



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ  
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У  
НОВОМ САДУ

---



Goran Vujnović PE33/2021

**DIMENSIONISANJE HIBRIDNOG SKLADIŠTA  
ENERGIJE ELEKTRIČNOG VOZILA NA OSNOVU  
URBANOG I VANURBANOG VOZNOG CIKLUSA**

Projektni rad

Novi Sad, 2022. godina

# 1. Sadržaj

2. Uvod.....	4
2.1. Kratak pregled električnih vozila na tržištu .....	4
2.1.1. E-Golf (2019).....	4
2.1.2. Tesla Model 3 (2017).....	5
2.1.3. BMW i3 (2013) .....	5
3. Teorijski deo .....	6
3.1. Izbor skladišta .....	6
3.2. Litijum-jonske baterije .....	7
3.2.1. Litijum mangan oksid (LMO) .....	8
3.2.2. Litijum - nikal - kobalt - aluminijum -oksid (NCA) .....	9
3.2.3. Litijum-gvožđe-fosfatne (LFP) baterije.....	9
3.3. Superkondenzatori.....	10
3.3.1. Hibridizacija energetskog skladišta električnih vozila upotrebom superkondenzatora. 10	
3.3.2. Vrste superkondenzatora .....	11
3.3.3. Karakteristike superkondenzatora .....	11
3.4. Opis metodologije za postizanje navedenog cilja .....	12
3.5. Volkswagen e-Golf 2019.....	13
3.5.1. Osnovni podatci e-Golf 2019.....	13
4. Vozni ciklusi, opis i njihova grafička prezentacija.....	15
4.1. Art Urban vozni ciklus.....	16
4.2. Art Rural vozni ciklus .....	16
4.3. Opis i grafička prezentacija simulacionog modela.....	17
4.3.1. Opis simulacionog modela el. vozila sa svim segmentima .....	17
4.4. Relevantan segment sa aspekta predmetne analize .....	20
4.5. Prikaz realizovanih test scenarija.....	21
4.5.1. Čisto baterijsko skladište - Art Urban road vozni ciklus.....	21
4.5.2. Čisto baterijsko skladište - Art Rural Road vozni ciklus .....	23
4.6. Testiranje ponašanja kompletnog sistema pri velikim varijacijama opterećenja .....	25
4.7. Objašnjenje dobijenih rezultata sa aspekta teme semestralnog rada .....	29
4.7.1. Hibridno napajanje - Art Urban vozni ciklus.....	29
4.7.2. Hibridno napajanje - Art Rural Road vozni ciklus .....	31

5. Zaključak .....	33
6. Literatura.....	34

## 2. Uvod

### 2.1. Kratak pregled električnih vozila na tržištu

Činjenica koju ne možemo zanemariti je da su električni automobili u poslednjih 5 godina postali izuzetno popularni i da su uložene velike količine novca u njihov razvoj i usavršavanje. Ono što je najviše doprinelo ponovnom interesovanju proizvođača za ovu vrstu vozila je pojava boljih i kvalitetnijih baterija, sa dužom autonomijom i kraćim vremenom punjenja. Evropski proizvođači automobila koji su imali najviše uspeha sa razvijanjem tehnologije proizvodnje električnih automobila su Renault, Volkswagen i BMW sa svojim modelima, to su im ujedno i najprodavaniji modeli.

Od proizvođača van Evropskog kontinenta, najviše uspeha su imale kompanije Tesla, Nissan i Mitsubishi, sa svojim modelima Model S, Leaf i Outlander P-HEV. Od svih nabrojanih, najprodavaniji model tokom predprošle godine je bio Renault Zoe, koji je prodat u oko 84.000 primeraka što je skoro duplo više u odnosu na 2019. godinu [1]. Na slikama 1.1. i 1.2. koje slede mogu se videti dva modela Volkswagen e-Golf i Tesla Model 3.



Slika 1.1. *e-Golf* [2]



Slika 1.2. *Tesla Model 3* [3]

U nastavku teksta, slede detaljniji opisi nekih od gore pomenutih modela i njihova poređenja.

#### 2.1.1. E-Golf (2019)

Nakon proizvedenih 145.561 primeraka, Volkswagen je odlučio da obustavi proizvodnju električne verzije kulnog hečbek (*eng. hatchback*) modela. Električni hečbek pokretan motorom koji je razvijao 115 konjskih snaga, uz stalno dostupan obrtni moment od 270 Nm. Baterija je posedovala skroman kapacitet od 24,2 kW/h, što je omogućavalo autonomiju od svega 190 kilometara. Baterijski Golf je osvežen tokom novembra 2016- godine, i tada je elektromotor „navijen“ do 135 konjskih snaga uz obrtni moment od 290 Nm. Zapremina baterije je takođe ojačala pa je bila na nivou od 35,8 kWh. Tako je, po istim bezveznim kriterijumima, i domet s jednom dopunom narastao do 300 kilometara. Restilizovani baterijski Golf je ubrzavao iz mesta do „stotke“ za 9,6 sekundi, dok je maksimalna brzina bila 150 km/h [4].

### 2.1.2. Tesla Model 3 (2017)

Maksimalna brzina vozila je 225[km/h], do 100 [km/h] dolazi za 5,6 sekunde, domet vozila je između 335 i 568 kilometara. Pogoni ga sinhrona mašina sa stalnim magnetima, snage 202 [kW], maksimalni moment iznosi 404 [Nm]. Baterija može biti kapaciteta od 55 do 75 [kWh], litijum-jonska. Masa vozila je 1825 kilograma [5] U zavisnosti od stepena opremljenosti vozila, cena se kreće u rasponu od 42.900 do 58.490 eura[6].

### 2.1.3. BMW i3 (2013)

Vozilo dostiže maksimalnu brzinu od 150 [km/h], a do 100 [km/h] mu je potrebno 7,3 sekunde. Domet vozila, u zavisnosti od uslova vožnje je između 165 i 360 kilometara. U vozilo je ugrađen sinhroni motor sa stalnim magnetima, maksimalne snage 125 [kW] i maksimalnog momenta 250 [Nm]. Vozilo koristi litijum-jonske baterije koje mogu biti kapaciteta 18.2 [kWh], 27.2 [kWh] i 37.8 [kWh][7]. Masa vozila je 1345 kilograma, a cena se kreće od 35.000 do 40.000 eura [8]. Na slici ispod, prikazan je model i3 novije generacije.



Slika 1.3. BMW i3[7]

Posle svega navedenog, može se zaključiti da će zbog cene, električna vozila još neko vreme biti nepristupačna za mnoge ljude, međutim neke države pokušavaju da podstaknu ljude na kupovinu tako što nude subvencije za kupljeno vozilo. Druga mogućnost je kupovina vozila iz niže klase, kao što je model Spring electric kompanije Dacia. Očekuje se da će serijska proizvodnja da počne ove godine a cena vozila će biti 17.500 eura[9].



Slika 1.4. Dacia Spring electric [9]

### 3. Teorijski deo

Danas su baterije koje se najčešće nalaze u električnim vozilima litijum-jonske baterije: NMC, NCA, LFP i LMO. U industriji one se generalno klasifikuju prema hemijskom sastavu katode, tako da se pomenute oznake odnose na materijale koji se koriste u izradi pozitivne elektrode baterije. Ovi materijali uključuju nikl, mangan, kobalt, aluminijum, gvožđe i fosfat.

#### 3.1. Izbor skladišta

Godinama unazad stručnjaci upozoravaju da antropogene emisije gasova sa efektom staklene bašte dovode do globalnog zagrevanja, međutim savremeni stil života i zavisnost od električne energije koja se dobija sagorevanjem fosilnih goriva znatno otežava i usporava smanjivanje ovih emisija, koje su dodatno porasle prošlih godina [10].

Kod električnog i hibridnog vozila motor je izvor pogonske sile, paket baterija predstavlja praktično „srce i dušu“. Ukoliko je potraga za novim ili polovnim električnim automobilom, ono na šta se mora svakako obratiti pažnja su specifikacije baterija. Naravno, treba biti svestan i iz ostalih aspekata koji će na kraju uticati na njihove performanse.

Električna vozila koriste litijum-jonske baterije različitog dizajna, slične onima koje se nalaze u smartfonima i laptopovima, samo većih dimenzija. Litijum-jonske baterije poseduju visoku energetska gustinu i manje su sklone gubljenju napunjenosti kada se ne koriste.

Kapacitet automobilske baterije se izražava u kilovat časovima (kWh). Odabir vozila s većim kapacitetom je kao kupovina automobila koji dolazi s većim rezervoarom goriva. Dakle, jednim punjenjem će se moći preći veći broj kilometara pre ponovnog punjenja. Ipak, se mora biti svestan da zbog načina na koji EV funkcioniše, nikada se neće imati pristup kompletnom kapacitetu baterije. Razlog je taj što sistem menadžmenta automobila sprečava da baterija bude 100% puna ili u potpunosti ispražnjena, jer tako se čuva efikasnost i produžava njen vek.

Kapaciteti baterija aktuelnih električnih automobila variraju u rasponu od 17,6 kWh u Smartu EQ ForTwo s autonomijom od samo 95 kilometara, do 100 kWh u Tesla Modelu S i Modelu X, koji mogu da prevale preko 500 kilometara pre nego što moraju da se dopune[11].

Za skladište energije pored litijum-jonskih baterija se koriste i superkondenzatori i zamajci.

### 3.2. Litijum-jonske baterije

Litijum-jonska baterija (Li-Ion, LIB) pripada grupi punjivih baterija. U toj vrsti baterija tokom pražnjenja litijumovi joni kreću se od negativne elektrode ka pozitivnoj. Suprotan proces je prilikom punjenja baterije. Ova vrsta baterija služi se interkaliranom litijumovom vezom kao jednom elektrodnom supstance, za razliku od metalnog litijuma koji se primenjuje u nepunjivim litijumovim baterijama. Stalne sastavnice litijum-jonske ćelije su elektroliti koji dopuštaju kretanje jona, te dve elektrode. Konvencionalna katoda je metalni oksid, anoda je ugljenik, a elektrolit je litijum u organskom rastvaraču [12].

Prednosti litijum-jonskih baterija:

Radni napon visokonaponske pojedinačne ćelije je visok kao 3,7-3,8V (3,2V za litijum-željezni fosfat), što je tri puta veće od Ni-Cd i Ni-MH baterija. Aktuelna specifična energija postignuta specifičnom energijom iznosi oko 555Wh / kg, odnosno materijal može doseći specifičan kapacitet od 150 mAh / g ili više (3-4 puta Ni-Cd, 2 - 3 puta Ni-MH), blizu je oko 88% njegove teorijske vrednosti. Životni vek ciklusa može generalno dostići više od 500 puta, ili čak više od 1000 puta, a fosfat gvožđa od litijuma može dostići više od 2000 puta. Za male strujne uređaje za pražnjenje, životni vek baterije će se udvostručiti konkurentnost aparata. Dobre bezbednosne performanse, nema zagađenja, nema efekta memorije. Kao litijum-jonska baterija Li-ionovog prethodnika, nova vrsta litijum-jonske baterije, metalni litijum može formirati kratak spoj dendrita, što smanjuje njegovu primenu: Li-ion ne sadrži kadmijum, olovo, žive i drugi elementi koji zagađuju životnu sredinu: deo procesa Glavni nedostatak Ni-Cd baterija (kao što je sinterovan) je "memorijski efekat", koji ozbiljno ograničava upotrebu baterija, ali Li-ion uopšte nema ovaj problem. Samopražnjenje Stopa samopražnjenja Li-jona koja je potpuno napunjena na sobnoj temperaturi tokom 1 meseca je oko 2%, što je znatno niže od 25-30% Ni-Cd i 30-35% Ni-MH . Brzo punjenje 1C punjenje kapaciteta 30 minuta može dostići više od 80% nominalnog kapaciteta, a ferfosforna baterija može doseći 10% nominalnog kapaciteta za 10 minuta. Radna temperatura Radna temperatura je -25 ~ 45 ° C. Sa poboljšanjem elektrolita i pozitivne elektrode, očekuje se proširenje na -40 ~ 70 ° C. Spaljivanje: bez eksplozije (baterija za gasni plamen)

Nedostatci litijum-jonskih baterija:

Starenje: Za razliku od drugih punjivih baterija, kapacitet litijum-jonskih baterija polako se opada, zavisno od broja upotreba i temperature. Ovaj fenomen raspada može se izraziti kao smanjenje kapaciteta ili kao povećanje unutrašnjeg otpora. Zbog temperature, elektronski proizvodi sa visokim radnim strujama lakše se uključuju. Zamena grafita litijum-titanatom izgleda da produžava životni vek. Odnos između temperature skladištenja i stope trajnog gubitka kapaciteta: Stopa oporavka: Oko 1% novih proizvoda mora se reciklirati iz različitih razloga. Prekomerno punjenje netrpeljivosti: Kada su prekomerno napunjeni, prekomerno ugrađeni litijumovi

joni trajno su fiksirani u kristalnoj rešetki i ne mogu se ponovo pustiti, što rezultira kratkim trajanjem baterije.

