

Dizajn laboratorijskog priručnika interaktivnog sučelja u AVL Cruise za modeliranje i provedbu simulacija električnih vozila

Jurković, Lovro

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:422959>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-23**

Repository / Repozitorij:

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



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

PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ ELEKTROTEHNIKE

**Dizajn laboratorijskog priručnika interaktivnog sučelja u
AVL Cruise za modeliranje i provedbu simulacija električnih
vozila**

Završni rad

Lovro Jurković

Osijek, 2022.

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

Osijek, 17.09.2022.

Odboru za završne i diplomske ispite

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

Ime i prezime Pristupnika:	Lovro Jurković
Studij, smjer:	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska
Mat. br. Pristupnika, godina upisa:	tehnologija4526, 24.07.2018.
OIB Pristupnika:	51963029437
Mentor:	Prof. dr. sc. Željko Hederić
Sumentor:	,
Sumentor iz tvrtke:	
Naslov završnog rada:	Dizajn laboratorijskog priručnika interaktivnog sučelja u AVL Cruise za modeliranje i provedbu simulacija električnih vozila
Znanstvena grana rada:	Elektrostrojarstvo (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak završnog rad:	Suvremena vozila imaju vrlo složene sustave upravljanja koji zahtijevaju međusobnu komunikaciju, prijenos mjernih i upravljačkih signala realnom vremenu da bi se osiguralo upravljanje u dinamičnom okruženju vozila. AVL Cruise je programski alat koji modeliranje i simulaciju pogona vozila u laboratorijskom okruženju od početne faze izrade koncepta sve do završne obrade modela. Pri tome program
Prijedlog ocjene završnog rada:	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene od strane mentora:	17.09.2022.
Datum potvrde ocjene od strane Odbora:	21.09.2022.
Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:	Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.
	Datum:



FERIT

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 24.09.2022.

Ime i prezime studenta:

Lovro Jurković

Studij:

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

Mat. br. studenta, godina upisa:

4526, 24.07.2018.

Turnitin podudaranje [%]:

14

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Dizajn laboratorijskog priručnika interaktivnog sučelja u AVL Cruise za modeliranje i provedbu simulacija električnih vozila**

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 studenta:

Sadržaj

1. UVOD	1
1.1. Zadatak završnog rada	1
2. PREGLED PODRUČJA TEME	2
3. ELEKTRIČNA VOZILA	3
3.1. Povijest električnih vozila	3
3.2. Prednosti i mane	3
3.3. Sadašnjica i budućnost električnih vozila	4
4. PROGRAM AVL CRUISE	5
4.1. Općenito	5
4.2. Primjena programa	5
4.3. Povezana sučelja	5
4.4. Elementi za modeliranje vozila	6
4.5. Proračunski zadaci	7
4.6. Korisničko sučelje	7
5. IZRADA PROJEKTA	9
5.1. Pokretanje projekta	9
5.2. Izrada modela vozila	9
5.2.1. Vozilo	11
5.2.2. Elektromotor	12
5.2.3. Diferencijal	15
5.2.4. Mjenjač	15
5.2.5. Kotač	16
5.2.6. Kočnica	16
5.2.7. Baterija	17
5.2.8. Kabina	18
5.2.9. Kontrola proklizavanja	19
5.2.10. Monitor	20
5.2.11. E-Drive	20
5.2.12. E-Brake & M-Brake	21
5.2.13. Konstante	23
5.2.14. Električni potrošač	23
5.3. Energetske poveznice	25

5.4. Informacijske poveznice	26
6. PRORAČUN	28
6.1. CycleRun	28
6.2. NEDC-New European driving cycle	28
6.3. FTP-75- Federal Test Procedure.....	29
6.4. Rezultati proračuna	30
6.4.1. Rezultati proračuna za ciklus vožnje NEDC	31
6.4.2. Rezultati proračuna za ciklus vožnje FTP-75.....	32
6.5. Usporedba rezultata proračuna	34
7. ZAKLJUČAK.....	35
8. SAŽETAK.....	36
9. ABSTRACT	37
LITERATURA.....	38

Sadržaj tablica

Tablica 5.1. Popis komponenti za modeliranje vozila [5]	10
Tablica 5.2. Parametri za definiranje vozila [6]	11
Tablica 5.3. Parametri za definiranje komponente elektromotora [6]	12
Tablica 5.4. Tablični prikaz maksimalne mehaničke snage elektromotora [6]	12
Tablica 5.5. Tablični prikaz učinkovitosti elektromotora [6]	14
Tablica 5.6. Parametri za definiranje komponente diferencijal [6]	15
Tablica 5.7. Parametri za definiranje komponente mjenjač [6]	15
Tablica 5.8. Parametri za definiranje komponente kotač [6]	16
Tablica 5.9. Parametri za definiranje komponente kočnica [6]	16
Tablica 5.10. Parametri za definiranje komponente baterija [6]	17
Tablica 5.11. Tablični prikaz napona praznog hoda baterije [6]	17
Tablica 5.12. Parametri za definiranje komponente kabine [6]	18
Tablica 5.13. DataBus poveznice monitora [6]	20
Tablica 5.14. DataBus poveznice funkcije Edrive [6]	21
Tablica 5.15. DataBus poveznice funkcije E-Brake & M-Brake [6]	22
Tablica 5.16. DataBus poveznice konstanti [6]	23
Tablica 5.17. Parametri za definiranje komponente električni potrošač [6]	23
Tablica 5.18. Tablični prikaz dijagrama tablice otpora električnog potrošača [6]	24
Tablica 5.19. Informacijske poveznice modela [6]	26

Sadržaj slika

Slika 3.1. Dijagram budućnosti prodaje električnih vozila i vozila s motorima na unutarnje izgaranje[3]	4
Slika 4.1. Prikaz korisničkog sučelja.....	8
Slika 5.1. Dijagram maksimalne mehaničke snage elektromotora.....	13
Slika 5.2. Dijagram učinkovitosti elektromotora	13
Slika 5.3. Dijagram napona praznog hoda baterije.....	18
Slika 5.4. Dijagram krivulje papučice gasa	19
Slika 5.5. Dijagram krivulje papučice kočnice.....	19
Slika 5.6. C-Code funkcije Edrive.....	20
Slika 5.7. C-Code funkcije E-Brake & M-Brake	22
Slika 5.8. Dijagram krivulje otpora električnog potrošača	24
Slika 5.9. Energetske poveznice modela	25
Slika 5.10. Informacijske poveznice modela.....	26
Slika 6.1. Prikaz ciklusa vožnje NEDC.....	29
Slika 6.2. Prikaz ciklusa vožnje FTP-75	30
Slika 6.3. Dijagram napona, struje i postotka napunjenosti baterije (NEDC).....	31
Slika 6.4. Dijagram ukupne izlazne i ulazne energije (NEDC).....	31
Slika 6.5. Dijagram učinkovitosti, električne snage i gubitka snage modela (NEDC).....	32
Slika 6.6. Dijagram napona, struje i postotka napunjenosti baterije (FTP-75).....	32
Slika 6.7. Dijagram ukupne izlazne i ulazne energije (FTP-75)	33
Slika 6.8. Dijagram učinkovitosti, električne snage i gubitka snage modela (FTP-75)	33

1.UVOD

Motori sa unutarnjim izgaranjem jedni su od najsavršenijih izuma od čovječanstva. Prvi takav motor izumljen je 1860-ih godina od strane njemačkog inženjera i izumitelja Nikolasa Augusta Otto-a. Njegova prvotna zamisao bila je koristiti ih u statičnim industrijskim strojevima pogonjenima parom koje su imale velike gubitke energije, no kasnije su upravo ti motori postali dominantni za pogon raznih vozila.

Danas imaju vrlo široku primjenu i još uvijek su najkorišteniji pokretači svih prijevoza (automobili, vlakovi, brodovi, zrakoplovi), te mogu služiti kao pogoni za generatore struje i još mnogo drugih stvari. Problemi koji se javljaju danas jesu veliki brojevi vozila koji se svakodnevno koriste, te stvaraju negativne posljedice kako za zdravlje okoliša, tako i za samog čovjeka. Ispuštanje velike količine ugljikovog dioksida, potrošnja i rast cijena energenata, te očuvanje rezervi nafte samo su jedni od problema s kojima se susrećemo kada govorimo o motorima sa unutarnjim izgaranjem.

Stoga se u posljednjim desetljećima sve više proizvođača odlučuje za intenzivno istraživanje i razvoj drugih čišćih i efektivnijih oblika pogona vozila. Jedan od takvih oblika pogona je i sam pogon na struju, odnosno električno vozilo. Prednosti upravo takvih vozila su smanjenje štetnih plinova, povećana učinkovitost samih motora, smanjenje buke, a najveća prednost u odnosu na motore sa unutarnjim izgaranjem je to što je moguća opskrba energijom iz obnovljivih izvora.

Upravo ovu temu obradit ćemo u završnom radu pomoću programa AVL Cruise gdje ćemo modelirati, te prikazati efikasnost i autonomiju vozila na električni pogon kojeg ćemo voziti određenim rutama.

1.1. Zadatak završnog rada

U ovom radu potrebno je temeljne upute o pripremi ALV Cruise laboratorijskog razvojnog sustava za simulaciju hibridnih pogona vozila u cilju provođenja različitih analiza rada pojedinih podsustava.

2.PREGLED PODRUČJA TEME

U izvoru [1] pronalazimo osnovne informacije o električnim vozilima, njihovu povijest i upotrebu kroz prošlost. Izvori [2] i [3] pružili su nam uvid u osnovne karakteristike električnih vozila, njihov razvoj i njihovu predviđenu budućnost. Literatura [4] upoznala nas je sa osnovnim funkcijama programa AVL Cruise, njihovom namjenom i upotrebom u izradi modela. Izvor [6] pružio nam je uvid u osnovne modele vozila kao i njihovih parametara, te nam pomogao u izgradnji osnovnog modela električnog automobila. Informacije potrebne za izradu same ruta i pokretanja njenog izračuna pronašli smo u izvoru [7].

3.ELEKTRIČNA VOZILA

3.1. Povijest električnih vozila

Prvo električno vozilo razvijeno je od strane Gustave Trouvé 1881.godine. Vozilo je bilo tricikl pogonjeno od strane olovno-kiselinske baterije pomoću koje je motor razvijao 0.1ks. Javnost je postala zainteresirana za ovakav oblik transporta nakon što je 1894. na tržište izašao proizvod po imenu Electroboat koji se koristio u svrhu taxi vozila, te je zamijenio transport ljudi konjima. Iako je bio skuplji način prijevoza, njegova autonomija omogućavala mu je smjene od 4 sata sa pauzama za punjenje od 90 minuta. Pogon su mu omogućavala dva motora svaki snage od 1.5 konjskih snaga što mu je bilo dostatno za prijelaz ukupno 40 kilometara sa maksimalnom brzinom od 32 km/h. Jedan od bitnijih izuma koji se tiču električnih vozila bio je izum regenerativnog kočenja od strane M.A.Darracq 1897.godine pomoću kojeg se kinetička energija vozila prilikom kočenja rekuperira i tako povećava domet vozila koji se može ostvariti.[1] Situacija električnih vozila se primirila sve do 60-ih godina 20.stoljeća kada se štetnost izgaranja fosilnih goriva dovela u pitanje. Zabrinutost je dovela do velikih koraka u istraživanju, te se 90-ih godina 20.stoljeća električna vozila dovode u pitanje velikog razvijanja. Najveći nedostatak i zamjerka bila je autonomija koja nije pružala prelazak velikih udaljenosti zbog malih kapaciteta koje su baterije imale.

