Modeliranje i simulacija električnog pogona dostavnog vozila

Perlić, Domagoj

Undergraduate thesis / Završni rad

2014

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:244831

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-27**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAVRŠNI RAD

Domagoj Perlić

Zagreb, 2014.

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada:

Prof. dr. sc. Joško Deur

Domagoj Perlić

Zagreb, 2014.

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet strojarstva i brodogradnje

IZJAVA

Pod punom moralnom odgovornošću izjavljujem da sam ovaj završni rad izradio samostalno koristeći navedenu literaturu i znanje stečeno na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, Sveučilišta u Zagrebu.

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Jošku Deuru, voditelju rada na iskazanom povjerenju, vodstvu i korisnim sugestijama tijekom izrade ovog rada.

Također se zahvaljujem dipl. ing. Mihaelu Cipeku na korisnim diskusijama i stručnoj pomoći, te nadasve na savjetima za najbrži i najbolji put za izradu ovog rada.

Na kraju bih se zahvalio i svojoj obitelji koja mi je tokom studiranja bili velika podrška, te im zahvaljujem na iskazanom povjerenju.

Zagreb, 2014.

Tekst zadatka

Sažetak

U ovom radu opisano je konvencionalno dostavno vozilo tvrtke MAN. Prema tom konvencionalnom dostavnom vozilu modelirano je električno dostavno vozilo koje bi bilo adekvatna zamjena. Potom je opisana pogonska struktura električnog dostavnog vozila, te su odabrane i dimenzionirane pojedine komponente pogona. Nadalje, postavljeni su matematički modeli transmisije i baterije. Zatim su postavljeni simulacijski modeli komponenti pogona u programskom okruženju MATLAB Simulink, te su ti modeli integrirani u jedan cjelokupni model električnog vozila. Na posljetku je provedena računalna simulacija ponašanja vozila sa razne generirane sintetičke vozne cikluse.

Sadržaj

1 UVOD ... 1
2 KONVENCIONALNO DOSTAVNO VOZILO ... 3
2.1 OPIS VOZILA ... 3
2.2 PARAMETRI POGONA ... 4
2.3 OPIS UZDUŽNE DINAMIKE DOSTAVNOG VOZILA ... 5
2.3.1 Sila otpora kotrljanja ... 6
2.3.2 Sila aerodinamičnog otpora ... 6
2.3.3 Sila gravitacijske komponente na kosini ... 6
2.3.4 Sila akceleracije ... 7
2.3.5 Pogonska sila, moment i snaga ... 7
2.4 VOŽNJA DOSTAVNIM VOZILOM ... 7
2.4.1 Prikupljanje podataka ... 7
2.4.2 Sintetički vozni ciklusi ... 8
3 POGON DOSTAVNOG ELEKTRIČNOG VOZILA ... 12
3.1 POGONSKA STRUKTURA ... 12
3.1.1 Električni motor/generator ... 12
3.1.2 Baterija ... 14
3.1.3 Transmisija ... 16
4 MODELIRANJE ... 19
4.1 MATEMATIČKI MODEL TRANSMISIJE I ODABIRA STUPNJA PRIJENOSA ... 19
4.2 MATEMATIČKI MODEL BATERIJE ... 21
5 DIMENZIONIRANJE I IMPLEMENTACIJA POGONA VOZILA ... 23
5.1 PRELIMINARNI ODABIR BATERIJE ... 23
5.2 ODREĐIVANJE MASE ELEKTRIČNOG DOSTAVNOG VOZILA ... 25
5.3 SIMULACIJSKI MODEL ELEKTRIČNOG POGONA VOZILA ... 25
5.3.1 Podmodel transmisije ... 26
5.3.2 Podmodel motora/generatora ... 26
5.3.3 Podmodel baterije ... 27
6 SIMULACIJSKI REZULTATI ... 29
6.1 MAKSIMALNO OPTEREĆENJE VOZILA ... 29

6.2 RAZLIČITO OPTEREĆENJE VOZILA 35
6.3 DVOSTRUKO SNAŽNIJA BATERIJA 37
7 ZAKLJUČAK 38
8 PRILOG 39
8.1 INICIJALIZACIJSKA DATOTEKA 39
8.2 ODREĐIVANJE GRANICE STUPNJEVA PRIJENOSA 40
8.3 PUNJENJE BATERIJE PUNJAČEM 41
8.4 UZDUŽNA DINAMIKA STACIONARNE VOŽNJE 42
8.5 RADNE TOČKE POGONA 43
Literatura 46

Popis slika

Slika 2. 1: Dostavno vozilo MAN TGM 15.240 3
Slika 2. 2: Karakteristike maksimalne snage i maksimalnog momenta pogonskog motora [3] 4
Slika 2. 3: Brzina i moment u ovisnosti o stupnju prijenosa 5
Slika 2. 4: Sile koje djeluju na vozilo na kosini [6] 5
Slika 2. 5: Koordinate odredišta različitih klastera voznih ciklusa [4] 8
Slika 2. 6: Sintetički ciklus trajanja 3,81 h (međugradska vožnja): Brzina a), Put b), Moment na kotačima c), Energija na kotačima d) 9
Slika 2. 7: Sintetički ciklus trajanja 6,04 h (vožnja autoputom): Brzina a), Put b), Moment na kotačima c), Energija na kotačima d) 9
Slika 2. 8: Sintetički ciklus trajanja 3,73 h (međugradska vožnja): Brzina a), Put b), Moment na kotačima c), Energija na kotačima d) 10
Slika 2. 9: Sintetički ciklus trajanja 1,8 h (vožnja širom okolicom grada): Brzina a), Put b), Moment na kotačima c), Energija na kotačima d) 10
Slika 2. 10: Sintetički ciklus trajanja 1,06 h (vožnja unutar grada): Brzina a), Put b), Moment na kotačima c), Energija na kotačima d) 11

Slika 3. 1: Shema pogona EV 12
Slika 3. 2: ECO Electric AF – 230 13
Slika 3. 3: Momentna karakteristika i karakteristika korisnosti motora/generatora EVO Electric AF – 230 13
Slika 3. 4: Baterija [9] 14
Slika 3. 5: U_{OC} Karakteristika baterije [11] 16
Slika 3. 6: 2 – stupanjska transmisija [12] 16
Slika 3. 7: Punjač 18

Slika 4. 1: 2 – stupanjska transmisija 20
Slika 4. 2: Podijeljeno zajedničko područje 21
Slika 4. 3: Pojednostavljeni shematski prikaz baterije 22

Slika 5. 1: Pojednostavljeni model vozila 23
Slika 5. 2: Simulink model električnog dostavnog vozila 25
Slika 5. 3: Simulink podmodel transmisije 26
Slika 5. 4: Simulink podmodel motora/generatora 27
Slika 5. 5: Simulink podmodel baterije [11] 28

Slika 6. 1: Simulacijski rezultati ciklusa trajanja 1.06 h 30
Slika 6. 2: Simulacijski rezultati ciklusa trajanja 3.73 h 31
Slika 6. 3: Simulacijski rezultati ciklusa trajanja 3.81 h 32
Slika 6. 4: Simulacijski rezultati ciklusa trajanja 1.8 h 33

