

# Korištenje AVL Cruise za modeliranje i provedbu simulacija rada podsustava električnih vozila za različite vozne cikluse

---

Jokić, Gabriel

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

*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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:927029>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-05**

*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 prijediplomski studij**  
**Elektrotehnika i informacijska tehnologija**

**KORIŠTENJE AVL CRUISE**  
**ZA MODELIRANJE I PROVEDBU SIMULACIJA RADA**  
**PODSUSTAVA ELEKTRIČNIH VOZILA**  
**ZA RAZLIČITE VOZNE CIKLUSE**

**Završni rad**

**Gabriel Jokić**

**Osijek, 2024.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1P: Obrazac za ocjenu završnog rada na sveučilišnom prijediplomskom studiju****Ocjena završnog rada na sveučilišnom prijediplomskom studiju**

<b>Ime i prezime pristupnika:</b>	Gabriel Jokić
<b>Studij, smjer:</b>	Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
<b>Mat. br. pristupnika, god.</b>	4523, 24.07.2018.
<b>JMBAG:</b>	0165077433
<b>Mentor:</b>	prof. dr. sc. Željko Hederić
<b>Sumentor:</b>	
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Naslov završnog rada:</b>	Korištenje AVL Cruise za modeliranje i provedbu simulacija rada podsustava električnih vozila za različite vozne cikluse
<b>Znanstvena grana završnog rada:</b>	<b>Elektrostrojarstvo (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak završnog rada:</b>	Pogoni suvremenih vozila orijentiraju se prema hibridnim i električnim pogonima, čiji dizajn ovisi o primjeni vozila za različite vozne cikluse: gradske, vangradske ili mješovite vožnje. AVL Cruise je programski alat koji modeliranje i simulaciju pogona vozila u laboratorijskom okruženju p čemu program podržava različite modele električkih i mehaničkih podsustava. U ovom radu potrebno je izraditi upute o pripremi ALV Cruise laboratorijskog razvojnog sustava za simulaciju hibridnih pogona vozila u cilju provođenja različitih analiza rada pojedinih podsustava prema zadanim voznim ciklusima.
<b>Datum prijedloga ocjene završnog rada od strane mentora:</b>	21.09.2023.
<b>Prijedlog ocjene završnog rada od strane mentora:</b>	Vrlo dobar (4)
<b>Datum potvrde ocjene završnog rada od strane Odbora:</b>	30.09.2024.
<b>Ocjena završnog rada nakon obrane:</b>	Vrlo dobar (4)
<b>Datum potvrde mentora o predaji konačne verzije završnog rada čime je pristupnik završio sveučilišni prijediplomski studij:</b>	02.10.2024.

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

Osijek, 02.10.2024.

Ime i prezime Pristupnika:	Gabriel Jokić
Studij:	Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. Pristupnika, godina upisa:	4523, 24.07.2018.
Turnitin podudaranje [%]:	15

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Korištenje AVL Cruise za modeliranje i provedbu simulacija rada podsustava električnih vozila za različite vozne cikluse**

izrađen pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Željko Hederić

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 pristupnika:

## Sadržaj

1. UVOD .....	1
1.1. Zadatak završnog rada.....	1
2. PREGLED PODRUČJA TEME .....	2
3. ELEKTRIČNA VOZILA.....	5
3.1. Povijest električnih vozila .....	5
3.2. Prednosti i mane električnih vozila .....	8
4. PROGRAM AVL-CRUISE .....	11
4.1. Općenito .....	11
4.2. Primjena programa .....	12
4.3. Korisničko sučelje .....	13
4.4. Komponente za definiranje vozila.....	17
5. IZRADA PROJEKTA .....	18
5.1. Tijek rada.....	19
5.2. Modeliranje vozila.....	20
6. IZRADA PRORAČUNA ZADATKA .....	33
6.1. Proračun .....	33
6.2. NEDC .....	33
6.3. FTP – 75 .....	37
3.1. Rezultati FTP – 75.....	38
6.4. Usporedba rezultata NEDC i FTP – 75 .....	40
7. ZAKLJUČAK .....	41
8. SAŽETAK .....	46
10. LITERATURA .....	44

## Popis slika

Slika 2.1. Rimac Nevera – najbrži serijski automobil na svijetu .....	2
Slika 2.2. AVL je jedna od vodećih svjetskih tvrtki za razvoj, simulaciju i testiranje u automobilske industriji .....	3
Slika 3.1. Morris and Salom Electrobat .....	5
Slika 3.2. Usporedba tokova energija i gubitaka vozila na električni i benzinski pogon .....	9
Slika 4.1. AVL Cruise – simulacijska platforma za pogonske sustave vozila .....	12
Slika 4.2. Prikaz korisničkog sučelja AVL Cruise .....	13
Slika 5.1. Proces modeliranja električnog vozila u AVL Cruise programskom sučelju .....	18
Slika 5.2. Baterijski paket električnog vozila u zaštitnoj metalnoj konstrukciji .....	24
Slika 5.3. Prikaz sustava kočenja na vozilu .....	29
Slika 5.4. Energetski tokovi u električnom vozilu pri vožnji i pri kočenju .....	30
Slika 6.1. Prikaz ciklusa vožnje NEDC .....	34
Slika 6.2. Dijagram električne energije, maksimalne izlazne snage i ulazne snage NEDC .....	35
Slika 6.3. Dijagram okretnog momenta, brzine i mehaničke snage NEDC .....	35
Slika 6.4. Dijagram potrošnje električne energije i potrošnje goriva NEDC .....	36
Slika 6.5. Dijagram struje i napona NEDC .....	36
Slika 6.6. Prikaz ciklusa vožnje FTP-75 .....	37
Slika 6.7. Dijagram električne energije, maksimalne izlazne snage i ulazne snage za FTP-75 .....	38
Slika 6.8. Dijagram okretnog momenta, brzine i mehaničke snage FTP-75 .....	38
Slika 6.9. Dijagram potrošnje električne energije i potrošnje goriva FTP-75 .....	39
Slika 6.10. Dijagram struje i napona za FTP-75 .....	39

## Popis tablica

Tablica 1: popis komponenti za modeliranje vozila .....	22
Tablica 2: parametri za definiranje komponente elektromotora .....	23
Tablica 3: tablični prikaz maksimalne mehaničke snage elektromotora .....	23
Tablica 4: parametri za definiranje komponente baterija .....	25
Tablica 5: tablični prikaz napona praznog hoda baterije .....	25
Tablica 6: parametri za definiranje komponente diferencijal .....	26
Tablica 7: parametri za definiranje komponente diferencijal .....	27
Tablica 8: parametri za definiranje komponente kotač .....	27
Tablica 9: parametri za definiranje komponente kočnica .....	29
Tablica 10: parametri za definiranje komponente kabine .....	31
Tablica 11: parametri za definiranje vozila .....	32

# 1. UVOD

Motori na fosilna goriva egzistiraju od 1860-ih godina i danas predstavljaju dominantni oblik pogona u transportu. Iako su se tijekom povijesti razvijali i dalje su ostali ozbiljan problem. Jedan od najvećih problema je veliki broj vozila koji se svakodnevno koristi, što dovodi do negativnih posljedica po okoliš i ljudsko zdravlje. Ispuštanje velike količine ugljikovog dioksida u atmosferu doprinosi globalnom zatopljenju i klimatskim promjenama. Osim toga, potrošnja fosilnih goriva kao glavnog izvora energije za ove motore dovodi do rasta cijena energenata, ovisnosti o uvozu nafte i iscrpljivanja prirodnih resursa. Rješenje ovih problema leži u razvoju alternativnih pogonskih tehnologija, kao što su električni automobili, vodikovih gorivih ćelija, tehnologija za smanjenje emisija i povećanje energetske učinkovitosti. Očuvanje okoliša i smanjenje emisija stakleničkih plinova postaju sve važniji ciljevi u svijetu prometa. Svrha ovog rada je pomoću AVL Cruise-a prikazati efikasnost za različite rute električnih vozila.

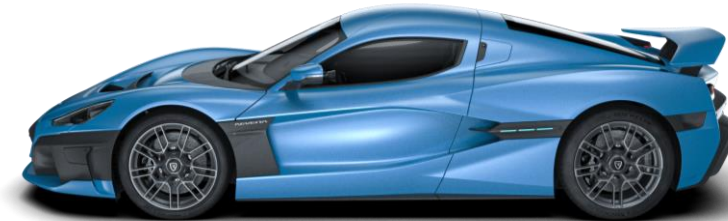
## 1.1. Zadatak završnog rada

Pogoni suvremenih vozila orijentiraju se prema hibridnim i električnim pogonima, čiji dizajn ovisi o primjeni vozila za različite vozne cikluse: gradske, vangradske ili mješovite vožnje. AVL Cruise je programski alat koji modeliranje i simulaciju pogona vozila u laboratorijskom okruženju pri čemu program podržava različite modele električkih i mehaničkih podsustava. U ovom radu potrebno je izraditi upute o pripremi ALV Cruise laboratorijskog razvojnog sustava za simulaciju hibridnih pogona vozila u cilju provođenja različitih analiza rada pojedinih podsustava prema zadanim voznim ciklusima.

## 2. PREGLED PODRUČJA TEME

Razvoj i primjena suvremenih pogona vozila, posebice električnih i hibridnih, predstavljaju jedan od ključnih izazova i prilika u automobilskom sektoru. U okviru ove teme, tehnologija pogona i sustavi za pohranu energije postali su prioritet istraživanja, s posebnim naglaskom na ekološku održivost i učinkovitost. Temeljne informacije o ovim sustavima, kao i uvod u tehnologiju pogona, mogu se pronaći u izvoru [1], gdje su detaljno objašnjeni principi rada električnih, hibridnih i vozila s gorivim ćelijama, kao i sustavi za pohranu energije, poput baterijskih spremnika i korištenje vodika kao izvora energije.

Električna vozila, koja koriste energiju pohranjenu u baterijama, te hibridna vozila, koja kombiniraju različite vrste pogonskih sustava, u posljednjem desetljeću doživjela su značajan tehnološki napredak. Ovaj napredak može se pripisati velikim ulaganjima u istraživanje i razvoj, kao i pritiscima iz zakonodavnog okvira koji su zahtijevali smanjenje emisija stakleničkih plinova. Naime, regulative usmjerene na smanjenje emisija CO<sub>2</sub> i potrošnje goriva potaknule su proizvođače automobila da razviju nova i inovativna rješenja za pogon svojih vozila.



Slika 2.1. Rimac Nevera – najbrži serijski automobil na svijetu  
ima električni pogon na sva četiri kotača te je postigao brzinu od 412 km/h

Jedan od ključnih aspekata razvoja električnih vozila su tehno-ekonomski parametri, koji čine bitne odrednice pri razvoju tehnologija. Ovi parametri uključuju cijenu proizvodnje vozila, troškove održavanja, trajnost baterija, infrastrukturu za punjenje i dostupnost resursa za proizvodnju baterija, poput litija, kobalta i nikla. Korištenje materijala u proizvodnji baterija ključan je faktor koji utječe na cijenu i ekološki otisak električnih vozila. Kako bi električna vozila postala konkurentna na tržištu, ključno je smanjenje cijene baterija i povećanje njihovog kapaciteta. Izvori [2] i [3] pružaju uvid u budućnost električnih vozila, analizirajući kako će se



mreža proizvođača vozila i izvora napajanja širiti u narednim desetljećima te nudeći pregled znanstvenih istraživanja koja su usmjerena na optimizaciju tih sustava.

Jedan od ključnih alata koji se koriste za optimizaciju i analizu sustava pogona vozila je AVL Cruise. Ovaj snažan programski alat razvijen je kako bi pružio podršku u proučavanju različitih podsustava vozila, njihovih međusobnih interakcija i kombiniranih djelovanja u ukupnom pogonu vozila. AVL Cruise omogućava simulaciju različitih okruženja i scenarija, što ga čini iznimno korisnim za istraživanje performansi vozila u različitim uvjetima. Ovaj alat omogućuje inženjerima da analiziraju učinkovitost pojedinih komponenti vozila, ali i cijelog sustava, te da predvide kako će se vozilo ponašati u stvarnim uvjetima. Literatura [4] i [5] pruža osnovne informacije o samom programu, načinu korištenja i analizi rezultata. Na taj način, AVL Cruise je postao neophodan alat u procesu razvoja novih vozila, omogućujući inženjerima da već u ranim fazama razvoja optimiziraju dizajn i izbjegnu skupe promjene kasnije u procesu.



Slika 2.2. AVL je jedna od vodećih svjetskih tvrtki za razvoj, simulaciju i testiranje u automobilske industriji

Razvoj vozila je složen proces, koji uključuje brojne varijante i kombinacije komponenti te njihove međusobne interakcije. Kako bi se postigli postavljeni ciljevi istraživanja i razvoja, potrebno je primijeniti sustavni pristup optimizaciji. Ovaj proces optimizacije uključuje odabir najboljih komponenti, prilagodbu pogonskih sustava različitim okruženjima i scenarijima vožnje te izradu studija koncepta. Studije koncepta iznimno su važne jer omogućuju rano prepoznavanje mogućih problema i time izbjegavanje kasnih i skupih promjena u dizajnu vozila.

Uz razvoj pogonskih sustava, važan aspekt istraživanja i razvoja električnih i hibridnih vozila odnosi se na vozne cikluse. Vozni ciklusi predstavljaju simulirane rute koje vozilo prelazi

tijekom testa, a služe za procjenu njegove učinkovitosti, emisija i potrošnje energije. Različiti vozni ciklusi koriste se kako bi se simulirale različite situacije, uključujući vožnju u urbanim, prigradskim i ruralnim područjima, kao i pri različitim brzinama i uvjetima vožnje. Prema izvorima [6] i [7], vozački ciklusi, poput ECE-EUDC i FTP75, koriste se kako bi se osigurala usporedba između različitih pogona i testnih vozila. Ovi ciklusi predstavljaju standardizirane procedure koje omogućuju proizvođačima i regulatorima da precizno mjere performanse vozila u kontroliranim uvjetima.

Energetska učinkovitost vozila uvelike ovisi o prometnim uvjetima. Na primjer, vožnja u urbanim područjima, koja često uključuje stajanje i kretanje u prometnim gužvama, može značajno utjecati na potrošnju energije električnog vozila. U tim uvjetima, vozila s regenerativnim kočenjem mogu povratiti dio izgubljene energije, čime se povećava njihova ukupna učinkovitost. Različiti modeli i simulacije, poput onih provedenih u literaturi [8] i [9], istražuju kako prometni uvjeti utječu na potrošnju energije i kako optimizirati vozila za vožnju u urbanim sredinama. Nadalje, u radu [10], autor se bavi analizom faktora koji utječu na vozila u urbanim ciklusima, uključujući dinamiku vožnje i specifičnosti pogonskog sustava, što dodatno produbljuje razumijevanje utjecaja okruženja na performanse vozila.

Razvoj tehnologije električnih vozila ključan je za smanjenje globalnih emisija stakleničkih plinova i postizanje održivog prometnog sustava. Iako je napredak u ovoj oblasti očit, još uvijek postoje mnogi izazovi koje treba prevladati, uključujući visoku cijenu baterija, ograničen domet vozila i nedovoljnu infrastrukturu za punjenje. Istraživanja u tom području usmjerena su na pronalaženje novih rješenja koja će omogućiti bržu integraciju električnih vozila na tržište, a AVL Cruise kao alat za simulaciju i optimizaciju igrat će ključnu ulogu u tom procesu.

