategorije M1 s električnim pogonom po županijama za 2021. godinu

Izvor: obrada autora prema: Centar za vozila Hrvatske (CVH) – statistika 2021., < dostupno na: <https://www.cvh.hr/gradani/tehnicki-pregled/statistika/> >, [16.03.2022.]



Grafikon 6. Broj vozila kategorije M1 s hibridnim pogonom po županijama za 2021. godinu

Izvor: obrada autora prema: Centar za vozila Hrvatske (CVH) – statistika 2021., < dostupno na: <https://www.cvh.hr/gradani/tehnicki-pregled/statistika/> >, [16.03.2022.]



Grafikon 7. Broj vozila kategorije M1 s hibridnim pogonom (s vanjskim punjenjem) po županijama za 2021. godinu

Izvor: obrada autora prema: Centar za vozila Hrvatske (CVH) – statistika 2021., < dostupno na: <https://www.cvh.hr/gradani/tehnicki-pregled/statistika/> >, [16.03.2022.]

Iz Grafikona 5., 6. i 7. može se vidjeti da u pogledu broja vozila na električni i hibridni pogon te vozila na hibridni pogon s vanjskim punjenjem predvodi Grad Zagreb i to sa 1.235 vozila na električni pogon, 5.771 vozila na hibridni pogon te sa 432 vozila na hibridni pogon s vanjskim punjenjem u 2021. godini. U odnosu na Grad Zagreb ostale županije imaju znatno manji broj električni i hibridnih vozila, ali tri se županije izdvajaju s nešto većim brojem vozila, a to su Zagrebačka, Primorsko-goranska i Splitsko-dalmatinska županija, odnosno županije u kojima se nalaze veći gradovi Hrvatske s aspekta broja stanovništva, a to su gradovi Zagreb, Rijeka i Split.

### 6.3. RIMAC automobili

Rimac Automobili osnovani su 2009. godine iz ljubavi prema automobilizmu i s vizijom stvaranja automobila visokih performansi za električnu eru. Danas sa 1300 ljudi su jaka tehnološka “elektrana“ usredotočena na projektiranje, inženjering i proizvodnju električnih hiperautomobila i komponenti za EV visokih performansi za globalnu automobilsku industriju. [44]

Nakon što je 2011. godine pokrenuo Rimac Automobili sa samo nekoliko ljudi, Mate Rimac je prerastao u tvrtku od specijaliziranog proizvođača komponenti u serijsku proizvodnju hiperautomobila. I dalje vođeni njegovom nepokolebljivom težnjom za savršenstvom performansi i nemilosrdnim entuzijazmom, ulaze u novo poglavlje Rimčeve povijesti lansiranjem potpuno novog hiperautomobila Nevera, koji se nastavlja na Concept One. [44]

Nakon premijere prototipa C-Two kojim je hrvatska tehnološka tvrtka impresionirala svijet, Rimac Automobili predstavili su serijsku izvedbu najsnažnijeg i najbržeg električnog automobila na svijetu, koji je dobio i vrlo zvučno ime – Nevera. Osim što nosi ponosno hrvatsko ime, Nevera ima nevjerojatne performanse – 1914 konjskih snaga i 2360 Nm okretnog momenta, ubrzanje od 0-60 mph za 1,85 s i do 300 km/h za samo 9,3 sekunde te maksimalna brzina od 412 km/h. [45]



Slika 30. RIMAC Nevera

Izvor: <https://www.rimac-automobili.com/media/press-releases/rimac-nevera-takes-the-hypercar-market-by-storm/>, [16.03.2022.]

Ključ Neverinih izvanrednih performansi je u jedinstvenom električnom pogonu. Jedinstvenu, tekućinom hlađenu bateriju u obliku slova H sa 6960 ćelija i kapacitetom od

120 kWh, tim Rimac automobila dizajnirao je od nule i smjestio je u samo srce Nevere. Četiri zasebna motora s permanentnim magnetima pojedinačno pokreću sva četiri kotača. Zajedno daju 1914 KS i 2360 Nm okretnog momenta, što je više od superautomobila s “konvencionalnim motorom” kakvih trenutačno ima na tržištu. Prednji i stražnji kotači povezani su s motorima preko prijenosnika s jednom brzinom. Konstruirani su tako da odmah postignu maksimalan okretni moment, a električni motori Nevere postižu učinkovitost od 97% u usporedbi s 40% koliko imaju najučinkovitiji motori s unutarnjim izgaranjem i ne trebaju nikakvo održavanje tijekom cijelog radnog vijeka. [45]

#### 6.4. DOK-ING

DOK-ING je zagrebačka tvrtka u 100% privatnom vlasništvu, utemeljena davne 1991. godine, a koja se primarno bavi proizvodnjom specijalnih strojeva i robota, a korisnik je njihovih proizvoda i američka vojska. Tvrtka je osmislila prvi hrvatski urbani električni automobil s izvrsnim automobilskim izvedbama. Ušli su u projekt “prvog hrvatskog električnog automobila” i 2010. u Ženevi predstavili svoj XD koncept. XD je 2,9 metara dug električni trosjed. Pokreću ga dva elektromotora zajedničke snage 120 KS. Do 100 km/h ubrztava za 7,7 sekundi, a s jednim punjenjem baterija može prijeći i do 200 km. [3]



Slika 31. Električni automobil XD tvrtke DOK-ING

Izvor: <https://www.pinterest.com/MicrocarSource/dok-ing-xd/>, [17.03.2022.]



## 7. SWOT ANALIZA PRIMJENE ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA

U ovom poglavlju diplomskog rada prikazana je SWOT analiza u pogledu primjene električnih automobila. SWOT analiza je prije svega matrica u kojoj se sučeljavaju snage, slabosti, prilike i prijetnje, odnosno kroz SWOT matricu se s jedne strane prepoznaju snage i prilike koje u ovom slučaju treba iskoristiti, odnosno maksimizirati za napredak i poboljšanja u pogledu razvoja i primjene električnih automobila, a dok se druge strane prepoznaju prijetnje i slabosti koje je potrebno za isto minimizirati. Tablica 6. prikazuje SWOT analizu u pogledu primjene električnih automobila.

