

# OPTIMIZACIJA BATERIJSKOG POGONA KOD ELEKTRIČNOG AUTOMOBILA

---

Lucić, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split / Sveučilište u Splitu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:228:438211>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-22**



Repository / Repozitorij:

[Repository of University Department of Professional Studies](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE**

Preddiplomski stručni studij Elektroenergetike

**IVAN LUCIĆ**

**ZAVRŠNI RAD**

**OPTIMIZACIJA BATERIJSKOG POGONA  
ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA**

Split, srpanj 2022.

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE**

Preddiplomski stručni studij Elektroenergetike

**PREDMET:** Osnove elektroenergetike

**ZAVRŠNI RAD**

**Kandidat:** Ivan Lucić

**Naslov rada:** Optimizacija baterijskog pogona električnih automobila

**Mentor:** dr.sc. Slobodanka Jelena Cvjetković, prof. v. š.

Split, srpanj 2022.

# SADRŽAJ

|   |    |
|---|----|
| SAŽETAK .....   | 1  |
| SUMMARY .....   | 2  |
| 1. UVOD .....   | 3  |
| 2. BATERIJE .....   | 5  |
| 2.1. Razvoj baterija.....   | 5  |
| 2.2. Tipovi baterija .....  | 7  |
| 3. ELEKTRIČNI AUTOMOBILI.....                                     | 9  |
| 3.1 Vrste baterija električnih automobila .....                   | 12 |
| 3.2 Recikliranje baterija .....                                   | 16 |
| 3.3 Punionice .....   | 18 |
| 3.4 Integracija električnih vozila u elektroenergetsku mrežu..... | 20 |
| 3.5 Stanje tržišta .....  | 22 |
| 3.6 Karakteristike električnih vozila .....                       | 25 |
| 3.7 Odabir baterijskih paketa.....                                | 28 |
| 3.8 Konfiguracija baterija.....                                   | 29 |
| 4. BUDUĆNOST .....  | 32 |
| 4.1. Kvantna baterija .....                                       | 32 |
| 4.2 Alternativna rješenja.....                                    | 35 |
| 5. Zaključak.....   | 37 |
| LITERATURA.....   | 39 |
| POPIS SLIKA .....   | 40 |
| POPIS TABLICA .....   | 41 |

## SAŽETAK

# OPTIMIZACIJA BATERIJSKOG POGONA ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA

Ideja o električnim automobilima nije nepoznata. Međutim, zbog tehnoloških ograničenja i prednosti koje imaju motori na unutarnje izgaranje proizvodnja električnih automobila je stagnirala. Porastom cijena energenata vozila pokretana motorima na unutarnje izgaranje poskupljuju. Osim toga ekološka svijest potiče propagandu: „Život bez CO<sub>2</sub>“. Energenti su dostupni u ograničenim količinama, što pridonosi potrebi usavršavanja ideje o električno pogonjenim vozilima. Zahvaljujući tehničko-tehnološkom napretku ideja je realizirana. Zadatak je analizirati trenutno stanje tehnološkog razvitka i ekonomsko-ekološke opravdanosti uporabe električnih vozila, kao i njihov daljnji napredak svakodnevnom obliku prijevoza.

**Ključne riječi:** energenti, baterije, električni automobili, ekologija

## **SUMMARY**

# **OPTIMISATION OF BATTERY SYSTEM IN ELECTRIC CARS**

The idea of electric cars is not unknown. However, due to technological limitations and the advantages of internal combustion engines, the production of electric cars has stagnated. With the rise in energy prices, vehicles powered by internal combustion engines are becoming more expensive. In addition, environmental awareness encourages propaganda: "Life without CO<sub>2</sub>". Energy sources are available in limited quantities, which contributes to the need to perfect the idea of electric vehicles. Thanks to technical and technological progress, the idea was realized. The task is to analyze the current state of technological development and economic and environmental justification using electric vehicles, as well as their further progress in everyday transport.

**Keywords:** energy sources, batteries, electric cars, ecology

## 1. UVOD

Prvi automobili na električni pogon napravljeni su krajem XIX stoljeća. Suvremeni razvoj električnih automobila, između ostalog, potaknut je proizvodnjom Tesla Roadstera. Vodeći proizvođači automobila svake godine predstavljaju nove modele električnih automobila. Jesu li automobili “na struju” budućnost, koje su njihove prednosti i mane iznijeti će se u ovom radu. Uvjeti za prelazak na elektrificiranu budućnost još su u povojima, posebice s točke infrastrukture punionica baterija automobila. Nove generacije baterija, o kojima će se razglabati u drugom poglavlju ovog rada, otvaraju nove mogućnosti čime se rješava pitanje daljnjeg razvoja električne mobilnosti. Globalno zatopljenje i problem ekologije postaju glavne teme glede smanjivanja emisija ugljičnog dioksida. Mijenja se paradigma prijevoza i energetike.

Elektrifikacija prometa izazov je inženjerima i znanstvenicima. Prvenstveno, električna energija za punjenje automobila treba biti iz obnovljivih izvora, a ne fosilnih goriva. Prema tome potrebno je mijenjati energetske infrastrukture. Ako npr. kupite električni automobil, a živite u Splitu, vjerojatno na parkingu nema punionice. Problem je manje izražen ukoliko živite u obiteljskoj kući. Međutim, vrijeme punjenja i način priključivanja automobila na mrežu postavlja neka dodatna pitanja, a o tome će biti riječ u trećem poglavlju. Većinu električnih automobila možete napuniti preko noći strujom iz vlastitog doma.

Europska Unija godišnje daje financijske potpore za kupnju električnih ili hibridnih automobila. Tako je Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost osigurao 105 milijuna kuna za sufinanciranje energetski učinkovitih vozila u 2021. i nisu sva iskorištena. Ali za 2022. iskorištena su sva odobrena sredstva u manje od jednog sata. Dakle, može se raspravljati o budućnosti opstanka ovih vozila.

Nezaobilazna prednost električnih automobila je sigurnost. Budući da u prednjem dijelu nemaju motor značajno je smanjen rizik nagnječenja u slučaju sudara. Baterije se uglavnom smještaju u podvozju. Time se postiže nisko središte gravitacije i smanjuje se rizik prevrtanja.

Nedostatak infrastrukture električnih punionica urgentno treba rješavati. Raspoloživi domet još nije na razini benzinskih automobila. Potencijalni problem je sporost starije generacije punjača. Nominalna mogućnost punjenja je do 80% kapaciteta za dvadesetak minuta.

Nažalost, u Republici Hrvatskoj (RH) većina punjača ne spada u kategoriju “brzih”. Struka se zalaže za održivu budućnost električnih automobila i električnu mobilnost. Pitanje je koliko vremena trebamo za potpunu elektrifikaciju.



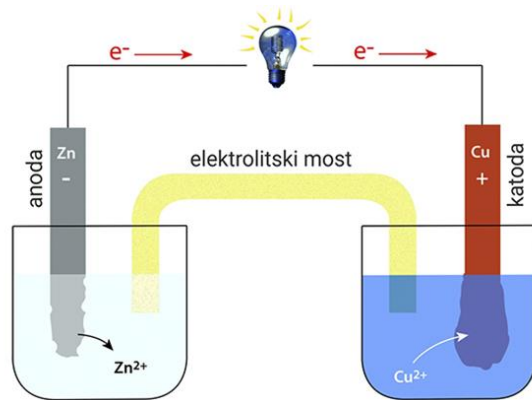
## **2. BATERIJE**

Baterija je spremnik u kojem se pohranjuje kemijska energija i pretvara u električnu. Ima širok raspon primjene, kao što su: mobilni uređaji, radni alati automobili i strojevi. Suvremeni način života smatra se nezamisliv bez baterija. Izrada baterija kontinuirano napreduje, kapacitet se povećava a volumen smanjuje. Baterije su galvanski članci koji rade na principu stvaranja elektrona. Tako se napajaju automobili i uređaji koji u radu koriste baterije. Razlikuje se više vrsta baterija s različitim svojstvima poput: jednokratnih baterija, baterija predviđenih za ponovno punjenje, različitih napona i jakosti struje koje mogu dati odjednom te maksimalnom brzinom pražnjena koja neće oštetiti bateriju.

### **2.1. Razvoj baterija**

Baterija je spremnik koji se sastoji od jedne ili nekoliko ćelija u kojima se kemijska energija pretvara u električnu. Benjamin Franklin 1749. u uređaju koji se sastojao od povezanih kondenzatora postavlja princip baterije. Kondenzatori se nabijaju pomoću statičkog generatora, a prazne se u dodiru s vodičem. Pretpostavka je da je prva baterija proizvedena 1800 godina ranije. Galvani, talijanski fizičar i liječnik, proučavao je prirodu i efekte elektriciteta u životinjskim tkivima. Istraživanja su prethodila pronalasku jednokratne baterije. 1784. otkrio je fenomen trzanja prepariranih žabljih mišića u dodiru s dva različita metala. Smatrao je da životinjsko tkivo sadrži urođenu vitalnu snagu koju je nazvao „životinjska električna energija“. Tom energijom se aktiviraju živci i mišići kada su u dodiru s različitim metalima. Smatrao je mozak glavnim pokretačem tog „električnog fluida“ te je prijenos tekućina do mišića vršen živcima. Definiciju teorije postavio je fizičar Alessandro Volta.

Alessandro Volta, talijanski fizičar objasnio je Galvanijevu teoriju izmjerivši napon između dva metala između kojih se nalazio elektrolit. Tako je nastao Voltni članak, najstariji tip galvanskog članka (slika 2.1.).



Slika 2.1. Shema galvanskog članka [1]

Sastoji se od dvije elektrode izrađene od bakra i cinka, a za elektrolitsku tekućinu koristio je razrijeđenu sumpornu kiselinu. Difuzijom iona nastaje napon polarizacije između metala i otopine. Razlika napona među elektrodama iznosi 1,10 V što, a to je napon Voltnog članka. Voltni članak (slika 2.2.) nije prikladan kao dugoročni izvor napajanja, jer se u njemu protjecanjem struje stvara suprotni napon, koji smanjuje početnu vrijednost članka na minimum.



Slika 2.1. Voltni članak [2]

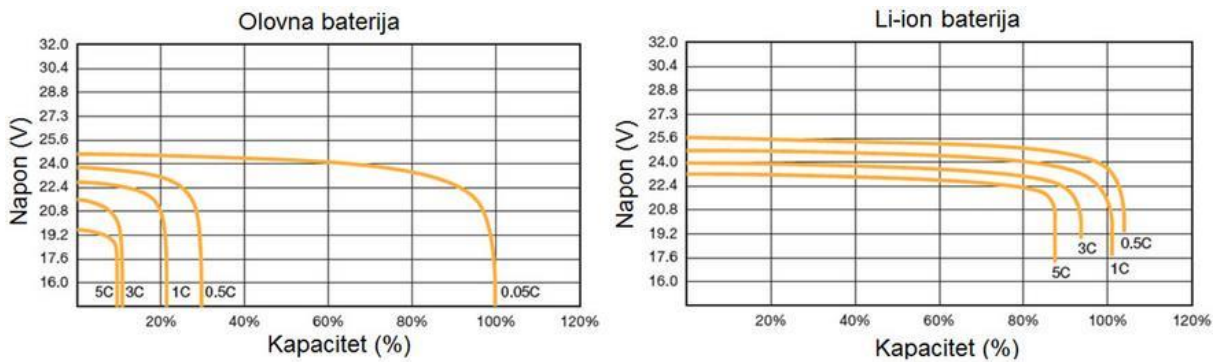
## 2.2. Tipovi baterija

Primarne baterije, koje su namijenjene jednokratnoj uporabi, jednom kad se istroše ne mogu se ponovno iskoristiti te se trebaju reciklirati. Ova vrsta baterija ima sve manju primjenu, jer su se na tržište plasirale sekundarne (punjive) baterije. Sekundarne baterije mogu se puniti i ponovno koristiti. Cijena im je tijekom vremena postala prihvatljivija nego prije. Ove baterije se isplate u nekoliko ciklusa punjenja u odnosu na primarne baterije.