Slika 6. 5: Simulacijski rezultati ciklusa trajanja 6.04 h 34
Slika 6. 6: Prijeđeni put za opterećenje: 0 kg a), 2000 kg b), 4000 kg c), 6000 kg d) 35
Slika 6. 7: Ovisnost prijeđenog puta o opterećenju vozila 36
Slika 6. 8: Simulacijski rezultati ciklusa trajanja 3.81 h sa dvostruko snažnijom baterijom ... 37

Slika 8. 1: Inicijalizacijska datoteka 39
Slika 8. 2: Određivanje granice stupnjeva prijenosa 40
Slika 8. 3: Simulink model baterije s punjačem 41
Slika 8. 4: Ovisnost momenta o brzini i kutu nagiba podloge 42
Slika 8. 5: Ovisnost snage o brzini i kutu nagiba podloge 42
Slika 8. 6: Radne točke za sintetički ciklus trajanja 1.06 h 43
Slika 8. 7: Radne točke za sintetički ciklus trajanja 3.73 h 44
Slika 8. 8: Radne točke za sintetički ciklus trajanja 3.81 h 44
Slika 8. 9: Radne točke za sintetički ciklus trajanja 1.8 h 45
Slika 8. 10: Radne točke za sintetički ciklus trajanja 6.04 h 45

Popis tablica

Tablica 1: Parametri pogona MAN TGM 15.240 4
Tablica 2: Neke karakteristike određenih tipova baterija 15
Tablica 3: Ostale karakteristike litij – ion baterije 15
Tablica 4: Tipovi punjača i svojstva 17
Tablica 5: Energija i kapacitet baterije za vozne cikluse 24
Tablica 6: Mase pojedinih tipova baterija energije 120 kWh 24
Tablica 7: Određivanje mase vozila 25

Popis oznaka

Oznaka	Opis	Jedinica
a	Akceleracija vozila	m/s^2
A_f	Prednja površina vozila	m^2
C_d	Koeficijent aerodinamičkog otpora	-
E_{bat}	Energija baterije	J
F_a	Sila akceleracije	N
F_{aero}	Sila aerodinamičnog otpora	N
F_k	Sila otpora kosine	N
F_{kot}	Sila otpora kotrljanja	N
F_{pog}	Pogonska sila	N
g	Akceleracija slobodnog pada	m/s^2
$h_1..h_{12}$	Prijenosni omjeri višestepene automatske transmisije	-
i	Struja (baterije)	A
i_o	Prijenosni omjer izlazne reduckije	-
K	Konstanta pravca koji odjeljuje stupnjeve prijenosa	-
m	Masa vozila	kg
m_t	Nosivost	kg
m_v	Ukupna masa	kg
m_{vo}	Masa praznog vozila	kg
P_{bat}	Snaga baterije	W
P_m	Snaga motora	W
P_{pog}	Snaga pogona	W
Q_{max}	Kapacitet baterije	C
R	Otpor (baterije)	Ω
r	Efektivni polumjer kotača	m
SOC	Stanje napunjenosti baterije	%

t	Vrijeme	s
U_{OC}	Napon baterije	V
V_f	Kapacitet spremnika	m^3
v_{max}	Maksimalna brzina vozila	m/s
v_v	Brzina vozila	m/s
α	Kut nagiba kosine	°
$\eta_{1\text{-}2}$	Korisnosti prvog, odnosno drugog stupnja prijenosa	%
η_m	Korisnost motora	%
μ_{kot}	Koeficijent trenja kotrljanja	-
ρ_{zr}	Gustoća zraka	kg/m^3
τ'	Moment dobiven množenjem brzine kotača sa K	Nm
τ_d	Moment diferencijala	Nm
τ_{kot}	Moment na kotačima	Nm
τ_m	Moment motora	Nm
ω_d	Kutna brzina diferencijala	rad/s
ω_m	Kutna brzina motora	rad/s
ω_{kot}	Kutna brzina kotača	rad/s

Popis kratica

Oznaka	Opis
DC	Istosmjerna struja
EV	Vozilo sa električnim pogonom
ICE	Motor s unutarnjim izgaranjem

1 UVOD

Električni pogonjena vozila danas sve više zamjenjuju motore sa unutarnjim izgaranjem. To se događa prvenstveno jer kod njih nema emisije štetnih plinova koji zagađuju atmosferu, a i zato jer su dosta tiša za razliku od vozila sa ICE. Također, zamjena konvencionalnih vozila električnima smanjuje potrošnju fosilnih goriva. Svoju učinkovitost ponajprije pokazuju na vožnji koja zahtjeva češća pokretanja i zaustavljanja što je karakteristično za gradsku vožnju.

Električni pogon sadrži električne strojeve, prijenosnike snage, akumulatore električne energije, senzore i upravljačku jedinicu. To je složeni mehatronički sustav.

Cilj ovog rada je modeliranje dostavnog vozila sa jednostavnom električnom pogonskom strukturom. Vozilo bi trebalo biti adekvatna zamjena vozila sa ICE, tj. trebalo bi imati iste ili slične performanse poput brzine i savladavanja maksimalnog nagiba.

Općenito gledajući, kakvo je gledište šire populacije na odabir pri kupovini između EV i vozila sa ICE? Nažalost, zasad je još isplativije odabrati vozilo sa ICE zbog cijene i nedostupnosti javne i privatne infrastrukture za punjenje, pa se kupci češće odlučuju za vozilo sa ICE. No, države sve više počinju ulagati u razvoj industrije EV, zatim, daju određenje porezne olakšice i subvencije kako bi se smanjila nabavna cijena EV. Glavna problematična komponenta EV sa gledišta razlike u cijeni između ova dva tipa vozila je baterija. Većina tekućih troškova kod EV pripisuje se također bateriji zbog održavanja i potrebne zamjene, a ostatak tekućih troškova održavanja je jako nizak. Cijena baterije u 2007. godini bila je 1300 $/kWh, a već 2012. godine cijena je pala na 300 $/kWh, a najavljuje se da će cijena do 2022. godine pasti na svega 125 $/kWh (Cijene su izražene u SAD $). [1] Tvrtka Hydro Quebeck iz Kanade navodi kako je cijena kWh 0.0812$, a cijena litre goriva 1.36$ (Cijene izražene u Kanadskim $). [2] Dostavno vozilo sa ICE troši na 100 km otprilike 20 L goriva. Cijena goriva za 100 km tako bi bila 27.2 $. Kako dostavno EV troši otprilike 220 kWh energije na 100 km, cijena električne energije za prijeđenih 100 km je 17.8 $. Možemo vidjeti da je za otprilike 10 $/100 km isplativije dostavno EV nego dostavno vozilo sa ICE.

U **drugom poglavlju** opisano je dostavno vozilo sa ICE, opisana je uzdužna dinamika vozila, te je prikazana karakteristika dostavne vožnje.

U **trećem poglavlju** opisana je pogonska struktura dostavnog EV i opisane su komponente pogona.

U **četvrtom poglavlju** izveden je matematički model transmisije i baterije.

U **petom poglavlju** prikazan je odabir baterije, određivanje mase dostavnog EV, te implementacija matematičkog modela pogona dostavnog EV u programskom paketu MATLAB Simulink.

U **šestom poglavlju** prikazani su simulacijski rezultati ponašanja dostavnog vozila za širok raspon postojećih voznih ciklusa.