Tablica 6. SWOT analiza primjene električnih automobila

SWOT analiza	
SNAGE	SLABOSTI
<ul style="list-style-type: none"> <li>— Nema emisije CO<sub>2</sub> kao ni emisija ostalih štetnih ispušnih plinova.</li> <li>— Električni automobili omogućavaju gotovo nultu stopu buke.</li> <li>— Električni motori su mehanički vrlo jednostavni. Ne posjeduju mjenjačku kutiju što uvelike olakšava vožnju i upravljanje.</li> <li>— Imaju nisko težište.</li> <li>— Veća udobnost vožnje zbog njihovog linearnog ubrzanja.</li> <li>— Omogućavaju sigurnu vožnju.</li> <li>— Električni motori dosežu učinkovitost od 90%.</li> <li>— Regenerativno kočenje.</li> <li>— Manji troškovi održavanja (električni automobili imaju puno manje potrošnih dijelova).</li> <li>— Mogućnost punjenja na više lokacija (kod kuće, u garažama, na poslu, u trgovačkom centru, središtu grada...).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Visoka nabavna cijena u odnosu na konvencionalne automobile.</li> <li>— Dugo vrijeme čekanja na punjenje baterije automobila.</li> <li>— Zamjene baterija su skupe. Baterije će se možda morati zamijeniti više puta tijekom životnog vijeka automobila.</li> <li>— Manji doseg u odnosu na konvencionalne automobile. Visoka razina osjetljivosti na promjenu vanjske temperature.</li> <li>— Električni automobili obavezno se servisiraju u ovlaštenim servisima, a ne u lokalnim.</li> <li>— Električni automobili se ne ažuriraju zbog čega su već nakon 10 godina zastarjeli.</li> <li>— Neprikladni za vožnju po zahtjevnim terenima.</li> </ul>
PRILIKE	PRIJETNJE
<ul style="list-style-type: none"> <li>— Električna energija je široko dostupna i uključuje proizvodnju iz obnovljivih izvora energije (sunce, vjetar, voda i ostalo).</li> <li>— Klimatske promjene – “Zelena revolucija”. Sve veći pritisak država na smanjenje emisije stakleničkih plinova.</li> <li>— Pružaju dobrobit za životnu sredinu.</li> <li>— Subvencioniranje energetski učinkovitih vozila.</li> <li>— Apeli za potpuno zamjenjivanje konvencionalnih automobila električnima ili</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Nepovoljni u pogledu očuvanja okoliša ako se električna energija potrebna za pogon dobiva iz ugljena i prirodnog plina.</li> <li>— Nedostatno razvijena infrastruktura e-punionica.</li> <li>— Neizvjesna budućnost besplatnog punjenje EV-a. Početkom 2022. godine Hrvatska započinje s naplatom usluge punjenja na određenim e-punionicama.</li> <li>— Opasnost od konkurencije ostalih alternativnih goriva, naročito vodika. Razlog tomu su</li> </ul>

<p>hibridnim u fazi prijelaza između električnih i konvencionalnih.</p> <p>— Tehnološki napredak.</p>	<p>ograničene zalihe Litija (prevelika eksploatacija šteti okolišu) kao sirovine potrebne za baterije EV-a.</p> <p>— Nedovoljno tvrtki za recikliranje baterija EV-a, a u nekim državama čak i nepostojanje takvih postrojenja.</p> <p>— Razdoblje “dječjih bolesti“ kod uvođenja novih tehnologija.</p> <p>— Pandemija Covid-19. Nestašica elektroničkih sklopova, poluvodiča i čipova uzrokovala određene probleme u plasiranju novih EV-a na tržište.</p> <p>— Socijalno-kulturna konzervativnost ljudi u pogledu primjene novih tehnologija.</p>
---	--

Izvor: Samostalna izrada autora

## 7.1. Snage

Prema Tablici 6. vidljivo je da električni automobili imaju značajan udio SNAGA u pogledu njihove primjene u odnosu na automobile s konvencionalnim pogonima. Konkretno u ovom istraživanju prepoznate snage električnih automobila su: nemaju emisije CO<sub>2</sub> kao ni emisije ostalih štetnih ispušnih plinova, omogućavaju gotovo nultu stopu buke, električni motori su mehanički vrlo jednostavni, odnosno ne posjeduju mjenjačku kutiju što uvelike olakšava vožnju i upravljanje, automobili imaju izrazito nisko težište, pružaju veću udobnost vožnje zbog njihovog linearnog ubrzanja, omogućavaju sigurnu vožnju, elektromotori dosežu učinkovitost od 90% i više, koriste regenerativno kočenje, manji su troškovi održavanja, jer električni automobili imaju manje potrošnih dijelova te imaju mogućnost punjenja na više lokacija (kod kuće, u garažama, na poslu, u trgovačkim centrima, javnim parkiralištima...).

Puno ljudi danas kupuje električne automobile iz razloga jer su puno bolji i učinkovitiji u pogledu zaštite okoliša i smanjenju klimatskih promjena, a upravo iz razloga jer oni ne posjeduju ispušni sustav i stoga nemaju emisije ispušnih plinova te učinkovito smanjuju intenzitet buke. To znači da električni automobili mogu bitno pridonesti poboljšanju kvalitete zraka u gradskim sredinama i na taj način rezultirati smanjenju zdravstvenih problema i oštećenja kod ljudi, ali i flore i faune te također smanjiti troškove uzrokovane zagađenjem zraka.

Elektromotori u odnosu na motore s unutarnjim izgaranjem imaju u znatno širem području brzina vrtnje ravnomjerniji okretni moment, tako da je izostavljena uporaba spojke

i ručnog upravljanog ili automatskog mjenjača. Moguća je i čak vožnja unazad bez mjenjača. Elektromotori se sami pokreću pa nije potreban uređaj za pokretanje. Zbog toga električni automobili u pravilu posjeduju samo reduktor između elektromotora i pogonske osovine. Izborna ručica voznog stupnja slična je ručici mjenjača klasičnog vozila pa vozač ima osjećaj kao da vozi vozilo s klasičnim pogonom. [50]

Svi električni automobili imaju tzv. trenutni okretni moment, a što znači da će vozač uvijek imati snagu nadohvat ruke, odnosno čim pritisne papučicu gasa dobiti će odgovor, tj. povećanje brzine automobila te upravo to ove automobile čini idealnima za gradsku vožnju. Također, njihova prednost je i nisko težište, jer se baterije nalaze u podu automobila što osigurava izvrsnu ravnotežu i raspodjelu težine vozila te jednostavnije i pouzdanije upravljanje tijekom vožnje po zavojima. Ova vrsta automobila koristi i regenerativno kočenje čime se dodatno “štedi energija“, odnosno kada vozilo usporava elektromotor se vrti u suprotnom smjeru te mehaničku energiju pretvara u električnu koja se pohranjuje nazad u bateriju, tj. nadopunjuje se baterija, a što je izrazito korisno u gradskoj vožnji (princip vožnje stani-kreni). Danas većina novih modela električnih automobila koji se javljaju na tržištu dolaze s jako pune dodatne opreme (elektronska pomagala) koja bitno utječe na sigurnost sam vožnje i kretanja vozila, a kojom se pruža dodatna potpora vozaču.

