

# Analiza performansi baterijskih spremnika električne energije u osobnim vozilima

---

Zavišić, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:394987>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-27**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

**Sveučilišni studij**

**ANALIZA PERFORMANSI BATERIJSKIH SPREMNIKA  
ELEKTRIČNE ENERGIJE U OSOBNIM VOZILIMA**

**Završni rad**

**Ivan Zavišić**

**Osijek, 2022.**

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. Zadatak završnog rada</b> .....	<b>1</b>
<b>2. PREGLED PODRUČJA LITERATURE</b> .....	<b>2</b>
<b>3. ELEKTRIČNA VOZILA I BATERIJSKI SPREMNICI U VOZILIMA</b> .....	<b>4</b>
<b>3.1. Električna vozila</b> .....	<b>4</b>
3.1.1. Baterijska električna vozila ( BEV ) .....	8
3.1.2. Hibridna električna vozila ( HEV ).....	8
3.1.3. Plug-in hibridna električna vozila ( PHEV ).....	9
3.1.4. Vozila s gorivnim člancima ( FCEV ) .....	9
3.1.5. Punionice električnih vozila .....	9
3.1.6. Prednosti i nedostaci električnih vozila .....	10
<b>3.2. Općenito o baterijama</b> .....	<b>11</b>
3.2.1. Baterijski spremnici električne energije u električnim vozilima.....	13
3.2.2. Litij-ionske (Li-ion) baterije .....	14
3.2.3. Olovne baterije .....	15
3.2.4. Nikal-metal-hibridne (NiMH) baterije.....	17
3.2.5. Superkondenzatori .....	18
3.2.6. Usporedba fizičkih karakteristika baterija .....	19
<b>4. OPREMA ZA PRAKTIČNI DIO</b> .....	<b>20</b>
<b>4.1. Opis korištene opreme</b> .....	<b>21</b>
4.1.1. BlueSolar MPPT 75   15 – regulator punjenja .....	21
4.1.2. MultiPlus Compact 24/800/16 – izmjenjivač/punjač.....	22
4.1.3. Phoenix 24/800 – otočni izmjenjivač.....	24
4.1.4. Venus GX .....	25
4.1.5. Victron Energy GEL baterija – 12 V , 110 Ah .....	26
4.1.6. Victron Energy LiFePO baterija – 12.8 V , 160 Ah .....	28
<b>5. ANALIZA REZULTATA</b> .....	<b>29</b>
<b>5.1. Usporedba napona</b> .....	<b>29</b>
<b>5.2. Usporedba struje</b> .....	<b>30</b>
<b>5.3. Usporedba snage</b> .....	<b>30</b>
<b>5.4. Usporedba stanja napunjenosti</b> .....	<b>31</b>
<b>ZAKLJUČAK</b> .....	<b>33</b>

<b>LITERATURA .....</b>	<b>34</b>
<b>SAŽETAK.....</b>	<b>37</b>
<b>ŽIVOTOPIS.....</b>	<b>38</b>

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju**

Osijek, 16.09.2022.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju**

<b>Ime i prezime Pristupnika:</b>	Ivan Zavišić
<b>Studij, smjer:</b>	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska
<b>Mat. br. Pristupnika, godina upisa:</b>	4439, 31.07.2017.
<b>OIB Pristupnika:</b>	98928792040
<b>Mentor:</b>	Prof. dr. sc. Predrag Marić
<b>Sumentor:</b>	,
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Naslov završnog rada:</b>	Analiza performansi baterijskih spremnika električne energije u osobnim vozilima
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak završnog rad:</b>	U završnom je radu potrebno prikazati teorijski pregled tehnologija baterijskih spremnika električne energije korištenim u električnim vozilima i plug-in hibridima te izvršiti analizu pokazatelja performansi priključenjem različitih trošila u vozilu (pogon, rasvjeta, multimedija). Na osnovu provedene analize, prema karakteristici potrošača odrediti smjernice odabira baterijskih spremnika. (Tema je unaprijed
<b>Prijedlog ocjene završnog rada:</b>	Vrlo dobar (4)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
<b>Datum prijedloga ocjene od strane mentora:</b>	16.09.2022.
<b>Datum potvrde ocjene od strane Odbora:</b>	21.09.2022.
Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:	Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 21.09.2022.

**Ime i prezime studenta:**

Ivan Zavišić

**Studij:**

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

4439, 31.07.2017.

**Turnitin podudaranje [%]:**

15

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Analiza performansi baterijskih spremnika električne energije u osobnim vozilima**

izrađen pod vodstvom mentora Prof. dr. sc. Predrag Marić

i sumentora ,

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

# 1. UVOD

Konvencionalni automobili s motorom s unutarnjim izgaranjem neosporivo dominiraju tržištem automobilske industrije zadnjih 100-tinjak godina. Zbog velikih emisija ispušnih plinova i nepovoljnog utjecaja na okoliš ovakav tip motora nužno je zamijeniti ili poboljšati s novim tehnologijama. Kao ekološka alternativa proizveden je električni automobil. U svojim počecima električni automobil nije dobivao previše pažnje te je često bio potisnut s tržišta od strane konvencionalnih automobila. Upravo zbog razvoja baterijskih spremnika i povećane ekološke svijesti u vrijeme pandemije Covid-19 ponovno je potaknut razvoj tehnologije električnih automobila. Trenutno u svijetu postoje tri glavne vrste električnih automobila. Glavna razlika u ove tri vrste električnih automobila jest udio upotrebe električne energije za sami pogon automobila. Najveća prednost električnih vozila je što nemaju direktnu emisiju, a s vremenom uz pravilan razvoj mogla bi u potpunosti zamijeniti konvencionalna vozila.

U ovom je završnom radu prikazan teorijski pregled tehnologija baterijskih spremnika električne energije korištenim u električnim vozilima i plug-in hibridima. Poblje su opisane vrste električnih vozila kao i vrste električnih spremnika energije u navedenim vozilima. Nakon toga izvršena je analiza pokazatelja performansi priključenja različitih trošila u vozilu.

Ovaj se rad sastoji od pet poglavlja. U prvome je poglavlju dan uvod kao i zadatak završnog rada. Drugo poglavlje prikazuje pregled područja literature. U trećem je poglavlju prikazan podjela električnih vozila te je svaka ukratko prikazana. Drugi dio trećeg poglavlja odnosi se na baterije i baterijske spremnike električne energije. U četvrtom je poglavlju prikazan praktični dio ovog završnog rada, dok peto poglavlje daje rezultate istog.

## 1.1.Zadatak završnog rada

U završnom je radu potrebno prikazati teorijski pregled tehnologija baterijskih spremnika električne energije korištenim u električnim vozilima i plug-in hibridima te izvršiti analizu pokazatelja performansi priključenjem različitih trošila u vozilu (pogon, rasvjeta, multimedija). Na osnovu provedene analize, prema karakteristikci potrošača odrediti smjernice odabira baterijskih spremnika.

## 2. PREGLED PODRUČJA LITERATURE

U literaturi [1] autori navode kako na ekološku učinkovitost baterijskih električnih vozila (BEV) utječu veličina njihove baterije i izvor električne energije za punjenje. Također navode kako bi se za procjenu ekološke učinkovitosti baterija trebale uzeti u obzir promjene u sektoru električne energije i obnovu njihovih baterija. U ovome radu autori provode procjenu životnog ciklusa temeljenu na tri različita scenarija uz četiri različita parametra: buduće promjene u mješavini električne energije za punjenje, slabljenje učinkovitosti baterije, obnavljanje baterije te njezino recikliranje.

Autori u literaturi [2] istražuju nedavne prognoze za brzu elektrifikaciju sektora cestovnog prometa prema 2030. godini. Te su prognoze dovele do značajne neizvjesnosti povezane s kapacitetom proizvodnje baterija te hoće li moći zadovoljiti rastuću potražnju u Europi. S obzirom na ovu nesigurnost i potencijalne implikacije na emisije stakleničkih plinova, ovaj rad istražuje optimalnu razinu elektrifikacije osobnih automobila za smanjenje emisija stakleničkih plinova od izvora do kotača kao funkciju proizvodnog kapaciteta baterije.

U literaturi pod rednim brojem [3] autori istražuju utjecaj te procjenjuju smanjenje emisija štetnih stakleničkih plinova iz alternativnih pogonskih sklopova vozila. Te procjene zahtijevaju upotrebu metodologije procjene životnog ciklusa, koja u obzir uzima: proizvodnju, upotrebu i faze životnog vijeka vozila. Cilj ove studije bio je razviti prilagodljivi okvir za procjenu životnog ciklusa za laka teretna vozila.

Autori u literaturi [4] ispituju dostupne i nove baterijske tehnologije za baterijska električna vozila (BEV). Pet odabranih baterijskih tehnologija procjenjuje se na performanse baterije i cijenu baterije: kratkoročni, srednji i dugoročni. Provode se simulacije ciklusa vožnje kako bi se procijenio utjecaj baterije na energetske, ekološke i ekonomske učinkovitost BEV-a u srednjem roku. Za sve baterije, ostaje izazov istovremeno zadovoljiti zahtjeve vezane uz specifičnu energiju, specifičnu snagu, učinkovitost, životni ciklus, životni vijek, sigurnost i troškove u srednjem ili čak dugom roku.

U literaturi [5] autori govore o tome da se baterijska električna vozila (BEV) smatraju mogućim rješenjem za rješavanje glavnih ekoloških problema cestovnog prometa. Međutim, njihova je primjena ograničena, posebice za putovanja na velike udaljenosti gdje BEV-i pate od kratkog dometa, sporog punjenja i nedostatka infrastrukture. Uzimajući u obzir ove tehnološke, sociološke i ekološke uloge implementacije BEV-a, ovaj rad ima za cilj istaknuti interese višeperspektivne



analize za elektromobilnost. Uvodi metodologiju za analizu i usporedbu performansi konvencionalnih vozila i BEV-ova, uzimajući u obzir različite moguće upotrebe.