2 KONVENCIONALNO DOSTAVNO VOZILO

U ovom poglavlju opisano je dostavno vozilo tvrtke MAN, dani su parametri pogona, opisana je uzdužna dinamika vozila, te je prikazana karakteristika dostavne vožnje.

2.1 OPIS VOZILA

Dostavno vozilo je kamion tvrtke MAN, model TGM 15.240 4x2 BL. Pokreće ga dieselov 6 – cilindrični motor radnog obujma od 6,9 L i snage 176 kW čije se radne karakteristike mogu vidjeti na slici 2.2. Mjenjač je automatski sa 12 stupnjeva prijenosa što je vidljivo na slici 2.3.

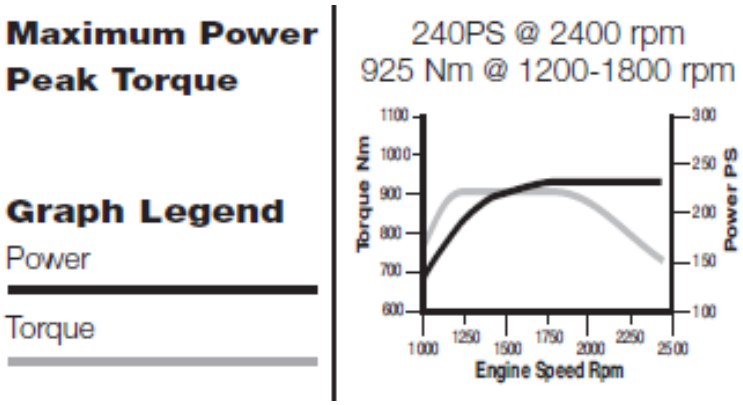
Slika 2. 1: Dostavno vozilo MAN TGM 15.240

Zadaća dostavnog vozila je dostavljanje dobara od određenih distribucijskih centara do određenih prodajnih centara unutar grada, ali i van grada.

2.2 PARAMETRI POGONA

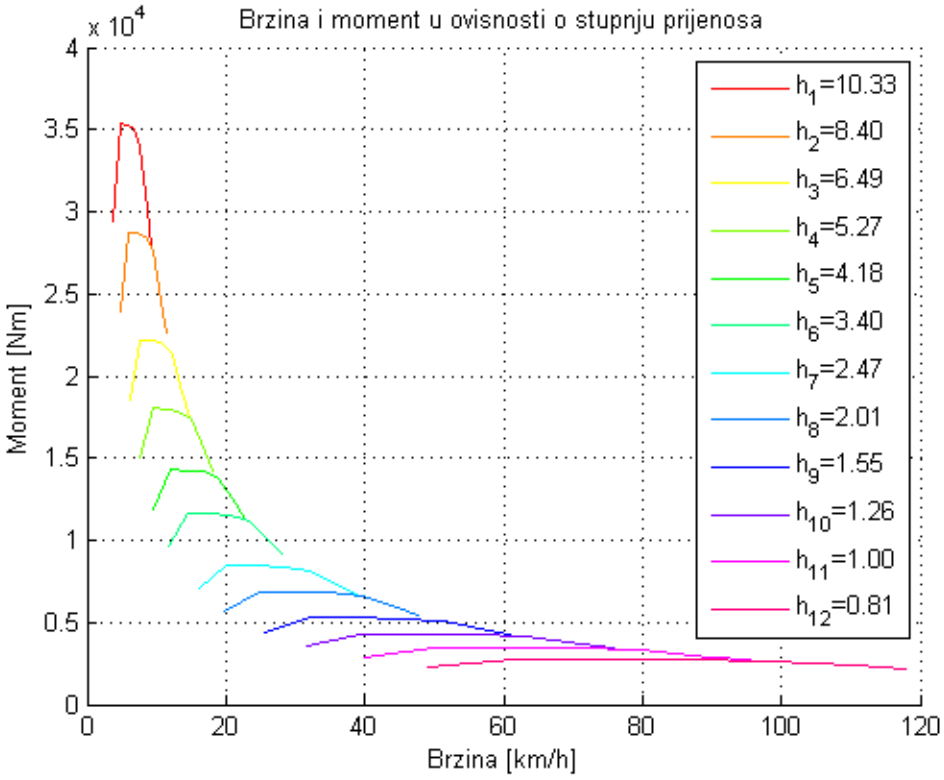
Tablica 1: Parametri pogona MAN TGM 15.240 [3], [5]

Parametar	Oznaka	Vrijednost	Mjerna jedinica
efektivni polumjer kotača	r	0,413	m
prijenosni omjer diferncijala	i_o	3,7	-
masa praznog vozila	m_{vo}	7860	kg
nosivost	m_t	7640	kg
ukupna masa	m_v	15500	kg
maksimalna brzina	v_{max}	25	m/s
prednja površina vozila	A_f	9,36	m^2
Kapacitet spremnika	V_f	0,2	m^3



Slika 2. 2: Karakteristike maksimalne snage i maksimalnog momenta pogonskog motora [3]

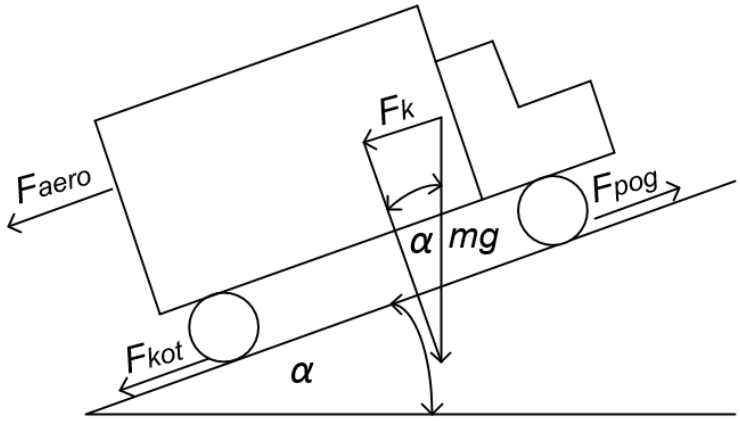
Na slici 2.3 može se vidjeti ovisnost momenta o brzini vozila za različite stupnjeve prijenosa.



Slika 2. 3: Brzina i moment u ovisnosti o stupnju prijenosa

2.3 OPIS UZDUŽNE DINAMIKE DOSTAVNOG VOZILA

Prvi korak pri modeliranju performansi vozila je postavljanje jednadžbe gibanja za potrebnu pogonsku silu koja omogućuje gibanje vozila. Sila pogona (F_{pog}) mora prevladati sljedeće otpore: otpor kotrljanja (F_{kot}), aerodinamički otpor (F_{aero}) i silu gravitacijske komponente na kosini (F_k) (Slika 2.4), te mora omogućiti akceleraciju za ubrzavanje vozila ili deakceleraciju za kočenje.