### 3. ELEKTRIČNA VOZILA

Električna vozila (EV) predstavljaju ključnu komponentu u globalnim naporima za smanjenje emisija stakleničkih plinova i prelazak na održivi prometni sustav. Zahvaljujući napretku tehnologije baterija i sve većem razvoju infrastrukture za punjenje, EV postaju sve prisutniji na cestama diljem svijeta. Za razliku od konvencionalnih vozila koja koriste fosilna goriva, električna vozila se pogone isključivo električnom energijom pohranjenom u baterijama, što smanjuje lokalne emisije štetnih plinova te pridonosi smanjenju zagađenja zraka u urbanim sredinama.

Uz ekološke prednosti, električna vozila nude i poboljšanu energetska učinkovitost u usporedbi s tradicionalnim motorima s unutarnjim izgaranjem, jer pretvaraju znatno veći postotak energije u pogonsku snagu. Unatoč mnogim prednostima, EV se i dalje suočavaju s izazovima, poput ograničenog doseg, dugog vremena punjenja i nedovoljne infrastrukture za punjenje u mnogim regijama. Međutim, s kontinuiranim napretkom u tehnologiji baterija i razvojem mreže punionica, očekuje se da će ovi izazovi biti sve manje izraženi. Električna vozila imaju potencijal revolucionirati prometni sektor, smanjujući njegov negativni utjecaj na okoliš i omogućujući održiviji razvoj u budućnosti.

#### 3.1. Povijest električnih vozila

Povijest električnih vozila započinje 1881. godine, kada je francuski izumitelj Gustave Trouvé razvio prvo vozilo na električnu energiju, tricikl pogonjen olovnom baterijom i istosmjernim motorom. Ovaj pionirski pokušaj potaknuo je daljnji interes za električna vozila krajem 19. stoljeća. Značajan korak naprijed bio je dolazak Electrobat vozila na tržište 1894. godine, koji je postao simbol rane faze razvoja električnih vozila. Electrobat je mogao voziti četiri sata s pauzom od 90 minuta za punjenje baterije te je bio pokretan s dva motora ukupne snage tri konjske snage, postizujući najveću brzinu od 32 km/h i domet od 40 kilometara.



Slika 3.1. - Morris and Salom Electrobat

Inovacija u obliku regenerativnog kočenja, koju je 1897. patentirao M.A. Darracq, značajno je unaprijedila performanse električnih vozila. Ovaj sustav omogućio je pretvaranje kinetičke energije vozila u električnu prilikom kočenja, čime se povećavao domet i učinkovitost vozila.

Razvoj električnih vozila u 20. stoljeću suočio se s nekoliko ključnih prepreka koje su usporile njihov napredak i širu prihvaćenost:

1. Tehnološki izazovi s baterijama: Električna vozila su se oslanjala na olovne akumulatorske baterije, koje su imale nisku energetske gustoću i bile vrlo teške. To je značilo da su električni automobili trebali velike količine baterija za relativno kratak domet, što je povećavalo njihovu težinu i smanjivalo učinkovitost.
2. Razvoj motora s unutarnjim izgaranjem: Početkom 20. stoljeća, motori s unutarnjim izgaranjem postali su dominantni zbog nekoliko prednosti: veći domet, brže punjenje goriva, niži troškovi proizvodnje i jednostavnija infrastruktura za distribuciju goriva. Henry Fordova masovna proizvodnja Modela T dodatno je smanjila cijene benzinskih automobila, čineći ih pristupačnijima široj populaciji.
3. Ekonomski faktori: Nafta je postala jeftin izvor energije, a infrastruktura za benzin bila je lako dostupna, što je dodatno potaknulo potražnju za benzinskim vozilima. Električna infrastruktura nije bila jednako razvijena, posebno izvan urbanih područja.
4. Ograničeni domet i performanse: Električni automobili imali su ograničen domet i niže maksimalne brzine u usporedbi s benzinskim vozilima, što ih je činilo manje atraktivnima za potrošače koji su tražili svestranija vozila za duža putovanja.
5. Nedostatak interesa i podrške: Tijekom većeg dijela 20. stoljeća, javni interes za električna vozila bio je nizak zbog njihove ograničene funkcionalnosti u usporedbi s benzinskim automobilima. Tek su energetske krize 1970-ih ponovno potaknule interes za alternativne izvore energije.

Ove prepreke zajedno su rezultirale time da su električna vozila ostala u sjeni benzinskih automobila sve do kraja 20. stoljeća kada su tehnološki napreci u baterijama i rastuća zabrinutost oko okoliša počeli mijenjati percepciju i potražnju za električnim vozilima.

Nakon stagnacije početkom 20. stoljeća, interes za električna vozila oživljen je krajem 20. stoljeća zbog rastuće zabrinutosti za okoliš i utjecaja fosilnih goriva. Tijekom 1990-ih godina postignut je veliki napredak u tehnologiji električnih vozila, ali su i dalje postojali izazovi, prvenstveno vezani uz ograničeni kapacitet baterija i domet vozila. Taj problem postao je fokus daljnjeg istraživanja i inovacija u kasnijim desetljećima.

Moderni proizvođači električnih vozila uspješno su riješili dizajnerske i estetske probleme kroz nekoliko ključnih inovacija i pristupa:

- Minimalistički i futuristički dizajn: Električna vozila danas često koriste minimalistički dizajn koji naglašava čiste linije, jednostavnost i funkcionalnost. Ovaj pristup ne samo da zadovoljava suvremene estetske preferencije, već također doprinosi smanjenju težine vozila, što poboljšava energetske učinkovitost i performanse<sup>14</sup>.
- Aerodinamički oblici: Aerodinamika igra ključnu ulogu u dizajnu električnih automobila, jer poboljšava učinkovitost i domet vozila. Proizvođači koriste glatke, skulpturalne oblike kako bi smanjili otpor zraka, čime se produžuje domet vozila na jednom punjenju. Ovaj praktični pristup često rezultira modernim i privlačnim dizajnima<sup>12</sup>.
- Inovativni materijali: Korištenje naprednih materijala poput karbonskih vlakana i laganih kompozita poboljšava vizualni dojam i performanse automobila. Ovi materijali omogućuju smanjenje težine, što je ključno za energetske učinkovitu vožnju. Također se koriste biomaterijali iz obnovljivih izvora koji su ekološki prihvatljivi<sup>12</sup>.
- Tehnološke inovacije: Razvoj tehnologije omogućio je proizvođačima da eksperimentiraju s kompleksnim oblicima i funkcijama. Na primjer, integracija naprednih LED i OLED rasvjetnih sustava pruža veću fleksibilnost u dizajnu i omogućuje stvaranje jedinstvenih svjetlosnih potpisa koji doprinose prepoznatljivosti brenda.
- Unutarnji dizajn i povezivost: Unutrašnjost električnih vozila često je prostrana i minimalistička, s naglaskom na udobnost i integraciju tehnologije. Visokorezolucijski zasloni dominiraju kontrolnom pločom, omogućujući intuitivno upravljanje funkcijama vozila. Povezivost s mobilnim uređajima i Internetom stvari (IoT) dodatno poboljšava korisničko iskustvo.

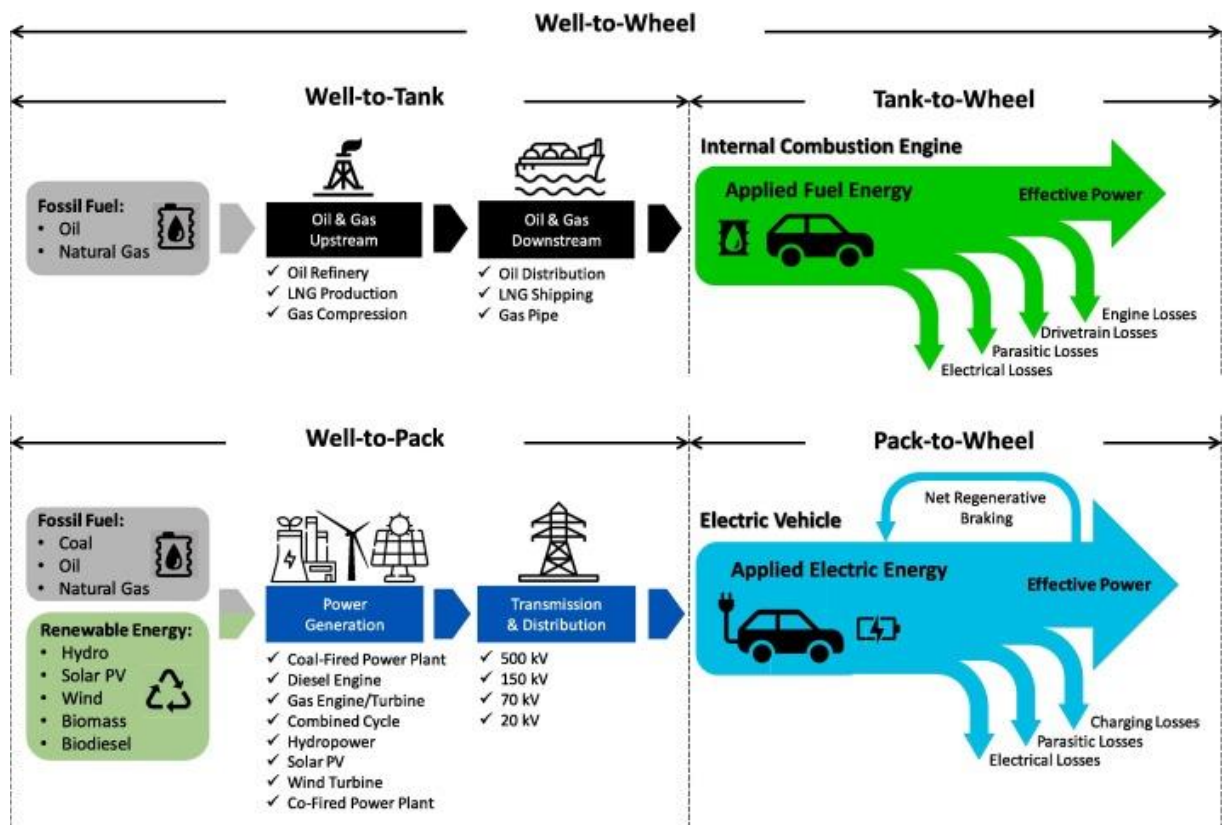
### 3.2. Prednosti i mane električnih vozila

Električna vozila (EV) donose niz prednosti koje ih čine sve privlačnijim izborom za potrošače i ključnim dijelom održivog razvoja. Jedna od najvažnijih prednosti je ekološka prihvatljivost. Za razliku od vozila na fosilna goriva, električni automobili ne emitiraju štetne ispušne plinove, što pomaže u smanjenju zagađenja zraka i emisija stakleničkih plinova, te pridonosi borbi protiv klimatskih promjena [2].

Prednosti električnih vozila ističu se kroz energetska učinkovitost i ekološku prihvatljivost kao glavni motivator poticanja novih tehnologija. **Ekološka prihvatljivost:** Električna vozila ne emitiraju štetne ispušne plinove tijekom vožnje, što smanjuje zagađenje zraka i emisije stakleničkih plinova. Na primjer, Tesla Model 3 i Nissan Leaf su popularni modeli koji doprinose smanjenju ugljičnog otiska u urbanim sredinama. **Niži troškovi vožnje:** Troškovi električne energije za punjenje su često niži od troškova benzina ili dizela. Punjenje kod kuće, posebno tijekom razdoblja niže potrošnje električne energije, dodatno smanjuje troškove. Primjerice, vlasnici Chevrolet Bolta često izvještavaju o značajnim uštedama na gorivu u usporedbi s konvencionalnim vozilima. **Tiha vožnja i trenutno ubrzanje:** Električni automobili su gotovo bešumni i pružaju trenutno ubrzanje, što rezultira glatkom i ugodnom vožnjom. Tesla Model S je poznat po svom impresivnom ubrzanju od 0 do 100 km/h za manje od 3 sekunde, što je usporedivo s nekim sportskim automobilima. **Manje održavanja:** Električna vozila imaju manje pokretnih dijelova od vozila s unutarnjim izgaranjem, što znači manje potrebe za održavanjem. Na primjer, Hyundai Kona Electric zahtijeva manje servisnih intervencija zbog nedostatka motora s unutarnjim izgaranjem. **Poticaži za kupnju:** Mnoge zemlje nude subvencije i porezne olakšice za kupnju električnih vozila. U Norveškoj, na primjer, kupci EV-a uživaju u poreznim olakšicama i oslobođanju od putarina, što je dovelo do toga da su električni automobili postali izuzetno popularni.

Nedostaci električnih vozila proizilaze iz usporedbe sa benefitima vozila na fosilna goriva koja su desetljećima bila pojam komfora i luksuza. **Ograničeni doseg:** Iako se tehnologija baterija poboljšava, električni automobili često imaju kraći doseg u usporedbi s konvencionalnim vozilima. Na primjer, raniji modeli Nissan Leafa imali su doseg od oko 150 km, što je ograničavalo njihovu upotrebu na kraće relacije. **Infrastruktura za punjenje:** Nedostatak punionica može otežati putovanja na duže udaljenosti. Iako Tesla ima svoju mrežu Supercharger stanica koje omogućuju

brzo punjenje, mnogi drugi proizvođači još uvijek rade na širenju svojih mreža. **Visoki početni troškovi:** Električni automobili obično imaju višu početnu cijenu zbog skupih baterija. Na primjer, cijena Tesle Model S može biti značajno viša od cijene sličnog benzinskog vozila. Međutim, dugoročne uštede na gorivu i održavanju često mogu nadoknaditi ovu razliku. **Životni vijek baterije i degradacija:** S vremenom se kapacitet baterija smanjuje. Vlasnici starijih modela kao što je BMW i3 mogu primijetiti smanjenje doseg nakon nekoliko godina korištenja. **Tišina kao potencijalna opasnost:** Iako je tiha vožnja prednost, može predstavljati opasnost za pješake i bicikliste koji ne čuju dolazak vozila. Zbog toga mnogi proizvođači, uključujući Renault Zoe, dodaju umjetne zvukove upozorenja pri niskim brzinama kako bi povećali sigurnost.



Slika 3.2. Usporedba tokova energija i gubitaka vozila na električni i benzinski pogon

[11]

Električna vozila postaju sve privlačniji izbor zbog svojih ekoloških i ekonomskih prednosti, ali izazovi poput infrastrukture punjenja i početnih troškova još uvijek predstavljaju prepreke njihovom širem prihvaćanju.