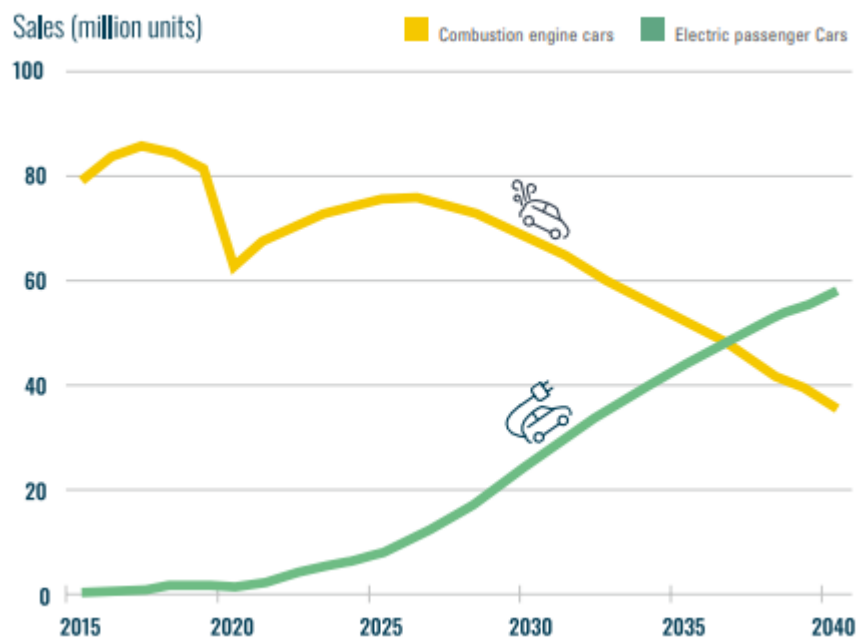
3.2. Prednosti i mane

Električna vozila razvijena su tako da budu efektivnija od vozila sa motorima unutarnjeg izgaranja. Njihova glavna prednost je ta što koriste manje energije koju ujedno mogu i povratiti pomoću sustava regenerativnog kočenja koje pretvara kinetički energiju nastalu prilikom kočenja u električnu energiju. Zbog spuštanja težišta vozne karakteristike električnih vozila uveliko su poboljšane postavljanjem baterije u samu podnicu auta. Razvoj takvih vozila je sam po sebi skup što nažalost utječe na njihovu cijenu. Kako bi potakli implementiranje što više električnih vozila u svijetu vlade diljem svijeta daju velike poticaje na kupovinu novih ili rabljenih vozila. Jedna od većih mana je upravo sama baterija od kojih većina nema veliki domet. Lanac punionica el. vozila u svijetu i dalje nije na razini na kojoj bi trebao biti što predstavlja problem prilikom odlaska na duži put. Upravo se iz tog razloga ulažu velika sredstva u razvoj cijele infrastrukture koja bi uveliko pridonijela u prodaji takvih vozila. Glavna stavka koja je spominje kada se priča u el. vozilima je energija koju koriste, te zagađenje okoliša. Oni ne proizvode nikakve ispušne plinove stoga ne zagađuju okoliš na taj način, ali se takav proces događa prilikom njihove proizvodnje i samog punjenja gdje se za proizvodnju električne energije koja ih puni

koriste fosilna goriva koja ujedno čine 64% globalne proizvodnje energije. Vozila koja bi bila potpuna „zelena“ trebala bi upotrebljavati obnovljive izvore energije čija se ciljana upotrebljivost planira do 2050.god. podići na do 80%.[2]

3.3. Sadašnjica i budućnost električnih vozila

Kako vrijeme odmiče budućnost električnih vozila sve je izglednija. Zbog globalnog zagrijavanja mnoge vlasti složile su se kako je potrebno smanjiti emisije fosilnih goriva u atmosferu. Mnogi veliki proizvođači najavili su kako bi se do 2035.godine njihova proizvodnja trebala potpuno elektrificirati. Velika zabrinutost za njihovu budućnost javlja se kada se priča o vijeku trajanja samih baterija, te njihovom recikliranju. Zbog toga se sve više sredstava upravo usmjerava na razvoj raznih tehnika recikliranja litijum-ionskih baterija kao što su hydrometalurgija, pyrometalurgija i direktno recikliranje prilikom kojih dolazi do minimalnih oštećenja kristalnih struktura samih materijala izrade.[2] Zalihe litijuma u budućnosti neće stvarati problem, iako bi njihovo kontinuirano izvlačenje moglo dovesti do drugih negativnih posljedica poput onečišćenja vode i tla, povećanja stakleničkih plinova i smanjenja resursa vode.



Slika 3.1. Dijagram budućnosti prodaje električnih vozila i vozila s motorima na unutarnje izgaranje[3]

4. PROGRAM AVL CRUISE

4.1. Općenito

AVL Cruise je program koji služi za modeliranje i simulaciju pogona vozila u uredskom okruženju od početne faze izrade koncepta sve do završne obrade modela. Njegova prednost je što možemo precizno izračunati sve parametre vozila kao što su potrošnja energije, goriva, ispuštanje CO₂ i mnogih drugih koji u daljnjoj razradi modela dovode do velikih ušteda vremena i novca. Program podržava i razne aplikacije koje pokrivaju mehaničke sustave, električnu mrežu kao i potrebne upravljačke funkcije koje nam pomažu u optimiziranju i upravljanju energijom vozila gdje pokušavamo naći najbolju ravnotežu između učinkovitosti, performansi, emisija i kvalitete vožnje.[4]

4.2. Primjena programa

Primarna primjena programa je razvoj pogonskih sklopova i motora koji služe za optimizaciju vozila koje program podržava (automobili, kamioni, autobusi, hibridna i električna vozila) kako bi imali kontrolu nad performansama prilikom vožnje (vučne sile, kočenje, ubrzanje) i potrošnjom goriva, te ispušnim plinovima tijekom određenog ciklusa. Također, program nalazi primjenu u razvoju i analiziranju novih i postojećih pogonskih sustava, mjenjača, vibracija pogonskih sklopova, toka energije, podjele snage i raznih gubitaka unutar komponenata.[4]

4.3. Povezana sučelja

Ovisno o kompleksnosti modela izrade modela vozila mogu varirati od jednostavnih do vrlo razvijenih koje program ne može zadovoljiti stoga podržava i neka od kompatibilnih sučelja koja pomažu u razvijanju i analizi projekta kao što su AVL BOOST, FLOWMASTER, AVL InMotion.

AVL BOOST omogućava korisniku uvid u termodinamiku motora i obradu ispušnih plinova. Programom FLOWMASTER omogućen je uvid u simulaciju ciklusa tekućina i toplinskih mreža. AVL InMotion daje mogućnost uvida i korekcije HiL sustava, dinamike vozila i upravljivosti. [4]

Neka od ostalih programskih sučelja koja su podržana u AVL Cruise-u:

- AVL DRIVE
- AVL Exhaust System
- AVL PUMA
- C, FORTRAN
- CarSim Interface
- ETAS Interface
- BlackBox Interface
- IPG CarMaker
- Matlab® /Simulink
- KULI

4.4. Elementi za modeliranje vozila

Program ima mogućnost razvijanja različitih modela vozila kao što su automobile, kamioni, autobusi, motocikli gdje se uz razvoj pogona mogu modelirati i konfiguracije kao što su modeli sa dva motora, hibridi i različiti sustavi prijenosa.[4] Zbog toga program sadrži veliki raspon dijelova koji potrebni korisniku kao što su:

- Vozilo i prikolica
- Motor (motor sa unutarnjim izgaranjem, električni motor)
- Kvačilo (tarna spojka, hidraulički pretvarač, visko-spojka)
- Upravljački elementi (mjenjač, kvačilo, kočnica, CVT i kontrola isključivanja motora)
- Osovine (krute i elastične)
- Električne komponente (električni motor, baterija, generator)
- Kotači/gume
- -Kočnice, retarder
- -Pomoćne stvari (uljna pumpa, klima, servo upravljač)
- Ispušni sustav
- Kabina
- Monitor

4.5. Proračunski zadaci

Kako bi dobili potpuni uvid u sve proračune program sadrži zadatke koji su potrebni za razvoj i optimizaciju pogonskih sklopova vozila uz poštivanje zadanih parametara. Svaki od navedenih aplikacija odrađuje određeni zadatak unutar programa. Standardni zadaci su sljedeći:

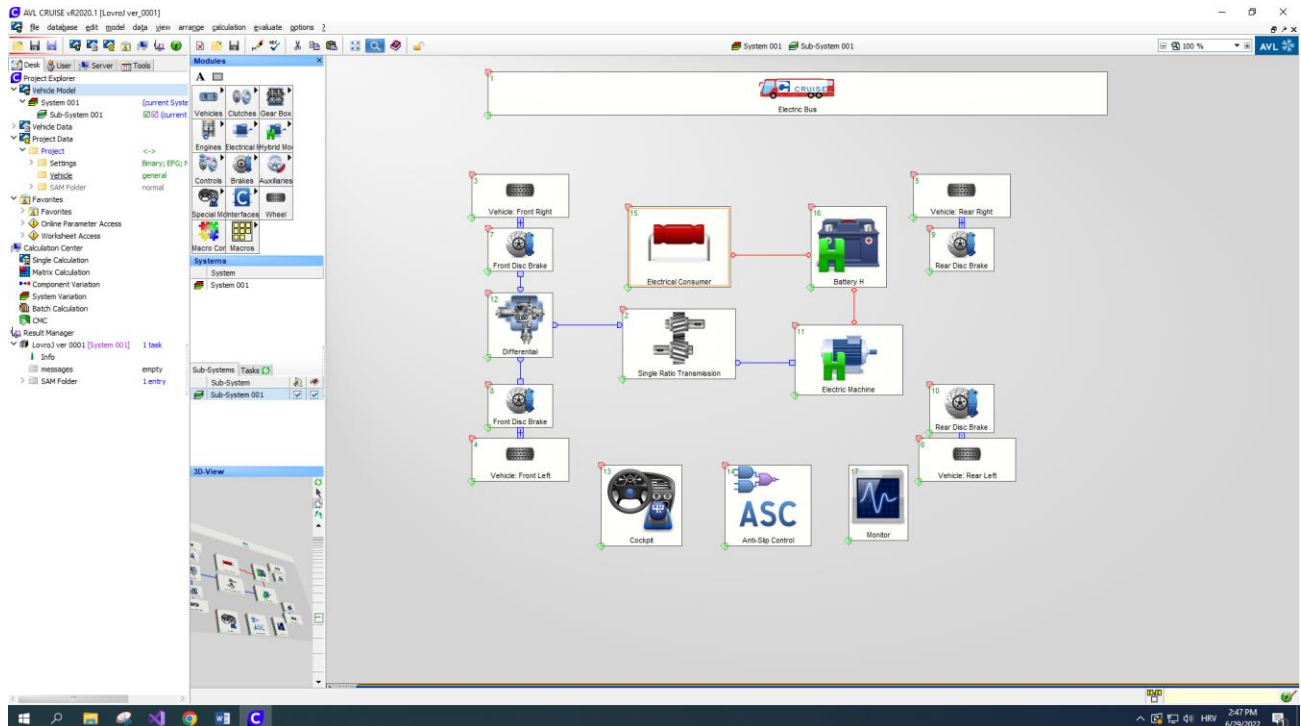
- -Cycle Run -ovaj zadatak pruža nam uvid u potrošnju goriva i ispuštanje emisija koje vozilo na određenim rutama koje mogu biti unaprijed određene ili napravljene po vlastitim preferencijama odradi
- -Climbing performance -izračunava maksimalni uzlazni nagib koje vozilo može savladati
- -Constant Drive -služi za izračun potrošnje goriva i emisija pri konstantnim brzinama, te za dodatni zadatak ima izračunavanje trenutne i teorijske maksimalne brzine
- -Full and Partial Load Acceleration -zadatak koji se sastoji od 3 pod zadatka: Maximum Accelerations in all Gears koji izračunava maksimalno ubrzanje u svim stupnjevima prijenosa pri cijelom rasponu broja okretaja, Acceleration from Standstill gdje se vozilo ubrzava do maksimalne brzine kroz sve stupnjeve prijenosa i Elasticity u kojem se vozilo ubrzava između definirane gornje i donje granice
- -Maximum Traction Force -zadatak se koristi za potpunu automatizaciju generiranja vučne sile ili dijagrama performansi
- -Cruising -koristi se za izračunavanje potrošnje goriva i emisija između određenih ruta na kojima su definirani parametri kao što su nadmorska visina, ograničenja brzine...
- -Brake/Coast/Thrust -zadatak koji prikazuje učinak kočenja vozila [4]

4.6. Korisničko sučelje

Prilikom otvaranja programa na ekranu će se pojaviti korisničko sučelje gdje možemo pronaći dva okvira. Jedan od njih je navigacijski okvir u kojem je prikazano navigacijsko stablo pomoću kojeg je olakšano kretanje po izborniku. Drugi okvir je aplikacijski u kojem se nalaze aplikacije koje se prikazuju nakon što se odaberu u navigacijskom okviru. U sredini se nalazi okvir u kojem su ponuđene komponente za izradu modela, prikazi sistema i podsistema, te trodimenzionalni prikaz samog modela.