Slika 2. 4: Sile koje djeluju na vozilo na kosini [6]

2.3.1 Sila otpora kotrljanja

Sila kotrljanja nastaje zbog trenja između gume vozila i nagazne površine. Približno je konstantne vrijednosti i proporcionalna je masi vozila. Jednadžba za silu otpora kotrljanja je [6]:

$$F_{kot} = \mu_{kot} mg \cos(\alpha) \tag{2.1}$$

Koeficijent trenja kotrljanja (μ_{kot}) ovisi o tipu gume i tlaku u gumi, a vrijednost mu varira od 0,005 (za specijalan slučaj pogonske gume električnog vozila) do 0,015, a uobičajeno vrijednost varira od 0,01 do 0,015.[6] Za slučaj električnog dostavnog vozila modeliranog u ovom radu odabrana je vrijednost 0,012. Vrijednost akceleracije slobodnog pada (g) je 9,81 m/s^2.

2.3.2 Sila aerodinamičnog otpora

Nastaje zbog trenja vozila gibajući se kroz zrak. Funkcija je prednje strane vozila, oblika, dijelova koji strše poput retrovizora, spojlera i mnogih drugih faktora. Jednadžba za silu aerodinamičnog otpora je [6]:

$$F_{aero} = \frac{1}{2} \rho_{zr} A_f C_d v_v^2 \tag{2.2}$$

Koeficijent aerodinamičkog otpora (C_d) se može smanjiti dobrim konstruiranjem vozila. Za automobile mu je vrijednost 0,3, dok je za kamione znatno veće vrijednosti, negdje oko 0,7.[6] Odabrana je vrijednost od 0,63. Gustoća zraka (ρ_{zr}) varira sa njegovom temperaturom, nadmorskom visinom i vlažnosti. Za većinu slučajeva se uzima vrijednost od 1,225 kg/m^3.

2.3.3 Sila gravitacijske komponente na kosini

To je sila potrebna za pogonjenje vozila uz kosinu. To je jednostavno komponenta gravitacijske sile zbog mase vozila na kosini. Jednadžba sa silu kosine je [6]:

$$F_k = mg \sin(\alpha) \tag{2.3}$$

2.3.4 Sila akceleracije

Ako se brzina vozila mijenja, očito je da je potrebna određena sila da bi promijenila tu brzinu. Ta sila će omogućiti linearnu akceleraciju vozila. Jednadžba za silu akceleracije je dana drugim Newton-ovim zakonom, a glasi [6]:

$$F_a = ma \tag{2.4}$$

2.3.5 Pogonska sila, moment i snaga

Pogonska sila potrebna na kotačima za pogon vozila slijedi iz jednadžbe [6]:

$$F_{pog} = F_{kot} + F_{aero} + F_k + F_a \tag{2.5}$$

Ako se pogonska sila pomnoži sa efektivnim polumjerom kotača dobiva se pogonski moment na kotačima:

$$\tau_{kot} = F_{pog} r \tag{2.6}$$

Također se može dobiti i kutna brzina kotača:

$$\omega_{kot} = v_v / r \tag{2.7}$$

Snaga potrebna za pogon vozila jednaka je prema jednadžbi:

$$P_{pog} = F_{pog} v_v = \tau_{kot} \omega_{kot} \tag{2.8}$$

Za slučaj stacionarne vožnje dostavnog vozila pod punim opterećenjem prikazana je ovisnost pogonskog momenta, odnosno snage u ovisnosti o brzini vozila i kutu nagiba podloge (vidi prilog 8.4).

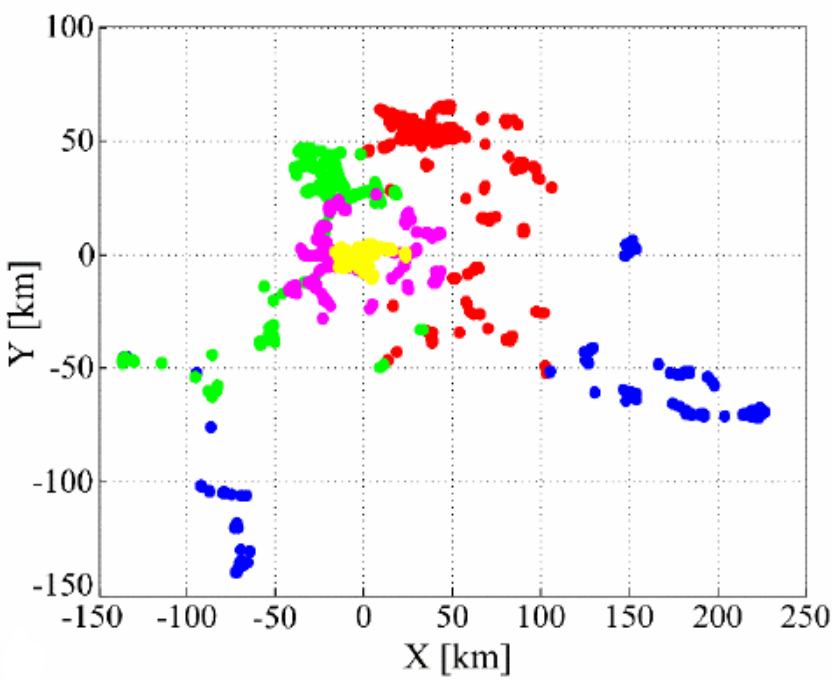
2.4 VOŽNJA DOSTAVNIM VOZILOM

2.4.1 Prikupljanje podataka

Kako bi se dobio uvid u vozne misije odabrano je deset dostavnih vozila kojima je ugrađen GPS/GPRS sustav te pomoću kojih je snimljen velik broj vožnji unutar tri mjeseca. Podaci koji su prikupljeni su sljedeći: identifikacijski broj vozila, vrijeme formata: datum : sati : minute : sekunde, geografska duljina i širina, nadmorska visina, brzina vozila, brzina vrtnje motora i potrošnja goriva. Statistička analiza prikupljenih podataka služi za daljnja istraživanja mogućih prednosti zamjene konvencionalnog vozila električnim vozilom. Vozni ciklusi snimljeni ovim vozilom poslužili su u svrhu sinteze malog broja sintetičkih voznih ciklusa. [4]