Bitan faktor promatranja električnih vozila je i njihov utjecaj na mlade vozače. Moderna električna vozila opremljena su naprednim sigurnosnim sustavima koji mogu biti posebno korisni za neiskusne vozače:

- Automatsko kočenje u nuždi s upozorenjem na frontalni sudar
- Upozorenje na vozila u mrtvom kutu
- Upozorenje na poprečni promet straga

Ove značajke pružaju dodatnu sigurnost i pomoć mladim vozačima dok stječu iskustvo. Neki proizvođači poput Chevroleta nude posebne sustave za nadzor mladih vozača ako što su mogućnost postavljanja ograničenja brzine, ograničenje glasnoće audio sustava, ali tu su i podsjetnik za vezanje pojasa koji sprječava pokretanje vozila. Učenje vožnje na električnom vozilu od samog početka može pomoći u razvijanju ekološke svijesti kod mladih vozača uz benefit poticanja na odgovorno ponašanje u prometu.

Električna vozila imaju drugačiji osjećaj vožnje od konvencionalnih automobila zbog trenutnog okretnog momenta i regenerativnog kočenja. To može zahtijevati period prilagodbe za nove vozače.



## **4. PROGRAM AVL-CRUISE**

### **4.1. Općenito**

AVL-Cruise je sofisticirani programski alat koji se široko primjenjuje u automobilskoj industriji za simulacije i analize različitih aspekata vozila. Ovaj alat nudi napredne funkcionalnosti koje omogućuju simulaciju dinamičkih performansi vozila, kao i analizu energetske efikasnosti, što ga čini ključnim resursom za inženjere i istraživače koji rade na razvoju novih tehnologija u automobilskoj industriji.

AVL-Cruise pruža sveobuhvatno rješenje za simulaciju strukture vožnje, potrošnje energenata i emisije štetnih plinova u cestovnom prometu, uzimajući u obzir različite tipove vozila, uključujući hibridna i električna vozila. Osim toga, alat omogućuje preciznu procjenu utjecaja raznih tehničkih parametara, poput težine vozila, aerodinamičkog otpora, pogonskih sistema i strategija upravljanja energijom, na ukupne performanse vozila i njegov ekološki otisak.

Jedna od glavnih prednosti AVL-Cruise-a je njegova sposobnost integracije s drugim softverskim paketima, kao što su AVL-Boost i AVL-Drive, čime omogućuje detaljne analize kombinovanih efekata različitih faktora u stvarnim uvjetima vožnje. Ova funkcionalnost je od velike važnosti za razvoj efikasnijih i ekološki prihvatljivijih vozila, budući da inženjeri mogu simulirati stvarne scenarije i optimizirati performanse vozila prije nego što započnu fizičko testiranje.

Dodatno, AVL-Cruise podržava procese homologacije i poštivanja međunarodnih standarda za emisije, što olakšava proizvođačima vozila prilagođavanje sve strožim zakonskim regulativama. Sve ove karakteristike čine AVL-Cruise neophodnim alatom u modernoj automobilskoj industriji, gdje se stalno teži poboljšanju efikasnosti i smanjenju utjecaja vozila na okoliš.

Iz navedenih prednosti u ovom završnom radu je odabran ovaj program za izračune parametra simulacije, gdje će se izračunavati kolika je potrošnja električne energije za električni autobus u različitim ciklusima vožnje [4].

## 4.2. Primjena programa

Ključne funkcionalnosti AVL-Cruise mogu se objasniti kroz primjenu na različitim područjima:

*Razvoj pogonskog sklopa i motora* - AVL-Cruise se primarno koristi za razvoj i optimizaciju pogonskog sklopa vozila i motora. Ovo uključuje proračune i optimizaciju potrošnje goriva, što je ključno za poboljšanje energetske učinkovitosti vozila.

*Simulacija dinamike vozila* - Program omogućuje detaljnu simulaciju dinamike vozila, što inženjerima pruža uvid u ponašanje vozila u različitim uvjetima vožnje.

*Analiza pogonskog sklopa* - AVL-Cruise je dizajniran za sveobuhvatnu analizu pogonskog sklopa, što omogućuje inženjerima da optimiziraju performanse i učinkovitost vozila.

*Primjena u električnim vozilima* - AVL-Cruise je posebno koristan za analizu električnih vozila, uključujući električne autobuse.



Slika 4.1. AVL Cruise – simulacijska platforma za pogonske sustave vozila

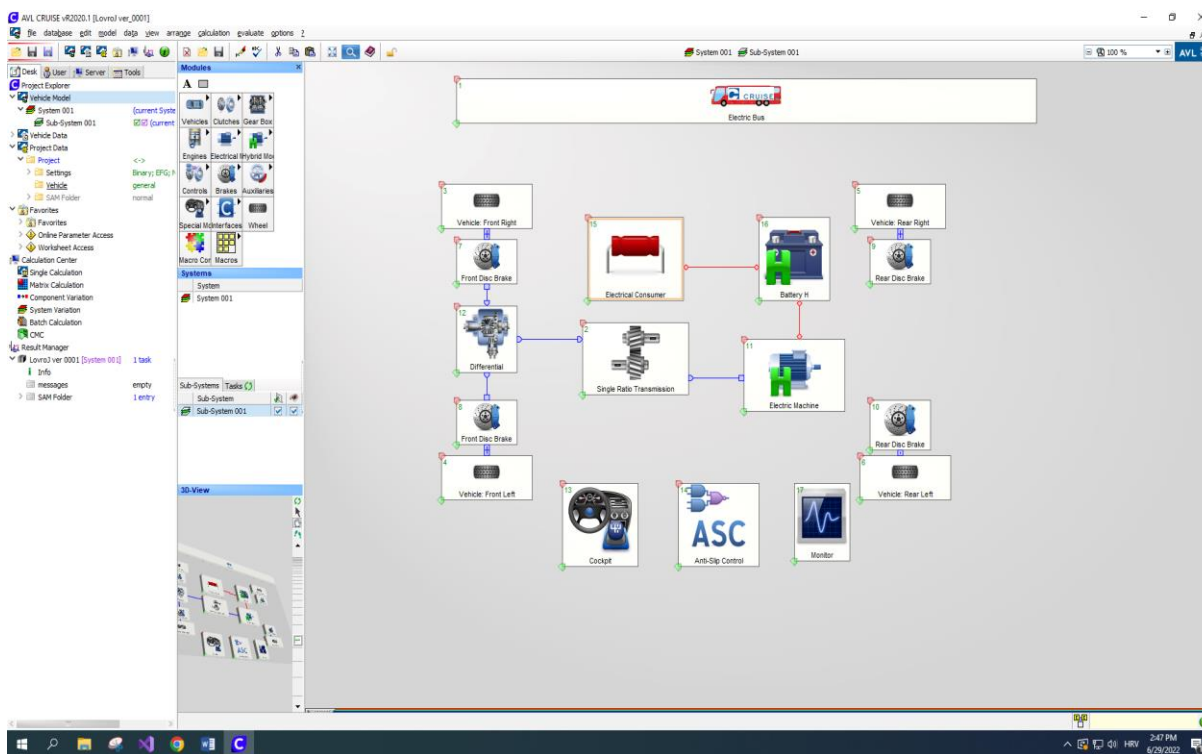
Korištenjem programa u različitim sustavima pomaže korisniku da dobije široku lepezu rezultata i analiza kao što su: izračun potrošnje električne energije u različitim ciklusima vožnje, optimizaciju sustava za upravljanje energijom, analizu performansi baterije i električnog pogonskog sustava, prednosti korištenja AVL-Cruise, omogućuje točne izračune potrošnje

energije i emisija. Programsko sučelje osigurava veliku fleksibilnost jer daje mogućnosti simulirati različite scenarije vožnje i konfiguracije vozila, pri čemu pruža detaljne analize svih relevantnih parametara vozila.

Zbog ovih karakteristika, AVL-Cruise je idealan alat za završne radove i istraživačke projekte koji se bave analizom potrošnje električne energije u električnim autobusima pri različitim ciklusima vožnje. Omogućuje studentima i istraživačima da dobiju precizne podatke o energetskej učinkovitosti i performansama električnih vozila u realističnim uvjetima vožnje [4].

### 4.3. Korisničko sučelje

AVL-Cruise ima sofisticirano i intuitivno korisničko sučelje koje je dizajnirano za učinkovit rad i jednostavno upravljanje složenim simulacijama vozila. Sučelje se sastoji od dva glavna prozora koji pružaju korisniku sveobuhvatan pregled i kontrolu nad modelom vozila i simulacijskim procesima.



Slika 4.2. Prikaz korisničkog sučelja AVL Cruise

AVL BOOST je dodatni potprogram za simulaciju ciklusa motora na fosilna goriva koji omogućuje da izgradnju modela cijelog motora odabirom gotovih elemenata iz potprogramskih menija s alatima i njihovim povezivanjem pomoću cijevnih elemenata. Ovi elementi uključuju cilindre, pročistače zraka, katalizatore, među hladnjake, turbopunjače, napredne spojne modele i mnoge druge. Taj dio programa je bitan ako se žele proučavati hibridna vozila.

AVL BOOST može simulirati radne točke u stabilnom stanju kao i prijelazne pojave motora. BOOST se koristi u automobilske i neautomobilske industriji za preciznu simulaciju motora. Korišten je za modeliranje širokog raspona brzina i veličina motora, uključujući dvotaktne i četverotaktne motore. U modelu motora BOOST, numerički izlazi (senzori) mogu dati vrijednosti, kao što su tlak, temperatura, zrak.

Pomoću programa FLOWMASTER dobivamo informacije o simulacijama toplinskih mreža. AVL InMotion AVL je potpojam koji omogućava podršku proučavanja simulacije vozila u takozvanom Hardware in the Loop (HIL) sustavu gdje se iterativno kombiniraju proračuni i povratno se vraćaju rezultati kao ulazni parametri u sljedeći ciklus simulacije. Time se postiže testiranje hardware komponenti upravljano software simulacijama i sustavima upravljanja, gdje se izolirani hardware komponente proučavaju kao dio složenog okruženja vozila u dinamičkom režimu vožnje po određenom ciklusu [4, 5].

Ostala programska sučelja koja su implementirana i mogu se koristiti u AVL Cruise-u:

- Matlab® /Simulink
- AVL Exhaust System
- ETAS
- BlackBox Interface
- AVL DRIVE
- CarSim Interface

#### **4.3.1. Navigacijski okvir**

Navigacijski okvir ključni je element korisničkog sučelja u softverskom alatu AVL-Cruise, jer omogućuje jednostavno upravljanje i pristup svim potrebnim funkcijama i modulima unutar

programa. U navigacijskom okviru korisnici mogu brzo pregledati različite dijelove projekta, uključujući komponente vozila, parametre i postavke simulacija, te pristupiti analitičkim alatima.

Ovaj okvir služi kao glavni alat za organizaciju i strukturiranje podataka, omogućujući intuitivno kretanje kroz različite faze modeliranja i simulacije vozila. Korisnici mogu dodavati, uređivati ili uklanjati komponente poput motora, baterija, prijenosnika ili šasija te jednostavno definirati energetske tokove i druge parametre vozila. Dodatno, navigacijski okvir olakšava pregled strukture vozila i omogućuje lako povezivanje različitih sustava u cjeloviti model.

Zahvaljujući navigacijskom okviru, korisnici mogu neometano prelaziti iz jedne faze modeliranja u drugu, od početne konfiguracije do analize rezultata, što povećava učinkovitost i smanjuje vrijeme potrebno za razvoj i testiranje vozila. Također omogućava praćenje simulacija u realnom vremenu, pružajući detaljan uvid u sve ključne aspekte ponašanja vozila u različitim voznim ciklusima.

Funkcionalnosti navigacijskog okvira ogledaju se kroz:

- *Hijerarhijski prikaz*: Prikazuje strukturu modela vozila u obliku stabla, omogućujući lako navigiranje kroz različite podsustave i komponente.
- *Brzi pristup*: Korisnici mogu brzo pristupiti specifičnim elementima modela jednostavnim klikom na odgovarajuću stavku u navigacijskom stablu.
- *Organizacija modela*: Omogućuje korisnicima da organiziraju i grupiraju komponente na logičan način, što olakšava upravljanje složenim modelima.

Navigacijski okvir u AVL-Cruise programu se ne koristi izravno za planiranje vožnje, već služi za organizaciju i pristup različitim elementima modela vozila i simulacije. Međutim, navigacijski okvir igra važnu ulogu u pripremi i postavljanju simulacije vožnje. Ključne sekcije navigacijskog okvira dijele se na podsustave vozila: Pogonski sklop, Šasija i karoserija, Električni sustavi, Kontrolni sustavi i Okolišni uvjeti.

Navigacijski okvir se sastoji od nekoliko ključnih područja koja su relevantna za planiranje vožnje i pružaju korisniku pristup ključnim područjima:

*Desk area* – sučelje za pristup modelima vozila, podacima tih vozila, projektima koji se razvijaju ili testiraju, kao i samom centru za provedbu proračuna gdje se mogu mijenjati parametri simulacijskog modela.

*User area* – dio sučelja koje korisniku daje pristup prema njegovim prethodnim projektima, podacima modela, kao i rezultatima provedenih simulacija..

*Server area* – dio sučelja koji daje pristup udaljenim projektima u online komunikaciji prema drugim računalima na kojima se vrši djelomična simulacija određenih koraka.

*Tools area* – specijalizirani alati koji se mogu mijenjati ovisno o vrsti simulacije.

### **4.3.2. Aplikacijski okvir**

Aplikacijski okvir je drugi ključni element sučelja koji pruža pristup različitim alatima i funkcijama potrebnim za provođenje simulacija i analiza. Ove podaplikacije se prikazuju u obliku modula ili kartica, omogućujući korisniku da lako odabere i pokrene potrebne funkcije.

Značajke aplikacijskog okvira očituju se u nekoliko pravaca: *Modularni dizajn* - Prikazuje sve dostupne podaplikacije i alate u obliku modula, omogućujući korisnicima da lako odaberu i pokrenu potrebne funkcije; *Kontekstualna dostupnost* - Prilagođava prikaz dostupnih alata ovisno o trenutnom kontekstu i fazi modeliranja ili simulacije; *Integracija alata* - Omogućuje besprijekornu integraciju različitih alata i funkcija unutar jednog sučelja.

Ključne podaplikacije u aplikacijskom okviru:

- *Model Builder* - Omogućuje kreiranje i uređivanje modela vozila. Prikazuje detaljne informacije o odabranim komponentama iz navigacijskog stabla
- *Simulation Control* - Služi za postavljanje parametara simulacije. Omogućuje pokretanje i kontrolu simulacija.
- *Results Analyzer* - Pruža alate za analizu i vizualizaciju rezultata simulacije. Omogućuje stvaranje grafova i izvještaja.
- *Optimization Tool* - Koristi se za optimizaciju parametara modela. Pomaže u poboljšanju performansi vozila
- *Report Generator* - Za generiranje izvještaja o simulacijama.

Dodatni elementi sučelja, između navigacijskog i aplikacijskog okvira nalazi se okvir s prikazom komponenti modela koje se mogu odabrati. Ispod toga je prikaz sistema i njegovih podsistema. Na

kraju je prozor koji omogućuje trodimenzionalni prikaz modela. Funkcionalnosti sučelja očituje se kroz mogućnosti da se poddirektoriji u aplikacijskom stablu mogu otvoriti klikom na znak "+" ispred objekta. Sučelje omogućuje fleksibilno kretanje između različitih aspekata modela i simulacije. Korisnici mogu prilagoditi izgled sučelja prema svojim potrebama, uključujući spajanje ili razdvajanje različitih prikaza.