Navigacijski okvir:

- Desk Area- prvi izbornik u kojem nalazimo model vozila, podatke potrebne za proračun vozila i projekta, proračunski centar i rezultate kojima je moguće upravljati
- User Area-izbornik koji prikazuje sve modelirane projekte unutar programa i njihove rezultate
- Server Area-izbornik koji prikazuje projekte unutar programa
- Tools Area-izbornik u kojem se nalaze dodatne aplikacije koje program podržava. [4]



Slika 4.1. Prikaz korisničkog sučelja

5. IZRADA PROJEKTA

5.1. Pokretanje projekta

Kako bi započeli sa izradom modela našeg vozila prvo je potrebno pokrenuti novi projekt. U korisničkom sučelju pronađemo mapu u kojoj se nalaze svi projekti, te desni klikom miša odabiremo opciju za pokretanje novog projekta nakon čega unosimo naslov novog projekta i potvrđujemo unos.[5]

5.2. Izrada modela vozila

Vozilo koje ćemo modelirati unutar ovog završnog rada biti će električni autobus koji za svoj pogon koristi isključivo elektromotor. Ujedno ćemo izvršiti proračune potrošnje električne energije unutar trasa kojima se svakodnevno vozi. Potrebne odgovarajuće komponente povlačimo lijevom tipkom miša u prostor za izradu modela. Komponenta za izradu modela su slijedeće:

Tablica 5.1. Popis komponenti za modeliranje vozila [5]

Komponenta	Simbol	Količina	Komponenta	Simbol	Količina
Vozilo	 Electric Bus	1	Kabina	 Cockpit	1
Elektromotor	 Electric Machine	1	Kontrola proklizavanja	 Anti-Slip Control	1
Mjenjač	 Single Ratio Transmission	1	Monitor	 Monitor	1
Diferencijal	 Differential	1	E-Drive	 E drive	1
Kotač	 Vehicle: Front Left	4	E-Brake & M-Brake	 E-Brake & M-	1
Kočnica	 Front Disc Brake	4	Konstante	 Constants	1
Baterija	 Battery H	1	Električni potrošač	 Electrical Consumer	1

5.2.1. Vozilo

Vozilo je glavni element izrade modela jer se u njemu nalaze sve informacije koje su nam prijeko potrebne za daljnje proračune kao što su: visina i težina vozila, aerodinamika i ukupni otpor koji djeluje na vozilo. Parametre unosimo na način da dvostrukim klikom odaberemo ikonu vozila.

Tablica 5.2. Parametri za definiranje vozila [6]

Parametri	Mjerna jedinica	Vrijednost
Volumen spremnika goriva	m ²	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 ²	2.00
Tlak guma prednji/zadnji kraj	bar	2.40/2.20

5.2.2. Elektromotor

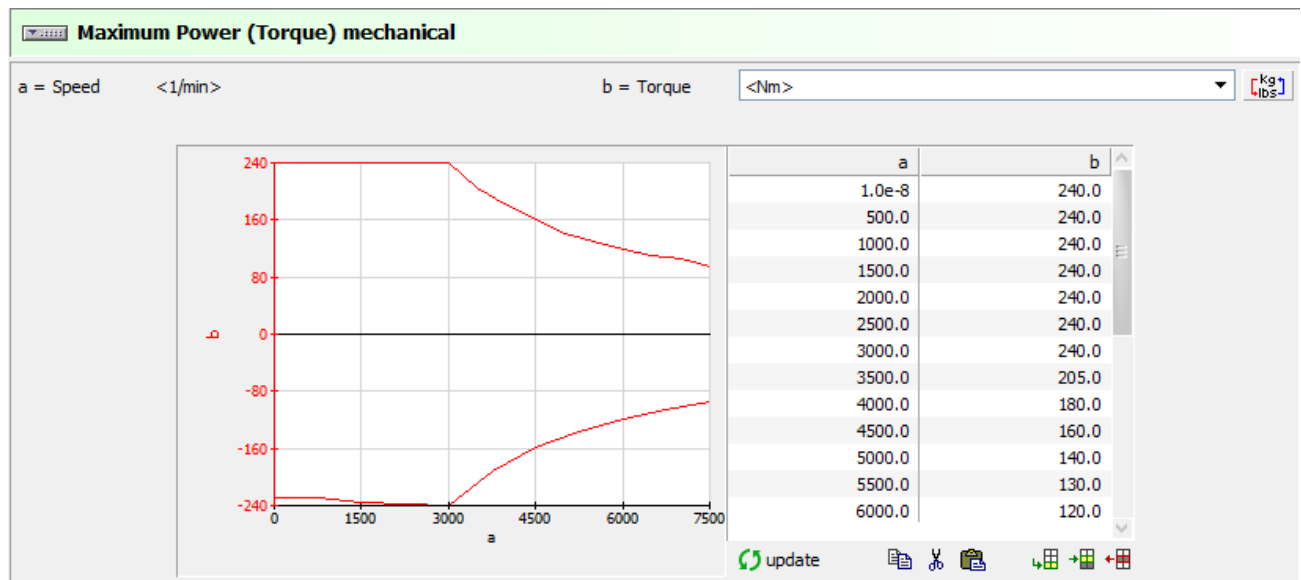
Elektromotor je element koji se može koristiti kao elektromotor i kao generator. Upisujemo parametre specifične za elektromotor, te parametre za U1 i U2 pomoću kojih dobivamo prikaz grafova maksimalne mehaničke snage i učinkovitosti.

Tablica 5.3. Parametri za definiranje komponente elektromotora [6]

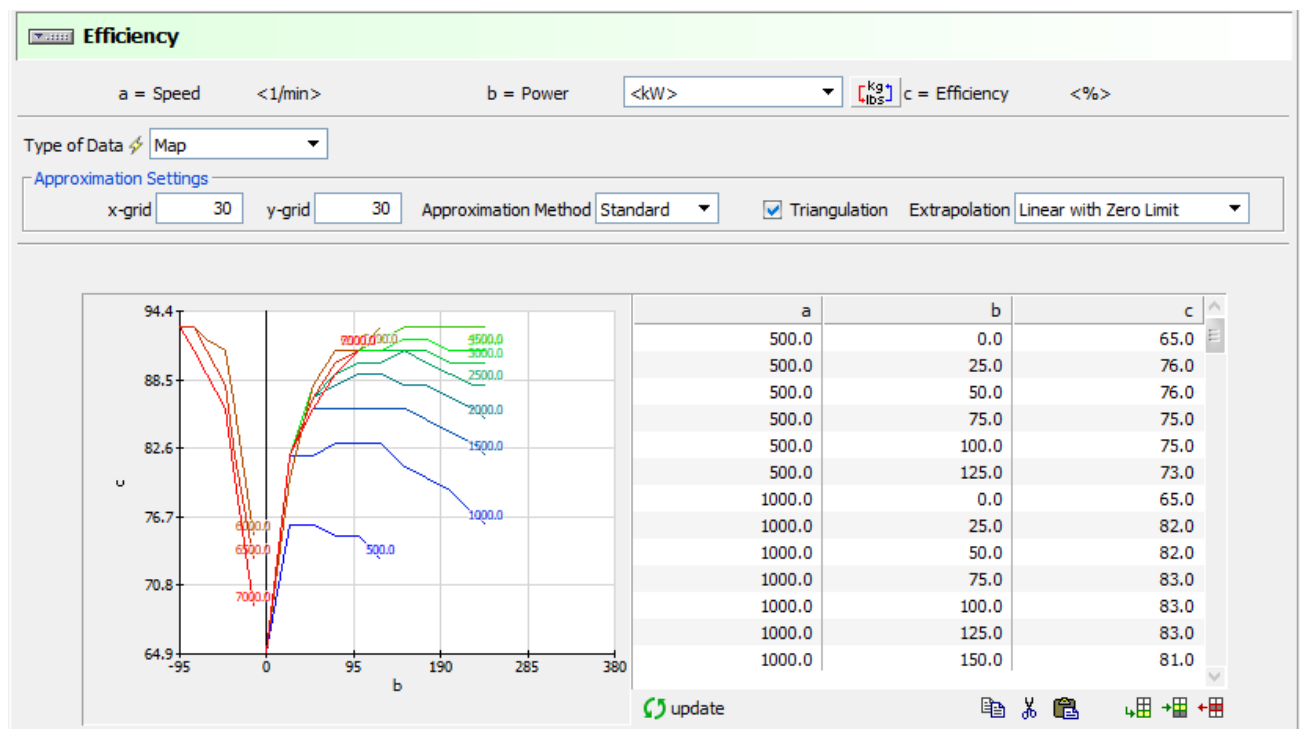
Parametri	Mjerna jedinica	Vrijednost
Tip motora	.	ASM
Nominalni napon	V	320
Inercijski moment	kgm ²	
Najveća brzina vrtnje motora	1/min	10000
Početna temperatura	°C	20
U1	V	100
U2	V	320

Tablica 5.4 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	-	-



Slika 5.1. Dijagram maksimalne mehaničke snage elektromotora



Slika 5.2. Dijagram učinkovitosti elektromotora

Tablica 5.5. Tablični prikaz učinkovitosti elektromotora [6]

a)												
500	b)	0	25	50	75	100	125	-	-	-	-	-
	c)	65	76	76	75	75	73	-	-	-	-	-
1000	b)	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	240
	c)	65	82	82	83	83	83	81	80	79	77	76
1500	b)	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	240
	c)	65	82	86	86	86	86	86	85	84	83	82
2000	b)	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	240
	c)	65	82	87	88	89	89	88	88	87	86	85
2500	b)	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	240
	c)	65	82	87	89	92	92	91	92	89	88	88
3000	b)	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	240
	c)	65	82	88	91	91	91	91	91	90	90	90
3500	b)	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	240
	c)	65	82	88	91	91	91	92	92	91	91	91
4500	b)	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	240
	c)	65	80	88	91	91	92	93	93	93	93	93
5500	b)	0	25	50	75	100	125	-	-	-	-	-
	c)	65	80	88	91	91	93	-	-	-	-	-
6000	b)	0	25	50	75	100	-95	-80	-65	-45	-35	-15
	c)	65	80	88	91	91	93	93	92	91	86	75
6500	b)	0	25	50	75	100	-95	-80	-65	-45	-35	-15
	c)	65	82	87	90	91	93	93	91	88	82	73
7000	b)	0	25	50	75	100	-95	-80	-65	-45	-35	-15
	c)	65	82	86	89	91	93	91	89	86	80	69

5.2.3. Diferencijal

Diferencijal je element koji služi za rastavljanje i mehanički prijenos torzijskog momenta sile između dva vratila pod međusobnim kutom od 90° . Najčešća ugradnja diferencijala ima primjenu kod vozila gdje broj okretaja na poluosovini mora uvijek biti konstantan bez obzira kreće li se vozila po pravcu ili zavoju. Unosimo osnovne parametre diferencijala.