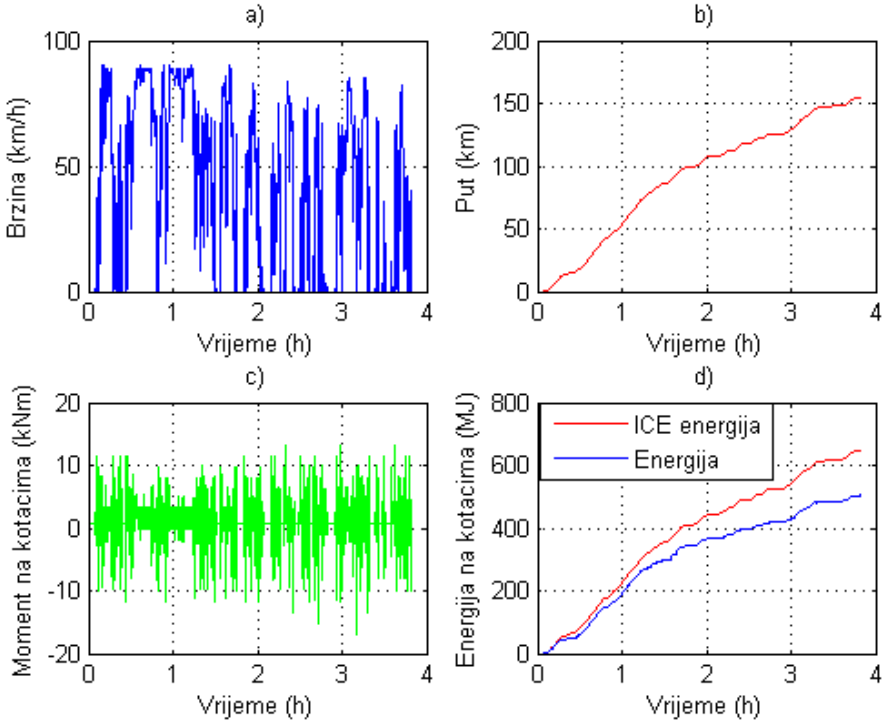
2.4.2 Sintetički vozni ciklusi

Sinteza je bazirana na diskretnoj metodologiji vjerojatnosti Markovljevih lanaca. Podijeljena je u tri koraka: grupiranje snimljenih voznih ciklusa, određivanje prijelazne matrice vjerojatnosti, te generiranja i određivanja valjanosti sintetičkih voznih ciklusa. Tako se dobije velik broj voznih ciklusa, a potom se metodom određivanja valjanosti odabiru konačni sintetički vozni ciklusi za pojedine grupe (klastere) što je prikazano na slici 2.5. Sintetički vozni ciklusi se odabiru tako da najbolje zamjenjuju snimljene cikluse po različitim statističkim svojstvima. Ciklusi, između ostalog, svoju korisnost pronalaze pri projektiranju EV, optimizaciji njegovih parametara, te pri provjeri strategija upravljanja.[4] U ovom radu ciklusi su poslužili pri odabiru zadovoljavajuće baterije i pri računalnoj simulaciji ponašanja EV.

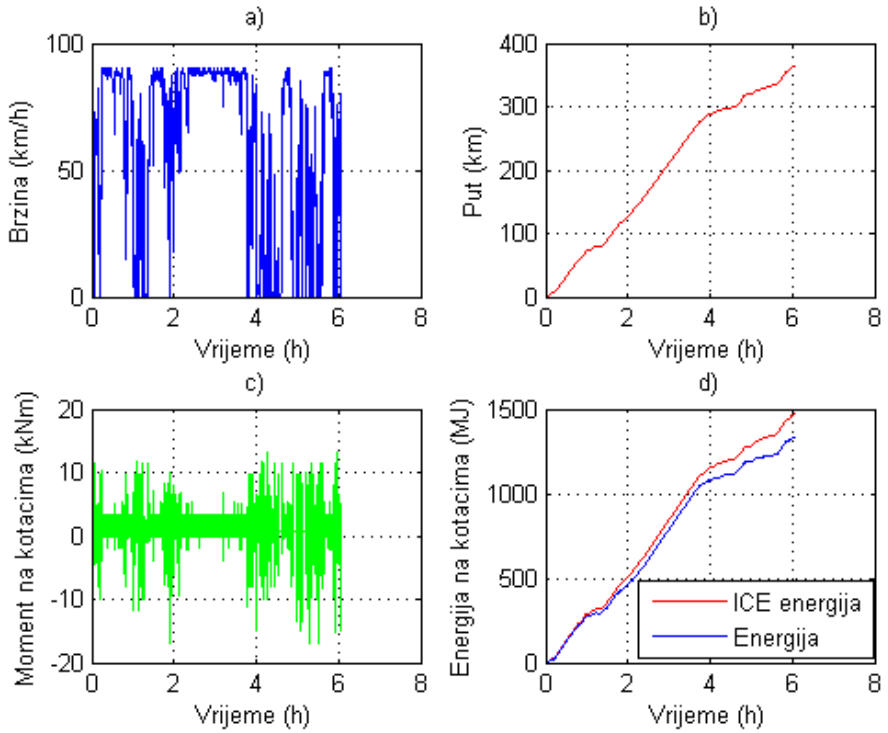


Slika 2. 5: Koordinate odredišta različitih klastera voznih ciklusa [4]

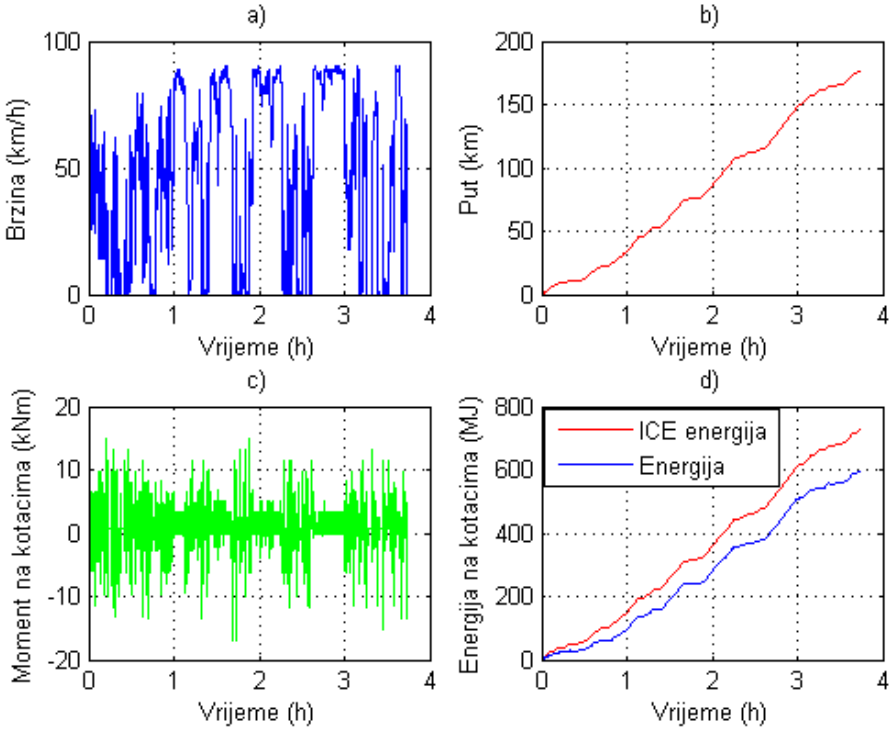
Na sljedećim slikama može se vidjeti pet sintetičkih ciklusa korištenih u radu. Na svakoj slici se može vidjeti sljedeće: pod a) je prikazana brzina u vremenu, b) je prijeđeni put za ciklus, c) predstavlja potreban moment na kotačima, tj. pogonski moment za vozilo pod punim opterećenjem, a na d) je prikazana potrebna energija ciklusa, te energija koju konvencionalno vozilo da na kotače za slučaj punog opterećenja vozila. Može se također gledati kao potencijal koji pružaju EV (u legendi Energija) s obzirom na potrošenu energiju ciklusa (u legendi ICE energija).