Prekomerno pražnjenje netrpeljivosti: Kada se previše razdvaja, elektroda deenerguje prekomerne litijumove jone, što može dovesti do kolapsa rešetka i skraćivanja veka [13].

### 3.2.1. Litijum mangan oksid (LMO)

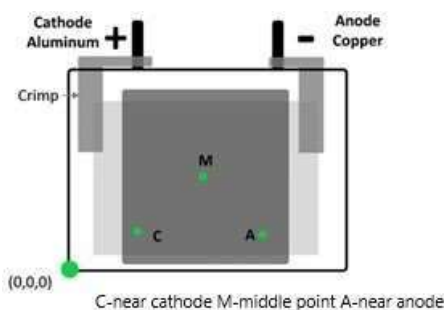
Materijal pozitivne elektrode baterije je  $\text{Li}_2\text{Mn}_2\text{O}_4$ , materijal negativne elektrode je  $\text{LiC}_6$ , a nosač je  $\text{Li}^+$ . Ova struktura formira trodimenzionalnu rešetku, koja poboljšava protok jona između elektroda. Litijum-mangan-oksidge baterije poznate su i kao litijum-mangan, litijum-jonske manganske baterije, a ponekad i litijum-mangan ili kristali mangana. U poređenju sa drugim tipovima litijum-jonskih baterija, baterija ima specifičnu snagu, specifičnu energiju i umeren nivo bezbednosti. Još jedna prednost je niska cena. Nedostaci takvih baterija su niske performanse i kratak životni vek.

Tipovi li-jon baterija	skraćenica	godina	nominalni napon (V)	specifična energija (WH po kg)	punjenje (C)	pražnjenje (C)	životni vek	maksimalna temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )
Litijum Mangan Oksid	LMO	od 1996	3.7-4.0	100-150	0.7-1	1	300-700	250
Litijum Nikl Mangan Kobalt Oksid	NMC	Od 2008	3.8-4.0	150-220	0.7-1	1	1000-2000	210
Litijum Gvožđe Fosfat	LFP	od 1993	3.2-3.3	90-130	1	1	1000-2000	270
Litijum Nikal Kobalt Aluminijum Oksid	NCA	od 1999	3.6-3.65	200-260	0,7	1	500	150

Tabela 2.1 Specifikacija po vrsti baterija

**Litijum-nikl-mangan-kobalt-oksidge(NMC):** Baterije su napravljene od niza materijala koji su zajednički za litijum-jonske baterije. To uključuje katodu napravljenu od kombinacije nikla, mangana i kobalta. Odnos katodne kombinacije je tipično 60 procenata nikla, 20 procenata mangana i 20 procenata kobalta. To znači da je cena sirovina niža od ostalih verzija litijum-jonskih baterija, jer kobalt može biti prilično skup. Generalno, iako su oba tipa deo porodice litijum-gvožđa, kada ljudi uporede NMC sa LFP, to se obično odnosi na materijal katode u samoj bateriji.

Ima dve velike prednosti u odnosu na druge baterije. Prva prednost ove baterije je visoka specifična energija, što je čini poželjnom u električnim pogonima, električnim vozilima i električnim biciklima. Druga je niska cena. Karakteristike su srednjeg opsega u pogledu specifičnih performansi, bezbednosti, dugovečnosti i performansi u poređenju sa drugim litijum-jonskim baterijama. Može se optimizovati za visoku specifičnu snagu ili visoku specifičnu energiju.



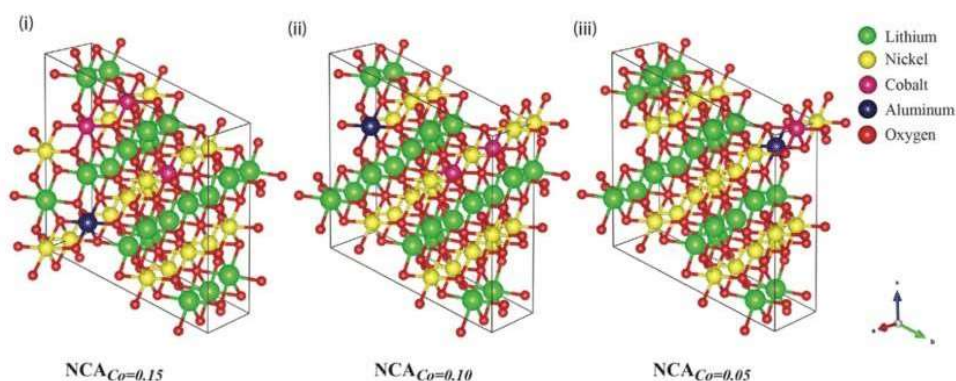
Slika 2.1 Litijum-nikl-mangan-kobalt-oksidge(NMC) baterije



### 3.2.2. Litijum - nikel - kobalt - aluminijum -oksid (NCA)

Baterija proizvodi energiju tokom hemijskih reakcija između anode i katode. Jezgro NCA baterije sadrži Ni-Co katodu (na Al kolektoru struje) i grafitnu anodu (na bakarnom strujnom kolektoru). Ove elektrode (katoda i anoda) imaju slojevit unutrašnju strukturu i separator napravljen od veoma tanke mikroperforirane plastične ploče između elektroda. Litijum joni između slojeva elektrolita se kreću napred i nazad između dve elektrode unutar baterije dok se baterija prazni i puni.

Nudi veliku prednost u odnosu na druge baterije, a to je visoka specifična energija. Baterija je uglavnom prosečna u pogledu drugih karakteristika kao što su performanse, cena, specifične performanse i životni vek. Jedini nedostatak ove vrste baterija je nizak nivo sigurnosti. Zbog svoje visoke specifične energije i umerenog životnog veka, dobar je kandidat za električne pogone.

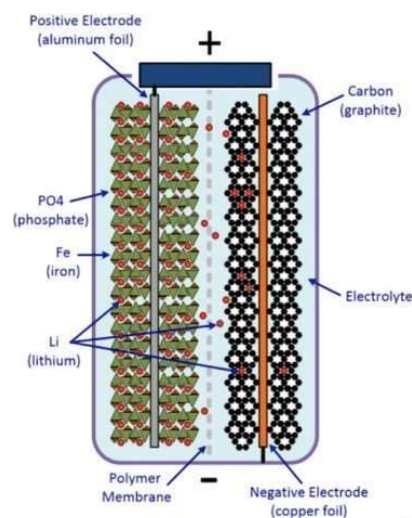


Slika 2.2 Čelijska struktura NCA

### 3.2.3. Litijum-gvožđe-fosfatne (LFP) baterije

Poznate kao li-fosfatne baterije koriste fosfat kao katodu. Imaju mali otpor, što povećava njihovu sigurnost i termičku stabilnost. Međutim, niži napon litijum-fosfatne baterije znači da one imaju manje snage od drugih tipova litijumskih baterija. LFP baterije su stabilnije od NMC zbog dodatka aluminijuma. Rade na mnogo nižim temperaturama, cca. -4,4 do 70 stepeni Celzijusa. Ova velika temperaturna fluktuacija je šira od većine drugih baterija sa hemijskim sastavom.

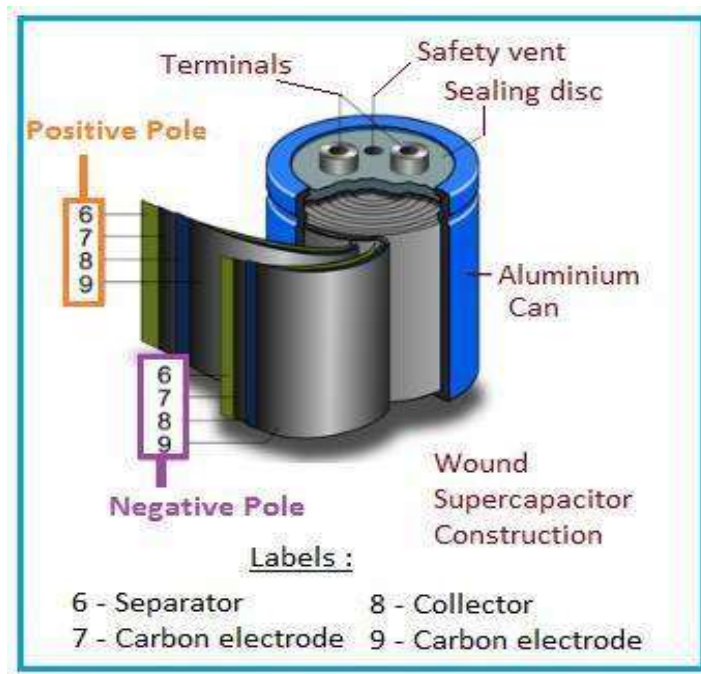
Jedini veliki nedostatak baterije u poređenju sa drugim tipovima litijum-jonskih baterija je njena niska specifična energija. Pored toga, baterija ima srednju ili visoku ocenu za sve ostale funkcije. Ima visoku specifičnu čvrstoću, visok nivo sigurnosti, dug radni vek i nisku cenu. Performanse ove baterije su takođe prosečne. Često se koristi u električnim motociklima i drugim aplikacijama koje zahtevaju dug radni vek i visok nivo bezbednosti.



Slika 2.3 Litijum-gvožđe-fosfatne (LFP) baterije

### 3.3. Superkondenzatori

Superkondenzator se takođe naziva ultrakondenzator. Zove se ultrakondenzator jer ima veću vrednost kapacitivnosti od drugih konvencionalnih kondenzatora. Kondenzatori su ograničeni zbog niskog napona. Ove komponente vredi izabrati u poređenju sa konvencionalnim kondenzatorima jer imaju veću gustinu snage, troše manje energije i potpuno su bezbedne i lake za rukovanje.



Slika 2.4 Superkondezator

#### 3.3.1. Hibridizacija energetskeg skladišta električnih vozila upotrebom superkondenzatora

Trenutno se baterije koriste kao skladište energije u većini aplikacija. Ove baterije moraju biti dimenzionisane da zadovolje energetske i energetske zahteve vozila. Pored toga, baterija mora imati dobar vek trajanja. Međutim, u mnogim BEV aplikacijama, potrebna snaga je ključni faktor za određivanje veličine baterije, što rezultira prevelikom veličinom baterije i manje optimalnom potrošnjom energije. Ovi nedostaci se mogu rešiti kombinovanjem baterijskog sistema sa superkondenzatorima. Takve hibridizovane topologije mogu poboljšati performanse baterije povećanjem njenog veka trajanja, nazivnog kapaciteta, smanjenjem gubitka energije i ograničavanjem porasta temperature unutar baterije. Ove korisne karakteristike su posledica prosečnih performansi koje obezbeđuje sistem baterija.

### 3.3.2. Vrste superkondenzatora

#### 3.3.2.1. Hibridni kondenzatori

Hibridni kondenzatori su razvijeni korišćenjem dvoslojnih i pseudokondenzatorskih tehnika. Ove komponente koriste elektrode različitih karakteristika, jedna elektrostatičkog, a druga elektrohemijskog kapaciteta.

Primer hibridnih kondenzatora: litijum-jonski kondenzator

#### 3.3.2.2. Pseudo Kondenzatori

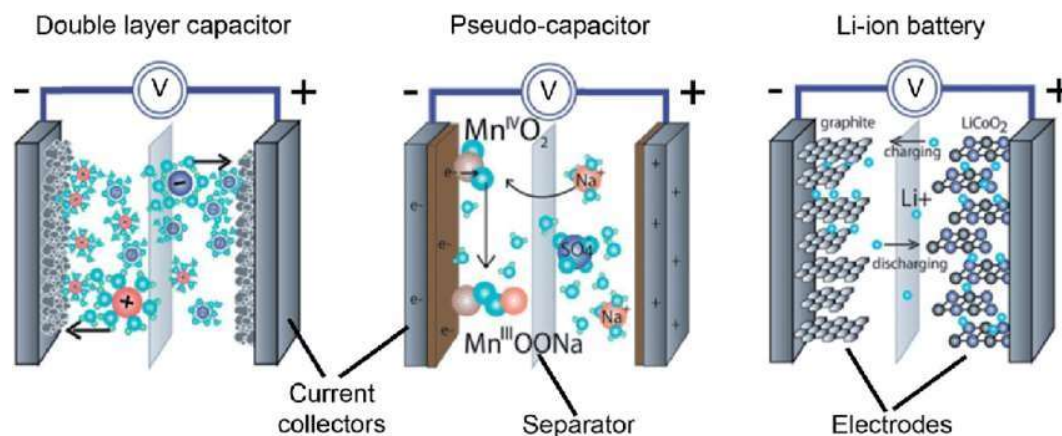
Pseudokondenzatori se takođe nazivaju elektrohemijski pseudo kondenzatori. Ovi kondenzatori koriste elektrode od metalnog oksida ili provodne polimere sa velikim količinama elektrohemijskog pseudokapaciteta. Ove vrste komponenti skladište električnu energiju prenoseći naelektrisanje elektrona između elektrode i elektrolita. Ovo se postiže reakcijom redukcije-oksidacije.