Električni motori dosežu vrlo visoku energetska učinkovitost od 90%, a neki novi modeli čak i više, kao što je primjer RIMAC Nevera koja dostiže energetska učinkovitost od čak 97%. Također, znatno su manji troškovi održavanja, jer automobili imaju vrlo malo potrošnih dijelova u odnosu na konvencionalna kao što je npr. zamjena ulja u motoru, ulja u kočnicama i cjelokupnog kočionog sustava, raznih filtera, remenica i remenja, raznih gumiranih crijeva itd.

Električni automobili se mogu puniti na raznim mjestima te osim isključivo javnih e-punionica, mogu se puniti na radnom mjestu, trgovačkom centru, u garažama, središtima urbanih sredina i kod kuće, a pogotovo kod kuće kada je jeftinija tarifa električne energije, odnosno tijekom noći.

## **7.2. Slabosti**

Pod glavne SLABOSTI električnih automobila svrstavaj se sljedeći čimbenici: visoka nabavna cijena u odnosu na konvencionalne automobile, dugo vrijeme čekanja na

punjenje baterije, zamjena baterija je iznimno skupo, odnosno baterije će se možda morati mijenjati više puta tijekom životnog vijeka automobila, električni automobili imaju manji doseg u odnosu na konvencionalne, obvezno se servisiraju u ovlaštenim servisima, a ne u lokalnim, također električni automobili se ne ažuriraju zbog čega su već nakon 10 godina zastarjeli i neprikladni su za vožnju po zahtjevnim terenima.

Glavna SLABOST u pogledu primjene električnih automobila je njihova visoka nabavna cijena te izrazito visoki početni troškovi u odnosu na automobile pokretane fosilnim gorivima, zbog čega ih si jako puno ljudi ne može priuštiti. Međutim, određene “uštede“ na troškovima goriva, državni poticaji i porezne olakšice mogu na određenom malom nivou nadoknaditi ukupni trošak.

Prosječnom Hrvatu i dalje su EV financijski teško dostupni, uz subvenciju države od 70 tisuća kuna i sniženje kod kupnje u autosalonu od 15 do 20 tisuća kuna, jedan prosječni električni automobil košta oko 130 tisuća kuna. K tome još u ovom trenutku imamo cca 1,9 posto električnih automobila u ukupnom obujmu i ti se automobili mogu puniti na jedan prihvatljiv način. [52]

Također velik problem primjene električnih automobila je i dugo vrijeme punjenja. Punjenje baterije vozila do razine od 100% može trajati i više od 8 sati, ali i s tim da im je čak i na stanicama za brzo punjenje potrebno oko 30 minuta da se napune do cca 80% kapaciteta baterije. Također, još jedan problem koji se javlja kod problema punjenja je i taj da se često na parkirna mjesta namijenjena za punjenje vozila parkiraju vozila koja nemaju tu istu namjeru, a čim se dodatno pogoršava problem trajanja punjenja.

Veliki problem kod električnih automobila je i zamjena baterije koja je izrazito skupa, a koju će se možda morati zamijeniti i više puta tijekom životnog vijeka automobila. Isto tako, problem se javlja i kod servisiranja i popravaka. Nakon nekoliko tisuća kilometara automobil se mora odvesti na servis i upravo tu nastaje problem. Lokalni, odnosno privatni automehaničari u većini slučajeva nisu dovoljno opremljeni da bi mogli servisirati takva vozila, pa vlasnici u većini slučajeva moraju odvesti vozila na servisiranje kod predstavnika proizvođača, a što je vrlo nepovoljno.

Električni automobili imaju manji doseg u odnosu na konvencionalne automobile, odnosno većina dostupnijih električnih automobila imaju doseg u prosjeku između 200 i 300 km, ali postoje i električni automobili koji imaju i veće dosege kao što su pojedini Teslini modeli koji imaju dosege od 450 km pa čak i neki do 650 km u iznimno štedljivom režimu vožnje, ali s tim da su to automobili koji su cjenovno skuplji i teško dostupni za ljude srednje klase kao npr. u Hrvatskoj gdje je vrlo mala kupovna moć. U pogledu dosega, pojedini

proizvođači automobila, kao primjerice Mercedes, razvija koncept električnog automobila koji će imati doseg s jednim punjenjem do čak 1000 km u iznimno štedljivom režimu vožnje te će se izrađivati od održivih materijala koji nisu životinjskog i naftnog porijekla.

Također, veliki negativni utjecaj na doseg vozila je i vanjska temperatura koja vrlo lako može bitno smanjiti prethodno navedene dosege. Suprotno tome konvencionalni automobili imaju doseg od 500 do 800 km, a što prvotno ovisi o veličini rezervoara goriva te načinu vožnje i puno su manje osjetljivi na vanjsku temperaturu u pogledu dosega.

Također, problem kod električnih automobila je i zastarjelost. To znači da industrija za proizvodnju električnih automobila ne radi na ažuriranjima prodanih automobila, a što će u konačnici vrlo vjerojatno rezultirati težom prodajom takvog rabljenog automobila nakon nekih 10-ak godina. Električna automobilska industrija svake godine izbaci novi model vozila s poboljšanim karakteristikama, odnosno stalno se nadograđuju, a sam vrhunac razvoja se tek očekuje. Glavni je problem što se nove nadogradnje i poboljšanja ne mogu ugraditi, odnosno nije ih moguće primijeniti na već prodanim vozilima. Električni automobili su vrlo nepovoljni u pogledu vožnje po nepristupačnim (avanturističkim) terenima zbog male udaljenosti vozila od tla, a čemu je uzrok položaj baterija.

### **7.3. Prilike**

Pod glavnim PRILIKAMA koje su prepoznate u ovom istraživanju u pogledu primjene i razvoja električnih automobila su: električna energija je široko dostupna i uključuje proizvodnju iz obnovljivih izvora energije (sunce, vjetar, voda i ostalo), sve veći pritisak država na smanjenje emisije stakleničkih plinova (klimatske promjene – zelena revolucija), pružaju dobit za životnu sredinu, subvencioniranje energetski učinkovitih vozila, apeli za potpuno zamjenjivanje konvencionalnih automobila električnima, ili hibridnim u fazi prijelaza između električnih i konvencionalnih te na kraju tehnološki napredak.

Glavna PRILIKA za primjenu i razvoj električnih automobila je upravo činjenica da je električna energija široko dostupna i uključuje proizvodnju iz obnovljivih izvora energije kao što su sunce, vjetar, voda i biomasa, odnosno ako se el. energija proizvodi putem tih oblika utjecaj el. automobila na klimatske promjene i zagađenje zraka koji utječe na smrtnost može se smanjiti i do 70%.