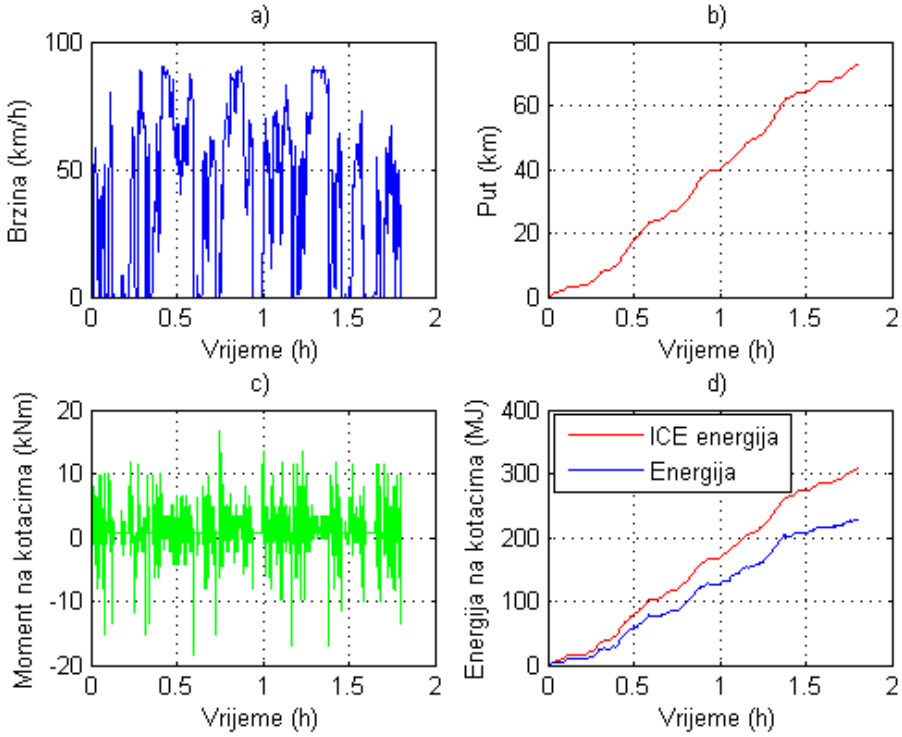
Slika 2. 6: Sintetički ciklus trajanja 3,81 h (međugradska vožnja): Brzina a), Put b), Moment na kotačima c), Energija d)



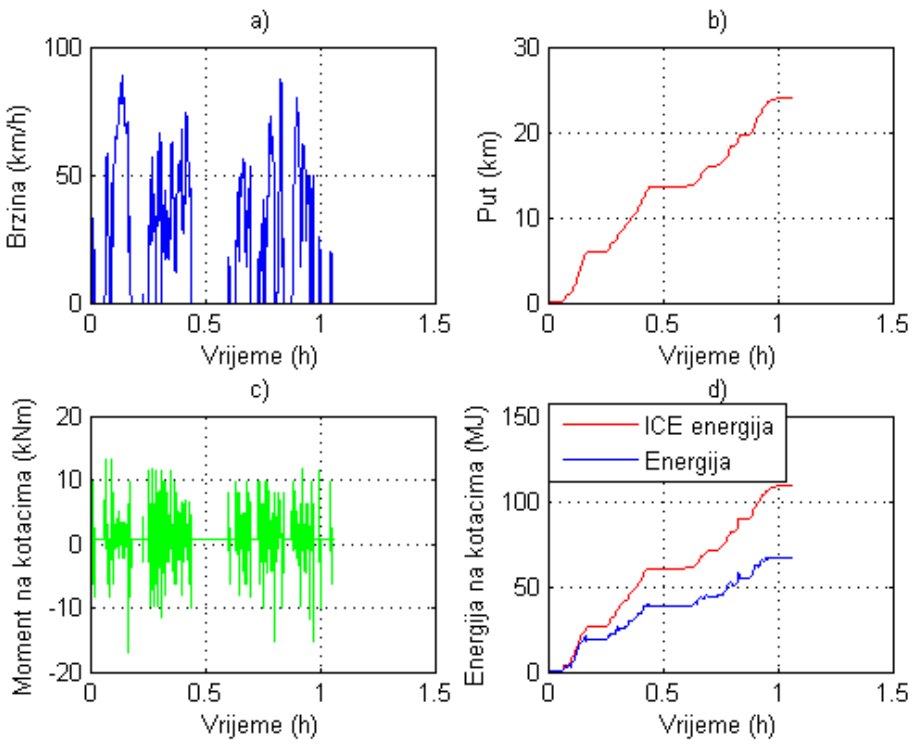
Slika 2. 7: Sintetički ciklus trajanja 6,04 h (vožnja autoputom): Brzina a), Put b), Moment na kotačima c), Energija d)



Slika 2. 8: Sintetički ciklus trajanja 3,73 h (međugradska vožnja): Brzina a), Put b), Moment na kotačima c), Energija d)



Slika 2. 9: Sintetički ciklus trajanja 1,8 h (vožnja širom okolicom grada): Brzina a), Put b), Moment na kotačima c), Energija d)



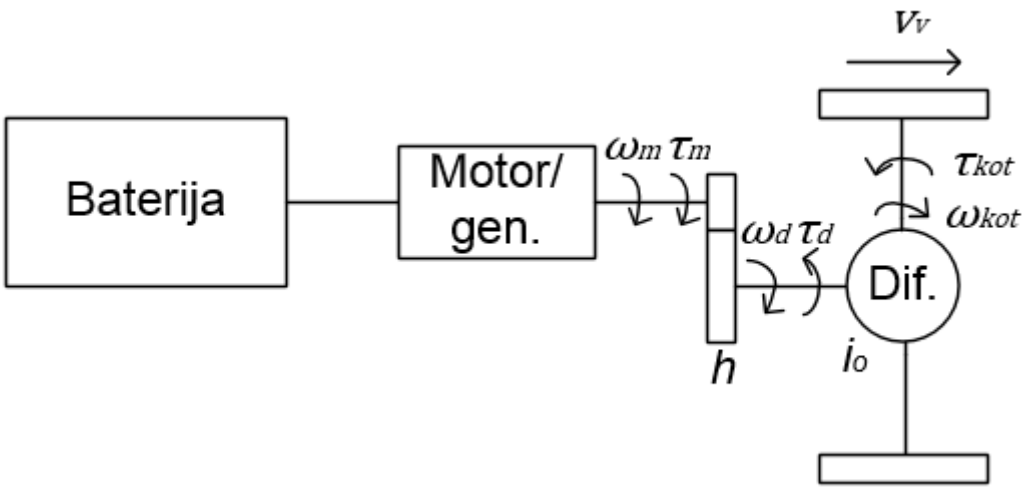
Slika 2. 10: Sintetički ciklus trajanja 1,06 h (vožnja unutar grada): Brzina a), Put b), Moment na kotačima c), Energija d)

3 POGON DOSTAVNOG ELEKTRIČNOG VOZILA

U ovom poglavlju opisana je pogonska struktura dostavnog EV. Potom su opisane komponente pogona i dane njihove osnovne karakteristike.

3.1 POGONSKA STRUKTURA

Pogonska struktura EV je vidljiva na sljedećoj slici 3.1. Vozilo se sastoji od električnog motora/generatora koji pretvara električnu energiju iz baterije u mehaničku, odnosno mehaničku energiju u električnu prilikom generatorskog kočenja. Električna baterija služi za pohranjivanje energije potrebne za pogon vozila, ali i za napajanje dodataka poput svjetala, klime, radija... Nadalje, na izlaz motora nadovezuje se transmisija sa dva stupnja prijenosa koja smanjuje kutnu brzinu. a povećava okretni moment. Na transmisiju se nadovezuje diferencijal koji je poluosovinama spojen sa kotačima.