U literaturi [6] provedena je sveobuhvatna analiza energetske potrebe i emisije povezanih s električnim vozilima, u rasponu od rudarenja i izrade magneta rijetkih zemalja potrebnih u elektromotoru do sastavljanja Li-ion baterije, uključujući punjenje i redovito pokretanje električnih vozila. Za određivanje ugrađene energije i emisije koristi se jednostavan, analitički postupak. Potrebno je procijeniti potencijal električnih automobila za smanjenje emisije štetnih plinova, kao što su staklenički, s glavnim ciljem ograničavanja globalnog zagrijavanja na  $<1,5$  °C do 2050. godine prema preporukama IPCC-a te ih također usporediti s automobilima na konvencionalno gorivo.

### 3. ELEKTRIČNA VOZILA I BATERIJSKI SPREMNICI U VOZILIMA

#### 3.1. Električna vozila

Početak 19. stoljeća glavni način prijevoza od jednoga mjesta do drugoga (od točke A do točke B) i dalje su bili konji sa zaprežnim kolima. U prvoj polovici 19. stoljeća mnogi znanstvenici počinju usmjeravati svoje napore ka razvitku elektrotehnike, a samim time i razvitku vozila na električni pogon. Za izum prvog električnog vozila bilo je potrebno više različitih otkrića te za njega nije zaslužna samo jedna osoba niti država. [7] Za proizvodnju jednih od prvih električnih vozila zaslužni su engleski znanstvenik Thomas Parker i američki kemičar William Morrison. U zadnjem desetljeću 19. stoljeća, točnije 1897. godine dolazi do komercijalne primjene električnih vozila kada su se počela koristiti za usluge taksi prijevoza u Sjedinjenim Američkim Državama i Velikoj Britaniji. [7] Sljedeća slika prikazuje navedeno prvo električno vozilo koje je proizveo Thomas Parker.

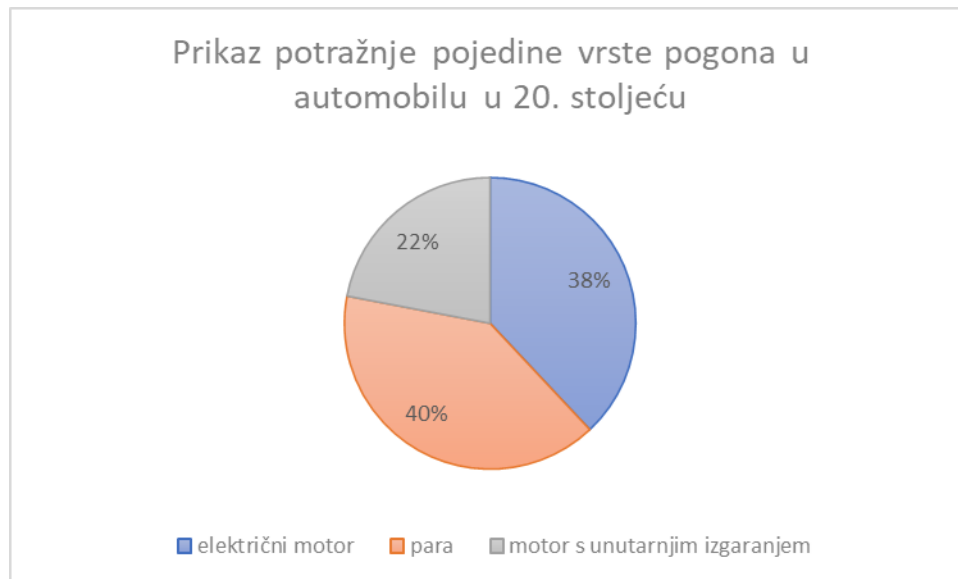


*Slika 3.1. Električno vozilo Thomasa Parkera [8]*

U literaturi [7] autori navode kako je u prvom desetljeću 20. stoljeća potražnja za električnim vozilima bila na svom vrhuncu. Autori iste literature navode dva razloga:

- Električna su vozila bila izuzetno jednostavna za korištenje u usporedbi s tadašnjim vozilima na gorivo i paru.
- Električna su vozila optimalnija za gradsku vožnju. [7]

Ove činjenice potvrđuje i podatak da je čak „38% automobila u Sjedinjenim Američkim Državama bilo pokretano električnim motorom, 40% njih na paru i samo 22% njih na motor s unutarnjim izgaranjem.“



*Slika 3.2. Pogoni u automobilu u 20. stoljeću [9]*

Henry Ford, Ferdinand Porsche i Thomas Edison imali su, u to vrijeme, najveći utjecaj na automobilsku industriju te je niz njihovih izuma i poboljšanja već postojećih motora s unutarnjim izgaranjem doveo do totalnog nestanka električnih vozila s tržišta u 1935. godini. U idućih 30 godina razvitku električnih vozila ne pridaje se previše pažnje te nemaju gotovo nikakav tehnološki napredak i skoro pa su i zaboravljena od strane ljudi.[7] Naime, zbog konstantnih problema s emisijom ispušnih plinova, krajem 20. stoljeća donesen je niz zakona o regulaciji emisija ispušnih plinova koji su potakli mnoge znanstvenike da napore ponovno usmjere ka razvitku električnih vozila. Prva velika prekretnica dogodila se 1997. godine u Japanu kada je predstavljen hibridni automobil Toyota Prius koji je za svoj pogon koristio kombinaciju benzina i električne energije. [7] Sljedeća slika, slika 3.3. prikazuje model hibridnog automobila, Toyota Prius.



*Slika 3.3. Toyota Prius iz 1997. godine [10]*

Prema autorima iz literature [7], Toyota Prius osvojila je svjetsko tržište i u kratkom vremenu postala najprodavaniji hibridni automobil na svijetu. Autori u literaturi [7] navode dva faktora koja su ponajviše utjecala:

- konstantan rast cijena goriva
- želja ljudi za očuvanjem okoliša.

Druga velika prekretnica dogodila se 2006. godine kada je tvrtka Tesla Motors iz Sjedinjenih Američkih Država najavila masovnu proizvodnju luksuznih i sportskih električnih vozila. Uspjesi ove tvrtke potaknuli su mnoge druge proizvođače automobila da se posvete razvoju vlastitih varijanti električnih vozila. To je rezultiralo pojavom novih vrsta vozila 2010. godine poput plug-in hibrida Chevrolet Volt-a i potpuno električnog (all-electric) Nissan LEAF-a.[7] No, električna vozila su se i dalje suočavala sa problemima kao iz svojih početaka, a to su problemi vezani uz domet vožnje i punjenje baterija. Iz tog razloga od 2010. do 2020. godine uloženi su veliki naponi za poboljšanje performansi električnih vozila i infrastrukture za punjenje baterija. Sve to zajedno dovelo je do toga da u 2022. godini dvije od poznatijih tvrtki za električna vozila 'Tesla Motors' iz SAD-a i 'Rimac automobili' iz Hrvatske proizvode sportske automobile futurističkog izgleda sa potpuno električnim pogonom koji dosežu brzine od +400km/h i mogu preći više od 500km u samo jednom punjenju. [7]



*Slika 3.4. Rimac Nevera [11]*

U literaturi [12] autori su napravili podjelu električnih vozila. Već spomenuta moguće je podijeliti na dvije vrste:

- potpuno električna (engl. all-electric) i
- hibridna električna vozila.

Hibridna vozila koriste motor s unutarnjim izgaranjem u kombinaciji s elektromotorom dok potpuno električna vozila koriste isključivo električnu energiju iz svojih baterija i elektromotor. Za hibride postoji i serijska i paralelna izvedba ovisno o vrsti pogona. Većina današnjih električnih vozila proizvodi se u jednoj od 3 varijante, a to su baterijsko električno vozilo, hibrid i plug-in hibrid. [12] Sljedeća slika prikazuje razliku između prethodno opisanih vrsta vozila.

	KONVENCIONALNA	HIBRIDI	PLUG-IN HIBRIDI	POTPUNO ELEKTRIČNA
IZVORI ENERGIJE				
POTROŠNJA				
EMISIJE				

*Slika 3.5. Prikaz razlika između različitih vrsta vozila [13]*

### **3.1.1. Baterijska električna vozila ( BEV )**

Prema [14, 15] „baterijska električna vozila“ (engl. Battery electric vehicle) za pogon i napajanje ostalih uređaja u vozilu koriste isključivo električnu energiju pohranjenu u baterijama. Dakle, umjesto spremnika za gorivo kao i klasičnog motora s unutašnjim izgaranjem imaju elektromotor i baterijske spremnike. Nakon pražnjenja baterijske spremnike treba napuniti, a jedna od odlika BEV-a je i mogućnost brzog punjenja (engl. fast charging). Možda i najbitnija stvar kod BEV varijante je što uopće nema emisije štetnih plinova prilikom vožnje. Najčešće korišten tip elektromotora je indukcijski (asinkroni) motor zbog malih troškova proizvodnje i vrlo jednostavnog dizajna. Jedna od osobina BEV-a je da prilikom kočenja pohranjuje energiju deceleracije nazad u baterije, poznatija i kao regenerativno kočenje. Još neke od osobina su linearno ubrzanje koje za razliku od benzinskog i dizelskog motora daje električnom motoru bolje ubrzanje od 0 do 100 km/h te manji vozački umor, manje vibracija u vožnji kao i tiši rad motora. Baterije se mogu napuniti za svega 20 do 30 minuta na brzim punionicama dok na sporijim punionicama poput kućnih vrijeme punjenja može biti od šest pa sve do osam sati. [14, 15]