Svi novi automobili u Europskoj uniji od 2035. morat će de facto biti električni, prema prijedlogu koji je 2021. objavila Europska komisija u opsežnom paketu (“Fit for 55“) izmjena niza europskih propisa, sve s ciljem smanjenja emisije stakleničkih plinova za 55 posto (u odnosu na 1990.) do 2030. i za 100 posto, tj. do postizanja klimatske neutralnosti do 2050. godine. Prosječna emisija štetnih plinova iz novih automobila morat će do 2030. biti smanjena za 55 posto u odnosu na 1990., a do 2035. za 100 posto, što je de facto zabrana registracije automobila s motorom s unutarnjim sagorijevanjem goriva od te godine. EU je već definirao klimatsku neutralnost do 2050. kao strateški cilj, ali ovo je sada prvi put da se detaljno predlažu mjere kojima će se doći do tog cilja. Električna vozila postajat će iz godine u godinu sve povoljnija opcija u odnosu na vozila koja troše benzin ili dizel jer će EU raznim drugim mjerama, među ostalim i oporezivanjem, čija se reforma također predlaže u paketu, potaknuti “dramatično smanjenje troška vlasništva električnog automobila u usporedbi s konvencionalnim”. Predviđa se i izgradnja pouzdane mreže stanica za punjenje električnih vozila diljem Europske unije i to čak 16,3 milijuna javnih punionica do 2050. godine. Trenutačno u EU ima oko 226 tisuća takvih stanica, ali 70 posto te infrastrukture nalazi se u tri-četiri zemlje sjeverozapadne Europe tako da vlasnik električnog automobila ne zna može li putovati na dalji put u neke nove države članice i pritom biti siguran da neće imati problema s napajanjem po putu. Na pitanje koliko je uopće “čista” električna energija s obzirom na to da se i u procesu njezine proizvodnje događaju znatne emisije ugljikova dioksida, stručnjaci Komisije EU navode da sve analize pokazuju da “čak i s najštetnijim električnim “miksom“ koji sada postoji u Europi, električni automobil emitira manje štetnih plinova od onog koji troši fosilna goriva”. [51]

Hrvatska također provodi mjere u pogledu primjene el. automobila i smanjenja onečišćenja zraka, tj. daje mogućnost subvencioniranja energetski učinkovitih vozila, a iznos subvencije je u 2021. godini iznosio 105 milijuna kuna. Također, u Hrvatskoj lokalne zajednice sve više brinu o onečišćavanju i zagađenju okoliša te bi upravo uvođenje flote el. automobila bilo logično rješenje, a ujedno bi to izazvalo veliki interes u pogledu kupnje takvih vozila od strane ekološki osviještenih građana, kao i potencijal za izgradnju većeg broja parkirnih mjesta i punionica za EV. Također, tu se javljaju i hibridni električni automobili kao dobra prijelazna faza između čistih električnih i konvencionalnih vozila i to iz razloga jer su hibridi na tržištu cjenovno povoljniji, plus još državne subvencije i na taj način su dostupniji građanima. No, hibridni automobili imaju manje baterije pa je samim time i manja ušteda i manji doprinos zaštiti okoliša u odnosu na čiste električne, ali pozitivna činjenica je da pružaju i mogućnost većeg dosega.

Isto tako, uvođenjem flote električnih automobila u Hrvatskoj otvorila bi se mogućnost za otvaranjem novih radnih mjesta u smislu da bi zaposlenici u određenim poduzećima koja bi imala takvu flotu vozila pratili sam rad el. vozila kao i praćenje rada i kapaciteta njihovih baterija, njihovu učinkovitost i ponašanje. Također, ti zaposlenici bi planirali sustave i lokacije za punjenje te rasporede i vremena punjenja takvih vozila, ali i njihove rute kretanja s kojim bi pratili njihovu učinkovitost i radili na dodatnim poboljšanjima. Zaključno, u pogledu prilika, primjena EV-a omogućuje značajan tehnološki napredak za pojedinu državu, odnosno EV vozila konstantno prate napredak tehnologije i upravo zbog toga tehnološkim napretkom istih u budućnosti smanjila bi se njihova nabavna cijena, razvile bi se kvalitetnije baterije većih kapaciteta, a s čime bi se ujedno produžio doseg vozila i smanjilo vrijeme punjenja, a što bi u konačnici kao što je ranije navedeno utjecalo na razvoj i širenje infrastrukture za punjenje te servisa za popravak i njihovo održavanje.

#### **7.4. Prijetnje**

Uz značajne PRILIKE za razvoj i primjenu električnih automobila, u ovom istraživanju prepoznate su i određene PRIJETNJE, a to su: EV su nepovoljni u pogledu očuvanja okoliša ako se električna energija potrebna za pogon dobiva iz ugljena ili prirodnog plina, nedostatno je razvijena infrastruktura e-punionica, neizvjesna je budućnost besplatnog punjenja, postoji opasnost od konkurencije nekih alternativnih goriva (naročito vodika), nepostojanje dovoljnog broja tvrtki ili postrojenja za recikliranje baterija EV-a, razdoblje “dječjih bolesti“ kod uvođenja novih tehnologija te pandemija Covid-19 koja je uzrokovala nestašicu elektroničkih sklopova, poluvodiča i čipova potrebnih za proizvodnju EV-a.

Danas električni automobili za punjenje baterija u većini slučajeva koriste električnu energiju koja se velikim dijelom dobiva iz ugljena ili prirodnog plina, odnosno drugim riječima iz fosilnih goriva koja kao takva ne spadaju u obnovljive izvore energije. U tom pogledu bez obzira što EV kao zasebna jedinica nema emisije štetnih ispušnih plinova, ipak ima ako se el. energija dobiva iz fosilnih goriva i tom energijom se pune njihove baterije onda pak EV nisu bez štetnih emisija, odnosno zagađuju okoliš, a što je ujedno i značajna PRIJETNJA njihovom budućem razvoju. Bez obzira što su neka istraživanja pokazala da i sa proizvodnjom el. energije iz fosilnih goriva EV i dalje manje zagađuju okoliš od vozila na isključivo fosilna goriva, poželjno bi bilo da se električna energija za punjenje njihovih

baterija dobiva iz obnovljivih izvora (vjetar, voda, sunce i biomasa), jer na taj način bi njihov imidž bio značajno bolji te bi ta činjenica više privlačila ekološki osviještene kupce. Velika prijetnja za razvoj i primjenu EV-a je i nedostatan broj e-punionica. Pojedine europske države kao što su Nizozemska (47,5 e-punionica na 100 km), Luksemburg (34,5 na 100 km), Njemačka (19,4 na 100 km) i Portugal (14,9 na 100 km) imaju dobro razvijenu infrastrukturu e-punionica u odnosu na udio e-vozila. U Hrvatskoj je ta situacija znatno lošija iz razloga jer ima samo 2,3 punionice na 100 km što nije dostatno za budući razvoj i primjenu flote EV-a. Također, još jedna loša činjenica je i ta da je Hrvatska početkom 2022. godine počela i s uvođenjem naplate usluge punjenja, ali ne na svim e-punionicama, nego za sad većinom na autocestama. Također, nepovoljan aspekt za razvoj EV-a u RH i ostatku svijeta je i nerazvijena infrastruktura za skladištenje, odnosno zbrinjavanje i recikliranje baterija EV-a, što je danas naročito nepovoljno jer ponestaje sirovina potrebnih za njihovu proizvodnju.