#### 3.3.2.3. Elektrostatički dvoslojni kondenzatori

Ovaj tip kondenzatora se sastoji od dve elektrode, separatora i elektrolita. Elektrolit je mešavina pozitivnih i negativnih jona rastvorenih u vodi. Dve elektrode su razdvojene separatorom. Ovi superkondenzatori koriste ugljenične elektrode ili derivate koji obezbeđuju mnogo veći kapacitet. Elektrostatički dvoslojni kondenzatori imaju manje razdvajanja naelektrisanja od konvencionalnih kondenzatora; Ona je između 0,3 i 0,8 nm.

### 3.3.3. Karakteristike superkondenzatora

- Superkondenzatori premošćuju jaz između konvencionalnih kondenzatora i punjivih baterija.
- Vreme punjenja superkondenzatora je 1-10 sekundi.
- Superkondenzatori imaju kapacitete do 2 kF.
- Mogu da skladište električnu energiju putem apsorpcije/desorpcije elektrostatičkog naboja.
- Ovi kondenzatori skladište velike količine energije.



Slika 2.5 Prikaz superkondenzatora

Superkondenzatori su bolji od konvencionalnih kondenzatora jer mogu da skladište i oslobađaju energiju, ali nisu zamenili funkciju tradicionalnih litijum-jonskih baterija. Ovo je uglavnom zbog činjenice da litijum-jonske baterije imaju svojstva koja superkondenzatori nemaju, visoku specifičnu

energiju i gustinu energije (litijum-jonske je oko 250 Wh/kg, u poređenju sa superkondenzatorima oko 20 Wh/kg).

Superkondenzatori mogu da traju 10 do 1000 puta duže od litijum-jonskih baterija, u zavisnosti od njihovog tipa. Pored toga, tehnologije baterija visokih performansi kao što su superkondenzatori su mnogo sigurnije i otpornije na toplotu od litijum-jonskih baterija. Superkondenzatori izdržavaju testove penetracije u ćelije. Superkondenzatori imaju kapacitet 100 puta veći od litijum-jonskih baterija, ali litijum-jonske baterije imaju veću gustinu energije. Iako superkondenzatori imaju veoma veliku gustinu snage i moguće je hiljade Farad kapaciteta, napon ćelije je ograničen na oko 2,7 volti da bi se izbegla elektroliza elektrolita, što dovodi do pražnjenja gasa i kvara ćelije superkondenzatora. Pored toga, obična baterija može da izdrži oko 2.000 do 3.000 ciklusa punjenja i pražnjenja, dok ultrakondenzatori obično traju više od 1.000.000. Superkondenzatori se ne degradiraju tokom vremena. Današnji superkondenzator od 2,7 V biće superkondenzator od 2,7 V za 15 godina.

### **3.4. Opis metodologije za postizanje navedenog cilja**

U radu su korišteni profili vožnje i model električnog vozila za analizu efekata različitih profila vožnje na bateriju električnog vozila i hibridno skladište u smislu strujnog opterećenja baterije. Korišćena metodologija zasnovana je na analizi simulacionog modela i rezultata simulacionog modela, koji se realizuje u dve faze na osnovu gradskog (Artemis urban) i prigradskog (Artemis rural road) ciklusa vožnje. Parametri od interesa za analizu su ubrzanje, struja skladištenja baterije, hibridna struja skladištenja, kapacitet skladištenja baterije i kapacitet hibridnog skladištenja. Ovi parametri se koriste za donošenje zaključaka o naponu baterije i uticaju napona baterije na životni vek.

### 3.5. Volkswagen e-Golf 2019

E-Golf je dostupan sa dve vrste opreme - SE i SEL Premium. SE opcija uključuje standardni DC brzi punjač koji omogućava da se baterija napuni do približno 80 procenata u roku od sat vremena na stanici za brzo punjenje jednosmernom strujom. Dostupan je paket podrške vozaču, koji uključuje upozorenje na sudar sprijeda i autonomno kočenje u nuždi (pomoć na prednjim točkovima), praćenje mrtvog ugla, upozorenje o saobraćaju pozadi i prilagodljivi tempomat (ACC).

SEL Premium nudi niz standardnih funkcija pomoći vozaču, uključujući prednjeg asistenta, aktivnog monitora mrtvih uglova, nadzora saobraćaja pozadi, ACC (prilagodljivi tempomat), sistema za zadržavanje trake, pomoć pri parkiranju i kontrolu dugih farova (Light Assist).



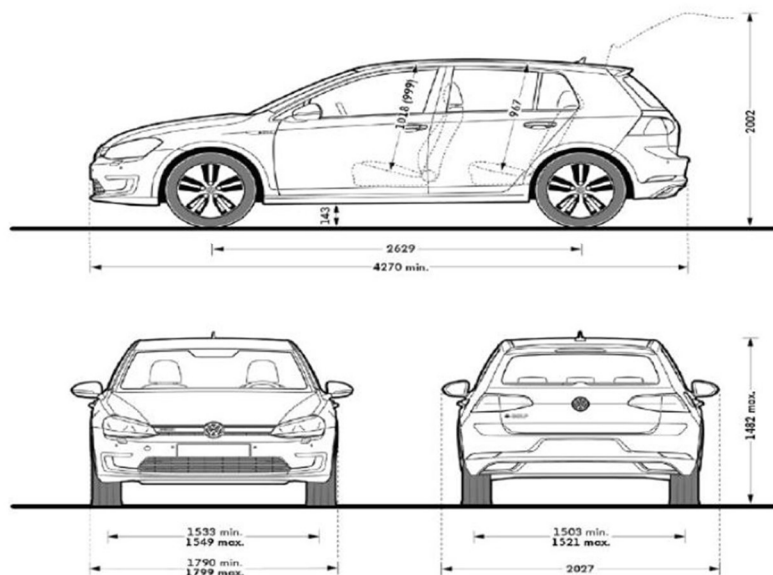
Slika 3.1 e-Golf

#### 3.5.1. Osnovni podatci e-Golf 2019

Proizvodi se od 2014 do 2020.

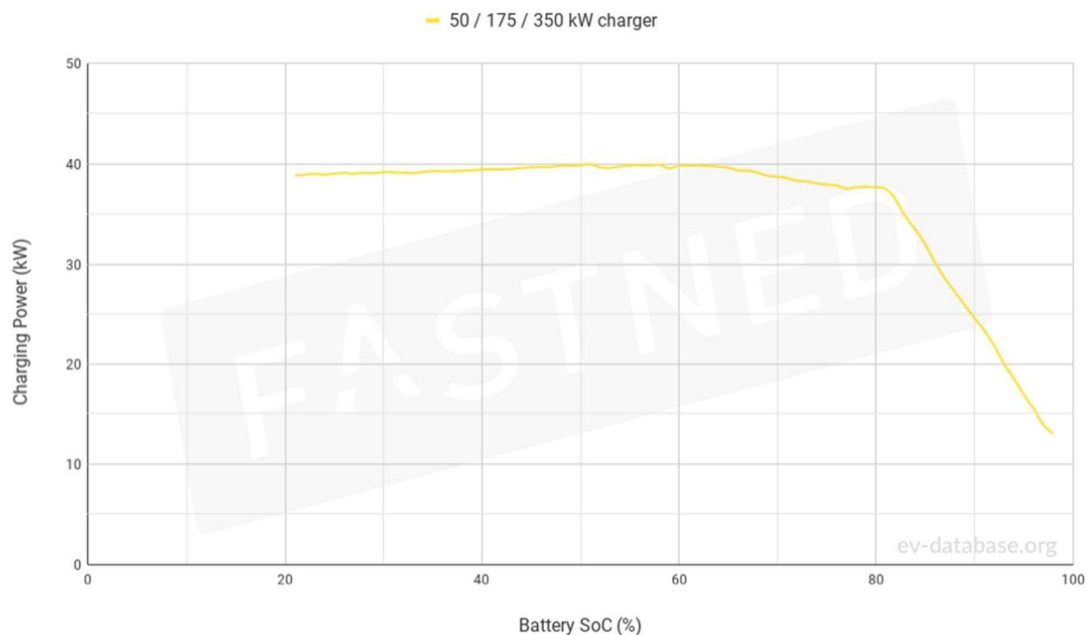
E golf 2019 spada u seriju proizvodnje od 2017, što nam pokazuje da je E golf iz 2019 sa istim karakteristikama kao E golf iz 2014 godine.

E golf 7 nije prvi električni auto šta je Volkswagen proizveo, proizveli su električni automobil i u seriji Golf 1, 2, 3 šta se zvao City Strommer.



Slika 3.2 Dimenzije e-Golf-a

- Dužina: 4270 mm
- Širina: 1799 mm
- Visina: 1482 mm
- Veličina prtljaga: 341 liter
- Ceo krug: 11 m
- Svoja težina: 1540 kg
- Ukupna težina: 2020 kg
- Domet: 230km
- Baterija: 35.8kWh Litium-ion
- DC punjenje: 10-80% za 35min
- AC punjenje: 0-100% za 5h i 15min
- Ubrzanje: 9.6s
- Maksimalna brzina: 150 km/h
- Snaga: 136 Ks
- Obrtni moment: 290Nm
- Veličina točkova: 205/55 R16
- Potrošnja u mešovitoj vožnji: 14.1 kWh/100 km



Slika 3.3 Diagram punjenja

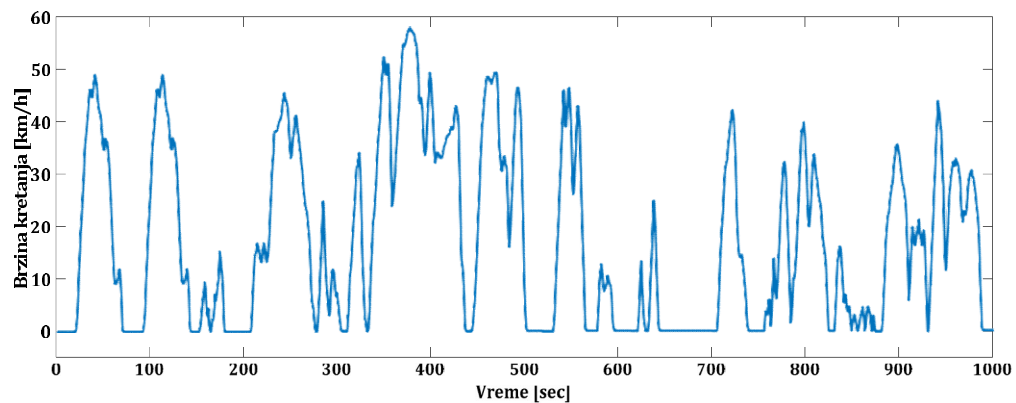
## 4. Vozni ciklusi, opis i njihova grafička prezentacija

Ovim projektnim zadatkom predviđeno je da se simulacije odabranih ciklusa vožnje vrše korišćenjem simulacionog modela električnog vozila i MATLAB-a / Simulink okruženja. Na osnovu rezultata simulacije potrebno je odabrati i skalirati odgovarajuće skladište za hibridno električno vozilo. Prilikom izbora hibridnog skladišta (baterija, superkondenzator) mora se voditi računa o ceni i efikasnosti hibridnog skladišta.

Postupci dinamometra koji se koriste za opšte Artemisove cikluse vožnje razvijeni su u okviru European Artemis (Evalvacija i pouzdanost modela emisija iz transporta i sistema inventara), na osnovu statističke analize velike baze podataka stvarnih obrazaca vožnje u Evropi. Ciklusi uključuju tri rasporeda: gradski, seoski i autoput. Definicije ciklusa Artemis takođe uključuju strategije menjanja brzina. U ovom scenariju testiranja koriste se dva ciklusa vožnje, gradski i vangradski.

#### 4.1. Art Urban vozni ciklus

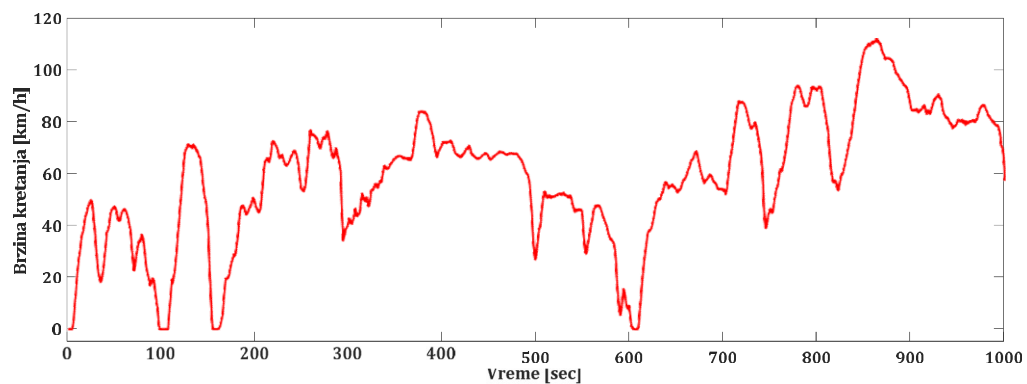
Na grafiku **Grafik 4.1** je prikazan odziv brzine kretanja vozila za vreme trajanja simulacije za vozni ciklus Artemis urban. Ovaj ciklus definisan je tako da predstavi vožnju u uslovima gradske gužve i karakteriše ga manje opterećenje motora, nižoj temperaturi izduvnih gasova pri brzini do 50 km/h. Vidimo da maksimalna dostignuta brzina tokom urbanog voznog ciklusa iznosi 58 km/h.