Nedostatak primarnih baterija, osim jednokratne uporabe, je veliki unutarnji otpor zbog kojeg tijekom pražnjenja zagrijavaju. Tipovi primarnih baterija su: cink-ugljik, cink-klorid, alkalne, srebro-oksidi i litij baterije. Prve baterije koje su imale širu primjenu su cink-ugljik baterije. Njihova uporaba nije obustavljena zato što su relativno jeftine. Napon im je 1.5V, ali imaju kratak vijek trajanja. Proizvodnjom cink-klorid baterija pokušalo se smanjiti nedostatke cink-ugljik baterija. U težim uvjetima rada, kao npr. visokih i niskih temperatura cink-klorid baterije su prihvatljivije. Kapacitet alkalnih baterija po jedinici mase je nekoliko stotina puta veći od prethodnih, ali su skuplje. Napon im je 1.5 V. Trenutno su najtraženiji oblik primarnih baterija. Srebro-oksidi baterije imaju oblik dugmeta. Uglavnom se koriste u satovima i ključevima automobila. Kapacitet po jedinici mase im je velik. Litijske baterije imaju napon 3 V po ćeliji. Koriste se za vojne svrhe (veliki kapacitet u posebnim uvjetima rada) te u satelitima.

Za razliku od primarnih baterija, sekundarne baterije se mogu ponovno napuniti do gotovo maksimalnog kapaciteta. Ove baterije poznate su i pod nazivom akumulatori. Imaju širok raspon primjene: u igračkama, mobitelima, automobilima i radnim strojevima. Sekundarne baterije mogu se koristiti na način da su trajno spojene na izvor napajanja i koriste se po potrebi ili kao primarne baterije koje se nakon pražnjenja ponovno napune. Primjena im je na mjestima kada je potrebna veća snaga baterije. Manje baterije isplative su nakon nekoliko ciklusa punjenja, dok se veći akumulatori kod industrijskih strojeva postepeno amortiziraju. Primjenom sekundarnih baterija raste interes inženjera i znanstvenika u proizvodnji nove ere strojeva i automobila.

Litij-Ionska (Li-ion) punjive baterije imaju primat na tržištu. Koriste se kao izvor električne energije u prijenosnim električnim uređajima. Prednost je što nemaju memorijski efekt i nije ih potrebno potpuno prazniti prije novog punjenja, imaju malu struju samopražnjenja i veliku energetske gustoću. Na slici 2.3. prikazana je usporedba ovisnosti napona i kapaciteta o struji pražnjenja za olovnu i Li-on litijsku bateriju istih svojstava.



Slika 2.2. Ovisnost napona i kapaciteta o struji pražnjenja [2]

### 3. ELEKTRIČNI AUTOMOBILI

Prva električna vozila konstruirana su 1800-ih. William Morrison je 1891. konstruirao prvi američki karavan na električni pogon. Mogao je primiti šest putnika i postizao je najveću brzinu 14 mph<sup>1</sup> (1899. rekord brzine električnim vozilom iznosio je 66 mph). Time se otvara primjena električnog vozila te se potaknulo zanimanje za električni prijevoz. Krajem XIX. i početkom XX. stoljeća daljnjim istraživanjima električna vozila konstrukcijski se poboljšavaju. U tom razdoblju udio električnih automobila na američkom tržištu bio je respektabilnih 40%, u New Yorku i Londonu u taxi prijevoz uključuju se i električni automobili. Ovi automobili imaju bolje amortizere i ugodniji zvuk motora u usporedbi s benzinskim. Ujedno su jednostavniji za vožnju i manevriranje. Automobili s motorom na unutarnje izgaranje imaju ručicu za prebacivanje brzina. Električna vozila pogodna su za gradsku vožnju.

Proizvodnjom hibridnih električnih vozila postiže se kompromis. Woods Motor Vehicle Company proizvodi Dual Power (slika 3.1.) s motorom na unutarnje izgaranje i elektromotorom. Za brzine ispod 15 mph, koristi se električni motor, a nakon toga (do 35mph) konvencionalni motor.

Od samih početnih koraka u proizvodnji električnih vozila postavlja se pitanje postoji li potreba za tehnologijom električnog punjenja. Prva električna vozila imala su jednokratne baterije i tehnologija za „punjenje“ je bila zamjena „mrtvih“ baterija. Izumom punjivih baterija novi modeli električnih vozila imali su mogućnost korištenja istih baterija bez zamjene. Početkom 20. stoljeća, General Electric je proizveo "Electrant" (slika 3.2.), s mogućnošću uličnog punjenja. Električna vozila su se mogla puniti kod prodavača automobila, a baterije su se mogle izvaditi i puniti bez automobila.

Izgradnjom infrastrukture električna mreža uočava se prednost proizvodnje tzv. kućnih punjača koji mogu raditi na istosmjernoj i izmjeničnoj mreži.

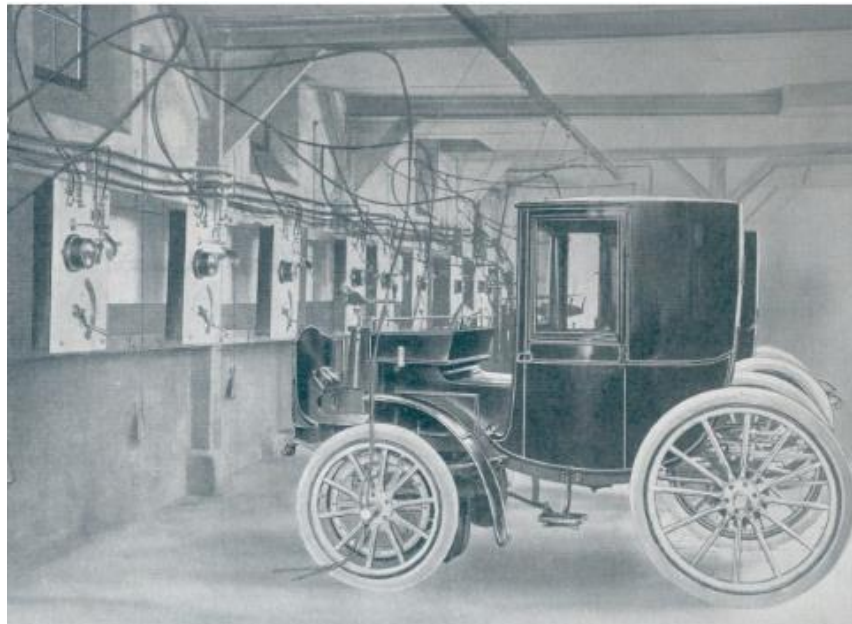
---

<sup>1</sup> mph – miles per hour, milje na sat

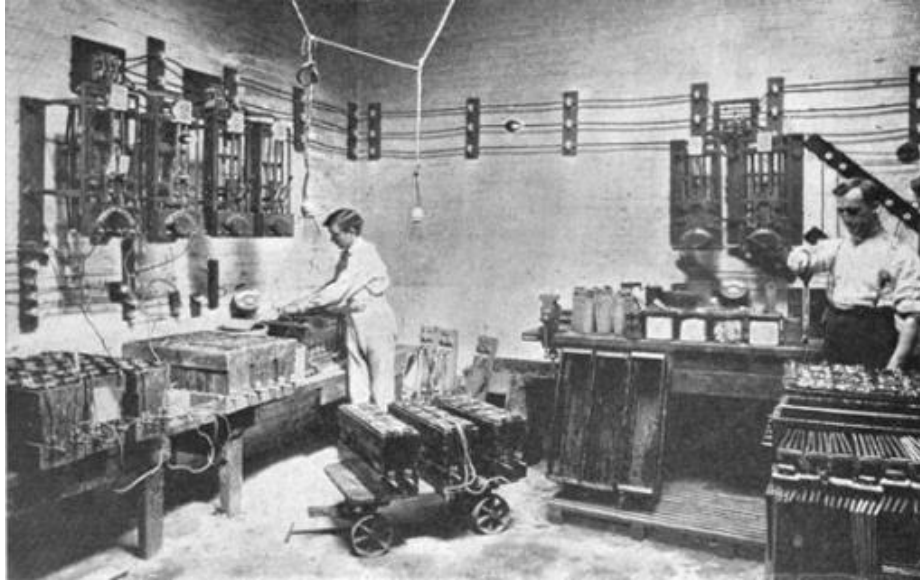
Proces punjenja bio je kompliciraniji i zahtjevniji nego što je danas (slika 3.3.). Zanimljiv je podatak da je početkom XX. stoljeća 38% automobila u SAD-u pokretano električnom energijom.



Slika 3.1. Prvi električni automobil [3]



Slika 3.2. Punjenje prvih električnih automobila[3]



Slika 3.3 Prikaz prvih punionica[3]

Unatoč nizu prednosti električna vozila su nakon nekoliko godina izgubila svoju popularnost. Električnim vozilima nisu se mogle prevaliti velike udaljenosti zbog ograničenog dometa i male maksimalne brzine. Istodobno se benzinski automobili moderniziraju. Charles Kettering 1912. je dizajnirao elektropokretač te se benzinski automobili više ne pokreću ručno. Henry Ford je predstavio Model T, koji je jeftin i dostupan za širu populaciju. Pad cijena goriva posljedično je utjecala na ekonomsku opravdanost uporabe automobila na unutarne izgaranje. U to vrijeme su električni automobili u startu dva do tri puta skuplji od automobila na benzin. Zbog toga su se do 1930. električna vozila rijetko viđala na cesti. Interes za električnim vozilima raste 1960-ih i 1970-ih, ali tek početkom 1990-ih ostvaren je respektabilan napredak. Porast interesa uglavnom je potaknut propisima, aktima i zakonima, kao što je California Air Resources Board, koji pogoduju ekonomičnim i ekološki prihvatljivijim vozilima. General Motors (GM) razvio je 1996. prvi električni automobil za široko tržište, EV1 (slika 3.4.). EV1 je imao domet približno 60 milja i najveću brzinu 80 mph. Međutim, 2002. GM je obustavio proizvodnju EV1.

California Air Resources Board mandat je pao u drugi plan, a GM je smatrao da električni pogonjeni automobili nisu profitabilni te je proizvodnja obustavljena. Sličnu sudbinu su doživjeli i drugi električni automobili toga doba.



Otprilike pola desetljeća nakon prestanka proizvodnje EV1, GM je želio ponovno ući na tržište, kao i drugi veliki proizvođači automobila poput Nissana, Elona Muska i Tesla Motorsa (koji je osnovan 2003.). Tesla Motors razvija svoj Roadster, potpuno električni sportski automobil koji bi mogao prijeći 200 milja s jednim punjenjem. Porastom interesom, fokus je usmjeren na masovnu proizvodnju jeftinih električnih automobila. GM radi na Chevrolet Voltu, plug-in hibridnom električnom vozilu s akumulatorom i malim benzinskim motorom, a Nissan se priprema za LEAF, svoj prvi potpuno električni automobil. Raste potreba za boljom infrastrukturom punionica. Sve podsjeća na početak XX. stoljeća. Vozači trebaju zapamtiti lokacije benzinskih postaja prilikom planiranja putovanja. Isto tako, prije nekoliko godina, stanice za punjenje električnih vozila nisu postojale, ali postaju sve brojnije.