### **3.1.2. Hibridna električna vozila ( HEV )**

„Hibridna električna vozila“ (engl. Hybrid Electric Vehicle) kao pogon koriste kombinaciju benzinskog ili dizelskog motora s elektromotorom. Elektromotor služi za davanje snage po potrebi, a većinu snage vozilo dobiva od motora s unutarnjim izgaranjem. [12] Dok je vozilo u pogonu dolazi do generiranja energije za rad elektromotora i skladištenja iste u baterije. Upravo iz tog razloga nije potrebno punjenje preko vanjskog izvora niti se hibridi mogu puniti na standardnim punionicama poput EVgo punionice. Druga svrha elektromotora je stvaranje električne energije pomoću regenerativnog kočenja te skladištenje iste u baterije dok se kod motora s unutarnjim izgaranjem energija deceleracije kod kočenja pretvara u toplinsku te nije iskoristiva. Prvi automobil ovakvog tipa je Toyota Prius. Autor u literaturi [12] navodi "Do veljače 2012. godine u svijetu je prodano ukupno 2,5 milijuna primjeraka. Prius je otvorio vrata novim tehnologijama i dokazao da interes za ekološki čiste automobile itekako postoji.“ [12, 15]

### **3.1.3. Plug-in hibridna električna vozila ( PHEV )**

„Plug-in hibridna električna vozila“ (engl. Plug-in Hybrid Electric Vehicle) kao pogon koriste samo jedan ili nekoliko elektromotora uz motor s unutrašnjim izgaranjem što je vrlo slično HEV-u. Jedna od razlika je što PHEV snagu crpi primarno iz elektromotora, a druga što baterije PHEV-a za punjenje moraju koristiti vanjski izvor energije. [12] Njihove baterije su vrlo malog kapaciteta zbog čega u potpuno električnom režimu rada mogu preći svega 10-60 km, ali to nije ograničavajući faktor. Pražnjenjem baterije pokreće se motor s unutrašnjim izgaranjem te on „uskače“ i preuzima rad, ali ujedno i ponovno puni bateriju. Svaki PHEV se može puniti na standardiziranoj EVgo L2 punionici, ali nema mogućnost brzog punjenja kao BEV. Na kraju se može zaključiti da HEV primarno koristi motor s unutarnjim izgaranjem kojem potpomaže elektromotor, a PHEV primarno koristi elektromotor kojem potpomaže motor s unutarnjim izgaranjem. Plug-in hibrid ekološki je čišća varijanta od hibridne no činjenica je da je BEV najbliži ostvarenju cilja ekološki čistih vozila.

[12, 15]

### **3.1.4. Vozila s gorivnim člancima ( FCEV )**

„Vozila s gorivnim člancima“ (engl. Fuel cell vehicle, FCV) proizvode električnu energiju kroz reakciju vodika i kisika. Naziv su dobila po središnjoj komponenti sustava – gorivnom članku. Vodik se ulijeva u spremnik na isti način kao benzin ili dizel i skladišti se pod visokim tlakom.

[11] Za reakciju je potreban i važan kisik koji se usiše iz okoline. Električna energija dobivena ovim postupkom pokreće elektromotor, a mogući višak i energija dobivena regenerativnim kočenjem pohranjuju se u baterije. [16]

### **3.1.5. Punionice električnih vozila**

Punionice električnih vozila prema literaturi [17] mogu se podijeliti u dvije kategorije:

- Javne
- Privatne.

Javne punionice dostupne su svima te se u Republici Hrvatskoj njihovo korištenje u početku nije naplaćivalo. Privatne punionice razlikuju se od javnih po tome što se nalaze uz kuće te imaju značajno manju snagu od onih javnih.

Druga podjela punionica prema autorima u literaturi [17] jest na:

- Jednofazne
- Trofazne.

Njihov izlazni napon stoga može biti izmjenični ili istosmjerni.

Literatura [18] govori o prvoj HEP-ovoj hrvatskoj punionici. Radi se u ultra-brzoj punionici za električna vozila smještenoj na autocesti A6, na odmorištu Vukova Gorica. Ovaj je projekt HEP pokrenuo u suradnji s Inom. Ova punionica ima snagu od 175 kW te omogućuje punjenje električnog vozila u vremenu od 15 minuta. Na ovoj se lokaciji nalaze još četiri punionice u vlasništvu HEP-a, od kojih svaka ima snagu od 50 kW.



*Slika 3.6. HEP-ova punionica za električno vozilo [18]*

HEP osim ove ultra-brze punionice u vlasništvu ima još i mrežu javnih punionica pod nazivom ELEN. Ova se mreža sastoji od javno dostupnih punionica za električna vozila sa posebnim mjernim mjestom te uz jednoznačno praćenje potrošnje uz uvjete zadovoljavanja svih komunikacijskih kao i tehničkih protokola i standarda. HEP naplaćuje punjenje na ELEN punionicama u Republici Hrvatskoj. [18]

### **3.1.6. Prednosti i nedostaci električnih vozila**

Električni automobili i njihova upotreba imaju svoje pozitivne i negativne strane. Autori u literaturi [19] prikazuju sljedeće pozitivne strane:



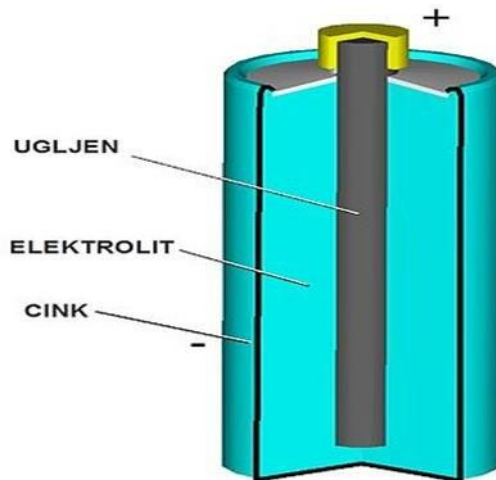
- Bolji utjecaj na okoliš pa i na zdravlje ljudskog organizma. To omogućuju jer ne koriste ispušni sustav te na taj način ne ispuštaju štetne stakleničke plinove. Ovim se načinom dolazi do puno bolje kvalitete zraka za disanje što znači manje zdravstvenih problema.
- Pokretani su obnovljivom energijom. Električna je energija obnovljiva, za razliku od benzina koji se proizvodi od neobnovljive nafte. Velika je prednost ovakvih automobila upravo to što se mogu pokretati pomoću obnovljivih izvora energije.
- Upotrebom električnih vozila postiže se znatna ušteda. Punjenje automobila je prema autorima u literaturi [19] tri puta povoljnije od točenja goriva.

Također, električna vozila imaju i nedostatke:

- Električni automobili imaju vrlo visoke cijene. Autori u literaturi [19] navode podataka iz rujna 2019. o najjeftinijem električnom vozilu u Australiji – Hyundai Ioniq te je koštao oko 50.000 AUD, što iznosi približno 34.210 eura.
- Slijedeći problem kod električnih vozila jest doseg. Električni automobili ne mogu preći prevelike udaljenosti, a stanice za punjenje električnih vozila još se uvijek nisu proširile na dovoljno mjesta kako bi se vozači ovakvih vozila mogli nesmetano voziti do udaljenijeg odredišta.
- Također je problem i vrijeme punjenja. Električnim automobilima potrebno je nekoliko sati kako bi se napunili te kako bi vozač mogao nastaviti voziti, što može predstavljati veći problem prilikom putovanja na daljim rutama. [19]

### **3.2. Općenito o baterijama**

U ovom djelu završnog rada najprije će se pobliže opisati baterijski spremnici električne energije općenito, a zatim i spremnici el. energije u električnim i hibridnim vozilima. Na slici 3.6. prikazana je litij-ionska baterija.



*Slika 3.6. Presjek baterije [20]*

Električna baterija uređaj je koji pomoću elektrokemijskih redoks reakcija uskladištenu kemijsku energiju pretvara u električnu. [21]

Krajem 18. stoljeća, poznati pokus L. Galvanija sa žabljim kracima koji trzaju pri dodiru s dva različita metala međusobno spojenih na drugom kraju, pokrenuo je niz drugih pokusa s ciljem razvoja elektrokemije kao znanstvene cjeline.[21] Elektrokemijska komponenta zaslužna za pretvorbu kemijske energije u električnu zove se članak. Dijelovi članka su: elektrolita i elektroda. Anoda je negativna elektroda koja vanjskom strujnom krugu predaje elektrone, a katoda je pozitivna elektroda koja iste elektrone prima. Između katode i anode nalazi se elektrolit odnosno medij pomoću kojeg se prenosi naboj, a također služi i za poboljšanje vodljivosti. Anoda tijekom elektrokemijske reakcije oksidira, a katoda se reducira. [22]

Baterije se mogu podijeliti na primarne (nepunjive) i sekundarne (punjive). Nepunjive baterije kao što samo ime govori, mogu se iskoristiti samo jednom do potpunog ispražnjenja jer nemaju reverzibilan elektrokemijski proces. Važno je znati da se ovakav tip baterije ne smije ni pokušati puniti jer postoji velika vjerojatnost da baterija eksplodira ili iscure tekućina iz nje.[22]

Najpoznatiji primjeri upotrebe primarnih baterija svakako su daljinski upravljači, satovi, igračke poput autića itd. Sekundarne baterije koje nazivamo i akumulatorima počivaju na reverzibilnom elektrokemijskom procesu kojeg je otkrio fizičar Gaston Planté 1859. godine. Kao što samo ime govori, nakon potpunog pražnjenja sve što treba napraviti za ponovnu upotrebu je istu napuniti. Danas punjive baterije imaju široku primjenu u svijetu od čega su najpoznatiji primjeri pametni mobiteli i električni automobili. [21, 22, 23]

### 3.2.1. Baterijski spremnici električne energije u električnim vozilima

Baterijski spremnici korišteni za električna vozila moraju zadovoljiti drugačije norme nego baterije korištene u drugim uređajima kao što su primjerice satovi.[24] Najpoželjnija karakteristika je velik kapacitet jer je kapacitet proporcionalan s dosegom vozila, a jedan od ciljeva industrije električnih vozila je svakako i što veći doseg. Nadalje, od velike je važnosti da je baterija ekološki prihvatljiva te da ima dugačak životni vijek i naravno punjiva. [24]