**Grafik 4.1 Vozni ciklus art Urban vozni ciklus**

#### 4.2. Art Rural vozni ciklus

Na grafiku **Grafik 4.2** je prikazan odziv brzine kretanja vozila za vreme trajanja simulacije za vozni ciklus Artemis rural road.



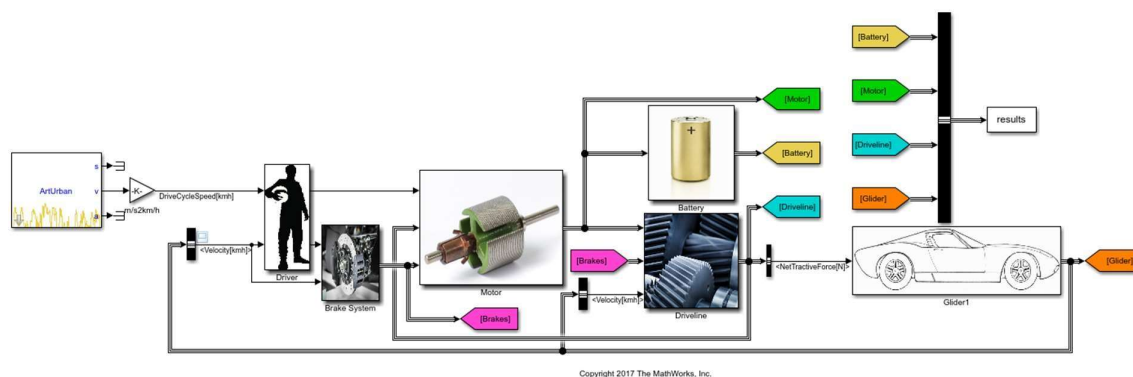
**Grafik 4.2 Vozni ciklus art Rural vozni ciklus**



### 4.3. Opis i grafička prezentacija simulacionog modela

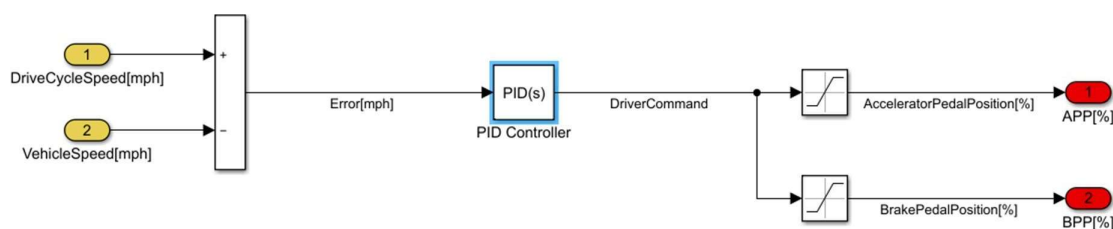
#### 4.3.1. Opis simulacionog modela el. vozila sa svim segmentima

Kako bi što relevantnije predstavili analizu dimenzionisanja hibridnog skladišta u električnom vozilu potrebno je da sagledamo simulacioni model za kompletno vozilo sa **Slika 5.1**. Struktura modela je podeljena na blokove koji putem zadatih jednačina i ulaznih parametara obavljaju funkciju upravljanja delovima čitavog simulacionog modela. Na slici dole je predstavljen simulacioni model sa svim segmentima.



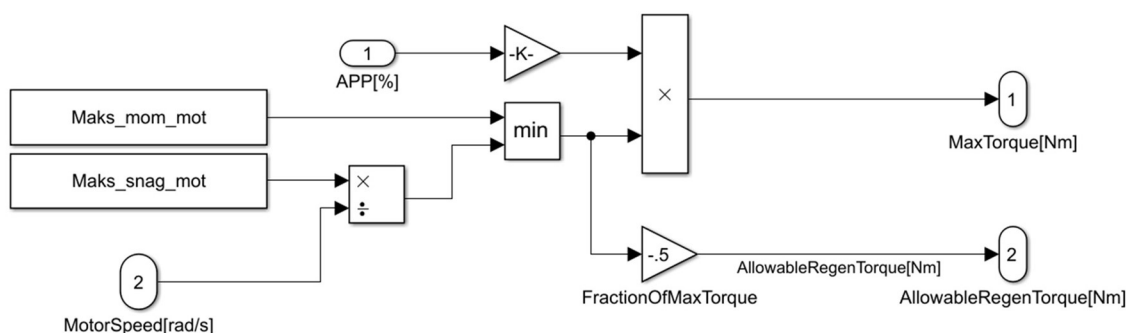
Slika 5.1 Simulacioni model

Prvi blok je Model vozača **Slika 5.2** koji kao ulazne parametre koristi brzinu profila i brzinu kretanja vozila. Informacije se obrađuju preko „PI“ regulatora i na izlazu ovog modela se dobijaju podaci o jačini pritiskanja papučice za gas ili kočnicu. Podaci su predstavljeni u procentima. Uz pomoć „PI“ regulatora možemo da simuliramo agresivnost vozača.



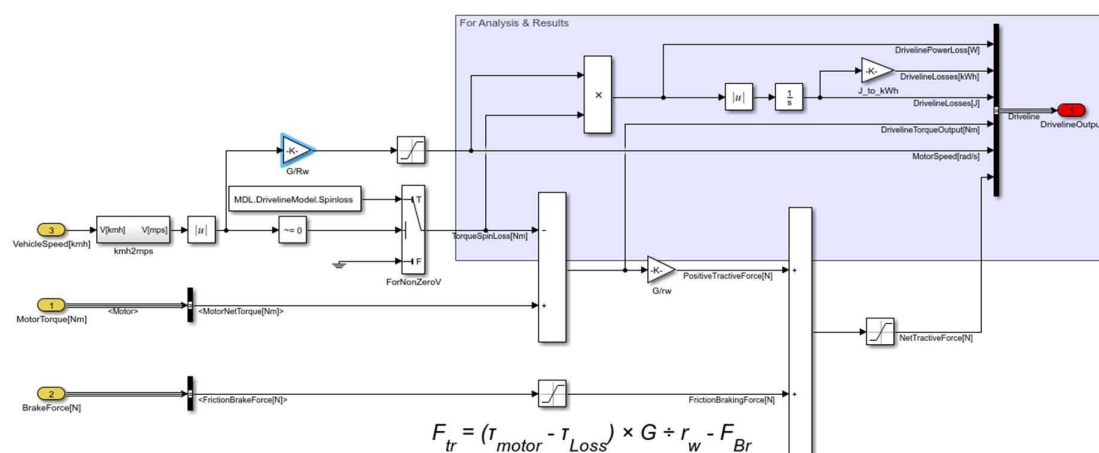
Slika 5.2 Blok model vozača

Drugi blok je Model motora **Slika 5.3** čije ulazne parametre dobijamo iz modela vozača. Blok motora preračunava momente brzine i kočenja i na osnovu ovih parametara se proračunavaju gubici u motoru. Nakon toga se vrše preračunavanja izlaznih parametara iz bloka motora. Izlazni parametri iz ovog modela su Mehanička snaga (snaga motora), energija motora, ulazna snaga mašine, ulazna energija mašine, snaga gubitaka mašine, energija gubitaka mašine i moment motora.



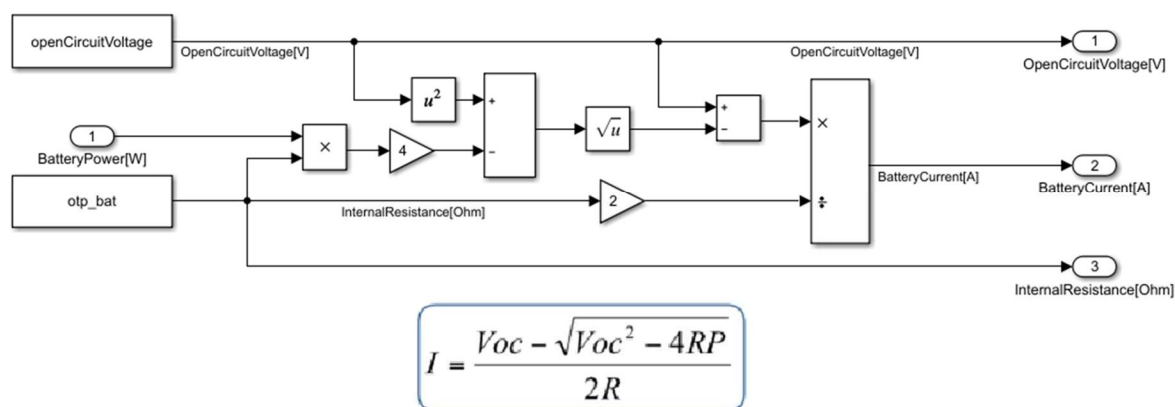
Slika 5.3 Blok model motora

Treći blok je Model pogona (drive line) **Slika 5.4**. Ulazni podaci u ovaj model su brzina vozila, moment motora i sila kočenja. U ovom pogonskom segmentu se modeluju gubici u prenosu tj. transmisiji i nakon toga, kao izlazne parametre dobijamo snagu gubitaka, energiju gubitaka, izlazni moment i ugaonu brzinu mašine.



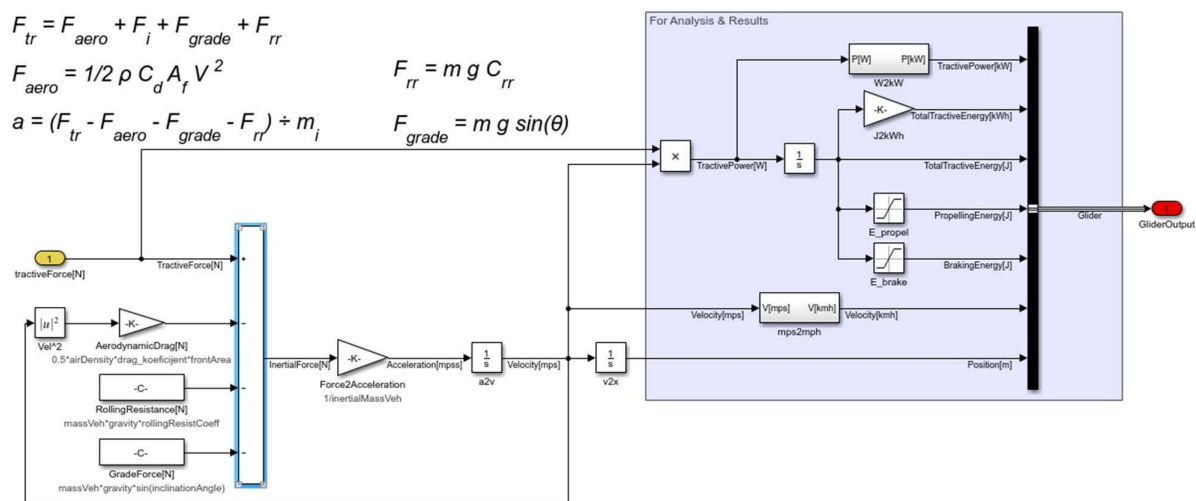
Slika 5.4 Blok model pogona

Četvrti blok je Model baterije **Slika 5.5** gde se kao ulazni parametri koriste snaga motora i dodatno opterećenje. Pod dodatnim opterećenjem podrazumevamo potrošnju koja nije vezana za pokretanje vozila kao što je korišćenje multimedije u vozilu, punjača za mobilne telefone ili klime. Sabrani parametri predstavljaju snagu baterije koju ona treba da obezbedi i to se javlja kao ulazni podatak u blok za proračunavanje struje baterije. Proračun se vrši na osnovu dve konstante, napona baterije u praznom hodu i unutrašnje otpornosti baterije. Kao izlazni parametri iz ovog modela su proračunate vrednosti struje baterije, gubici baterije, proračun snage, energije i napona.