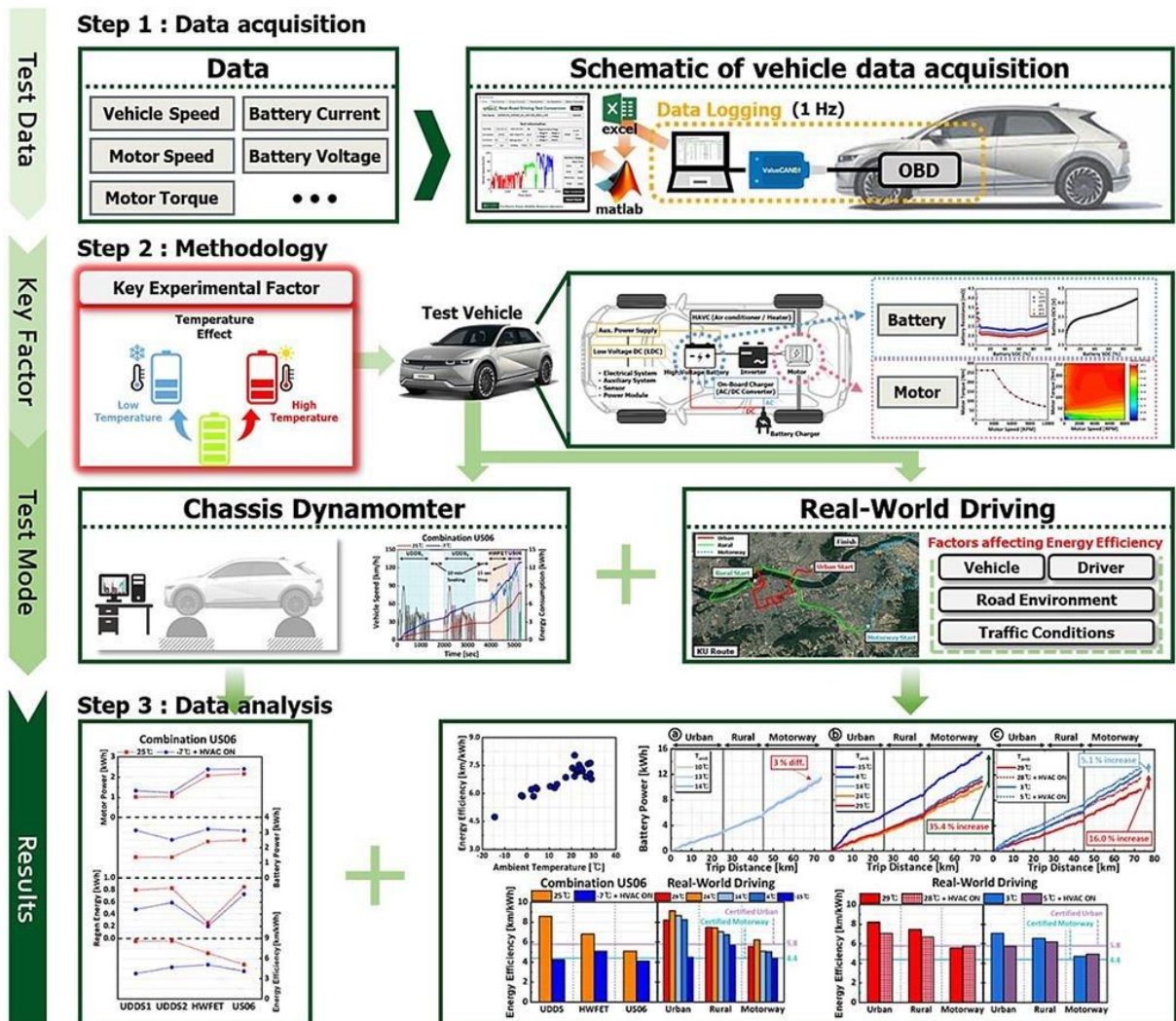
#### **4.4. Komponente za definiranje vozila**

Glavna karakteristika programa je mogućnost konstruiranja različitih modela vozila. To su automobili, kamioni, motocikli. Ujedno se mogu konstruirati modeli s dva motora, hibridni i različiti sustavi prijenosa. Iz toga razloga potreban je velik broj dijelova koji su potrebni samom korisniku radi lakše konstrukcije:

- tip vozila: vozilo (ima pogonski motor), prikolica (priključno vozilo bez vlastitog pogona)
- tip pogona: motor s unutarnjim izgaranjem, elektromotor, hibridni pogon
- upravljački elementi: mjenjač, kvačilo, kočnica, CVT i kontrola isključivanja motora
- mehanički prijenosnici snage: osovine, kotači, gume, kočnice, retarder
- električne komponente
- pomoćne komponente: uljna pumpa, klima, servo upravljač, ispušni sustav

## 5. IZRADA PROJEKTA

Programski alat AVL CRUISE™ M se koristi za simulaciju dinamike vozila i analizu pogonskog sklopa. Ovaj alat omogućuje modeliranje vozila putem sveobuhvatne biblioteke komponenti koje uključuju motor, prijenos, šasiju i električne sustave. Komponente se povezuju energetske i informacijske veze kako bi se stvorio cjelovit model vozila. Za svaku komponentu unose se detaljni parametri koji definiraju njezine karakteristike.



Slika 5.1. Proces modeliranja električnog vozila u AVL Cruise programskom sučelju [12]

Prilikom postavljanja simulacije, korisnici odabiru vrstu simulacijskog zadatka, koji može biti stacionaran, kvazi-stacionaran ili dinamičan. Osim toga, moguće je definirati cikluse vožnje,



koristeći standardne cikluse ili kreirajući prilagođene za simulaciju realnih uvjeta. Također se postavljaju granični uvjeti, uključujući uvjete okoline i početne uvjete relevantne za simulaciju.

Tijekom provođenja simulacije, koristi se numerički solver koji je prilagođen za učinkovitu multi-fizikalnu simulaciju sustava vozila. Tijekom simulacije moguće je pratiti ključne parametre u realnom vremenu. Nakon simulacije, rezultati se analiziraju i vizualiziraju pomoću alata koje nudi AVL CRUISE™ M, uključujući grafove i izvještaje. Na temelju tih rezultata mogu se optimizirati različiti aspekti vozila, kao što su potrošnja goriva, emisije i performanse.

Korištenje AVL CRUISE™ M pruža brojne prednosti, uključujući mogućnost simulacije različitih scenarija vožnje bez potrebe za fizičkim prototipom. Ovaj alat podržava razvoj i optimizaciju konvencionalnih, električnih i hibridnih vozila te omogućuje integraciju s drugim alatima i standardima, kao što je FMI, za sveobuhvatnu analizu. AVL CRUISE™ M je svestran alat koji omogućuje inženjerima detaljnu analizu dinamike vozila, optimizaciju performansi i razvoj učinkovitijih i ekološki prihvatljivijih sustava vozila.

## **5.1. Tijek rada**

Za započinjanje izrade modela vozila, potrebno je slijediti sljedeće korake koristeći korisničko sučelje:

- 1) Prvo je potrebno otvoriti korisničko sučelje ili program koji se koristi za upravljanje projektima.
- 2) Unutar korisničkom sučelju nalazi se mapa u kojoj se mogu pronaći svi projekti. Obično je to dio izbornika ili panela koji omogućuje pregled i upravljanje projektima.
- 3) Desnim klikom miša potrebno je odabrati opciju za pokretanje novog projekta. Ova opcija može biti označena kao "Novi projekt" ili slično.
- 4) Nakon što se odabere opcija za novi projekt, otvorit će se prozor ili obrazac za unos informacija o projektu.
- 5) Potrebno je unijeti naslov novog projekta u predviđeno polje ili tekstualno polje. Naslov projekta trebao bi jasno odražavati svrhu ili naziv projekta, u ovom slučaju, izradu modela vozila.
- 6) Nakon što unosen naslov, slijedi provjera postoje li dodatne informacije koje trebate unijeti, kao što su opis projekta, datum početka ili bilo kakvi drugi relevantni detalji.

7) Nakon unošenja svih potrebnih informacija, potrebno je potvrditi unos ili kliknuti na opciju za stvaranje novog projekta.

Nakon stvaranja novog projekta, može se započeti raditi na izradi modela vozila unutar tog projekta. Projekt će omogućiti organizaciju i praćenje svih aktivnosti i resursa koji su potrebni za izradu modela.

Ovi koraci opisuju kako započeti novi projekt kako bi se krenulo s izradom modela vozila. Važno je pravilno dokumentirati sve korake i informacije tijekom razvoja kako bi se olakšala suradnja i praćenje napretka projekta, [5].

## 5.2. Modeliranje vozila

Za završni rad bilo je potrebno simulirati ciklus vožnje da bi se na kraju dobili rezultati o potrošnji električne energije. Za model se koristio električni autobus. Komponente za izradu modela postavljali su se odabirom odgovarajućih komponenata, na način da se odabere "component" i s lijevom tipkom miša se prenese na područje modela vozila.

U AVL CRUISE™ M, konfiguracija različitih tipova pogonskih sustava može se provesti kroz nekoliko ključnih koraka, koji uključuju modeliranje, postavljanje parametara i integraciju komponenti. Evo detaljnijeg pregleda tog procesa:

**1. Modeliranje pogonskog sustava:** *Kreiranje modela:* Korisnik može koristiti sveobuhvatnu biblioteku komponenti koja uključuje različite elemente pogonskog sustava, poput motora s unutarnjim izgaranjem, električnih motora, baterija, prijenosa, sustava hlađenja i ostalih relevantnih dijelova. *Povezivanje komponenti:* Različite komponente pogonskog sustava povezuju se kako bi se formirao cjelovit model. Komponente se mogu povezivati energetskim vezama (npr. prijenos snage) i informacijskim vezama (npr. kontrolni signali).

**2. Definiranje parametara:** *Postavljanje parametara za svaku komponentu:* Detaljni parametri definiraju karakteristike svake komponente. Na primjer, za motor s unutarnjim izgaranjem, parametri mogu uključivati obujam, snagu, učinkovitost i emisije. Za električne motore, parametri mogu uključivati napon, kapacitet baterije, brzinu i torziju. *Korištenje standardnih ili prilagođenih modela:* AVL CRUISE™ M omogućuje korištenje standardnih modela komponenti ili kreiranje prilagođenih modela prema specifičnim zahtjevima projekta.

**3. Postavljanje kontrolnih strategija:** *Definiranje kontrolnih strategija:* U slučaju hibridnih ili električnih vozila, korisnik može definirati strategije kontrole za upravljanje energijom između različitih izvora, kao što su motor s unutarnjim izgaranjem i električni motor. *Implementacija algoritama:* Mogu se implementirati različiti algoritmi za optimizaciju performansi, kao što su strategije za upravljanje energijom (npr. maksimalno korištenje električne energije, regenerativno kočenje).

**4. Simulacija i analiza:** *Pokretanje simulacije:* Nakon postavljanja modela i definicije parametara, simulacija se pokreće kako bi se analizirala dinamika pogonskog sustava u različitim uvjetima vožnje. *Praćenje rezultata:* Tijekom simulacije, korisnici mogu pratiti ključne parametre, kao što su potrošnja goriva, emisije i performanse vozila.



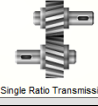







*Optimizacija:* Na temelju rezultata simulacije, mogu se prilagoditi različiti aspekti pogonskog sustava kako bi se poboljšala učinkovitost i performanse.

**5. Integracija s drugim alatima:** *Podrška za integraciju:* AVL CRUISE™ M podržava integraciju s drugim alatima i standardima, što omogućuje sveobuhvatniju analizu i simulaciju. Ovo može uključivati korištenje funkcionalnosti kao što su Functional Mock-up Interface (FMI) za povezivanje s drugim softverima i modelima.

Ovi koraci omogućuju inženjerima da precizno konfiguriraju i optimiziraju različite tipove pogonskih sustava, čime se poboljšavaju performanse i smanjuju emisije, čime se doprinosi razvoju učinkovitijih i ekološki prihvatljivijih vozila.

Električni autobus se sastoji od ovih komponenti:

Tablica 1: Popis komponenti za modeliranje vozila [5]

Komponenta	Simbol	Količina
Vozilo	 Electric Bus	1
Elektromotor	 Electric Machine	1
Mjenjač	 Single Ratio Transmission	1
Diferencijal	 Differential	1
Kotač	 Vehicle: Front Left	4
Kočnica	 Front Disc Brake	4
Baterija	 Battery H	1
Kabina	 Cockpit	1
Kontrola proklizavanja	 ASC Anti-Slip Control	1
Monitor	 Monitor	1

### 5.2.1. Elektromotor

Pomoću elektromotora pretvara se električna energija u mehaničku, stvarajući pokretanje i okretanje mehaničkog sustava. Može se koristiti za različite svrhe, uključujući pogon vozila, uređaja i strojeva. U ovom radu se proučava pogon autobusa sa elektromotorom kao pogonskim sustavom, koji zahtjeva pohranu energije u obliku baterije.

Tablica 2: Parametri za definiranje komponente elektromotora

Parametri	Mjerna jedinica	Vrijednost
Tip motora	.	ASM
Nominalni napon	V	320
Inercijski moment	kgm <sup>2</sup>	
Najveća brzina vrtnje motora	1/min	10000
Početna temperatura	°C	20
U1	V	100
U2	V	320

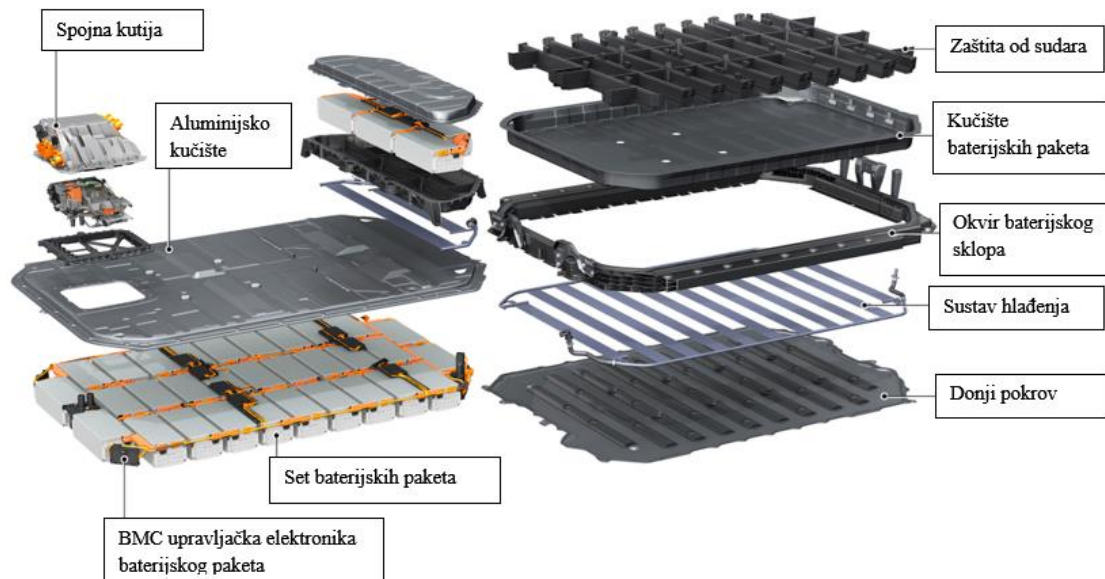
Tablica 3: Tablični prikaz maksimalne mehaničke snage elektromotora [6]

Brzina (1/min)	Moment (Nm)	Brzina (1/min)	Moment (Nm)
0	240	7000	105
500	240	7500	95
1000	240	0	-229
1500	240	750	-229
2000	240	1500	-236
2500	240	2250	-238
3000	240	3000	-239
3500	205	3750	-191
4000	180	4500	-159
4500	160	5250	-136
5000	140	6000	-119
5500	130	6750	-106
6000	120	7500	-95
6500	110	-	-

## 5.2.2. Baterija

Baterija je uređaj koji pohranjuje električnu energiju i može je otpuštati kada je potrebno. Baterije su široko korištena tehnologija koja se koristi u različitim uređajima i aplikacijama, uključujući električne automobile, mobilne telefone, prijenosna računala, uređaje za kućanstvo, i mnoge druge.