Većina današnjih vozila dolazi sa već ugrađenim SLI (engl. Starting, Lighting and Ignition) baterijama koje osim za paljenje vozila služe i za napajanje unutarnjih i vanjskih elektroničkih naprava poput multimedijских uređaja, pokazivača smjera i slično.[24] Osim SLI baterija, električna vozila moraju sadržavati i spremnike električne energije nužne za pogon vozila. Takvi spremnici su upravo baterije, a neke od najkorištenijih tehnologija za skladištenje električne energije u današnjim električnim vozilima su litij-ionske baterije, nikal-metal-hibridne baterije, olovne baterije (engl. lead-acid) i superkondenzatori. [24]

Važna karakteristika gore navedenih baterija je da se mogu napuniti i koristiti u više ciklusa, odnosno da su punjive i time prikladne i idealne za električna vozila. Najzastupljenija tehnologija je upravo litij-ionska baterija dok su nikal-kadmijeve baterije zamijenjene sa boljim nikal-metal- hibridnim baterijama. [25] Postoje i alternativne izvedbe poput gorivnih članaka koje su u podređenom položaju zbog visoke cijene, ali i zahtjevnosti po pitanju skladištenja vodika kao i rukovanja istim. Iako su električna vozila sustigla vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem po pitanju izdržljivosti, učinkovitost i postizanja velikih brzina, ona i dalje imaju bitan nedostatak. Njihov najveći nedostatak odnosi se na kapacitet baterijskih spremnika. [25]

Kako postoje velike šanse da električna vozila postanu jedini način prijevoza u bliskoj budućnosti potrebno ih je dodatno i opetovano razvijati s naglaskom upravo na unaprjeđenje baterijskih spremnika. Glavni ciljevi su svakako povećanje kapaciteta baterijskih spremnika kao i smanjivanje vremena punjenja. Problem uskladištene energije vidimo i iz odnosa specifične energije koja za konvencionalna goriva iznosi čak 10,000 Wh/kg dok za ponajbolju litij-ionsku bateriju svega 100- 295 Wh/kg. S druge strane, rastom broja električnih vozila raste i potražnja za određenim materijalima, ali i količina kemijskog otpada. [25]

U zadnjih par godina svjetska je potražnja kao i cijena litija, kobalta, mangana, nikla i sličnih važnih materijala za ovu industriju znatno porasla. Upravo iz tih razloga je od iznimne važnosti dodatno unaprijediti tehnologiju baterijskih spremnika. Povećani interes za unaprjeđenje baterija

korištenih u električnim i hibridnim vozilima proizlazi i iz ugrožene okolišne čistoće uzrokovane velikim brojem vozila s motorom s unutarnjim izgaranjem. [24, 25]

### 3.2.2. Litij-ionske (Li-ion) baterije

„Litij-ionske baterije“ vrsta su punjivih baterija koje se koriste u raznim uređajima i sektorima pa tako imamo primjene u većini prenosivih uređaja, vojsci, svemirskoj industriji i slično. Također, dolaze u različitim dimenzijama i od mnogobrojnih proizvođača. Trenutno su najzastupljenija tehnologija korištena za skladištenje električne energije u električnim vozilima, primarno u BEV i PHEV varijantama, a široku primjenu imaju i u pametnim mobitelima, tabletima, laptopima. [22]



*Slika 3.7. Li – ion baterija [26]*

Litij-ionske baterije sastoje se od vodljivog elektrolita, katode (pozitivnog pola) i anode (negativnog pola). Pozitivni pol je litijev metalni oksid, a negativni je porozni ugljik. Prilikom pražnjenja baterije u postupku oksidacije je anoda te prilikom tog procesa odnosno postupka ona oslobađa elektrone koji zatim idu u strujni krug. Nakon toga, redukcijskim procesom katoda uzima navedene elektrone iz strujnog kruga. U elektrolitu struja se prenosi pomoću iona litija te je proces obrnut za vrijeme punjenja. [27, 28]

Autori u literaturi [28] navode kako su najznačajnije prednosti ovih baterija: visoka specifična energija koja se kreće od 100 do 265 Wh/kg, odlične performanse pri visokim temperaturama te skoro pa stopostotna učinkovitost. Sve to dolazi i sa niskom stopom pražnjenja (2% do 8% mjesečno).

Visoka specifična energija omogućila litij-ionskim baterijama manje dimenzije uz očuvanje kapaciteta i performansi te je upravo ona jedan od najbitnijih čimbenika koji su utjecali na

napredak električnih vozila kao i prednjačenje li-ion tehnologije naspram ostalih. Osobina koja krasi ove baterije svakako je i dugačak životni vijek uz koji dolazi i preko 50000 ciklusa punjenja i pražnjenja uz nisku razinu ispražnjenosti. [29, 30] Sljedeća slika prikazuje li-ionske baterije za električno vozilo.



*Slika 3.8. Li – ion baterije za električno vozilo [31]*

Za razliku od olovnih baterija, litij-ionske se mogu isprazniti maksimalno te zatim ponovno napuniti što u konačnici znači da pružaju više energije od olovnih baterija iste snage i kapaciteta. Uz to, svaka ćelija litij-ionskih baterija radi i funkcionira u doseg od 2,5 do 4,2 V, te to znači da ima čak tri puta veće radno područje od nikal-metal-hibridne ili nikal kadmijeve ćelije, pa će nam tako za određeni napon za litij-ionsku bateriju trebati i manje ćelija. [30]

Također, litij-ionske baterije sigurnija su varijanta od mnogih drugih alternativa, ali usprkos svim pozitivnim stranama i one imaju svoje nedostatke. Kao glavni nedostatak vrijedi navesti visoku cijenu proizvodnje, u koju ulazi i cijena proizvodnje sofisticiranih sustava za zaštitu od prevelike struje i sustava za prevenciju otkazivanja zbog vrlo niskog ili vrlo visokog napona. Još neki od nedostataka su razgrađivanje prilikom pražnjenja ispod 2 V te trajni gubitak kapaciteta na povišenim temperaturama. [30]

### **3.2.3. Olovne baterije**

Prema literaturi [27] olovne baterije poznatije i kao VRLA (engl. Valve Regulated Lead Acid) jedne su od najstarijih baterijskih izvedbi, ali ujedno i jedne od najkorištenijih zbog

jednostavnosti tehnologije i jeftine cijene proizvodnje. Sljedeća slika prikazuje olovnu bateriju za električno vozilo.



*Slika 3.9. Olovna baterija za električno vozilo [32]*

Sigurne su, pouzdane i minimalno zahtjevne za održavanje, ali niska specifična energija i lošije performanse pri niskim temperaturama kao i kratak životni vijek ograničavaju upotrebu istih.

Najčešće se proizvode hermetički zatvorene i nepropusne te upravo iz tog razloga ne mogu se servisirati nego isključivo zamijeniti novom, a zbog olova su poprilično teške. [27]

S obzirom da im je životni vijek relativno kratak, a po pitanju specifične energija su dosegle svoj vrhunac, smatra se da nikada neće biti opcija za buduća električna vozila, ali isto tako neće biti potisnute s tržišta u skorijoj budućnosti upravo zbog svoje značajno manje cijene proizvodnje. Primjere korištenja imamo u električnim vozilima, elektranama, trafostanicama. [28]

Negativna jest elektroda olovo, dok je pozitivna olovni dioksid ( $PbO_2$ ). Za elektrolit koristi se sumporna kiselina ( $H_2SO_4$ ), a prilikom pražnjenja baterije, olovo i olovni dioksid reagiraju sa istom. Elektrode podliježu procesu sulfatizacije, a elektrolit postaje voda. Modernim olovnim baterijama specifična energija kreće se između 30 i 60 Wh/kg što je značajno manje od litij-ionskih baterija. [28]

Osim visokih i niskih temperatura koje su opasne za životni vijek svih baterija, ono što također ponajviše utječe na životni vijek je gore spomenuti proces sulfatizacije. Olovni sulfat ( $PbSO_4$ ) materijal je koji se taloži na pločama baterije prilikom pražnjenja. Kako bi se očuvao životni vijek, ovakvu je bateriju poželjno napuniti netom nakon pražnjenja. U suprotnom, olovni sulfat

koji se nataložio na pločama baterije kristalizira te baterija nepovratno gubi određeni dio kapaciteta, a samim time i propada. [27, 28]

### 3.2.4. Nikal-metal-hibridne (NiMH) baterije

„Nikal-metal-hibridna baterija“ je punjiva baterija koja posjeduje možda i najveće šanse za konkuriranje litij-ionskim baterijama, barem kada je riječ o električnim vozilima. Primjer ove baterije prikazan je na slici 3.9.

NiMH baterije sastavljene su od materijala koje je moguće reciklirati te ne štete okolišu pa time ove baterije možemo svrstati u skupinu ekološki prihvatljivih baterija. [27] Do sada, pokazale su se kao sasvim solidan izbor za električna vozila zbog solidnih performansi u vidu specifične energije i solidnog broja ciklusa punjenja i pražnjenja. Nikal-metal-hibridne baterije širu primjenu imaju u računalima, radio opremi, prijenosnim rasvjetnim uređajima i medicinskoj opremi, a kao što je prethodno spomenuto zamijenile su nikal-kadmijeve baterije upravo zbog boljeg učinka kojeg imaju za okoliš. Primjenu svakako imaju i u automobilskoj industriji gdje se ponajviše koriste u HEV varijantama. [27] Sljedeća slika prikazuje NiMH bateriju za vozilo Toyota Prius koje je opisano u prethodnim poglavljima.