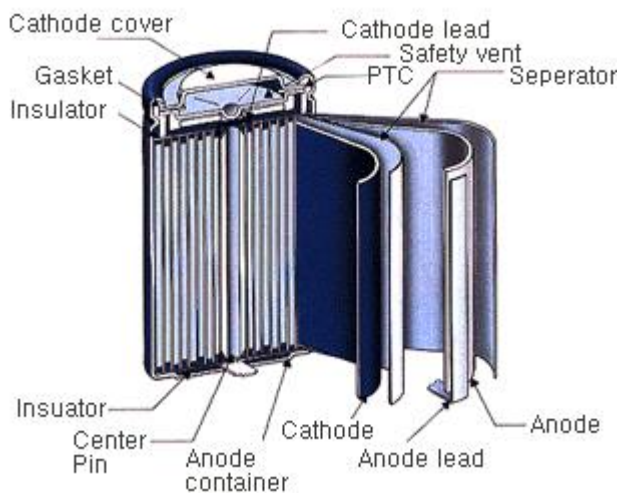
Slika 3.3. EV1 kompanije General Motors [3]



### 3.1. Vrste baterija električnih automobila

Litij-ionske baterije ugrađuju se u prijenosnim elektroničkim uređajima kao što su mobiteli i prijenosna računala. Imaju dobar omjer uskladištene energije i mase u odnosu na druge sustave za pohranu električne energije. Također imaju dobar omjer snage i mase, visoka energetska učinkovitost, dobre performanse pri visokim temperaturama i nisko samopražnjenje. Većina komponenti litij-ionskih baterija može se reciklirati, ali cijena povrata materijala ostaje gorići nedostatak. Recikliranje litij-ionskih baterija i isplativa rješenja za prikupljanje, sortiranje, skladištenje i transport istrošenih i odbačenih litij-ionskih baterija za eventualno recikliranje i ponovnu uporabu materijala ostaje otvoreno pitanje. Većina današnjih potpuno električnih vozila i plug-in hibridnih vozila (PHEV-a) koristi litij-ionske baterije, iako se kemijski sastav donekle razlikuje od baterija potrošačke elektronike. Istraživanja i razvoj su u tijeku kako bi se smanjila njihova relativno visoka cijena, produžio vijek trajanja i riješili sigurnosni problemi u pogledu pregrijavanja. Litij-ionske baterije prema tipu kućišta dijele se na: cilindrične, prizmatične i vrećaste ćelije.

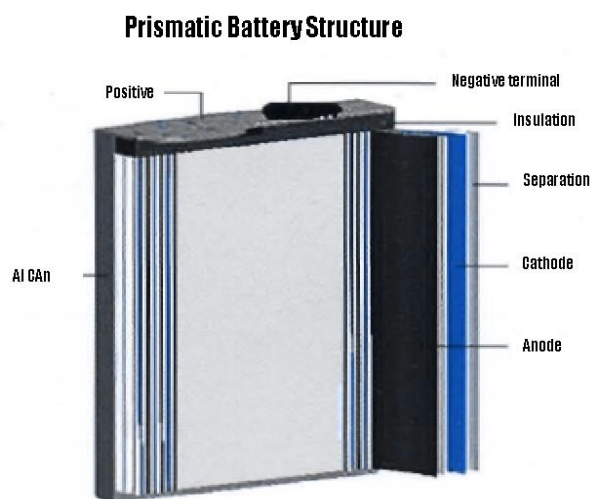
Uporabom cilindričnih ćelija omogućava se jednostavna proizvodnja i mehanička čvrstoća. Odnosno konstrukcija može izdržati visoka unutarnja opterećenja bez deformacije. Na pozitivnom terminalu cilindrične ćelije imaju prekidač napravljen od vodljivog polimera, koji zagrijavanjem postaje otporan i prekida strujni krug.



Slika 3.4. Cilindrična litij-ionska baterija[5]

Sustav ispuštanja zbog previsokog tlaka, prikazan na slici 3.5., ima membranu koja puca kako bi oslobodio tlak. Neke ćelije imaju sigurnosni ventil s oprugom koji se može ponovno zatvoriti. Ovakve ćelije koriste se u električnim vozilima, laptopima, e-biciklima, medicinskim uređajima i sl. Tesla koristi ovaj format ćelija. Problem kod slaganja ovakvih ćelija u baterijske pakete je što uvijek ostaje neiskorišten prostor između ćelija.

Prizmatične ćelije imaju tanje kućište te bolju optimizaciju uporabe prostora. Zato se najviše koristi u mobilnim telefonima, tabletima i laptopima. Ne postoji standardizirani format. Ćelije većih dimenzija imaju primjenu u električnim vozilima. Kućište izrađeno od aluminijske legure (slika 3.6.) osigurava preciznost, postojanost i sigurnost. Ovakve ćelije omogućuju efikasnije iskorištavanje prostora i fleksibilniji dizajn, ali su skuplje za proizvodnju, teže je dizajnirati hlađenje te imaju kraći životni vijek.



Slika 3.5. Prizmatična litij-ionska baterija [5]

Pouch (vrećaste) ćelije umjesto klasičnog kućišta imaju tanke folije zavarene na elektrode smještene u mekanom zatvorenom kućištu, prikazano na slici 3.7. Ovakvim dizajnom omogućava se fleksibilna, lagana i jednostavna baterija. Vrećaste ćelije osiguravaju optimalno iskorištenje prostora u baterijskom paketu.

Eliminacijom metalnog krutog kućišta pojednostavnio se dizajn, te se smanjila masa, ali zbog mekanog kućišta ćeliju treba učvrstiti te joj omogućiti širenje. Čelije se mogu napuhnute uslijed korištenja, osam do deset postotaka na 500 ciklusa punjenja i pražnjenja. Čelijama je potrebno osigurati mjesto u kojem se mogu nesmetano širiti. Također je nužno osigurati da nema oštih rubova ili područja koje bi stvorile koncentrirana naprezanja na ćeliju pri konstrukciji kućišta.



Slika 3.6.Pouch litij-ionska baterija[5]

Nikal-metal hidridne baterije imaju dobar omjer količine uskladištene energije i snage i zbog toga se koriste u računalnoj i medicinskoj opremi. Za razliku od klasičnih olovnih baterijanikal-metal hidridne baterije imaju znato duži životni ciklus te su sigurne i otporne na fizikalna naprezanja. Najviše se koriste u hibridnim električnim vozilima (HEV). Najveći nedostaci nikal-metal hidridnih baterija je njihova visoka cijena, veliko samopražnjenje i zagrijavanje pri visokim temperaturama, te ispuštanje vodika.

Olovne baterije imaju veliku snagu, jeftine su, sigurne i pouzdane. Međutim, niska specifična energija, slab učinak na niskim temperaturama i kratak životni ciklus sprječavaju ih da postanu standardna uporaba. Razvijaju se napredne olovne baterije velike snage, ali se te baterije koriste samo u komercijalno dostupnim vozilima s električnim pogonom za pomoćna opterećenja.

Superkondenzatori pohranjuju energiju u polariziranoj tekućini između elektrode i elektrolita. Kapacitet skladištenja energije povećava se kako se povećava površina tekućine. Superkondenzatori osiguravaju vozilima dodatnu snagu tijekom ubrzanja i vožnje uz veliki uspon i pomoći u povratu energije kočenja. Oni također mogu biti sekundarni uređaji za pohranu energije u vozilima s električnim pogonom i elektrokemijskim baterijama pri većim opterećenjima.

Tablica 3.1. Vrijednosti specifičnih energija i samopražnjenja za različite tipove baterija[5]

|                     | <b>Olovna</b>  | <b>NiCd</b>        | <b>NiMH</b>     | <b>Li-ion</b>   |
|---------------------|----------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| Napon članka        | 2V             | 1,2V               | 1,2V            | 4V              |
| Radna temperatura   | -40 do 55°C    | -40 do 50°C        | -20 do 50°C     | -20 do 50°C     |
| Samopražnjenje      | 4-6% mjesečno  | 10-20%<br>mjesečno | 15-25% mjesečno | 2% mjesečno     |
| Specifična energija | 30 do 50 Wh/kg | 45 do 80 Wh/kg     | 60 do 120 Wh/kg | 90 do 250 Wh/kg |
| Vijek trajanja      | 6 godina       | 10 godina          | 2-5 godina      | 10 godina       |
| Broj ciklusa        | 500-1000       | 500-2000           | 300-600         | 500-1000        |

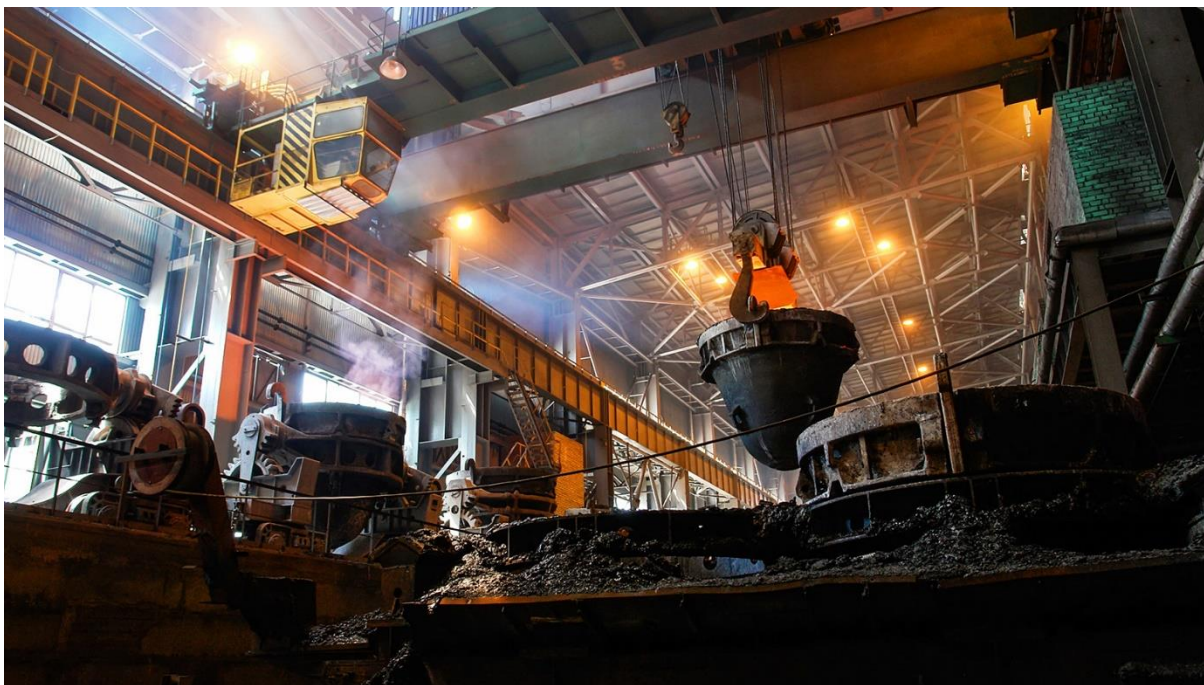
### 3.2. Recikliranje baterija

Vozila s električnim pogonom kratko su na tržištu, pa se mali broj približio kraju svog životnog ciklusa. Kako raste potražnja za vozila s električnim pogonom, tržište recikliranja baterija ima sve bitniju ulogu. Recikliranje baterija spriječilo bi zagađivanje okoliša i voda, kako na kraju vijeka trajanja baterije tako i tijekom njezine proizvodnje. Uporaba recikliranog materijala također bi ponovno uvela deficitarne materijale natrag u opskrbni lanac i povećala izvore takvih materijala. Radi se na razvoju procesa recikliranja baterija koji minimiziraju utjecaje na životni ciklus korištenja litij-ionskih i drugih vrsta baterija u vozilima. Ali nisu svi procesi recikliranja isti i zahtijevaju različite metode odvajanja za uporabu materijala, a to su taljenje: taljenje, direktna reciklaža, neposredna reciklaža.

Taljenjem se dobivaju osnovni elementi ili soli. Proces taljenja se koristi u velikim razmjerima i primjenjiv je na više vrsta baterija, uključujući litij-ionske i nikal-metal hidridne. Taljenje se odvija na visokim temperaturama gdje se organski materijali, uključujući elektrolite i karbonske anode, izgaraju kao gorivo. Vrijedni metali se prikupljaju i šalju u rafineriju kako bi bili prikladni za uporabu. Ostali materijali, uključujući litij, sadržani su u troski, koja se danas koristi kao aditiv u betonu.

Direktna reciklaža je proces recikliranja u kojem se izravno odvajaju materijali korisni za nove baterije. Komponente se odvajaju raznim fizikalnim i kemijskim procesima, a svi aktivni materijali i metali se mogu oporaviti. Direktna reciklaža je proces koji se provodi pri niskim temperaturama s minimalnim utroškom energije.

Neposredna reciklaža: Treća vrsta procesa je između dva ekstrema. Ovaj proces može za razliku od direktne reciklaže prihvatiti više vrsta baterija, ali korisni materijali se prikupljaju duž reciklažnog lanca te sveukupni proces traje duže od prethodna dva (slika 3.8.).