Tablica 5.6. Parametri za definiranje komponente diferencijal [6]

Parametri	Mjerna jedinica	Vrijednost
Zaključanost diferencijala	-	otključan
Omjer izlaznih momenata	-	1
Moment tromosti ulaznog vratila	kgm^2	0,015
Moment tromosti prvog izlaznog vratila	kgm^2	0,015
Moment tromosti drugog izlaznog vratila	kgm^2	0,015
Učinkovitost	-	0.95

5.2.4. Mjenjač

Mjenjač koji smo koristili je automatski u kojem smo imali dva stupnja prijenosa. Jedan je za vožnju u naprijed, a drugi za vožnju unazad. Unosimo parametre mjenjača.

Tablica 5.7. Parametri za definiranje komponente mjenjač [6]

Parametri	Mjerna jedinica	Vrijednost
Prijenosni omjer	-	6,0
Ulazni broj zubaca	-	19
Izlazni broj zubaca	-	71
Moment tromosti pogonskog vratila I zupčanika	kgm^2	0,015
Moment tromosti gornjeg vratila I zupčanika	kgm^2	0,015

5.2.5. Kotač

Tablica 5.8. Parametri za definiranje komponente kotač [6]

Parametri	Mjerna jedinica	Vrijednost
Moment tromosti kotača	kgm ²	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

5.2.6. Kočnica

Tablica 5.9. Parametri za definiranje komponente kočnica [6]

Parametri	Mjerna jedinica	Vrijednost
Površina presjeka kočnog cilindra (prednje)	mm ²	1800
Površina presjeka kočnog cilindra (zadnje)	mm ²	1500
Koeficijent trenja kočnica	-	0,25
Specifični faktor kočenja za disk kočnicu	-	1
Efektivni radijus kočenja (prednje)	mm	120
Efektivni radijus kočenja (zadnje)	mm	100
Učinkovitost	-	0,99
Moment tromosti	kgm ²	0,015

5.2.7. Baterija

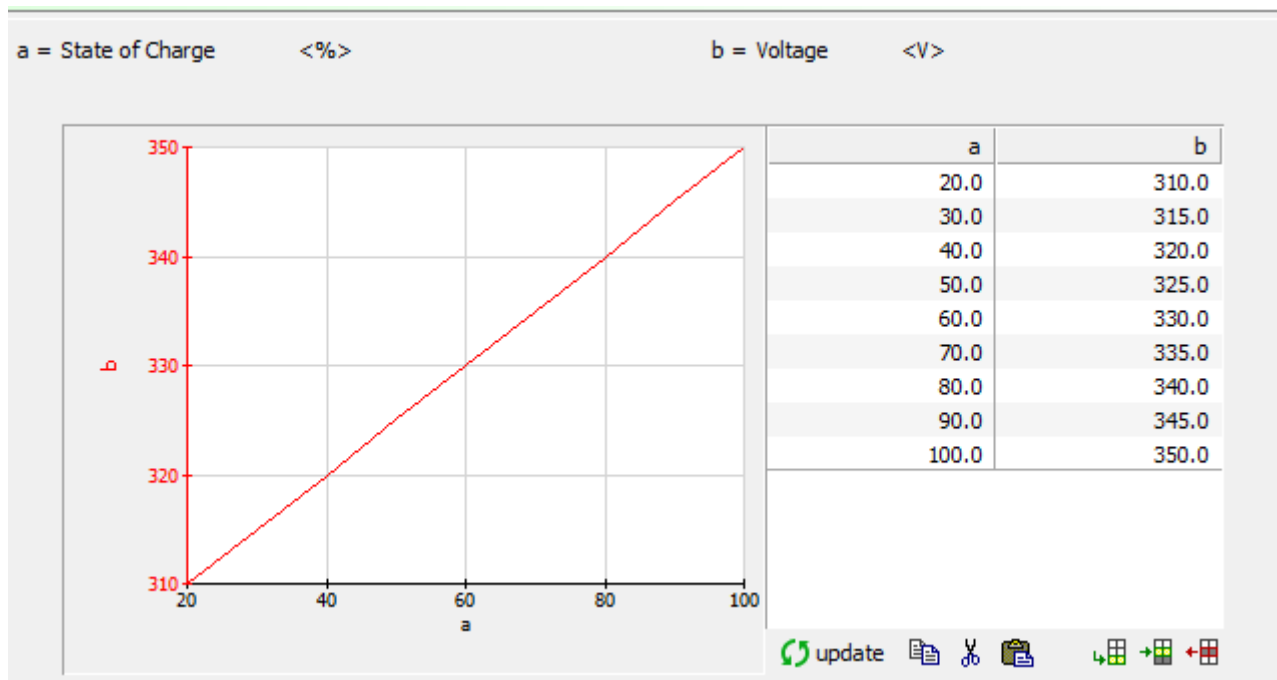
Unosimo parametre baterije koji se nalaze u tablici 4.10., a zatim unosimo napone praznog hoda prilikom punjenja i pražnjenja baterije(tablica 4.11.).

Tablica 5.10. 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 5.11. 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



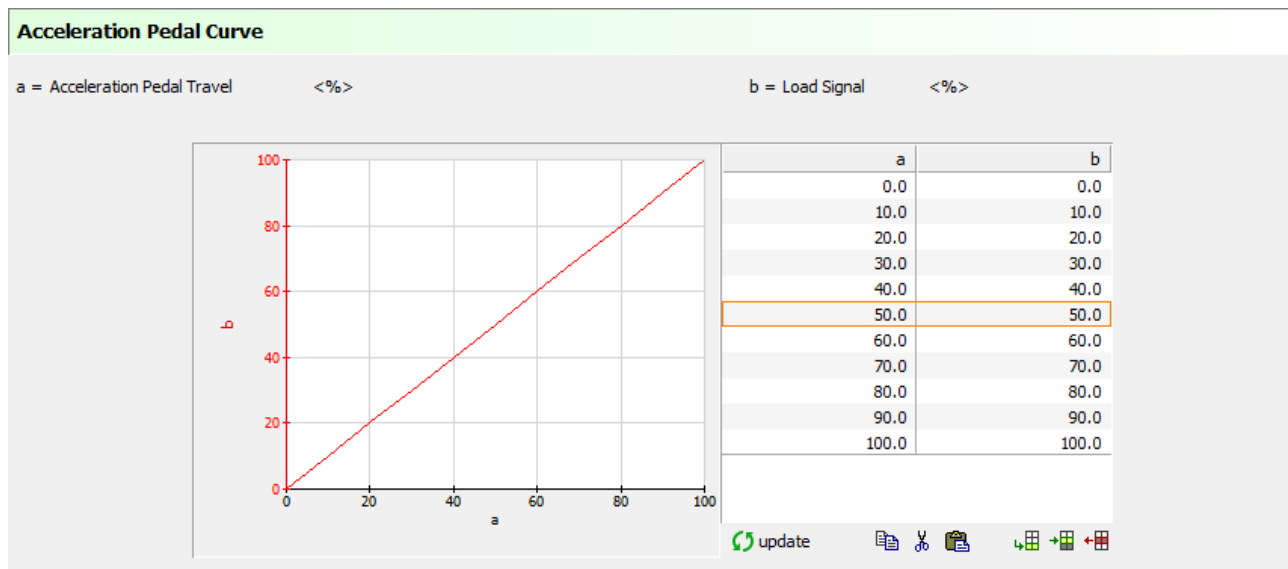
Slika 5.3. Dijagram napona praznog hoda baterije

5.2.8. Kabina

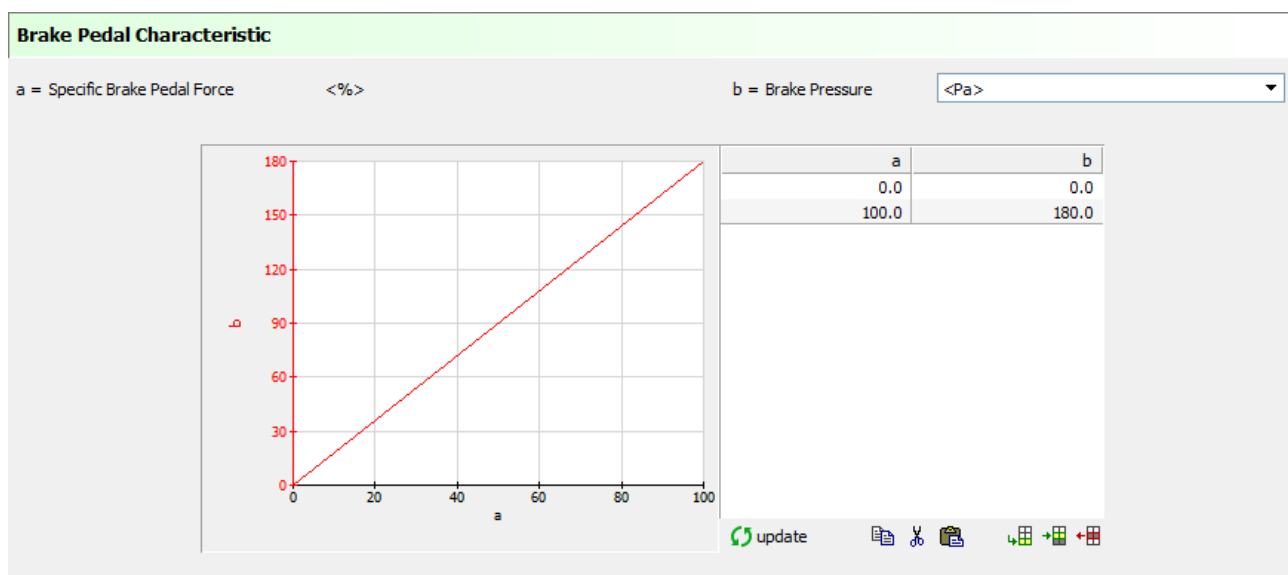
Kabina je element koji povezuje vozača sa vozilom. Za nju nisu potrebni parametri, ali je važno unijeti vrijednosti krivulje papučice gasa i kočnice.

Tablica 5.12. Parametri za definiranje komponente kabine [6]

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



Slika 5.4. Dijagram krivulje papučiće gasa



Slika 5.5. Dijagram krivulje papučiće kočnice

5.2.9. Kontrola proklizavanja

U ovu komponentu ne unosimo nikakve podatke jer je ona povezana preko poveznica unutar Databusa. Glavni zadatak ASC-a je spriječiti proklizavanje kotača na vozilu.

5.2.10. Monitor

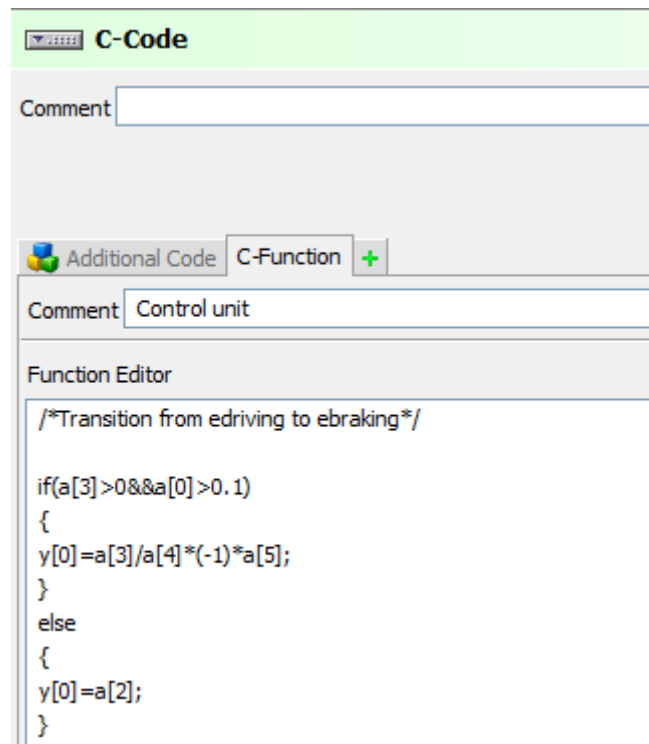
Prilikom simulacije monitor nam služi za praćenje zadanih veličina.