**Slika 5.5 Blok model baterije**

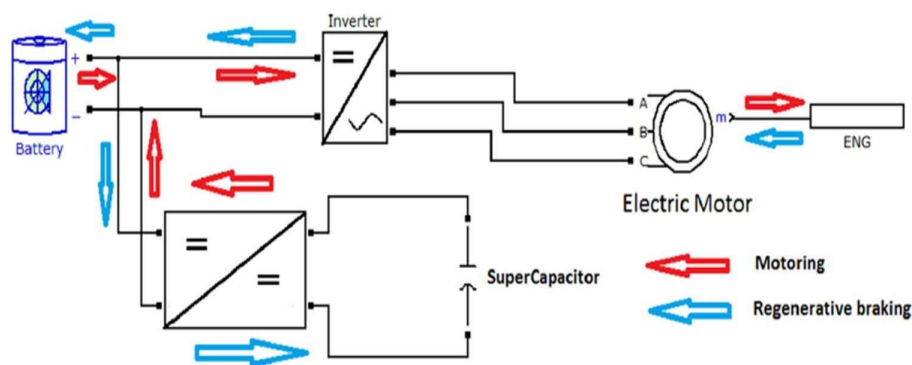
Peti blok je Model dinamike vozila (Vehicle dynamics) **Slika 5.6** koji obrađuje parametre sila na ulazu u ovaj blok. Prvi parametar je pogonska sila dobijena iz el. mašine za pokretanje vozila. Zatim, imamo tri sile koje vrše opstrukciju kretanja vozila. To su aerodinamička sila, sila kotrljajućeg otpora (trenje) i sila nagiba (uzbrdica, nizbrdica). Na izlazu iz bloka dinamike vozila se dobijaju parametri: pogonska snaga, pogonska energija, energija kočenja (rekuperacija), brzina vozila i pozicija vozila (pređeni put).



**Slika 5.6 Blok model dinamika vozila**

#### 4.4. Relevantan segment sa aspekta predmetne analize

Za potrebe dimenzionisanja hibridnog skladišta električnog vozila potrebno je modifikovati Blok baterijskog skladišta dodavanjem super kondenzatora kao dodatne komponente za čuvanje energije. Blok šema je data na **Slika 6.1**.



Slika 6.1 Simulacioni model hibridnog skladišta el. Vozila

Da bi se dobile najbolje karakteristike iskorišćenja energetskeg skladišta u električnom vozilu, a da pritom vodimo računa i o ekonomskim aspektima, potrebno je analizirati nekoliko bitnih parametara. Za dimenzionisanje hibridnog skladišta najbitniji parametri su snaga koju uzrokuje struja naprežanja i energija. U obzir uzimamo i dodatno opterećenje koje prouzrokuje prateća oprema koja se ne koristi za pokretanje samog vozila, a utiče na potrošnju energetskeg skladišta. Nakon ulaznih podataka definisana nam je potrebna snaga za korišćenje električnog vozila pri čemu se daju parametri šalju u blok za izračunavanje struje hibridnog skladišta. Izračunavanje struje se vrši na osnovu dve ulazne konstante, napona praznog hoda i unutrašnje otpornosti. Treća bitna veličina su energetske kapaciteti baterije i super kondenzatora (Ah). Još jedan bitan faktor koji utiče na proračun je i stanje napunjenosti baterije. Nakon obrade ulaznih podataka iz modela energetskeg skladišta kao najbitniji izlazni parametar se dobija struja hibridnog skladišta uz ostale parametre, energije skladišta, snage skladišta, napona i unutrašnje otpornosti.

##### 4.4.1.1. Utvrđena scenarija za izradu predmetnih analiza

Na osnovu dobijenih vrednosti definišu se razna scenarija vezana za način vožnje, konfiguraciju terena i urbanost sredine gde se vožnja obavlja. Sve navedene karakteristike bitno utiču na dimenzionisanje hibridnog skladišta u električnom vozilu. Radi konstruisanja optimalnog energetskeg skladišta potrebno je odrediti tačan udeo baterijskog prostora i super kondenzatora. Faktori koji utiču na životni vek baterije su procesi punjenja baterija, broj ciklusa punjenja i struja pražnjenja. Radi produženja životnog veka baterije došlo se na ideju da se redukuje broj strujnih naprežanja same baterije i smanji broj ciklusa punjenja.

To se postiže dodavanjem još jednog energetskeg skladišta u električno vozilo što čini dvojni (hibridni) sistem. Na taj način se raspodeljuje energija punjenja i pražnjenja na bateriju i super kondenzator koji je instalisan kao drugo energetske skladište.

Scenarija koja su usvojena u ovom radu su:

1. Scenario gde se opterećenje i punjenje vrši isključivo iz baterije
2. Scenario gde se opterećenje i punjenje vrši i iz baterije i iz super kondenzatora

U prvoj simulaciji biće testirano ponašanje baterije kao energetskeg skladišta u el. vozilu na osnovu određenih početnih parametara i očekivani rezultati nakon obrade ulaznih uslova. Kako se baterija više troši pri većim naprežanjima struje, što je uzrokovano promenama brzine i ciklusima punjenja i pražnjenja, time se njen životni vek skraćuje. Posledica toga je veliki ekonomski trošak za korisnika el. vozila. Cena jedne baterije za el. vozilo iznosi od 10.000 do 15.000 \$. Na promenu brzine i ubrzanja utiču i uslovi vožnje, u urbanim sredinama češće dolazi do vožnje kreni- stani, davanja gasa i kočenja. To utiče na veću potrošnju baterije i skraćuje joj životni vek. U vanurbanim sredinama je mnogo ravnomernija vožnja, nema tako naglih ubrzanja i čestih kočenja pa je i potrošnja baterije manja.

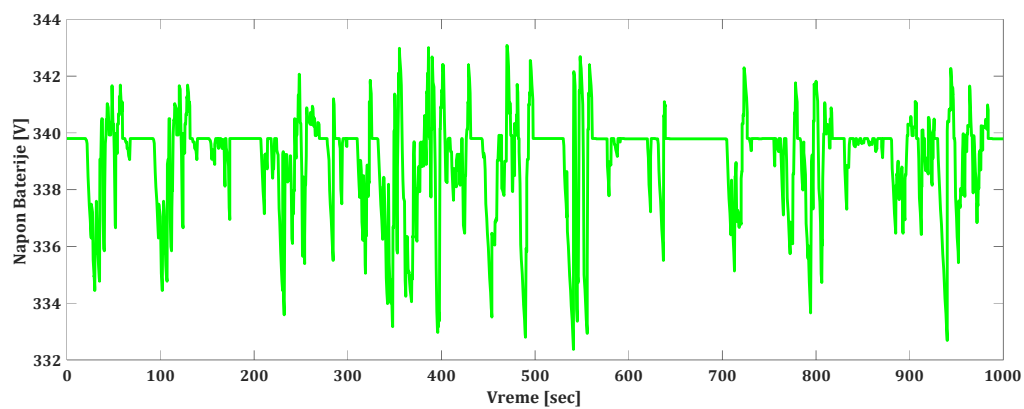
U drugoj simulaciji će biti testiran scenario sa ugrađenim super kondenzatorom kao dodatno hibridno skladište. U ovom slučaju će se raspodeliti snaga energetskeg skladišta između baterije i super kondenzatora, čime bi se postiglo manje strujno naprežanje baterije i produženje životnog veka. U dinamičnijim uslovima vožnje gde dolazi do čestih promena brzine i kočenja, punjenje i pražnjenje energije je usmereno na super kondenzator, a u uslovima ravnomerne vožnje razmena energije je usmerena na bateriju. Ovo se postiže korišćenjem određenih algoritama pomoću kojih utičemo na raspodelu energetskeg ciklusa u hibridnom skladištu.

Izborom baterija i super kondenzatora odgovarajućih vrednosti postiže se mogućnost dimenzionisanja energetskeg skladišta u el. vozilu na najoptimalniji način. Primenom super kondenzatora se vrši smanjenje broja ciklusa punjenja i pražnjenja baterije i korišćenje manje energije što za posledicu ima produžen životni vek baterije i mogućnost ugradnje baterije manjeg kapaciteta. Time se postiže i znatna ekonomska isplativost korišćenja hibridnog skladišta.

## **4.5. Prikaz realizovanih test scenarija**

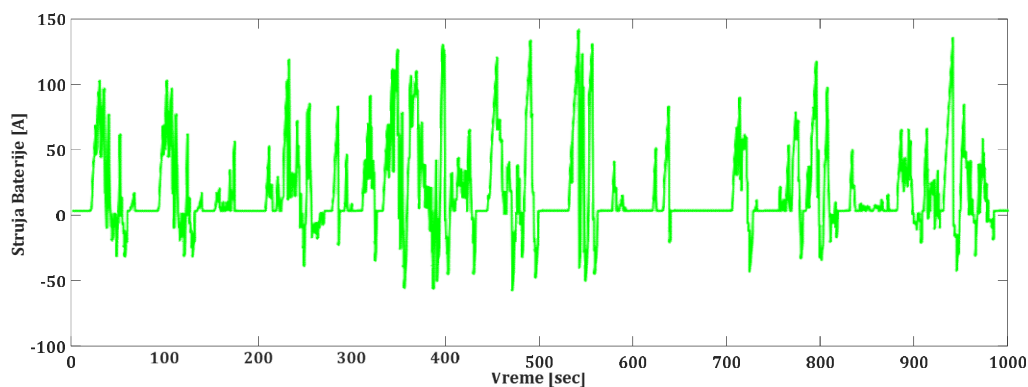
### **4.5.1. Čisto baterijsko skladište - Art Urban road vozni ciklus**

Na **Grafiku 7.1** je prikazan napon na terminalima baterije. Što je naponski pik veći ka dole imamo veću potražnju snage, odnosno vozilo ubrzava oštrije te napon pada usled protoka veće struje. Naponski pik koji je orijentisan prema gore se javlja usled rekuperacije struje, odnosno struja se ne odaje iz baterije nego ide ka bateriji, te imamo porast napona na terminalima.



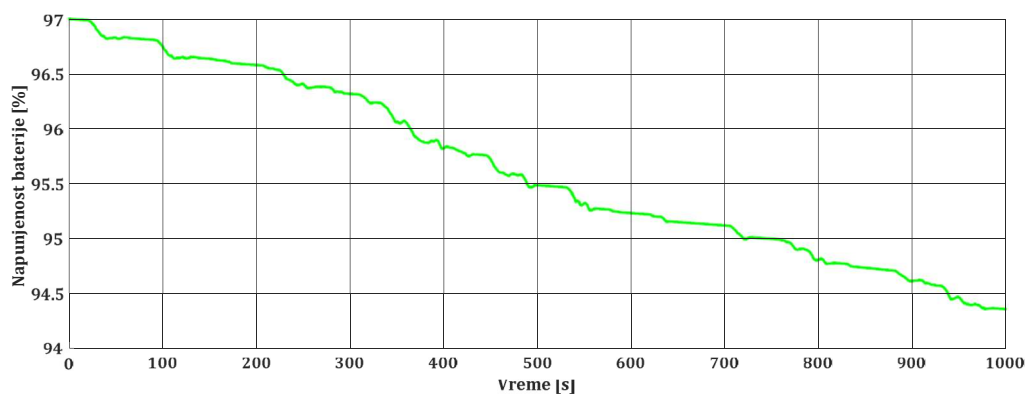
**Grafik 7.1 Napon na terminalima baterije**

Na **Grafiku 7.2** imamo prikaz strujne karakteristike na terminalima, gde povećan pik predstavlja trošenje baterije, dok pik ka dole (negativan pik) predstavlja rekuperaciju ka skladištu.



**Grafik 7.2 Prikaz strujne karakteristike na terminalima**

Na **Grafik 7.3** prikazana je napunjenost baterije tokom vremena. Kao početna referenca uzeta je napunjenost od 97%, da bi tokom 1000s napunjenost pala na 94.4%, što predstavlja pad od oko 2.7%.