*Slika 3.10. NiMH baterija za Toyota Prius [33]*

NiMH baterije sastoje se od sljedeće dvije komponente: anode (nikal-litij-hibrid) i katode (nikal osid). Upravo je nikel oksid zaslužan za dobivanje kvalitetnog naboja između katode i anode. Za napajanje sustava kod NiMH baterija koristi se elektrolit kalijev hidroksid koji je ujedno i najbolja opcija za ovaj tip baterije te se ponaša kao alkalni izvor energije. Specifična energija

NiMH baterija kreće se oko 70 Wh/kg što je svakako bolje od olovnih baterija, ali isto tako koštaju otprilike 10 puta više nego olovne. [27, 28]

### 3.2.5. Superkondenzatori

Za skladištenje električne energije u vozilima, umjesto kemijskih baterija često se koristi i alternativa u obliku superkondenzatora.[34] Iako im je specifična energija značajno manja od specifične energije litij-ionskih baterija, superkondenzatori imaju i svoje pozitivne strane. Kao prvo i najvažnije, imaju mogućnost brzog punjenja i veoma dugačak ciklus punjenja i pražnjenja, tj. "životni vijek". Upravo iz ova 2 razloga, superkondenzatori su idealni kandidati za sisteme sa regenerativnim kočenjem. Dakako, važno je navesti i da superkondenzatori ne sadržavaju opasne materijale, ne zahtijevaju održavanje i relativno su lagani. [34] Ovdje opisani superkondenzatori prikazani su na sljedećoj slici.



*Slika 3.11. Raznovrsni superkondenzatori [35]*

U prosjeku imaju specifičnu energiju 8-10 Wh/kg , što je i do 50 puta manje od ponajbolje litij-ionske baterije. Trenutno se tehnologija superkondenzatora unaprjeđuje širom svijeta. U literaturi [21] autor navodi da su studije pokazale da kombiniranjem manganovog- oksida i kobalt-mangan- oksida za pozitivnu elektrodu i grafenovog-oksida za negativnu elektrodu značajno poboljšava performanse i životni vijek baterije. Kao alternativa, trenutno se istražuje i materijal polianilin, no grafen je trenutno primarni cilj istraživača. [34]



Grafen je materijal kojeg čini tanki sloj čistog ugljika čvrsto zbijenog i povezanog u heksagonalnu rešetku. Prema literaturi [34] nazivaju ga i "*wonder material*" zbog svoje visoke vodljivosti i visoke mehaničke čvrstoće.

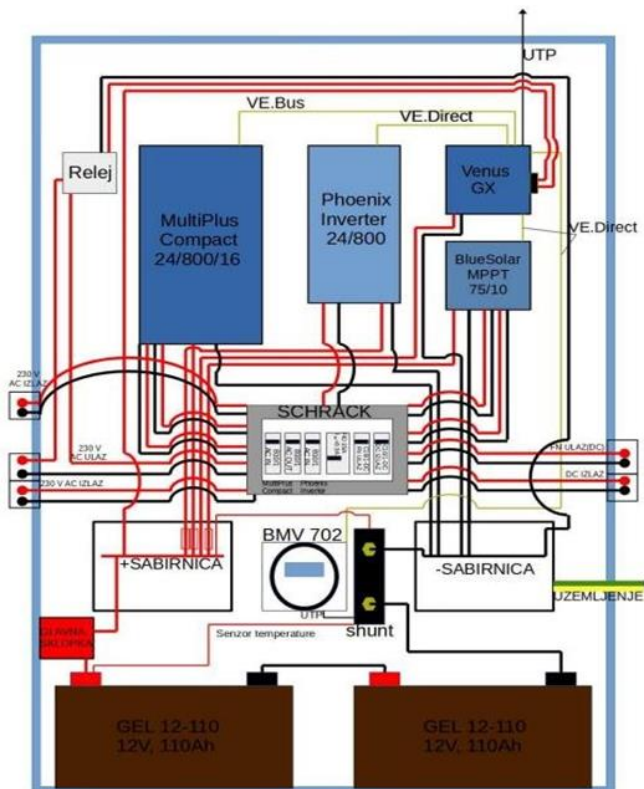
Naravno, predviđanje budućnosti u smislu koje će se baterije koristiti i kako će izgledati infrastruktura punionica nije moguće, ali sve ovo zajedno superkondenzatore stavlja pri vrh liste kada je riječ o izboru materijala za baterijske spremnike u električnim vozilima. [34]

### **3.2.6. Usporedba fizičkih karakteristika baterija**

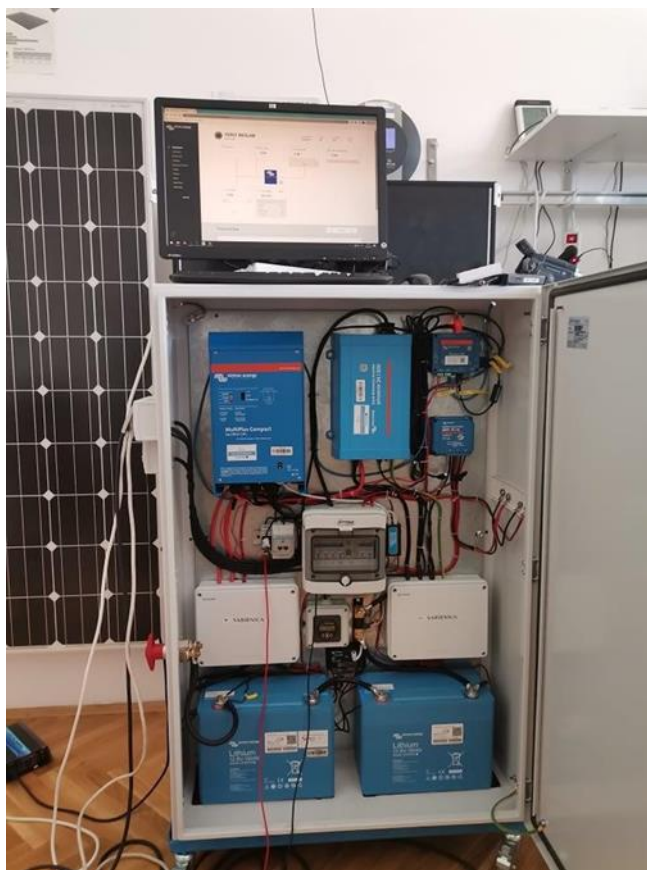
Litij – ionska baterija iznimno je lagana jer je glavni materijal litij sam po sebi lagan. Prosječna litij – ionska baterija od 12 V teži oko 11.8 kg što je u vidu performansi automobila značajno manje od olovne baterije. Baterije će biti teže što je materijal od kojeg su izrađene teži, kao što je slučaj s olovnim baterijama. Olovne baterije od 12 V u prosjeku teže 18.6 kg što je za skoro 7 kg više od litij – ionskih baterija. Svaka baterija ima svoje prednosti i mane te postoji više ključnih faktora koje treba razmotriti prije nego li se proizvođač vozila odluči za određeni tip baterije. [37]

## 4. OPREMA ZA PRAKTIČNI DIO

U praktičnom dijelu ovog završnog rada provedene su 2 iste simulacije na dva različita tipa baterija, a zatim je dana i analiza rezultata istih. Praktični dio izveden je na FERIT-u u laboratoriju za obnovljive izvore. Prilikom provedbe praktičnog dijela završnog rada korišten je ormar prikazan na slici 4.2. dok je shema ormara prikazana na slici 4.1.



Slika 4.1. Shema ormara mikromreže



*Slika 4.2. Fotografija ormara korištene mikromreže*

## **4.1. Opis korištene opreme**

### **4.1.1. BlueSolar MPPT 75 | 15 – regulator punjenja**

Za pohranu energije koja je proizvedena u solarnim panelima u baterije ključan je upravo navedeni regulator te je samim time i jedna od ključnih komponenti istosmjernog dijela mikromreže. Povezuje fotonaponske module, baterije i istosmjerno opterećenje.

Glavne karakteristike ovog regulatora su:

- brzo nadziranje točke maksimalne snage (MPPT)
- inteligentno upravljanje baterijama
- mogućnost programiranja algoritma za punjenje baterija
- sprječavanje prekomjernog pražnjenja baterije
- mogućnost povezivanja sa računalom za data-logging



*Slika 4.3. BlueSolar MPPT 75 |15 – regulator punjenja*

Ovaj regulator omogućuje 3 vrste punjenja, a to su bulk, float i absorption. [36] Ostali tehnički podaci ovog regulatora prikazani su u tablici 4.4.

*Tablica 4.4. Tehničke karakteristike regulatora punjenja [36]*

Napon baterije	24 V
Struja punjenja	15 A
Nominalna FN snaga	440 W
Maksimalna FN struja kratkog spoja	15 A
Maksimalni FN napon praznog hoda	75 V
Učinkovitost	98 %
Vlastita potrošnja	15 mA
Napon punjenja („absorption“)	28,8 V
Napon punjenja („float“)	27,6 V
Maksimalna konst. Struja opterećenja	15 A

#### **4.1.2. MultiPlus Compact 24/800/16 – izmjenjivač/punjač**

„MultiPlus Compact“ koji je prikazan na slici 4.5 ima dvije funkcije od kojih je jedna funkcija izmjenjivača za čisti sinusni oblik, a druga funkcija punjača baterije. Ima 2 režima rada: samo

punjač ili izmjenjivač i punjač u jednom. Na AC stranu može se spojiti generator koji u takvom slučaju služi kao pomoćni izvor energije dok se baterije spajaju na DC stranu. [36]

„Bulk, absorption, float i storage“ sve su dostupne razine punjenja baterije s ovim izmjenjivačem. Ukoliko unutar 24h nije došlo do potrošnje baterije tada nastupa storage razina koja omogućuje postizanje dugotrajnijeg vijeka baterije uz malo održavanja. [36] Tehničke karakteristike ovog izmjenjivača/punjača prikazane su u tablici 4.6.