Baterija električnog vozila (EV) ključni je element koji omogućuje pohranu i isporuku električne energije potrebne za pogon vozila. Postoji nekoliko vrsta baterija koje se koriste u električnim vozilima, pri čemu su litij-ionske baterije najčešće zbog svoje visoke gustoće energije, dugog vijeka trajanja i relativno male težine. Ove baterije mogu pohraniti više energije u manjem prostoru u usporedbi s drugim tehnologijama, dok litij-polimer baterije, koje koriste polimer kao elektrolit, nude fleksibilniji oblik i manju težinu. Nikal-Metal Hidrat baterije (NiMH) su se nekada više koristile u hibridnim vozilima, ali su sada manje uobičajene za potpuno električna vozila zbog niže gustoće energije.



Slika 5.2. Baterijski paket električnog vozila u zaštitnoj metalnoj konstrukciji [13]

Ključni parametri baterija uključuju gustoću energije, koja se mjeri u vat-satima po kilogramu (Wh/kg) i označava koliko energije baterija može pohraniti u odnosu na njezinu težinu. Viša gustoća energije omogućava duži doseg vozila. Kapacitet baterije izražava se u amper-satima (Ah) ili kilovat-satima (kWh) i označava ukupnu količinu električne energije koju baterija može

pohraniti. Na primjer, baterija kapaciteta 60 kWh može isporučiti 60 kW snage tijekom jednog sata. Ciklična stabilnost označava koliko puta se baterija može napuniti i isprazniti bez značajnog smanjenja kapaciteta, dok vrijeme punjenja predstavlja koliko vremena je potrebno da se baterija napuni do punog kapaciteta, ovisno o korištenoj punjačici.

Sustav upravljanja baterijama (BMS) ključan je za rad baterijskog paketa, jer nadzire i upravlja njegovim radom. BMS osigurava optimalno punjenje i pražnjenje, štiti baterije od prekomjernog punjenja ili pražnjenja te održava sigurnost. Također prati temperaturu baterija kako bi spriječio pregrijavanje, što može dovesti do smanjenja kapaciteta ili čak do požara.

Punjenje baterija obuhvaća različite tipove punjača. AC punjači koriste izmjeničnu struju i obično su sporiji, dok DC punjači koriste istosmjernu struju i mogu brzo napuniti bateriju, omogućujući vozačima da brzo dobiju dodatni doseg. Brzo punjenje na javnim punionicama omogućuje napuniti bateriju do 80% u 30 do 60 minuta.

Tablica 4: Parametri za definiranje komponente baterija [6]

Parametri	Mjerna jedinica	Vrijednost
Maksimalna napunjenost	As	10
Početno punjenje	%	95
Nazivni napon	V	320
Maksimalni napon	V	420
Minimalni napon	V	220
Broj ćelija u redu	-	1
Broj redova ćelija	-	5
Radna temperatura	K	25
Omski otpor	Ohm	0,8

Tablica 5: Tablični prikaz napona praznog hoda baterije [6]

Napunjenost [%]	Napon [V]
20	310
30	315
40	320
50	325
60	330
70	335
80	340
90	345
100	350

Reciklaža baterija postaje sve važnija kada dođe do kraja njihovog životnog vijeka, jer smanjuje ekološki utjecaj. Mnoge komponente baterija, uključujući litij, nikel i kobalt, mogu se ponovno upotrijebiti u proizvodnji novih baterija. Istraživanja se provode na alternativnim tehnologijama baterija, kao što su baterije sa čvrstom elektrolitom i natrij-ionske baterije, koje bi mogle ponuditi veće gustoće energije i sigurnije alternative.

Baterije električnih vozila predstavljaju srce modernih EV-a, omogućujući dug doseg, učinkovitost i ekološku održivost. Razvoj novih tehnologija i poboljšanje postojećih rješenja nastavit će oblikovati budućnost električne mobilnosti, dok će cijena litij-ionskih baterija, koja je pala u posljednjem desetljeću, ostati jedan od najvećih troškova električnih vozila. Širenje infrastrukture za punjenje ključno je za poticanje usvajanja električnih vozila, omogućujući vozačima lakši pristup punionicama.

### 5.2.3. Jedno stupanjski osovinski prijenosnik

Jedno stupanjski osovinski prijenosnik (engl. "single-ratio transmission") je vrsta prijenosnika koji se koristi u vozilima za prijenos snage s motora na kotače. Ovaj tip prijenosnika ima jedan stupanj prijenosa, što znači da snaga prolazi kroz jedan set zupčanika ili prijenosnih elemenata prije nego što se prenese na kotače.

Tablica 6: Parametri za definiranje komponente diferencijal [6]

Parametri	Mjerna jedinica	Vrijednost
Prijenosni omjer	-	3,45
Moment tromosti pogonskog vratila i zupčanika	kgm <sup>2</sup>	0,0015
Moment tromosti gornjeg vratila i zupčanika	kgm <sup>2</sup>	0,0015

### 5.2.4. Diferencijal

Diferencijal je ključna komponenta u vozilima koja omogućuje ravnomjerno raspoređivanje snage na kotače te omogućuje da se kotači vrte neovisno jedan o drugome, čime



olakšava okretanje i poboljšava upravljivost vozila. Diferencijal je osobito važan kod vozila s pogonom na stražnje ili sva četiri kotača.

Tablica 7: Parametri za definiranje komponente diferencijal [6]

Parametri	Mjerna jedinica	Vrijednost
Zaključanost diferencijala	-	unlocked
Omjer izlaznih momenata	-	1
Moment tromosti ulaznog vratila	kgm <sup>2</sup>	0,0033
Moment tromosti prvog izlaznog vratila	kgm <sup>2</sup>	0,0033
Moment tromosti drugog izlaznog vratila	kgm <sup>2</sup>	0,0033

### 5.2.5. Kotači

Kotači su osnovna komponenta vozila koja omogućava kretanje i podršku vozilu.

Tablica 8: Parametri za definiranje komponente kotač [6]

Parametri	Mjerna jedinica	Vrijednost
Moment tromosti kotača	kgm <sup>2</sup>	1,73
Koeficijent trenja gume	-	0,95
Referentna sila kotača	N	10000
Korekcijski koeficijent sile kotača	-	0,02
Statički radijus kotača	mm	349,8
Dinamički radijus kotača	mm	365,6
Otpor kotrljanja	%	1,3

Kotači na električnom vozilu (EV) ključna su komponenta za osiguravanje prijenosa snage s motora na cestu, pružanje stabilnosti i udobnosti tijekom vožnje, te utječu na performanse i doseg vozila. Iako kotači na električnim vozilima izgledaju slično onima na vozilima s motorom s unutarnjim izgaranjem, nekoliko specifičnosti čini ih prilagođenima potrebama električnih vozila.

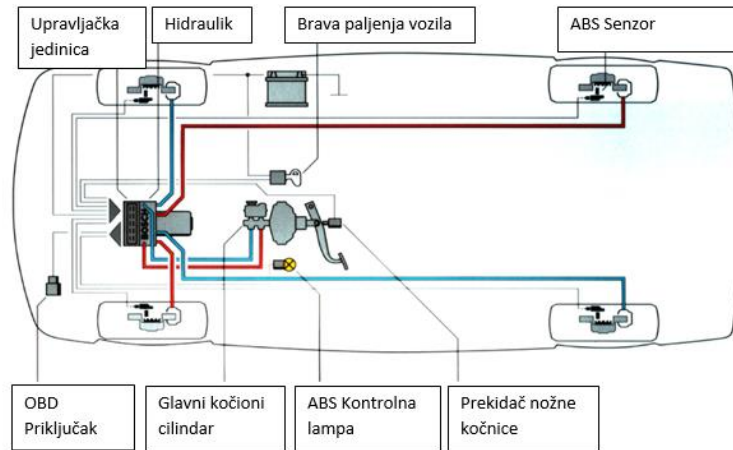
### Specifičnosti kotača na električnim vozilima:

- Aerodinamičnost kotača - Aerodinamički dizajn je izuzetno važan kod EV-a jer pomaže smanjiti otpor zraka, što izravno utječe na učinkovitost i doseg vozila. Kotači na električnim vozilima često imaju dizajn s manjim brojem otvorenih prostora ili s poklopcima koji smanjuju turbulencije zraka dok se vozilo kreće. Ovaj optimizirani dizajn pomaže poboljšati aerodinamiku i time doprinosi većoj energetskej učinkovitosti.
- Manja težina kotača - Budući da električna vozila često teže više zbog težine baterijskog paketa, inženjeri pokušavaju smanjiti ukupnu masu vozila kroz korištenje lakših materijala za kotače, poput aluminija ili legura. Lakši kotači smanjuju inerciju i trošenje energije prilikom ubrzavanja i usporavanja, što dodatno povećava doseg vozila.
- Posebne gume za električna vozila - Gume dizajnirane za električna vozila razlikuju se od onih na konvencionalnim vozilima jer su optimizirane za manji otpor kotrljanja i tiši rad. Električna vozila su tiša zbog nedostatka buke motora, pa se gume s niskim otporom kotrljanja i akustičkom optimizacijom koriste kako bi se smanjio ukupni šum i povećala udobnost u vožnji. Manji otpor kotrljanja također smanjuje potrošnju energije, što opet pomaže povećanju dosega vozila.
- Dimenzije kotača - Električna vozila često koriste veće kotače kako bi kompenzirala veću težinu vozila i pružila stabilnost. Međutim, dimenzije kotača moraju biti pažljivo odabrane jer veći kotači povećavaju težinu i mogu negativno utjecati na doseg. S druge strane, manji kotači mogu poboljšati doseg, ali mogu smanjiti stabilnost i performanse, pa je važno pronaći ravnotežu između ovih faktora.
- Distribucija težine i trenje - Električna vozila imaju drugačiju raspodjelu težine zbog baterijskog paketa, koji je često smješten nisko i ravnomjerno raspoređen između osovina. To omogućuje bolju stabilnost i upravljivost, ali zahtijeva i prilagođene gume i ovjes. Kotači i gume trebaju izdržati veću masu, dok su vozna dinamika i prijanjanje na cestu ključni za optimizaciju vožnje.
- Regenerativno kočenje i opterećenje na kotačima - Kod električnih vozila regenerativno kočenje prenosi dio opterećenja na kotače, što mijenja dinamiku kočenja u usporedbi s klasičnim vozilima. Budući da kotači igraju ključnu ulogu u prijenosu energije s

regenerativnog sustava, kvaliteta i dizajn kotača imaju značajan utjecaj na učinkovitost kočenja i ukupnu energetska povratnost sustava.

### 5.2.6. Kočnice

Kočnice su ključna sigurnosna komponenta u vozilima koja omogućava vozaču kontrolu nad brzinom i zaustavljanjem vozila, gdje je glavna funkcija usporavanje ili zaustavljanje uzrokovano trenjem, kočionih diskova i kočionih obloga.

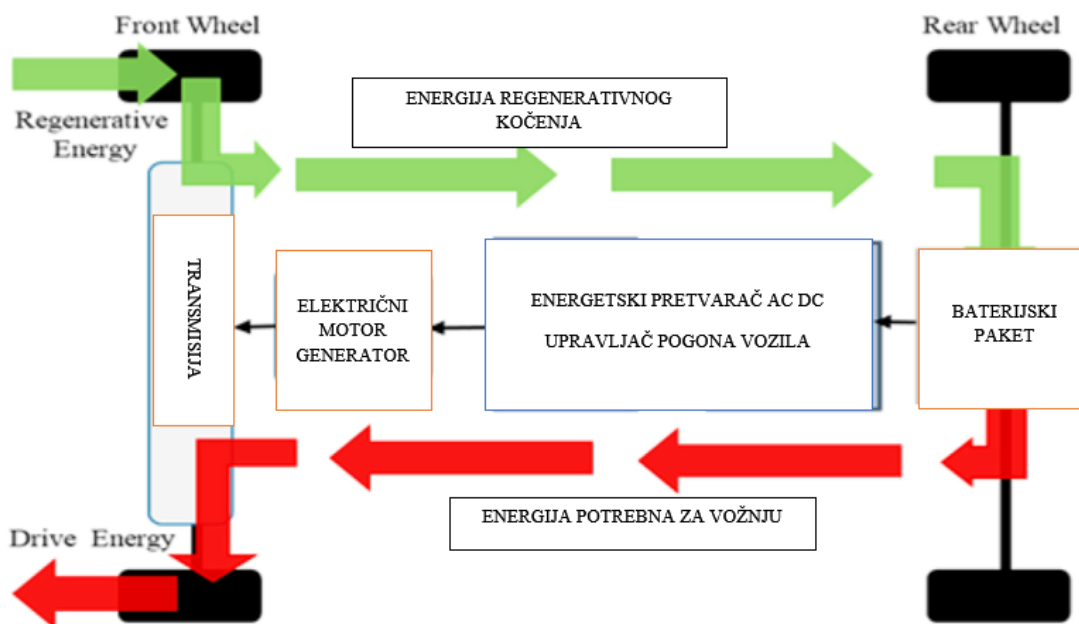


Slika 5.3 Prikaz sustava kočenja na vozilu [14]

Tablica 9: Parametri za definiranje komponente kočnica [6]

Parametri	Mjerna jedinica	Vrijednost
Moment tromosti kotača	kgm <sup>2</sup>	0,15
Koeficijent trenja gume	-	1
Referentna sila kotača	N	3200
Korekcijski koeficijent sile kotača	-	0,0
Statički radijus kotača	mm	300
Opseg	mm	1884,96
Dinamički radijus kotača	mm	310
Opseg	mm	1947,79
Otpor kotrljanja	%	1,3

Električna vozila i dalje koriste tradicionalne hidraulične kočnice s diskovima ili bubnjevima, kao i konvencionalna vozila s motorom s unutarnjim izgaranjem. Kada vozač snažno pritisne kočnicu ili kada je brzina vozila visoka, klasične kočnice preuzimaju primarnu ulogu kako bi sigurno zaustavile vozilo. Ove kočnice koriste trenje između kočnih pločica i diskova (ili bubnjeva) za smanjenje brzine vozila.