S aspekta inženjerstva u automobilskoj industriji postoji pojam za razdoblje “dječjih bolesti“, odnosno taj pojam ukazuje na to da uvođenje novih tehnologija u početku može imati problema u pogledu kvarova zbog loših materijala, grešaka u elektroničkim sustavima, odnosno općenito grešaka u proizvodnji EV-a. Također, postoji jamstveni rok koji proizvođač daje na svoje proizvode, odnosno u kojem proizvođač garantira popraviti ili zamijeniti pokvareni proizvod. Ali primjerice tvrtke koje imaju veliku flotu EV-a, u tom pogledu mogu se susresti s velikim problemima.

Tijekom pandemije Covid-19 automobilska industrija susrela se s nestašicom, odnosno “korona krizom“ u opskrbi sirovinama kao što su litij, kobalt, grafit i nikal, a koji su ključni za proizvodnju raznih elektroničkih sklopova. Zbog toga je došlo do određenih problema u plasiranju novih EV-a na tržište, odnosno na određenoj razini se poremetio rast njihove prodaje. Kod razvoju EV-a u budućnosti, postoji velika opasnost od konkurencije ostalih alternativnih goriva, a naročito vodika. Razlog tome je što vodik kao alternativno gorivo ne uzrokuje emisije stakleničkih plinova, odnosno njegov jedini nusprodukt je voda i obnovljiv je izvor energije te su zalihe vode velike, a samim time su i zalihe vodika gotovo neiscrpane. Također, razlog zbog čega je vodik prijetnja razvoju EV-a su i ograničene zalihe litija, a ujedno se i njegovom masovnom eksploatacijom šteti okolišu. Naravno, rješenje tog problema je recikliranje baterija, ali kao što je prethodno navedeno, to je jedan od većih problema današnjice u pogledu razvoja EV-a, a na kojem treba ažurno reagirati.

Veliki problem kod primjene električnih automobila može biti i socijalno-kulturna konzervativnost ljudi koji su navikli na vožnju, održavanje i kupnju automobila na konvencionalne pogone i to zbog određene doze straha prema novim tehnologijama, a u



ovom slučaju zbog veće cijene, nedovoljno razvijene infrastrukture, baterije itd., odnosno zbog svega onog što električne automobile čini negativnima, a pritom ne promišljajući o njihovim pozitivnim stranama, ali i negativnim stranama konvencionalnih automobila, naročito u pogledu očuvanja okoliša.

## 8. ZAKLJUČAK

Kroz ovaj diplomski rad moglo se vidjeti da električni automobili imaju brojne prednosti u odnosu na konvencionalne, kako u pogledu konstrukcijskih značajki i performansi, tako i u pogledu zaštite okoliša, ali, isto tako, električni automobili imaju i određene nedostatke u pogledu kapaciteta baterije, nedovoljno razvijene infrastrukture e-punionica i njihove nabavne cijene, tj. generalno gledajući kao najznačajniji nedostatci, ali i ne nerješivi.

Danas konvencionalni automobili, odnosno automobili pokretani benzinskim ili dizelskim motorom ljudima garantiraju mobilnost i to naročito u urbanim sredinama, a što bitno pridonosi zagađenju zraka. Tu upravo na scenu stupaju električni automobili koji zbog izostavljenog ispušnog sustava i motora s unutarnjim izgaranjem imaju nultu emisiju štetnih ispušnih plinova. No, glavni razlog još uvijek njihove nedovoljne primjene je nedostatan kapacitet baterija, ali to je problem koji će se u bližoj budućnosti riješiti. Danas pojedini proizvođači automobila razvijaju nove koncepte EV-a s vrlo velikim dosegima u području između 600 i čak do 1000 km, a u odnosu na dosadašnje čiji su dosezi u prosjeku između 200 i 300 km. No, da bi takvi koncepti zaživjeli na prometnicama u urbanim sredinama potrebno je razviti i pripremiti infrastrukturu potrebnu za njihove punjenje i servisiranje, a gdje naravno mnoge zemlje svijeta bitno zaostaju, kao i Republika Hrvatska. Odnosno, drugim riječima, potrebno je prvotno razviti infrastrukturu za postojeću tehnologiju električnih automobila da bi se nove mogle razvijati i plasirati na tržište. Također, potrebno je razviti i infrastrukturu za recikliranje njihovih baterija iz razloga jer za izradu takvih baterija koriste se određeni elementi iz zemlje koji kao i fosilna goriva nisu neograničeni, a samim recikliranjem bi se ti isti elementi mogli ponovno koristiti za izradu novih baterija.

Isto tako, bilo bi poželjno da se većinski udio električne energije potrebne za punjenje baterija dobiva iz obnovljivih izvora energije kao što sunce, voda, vjetar i ostali, a sve to kako bi njihov učinak na okoliš bio neznatan, premda su neka istraživanja pokazala da kada se i električna energija za EV-ove proizvodi iz fosilnih goriva da je njihov učinak ponovno znatno manji u odnosu na automobile koji koriste fosilna goriva.

Zaključno, električni automobili omogućavaju s jedne strane značajan tehnološki napredak za pojedinu državu, a u konačnici za cijeli svijet iz razloga jer električni automobili konstantno prate napredak tehnologije i upravo zbog toga, tehnološkim napretkom istih u budućnosti smanjila bi se njihova nabavna cijena, razvile bi se kvalitetnije baterije većih

kapaciteta s manjom osjetljivošću na utjecaj vanjske temperature, a s čime bi se ujedno produžio doseg vozila i smanjilo vrijeme punjenja, a na čemu automobilska industrija trenutno radi i razvija nove koncepte. S druge strane električni automobili omogućavaju ekološki napredak, odnosno njihovom primjenom poboljšava se kvaliteta zraka u gradovima, smanjuju se emisije stakleničkih plinova i znatno se smanjuje razina buke. Također, neki proizvođači počeli su sa izradom novih koncepata EV-a koji se izrađuju od održivih materijala, odnosno od biomaterijala, tj. materijala koji nisu životinjskog i naftnog podrijetla, a čime se bitno pridonosi očuvanju okoliša. Budućnost električnih automobila je neupitna, oni su velika alternativa konvencionalnim pogonima i u bližoj budućnosti će najvjerojatnije u potpunosti zamijeniti automobile koji koriste fosilna goriva. Dokaz tomu je prijedlog EU, odnosno opsežni paket propisa Europske komisije “Fit for 55“ prema kojem će se do 2030. godine emisije stakleničkih plinova morati smanjiti za 55% u odnosu na 1990. godinu, a do 2035. godine za čak 100%, a sve to kako bi se postigla klimatska neutralnost do 2050. godine, a što se jedino može postići “doslovnom“ zabranom registracije automobila s konvencionalnim pogonima i uvođenjem velike flote električnih automobila i izgradnjom velike mreže javnih e-punionica.