Slika 4.5. MultiPlus Compact 24/800/16 – izmjenjivač/punjač

Tablica 4.6. Tehničke karakteristike MultiPlus Compact izmjenjivača/punjača [36]

IZMJENJIVAČ	
Raspon ulaznog napona	13 – 33 V – DC
Izlazni napon	230 V – AC +/- 2 %
Izlazna frekvencija	50 Hz +/- 0,1 %
Izlazna prividna snaga pri 25 °C	800 VA
Izlazna radna snaga pri 25 °C	700 W
Vršna snaga	1600 W
Maksimalna učinkovitost	94 %
PUNJAČ	

Raspon ulaznog napona	187 – 265 V – AC
Raspon ulazne frekvencije	45 – 65 Hz
Napon punjenja pri „absorption“ fazi	28,8 V – DC
Napon punjenja pri „float“ fazi	27,6 V – DC
Napon tokom razine pohrane	26,4 V – DC
Struja punjenja baterije	16 A

#### 4.1.3. Phoenix 24/800 – otočni izmjenjivač

„Phoenix 24/800“ – otočni izmjenjivač koristi se samo u AC/DC mikromreži. Na njegovom DC ulazu spojene su baterije, a AC kraj je spojen na izmjenično opterećenje. Može raditi samo u otočnom režimu rada jer nema mogućnost spojiti se na dodatne izvore energije. [36] Izgled ovog izmjenjivača prikazan je na slici 4.7.



*Slika 4.7. Phoenix 24/800 – otočni izmjenjivač*

S ovim izmjenjivačem moguće je nadziranje postotka opterećenja, ulaznih i izlaznih napona te alarma. [36] Podržava i ECO režim rada odnosno kada je opcija ECO režima uključena, u tom slučaju će izmjenjivač preći u stanje pripravnosti onog trena kada opterećenje postigne vrijednost ispod ranije postavljenog iznosa. Nakon ulaska u stanje pripravnosti, moguće je ponovno

uključivanje izmjenjivača nakon određenog perioda koje je također moguće postaviti unaprijed.

Tablica 4.8 prikazuje tehničke karakteristike otočnog izmjenjivača.

**Tablica 4.8.** Tehničke karakteristike Phoenix 24/800 otočnog izmjenjivača [36]

Prividna snaga pri 25 °C	800 VA
Radna snaga pri 25 °C	650 W
Vršna snaga	1500 W
Izlazni napon	230 V – AC +/- 3 %
Izlazna frekvencija	50 Hz +/- 0,1 %
Raspon ulaznog napona	18,4 – 34 V
Maksimalna učinkovitost	90 %

#### 4.1.4. Venus GX

Uređaj Venus GX komunikacijski je centar za cijeli ormar. Omogućuje komunikaciju između svih komponenti te skladan rad istih. Ovaj uređaj služi i kao "data-logger" te pruža uvid u podatke u stvarnom vremenu koristeći VRM portal, ali isto tako služi i za mijenjanje svih bitnih postavki. Za slanje podataka koristi se internetom, a svi rezultati mjerenja za ovaj završni rad prikupljeni su upravo pomoću Venus GX-a i VRM portala.[36] Upravljanje ovim uređajem može se ili uz pomoć računala ili mobitela. Ako se radi s mobitelom potrebno je preuzeti aplikaciju tvrtke Victron te uz pomoć IP adrese samog Venus GX-a pristupa se konzoli preko koje se dalje nadzire cijeli sustav. Ukoliko se radi s računalom sve što je potrebno je ulogirati se na VRM portal te klikom na

„Virtualna konzola“ otvara se sučelje. Sljedećom slikom prikazan je uređaj Venus GX. [36]



*Slika 4.9. Venus GX – komunikacijski centar*

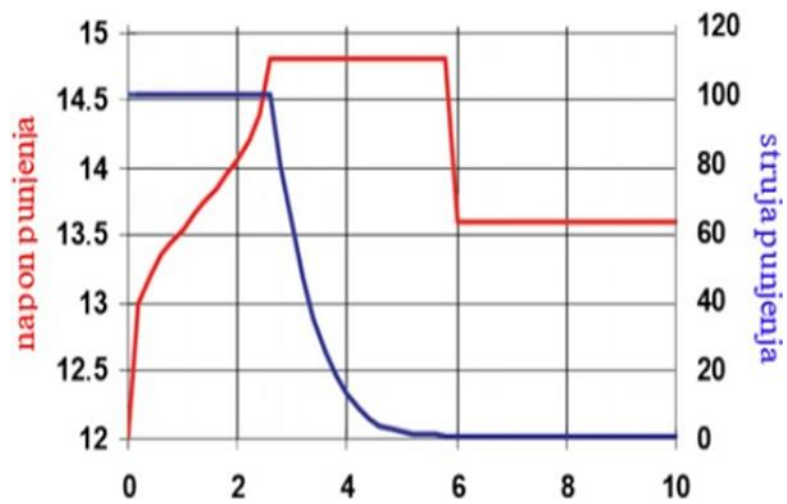
#### **4.1.5. Victron Energy GEL baterija – 12 V , 110 Ah**

U prvom djelu ovog završnog rada koristile su se dvije GEL 12 V , 110 Ah baterije serijski spojene. Ovaj tip baterije ima tri vrste punjenja : „bulk, float i absorption“. [36] Kada se baterija puni „bulk“ načinom tada regulator punjenja puni sa maksimalno dozvoljenom strujom kako bi se baterija što prije napunila. Nakon toga slijedi tip punjenja „absorption“ način čija je zadaća osigurati da se baterija ne napuni previše i to tako da se napon održava konstantnim, a struje se postepeno smanjuje što je baterija bliža stopostotnoj napunjenosti. Onog trena kada se struja spusti ispod 1A nastupa tip punjenja „float“. Tokom „float“ razine punjenja napon je prilagođen s ciljem zadržavanja punog kapaciteta unutar baterije.[36] Stvarni izgled ove baterije vidljiv je na slici 4.10, a razine punjenja (sa odgovarajućom strujom i naponom) prikazane su na slici 4.11.





Slika 4.10. Victron Energy GEL baterija – 12 V, 110 Ah



Slika 4.11. GEL baterija – 12 V, 110 Ah [36]

#### 4.1.6. Victron Energy LiFePO baterija – 12.8 V , 160 Ah

Ovaj tip litij-ionske baterije najsigurniji je od svih "mainstream" litij-ionskih baterija. Nazivni napon jedne ćelije je 3,2 V, a usporedbe radi nazivni napon ćelije olovne baterije je 2 V. [36] Ova baterija sastoji se od 4 ćelije serijski povezane. U drugom djelu ovog završnog rada, GEL baterije iz prve simulacije zamijenjene su sa 2 LiFePO baterije koje su također serijski spojene. Ova baterija specifična je i po tome što joj je vijek trajanja duži ukoliko se ne puni do kraja svaki put nego djelomično. Stvarni izgled ove baterije prikazan je na slici 4.12. [36]



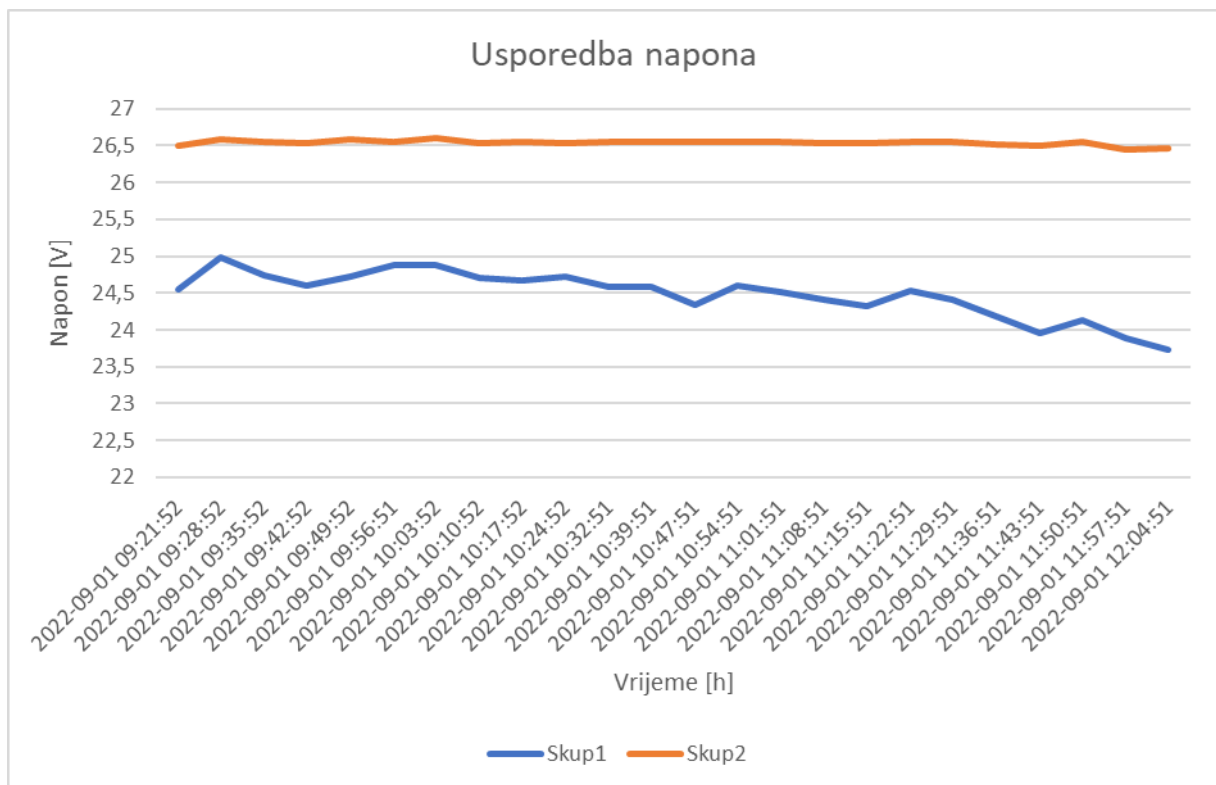
*Slika 4.12. Victron Energy LiFePO baterija – 12.8 V, 160 Ah*

## 5. ANALIZA REZULTATA

Cilj praktičnog djela ovog završnog rada bio je pod istim početnim uvjetima testirati 2 različita tipa baterija (GEL – pripada olovnim baterijama opisanima u trećem poglavlju i Litij-ionska) u vremenu od 3h te naposljetku analizirati i usporediti dobivene rezultate.