Tablica 5.13. DataBus poveznice monitora [6]

DataBus kanal	Opis	Mjerna jedinica
Input 0	LoadSignal_Cockpit	-
Input 1	Velocity	km/h
Input 2	Torque_eDrive	Nm

5.2.11. E-Drive

E-Drive je komponenta koja ima funkciju izračuna prijelaza električnog stroja iz stanja pogona u stanje kočenja. Unosimo zadane parametre i C-kod te funkcije.



```
/*Transition from edriving to ebraking*/

if(a[3]>0&& a[0]>0.1)
{
y[0]=a[3]/a[4]*(-1)*a[5];
}
else
{
y[0]=a[2];
}
```

Slika 5.6. C-Code funkcije Edrive

Tablica 5.14. DataBus poveznice funkcije Edrive [6]

DataBus kanal	Opis	Mjerna jedinica	Veza
a[0]	Vehicle Velocity	km/h	optional
a[1]	Vehicle Acceleration	m/s ²	optional
a[2]	Load Signal	-	optional
a[3]	Brake Pressure	bar	optional
a[4]	Maximum Brake Pressure	bar	optional
a[5]	Brems Factor	-	optional
a[6]	a[6]	-	optional
y[0]	Mod Load Signal	-	optional

5.2.12. E-Brake & M-Brake

E-Brake & M-Brake je komponenta koja se koristi za izračunavanje tlaka unutar svih kočnice preko kočnog momenta. Unosimo zadane parametre i C-kod te komponente.

```

C-Code
Comment:
Additional Code C-Function +
Comment: Conversion of edrive Torque to Brake Pressure
Function Editor
/*Conversion routine*/
/*Converting brake Torque into Pressure for all Brakes (Front & Rear)*/

double eBrake;

if(a[0] < 0){
eBrake= a[0]*2*a[1]*a[2]/(2*(a[3]+a[4]));
}
else
{
eBrake=0;
}
/*Calculation of reduced mechanical Brake*/
/*Function to determine a maximum value*/
if ((eBrake+a[5])>0.0)
{
y[0]=(eBrake+a[5]);
}
else
{
y[0]=0.0;
}

```

Slika 5.7. C-Code funkcije E-Brake & M-Brake

Tablica 5.15. DataBus poveznice funkcije E-Brake & M-Brake [6]

DataBus kanal	Opis	Mjerna jedinica	Veza
a[0]	eDrive_Torque	Nm	optional
a[1]	iFD (Ratio of Final Drive)	-	optional
a[2]	iTR (Ratio of Final Transmission)	-	optional
a[3]	Brake_Factor_Front	-	optional
a[4]	Brake_Factor_Rear	-	optional
a[5]	Break Pressure Driver	Pa	optional
y[0]	BRK_dp_Recup	Pa	optional

5.2.13. Konstante

Parametar koji korisniku omogućuje unos 10 konstantnih vrijednosti koje mogu koristiti i druge komponente, a čija se zadaća vrši preko DataBus-a. Tipovi konstanti mogu biti:

- integer
- double
- string.

Tablica 5.16. DataBus poveznice konstanti [6]

DataBus kanal	Opis	Vrijednost	Mjerna jedinica	Veza
Constant 0	Brake_Factor_Front	0.00012	-	string
Constant 1	Brake_Factor_Rear	0.00008		double
Constant 2	iFD (Ratio of Final Drive)	3.650	-	double
Constant 3	iTR (Ratio of Final Transmission)	1	-	double
Constant 4	Maximum Brake Pressure	50	bar	double
Constant 5	Brake_Factor	1	-	double

5.2.14. Električni potrošač

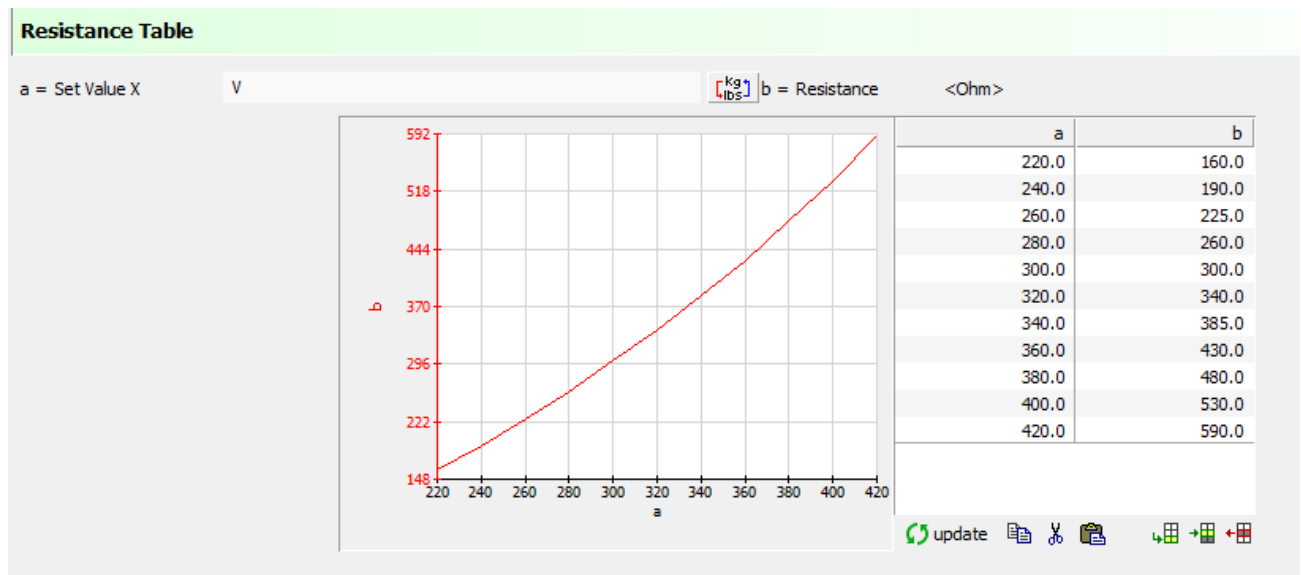
Električni potrošač je zamišljen kao omski otpornik koji predstavlja gubitke električne struje čiji se broj može razlikovat ovisno o korisniku.

Tablica 5.17. Parametri za definiranje komponente električni potrošač [6]

Parametri	Mjerna jedinica	Vrijednost
Nazivni napon	V	320
Granična vrijednost	-	0.5
Smjer	-	positive
Referentni smjer	-	absolute
Prekoračenje raspona vrijednosti	-	admissible

Tablica 5.18. Tablični prikaz dijagrama tablice otpora električnog potrošača [6]

Vrijednost X [V]	Otpor [Ohm]
220	160
240	190
260	225
280	260
300	300
320	340
340	385
360	430
380	480
400	530
420	590



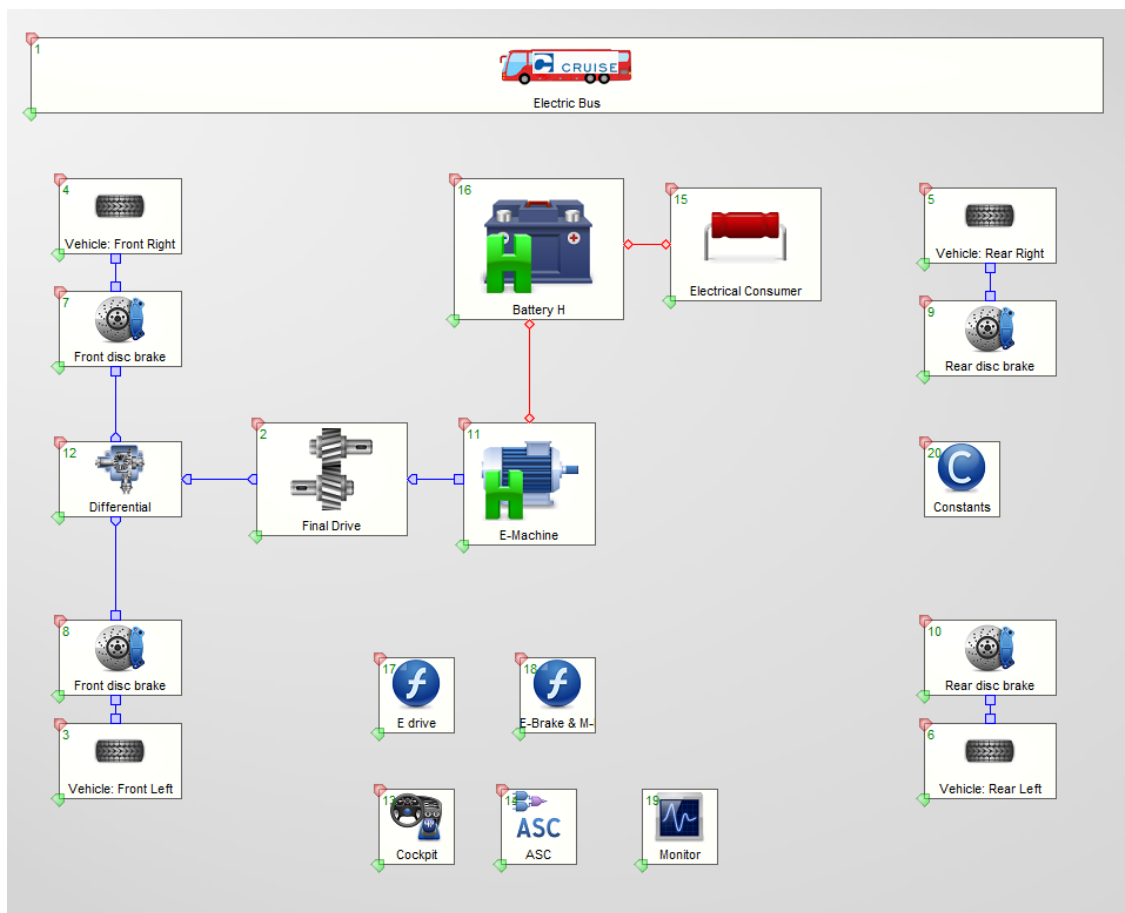
Slika 5.8. Dijagram krivulje otpora električnog potrošača

5.3. Energetske poveznice

Postoje tri vrste poveznica koje prenose energiju u sljedeće grupe:

- Električne
- Mehaničke
- Ispušni sustav

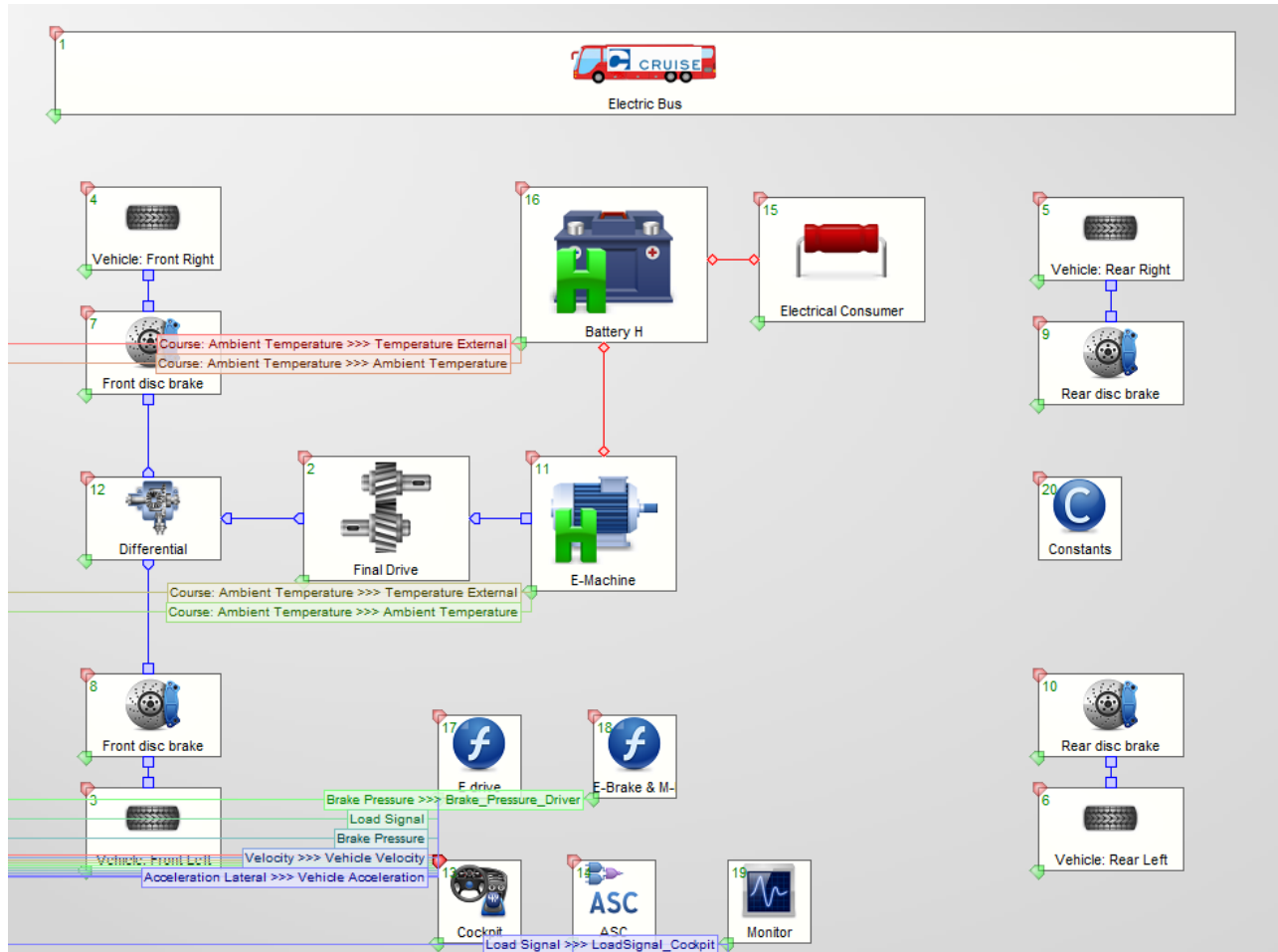
Spajanje elemenata energetskim poveznicama izvodimo pomoću desnog klika miša gdje biramo opciju connect. Električne poveznice označene su crvenom linijom, a mehaničke plavom.



Slika 5.9. Energetske poveznice modela

5.4. Informacijske poveznice

Informacijske poveznice pokazuju tok informacija prema Data Bus-u. Primjer jedne informacijske poveznice prikazan je na sljedećoj slici.



Slika 5.10. Informacijske poveznice modela

Tablica 5.19. Informacijske poveznice modela [6]

Component requires	Input Information	Component Delivering	Output Information
ASC	Clutch Release	Cockpit	Course Ambient
	Load Signal	Cockpit	Load Signal
	Slip Signal Front Right	Wheel Front Right	Slip Signal
	Slip Signal Front Left	Wheel Front Left	Slip Signal
	Slip Signal Rear Right	Wheel Rear Right	Slip Signal
	Slip Signal Rear Left	Wheel Rear Left	Slip Signal

Component requires	Input Information	Component Delivering	Output Information
Battery H	Ambient Temperature	Cockpit	Course Ambient
	Temperature External	Cockpit	Course Ambient
Brake Rear Disk	Brake Pressure	E-Brake & M-Brake	BRK_dp_Recup
Brake Front Disk	Brake Pressure	E-Brake & M-Brake	BRK_dp_Recup
Brake Rear Disk	Brake Pressure	E-Brake & M-Brake	BRK_dp_Recup
Brake Front Disk	Brake Pressure	E-Brake & M-Brake	BRK_dp_Recup
Cockpit	Gear Indicator	E-Machine	Operating Mode
	Operation Control	E-Machine	Operation Control
	Speed	E-Machine	Speed
E-Machine	Ambient Temperature	Cockpit	Course Ambient
	Load Signal	E-Drive	Mod Load Signal
	Temperature External	Cockpit	Course Ambient
Electric Consumer	Set Value X	Battery H	Net Voltage
Function E-Drive	Vehicle Velocity	Cockpit	Velocity
	Vehicle Acceleration	Cockpit	Acceleration
	Load Signal	Cockpit	Load Signal
	Brake Pressure	Cockpit	Brake Pressure
	Maximum Brake Pressure	Constants	Max. Brake Pressure
	Bremsfaktor	Constants	Brake Factor
E-Brake & M-Brake	eDrive_Torque	E-Machine	Torque
	iFD	Constants	iFD
	iTR	Constants	iTR
E-Brake & M-Brake	Brake_Factor_Front	Constants	Brake_Factor_Front
	Brake_Factor_Rear	Constants	Brake_Factor_Rear
	Brake_Pressure_Driver	Cockpit	BrakePressure
Monitor	LoadSignal_Cockpit	Cockpit	Load Signal
	Velocity	Cockpit	Velocity
	Torque eDrive	E-Machine	Torque

6. PRORAČUN

6.1. CycleRun

Proračunski zadatak CycleRun koristi se za simulaciju vožnje po određenim rutama. Korisnik ima mogućnost koristiti unaprijed zadane rute kao i mogućnost pravljenja vlastite. Koristi se za razne proračune poput procjene potrošnje goriva i baterije, količine ispušnih plinova itd. Cikluse vožnje razlikujemo po načinima ubrzanja, različitim sredinama vožnje i rutama.

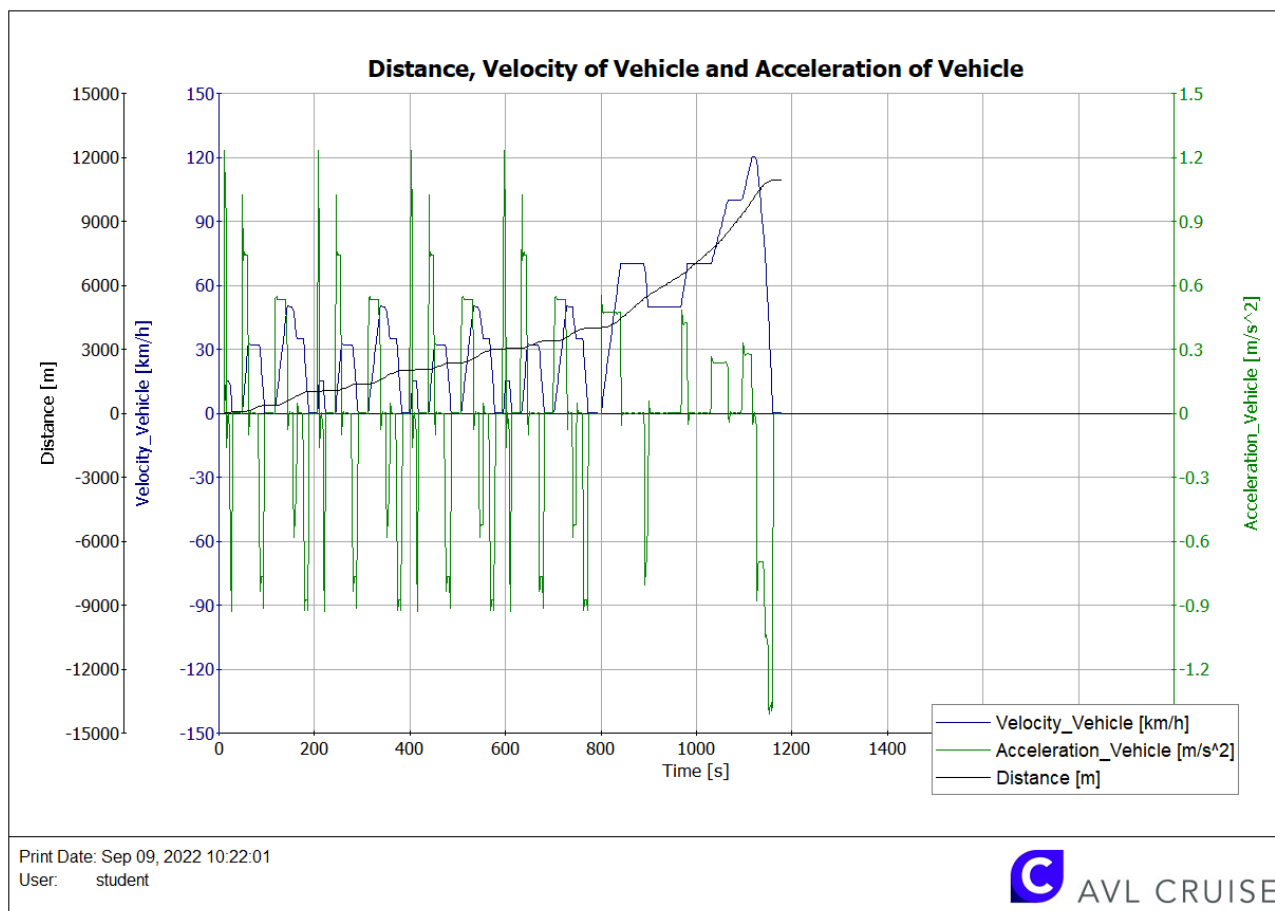
Unaprijed određeni ciklusi vožnje u programu AVL Cruise su:

- NEDC
- UDC
- EUDC
- Artemis
- FTP-75
- US-SC03
- Ja 10-15

U ovom proračunu obradit ćemo dvije rute. Prva ruta je NEDC koja pripada europskim ciklusima vožnje, a druga je FTP koja spada u američke cikluse vožnje.