Slika 3.7. Postrojenje za reciklažu baterija[5]

### 3.3. Punionice

Stanica za punjenje je važan dio infrastrukture sustava za punjenje baterija električnih vozila. Budući da se broj vozila povećava, posljedično raste i potreba za sve većim brojem stanica za punjenje. Na stanicama je potrebno osigurati sve vrste konektora koji su u uporabi. Za punjenje normalnom brzinom, vozila imaju integriran punjač koji se spaja na normalnu električnu mrežu. Za brže punjenje, koristi se eksterni punjač, koji pretvara izmjeničnu struju (AC) u istosmjernu (DC) te puni vozilo snagom od pet do 50 kW (slika 3.11.). Punjači baterija električnih automobila rade na principu indukcijskog punjenja. Koristi se elektromagnetno polje za prijenos energije između dvije zavojnice. Jedna zavojnica je spojena na izvor napajanja, a druga na bateriju. Izmjenična struja stvara promjenjivo magnetsko polje koje za svoju posljedicu ima izmjeničnu struju koja se javlja u drugoj zavojnici te prolazi kroz ispravljač koji je pretvara u istosmjernu. Dobivena istosmjerna struja dolazi u konačnici do baterija te ih puni. Punjač ima dvije glavne komponente.

Upravljačka jedinica kontrolira protok električne energije u punjač i regulira proces punjenja. Osigurava da se baterije pune sigurno i učinkovito te da se punjač ne pregrije. Također prati status baterija i može pružiti informacije o tome koliko su napunjene.

Napajanje osigurava električnu energiju koja se koristi za punjenje baterija. Napajanje je spojeno na upravljačku jedinicu, koja regulira protok električne energije u punjač. Napajanje osigurava struju za punjač, koja teče kroz zavojnice u bateriju.

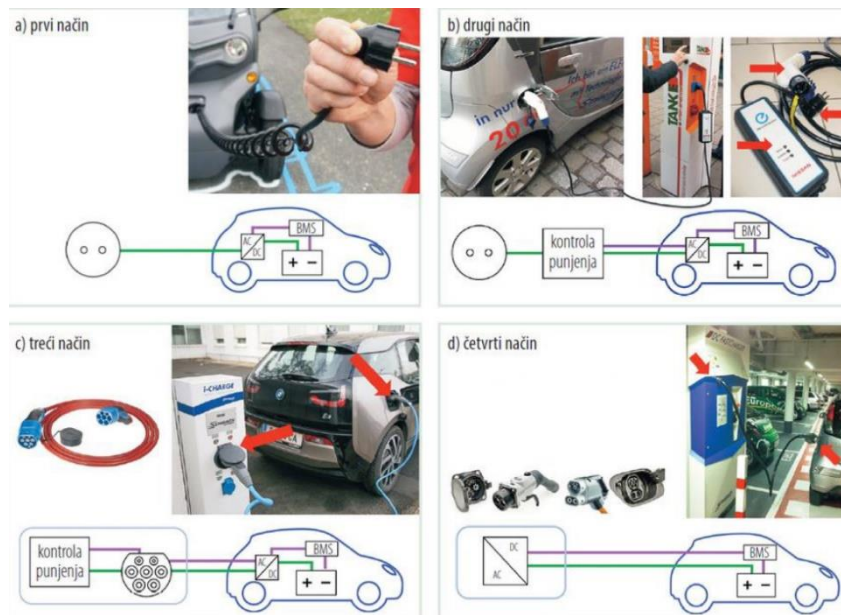
Na slici 3.9. prikazani su modovi punjenja baterija. U Tablica 3.2. prikazano je vrijeme potrebno različitim načinima punjenja da se baterija napuni na domet od 100km

MOD 1 je punjenje na šuko kućnoj utičnici, sustav za nadzor baterije (eng. Battery Management System – BMS) i punjač nalaze se u vozilu te nema komunikacije vozila i utičnice na punionici. MOD 2 koristi dodatnu upravljačku jedinicu u napojnom kabelu (eng. In Cable Control Box – ICCB,). Taj kabel je dio opreme vozila, pri čemu ICCB nema komunikaciju s utičnicom punionice, a punjač se nalazi u vozilu.

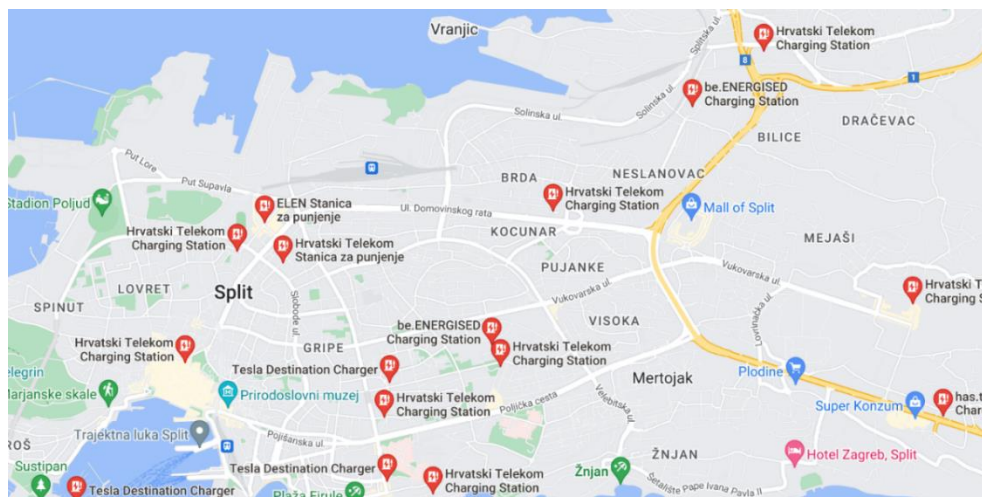


MOD 3 radi na principu punjenja izmjeničnom strujom preko utičnice tipa 2 na punionici, uz specijalni kabel do vozila. Pri tome postoji komunikacija punionice i vozila, a punjač se nalazi u vozilu.

MOD 4 za razliku od moda tri za punjenje koristi istosmjernu struju, pri čemu postoji komunikacija vozila i punionice, u kojoj se nalazi punjač. Punjenje je brzo jer se odvija uz veću snagu (eng. fast charging).



Slika 3.8. Različiti modovi punjenja[6]



Slika 3.9. Prikaz punionica u gradu Splitu

Tablica 3.2. Potrebno vrijeme punjenja baterije za domet od 100km [7]

| Vrijeme punjenja (sati) | Napajanje  | Snaga (kW) | Napon (V)     | Jakost (A) |
|-------------------------|------------|------------|---------------|------------|
| 7                       | Jedna faza | 3,3        | 230 AC        | 16         |
| 3,5                     | Jedna faza | 7,4        | 230 AC        | 32         |
| 2,5                     | Tri faze   | 11         | 400 AC        | 16         |
| 1,5                     | Tri faze   | 22         | 400 AC        | 32         |
| 0,4                     | Tri faze   | 43         | 400 AC        | 63         |
| 0,4                     | DC         | 50         | 400 do 500 DC | 100 do 125 |

### 3.4. Integracija električnih vozila u elektroenergetsku mrežu

Budući da energija koja puni baterije električnih vozila dolazi iz električne mreže, potrebno je razmišljati što bi se dogodilo kada bi svi korisnici punili svoja vozila na kućnoj mreži preko noći te koliko bi se ukupno povećalo opterećenje električne mreže povećanjem broja električnih vozila na cesti.



Slika 3.10. Elen punionica u Hrvatskoj[7]

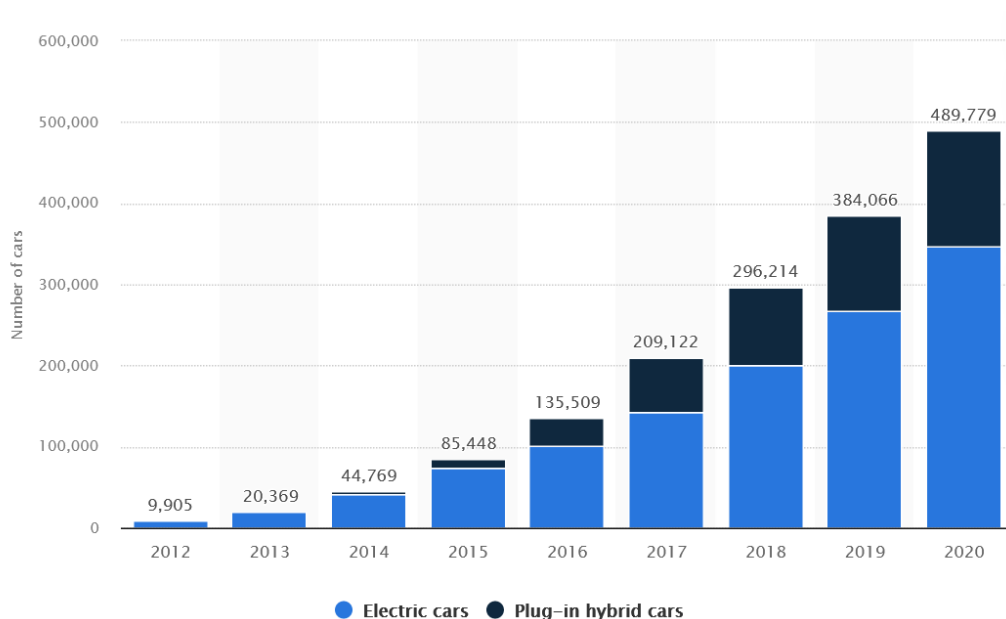


Ukoliko se uzme najekstremniji scenarij iz Kalifornije i pretpostavimo da je 10% svih automobila na cesti električno, da su oni primarno vozilo 90% vozača i da su sva vozila Tesle snage 35 kWh/100 km. 2014. u Kaliforniji je bilo registrirano oko 28,7 milijuna automobila.

Pretpostavi li se da se ta brojka poveća na 30 milijuna do 2023. to je oko 3 milijuna električnih automobila na cesti. Posljedično godišnja potrošnja električne energije od oko 20 TWh. Kalifornija trenutno proizvodi oko 200 TWh električne energije godišnje i troši oko 260 TWh (razliku energije uvozi). Kalifornija bi u takvom ekstremnom slučaju doživjela porast potrošnje električne energije za 8%. Samo opterećenje mreže će u konačnici biti i manje jer će većina potražnje biti noću, kada je aktivno manje drugih potrošača. Zbog svega toga električni automobili će tek neznatno povećati vršna opterećenja mreže, istovremeno to povećanje neće utjecati na samu stabilnost mreže.

Slična situacija se događa i u Norveškoj koja je početkom 2022. postala svjetski predvodnik po prodaji novih električnih automobila gdje je 65% novih prodanih automobila bilo električno (slika 3.12.). To je zato što norveška vlada omogućava velike subvencije za kupovinu električnih vozila. Uz sva nova električna vozila koja su se priključila na mrežu vršna potrošnja električne energije Norveške je porasla za samo 3% što je oko 3,5 TWh. Slična situacija je i u Japanu gdje dolazi do porasta od 3,4% vršne potražnje.

Ukoliko se gleda u nešto dalju budućnost, 2040. godine model sugerira 38% do 77% električnih automobila. To bi bilo od 868 do 1.520 milijuna električnih vozila na cesti, koja godišnje troše 1.200 do 10.000 TWh i prosječno 4.100 TWh. Kada bi se ta količina energije preslikala na svjetski energetske sustav iz 2012. dolazi se do rezultata da od pet do 45% globalne potrošnje električne energije odlazi na automobile, ako bi ukupna proizvodnja ostala na istom nivou. Međutim, sva ta povećana potražnja neće biti problem ukoliko svijet nastavi razvijati obnovljive izvore energije budući da je 115 GWh obnovljivih kapaciteta pušteno u rad na globalnoj razini 2015., što predstavlja oko 250 TWh godišnje proizvodnje.