### 5.1. Usporedba napona

Sljedeća slika prikazuje grafičku usporedbu napona na GEL-u te na litij ionskoj bateriji.

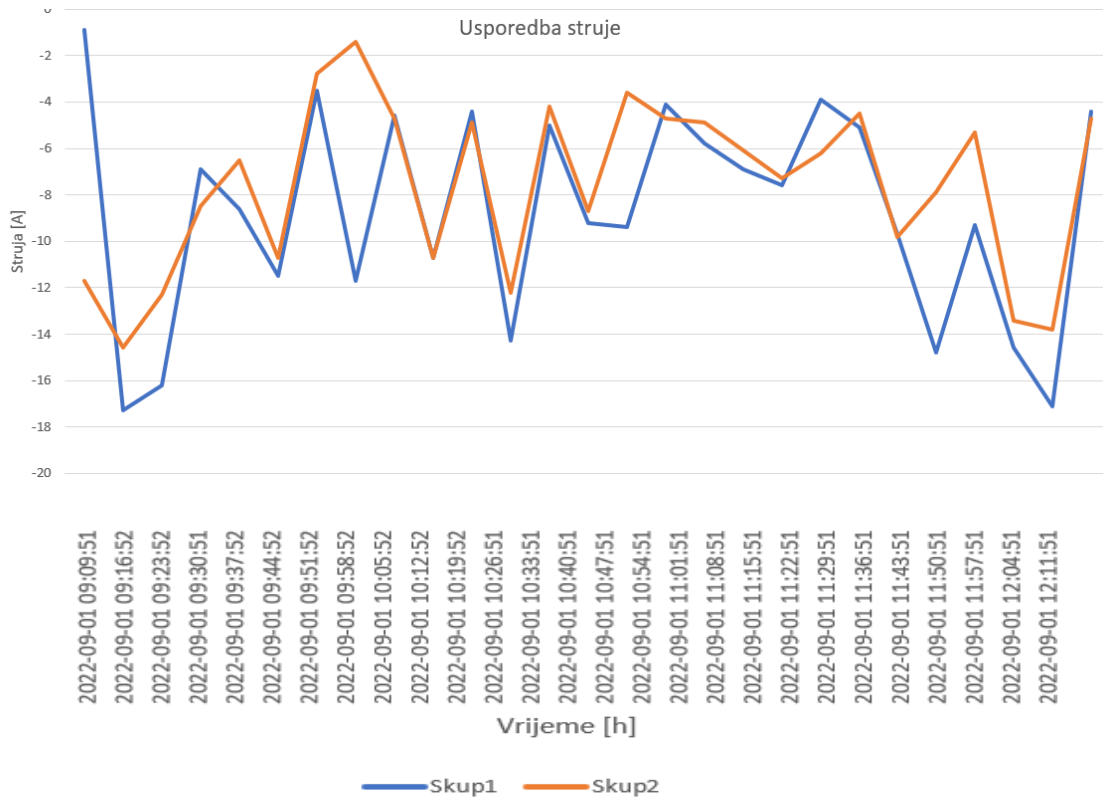


*Slika 5.1. Graf usporedbe napona*

Plava boja, odnosno Skup1 predstavlja GEL dok narančasta boja, odnosno Skup2 predstavlja litij ionsku bateriju. Promatranjem napona, uočljivo je kako je napon litij ionske baterije skoro konstantan te je u cijelom promatranom periodu od tri sata veći od napona GEL-a. Napon GEL-a je promjenjiv, te je vidljivo kako kroz dani period raste i pada po intervalima.

## 5.2. Usporedba struje

Sljedeća slika prikazuje grafičku usporedbu struje na GEL-u te na litij ionskoj bateriji.

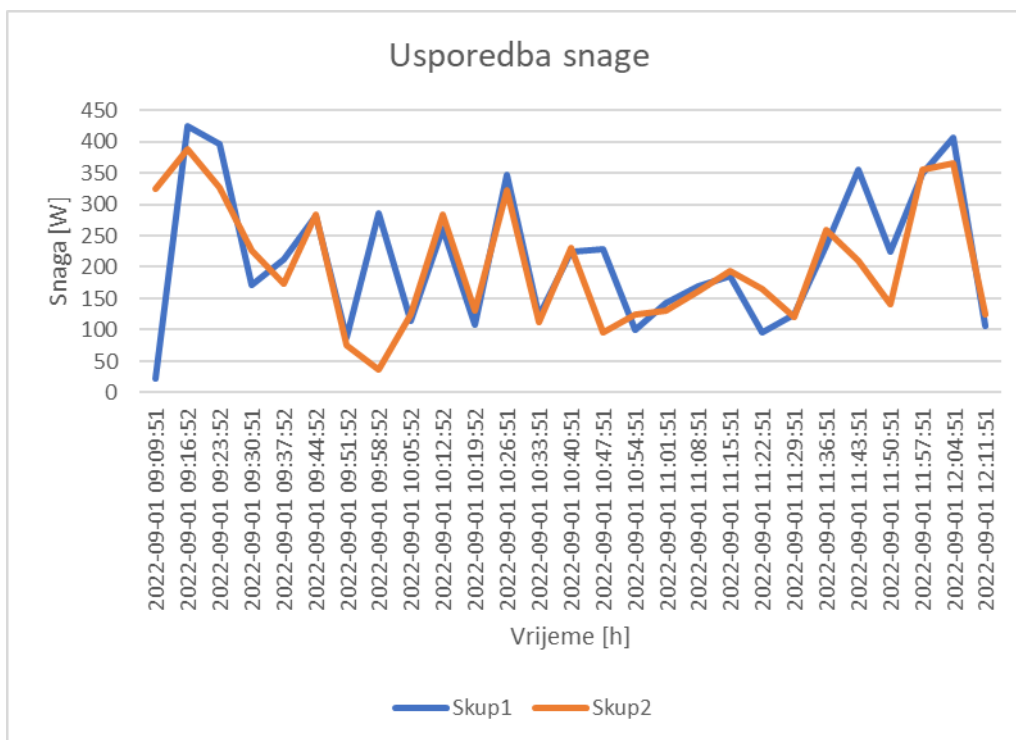


Slika 5.2. Graf usporedbe struje

Plava boja, odnosno Skup1 predstavlja GEL dok narančasta boja, odnosno Skup2 predstavlja litij ionsku bateriju. Uočljivo je kako graf struje u ovom slučaju nije promatran u prvom kvadrantu kao napon, nego u četvrtom – sve su vrijednosti struje negativne. Maksimalna vrijednost struje prikazana je na GEL-u te iznosi -0,9 A dok je najmanja vrijednost prikazana također na GEL-u te iznosi -17,3 A. Maksimalna vrijednost struje na Li-ionskoj bateriji iznosi -0,6 a najmanja -17,8.

## 5.3. Usporedba snage

Sljedeća slika prikazuje grafičku usporedbu snage na GEL-u te na litij ionskoj bateriji.

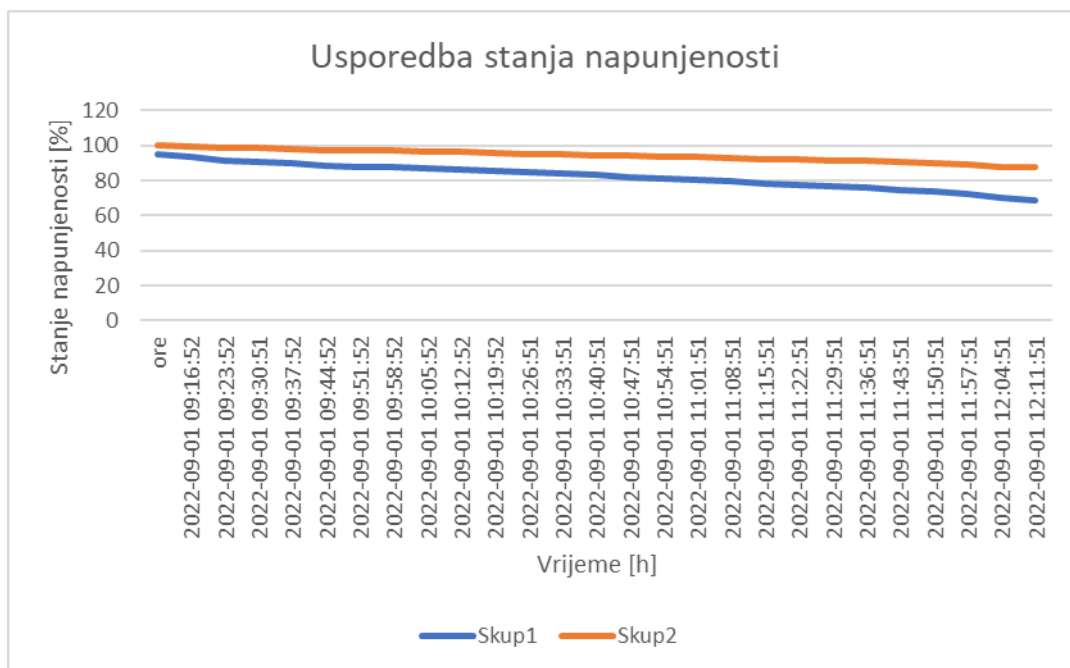


*Slika 5.3. Graf usporedbe snage*

Plava boja, odnosno Skup1 predstavlja GEL dok narančasta boja, odnosno Skup2 predstavlja litij-ionsku bateriju. Usporedbom snage na dvije navedene baterije, moguće je uočiti kako je snaga na GEL-u u nekim intervalima jednaka snazi litij ionske baterije dok je u nekim intervalima veća. Maksimalna vrijednost snage u prikazanom periodu jest na GEL-u te iznosi 424,023 W, dok je najmanja vrijednost na prikazanom periodu na litij ionskoj bateriji te iznosi 37,226 W.

#### **5.4. Usporedba stanja napunjenosti**

Sljedeća slika prikazuje grafičku usporedbu stanja napunjenosti na GEL-u te na litij ionskoj bateriji.