6.2. NEDC-New European driving cycle

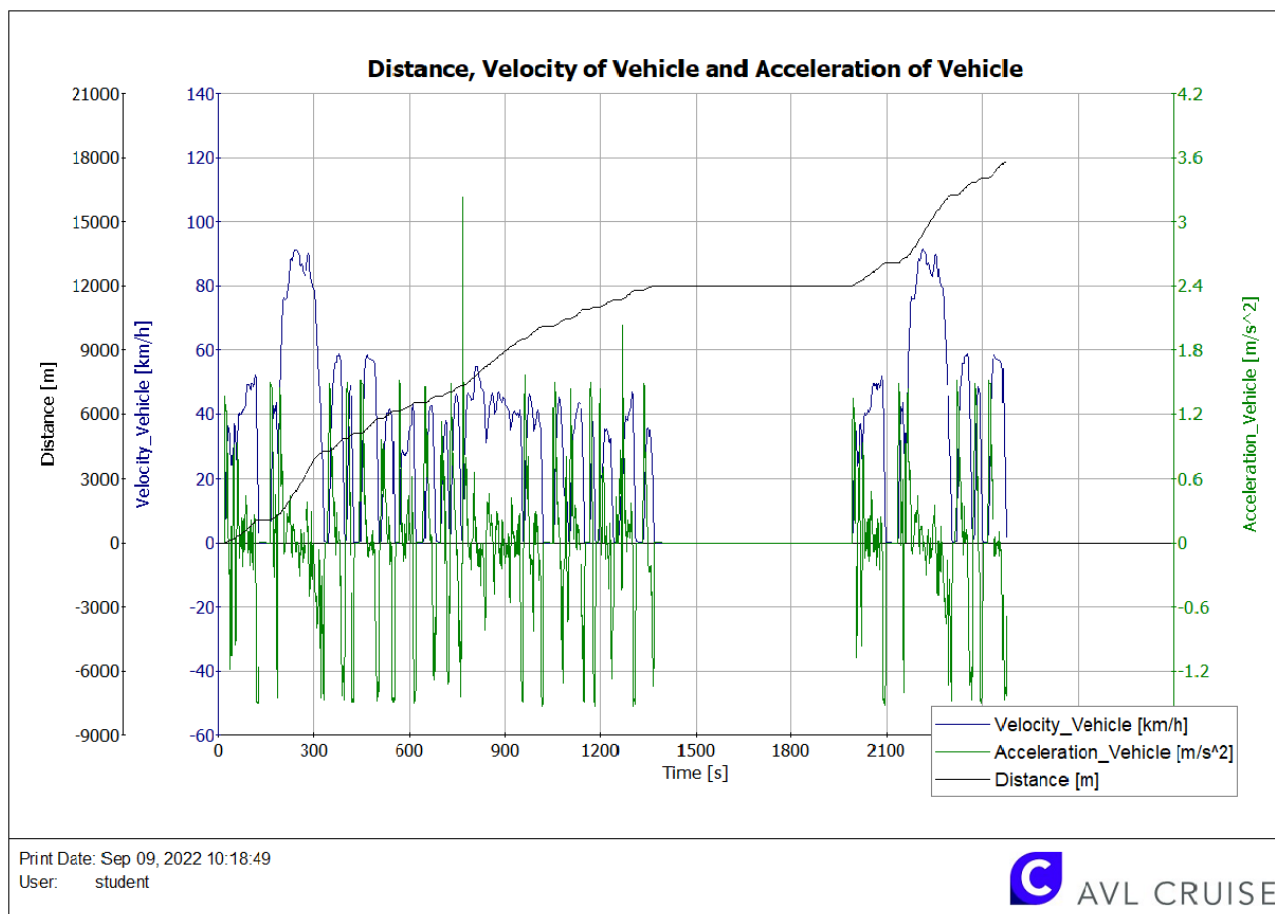
NEDC je europski ciklus vožnje koji prikazuje uobičajenu uporabu vozila u Europi. Ukupna udaljenost ciklusa iznosi 11023 metra unutar 1180 sekundi sa prosječnom brzinom od 33,6 km/h. Ciklus sadrži mnoge prednosti kao što su spora ubrzanja koja prikazuju realan način vožnje, te puno intervala vožnje u kojima je brzina konstanta. Međutim ciklus sadrži i negativnu strani poput rada vozila u praznom hodu zbog čega se radi na osmišljavanju novog ciklusa koji će realnije prikazivati stvarnu sliku vožnje.[7]



Slika 6.1. Prikaz ciklusa vožnje NEDC

6.3. FTP-75- Federal Test Procedure

FTP-75 predstavlja američki ciklus vožnje koji se sastoji od gradskog načina vožnje i vožnje po autocesti. Ciklus ima udaljenost od 17770 metara koju pređe u 1874 sekunde sa prosječnom brzinom vožnje od 34,1 km/h. [7]

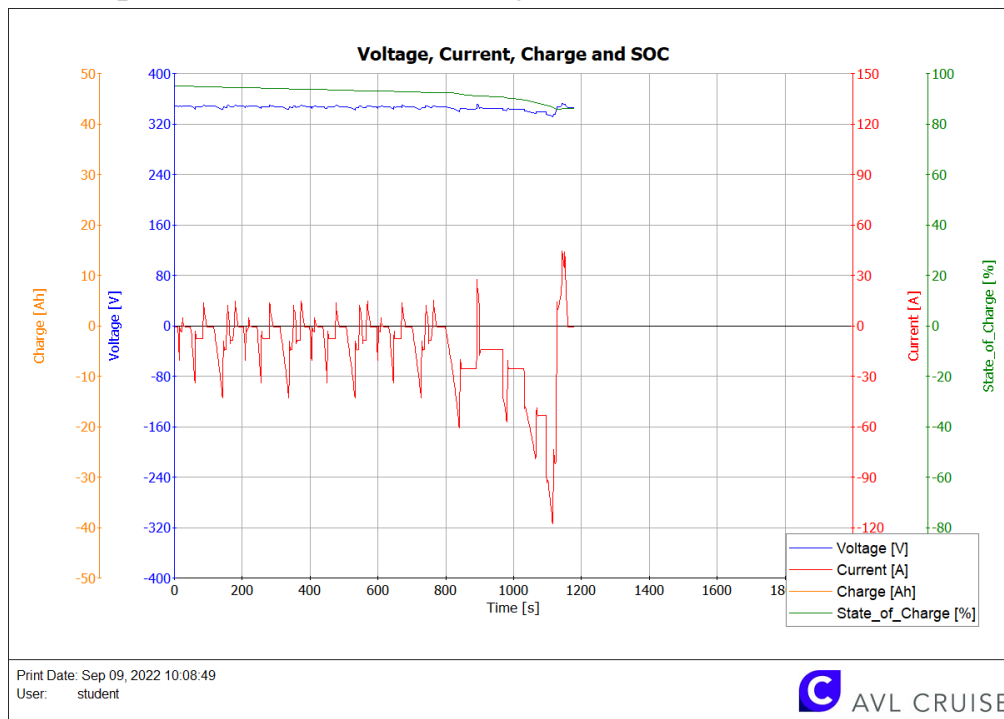


Slika 6.2. Prikaz ciklusa vožnje FTP-75

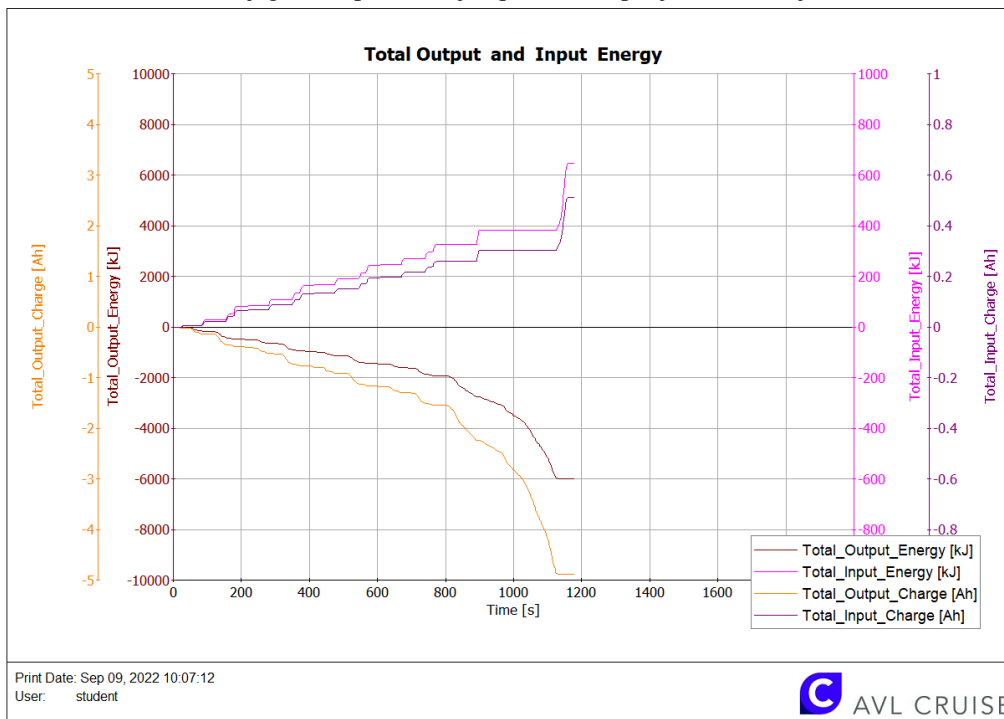
6.4. Rezultati proračuna

Proračun će se sastojati od rezultata koje smo dobili pokretanjem proračunskog zadatka CycleRun za dva različita ciklusa vožnje. Prikazat ćemo rezultate poput napunjenosti baterija, električnih snaga i gubitaka, učinkovitosti itd.

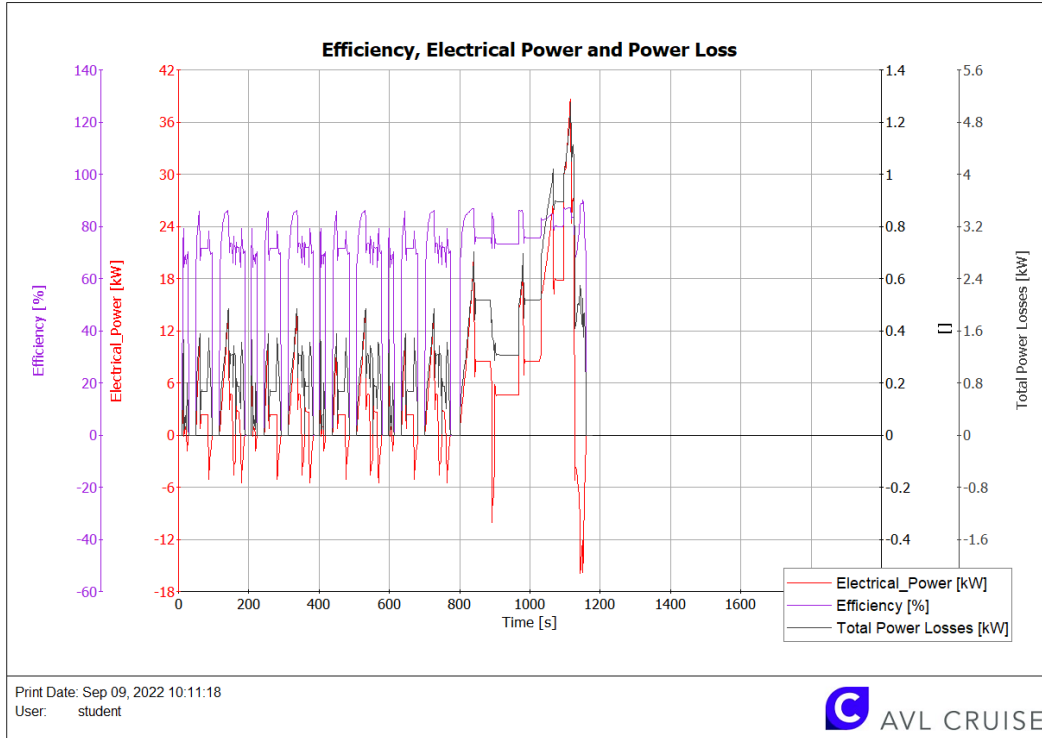
6.4.1. Rezultati proračuna za ciklus vožnje NEDC



Slika 6.3. Dijagram napona, struje i postotka napunjenosti baterije (NEDC)