Sveučilište  
Sjever



IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Mario Čaćić pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor diplomskog rada pod naslovom „Električni automobili i okoliš“ te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student:  
Mario Čaćić

Mario Čaćić  
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Mario Čaćić neopozivo izjavljujem da sam suglasan s javnom objavom diplomskog rada pod naslovom „Električni automobili i okoliš“ čiji sam autor.

Student:  
Mario Čaćić

Mario Čaćić  
(vlastoručni potpis)

## Popis literature

- [1] Višić, A., Brkić, M. i Ćucić, R. (2021.): Model povećanja dostupnosti električnih vozila krajnjim korisnicima, 7. (13) savjetovanje, SO6 – 23, Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konferencije - HO CIRED, Šibenik.
- [2] Šipuš, M. (2018.): Gašenje požara električnih automobila, *Vatrogastvo i upravljanje požarima*, VIII(1-2), str. 45-57. Preuzeto s: <https://hrcak.srce.hr/216962>, (Datum pristupa: 22.02.2022.)
- [3] Ćurković, T., Fabijanić, T. i dr. (2017.): ELEKTROMOBILNOST – Učenje o elektromobilnosti u okviru projekta „Learning E-Mobility“, Škola za cestovni promet, Zagreb.
- [4] Stojkov, M., Gašparović, D. i dr. (2014.): Električni automobil – povijest razvoja i sastavni dijelovi Electric Car – history and components, Strojarski fakultet u Slavanskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod.
- [5] Glavaš, H., Antunović, M. i dr. (2006.): Cestovna vozila na električni pogon, Elektrotehnički fakultet Osijek, Osijek, dostupno na: < [https://www.bib.irb.hr/281150/download/281150.glavas\\_antunovic\\_keser\\_korema\\_v\\_05a.pdf](https://www.bib.irb.hr/281150/download/281150.glavas_antunovic_keser_korema_v_05a.pdf) >, (22.02.2022.)
- [6] UPS BATTERY CENTER.COM (2014.); Robert Anderson (19th Century Scottish Inventor), dostupno na: < <https://www.upsbatterycenter.com/blog/robert-anderson-19th-century-scottish-inventor/> >, (22.02.2022.)
- [7] EV Express Isle of Wight; History of Electric Vehicles, dostupno na: < <https://evexpress.co.uk/history-of-electric-vehicles> >, (23.02.2022.)
- [8] Cvitanović, V., Ćurković, T. i dr. (2014.): ELEKTRIČNIM AUTOMOBILOM U EUROPU - O električnim automobilima i preradi klasičnog automobila u električni u okviru projekta „Europe electric car“, Škola za cestovni promet, Zagreb.
- [9] About se 11 – Kennington Lambeth London UK (2021.); Electric Taxis first seen on the streets of Kennington in 1897., dostupno na: < <https://aboutse11.com/1897-electric-taxis-first-appear-in-kennington/> >, (23.02.2022.)
- [10] UPS BATTERY CENTER.COM (2018.); Arrival of Electric Taxi sin NYC in July 1897, dostupno na: < <https://www.upsbatterycenter.com/blog/arrival-of-electric-taxis-new-york-1897/> >, (23.02.2022.)

- [11] Pech, J. (2019.): HAK Revija – Prvi električni taksi Electrobat na ceste je krenuo prije 125 godina!, dostupno na: < <https://revijahak.hr/2019/04/10/prvi-elektricni-taksi-electrobat-na-ceste-je-krenuo-prije-125-godina/> >, (23.02.2022.)
- [12] Newsroom – The Media Portal by Porsche (2019.): The history of Porsche begins electrically;dostupno na: < <https://newsroom.porsche.com/en/products/taycan/history-18563.html> >, (22.02.2022.)
- [13] BBC News (2014.): First Porsche revealed to be an electric car from 1898.; dostupno na: < <https://www.bbc.com/news/business-25934289> >, (22.02.2022.)
- [14] History.com (2019.); Model T; dostupno na: < <https://www.history.com/topics/inventions/model-t> >, (26.02.2022.)
- [15] Macho.hr (2014.); Prvi automobil Ferdinanda Porschea; dostupno na: < <https://www.macho.hr/2014/01/prvi-automobil-ferdinanda-porschea/> >, (26.02.2022.)
- [16] National Museum of American History (2016.); EV1 Electric Car; dostupno na: < <https://americanhistory.si.edu/exhibitions/ev1-electric-car> >, (26.02.2022.)
- [17] Marušić, Ž. (2019.): Autoportal – Ford Model T (1908.-1927.): motorizirao SAD, jedan od najvažnijih automobila u povijesti, proizveden u 15.007.033 primjeraka; dostupno na: < <https://autoportal.hr/vremeplov/najjaci/ford-model-t-1908-1927-motorizirao-sad-jedan-od-najvaznijih-automobila-u-povijesti-proizveden-u-15-007-033-primjerka/> >, (27.02.2022.)
- [18] Corby, S. (2021.): CarsGuide - Everything you need to know about EV motors; dostupno na: < <https://www.carsguide.com.au/ev/advice/everything-you-need-to-know-about-ev-motors-83885> >, (28.02.2022.)
- [19] Dorotić, I. (2021.): Hibridna vozila (vozila s hibridnim pogonskim sustavom), Stručni bilten broj 140, Centar za vozila hrvatske, Zagreb.
- [20] Jović, M. (2021.): ZE Mobility – Utjecaj vanjske temperature na rad baterije; dostupno na: < <https://www.zemobility.hr/5927/Utjecaj-vanjske-temperature-na-rad-baterije> >, (01.03.2022.)
- [21] SSM United (2020.): Vrste baterija za pogon hibridnih i električnih plovila; dostupno na: < <https://ssm.hr/2020/03/03/vrste-baterija-za-pogon-hibridnih-i-elektricnih-plovila/> >, (01.03.2022.)
- [22] EVgo; Types of Electric Vehicle; dostupno na: < <https://www.evgo.com/ev-drivers/types-of-evs/#40> >, (02.03.2022.)
- [23] Drive Clean; Battery-Electric Cars; dostupno na: < <https://driveclean.ca.gov/battery-electric> >, (02.03.2022.)