Slika 5.4. Energetski tokovi u električnom vozilu pri vožnji i pri kočenju [15]

Regenerativno kočenje je specifičan mehanizam u električnim i hibridnim vozilima koji koristi elektromotor kao generator za usporavanje vozila. Kada vozač pusti gas ili lagano pritisne kočnicu, sustav preusmjerava kinetičku energiju vozila prema električnom motoru, koji tada djeluje u obrnutom smjeru i proizvodi električnu energiju. Ta energija se pohranjuje u bateriji, što omogućuje ponovnu upotrebu tijekom vožnje, smanjujući ukupnu potrošnju energije i povećavajući doseg vozila.

Glavna prednost regenerativnog kočenja je povrat energije koja bi se inače izgubila kao toplina u konvencionalnim kočnicama. Ovaj sustav pomaže smanjiti trošenje klasičnih kočnica jer se manje oslanja na mehaničko trenje za smanjenje brzine, čime se produžuje njihov vijek trajanja. Također, regenerativno kočenje smanjuje potrebu za čestim kočenjem i pruža vozaču glađe iskustvo usporavanja.

Osim toga, regeneracija energije značajno povećava učinkovitost električnog vozila, posebno u urbanim uvjetima gdje se često koči. U prosjeku, regenerativno kočenje može vratiti oko 10-30% potrošene energije natrag u bateriju, što ima izravan utjecaj na doseg vozila.

Kod mnogih električnih vozila, intenzitet regenerativnog kočenja može se podešavati. Neka vozila omogućuju vozaču da kontrolira snagu regenerativnog kočenja putem različitih modova vožnje, čime se regulira koliko snažno motor "usporava" vozilo kad se pusti gas. U nekim modelima električnih vozila vozači mogu gotovo u potpunosti voziti koristeći samo papučicu za gas, jer regenerativno kočenje postaje dovoljno snažno za učinkovito usporavanje bez potrebe za čestim pritiskanjem kočnice, što se naziva "one-pedal driving".

Sve u svemu, kombinacija regenerativnog i klasičnog kočenja čini sustav kočenja električnih vozila visoko efikasnim, sigurnim i dugotrajnijim u usporedbi s tradicionalnim vozilima, dok istovremeno pomaže u očuvanju energije i povećanju dosega vozila.

### 5.2.7. Kabina

Kabina u kontekstu vozila obično se odnosi na unutarnji prostor vozila u kojem vozač i putnici sjede ili stoje tijekom vožnje. Funkcija kabine je da služi kao unutrašnji prostor za udobnost i zaštitu putnika prilikom vožnje. Uglavnom je to mjesto gdje vozač i putnici borave dok se voze odgovarajućom rutom.

Tablica 10: Parametri za definiranje komponente kabine [6]

Parametri	Mjerna jedinica	Vrijednost
Mod mjenjača	-	Automatski
Broj brzina(naprijed/nazad)	-	1/1
Maksimalna sila kočenja	N	100
Prag prekidača stražnjeg svjetla	%	1
Broj koraka usporivača	-	0

### 5.2.8. Vozilo

Vozilo je opći pojam koji se odnosi na uređaj ili prijevozno sredstvo koje se koristi za premještanje ljudi ili tereta s jednog mjesta na drugo. Postoje različite vrste prijevoznih sredstava: auti, kamioni, zrakoplovi, motori i ostala prijevozna sredstva. Oni su bitni jer sadrže sve potrebne elemente kako bi se napravili proračuni. Parametri se unose tako što se dva puta klikne na ikonu vozila.

Tablica 11: Parametri za definiranje vozila [6]

Parametri	Mjerna jedinica	Vrijednost
Volumen spremnika goriva	m <sup>2</sup>	0.0
Temperaturna razlika motor/okolina	K	0.0
Udaljenost od spojke do prednje osovine	mm	2400
Visina točke oslonca na ispitnom stolu	mm	500
Međuosovinski razmak	mm	2400
Udaljenost centra gravitacije prazan	mm	1200
Udaljenost centra gravitacije polupun	mm	1180
Udaljenost centra gravitacije pun	mm	1160
Visina centra gravitacije prazan	mm	500
Visina centra gravitacije polupun	mm	490
Visina centra gravitacije pun	mm	480
Visina spojke prazan	mm	500
Visina spojke polupun	mm	490
Visina spojke pun	mm	480
Prazan/Bruto težina	kg	1200/1500
Prednji kraj	m <sup>2</sup>	2.00
Tlak guma prednji/zadnji kraj	bar	2.40/2.20

## **6. IZRADA PRORAČUNA ZADATKA**

### **6.1. Proračun**

Proračun obuhvaća izračune i analize temeljene na matematičkim metodama i formulama kako bi se rješavali različiti problemi, procjenjivali rezultati i donosili informirane odluke. U ovom radu koristi se matematički proračun radi dobivanja rezultata na temelju analiza i izračuna. Matematički proračuni su ključni u mnogim područjima, uključujući znanost, inženjering, financije, ekonomiju, statistiku i mnoga druga. Oni omogućuju precizno rješavanje problema, donošenje informiranih odluka i modeliranje složenih procesa.

#### **6.1.2. Ciklus vožnje**

Ciklus vožnje (eng “CycleRun”) koristi se kako bi se simulirala vožnja za određene rute. Korisnik se može koristiti predefiniranim rutama ali ima i mogućnost izrade vlastitih. CycleRun može se koristiti za analize proračuna poput potrošnje goriva, baterije, emisija ispušnih plinova, struje, napona. CycleRun dijeli se prema vrsti ubrzanja, različitim uvjetima vožnje i rutama.

Unutar samog AVL Cruise-a postoje implementirani ciklusi vožnje:

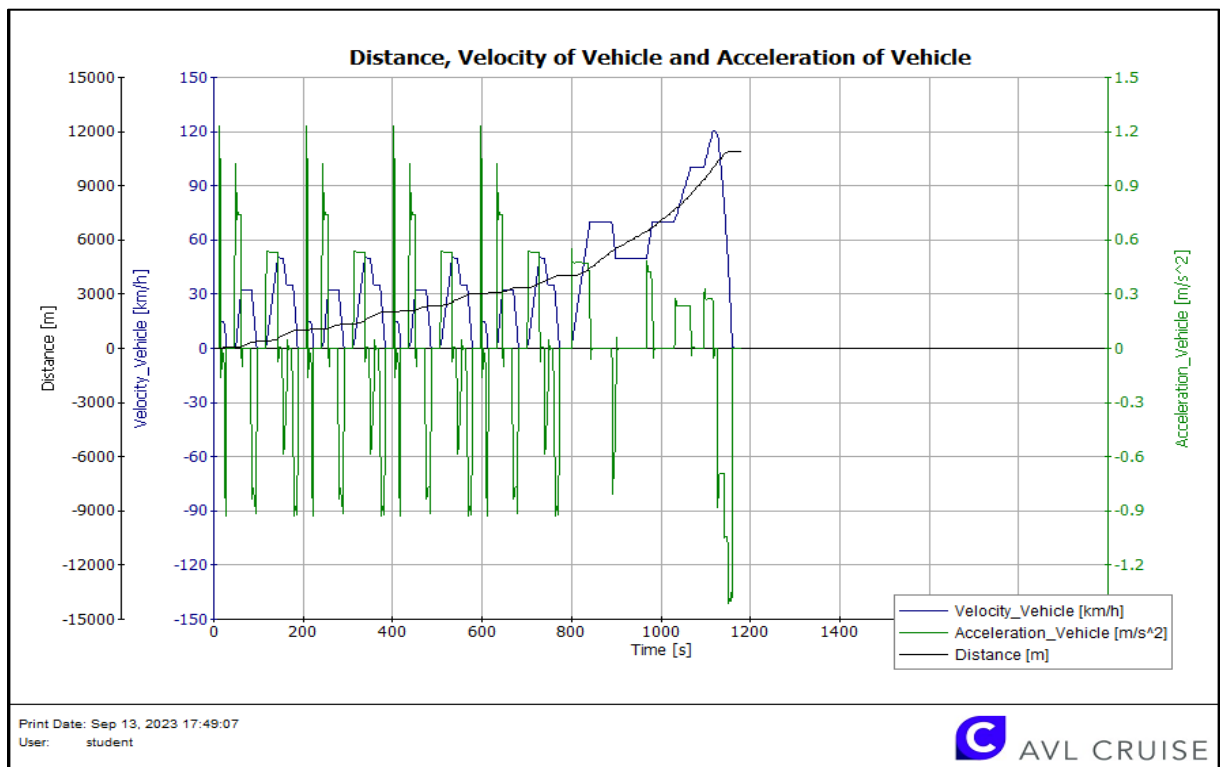
- NEDC
- UDC
- EUDC
- Artemis
- FTP-75
- US-SC03

Izdvojit će se dvije najbitnije rute i pobliže će se analizirati. Radi se o NEDC i FTP – 75 rutama.

### **6.2. NEDC**

NEDC (Novi europski ciklus vožnje) je standardizirani testni ciklus koji se koristi za procjenu potrošnje goriva i emisija ispušnih plinova kod vozila. Ovaj ciklus je osmišljen kako bi simulirao prosječne uvjete vožnje u Europi, te omogućio standardiziranu usporedbu između različitih modela automobila. NEDC test mjeri performanse vozila u smislu potrošnje goriva (litara na 100 km) i emisija ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) u gramima po kilometru, kako bi potrošači dobili uvid u ekološku učinkovitost automobila.

Test se provodi u laboratorijskim uvjetima, a sastoji se od dvije faze: gradske vožnje (koja uključuje česta zaustavljanja i niske brzine) i vožnje na otvorenoj cesti (koja simulira vožnju pri većim brzinama). Međutim, NEDC je u posljednje vrijeme kritiziran zbog toga što ne odražava realne uvjete vožnje, jer rezultati često ne odgovaraju stvarnim podacima potrošnje goriva i emisija u svakodnevnoj upotrebi. Zbog tih nedostataka, Europska unija je uvela novi testni protokol, poznat kao WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure), koji bolje simulira realne uvjete vožnje. [6].

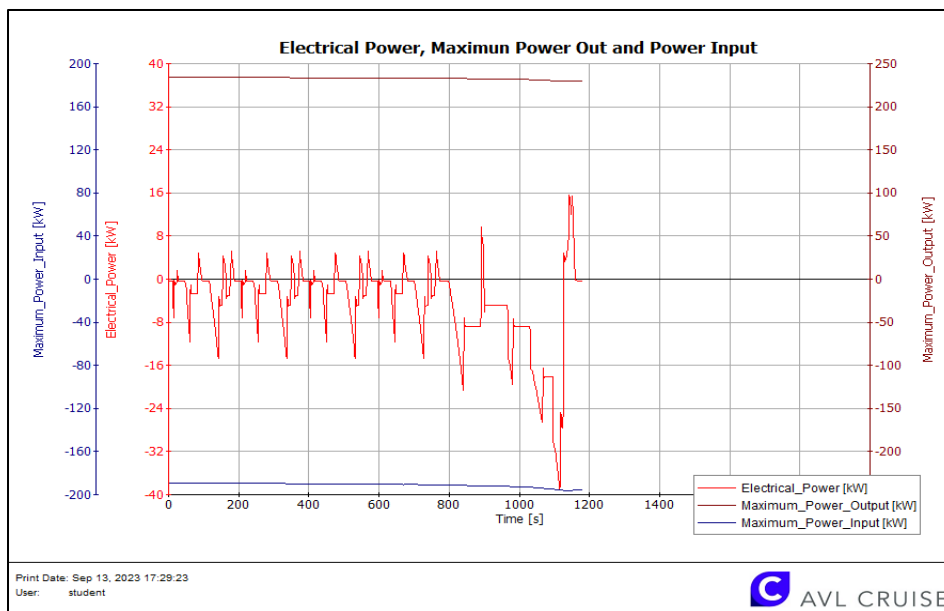


Slika 6.1. Prikaz ciklusa vožnje NEDC

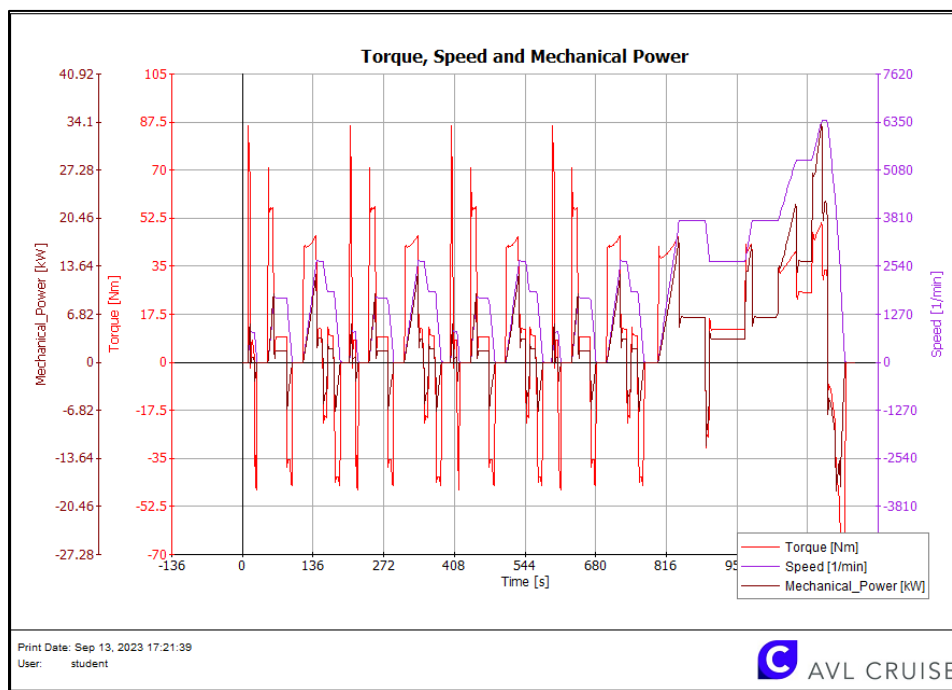
### 6.2.1. Rezultati NEDC

Napravljene su simulacije električnog autobusa u NEDC režimu vožnje te sa na dijagramima mogu vidjeti promjene u električnim veličinama (Sl.6.2. i Sl.6.5.) , mehaničkim veličinama (Sl.6.3.) i dijagram potrošnje (Sl. 6.4.).