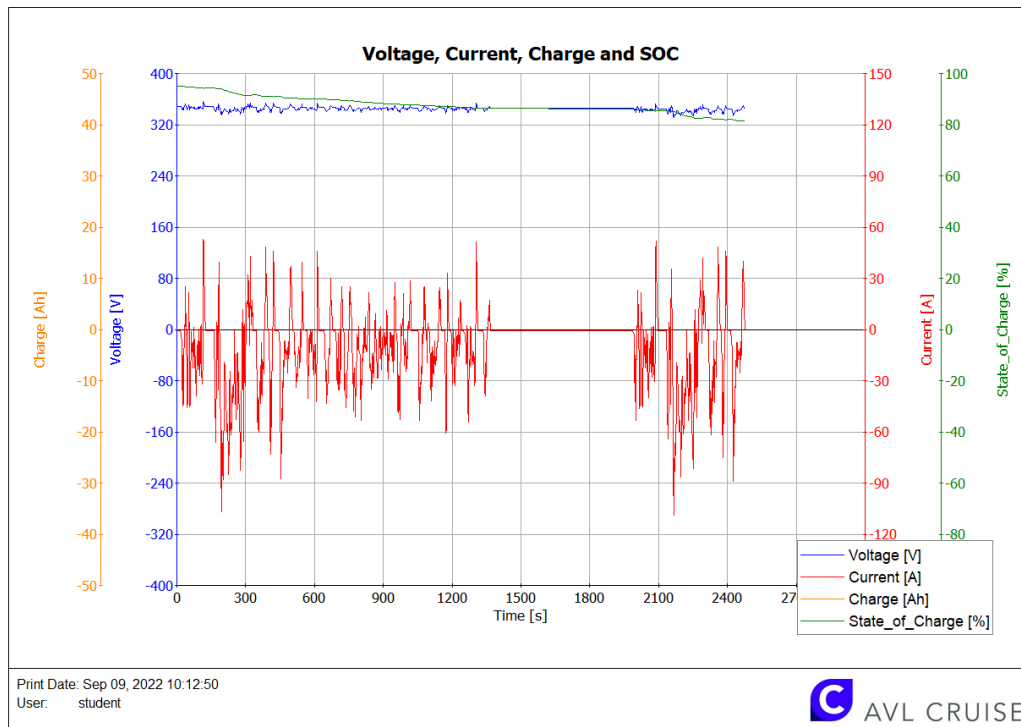


Slika 6.4. Dijagram ukupne izlazne i ulazne energije (NEDC)

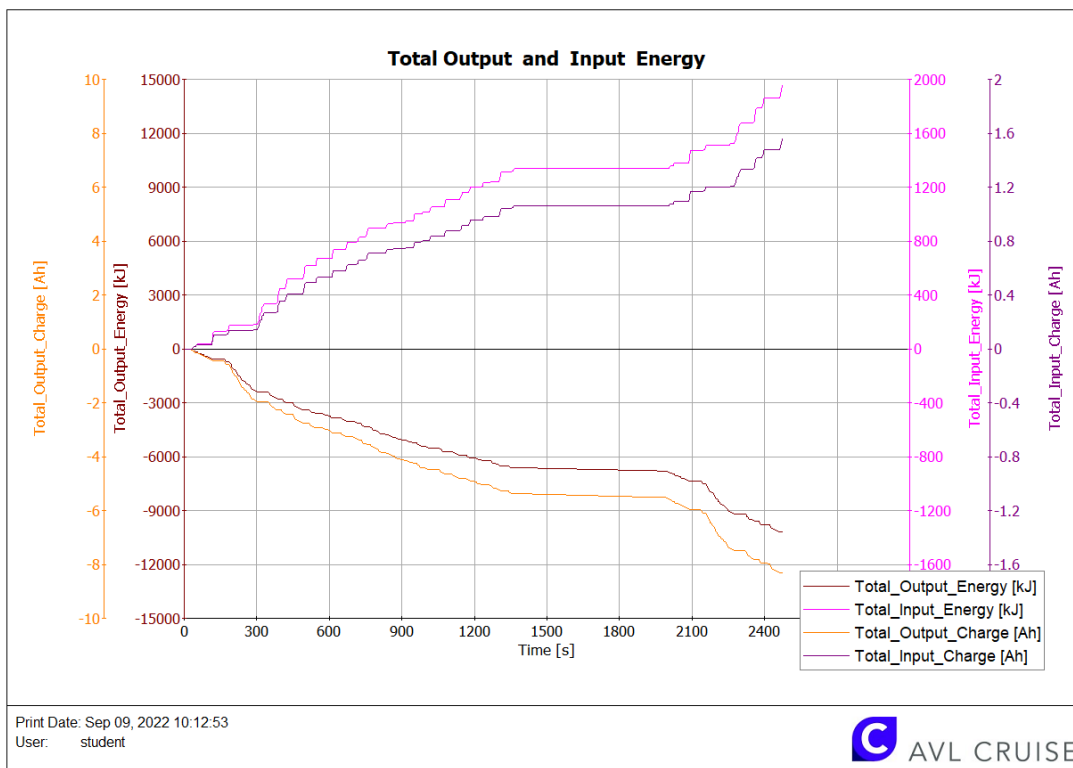


Slika 6.5. Dijagram učinkovitosti, električne snage i gubitka snage modela (NEDC)

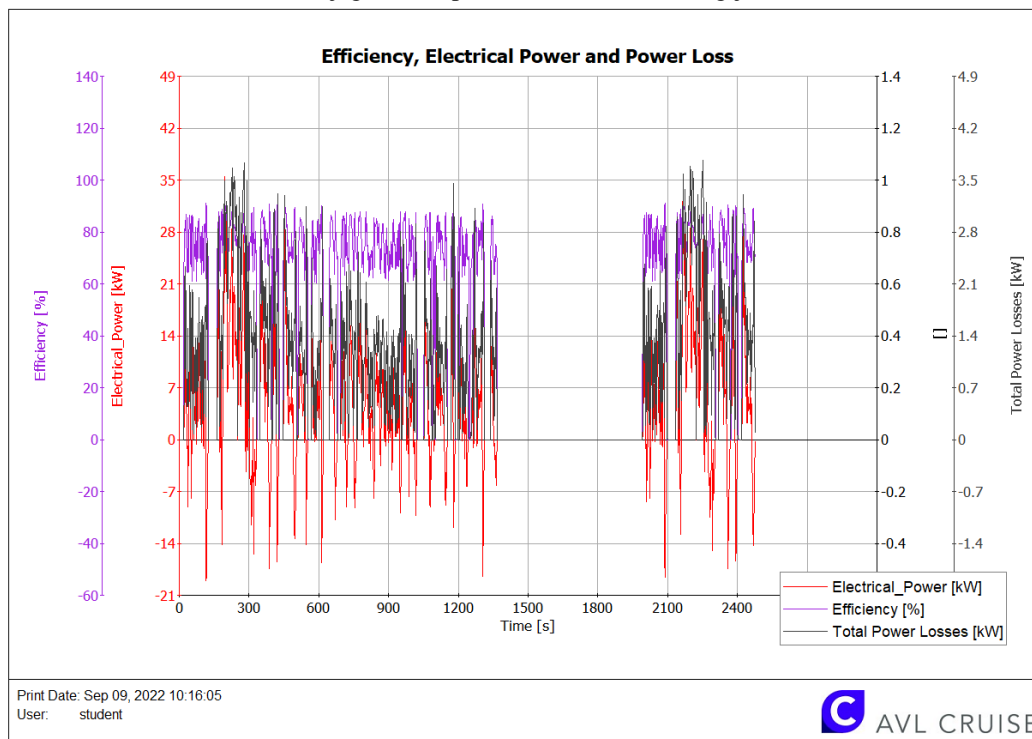
6.4.2. Rezultati proračuna za ciklus vožnje FTP-75



Slika 6.6. Dijagram napona, struje i postotka napunjenosti baterije (FTP-75)



Slika 6.7. Dijagram ukupne izlazne i ulazne energije (FTP-75)



Slika 6.8. Dijagram učinkovitosti, električne snage i gubitka snage modela (FTP-75)

6.5. Usporedba rezultata proračuna

Oba ciklusa predstavljaju slične načine gradske vožnje gdje u NEDC slučaju imamo česta stajanja u prometu, dok kod FTP-75 ciklusa imamo jednu veću stanku prilikom koje vozilo troši neznatno energije. Na dijagramima koje smo dobili iz proračuna uviđamo da je vozilo potrošilo više energije u ciklusu vožnje FTP-75 što je i logično zbog razlike u udaljenosti koje je vozilo prešlo u tom ciklusu. Promatrajući zadane rute primjećujemo oscilacije u dijagramima električne snage gdje je vozilo prilikom usporavanja nadopunjavalo svoju bateriju kao što je predviđeno C-kodom kojeg smo naveli unutar funkcije E-Drive. Postotak baterije s kojim smo završili NEDC ciklus vožnje iznosi 87%, dok je taj postotak kod FTP-75 ciklusa neznatno manji i iznosi 82%.

7. ZAKLJUČAK

Program AVL Cruise je alat koji se koristi za izradu raznih modela i vozila i prije njihovog ostvarivanja. Pruža mogućnost proračuna i provjere ponašanja prilikom različitih uvjeta koji se mogu dogoditi u stvarnom svijetu. Njegova velika prednost je što daje vrlo precizne proračune zbog čega se koristi i prilikom razvoja modela što znatno smanjuje vrijeme i troškove za njihovu izradu.

U ovom radu objasnili smo upotrebu programa od početne do završne faze modeliranja na primjeru električnog vozila. Prikazali smo i objasnili upotrebu komponenti i parametara potrebnih za samo modeliranje vozila, a zatim i odradili proces povezivanja samih komponenti za odrađivanje proračuna. Zadatak ovog rada je ujedno bio i prikazati proračun potrošnje energije električnog vozila. Proračun smo odradili na dva vozna ciklusa koja predstavljaju svakodnevnu gradsku vožnju ljudi u različitim dijelovima svijeta gdje smo ujedno i usporedili rezultate.

8. SAŽETAK

Dizajn laboratorijskog priručnika interaktivnog sučelja u AVL Cruise za modeliranje i provedbu simulacija električnih vozila

Suvremena vozila imaju vrlo složene sustave upravljanja koji zahtijevaju međusobnu komunikaciju, prijenos mjernih i upravljačkih signala u realnom vremenu da bi se osiguralo upravljanje u dinamičnom okruženju vozila. AVL Cruise je programski alat koji modeliranje i simulaciju pogona vozila u laboratorijskom okruženju od početne faze izrade koncepta sve do završne obrade modela. Pri tome program podržava različite modele od čisto električnih i strojarskih, pa do interaktivnih mehatroničkih sustava.

U ovom radu potrebno je temeljne upute o pripremi ALV Cruise laboratorijskog razvojnog sustava za simulaciju hibridnih pogona vozila u cilju provođenja različitih analiza rada pojedinih podsustava.

9. ABSTRACT

Design of the laboratory manual of the interactive interface in AVL Cruise for modeling and implementation of simulations of electric vehicles

Modern vehicles have very complex control systems that require communication with each other, real-time transmission of measuring and control signals to ensure control in a dynamic vehicle environment. AVL Cruise is a software tool that models and simulations of vehicle propulsion in a laboratory environment from the initial stage of concept design all the way to the final processing of the model. In doing so, the program supports various models from purely electric and mechanical, to interactive mechatronic systems.

In this paper, basic instructions on the preparation of the ALV Cruise laboratory development system for simulation of hybrid vehicle drives are required in order to carry out various analyses of the operation of individual subsystems.

LITERATURA

- [1] M. Ehsani, Y. Gao, S. Longo, K. Ebrahimi, „Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles“, CRC Press, 2018. (20.5.2022.)
- [2] K. Parajuly, D. Ternald, R. Kuehr, „The Future of Electric Vehicles and Material Resources: A Foresight Brief“, UNU/UNITAR - SCYCLE (Bonn) & UNEP-IETC (Osaka), 2020. (20.5.2022.)
- [3] <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/> (5.6.2022.)
- [4] AVL Cruise: „Vehicle System and Driveline Analysis“, <http://www.avl.com>, 2009., dostupno na: <https://www.avl.com/documents/10138/1108091/AVL+CRUISE+Product+Description.pdf> (12.6.2022.)
- [5] AVL Cruise-Program (20.6.2022.)
- [6] B. Ovidiu Varga, F. Maraisu, D. Moldovanu, C. Iclodean , „Electric and Plug-In Hybrid Vehicles-Advanced Simulation Methodologies“, Springer Internation Publishing, 2015. (20.6.2022.)
- [7] <http://www.car-engineer.com/> (25.6.2022.)