- [24] Izrada električnog automobila – električni buggy (2012.-2013.); MESA (Mechatronics in energy saving applications), Tehnička škola Pula; dostupno na: < <https://www.google.com/search?q=Izrada+elektri%C4%8Dnog+automobila%02elektri%C4%8Dni+buggy&oq=Izrada+elektri%C4%8Dnog++automobila%02elektri%C4%8Dni+buggy&aqs=chrome..69i57.952j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8#>, (03.03.2022.)
- [25] Alternative Fuels Dana Center; Fuel Cell Electric Vehicles; dostupno na: < [https://afdc.energy.gov/vehicles/fuel\\_cell.html](https://afdc.energy.gov/vehicles/fuel_cell.html) >, (03.03.2022.)
- [26] Knez, J. (2020.): Lider Media – Infografika: Pogledajte koji električni automobili imaju najveći doseg; dostupno na: < <https://lider.media/poslovna-scena/tehnopolis/infografika-pogledajte-koji-elektricni-automobili-imaju-najveci-doseg-133359> >, (03.03.2022.)
- [27] Index (2020.): Koje su dobre, a koje loše strane električnih automobila?; dostupno na: < <https://www.index.hr/auto/clanak/koje-su-dobre-a-koje-lose-strane-elektricnih-automobila/2162386.aspx> >, (03.03.2022.)
- [28] Martinčević, Z. (2021.): Tportal – Koji električni automobil kupiti? Ovo je sve što trebate znati prije konačne odluke; dostupno na: < <https://www.tportal.hr/autozona/clanak/foto-koji-elektricni-automobil-kupiti-ovo-je-sve-sto-trebate-znati-prije-konacne-odluke-foto-20211025> >, (03.03.2022.)
- [29] Valentak, K. (2019.): Auto start – Loše strane električnih automobila, o kojima se ne govori; dostupno na: < <https://autostart.24sata.hr/magazin/lose-strane-elektricnih-automobila-o-kojima-nitko-ne-govori-6955> >, (03.03.2022.)
- [30] Auto Moto Svijet (2009.): Voltec pogonski sistem; dostupno na: < <https://www.automotosvijet.com/index.php/auto-tehnika/4263-opel-voltec>>, (03.03.2022.)
- [31] Business Standard (2021.): FCEV: New breed of hydrogen-powered electric vehicles India plans to test; dostupno na: < [https://www.business-standard.com/article/current-affairs/fcev-new-breed-of-hydrogen-powered-electric-vehicles-india-plans-to-test-121040100785\\_1.html](https://www.business-standard.com/article/current-affairs/fcev-new-breed-of-hydrogen-powered-electric-vehicles-india-plans-to-test-121040100785_1.html) >, (03.03.2022.)
- [32] Korak u prostor (2019.): Regenerativno kočenje; dostupno na: < <https://korak.com.hr/regenerativno-kocenje/> >, (04.03.2022.)
- [33] J.D. Power (2021.): What is Regenerative Braking?; dostupno na: < <https://www.jdpower.com/cars/shopping-guides/what-is-regenerative-braking> >, (08.03.2022.)

- [34] Driving (2021.): How It Works: Regenerative Braking; dostupno na: < <https://driving.ca/column/how-it-works/how-it-works-regenerative-braking> >, (08.03.2022.)
- [35] Sarkar, A. (2016.): Kinetic Energy Recovery Systems in Formula 1, Submitted as coursework for PH240, Stanford University; dostupno na: < <http://large.stanford.edu/courses/2015/ph240/sarkar1/> >, (08.03.2022.)
- [36] Radošević, V., Puzak, D. i Cvitanović, M. (2018.): Tehnički i regulatorni uvjeti priključenja punionica električnih vozila na elektroenergetsku mrežu, 6. (12.) savjetovanje, SO1 – 22, Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konferencije – HO CIRED, Opatija.
- [37] Autonet (2021.): U Hrvatskoj 2,3 punionice e-vozila na 100 km; dostupno na: < <https://www.autonet.hr/aktualno/vijesti/u-hrvatskoj-23-punionice-e-vozila-na-100-kilometara/> >, (11.03.2022.)
- [38] Modrić, K. (2022.): Greenhr – Prometnice nove generacije: U fazi testiranja prva je javna cesta za bežično punjenje električnih vozila; dostupno na: < <https://green.hr/prometnice-nove-generacije-u-fazi-testiranja-je-prva-javna-cesta-za-bezicno-punjenje-elektricnih-vozila/> >, (11.03.2022.)
- [39] Sarajlić, T. (2022.): Novi Mercedes Vision EQXX mogao bi biti najodrživiji automobil do sada; dostupno na: < <https://green.hr/novi-mercedes-vision-eqxx-mogao-bi-bit-najodrziviji-automobil-do-sada/> >, (14.03.2022.)
- [40] Autonet (2022.): Konceptni Mercedes-Benz Vision EQXX s dosegom većim od 1000 kilometara; dostupno na: < <https://www.autonet.hr/aktualno/premijere/konceptni-mercedes-benz-vision-eqxx-s-dosegom-vecim-od-1000-kilometara/> >, (14.03.2022.)
- [41] Huzjak, K. (2021.): Jutarnji - Litija za baterije električnih auta nema u izobilju: Recikliranje postaje biznis i eko rješenje; dostupno na: < <https://www.jutarnji.hr/autoklub/aktualno/litija-za-baterije-elektricnih-auta-nema-u-izobilju-recikliranje-postaje-biznis-i-eko-rjesenje-15070534> >, (15.03.2022.)
- [42] Raos, N. (2021.): BUG - Kako reciklirati litij-ionske baterije iz električnih automobila; dostupno na: < <https://www.bug.hr/znanost/kako-reciklirati-litij-ionske-baterije-iz-elektricnih-automobila-18111> >, (15.03.2022.)
- [43] FZOEU: Sufinanciranje nabave energetske učinkovitijih vozila; dostupno na: < <https://www.fzoeu.hr/hr/sufinanciranje-nabave-energetski-ucinkovitijih-vozila/7713> >, (15.03.2022.)