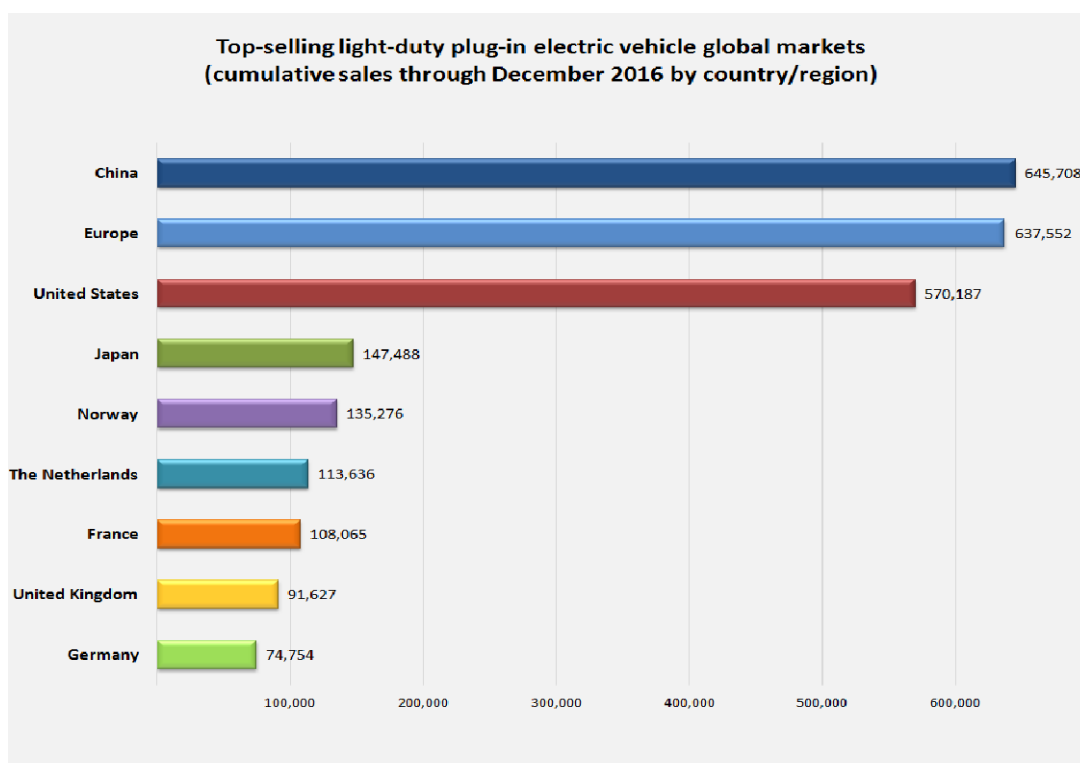
Slika 3.11. Broj prodanih električnih i hibridnih vozila[8]

Ukoliko se obnovljivi izvori energije nastave razvijati istim tempom doći će do porasta od oko 6.000 TWh dodatne godišnje proizvodnje iz obnovljivih izvora do 2040., a srednja potražnja električnih automobila trošila bi oko 87% toga. Ako umjesto toga obnovljivi izvori energije nastave rasti, moglo bi doći i do porasta od 12.000 TWh ili 18.000 TWh godišnje proizvodnje. Na tom vrhuncu, električni automobili bi trošili oko 30%. Ukoliko bi se te brojke stvarno ostvarile moguće je očekivati potpunu elektrifikaciju cijelog prometnog sustava odnosno potpuno izbacivanje fosilnih goriva iz uporabe.

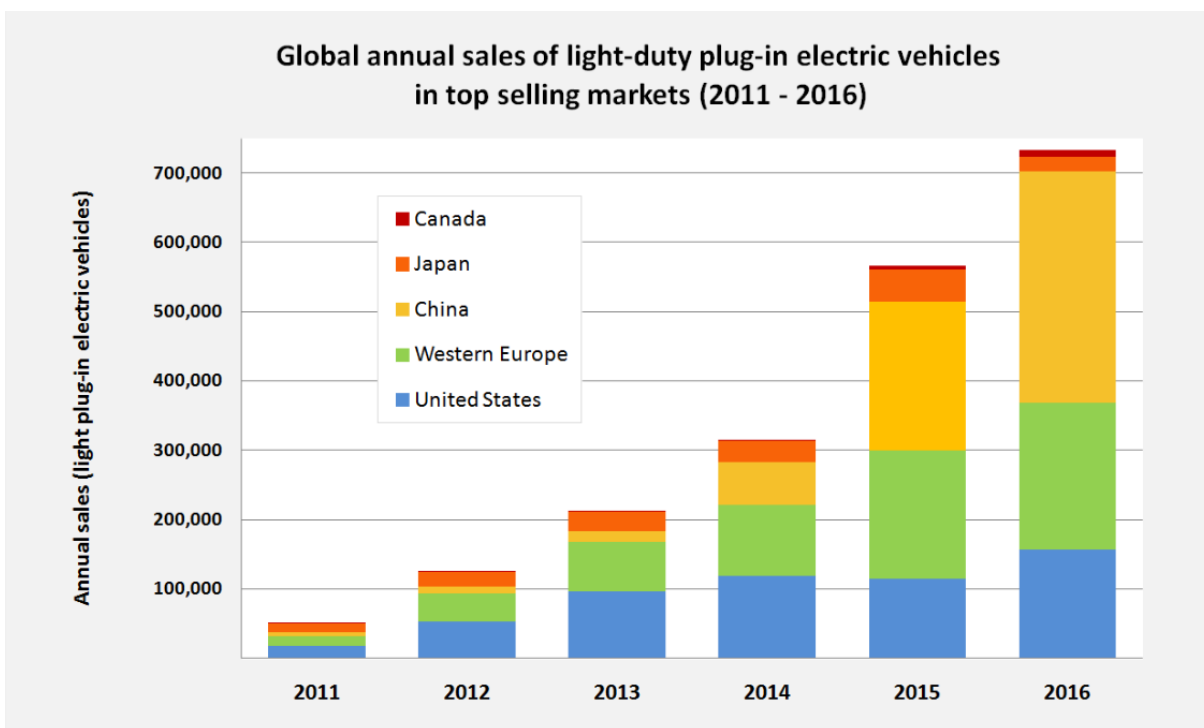
### 3.5. Stanje tržišta

Smanjenjem cijene baterije, najskuplje komponente svakog električnog vozila posljedično bi trebala pasti cijena automobila, tako da će se bez obzira na cijenu nafte u bliskoj budućnosti više isplatiti voziti električno vozilo nego konvencionalni automobil. Kina, Europa i SAD su se formirale kao vodeća tržišta za prodaju električnih vozila (slika 3.13.).

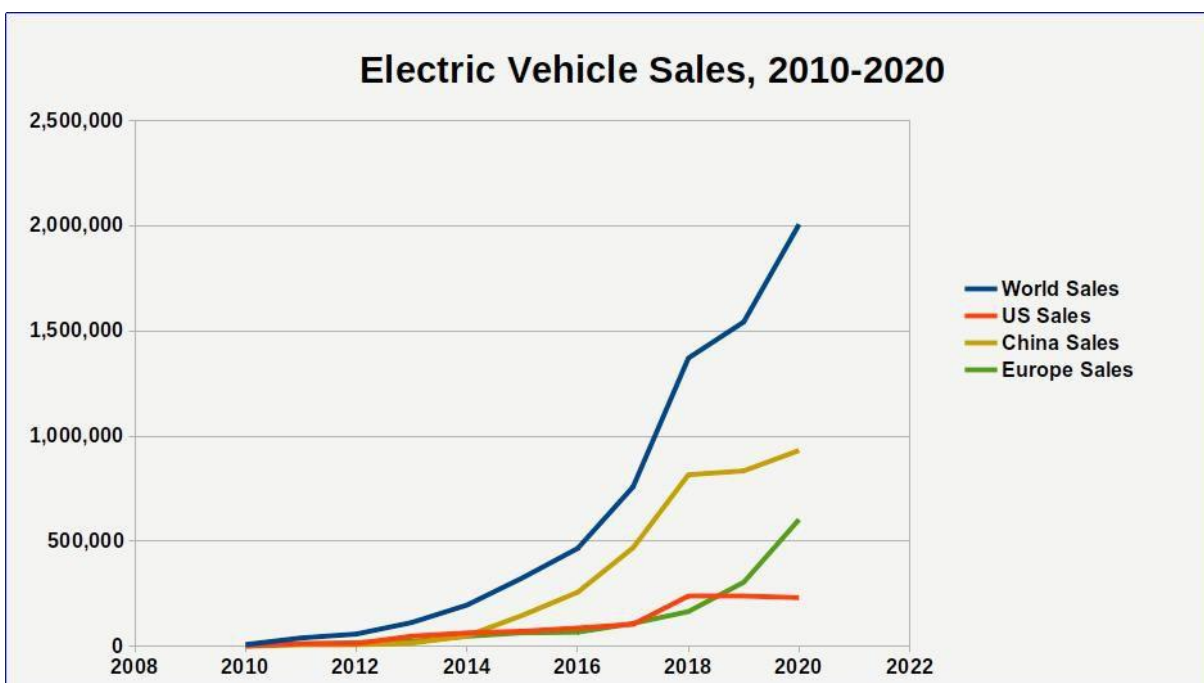
Kina je posebno zanimljiva, predviđa se značajan daljnji rast. Kineska vlada je još 2009. godine iznijela plan kako bi potaknula proizvodnju, razvoj i prodaju na domaćem tržištu. Tako bi se osigurali poslovi i izvoz automobila i dijelova, ali i naftna energetska neovisnost o Bliskom Istoku. Također bi se značajno smanjilo zagađenje i smog u urbanim područjima Kine. Planira se da će biti 9 milijuna električnih vozila do 2025. godine biti na kineskim cestama. Ostvaren je godišnji porast od 350 % električnih vozila na cestama od 2015. (slika 3.14., 3.15.). U Kini su uz porezne olakšice na električna vozila uvedene čak i posebne zelene registarske oznake, s kojima je moguće električnim vozilima nesmetano ući u dijelove grada u kojima je zabranjeno prometovanje konvencionalnim vozilima.



Slika 3.12. Broj prodanih električnih automobila po državama 2016. [5]



Slika 3.13. Broj globalno prodanih električnih automobila 2011-2016 [5]

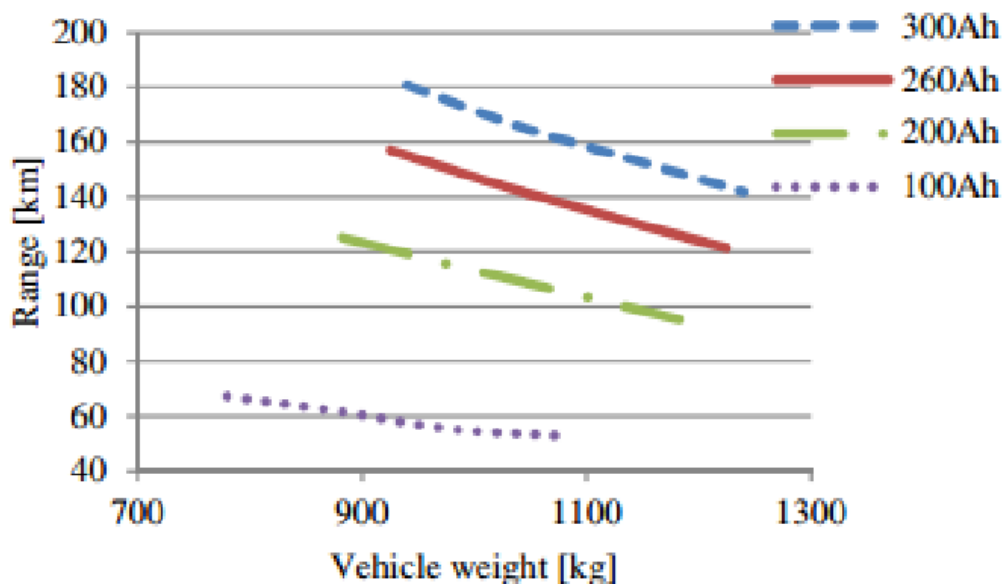


Slika 3.14. Prodaja električnih automobila 2010-2020 [5]

### 3.6. Karakteristike električnih vozila

#### Domet

Trenutno najistaknutiji problem električnih vozila je ograničen domet pri maksimalnom korištenju baterije. Povećanje dometa je nužno za potpunu integraciju električnih vozila u sustav svakodnevnog prijevoza. Povećanjem dometa veći broj ljudi bi bio spreman prijeći na električna vozila. Kapacitet baterija je glavna karakteristika koji utječe na domet, ali ujedno najskuplja i najkompleksnija. Najjednostavniji način za povećanje dometa je povećanje ukupnog broja ćelija baterije. Domet je moguće povećati i optimizacijom drugih parametara, kao ukupne mase vozila, koeficijenta otpora zraka i pravilnog izbora pogonskog motora. Također je vrlo važan utjecaj vozača. Agresivnom vožnjom, vožnjom po brdovitom terenu, zahtjevnim klimatskim uvjetima te s uključenim velikim brojem pomoćnih potrošača se značajno smanjuje krajnji domet baterija. Kapacitetom baterija raste i masa vozila. Baterijski paket je potrebno prilagoditi tipu vozila i projiciranoj udaljenosti koje će vozilo prevaliti. Za vozilo koje prevaljuje 70 km dnevno, baterijski paket od 24 kWh će dati domet od 8,2 km/kWh, a za istu udaljenost, paket od 8 kWh će dati 9,4 km/kWh, kao što je prikazano na slici 3.3.