**Slika 5.4.** Graf usporedbe stanja napunjenosti

Plava boja, odnosno Skup1 predstavlja GEL dok narančasta boja, odnosno Skup2 predstavlja litij ionsku bateriju. Na prethodnom grafu promatrano je stanje napunjenosti na dvije navedene baterije izraženo u postocima. Uočljivo je kako se stanje napunjenosti GEL-a smanjuje brže u odnosu na litij ionsku bateriju. Nakon perioda od tri sata, GEL je došao na vrijednost od 68,7% dok je litij- ionska baterija nakon jednakog vremena na vrijednosti od 87,4%.

## ZAKLJUČAK

U teorijskom dijelu ovog završnog rada prikazana je povijest električnih vozila te su ukratko opisane vrste baterijskih spremnika u električnim vozilima. Opisani su sami početci u automobilske proizvodnje te je prikazan njezin napredak. Dan je graf potražnje pojedine vrste pogona u automobilu u dvadesetom stoljeću. Zatim su opisana baterijska, hibridna, plug – in hibridna vozila kao i vozila s gorivnim člancima. Također su ukratko prikazane punionice električnih vozila. Treće poglavlje također donosi prednosti i nedostatke električnih vozila. Nakon toga opisane su litij – ionske, olovne i nikal – metal – hibridne baterije te superkondenzatori.

Za izradu praktičnog dijela rada provedene su dvije iste simulacije, ali na dvije različite vrste baterija. Za izradu analize pokazatelja performansi priključenjem različitih trošila u vozilu korišten je laboratorij za obnovljive izvore na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Prilikom analize uspoređivane su određene veličine – struja, napon, snaga te stanje napunjenosti. Iste su veličine promatrane u istim uvjetima, u vremenskom periodu od tri sata za dva tipa baterija – GEL i litij ionska baterija. Grafički prikazi analize dani su u poglavlju pet. Usporedbom napona uočljivo je kako litij-ionska baterija ima veći napon od GEL- a te ga održava konstantnim kroz trosatni period. Struja svoje najveće i najmanje vrijednosti doseže na GEL-u, dok snaga maksimalnu vrijednost uspoređujući ove dvije baterije ima na GEL-u, a minimalnu na litij ionskoj bateriji. Promatranjem grafičkog prikaza stanja napunjenosti uočljivo je kako se stanje napunjenosti GEL-a smanjuje brže u odnosu na stanje napunjenosti litij ionske baterije. Uočljivo je iz danih podataka kako obje vrste baterija imaju prednosti i nedostatke no stanje napunjenosti može biti ključan faktor prilikom izbora između ove dvije baterije, a tu je litij- ionska baterija bolja.

## LITERATURA

- [1] M.S. Koroma, D. Costa, M. Philippot, G. Cardellini, M.S. Hosen, T. Coosemans, M. Messagie, Life cycle assessment of battery electric vehicles: Implications of future electricity mix and different battery end-of-life management, Volume 831, 20 July 2022.
- [2] E. Shafiei, R. Dauphin, M. Yugo, Optimal electrification level of passenger cars in Europe in a battery-constrained future, Volume 102, January 2022.
- [3] M. Kannangara, F. Bensebaa, M. Vasudev, An adaptable life cycle greenhouse gas emissions assessment framework for electric, hybrid, fuel cell and conventional vehicles: Effect of electricity mix, mileage, battery capacity and battery chemistry in the context of Canada, Volume 317, 1 October 2021.
- [4] S.J. Gerssen – Gondelach, A.P.C. Faaij, Performance of batteries for electric vehicles on short and longer term, Volume 212, 15 August 2012, Pages 111-129
- [5] J. Baltazar, F. Vallet, J. Garcia, A model for long-distance mobility with battery electric vehicles: a multi-perspective analysis, Volume 109, 2022, Pages 334-339
- [6] S. Vitta, Electric cars – Assessment of ‘green’ nature vis-à-vis conventional fuel driven cars, Volume 30, December 2021
- [7] R. Matulka – 'The history of the Electric Car'  
(<https://www.energy.gov/articles/history-electric-car>), 27.05.2022.
- [8] Slika preuzeta s: <https://historycollection.com/thomas-parker-invented-first-electric-car-1884/>, 27.05.2022.
- [9] Slika izrađena samostalno prema literaturi [7], 27.05.2022.
- [10] Slika preuzeta s: <https://www.autozine.org/Archive/Toyota/classic/Prius.html>, 27.05.2022.
- [11] Slika preuzeta s: <https://www.rimac-automobili.com/nevera/>, 22.06.2022.
- [12] Lemo Project – 'Tipovi elektro vozila' (<https://hr.lemo-project.eu/wp-content/uploads/2015/01/TIPOVI-ELEKTRO-VOZILA.pdf>), 22.06.2022.
- [13] Slika preuzeta s: <https://www.tportal.hr/media/thumbnaill/w1000/956560.jpeg>, 19.03.2022.
- [14] U.S. Department of Energy – 'How do all-electric cars work?'  
(<https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work>), 22.06.2022.
- [15] Evgo – 'Types of electric vehicles' (<https://www.evgo.com/ev-drivers/types-of-evs/#40>), 22.06.2022.
- [16] Toyota – 'Električna vozila pogonjena vodikovim gorivnim člancima'  
(<https://www.toyota.hr/discover-toyota/environment/cleaner-mobility/fuel-cell>), 22.06.2022.
- [17] M. Sabarimuthu, Measurement and Analysis of Power Quality Issues Due to Electric Vehicle Charger, IOP Publishing Ltd, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1055 012131, str. 3, 22.06.2022.



- [18] <https://elen.hep.hr/>, 08.08.2022.
- [19] <https://www.index.hr/auto/clanak/koje-su-dobre-a-koje-lose-strane-elektricnih-automobila/2162386.aspx> , 08.08.2022.
- [20] Slika preuzeta s: <https://www.thermofisher.com/blog/materials/electrolyte-materials-in-lithium-ion-batteries/>, 08.06.2022
- [21] M. Janton – 'Povijest baterija: Kako su nastale?' , 08.08.2022.
- [22] B. Plavljančić – 'Baterije – vrste, tehnologija izrade i način rada'
- [23] Adafruit – 'All about batteries'  
(<https://learn.adafruit.com/all-about-batteries/overview>) 08.08.2022.
- [24] 'Automotive Battery Management System (BMS)'  
(<https://www.st.com/en/applications/electro-mobility/automotive-battery-management-system-bms.html>), 08.08.2022.
- [25] T. Bowen, I. Chernyakhovskiy, P. Denholm – 'Grid-Scale Battery Storage'  
(<https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/74426.pdf>), 20.08.2022.
- [26] Slika preuzeta s: <https://www.thermofisher.com/blog/materials/electrolyte-materials-in-lithium-ion-batteries/>, 08.06.2022.
- [27] 'The Compare of Lead-Acid Battery, NiMH Battery & Lithium-Ion Battery'  
(<https://www.li-polymer-battery.com/the-compare-of-lead-acid-battery-nimh-battery-lithium-ion-battery/>) , 20.08.2022.
- [28] 'Rechargeable Batteries: Lead-Acid vs. Lithium-Ion vs. NiMH' ([shine.lighting/threads/181/](https://shine.lighting/threads/181/)), 20.08.2022.
- [29] University of Washington – 'Lithium Ion Battery'  
(<https://www.cei.washington.edu/education/science-of-solar/battery-technology/>) , 22.08.2022.
- [30] IDTechEx – 'Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicles'  
(<https://www.idtechex.com/en/research-report/lithium-ion-batteries-for-electric-vehicles-2021-2031/814>), 22.08.2022.
- [31] Slika preuzeta s: [https://afdc.energy.gov/vehicles/electric\\_batteries.html](https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_batteries.html), 08.06.2022.
- [32] Slika preuzeta s: <https://gomechanic.in/blog/types-of-car-batteries-explained/>, 08.06.2022.
- [33] Slika preuzeta s: [https://hmn.wiki/hr/Nickel%E2%80%93metal\\_hydride\\_battery](https://hmn.wiki/hr/Nickel%E2%80%93metal_hydride_battery), 08.06.2022.
- [34] Powertrain Systems – 'Ultracapacitors in Electric Vehicles in 2021: From Premium Cars to Mass-Market Applications'
- [35] Slika preuzeta s: <https://passive-components.eu/supercapacitors>, 22.06.2022
- [36] Internetska stranica tvrtke Victron Energy, <https://www.victronenergy.com/>, 07.09.2022

[37]Internetska stranica MyCarMakesNoise, <https://mycarmakesnoise.com/battery/how-much-does-a-car-battery-weigh/>

## **SAŽETAK**

U ovom je radu prikazan teorijski pregled tehnologija baterijskih spremnika električne energije korištenim u električnim vozilima i plug-in hibridima. Nakon toga, praktični dio prikazuje izvršenu analizu pokazatelja performansi priključenjem različitih trošila u vozilu (pogon, rasvjeta, multimedija). Na osnovu provedene analize, dane su karakteristike snage, struje, napona i stanja napunjenosti za litij – ionske baterije i GEL.

## **ABSTRACT**

This paper shows a theoretical overview of battery storage technologies used in electric vehicles and plug-in hybrids. After theoretical overview, the practical part shows the performed analysis of performance indicators by connecting different consumers in the vehicle (drive, lighting, multimedia). Based on the performed analysis, the power, current, voltage and state of charge characteristics for lithium-ion batteries and GEL are given.

## **ŽIVOTOPIS**

Ivan Zavišić rođen je 11. veljače 1998. godine u Vinkovcima. Pohađao je Osnovnu školu Antun Gustav Matoš u Vinkovcima. Po završetku osnovne škole upisuje Gimnaziju Matije Antuna Reljkovića u Vinkovcima. Dvije godine nakon završetka srednjoškolskog obrazovanja i položene državne mature, upisuje se na preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija.

---

Potpis autora