Slika 3. 1: Shema pogona EV

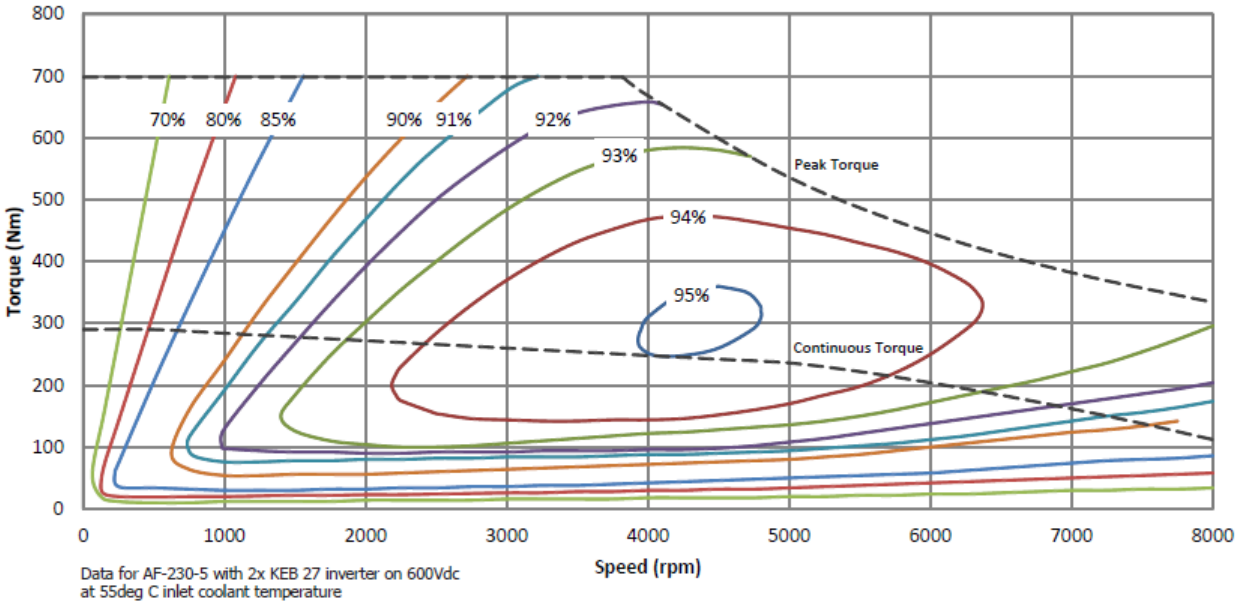
3.1.1 Električni motor/generator

Električni motor/generator je ključna komponenta EV. Pretvara električnu energiju direktno u mehaničku pomoću magnetskog polja. Maksimalni moment je funkcija brzine (Slika 3.3), s obzirom na veliki moment kod mirovanja puno je prikladniji za pokretanje vozila, daleko bolji od ICE iste snage. [7] Taj maksimalni moment također omogućuje EV bolju akceleraciju nego vozila sa ICE. Za pogon dostavnog vozila odabran je motor/generator tvrtke EVO Electric,

model AF – 230. Ovaj Motor/generator je odabran iz razloga što ima sličnu snagu kao i ICE, te je u proizvodnji.

Slika 3. 2: ECO Electric AF – 230

Ovaj tip motora/generatora kombinira visoke performanse sa malom masom i veličinom, idealno za pogon električnih vozila. Motor/generator je sa permanentnim magnetima baziran na tehnologiji sa aksijalnim tokom. Najveća brzina mu je 8000 okretaja po minuti, snaga 280 kW, a moment 700 Nm. Momentna karakteristika i karakteristika korisnosti motora/generatora može se vidjeti na slici 3.3:



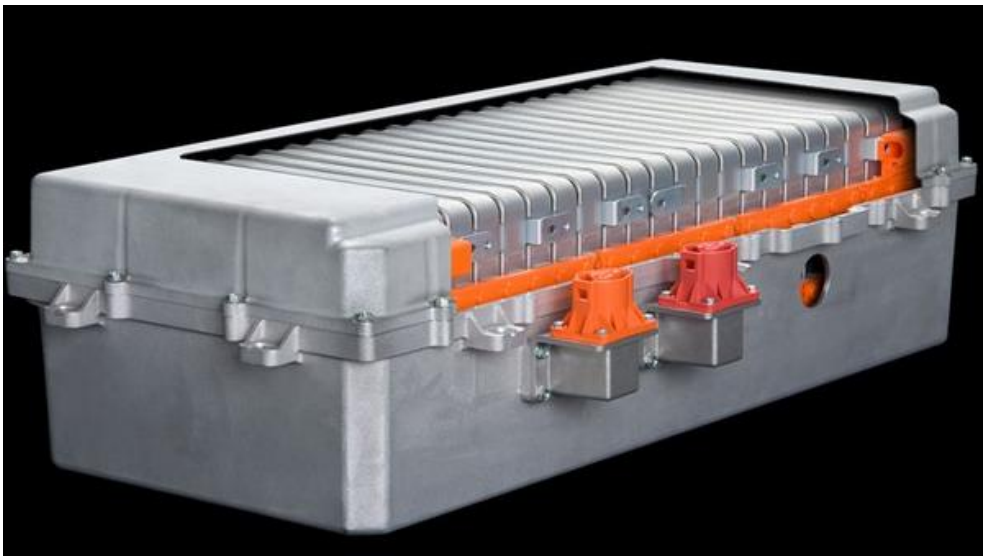
Slika 3. 3: Momentna karakteristika i karakteristika korisnosti motora/generatora EVO Electric AF – 230

Korisnost motora/generatora je vrlo visoka (najviša je 95.1 %), te se može kratkotrajno preopteretiti što je potrebno pri pokretanju vozila, posebice na uzbrdicama.

[8]

3.1.2 Baterija

Budući da se radi o potpunom električnom dostavnom vozilu, baterija je jedini izvor energije, te ima glavnu ulogu za domet, također je to komponenta sa najvišom cijenom, masom i volumenom. Baterija se sastoji od više električnih ćelija spojenih zajedno. Ćelije pretvaraju kemijsku energiju u električnu. Ćelija se sastoji od pozitivne i negativne elektrode spojene elektrolitom. Kemijska reakcija između elektroda i elektrolita generira istosmjernu struju. U slučaju punjivih baterija mijenjajući smjer struje kemijska reakcija teče u suprotnom smjeru. Postoji velik broj materijala i elektrolita čijom se kombinacijom može napraviti baterija. Međutim, samo relativno mali broj kombinacija je razvijen kao punjive električne baterije pogodne za korištenje u vozilima, a to su: olovo – kiselina, nikal – željezo, nikal – kadmij, nikal – metal hidrid, litij – polimer, litij – ion, natrij – sumpor, natrij – metal klorid, aluminij – zrak i cink - zrak. [6] Za bateriju električnog dostavnog vozila je odabrana litij – ion baterija (Slika 3.4). Odabrana je iz razloga što je ekološki prihvatljiva, ima dug vijek trajanja, najveću specifičnu snagu od ostalih konvencionalnih baterija, te vrlo veliku specifičnu energiju što je vidljivo u tablici 2.