Slika 3.15. Ovisnost dometa i mase vozila [8]

Tablica 3.3. Kapaciteti baterija i dometi nekih od najpopularnijih električnih automobila[7]

| Model              | Kapacitet baterije | Maksimalni domet | Domet nakon jednog sata punjenja |
|--------------------|--------------------|------------------|----------------------------------|
| Audi e-tron 55     | 95 kWh             | 409 km           | 90 km                            |
| BMW i3             | 27,2 kWh           | 300 km           | 80 km                            |
| Ford Focus         | 33,5 kWh           | 225 km           | 40 km                            |
| Hyundai IONIQ      | 28 kWh             | 305 km           | 55 km                            |
| Jaguar I-Pace      | 90 kWh             | 480 km           | 45 km                            |
| Mercedes EQC       | 80 kWh             | 450 km           | 70 km                            |
| Nissan Leaf        | 40 kWh             | 270 km           | 60 km                            |
| Renault Zoe        | 41 kWh             | 403 km           | 80 km                            |
| Tesla Model S 100D | 100 kWh            | 632 km           | 65 km                            |

### Održavanje električnih vozila

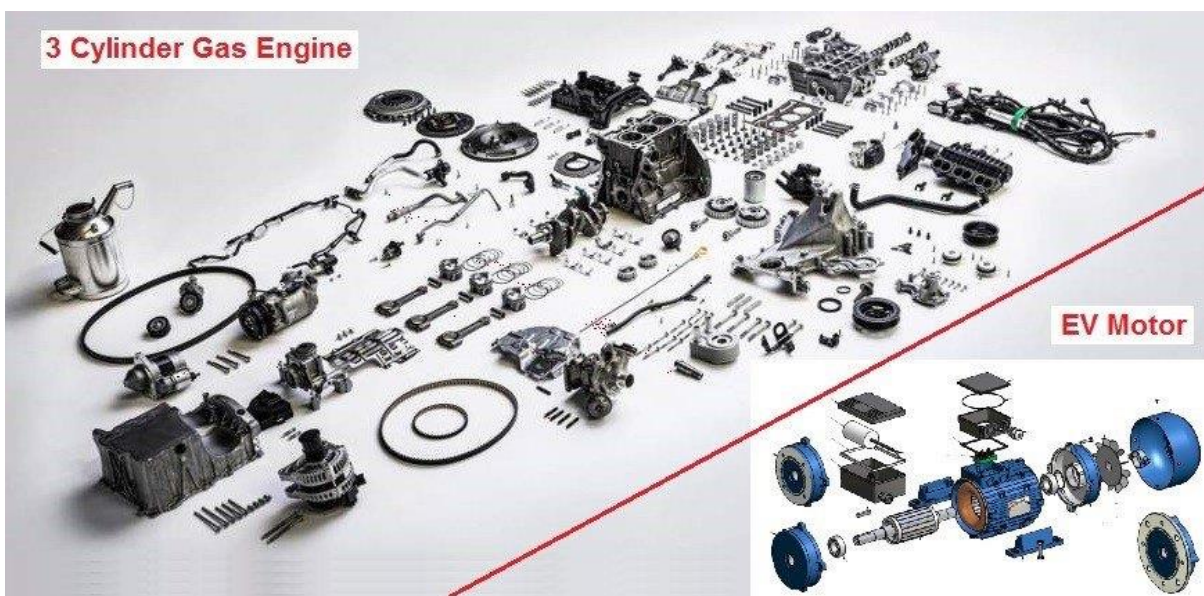
Kada se usporede električna vozila s klasičnim automobilima pokretanima motorom na unutarnje izgaranje zahtijevaju manje održavanje zbog mnogo manjeg broja pokretnih komponenti. Motor s unutarnjim izgaranjem ima znatno veći broj pokretnih komponenti (slika 3.17.), oko 10 000, spram samo 150 e-vozila (slika 3.18.). Baterija, motor i elektronika zahtijevaju malo ili skoro nikakvo održavanje. Elektromotori ne trebaju ulje za podmazivanje. Regenerativnim kočenjem se značajno smanjuje trošenje kočionih pločica i diskova.

Kod klasičnih motora svakih 150 000km je obvezna zamjena remenja ili lanca ovisno na koji način je motor pogonjen ili u suprotnom nastaje velika šteta na motoru, puno više se troše kočione obloge, neprestano treba provjeravati ulje da motor ne bi ostao bez podmazivanja. S druge strane električni automobili su mnogo jednostavniji te je jedini potencijalno veliki trošak izmjena baterijskog paketa automobila. Zbog procesa konverzije energije u baterijama dolazi do postepene degradacije, koja uzrokuje pad kapaciteta. Obično dolazi do pada od 20% ukupnog kapaciteta, ali tek nakon prijeđenih 100 000km. Bez obzira na smanjeni kapacitet takva baterija ne predstavlja nikakav sigurnosti rizik te se može nastaviti koristiti bez ikakvih problema dok kapacitet ne postane toliko nizak da ometa svakodnevnu uporabu automobila. Baterijski sustav je najskuplja komponenta električnog vozila. Razlog toga je što se koriste materijali čija je cijena zadnjih godina višestruko porasla. Procjenjuje se da trenutni proizvodnja košta u prosjeku oko 208 dolara po kWh (tablica 3.4.).

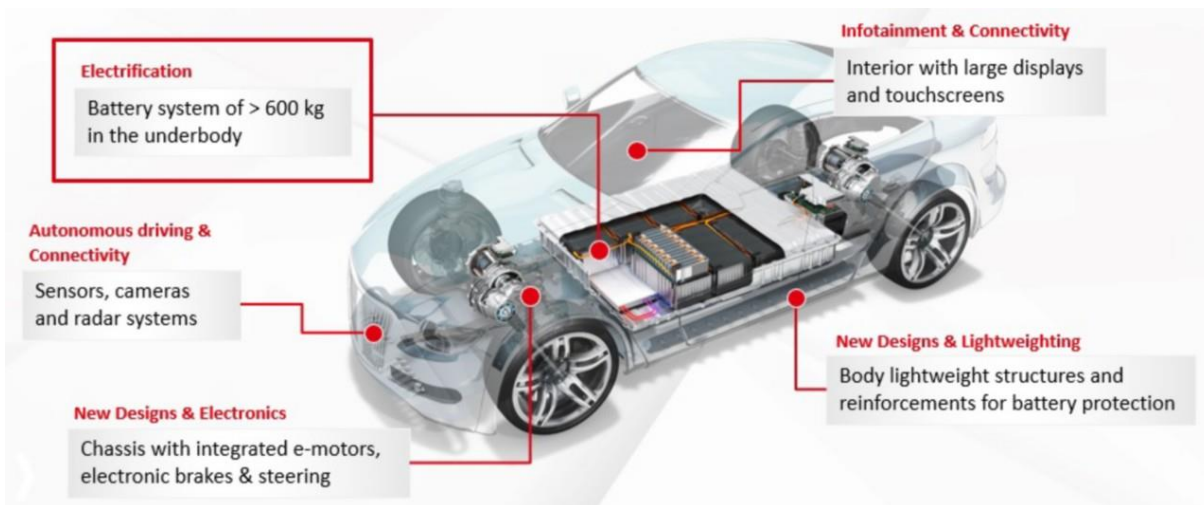
Predviđanja Bloomberg-a su kako će povećanje opsega proizvodnje električnih vozila, kao i masovna proizvodnja baterija zasnovanih na litij-ionskoj tehnologiji, rezultirati padom cijena ovih sustava na 70-ak dolara po kWh do 2030. Cijena baterija je trenutno najveća prepreka masovnoj adaptaciji električnih vozila, pa su pojedini proizvođači u procesu razvijanja alternativnih metoda za skladištenje električne energije poput, primjerice, tehnologije čvrstih baterija. Čvrste baterije umjesto tekućih ili polimernih elektrolita koriste čvrste elektrode i elektrolite a to bi trebalo rezultirati manjim, lakšim, energetski gušćim te ono najvažnije - jeftinijima od postojećih litij-ionskih baterija.

Tablica 3.4. Modeli i cijene baterija [8]

| Model             | Tip ćelija           | Cijena (USD/kWh) | Specifična energija |
|-------------------|----------------------|------------------|---------------------|
| Tesla S 85 90kWh  | 18650                | 260              | 250                 |
| Renault Zoe       | 18650                | 180              | 250                 |
| Nissan Leaf 30kWh | Vrećasta/Prizmatična | 455              | 96                  |
| BMW i3            | Vrećasta             | 340              | 120                 |



Slika 3.16. Dijelovi motora s unutarnjim izgaranjem [9]



Slika 3.17. Dijelovi električnog vozila [9]

### 3.7. Odabir baterijskih paketa

Vijek trajanja, baterijski paketi u električnim automobilima najčešće imaju garanciju osam godina ili 160 000km. Vruća klima pospješuje smanjenje kapaciteta iako tek se trebaju provesti studije koje proučavaju starenje baterija u različitim klimatskim uvjetima.

Bitan faktor je i sigurnost. Prilikom sudara postoji mogućnost da dođe do eksplozije i zapaljenja ukoliko je baterijski paket loše izveden. Dobro dizajniran sustav za kontrolu baterija osigurava da prilikom sudara baterija ostaje netaknuta ili se u najgorem slučaju deaktivira.

Najbitniji faktor ali i faktor koji najviše utječe na cijenu finalnog proizvoda je cijena baterija. Baterije su najskuplja komponenta električnih automobila, cijenom se može usporediti s klasičnim autom na unutarnje izgaranje niže klase.

Baterije uvelike ograničavaju performanse kada se nađu u pretoplom ili prehladnom okruženju za razliku od motora s unutarnjim izgaranjem koji imaju jednake performanse neovisno o vremenskim uvjetima. Okruženje šteti performansama baterija, te zbog tog samo ograničeno vrijeme mogu provesti pod maksimalnim opterećenjem bez utjecaja na performanse.



Specifična energija, u pogledu energije, baterija ima 1 % energije koju može proizvesti fosilno gorivo jednake mase. Kilogram benzina svojim izgaranjem otpusti 12 kWh energije, dok baterija iste mase ima oko 150 Wh. Međutim treba uzeti u obzir da elektromotor energiju baterije pretvara u kinetičku energiju s efikasnošću od 90%, a motor na unutarnje izgaranje tek s 25% efikasnosti.