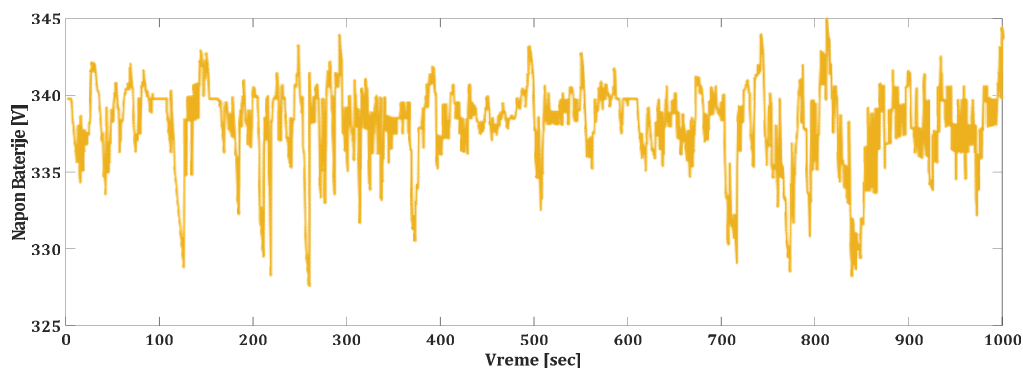


**Grafik 7.3 Odnos napunjenosti tokom vremena**

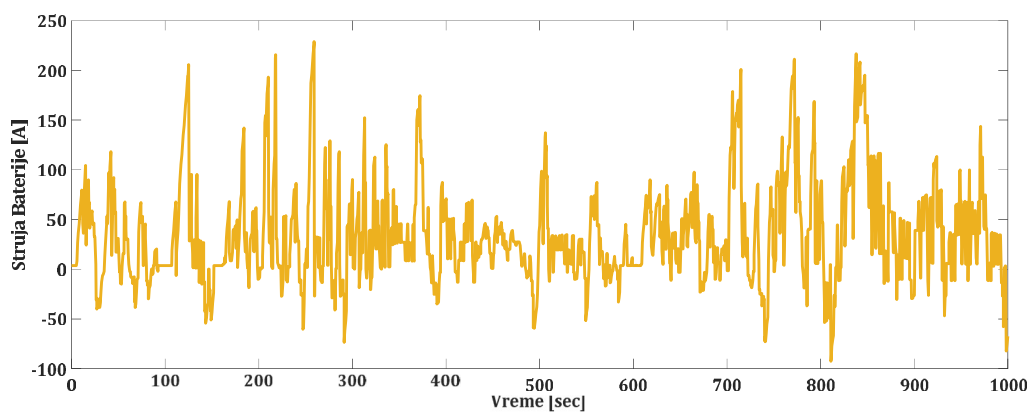
#### 4.5.2. Čisto baterijsko skladište - Art Rural Road vozni ciklus

Na Grafik 7.4 je prikazan napon na terminalima baterije. Što je naponski pik veći ka dole imamo veću potražnju snage, odnosno vozilo ubrzava oštrije te napon pada usled protoka veće struje. Naponski pik koji je orijentisan prema gore se javlja usled rekuperacije struje, odnosno struja se ne odaje iz baterije nego ide ka bateriji, te imamo porast napona na terminalima.

**Grafik 7.4 Napon na terminalima baterije**



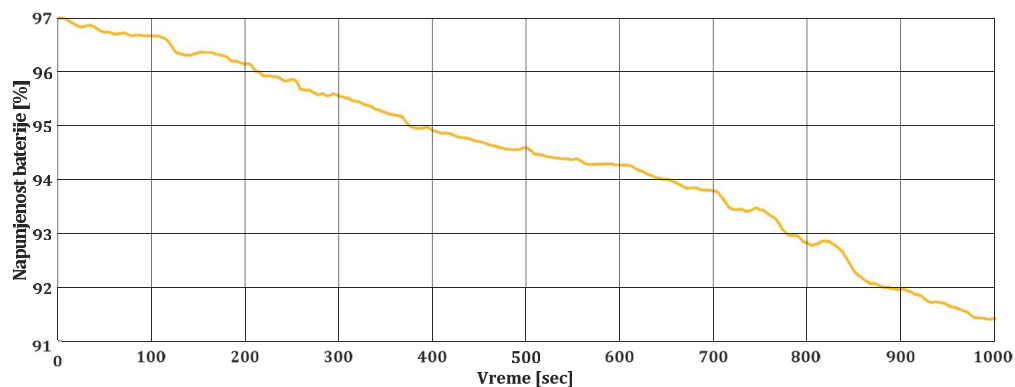
Predstavljena snaga na **Grafik 7.5** prati graficki prikaz dijagrama struje dat u **Grafik 7.4**, gde se povećan pik pojavljuje tokom potrošnje baterije, dok pik ka dole (negativan pik) predstavlja rekuperaciju ka skladištu



**Grafik 7.5** graficki prikaz dijagrama struje

Na **Grafik 7.6** prikazana napunjenost baterije tokom vremena. Kao početna referenca uzeta je napunjenost od 97%, da bi tokom 1000s napunjenost pala na 91.4%, što predstavlja pad od oko 5.8%.

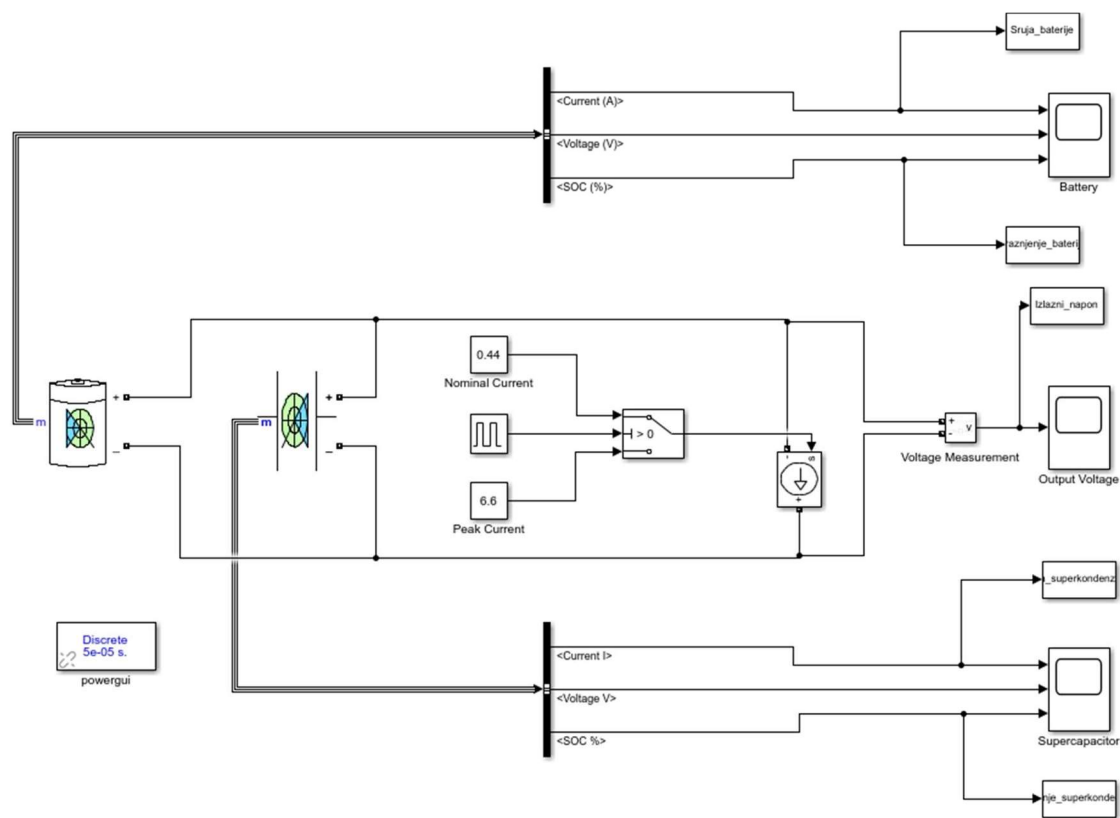
**Grafik 7.6** graficki prikaz napunjenosti baterije





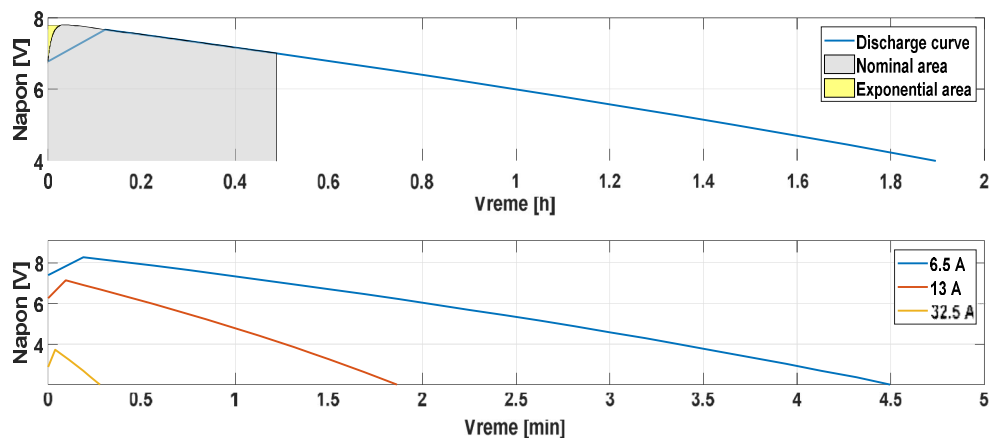
#### 4.6. Testiranje ponašanja kompletnog sistema pri velikim varijacijama opterećenja

Slika 8.1 predstavlja test okruženje za hibridni energetski sistem sastavljen od litijum-jonske punjive baterije i superkondenzatora. Koristeći ovo test okruženje mogu se proceniti parametri i funkcionalnost celokupnog hibridnog elektroenergetskog sistema. Svrha ovog dela je testiranje ponašanja kompletnog sistema pri velikim varijacijama opterećenja. U sistemu napajanja prednost skladištenja baterija se sastoji u visokoj efikasnosti punjenja/pražnjenja uz uslov da se ciklusi punjenja/pražnjenja pažljivo kontrolišu. Velika potražnja za energijom u mnogim aplikacijama sa kratkim udarima struje povećava stres baterije, drastično utičući na njen životni vek i kapacitet. U radu je predložen metod za smanjenje ovog naprezanja korišćenjem superkondenzatora povezanog paralelno sa baterijom. Sprovedeno je poređenje između predloženog sistema i sistema koji koristi samo litijum-jonsku bateriju i prikazani su rezultati.



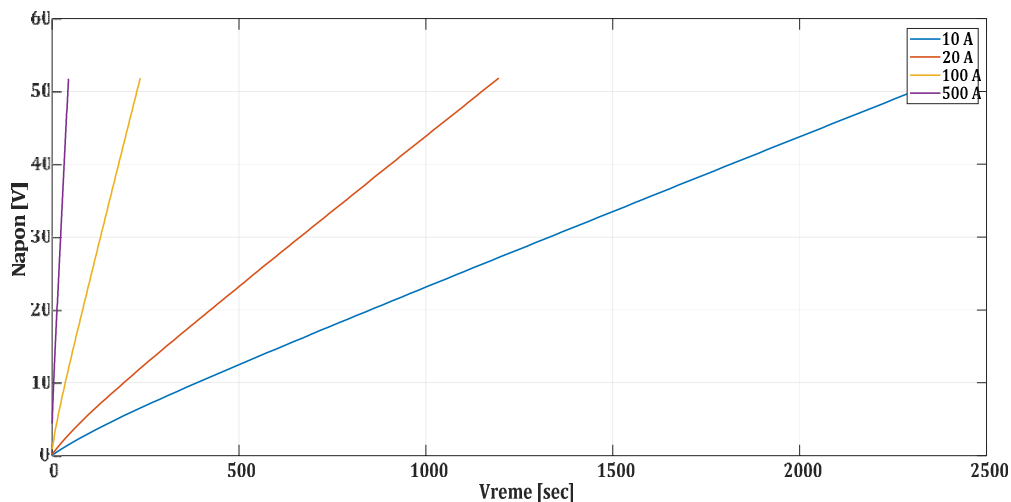
Slika 8.1 Test okruženje za hibridni energetski sistem

Daćemo kratku prezentaciju o karakteristikama pražnjenja bateriskog skladišta. Analizirajući dva grafika sa **Slika 8.2**, na prvom vidimo da nam je data zavisnost napona i vremena prilikom pražnjenja baterije sa strujom od 10 A. Na drugom grafiku date su tri struje pražnjenja bateriskog skladišta, strujom 6.5 A, 13 A i 32.5 A I ovde možemo videti kako se ta baterija ponaša kada se konstantno prazni tim strujama.