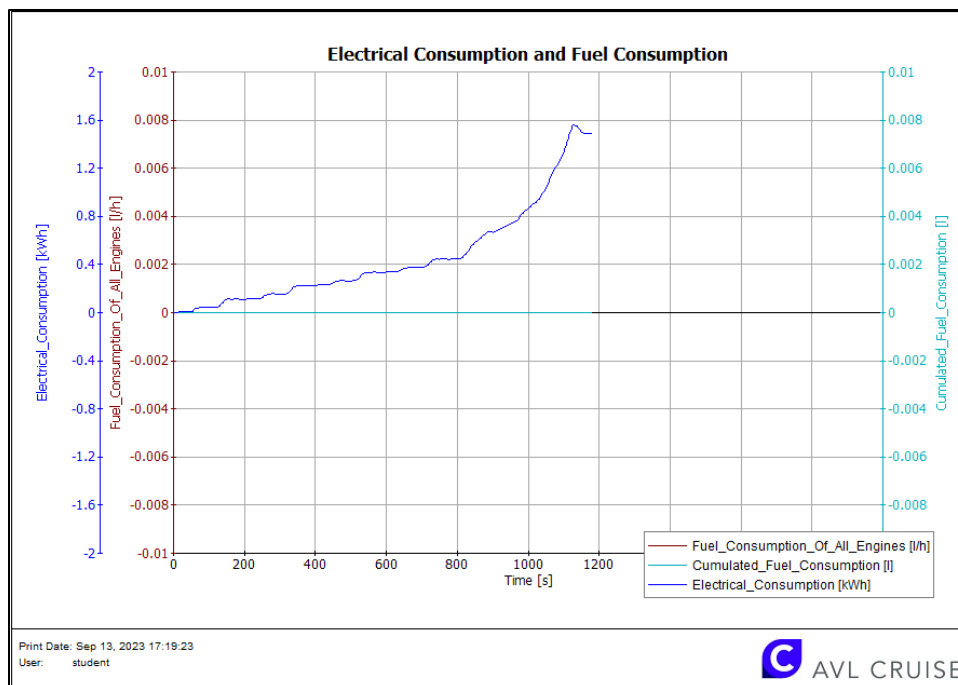




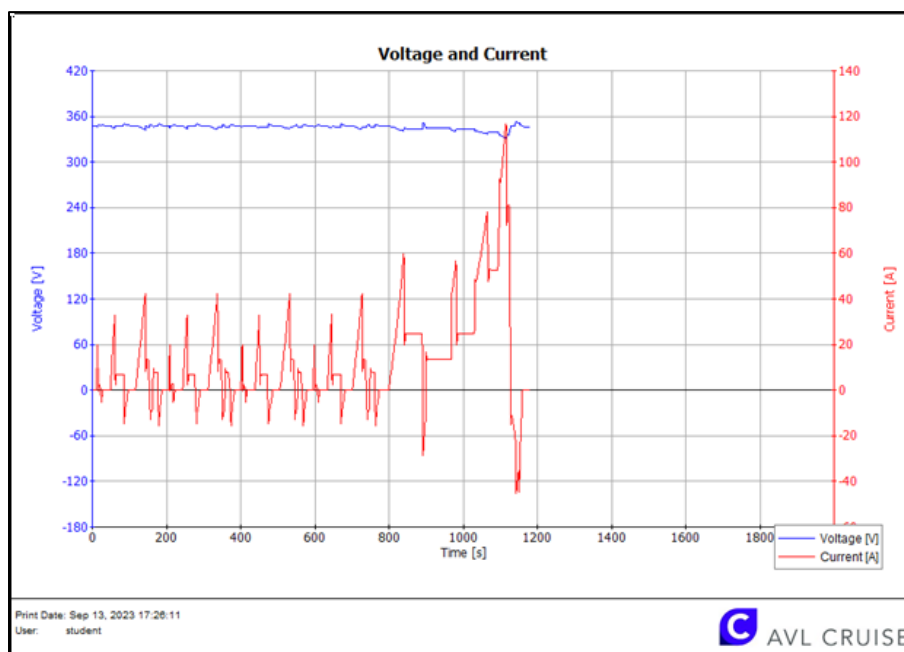
Slika 6.2. Dijagram električne energije, maksimalne izlazne snage i ulazne snage NEDC



Slika 6.3. Dijagram okretnog momenta, brzine i mehaničke snage NEDC



Slika 6.4. Dijagram potrošnje električne energije i potrošnje goriva NEDC

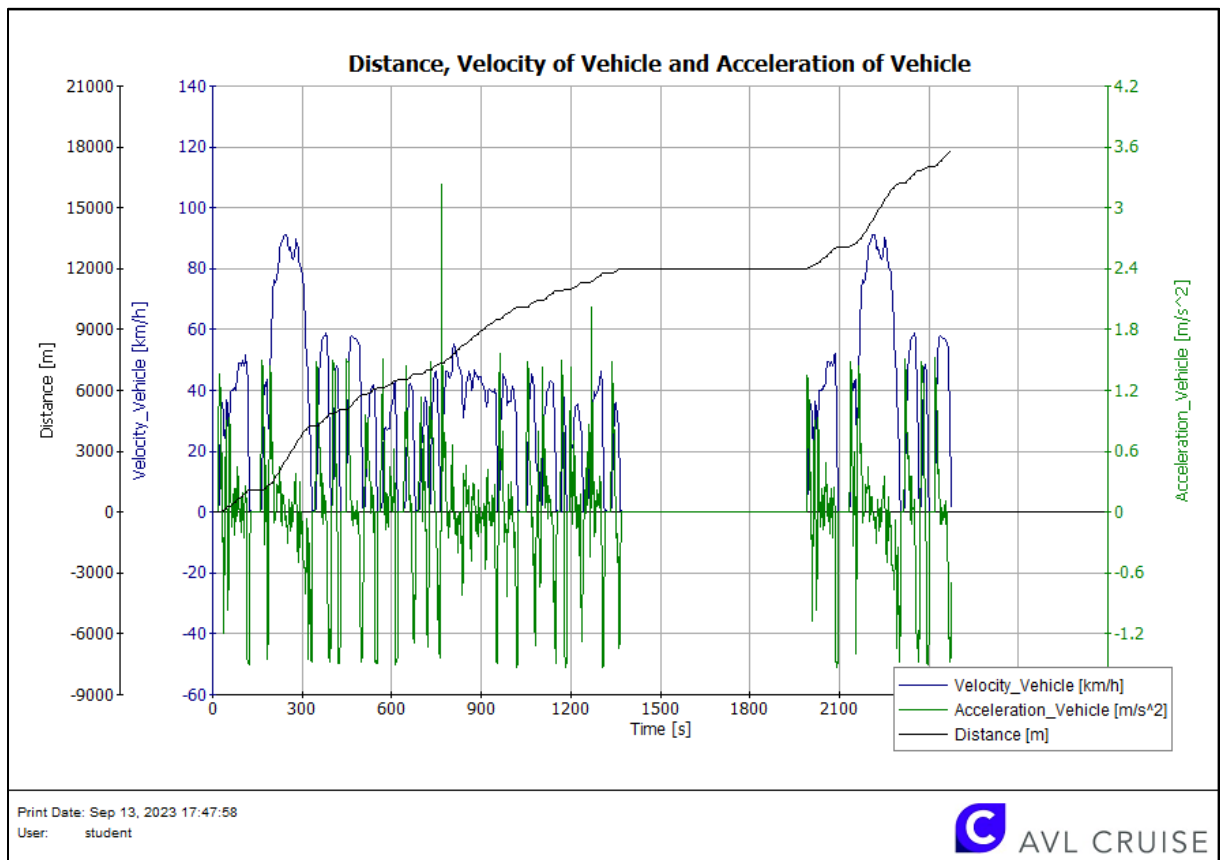


Slika 6.5. Dijagram struje i napona NEDC

### 6.3. FTP – 75

FTP-75 (Federal Test Procedure 75) je standardizirani testni ciklus vožnje koji se koristi prvenstveno u Sjedinjenim Američkim Državama za procjenu potrošnje goriva i emisija štetnih plinova kod vozila. Ovaj ciklus osmišljen je kako bi predstavio prosječan način vožnje u urbanim sredinama, ali također uključuje i segmente vožnje na autocesti, čime simulira različite uvjete s kojima se vozači susreću u svakodnevnom prometu.

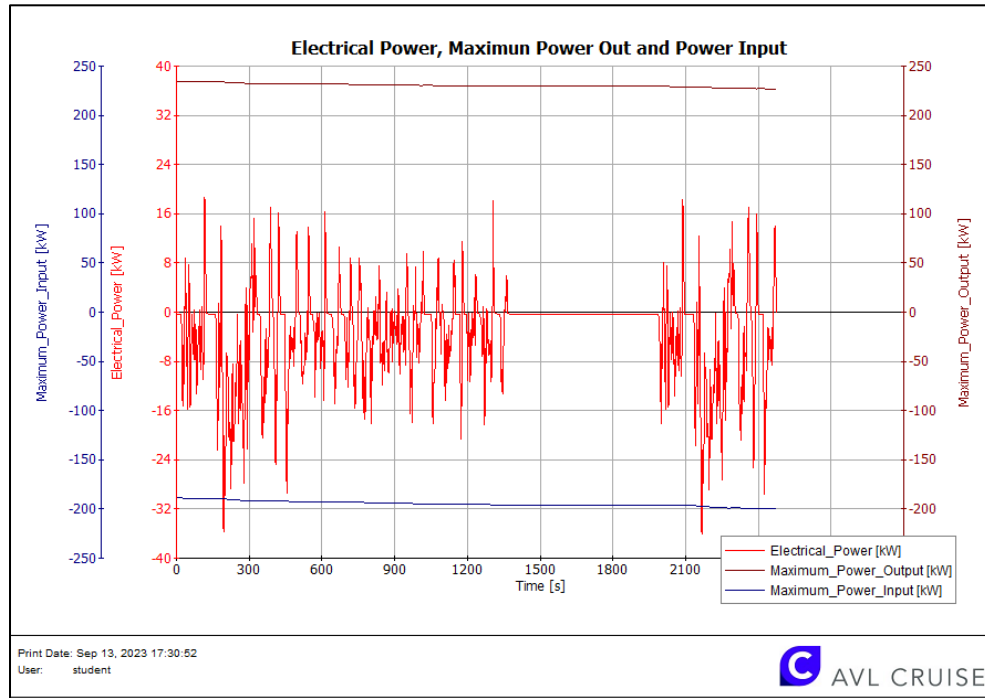
FTP-75 ciklus sastoji se od nekoliko faza, koje uključuju pokretanje hladnog motora, vožnju kroz gradske uvjete s čestim zaustavljanjima i kretanjima, te vožnju pri višim brzinama na otvorenim cestama i autocestama. Ciklus vožnje traje 1877 sekundi u kojem se pređe 1770 metara s prosječnom brzinom vožnje od 34,12 km/h i maksimalnom brzinom vožnje od 91,25 km/h.



Slika 6.6. Prikaz ciklusa vožnje FTP – 75

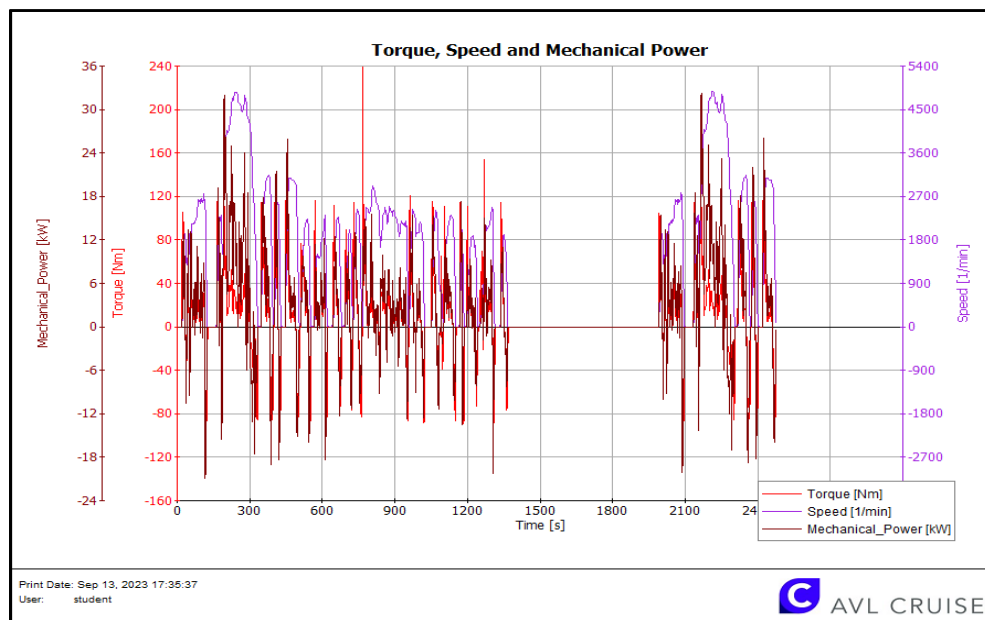
### 3.1. Rezultati FTP – 75

Napravljene su simulacije električnog autobusa u NEDC režimu vožnje te sa na dijagramima mogu vidjeti promjene u električnim veličinama (Sl.8. i Sl. 11.) , mehaničkim veličinama (Sl.9.) i dijagram potrošnje (Sl. 10.).

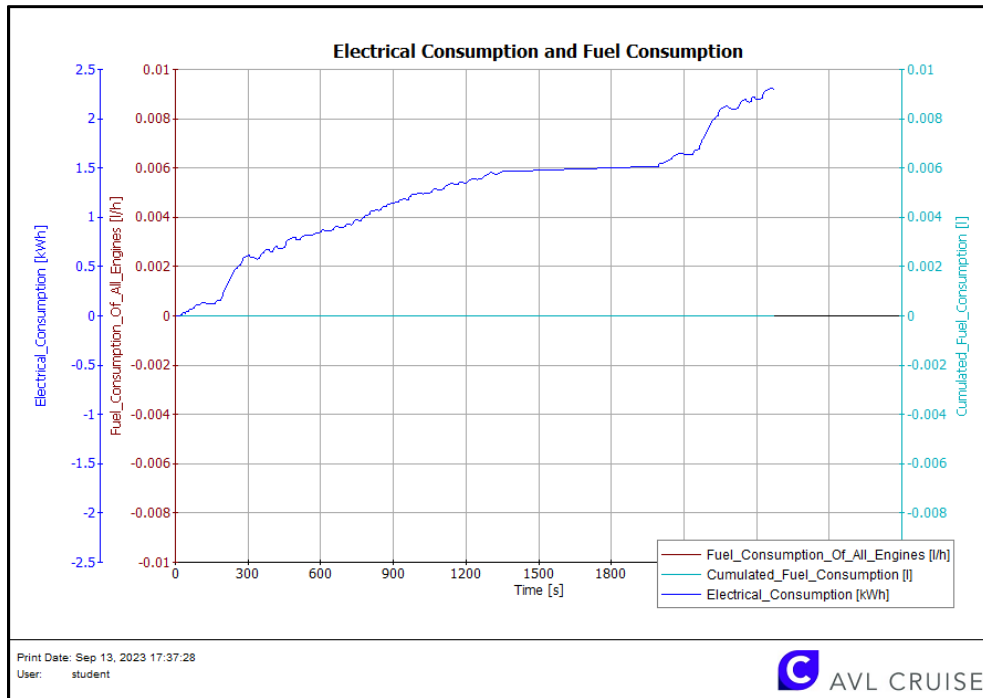


Slika 6.7. Dijagram električne energije, maksimalne izlazne snage i ulazne snage za FTP-