### **3.8. Konfiguracija baterija**

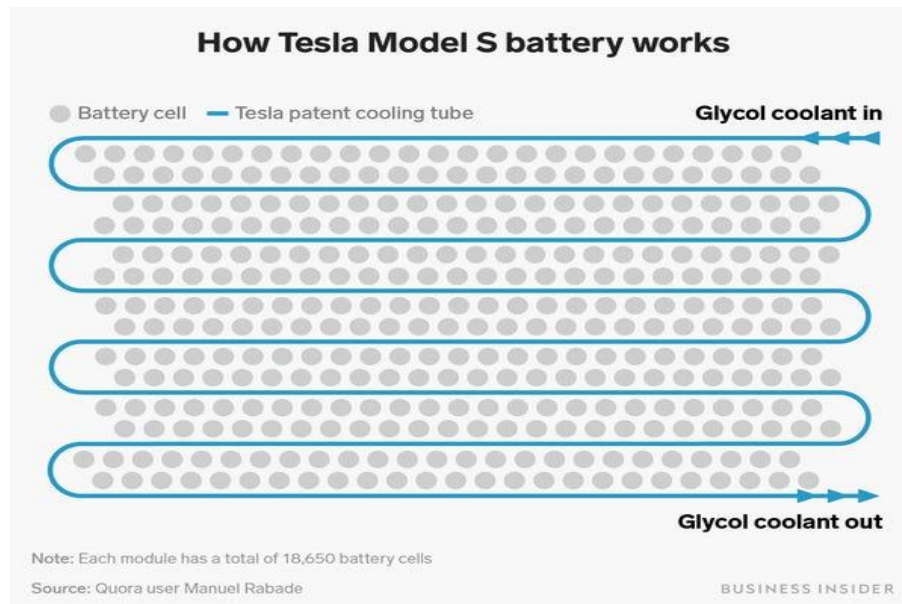
Najvažniji kriteriji prema kojima se konstruiraju baterijski paketi električnih vozila su: volumen i masa baterijskog paket vozila, napon i kapacitet i cijena.

Ukoliko se raspoláže s dovoljno prostora najbolji izbor su cilindrične ćelije. Cilindrična ćelija ne može maksimalno iskoristiti prostor baterijskog paketa, zato što između cilindričnih ćelija uvijek ostaje neiskorištenog prostora. Međutim korištenjem cilindričnih ćelija kompletni oblik baterijskog paketa je fleksibilniji. Prednost praznog prostora je to što se koristi za hlađenje. Tesla S85 koristi preko 7000 jediničnih cilindričnih ćelija, spojenih u serije i paralele, koje tako daju potreban napon i kapacitet (slika 3.19.,3.20.). Ako se jedna ćelija u seriji pokvari, ukupni napon u tako dugoj seriji neće znatno pasti. Paralele su osigurane od kratkog spoja osiguračima.[10]

Baterijski paket prilikom konstrukcije se zbog sigurnosti razdvaja na module kako ne bi došlo do zapaljenja ćelije i moguće lančane reakcije. Pet je najvažnijih koraka koji se moraju poštovati prilikom konstruiranja baterijskog paketa.

Prvi korak se sastoji od određivanja konfiguracije rasporeda ćelija, tj. koliko ćelija mora biti u serijskom a koliko u paralelnom spoju. Fundamentalno je odrediti raspored ćelija jer se sav naknadni dizajn temelji na rasporedu ćelija.

Nadalje, potrebno je osmisliti mehaničku strukturu koja štiti i podržava ćelije. Ovaj korak podrazumijeva poznavanje materijala koji će se koristiti, a posebno termodinamičkih zahtjeva (hlađenje).



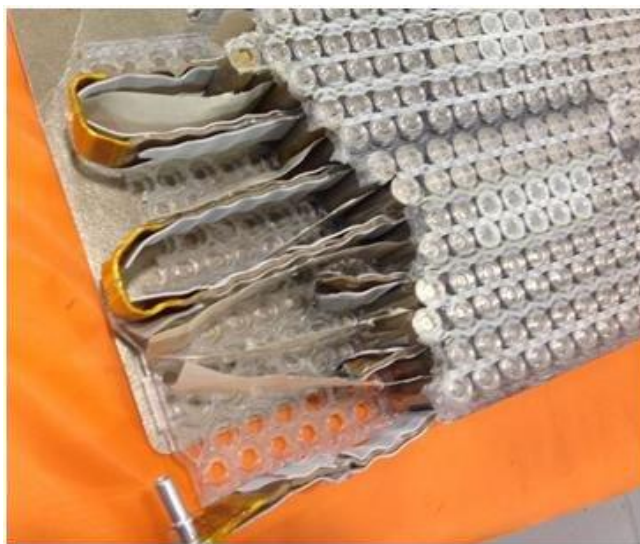
Slika 3.18. Shema izvedbe Teslinih baterija [10]

Treći korak je osmišljavanje električne zaštite ćelija. Baterijski paket mora biti zaštićen od kratkog spoja interno i eksterno, te od prejakog punjenja i pražnjenja.

Četvrti korak je dizajn sustava za nadzor stanja i upravljanje radom ćelija, koji održava maksimalne performanse baterijskog paketa te ih štiti od oštećenja uslijed prepražnjenja ili prepunjenja.

Na kraju je potrebno odrediti kako puniti i prazniti paket da optimalno funkcionira.[5]

Litij-ionske baterije najbolje funkcioniraju u području od 10 °C do 50 °C. Temperaturna razlika između najtoplije i najhladnije ćelije ne bi smjela iznositi više 10 °C. Zbog toga je potreban sustav hlađenja kako pri naglim pražnjenjima ne bi došlo do temperaturnih razlika. Također je u slučaju jako niskih temperatura potrebno grijati ćelije kako bi dostigle radni napon.



Slika 3.19. Teslina izvedba cilindričnih litij-ionskih baterija [10]



Slika 3.20. Baterijski paket u podu automobila [10]

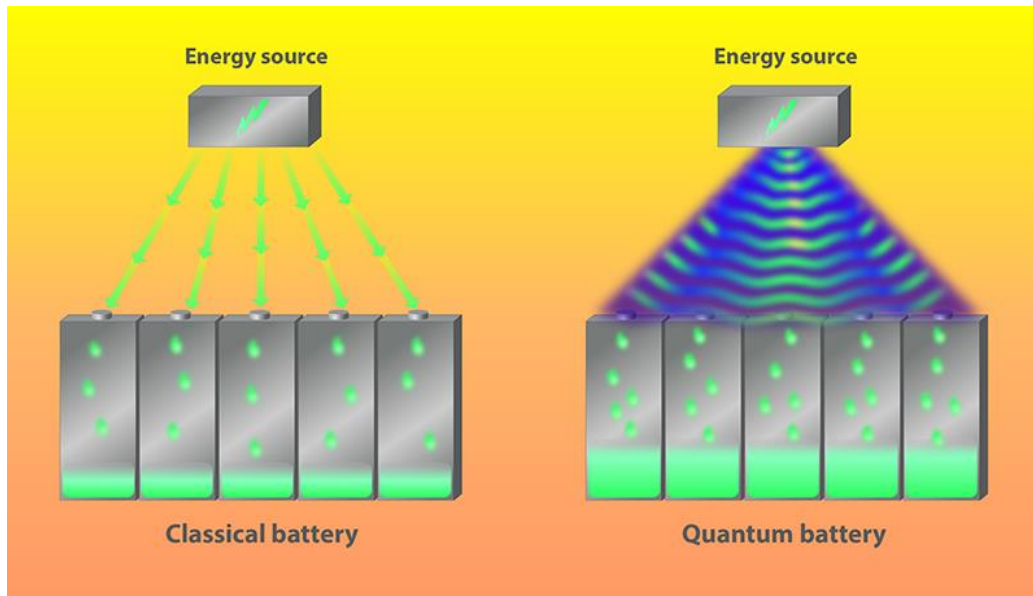
## 4. BUDUĆNOST

### 4.1. Kvantna baterija

Električna vozila oslanjaju se na baterije kao medij za pohranu svoje energije, to je bila glavna prepreka koja je stajala na putu svakodnevnoj uporabi električnih automobila. Dugo vremena su baterije imale daleko manju gustoću energije od one koju nude fosilna goriva, što je rezultiralo vrlo malim dometom prvih modela električnih vozila. Međutim, postupno poboljšanje baterijske tehnologije omogućilo je da dometi električnih automobila postanu prihvatljivi u usporedbi s automobilima na unutarne izgaranje. Problem kapaciteta baterija bio je glavni problem koji je trebalo riješiti da bi došlo do popularizacije električnih vozila. Međutim, unatoč velikim poboljšanjima u baterijskoj tehnologiji, danas se potrošači električnih vozila suočavaju s još jednom poteškoćom - sporom brzinom punjenja baterije. Trenutno je automobilima potrebno oko 10 sati da se potpuno napune kod kuće. Čak i najbrži punjači na stanicama za punjenje zahtijevaju 20-40 minuta da potpuno napune baterije. To stvara dodatne troškove i neugodnosti za potrošače.

Znanstvenici su započeli testiranja i istraživanja da bi pronašli rješenje u konceptu kvantnih baterija. Današnje moderne baterije koje imaju veliki kapacitet sastoje se od velikog broja ćelija, ali te ćelije se pune paralelno i neovisno jedna o drugoj. Neka od istraživanja u kojima je predložena 'kvantna baterija' pokazala su da bi se kvantni principi mogli iskoristiti kako bi se sve ćelije unutar baterijskog paketa mogle puniti istodobno. Časopis Physical Review Letters objavio je rad korejskih znanstvenika s instituta IBS u Seulu u kojemu se detaljno razvija ideja istodobnog punjenja ćelija te je predložen dizajn baterija nove generacije koji bi se temeljio na kvantnoj fizici (slika 4.1.). Trenutnim načinom punjenja maksimalna brzina punjenja linearno raste u odnosu na broj ćelija, dok bi, prema korejskoj studiji, u kvantnim baterijama brzina punjenja trebala rasti ovisno o kvadratu broja ćelija.

Odnosno tipično električno vozilo s baterijom koja ima 200 ćelija punilo bi se zahvaljujući kvantnoj tehnologiji 200 puta brže, što znači da bi se vrijeme punjenja kod kuće smanjilo s deset sati na tri minute, a na stanicama za punjenje s 30 minuta na samo desetak sekundi. S tom brzinom punjenja se može konkurirati benzinskim crpkama odnosno motorima na unutarnje izgaranje. Unatoč otkrićima kvantna tehnologija još je uvijek u povojima i daleko od stvarne uporabe u komercijalnim baterijama.



Slika 4.1. Princip rada kvantnih baterija [12]

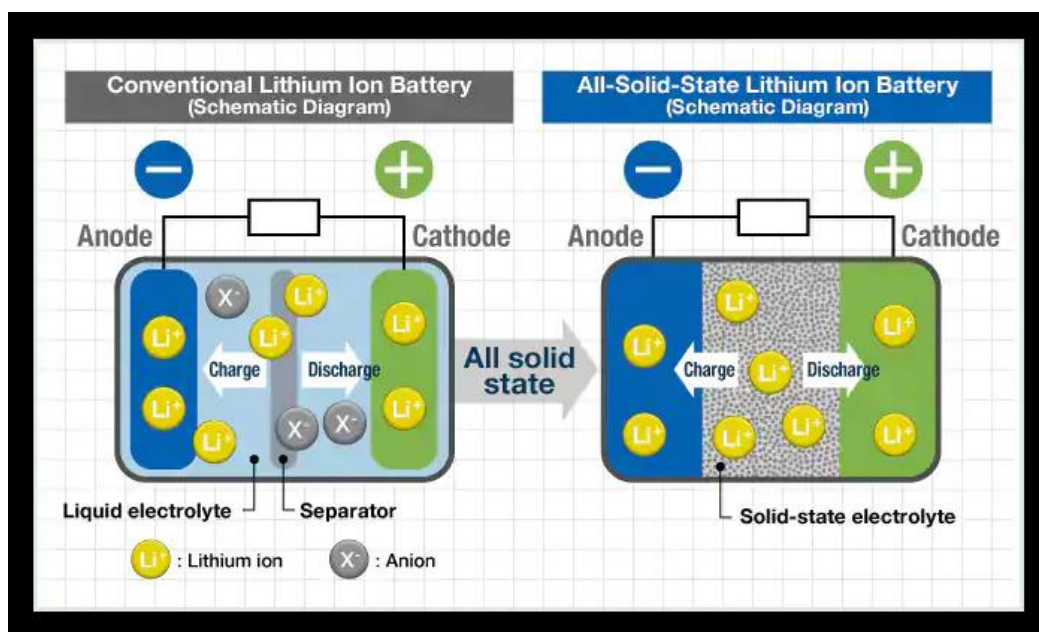
Električna vozila koja dolaze na tržište u sljedećih pet godina, a možda i do 2030., pokretat će se varijacijama na dvije vrste litij-ionskih ćelija koje se već prodaju. Prva vrsta koristi kobalt, nikal, mangan i aluminij kao katodu. Omjeri svakog elementa variraju, s ciljem da se smanji udio vrlo traženog i skupog kobalta uz povećanje gustoće energije i izlazne snage. GM-ove nove Ultium NMCA ćelije, na primjer, koriste 70 posto manje kobalta, povećavajući udio nikla i aluminija. Drugi tip ćelija koristit će litij-željezo-fosfatne (LiFP) katode.