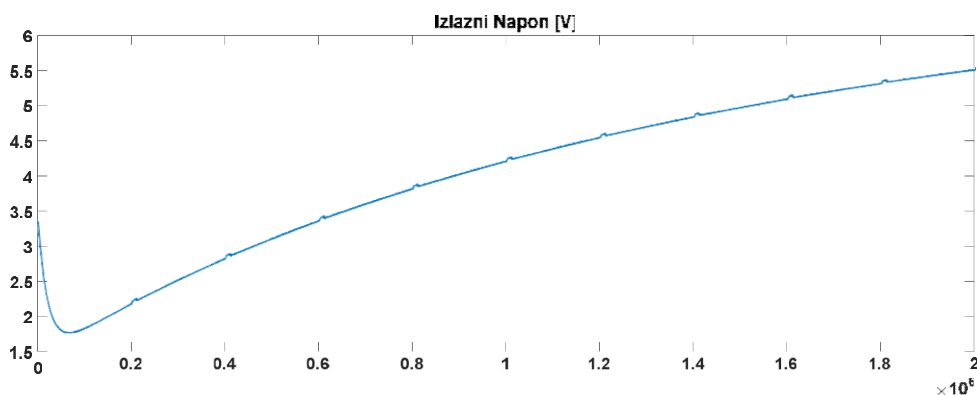
**Slika 8.2** Karakteristike pražnjenja bateriskog skladišta

**Slika 8.3** prikazuje kako je generisana karakteristika struje pražnjenja superkondenzatora, prikazano je koliko bi vremena trajalo pražnjenje superkondenzatora sa strujama 10, 20, 100 i 500 A

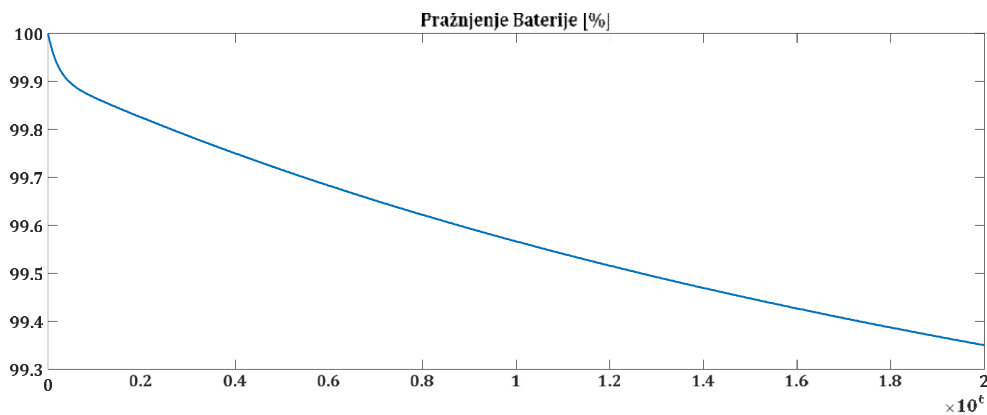


**Slika 8.3** Karakteristike pražnjenja bateriskog skladišta

Nakon prezentacije o karakteristikama pražnjenja baterije i superkondenzatora vrat ćemo se na test okruženje za hibridni energetski sistem sastavljen od litijum-jonske punjive baterije i superkondenzatora. Kako na blog šemi vidimo da su baterija i superkondenzator povezani paralelno moramo znati da je to urađeno kako bi smanjili talasanje izlaznog napona. Već smo spomenuli da je važna prednost supekondenzator u odnosu na litijum-jonsku punjivu bateriju visoka iskorišćenost snage Kw/kg a nedostatak iskorišćenost energije Wh/kg koja je skoro trideset puta manja nego kod litijum-jonskih punjive baterije. Efikasnost ciklusa superkondenzatora je mnogo veći nego kod baterije, to je jedan od razloga zbog kojeg je našao široku primenu u hibridnom skladištu kod EV. Superkondenzator može da isporuči struju za veliko izlazno opterećenje i takođe može da skladišti dodatnu energiju. Simulink model hibridnog skladišta sa slike 8.1 u sastavu superkondenzatora i litijum-jonske baterije sa unetim parametrima kako za bateriju tako i za superkondenzator, na svom izlazu ima osciloskop koji meri izlazni napon. *Grafik 8.4* predstavlja izlazni napon hibridnog skladišta dok *Grafik 8.5* pretstavlja pražnjenje baterije za koju smo predpostavili da je pre simulacije imala 100% napunjenost.

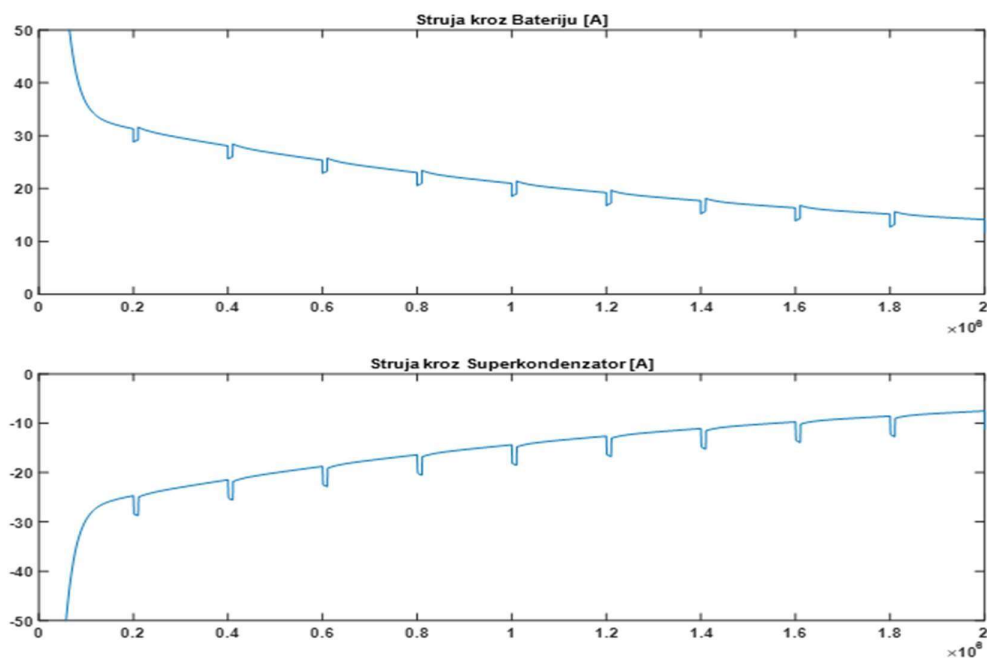


**Grafik 8.4** Izlazni napon hibridnog skladišta



**Grafik 8.5** Pražnjenje baterije hibridnog skladišta

**Grafik 8.6** prezentuje struju kroz litijum-jonsku bateriju i struju kroz superkondenzator tokom vremena i one nam prikazuju ponašanje našeg hibridnog skladišta. Možemo primetiti da kada dođe do varijacija opterećenja promenjivu struju isporučuje superkondenzator a konstantnu struju opterećenja isporučuje baterija.

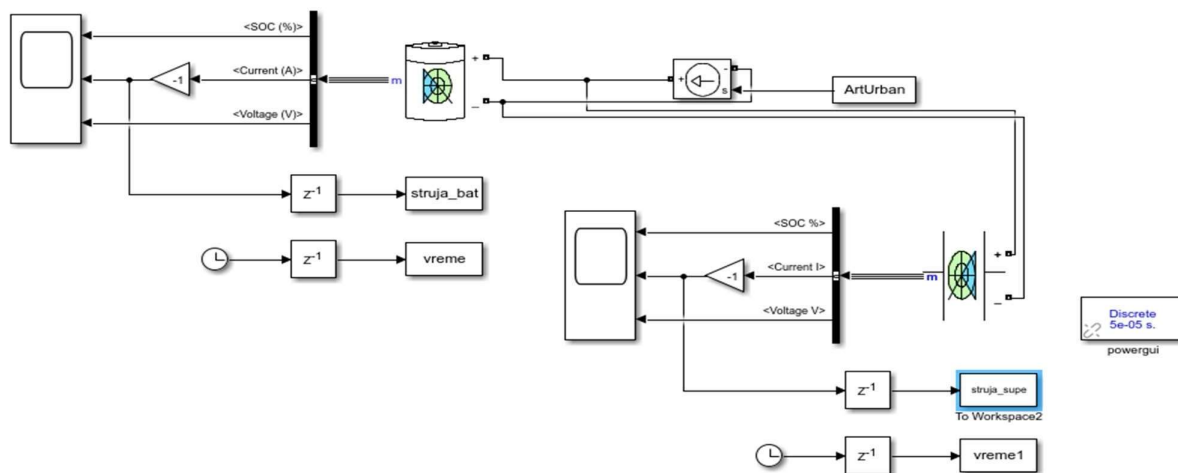


**Grafik 8.6** Struja kroz bateriju i superkondenzator tokom vremena

Ako bi hteli da iznesemo zaključak iz ovog urađenog testa, mogli bi da kažemo da superkondenzator kapacitivnosti 500 F koji je korišćen zajedno sa litijum-jonskom baterijom GP186650H koja je modelovana znatno smanjuje varijacije izlaznog napona za promenjivu struju opterećenja.

#### 4.7. Objašnjenje dobijenih rezultata sa aspekta teme semestralnog rada

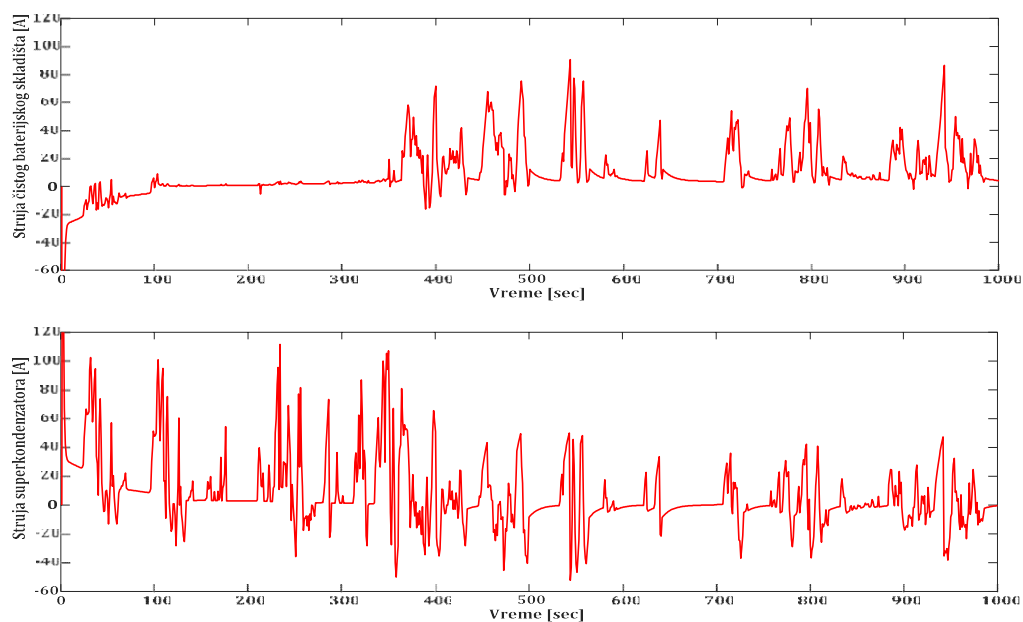
U daljoj analizi semestralnog rada vršimo poređenje odziva napajanja sa integrisanim superkondenzatorom i čistog baterijskog napajanja. *Slika 9.1* prikazuje blok šemu koju smo koristili tokom simulacije voznih ciklusa.



*Slika 9.1* Blok šema simulacije voznih ciklusa

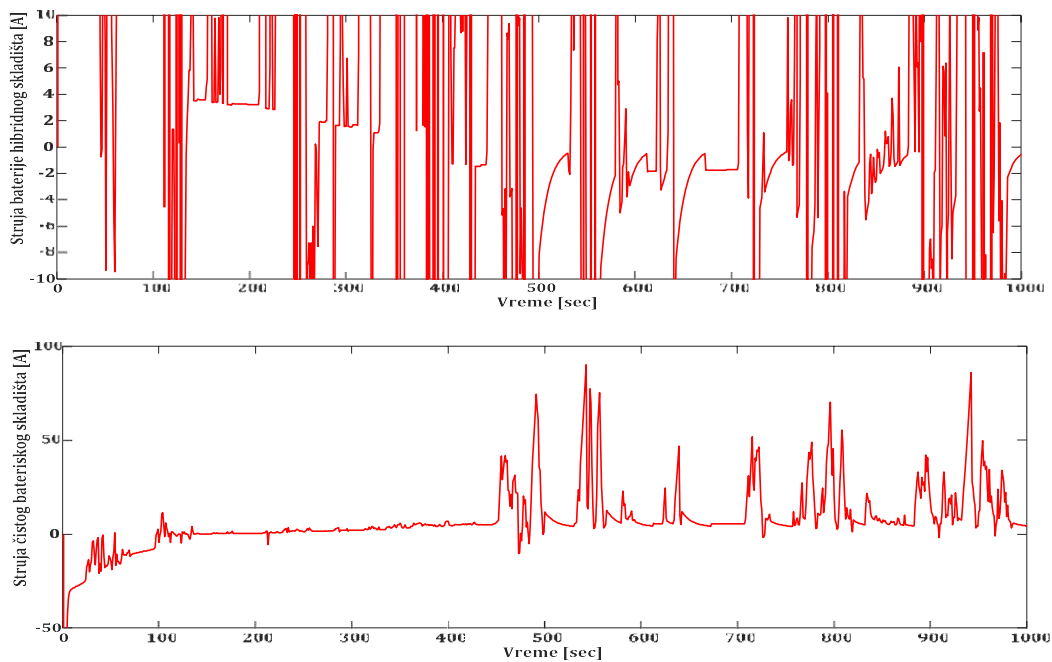
##### 4.7.1. Hibridno napajanje - Art Urban vozni ciklus

Na *Grafik 10.1*, prikazana struja superkondenzatora u odnosu na struju čistog baterijskog skladišta za ArtUrban vozni ciklus. Odziv struje čistog baterijskog skladišta je podeljen na deo struje superkondenzatora i struje baterije. Algoritam je takav da kad god vozilo ubrzava  $+0.6\text{m/s}^2$  struja se preusmerava u skladište sa superkondenzatorima i iz tog razloga imamo visoke pikove.