- [44] RIMAC automobili; dostupno na: < <https://www.rimac-automobili.com/about-us/> >, (16.03.2022.)
- [45] Miličić, M. (2021.): Večernji – Kako je Rimac proizveo najbrži serijski automobil: Cijena Nevere dva milijuna eura; dostupno na: < <https://www.vecernji.hr/auti/kako-je-rimac-proizveo-najbrzi-serijski-automobil-cijena-nevere-dva-milijuna-eura-1497222> >, (16.03.2022.)
- [46] Bukulin Zlatović, I. (2022.): HRT Vijesti – Električnih vozila više nego dizelaša, uskoro punionice uz bolnice i javne zgrade; dostupno na: < <https://vijesti.hrt.hr/hrvatska/voznja-na-struju-4973790> >, (17.03.2022.)
- [47] Martinčević, Z. (2022.): Tportal.hr - Volvo testira novu tehnologiju bežičnog punjenja, poznatu iz svijeta mobilnih uređaja; dostupno na: < <https://www.tportal.hr/autozona/clanak/foto-video-volvo-testira-novu-tehnologiju-bezicnog-punjenja-poznatu-iz-svijeta-mobilnih-uredaja-20220309/print> >, (17.03.2022.)
- [48] Hina (2022.): Jutarnji.hr - HEP od danas kreće s naplatom punjenja električnih vozila na ELEN punionicama, pogledajte cijene; dostupno na: < <https://www.jutarnji.hr/vijesti/hrvatska/hep-od-danas-krece-s-naplatom-punjenja-elektricnih-vozila-na-elen-punionicama-pogledajte-cijene-15148927> >, (17.03.2022.)
- [49] Cvetković, I. (2022.): Autonet.hr – Objavljujemo pregled cijena punionica električnih automobila u Hrvatskoj; dostupno na: < <https://www.autonet.hr/aktualno/objavljujemo-pregled-cijena-punionica-elektricnih-automobila-u-hrvatskoj/> >, (17.03.2022.)
- [50] Skupina autora (2017.): Tehnika motornih vozila, 30. prerađeno i nadopunjeno izdanje, Pučko otvoreno učilište Zagreb, Hrvatska obrtnička komora, Zagreb.
- [51] Krasnec, T. (2021.): Večernji list – Od 2035. samo električni automobili, do 2050. bez emisije stakleničkih plinova; dostupno na: < <https://www.vecernji.hr/vijesti/od-2035-samo-elektricni-automobili-do-2050-bez-emisije-staklenickih-plinova-1508187> >, (20.03.2022.)
- [52] M. Š. (2021.): HRT Vijesti – Kad će prosječni Hrvat moći kupiti električni automobil?; dostupno na: < <https://vijesti.hrt.hr/gospodarstvo/elektricni-automobili-su-na-granici-nase-dostupnosti-3109828> >, (23.03.2022.)
- [53] Vrbanus, S. (2019.): BUG.hr – Od danas novi tipovi električnih vozila u EU moraju proizvoditi buku; dostupno na: < <https://www.bug.hr/propisi/od-danas-novi-tipovi-elektricnih-vozila-u-eu-moraju-proizvoditi-buku-10246> >, (27.03.2022.)

## Popis slika

Slika 1. Električna kočija, Robert Anderson .....	7
Slika 2. William Morrison u svom EV-u .....	8
Slika 3. Električni automobil "La Jamais Contente" kojim je postignut brzinski rekord 29. travnja 1899. godine .....	9
Slika 4. London Electrical Cab, Taxi Waltera C. Berseya .....	10
Slika 5. Električni automobil Electrobat .....	11
Slika 6. Egger-Lohner C.2 Phaeton (P1) u Porsche muzeju u Stuttgart-Zuffenhausen u Njemačkoj (plastična rezervirana mjesta prikazuju izvorni dizajn) .....	12
Slika 7. Osmerokutni električni motor koji je dizajnirao Ferdinand Porsche .....	13
Slika 8. Lohner-Porsche Semper Vivus, Porsche AG.....	14
Slika 9. Lunar Roving Vehicle "Moon Buggy" .....	16
Slika 10. General Motorsov električni automobil EV1.....	17
Slika 11. Blok-shema elemenata vozila na električni pogon.....	19
Slika 12. Upravljanje toplinom - jedna od najvažnijih stvari u električnom automobilu ....	24
Slika 13. Kontroler motora električnog automobila .....	26
Slika 14. Grijanje kabine pomoću toplinske pumpe u Audiju e-tron 55 quattro.....	28
Slika 15. Princip rada toplinske pumpe .....	29
Slika 16. Baterijski električni automobil (BEV/EV) .....	30
Slika 17. Komponente baterijskog električnog automobila (BEV/EV).....	31
Slika 18. Hibridni električni automobil (HEV) .....	32
Slika 19. Plug-in hibridni električni automobil (PHEV).....	35
Slika 20. Osnovni dijelovi pogonskog sustava Ople Ampere i Chevrolet Volta (Voltec tehnologija).....	38
Slika 21. Komponente električnog automobila na gorive ćelije (FCEV) .....	39
Slika 22. Učinkovitost Otto motora (tipična raspodjela energije goriva u motorima s unutarnjim izgaranjem) .....	40
Slika 23. Domet i cijena električnih automobila na glavnim rutama autocesta .....	41
Slika 24. Izvedba KERS-a kod vozila Formule 1 .....	49
Slika 25. Sustav za punjenje električnog automobila .....	51
Slika 26. Razlika između AC i DC punionica .....	53
Slika 27. Autocesta s prometnim trakom za bežično punjenje električnih vozila .....	60

Slika 28. Bežično punjenje parkiranih Volvo XC40 Recharge taxia (Cabonline taxi) .....	61
Slika 29. Mercedes-Benz Vision EQXX.....	71
Slika 30. RIMAC Nevera .....	78
Slika 31. Električni automobil XD tvrtke DOK-ING .....	79

## Popis tablica

Tablica 1. Doseg (km) električnih automobila ovisno o vanjskoj temperaturi te grijanju i hlađenju putničkog prostora .....	26
Tablica 2. Načini punjenja električnih automobila .....	51
Tablica 3. Vrijeme potrebno za punjenje svakih 5 % kapaciteta baterije - testirano na modelu Tesla S .....	55
Tablica 4. Broj punionica za e-vozila na 100 km i udio e-vozila po članicama EU .....	57
Tablica 5. Cjenik punjenja na ELEN-ovim punionicama .....	58
Tablica 6. SWOT analiza primjene električnih automobila .....	80

## Popis grafikona

Grafikon 1. Utjecaj vanjske temperature na odnos stvarnog i teoretskog dosega.....	25
Grafikon 2. Projekcija tržišta litij-ionske baterije.....	68
Grafikon 3. Kemijski sastav katode litij-ionske baterije .....	69
Grafikon 4. Broj vozila s električnim i hibridnim pogonom kategorije M1 u RH .....	75
Grafikon 5. Broj vozila kategorije M1 s električnim pogonom po županijama za 2021. godinu .....	76
Grafikon 6. Broj vozila kategorije M1 s hibridnim pogonom po županijama za 2021. godinu .....	76
Grafikon 7. Broj vozila kategorije M1 s hibridnim pogonom (s vanjskim punjenjem) po županijama za 2021. godinu .....	77