Najčešće ih koriste kineski proizvođači baterija, LiFP ćelije koštaju manje, koriste lakše dostupne minerale i manje su podložne požaru u ekstremnim uvjetima. Deset godina se radilo na poboljšanju njihove gustoće energije te ih je to učinilo praktičnim za korištenje u najnižim i najjeftinijim električnim vozilima.



Tesla ih koristi u nižim verzijama modela 3, a vrijedno je napomenuti da se Tesle opremljene LiFP ćelijama svaki put pune do 100 posto, što sugerira da Tesla ima više povjerenja u dugovječnost i izdržljivost ćelija.

Skok u razvoju kojem se većina proizvođača električnih vozila nada je solid state ćelija, nazvana po čvrstom elektrolitu između katode i anode koji je u današnjim baterijama obično tekući (slika 4.2). Očekuje se da će solid state ćelije biti energetske gušće, sigurnije i u konačnici idealan izbor. No malo je vjerojatno da će se naći u serijskim automobilima barem do 2025., a čak i tada samo u skupim modelima male količine. Toyota ulaže velike napore kako bi solid state ćelije bile praktične za masovnu proizvodnju. Predviđaju da će prvo vozilo s solid-state ćelijama biti lansirano sredinom desetljeća. Hibridna vozila, s manjim baterijama koja je će raditi u većim količinama, vjerojatno će ih dobiti prva. Solid state baterije suočavaju se s velikim preprekama u pogledu smanjenja troškova materijala, postavljanju proizvodnih linija tako da njihova cijena bude konkurentna starijim, poznatijim ćelijama koje su imale koristi od godina usavršavanja. Jedan od glavnih izazova za solid state baterije je produljenje njihova životnog vijeka na nekoliko tisuća ciklusa punjenja i pražnjenja što je očiti preduvjet za EV.



Slika 4.2. Usporedba klasičnih i solid state baterija [13]

## 4.2. Alternativna rješenja

### Strukturalne baterije

Istraživanje na Tehnološkom sveučilištu Chalmers usredotočilo se na korištenje nove tehnologije baterije kao strukturne komponente budućih električnih automobila. To bi moglo dovesti do vrlo lakih vozila u kojima su dijelovi karoserije baterije. Koristeći ugljična vlakna kao negativnu elektrodu, dok je pozitivna litij-željezov fosfat, ove baterije bi bile iznimno krute i čvrste kao strukturne komponente.

### Karbonske nano elektrode

NAWA Technologies dizajnirala je i patentirala ultra brzu ugljičnu elektrodu koja bi mogla potpuno promijeniti današnje baterije kakve poznajemo. Tehnologija koristi okomito postavljenu ugljičnu nano cijev koja može deset puta povećati snagu baterije u odnosu na trenutne baterije. Također može pohraniti tri puta veću energiju i produžiti životni ciklus baterije pet puta. NAWA kaže da će vrijeme punjenja biti samo pet minuta kako bi se došlo do 80% napunjenosti. NAWA tehnologija mogla bi se koristiti u proizvodnji električnih vozila već 2023.

### Baterije bez kobalta

Sveučilište u Teksasu radi na litij-ionskoj bateriji koja ne koristi kobalt kao katodu. Umjesto toga, koristi do 89% nikla, kao i aluminij i mangan. Razlog tomu je što je kobalt rijedak i skup. Kineska tvrtka SVOLT proizvodi baterije bez kobalta za tržište električnih vozila. Tvrdi da imaju veću gustoću energije, što rezultira dometom do 500 milja po punjenju.

### Biološki poluvodiči

Tvrtka StoreDot koja je nastala iz odjela za nanotehnologiju Sveučilišta u Tel Avivu, razvila je punjač koji koristi biološke poluvodiče. Oni koriste organske peptidne spojeve koji su građevni blokovi proteina. Rezultat je punjač koji može napuniti pametni telefon za samo 60 sekundi, a korišteni organski spojevi nisu zapaljivi što osigurava sigurnije punjenje. StoreDot trenutno izrađuje baterije za električna vozila koja će se puniti za pet minuta i nuditi domet od 300 milja.

## Baterije bez degradacije

Znanstvenici sa Sveučilišta u Kaliforniji rade na baterijama od nano žica koje nemaju ograničen broj ciklusa punjenja. Zlatne nano žice su tisuću puta tanje od ljudske kose i uronjene su u gelu elektrolita kako se ne bi uništile tijekom ponovnog punjenja. Punjene su više od 200.000 puta tijekom tri mjeseca i nisu pokazali znakove degradacije.



## 5. ZAKLJUČAK

Aktualiziranjem automobila na električni pogon došlo je do njihove svakodnevnije uporabe, a to je otkrilo trenutno najveće nedostatke i slabosti takvog pogona na kojima će biti nužno raditi ukoliko se želi postići široka primjena električnih automobila. Iako klasični automobili prevladavaju u svakodnevnoj uporabi, sve viša cijena energenata i potreba za „zelenijim“ načinima prijevoza će uzrokovati neizbježan napredak baterija, punionica, električne mreže i svega ostalog što je potrebno da bi se motori s unutarnjim izgaranjem izbacili iz upotrebe. U odnosu na XIX. stoljeće sami pojam automobila se drastično promijenio.

Od automobila s dometom od tek nekoliko kilometara s baterijama koje su se vadile kako bi se napunile u „električnim štalama“ do današnjeg standarda baterija koje imaju nekoliko stotina ciklusa punjenja, garanciju osam godina i domet nekoliko stotina kilometara. Iako trenutni broj električnih automobila ne predstavlja opterećenje za električnu mrežu, poboljšanje infrastrukture je nužno ukoliko se želi postići dovoljno „gusta“ mreža punionica koja bi zadovoljila sve korisnike i otklonila moguće stvaranje redova čekanja. Povećanje broja punionica nije jedino rješenje kojim se može izbjeći stvaranje redova, većim brzinama punjenja odnosno uvođenjem tehnologije kvantne fizike i kvantnih baterija.

Time bi vrijeme punjenja nadmašilo čak i klasične benzinske pumpe jer vrijeme punjenja kvadratno ovisi o kapacitetu baterija čime se dostižu vremena od nekoliko desetaka sekundi za punu bateriju. Da bi kvantne baterije imale smisla kapacitet istih mora biti iznimno velik, a kapacitet sa sobom donosi masu i volumen koji te baterije zauzimaju što negativno utječe na dimenzije i masu automobila. Iz tog razloga znanstvenici rade na baterijama različitih konstrukcija jer dosadašnje litij-ionske baterije su dosegle svoj maksimum u pogledu optimizacije te je njihov jedini napredak moguć u pogledu povećavanja broja ćelija u baterijskom paketu.

Alternativa su im solid state baterije koje uz to što su sigurnije bile bi i energetski gušće što sa sobom donosi i kompaktnije pakiranje cjelokupnog baterijskog paketa. Litij-ionske baterije uz sve to bi u bliskoj budućnosti mogle imati još jedan problem zbog toga što koriste iznimno skupe i rijetke materijale od kojih se posebice ističe kobalt.

Zbog toga se proučava efikasnost baterija različitih struktura kao što su karbonske nano katode, biološki poluvodiči itd. Neupitno je da će budućnost donijeti veliki broj novih tehnologija i otkrića te će električni pogon napredovati isto kao što je i napredovao od XIX. stoljeća do danas. Do tada fokus treba biti na povećanju zastupljenosti obnovljivih izvora energije, smanjenu emisija ugljičnog dioksida i što zelenijem načinu prijevoza.

## LITERATURA

- [1] <https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/15cf791a-4c97-4f29-84d9-17c1b47ceccc/kemija-2/m05/j02/index.html>, posjećeno 10.06.2022.
- [2] <https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/7b5e1fe5-86e2-4142-af6c-5197c4a08148/kemija-8/m01/j02/istrazi/index.html>, posjećeno 10.06.2022.
- [3] <https://www.touchstoneenergy.com/sites/tse/files/documents/The-Electric-Vehicle-Evolution-Web-view.pdf>, posjećeno 11.06.2022.
- [4] <https://www.lemo-project.eu/wp-content/uploads/2015/01/EVs-charging-history.pdf>, posjećeno 11.06.2022.
- [5] [https://afdc.energy.gov/vehicles/electric\\_batteries.html](https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_batteries.html), posjećeno 13.06.2022.
- [6] <https://www.schrack.hr/know-how/elektromobilnost/punjenje-elektricnih-vozila>, posjećeno, 13.06.2022.
- [7] <https://elen.hep.hr/>, posjećeno 13.06.2022.
- [8] [https://www.mobilityhouse.com/int\\_en/knowledge-center/charging-time-summary](https://www.mobilityhouse.com/int_en/knowledge-center/charging-time-summary), posjećeno 16.06.2022.
- [9] <https://www.makeuseof.com/electric-car-battery-charger-explained/>, posjećeno 16.06.2022.
- [10] <https://www.sciencedaily.com/releases/2022/03/220321091916.htm>, posjećeno 18.06.2022.
- [11] <https://cleantechnica.com/2016/05/11/will-electric-cars-break-grid/>, posjećeno 18.06.2022.
- [12] <https://www.caranddriver.com/features/a39493871/the-future-for-ev-batteries/>, posjećeno 19.06.2022.
- [13] <https://www.greencars.com/guides/the-future-of-ev-batteries>, posjećeno 20.06.2022.

## POPIS SLIKA

|  |    |
|--|----|
| Slika 2.1. Shema galvanskog članka .....                                 | 6  |
| Slika 2.2. Voltin članak .....   | 6  |
| Slika 2.3. Ovisnost napona i kapaciteta o struji pražnjenja.....         | 8  |
| Slika 3.1. EV1 kompanije General Motors .....                            | 12 |
| Slika 3.2. Cilindrična litij-ionska baterija .....                       | 13 |
| Slika 3.3. Prizmatična litij-ionska baterija .....                       | 14 |
| Slika 3.4. Pouch litij-ionska baterija .....                             | 15 |
| Slika 3.5. Postrojenje za reciklažu baterija .....                       | 17 |
| Slika 3.6. Različiti modovi punjenja .....                               | 19 |
| Slika 3.7. Prikaz punionica u gradu Splitu .....                         | 19 |
| Slika 3.8. Elen punionica u Hrvatskoj.....                               | 20 |
| Slika 3.9. Broj prodanih električnih i hibridnih vozila.....             | 22 |
| Slika 3.10. Broj prodanih električnih automobila po državama 2016. ....  | 23 |
| Slika 3.11. Broj globalno prodanih električnih automobila 2011-2016..... | 24 |
| Slika 3.12. Prodaja električnih automobila 2010-2020.....                | 24 |
| Slika 3.13. Ovisnost dometa i mase vozila .....                          | 25 |
| Slika 3.14. Dijelovi motora s unutarnjim izgaranjem .....                | 27 |
| Slika 3.15. Dijelovi električnog vozila.....                             | 28 |
| Slika 3.16. Shema izvedbe Teslinih baterija .....                        | 30 |
| Slika 3.17. Teslina izvedba cilindričnih litij-ionskih baterija .....    | 31 |
| Slika 3.18. Baterijski paket u podu automobila .....                     | 31 |
| Slika 4.1. Princip rada kvantnih baterija .....                          | 33 |
| Slika 4.2. Usporeda klasičnih i solid state baterija.....                | 34 |

## **POPIS TABLICA**

|   |    |
|---|----|
| Tablica 3.1 Vrijednosti specifičnih energija i samopražnjenja za različite tipove baterija..... | 16 |
| Tablica 3.2 Potrebno vrijeme punjenja baterije za domet od 100km.....                           | 20 |
| Tablica 3.3 Kapaciteti baterija i dometi nekih od najpopularnijih električnih automobila.....   | 26 |
| Tablica 3.4 Modeli i cijene baterija.....   | 27 |