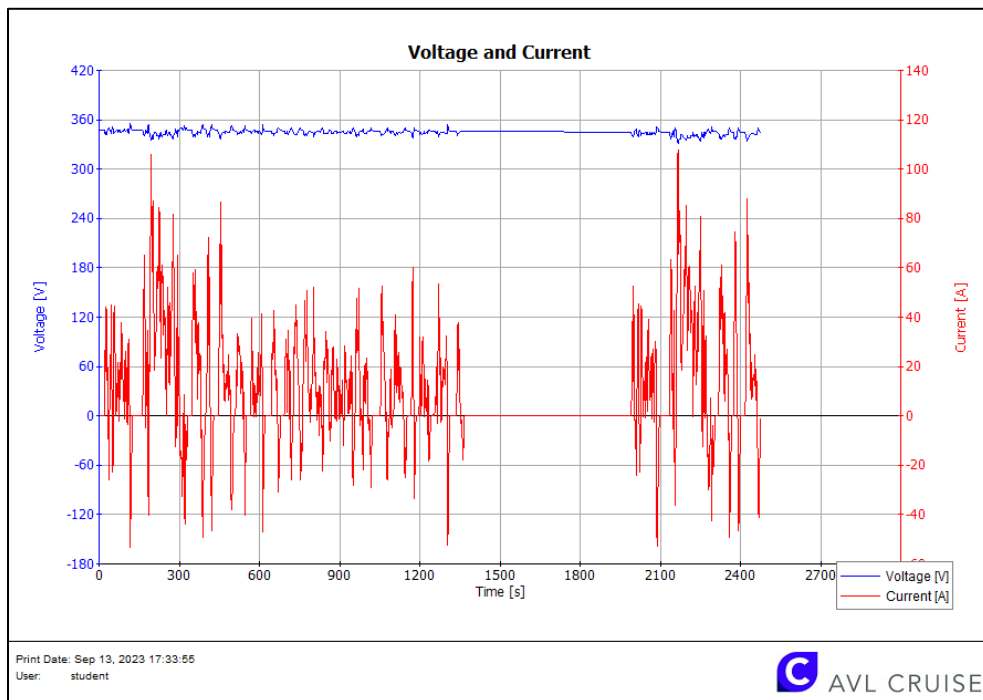
75



Slika 6.8. Dijagram okretnog momenta, brzine i mehaničke snage FTP - 75



Slika 6.9. Dijagram potrošnje električne energije i potrošnje goriva FTP – 75



Slika 6.10. Dijagram struje i napona za FTP-75

## 6.4. Usporedba rezultata NEDC i FTP – 75

Kod oba ciklusa NEDC i kod FTP - 75 vidljivi su slični ciklusi vožnje, samo što se kod NEDC može primijetiti da ima više odmaranja u ciklusu, dok kod FTP - 75 to nije stvar zato što je kod njega prisutna jedna duža stanika. S obzirom na graf električne potrošnje vidljivo je da je veća potrošnja kod FTP - 75 nego kod NEDC što je sasvim u redu s obzirom na prijeđeni put. Nakon završetka ciklusa može se uvidjeti da je potrošnja baterije veća na FTP - 75 nego na NEDC, postotak baterije NEDC iznosi 87%, dok postotak FTP - 75 je 82%.

NEDC	FTP-75
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sastoji se od dva dijela: gradske vožnje (UDC) i izvangradske vožnje (EUDC)</li> <li>- Ukupno trajanje: 1180 sekundi</li> <li>- Prosječna brzina: 33.6 km/h</li> <li>- Maksimalna brzina: 120 km/h</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sastoji se od tri faze: hladni start, stabilizirana faza i vrući start</li> <li>- Ukupno trajanje: 1877 sekundi</li> <li>- Prosječna brzina: 34.1 km/h</li> <li>- Maksimalna brzina: 91.2 km/h</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- općenito daje optimističnije rezultate potrošnje goriva i niže vrijednosti emisija</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- često rezultira višim vrijednostima emisija i potrošnje goriva zbog uključivanja hladnog starta i agresivnijih obrazaca vožnje</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- daje niže vrijednosti emisija NO<sub>x</sub>, posebno za dizelska vozila</li> <li>- daje niže vrijednosti CO<sub>2</sub> emisija</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- smatra nešto realističnijim, s više varijacija u brzini i uključenim hladnim i vrućim startom</li> <li>- često pokazuje više vrijednosti CO<sub>2</sub> emisija, što je bliže stvarnoj potrošnji goriva</li> </ul>

## 7. ZAKLJUČAK

AVL Cruise je sofisticirani programski alat koji se koristi u automobilskoj industriji za simulaciju i modeliranje različitih aspekata vozila, uključujući pogonske sustave, upravljačke mehanizme i ponašanje vozila u stvarnim uvjetima vožnje. Njegova glavna svrha je omogućiti inženjerima da provode detaljne proračune i simulacije vozila, prije nego što se fizički prototipi proizvedu. Time se značajno smanjuje vrijeme razvoja, a istovremeno se povećava preciznost i učinkovitost dizajna.

Jedna od glavnih prednosti AVL Cruise softvera je njegova visoka preciznost. Korisnici mogu detaljno modelirati razne parametre vozila, uključujući aerodinamički otpor, trenje, potrošnju energije i učinkovitost motora. Zahvaljujući tome, inženjeri mogu izvesti složene analize koje bi u tradicionalnom razvoju vozila zahtijevale dugotrajan proces izrade i testiranja fizičkih prototipova. Time se smanjuje potreba za skupim fizičkim testovima i ubrzava proces donošenja odluka tijekom razvoja. Na ovaj način, AVL Cruise ne samo da pomaže u smanjenju troškova razvoja, nego i omogućava bržu i učinkovitiju optimizaciju vozila.

U kontekstu razvoja električnih vozila, AVL Cruise nudi širok spektar mogućnosti. Električna vozila, za razliku od onih s unutarnjim izgaranjem, zahtijevaju drugačiji pristup modeliranju pogonskih sustava. Električni motori imaju drugačiji profil snage i momenta, a sustavi za skladištenje energije, poput baterija, imaju ograničene kapacitete i ovisnost o različitim uvjetima rada. AVL Cruise omogućava preciznu simulaciju potrošnje energije i ponašanja električnih vozila u različitim voznim uvjetima, što omogućava inženjerima da optimiziraju električne pogone za specifične situacije vožnje, kao što su gradska vožnja ili vožnja na autocesti.

U ovom istraživanju analizirana je primjena AVL Cruise softvera na primjeru električnog vozila, s posebnim naglaskom na analizu potrošnje energije. Prvo, inženjeri su započeli s modeliranjem vozila, definirajući sve relevantne komponente, uključujući pogonski sustav, baterije, motore i aerodinamičke karakteristike vozila. Zatim su konfigurirali parametre poput mase vozila, otpora kotrljanja, te učinkovitosti motora i baterija. Nakon toga, proveden je niz simulacija kako bi se analiziralo ponašanje vozila u različitim voznim ciklusima.

Dva ciklusa koji su korišteni u simulacijama su NEDC (New European Driving Cycle) i FTP-75 (Federal Test Procedure), koji su standardizirani testovi vožnje korišteni za procjenu emisija i potrošnje goriva u Europi i Sjedinjenim Američkim Državama. NEDC ciklus predstavlja simulaciju gradske vožnje u Europi, dok FTP-75 simulira vožnju u urbanim područjima SAD-a. Ovi testovi omogućuju inženjerima da dobiju precizne podatke o potrošnji energije električnog vozila u različitim prometnim uvjetima. Rezultati simulacija pokazali su značajne razlike u potrošnji energije između ova dva ciklusa, što naglašava važnost odabira odgovarajućih testnih uvjeta prilikom razvoja električnih vozila.

Simulacije izvedene kroz AVL Cruise također su pokazale koliko je važno pravilno integrirati različite komponente sustava vozila. Na primjer, upravljanje baterijom i rekuperacija energije tijekom kočenja mogu značajno utjecati na ukupnu energetska učinkovitost vozila. AVL Cruise omogućuje detaljnu analizu tih procesa, pružajući inženjerima informacije potrebne za optimizaciju performansi vozila.

Jedan od ključnih izazova s kojima se suočava automobilska industrija u današnjem svijetu je tranzicija prema održivim rješenjima, posebice u kontekstu smanjenja emisija štetnih plinova. Razvoj električnih i hibridnih vozila postaje sve važniji, a AVL Cruise igra ključnu ulogu u ovom procesu. Njegova sposobnost da simulira različite vrste pogona, uključujući potpuno električne, hibridne i tradicionalne sustave s unutarnjim izgaranjem, čini ga neophodnim alatom za razvoj suvremenih vozila.

Hibridna vozila, koja kombiniraju električni motor i motor s unutarnjim izgaranjem, predstavljaju složen sustav koji zahtijeva posebno pažljivo modeliranje. AVL Cruise omogućava simulaciju svih aspekata rada hibridnog pogona, uključujući prijelaze između električnog i fosilnog pogona, te rekuperaciju energije. Na taj način, inženjeri mogu precizno analizirati rad hibridnih sustava u različitim voznim uvjetima i optimizirati performanse sustava za specifične cikluse vožnje. Ovo je posebno važno s obzirom na činjenicu da hibridna vozila moraju biti učinkovita u širokom rasponu uvjeta, od gradske vožnje, gdje električni pogon može biti dominantan, do dužih putovanja na autocesti, gdje motor s unutarnjim izgaranjem može preuzeti glavnu ulogu.



Osim toga, AVL Cruise podržava i analizu sigurnosti vozila, omogućujući inženjerima da simuliraju različite scenarije vezane uz sigurnost vožnje. Na primjer, sustavi pomoći vozaču, poput automatskog kočenja ili kontrole stabilnosti, mogu se modelirati i analizirati unutar AVL Cruise platforme, čime se osigurava da vozila zadovoljavaju sve sigurnosne standarde i norme.

S obzirom na sve veće zahtjeve za ekološki prihvatljivim rješenjima u transportu, AVL Cruise pruža mogućnost integracije različitih naprednih tehnologija, uključujući električne motore, baterijske sustave i sustave za optimizaciju potrošnje energije. Njegova fleksibilnost omogućuje inženjerima da kreiraju vozila koja zadovoljavaju stroge ekološke standarde, a istovremeno pružaju visoke performanse.

Osim modeliranja pogonskih sustava, AVL Cruise omogućava simulaciju kompletnih vozila, uzimajući u obzir sve važne parametre poput aerodinamičkog otpora, trenja kotača i gubitaka u prijenosu snage. Ova sveobuhvatna analiza ključna je za postizanje optimalnih performansi vozila, a istovremeno pomaže u smanjenju emisija i potrošnje energije.

Zaključno, AVL Cruise predstavlja ključan alat u modernom procesu razvoja vozila, posebno u kontekstu tranzicije prema električnim i hibridnim pogonima. Njegove mogućnosti detaljne simulacije i analize omogućavaju inženjerima da unaprijede dizajn vozila, smanje troškove razvoja i ubrzaju vrijeme potrebno za plasiranje novih modela na tržište. Osim toga, AVL Cruise podržava ciljeve smanjenja emisija i energetske učinkovitosti, što ga čini neophodnim alatom u postizanju održivog razvoja u automobilskoj industriji. U konačnici, softverski alati poput AVL Cruise-a bit će ključni za postizanje globalnih ciljeva u smanjenju emisija i održivosti transporta.

## 8. LITERATURA

- [1] Ehsani M., Gao Y., Longo S., Ebrahimi K.: "Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles", CRC Press, 2018.
- [2] Parajuly K., Ternald D., Kuehr R.: "The Future of Electric Vehicles and Material Resources: A Foresight Brief", UNU/UNITAR - SCYCLE (Bonn) & UNEP-IETC, Osaka, 2020.
- [3] <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/> (13.6.2022.)
- [4] AVL Cruise: "Vehicle System and Driveline Analysis", <http://www.avl.com>, 2009., dostupno:<https://www.avl.com/documents/10138/1108091/AVL+CRUISE+Product+Description.pdf> (18.6.2022.)
- [5] <https://www.avl.com/en/simulation-solutions/software-offering/simulation-tools-a-z/avl-cruise-m> (10.9.2023.)
- [6] [https://dieselnet.com/standards/cycles/ece\\_eudc.php](https://dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php) (14.9.2023)
- [7] <https://dieselnet.com/standards/cycles/ftp75.php> (14.9.2023)
- [8] Skuza, A., Jurecki, R., & Szumska, E.: "Influence of Traffic Conditions on the Energy Consumption of an Electric Vehicle", Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 25(1), B22-33, 2023
- [9] Ping , G.: "Modeling and Simulation of Pure Electric Passenger Vehicle Based on MATLAB and AVL CRUISE", Journal of Engineering Research and Reports, 25, 5, pp41–54, 2023
- [10] Taha, Z., Aydın, K., Arafah, D., & Sughayyer, M.: " Comparative Simulation Analysis of Electric Vehicle Powertrains with Different Configurations Using AVL Cruise and MATLAB Simulink", New Energy Exploitation and Application, 3(1), 171–184, 2024

- [11] Veza I., Asy'ari M.Z., Idris M., Epin V., Rizwanul Fattah I.M., Spraggon M.: "Electric vehicle (EV) and driving towards sustainability: Comparison between EV, HEV, PHEV, and ICE vehicles to achieve net zero emissions by 2050 from EV" Alexandria Engineering Journal, Volume 82,2023
- [12] Gwangryeol L., Yunsung L., Suhan P.: " Energy consumption evaluation of passenger electric vehicle based on ambient temperature under Real-World driving conditions", Energy Conversion and Management, Volume 306, 2024
- [13] Belingardi G, Scattina A. Battery Pack and Underbody: “Integration in the Structure Design for Battery Electric Vehicles - Challenges and Solutions”. Vehicles. 2023; 5(2):498-514.
- [14] <https://ciak-auto.hr/novosti/sto-su-kocnice-i-cemu-sluze/> (14.9.2023.)
- [15] Balali Y., Stegen S.: "Review of energy storage systems for vehicles based on technology, environmental impacts, and costs", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 135, 2021,110185

## **SAŽETAK**

U radu se daje detaljan pregled AVL Cruise, svestranog simulacijskog alata za modeliranje i analizu električnih vozila i njihovih podsustava u različitim ciklusima vožnje. AVL Cruise podržava električne, mehaničke i mehatroničke sustave, omogućujući holistički pristup dizajnu vozila. Njegove primjene uključuju planiranje cestovne infrastrukture, analizu elektroenergetskog sustava i optimizaciju performansi vozila. Alat je vrijedan i za studente i za inženjere, nudeći praktično iskustvo i napredne mogućnosti istraživanja. AVL Cruise posebno je važan u prelasku na električna i hibridna vozila, podržavajući razvoj infrastrukture i analizu podsustava vozila, uključujući baterije, elektromotore i sustave za rekuperaciju energije.

Ključne riječi: električna vozila, simulacijski alat, AVL Cruise, ciklusi vožnje vozila

## **ABSTRACT**

The paper provides a detailed overview of AVL Cruise, a versatile simulation tool for modeling and analyzing electric vehicles and their subsystems across different driving cycles. AVL Cruise supports electrical, mechanical, and mechatronic systems, enabling a holistic approach to vehicle design. Its applications include road infrastructure planning, power system analysis, and vehicle performance optimization. The tool is valuable for both students and engineers, offering hands-on experience and advanced research opportunities. AVL Cruise is particularly relevant in the shift towards electric and hybrid vehicles, supporting infrastructure development and vehicle subsystem analysis, including batteries, electric motors, and energy recuperation systems.

Keywords: electric vehicles, simulation tool, AVL Cruise, vehicle driving cycles