**Grafik 10.1 struja superkondenzatora u odnosu na struju čistog baterijskog skladišta- Art Urban vozni ciklus**

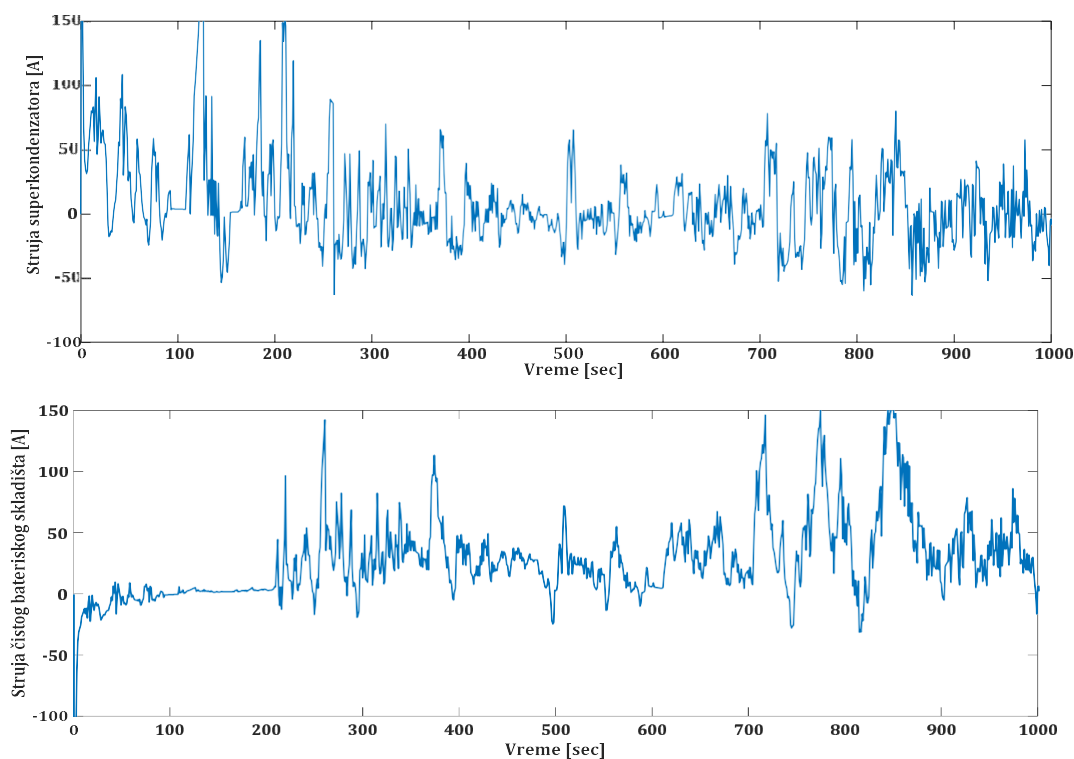
Kod struje baterije u hibridnom skladištu imamo dodatni uslov da je struja ograničena na maksimalno 10A. Iz toga proizilazi da nam na **Grafik 10.2** predstavlja struju baterijskog hibridnog skladišta u trajanju simulacije od 1000sec.



**Grafik 10.2 Struja baterijskog hibridnog skladišta u trajanju od 1000sec- Art Urban vozni ciklus**

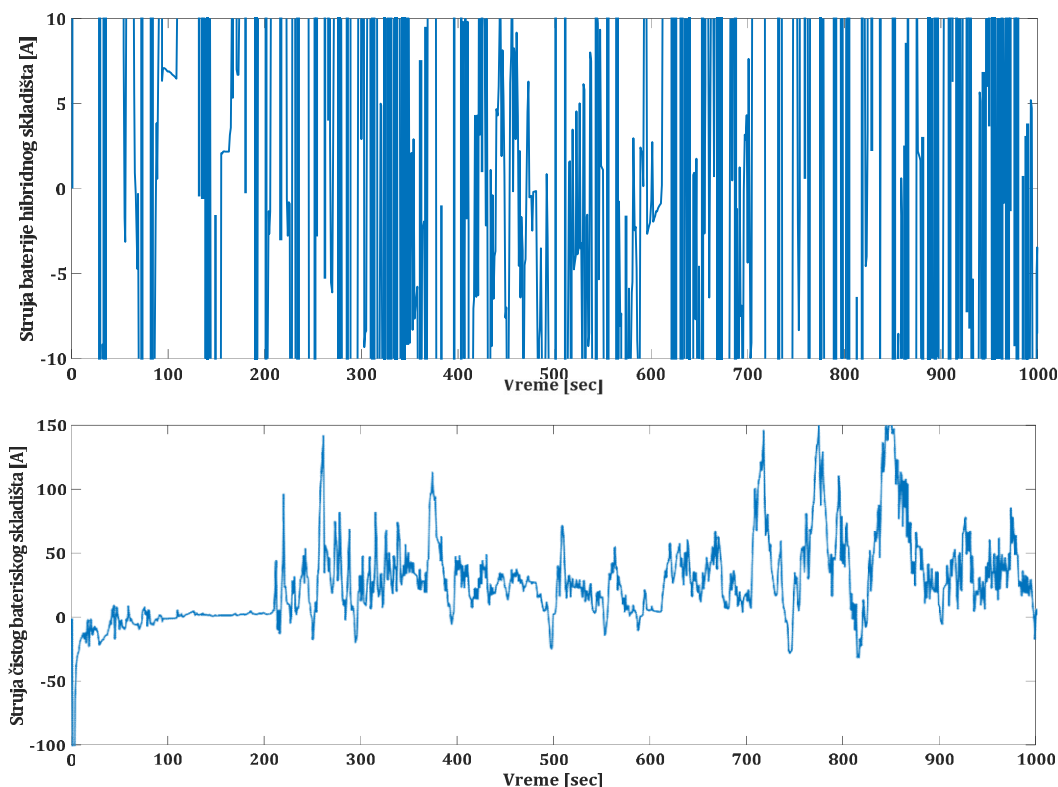
#### 4.7.2. Hibridno napajanje - Art Rural Road vozni ciklus

Na *Grafik 11.1*, prikazana struja superkondenzatora u odnosu na struju čistog baterijskog skladišta za ArtRoad driving cycle. Odziv struje čistog baterijskog skladišta je podeljen na deo struje superkondenzatora i struje baterije. Algoritam je takav da kad god vozilo ubrzava  $\pm 0.6\text{m/s}^2$  struja se preusmerava u skladište sa superkondenzatorima i iz tog razloga imamo visoke pikove.



**Grafik 11.1** struja superkondenzatora, poređenje- Art Rural Road vozni ciklus

Kod struje baterije u hibridnom skladištu imamo dodatni uslova da je struja ograničena na maksimalno 10A. Iz toga proizilazi da nam na **Grafik 11.2** predstavlja struju baterijskog hibridnog skladišta u trajanju simulacije od 1000 sec.



**Grafik 11.2** struja baterijskog hibridnog skladišta u trajanju od 1000sec, poređenje - Art Rural Road

Ovim smo teoretski zadovoljili uslov zadatka koji je bio da se uporede vrednosti struja skladišta i da se smanji opterećenje baterijskog skladišta, produzi njen životni vek i smanji njen kapacitet. Stavili smo kondenzator tako da struja koja je veća od 10A neće više ići u bateriju nego u superkondenzator te smo joj smanjili naprezanje i produžili životni vek. Obzirom da smo joj ograničili struju smanjili smo joj i strujni kapacitet (moguća upotreba baterije manjeg kapaciteta).



## 5. Zaključak

Ako bi hteli da iznesemo zaključak iz ovog urađenog testa, mogli bi da kažemo da superkondenzator kapacitivnosti 500 F koji je korišćen zajedno sa litijum-jonskom baterijom GP186650H koja je modelovana znatno smanjuje varijacije izlaznog napona za promenjivu struju opterećenja. Dodavanjem super kondezatora dolazi do umanjenja kapaciteta baterije, tj. uvećanja autonomije, ovo je posebno vidljivo u uslovima gradske vožnje. Развијени модел у MATLAB Simulink окружењу је анализиран на стандардизованом Art Urban/Rural road тест циклусу војње, који одговара градским условима. Показује се да се у урбаним условима електрично возило излаже динамичким условима рада, који се директно огледају на преостали капацитет батерије, али и на физичка ограничења регулационих структура, која се тичу дозвољених струјних лимита. Izborom baterija i super kondezatora odgovarajućih vrednosti postiže se mogućnost dimenzionisanja energetskog skladišta u el. vozilu na najoptimalniji način. Primenom super kondenzatora se vrši smanjenje broja ciklusa punjenja i pražnjenja baterije i korišćenje manje energije što za posledicu ima produžen životni vek baterije i mogućnost ugradnje baterije manjeg kapaciteta. Daljim napretkom tehnologije superkondenzatora, očekuje se njihova češća implementacija u električnim vozilima, samim tim očekuje se i pad cene energetskog skladišta koje čini veliki deo cene ukupnog koštanja vozila pa se posledično očekuje uvećanje tržišta električnih vozila. Dodavanjem superkondenzatora dodatno se utiče i na očuvanje životne sredine obzirom na umanjenje kapaciteta samih baterija i njihov produženi životni vek čija proizvodnja ugrožava okolinu.

## 6. Literatura

- [1]. Plug-in electric vehicles in Europe 2020, dostupno na: [https://en.wikipedia.org/wiki/Plug-in\\_electric\\_vehicles\\_in\\_Europe#2020](https://en.wikipedia.org/wiki/Plug-in_electric_vehicles_in_Europe#2020)
- [2]. Renault Zoe, dostupno na: [https://en.wikipedia.org/wiki/Renault\\_Zoe](https://en.wikipedia.org/wiki/Renault_Zoe)
- [3]. Tesla Model 3, dostupno na: [https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla\\_Model\\_3](https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_Model_3)
- [4]. Renault Zoe ZE40 R110, dostupno na: <https://ev-database.org/car/1236/Renault-Zoe-ZE40-R110>
- [5]. Renault Zoe R110, dostupno na: <https://ev-database.org/car/1128/Renault-Zoe-R110>
- [6]. Tesla Model 3 Standard Range Plus, dostupno na: <https://ev-database.org/car/1320/Tesla-Model-3-Standard-Range-Plus>
- [7]. <https://wattevb2buy.com/european-ev-market-price-list-electric-cars-eu/>
- [8]. BMW i3 120 Ah, dostupno na: <https://ev-database.org/car/1145/BMW-i3-120-Ah>
- [9]. BMW i3, dostupno na: [https://en.wikipedia.org/wiki/BMW\\_i3](https://en.wikipedia.org/wiki/BMW_i3)
- [10]. Dacia Spring Electric, dostupno na: <https://ev-database.org/car/1319/Dacia-Spring-Electric>
- [11]. Wei Xu, Jianguo Zhu, Youguang Guo, Shuhong Wang, Yi Wang Faculty of Electrical Engineering and Information Technology, University of Technology, Sydney Sydney, Australia; Zhanghai Shi Department of Electrical Engineering, Hong Kong Polytechnic University Hong Kong, China: "Survey on Electrical Machines in Electrical Vehicles", Proceedings of 2009 IEEE International Conference on Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices Chengdu, China, September 25-27, 2009.
- [12]. Vozni ciklusi, dostupno na: <https://www.car-engineer.com/the-different-driving-cycles/>
- [13]. Tahir Aja Zarma, Ahmadu Adamu Galadima, Maruf A. Aminu: "A Review of Motors for electric Vehicles", Department of Electrical and Electronics Engineering, Nile University of Nigeria, Abuja.
- [14]. <https://www.ebay.co.uk/itm/DC-Brushed-Motor-for-RC-Models-with-without-Mounting-Bracket-All-Sizes-/232196723842>
- [15]. <https://www.amazon.com/KUNRAY-Motorcycle-Controller-Motorcycle-Conversion/dp/B07HJB1VFF>
- [16]. <https://www.automatika.rs/baza-znanja/mehatronika/dc-elektromotori.html>
- [17]. <https://www.seminarski-diplomski.co.rs/ELEKTRONIKA/DC-motor.html>
- [18]. <https://www.automatika.rs/baza-znanja/tutorijali/asinhroni-motor-konstrukcija-princip-rada-i-primena.html>
- [19]. <http://ba.hanzelmotor.org/synchronous-motor/stb-permanent-magnet-synchronous-servo-motor/spm-cogging-torque-permanent-magnet-brushless.html>
- [20]. [https://en.wikipedia.org/wiki/New\\_European\\_Driving\\_Cycle](https://en.wikipedia.org/wiki/New_European_Driving_Cycle)
- [21]. <https://www3.epa.gov/ttnchie1/conference/ei18/session6/andre.pdf>
- [22]. <https://dieselnet.com/standards/cycles/artemis.php>
- [23]. [https://www.researchgate.net/figure/The-ARTEMIS-driving-cycles\\_fig3\\_280933380](https://www.researchgate.net/figure/The-ARTEMIS-driving-cycles_fig3_280933380)