Slika 3. 4: Baterija [9]

Tablica 2: Neke karakteristike određenih tipova baterija [6]

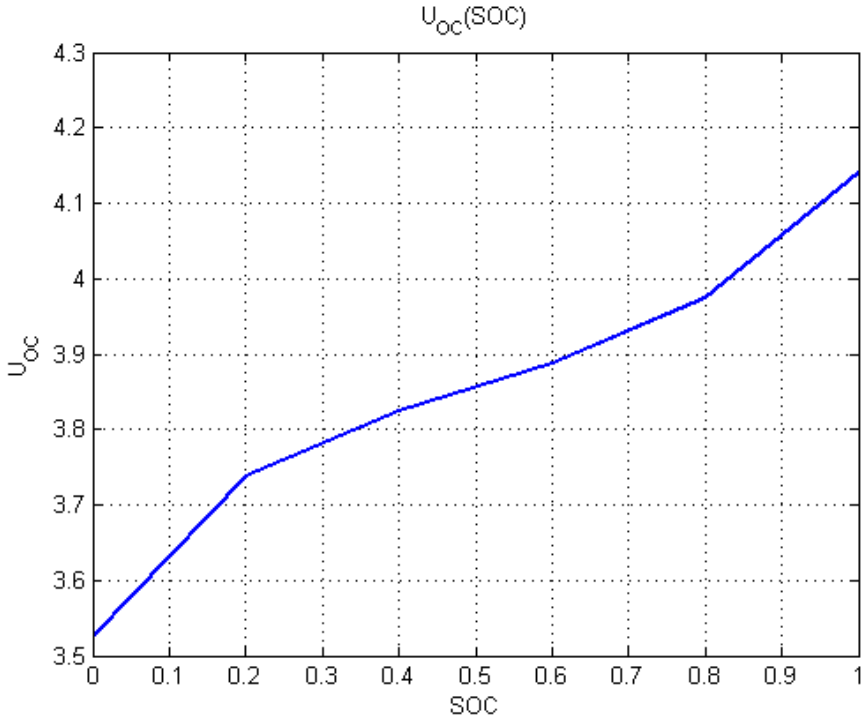
Tip baterije	Specifična energija [Wh/kg]	Specifična snaga [W/kg]	Nominalni napon ćelije [V]	Broj životnih ciklusa [-]
Olovo – kiselina	20 – 35	250	2	800
Nikal – kadmij	40 – 55	125	1.2	1200
Nikal – metal hidrid	65	200	1.2	1000
Natrij – sumpor	100	200	2	1000
Natrij – metal klorid	100	150	2	>1000
Litij – ion	90	300	3.5	>1000
Aluminij – zrak	225	10	1.4	>1000
Cink – zrak	230	105	1.2	>2000

U tablici 3 možemo vidjeti još neke karakteristike litij – ion baterije:

Tablica 3: Ostale karakteristike litij – ion baterije [6,10]

Parametar	Vrijednost		Mjerna jedinica
$R(\mathrm{sgn}(i))$	$i>0$	0,003622	Ω
	$i<0$	0,001754	
Kapacitet (ćelije)	2200		mAh
Gustoća energije	153		Wh/L
Vrijeme punjenja	2-3		h

U_{OC} karakteristika za jednu ćeliju baterije prikazana je na slici 3.5:



Slika 3. 5: U_{OC} Karakteristika baterije [11]

3.1.3 Transmisija

Slika 3. 6: 2 – stupanjska transmisija [12]

Prema karakteristici (Slika 3.3) pri niskim brzinama korisnost motora/generatora je mala. Kako se mora povući velika vrijednost struje, prema Ohm-ovom zakonu jako se povećava električni otpor, te se tako rasipa snaga u obliku topline. Stupnjevima prijenosa povećava se učinkovitost

motora/generatora. EV uglavnom imaju jedan stupanj prijenosa, ali za dotično dostavno vozilo je odabrana 2 – stupanjska transmisija i to iz razloga što prvim stupnjem prijenosa (h_1) treba povećati okretni moment motora da bi se mogao savladati uspon od 33%, a drugim stupnjem (h_2) treba reducirati brzinu motora tako da maksimalna brzina vozila bude 90 km/h.

3.1.4 Punjač

Sustav za punjenje ima dvije svrhe: punjenje baterija strujom određene jakosti koju baterija dopušta, te kontroliranje baterije kako bi se izbjegla moguća oštećenja prilikom procesa punjenja. Punjač šalje onoliko struje koliko je potrebno da se ne bi previše podigla temperatura baterije.[13] Općenito su podijeljeni prema tablici 4 ovisno o korištenoj opremi, snazi punjenja i koliko dugo je potrebno da bi se potpuno napunila baterija.

Tablica 4: Tipovi punjača i svojstva [14]

Tip punjača	Nivo 1 - kućanstva	Nivo 2 - poslovni	Nivo 3 - komercijalni
Svojstva	Koristi se standarni AC 120 V (Sjeverna Amerika i Japan), a za ostale regije u svijetu je većinom AC 220 – 240 V kućanski izlaz. Električno vozilo dolazi sa svom opremom za punjenje. Najjeftinija metoda punjenja kod kuće, ali i najsporija metoda. Za kratke gradske vožnje.	Malo brži od nivoa 1. Puni se na stanicama za punjenje smještenih na javnim mjestima. Brzina punjenja dosta varira i ovisi o snazi punjača i snazi elektronike na vozilu.	Najbrži i najsnažniji tip punjača koji je dostupan. Zove se još i DC punjenje. Puni se baterija direktno (zaobilazi se punjenje preko 'on – board' punjača). Brzi DC punjač puni bateriju još brže i najbolji je za punjenje velikih vozila poput autobusa i kamiona. Punjači se nalaze na javnim i komercijalnim područjima, zračnim lukama…

Za punjenje električnog dostavnog vozila odabran je brzi DC punjač snage 44 kW [15] prikazan na slici 3.7:

Slika 3. 7: Punjač

Korisnost punjača električnih vozila varira u vrijednostima 70% - 90% .[16] Za korisnost punjača u ovom radu uzeta je vrijednost 80%.

4 MODELIRANJE

U ovom poglavlju izveden je matematički model transmisije i baterije. Modeli komponenti pogona su pojednostavljenja realnih komponenata za potrebe simulacija u programskom okruženju. Modeli trebaju biti računalno učinkoviti, a da pritom daju odgovarajuće rezultate.

4.1 MATEMATIČKI MODEL TRANSMISIJE I ODABIRA STUPNJA PRIJENOSA

U prvom poglavlju je objašnjeno kako je potrebna 2 – stupanjska transmisija. Radna područja ta dva stupnja prijenosa možemo vidjeti na slici (Slika 4.1). Slika je dobivena na temelju momentne karakteristike motora/generatora prethodno prikazane na slici (Slika 3.3). Maksimalni moment na momentnoj karakteristici je funkcija brzine motora i sa tim vrijednostima je izrađena sljedeća slika, te pomoću sljedećih jednadžbi:

Jednadžba za moment na kotačima (τ_{kot}) je:

$$\tau_{kot} = \tau_m h_{1,2} \tag{4.1}$$

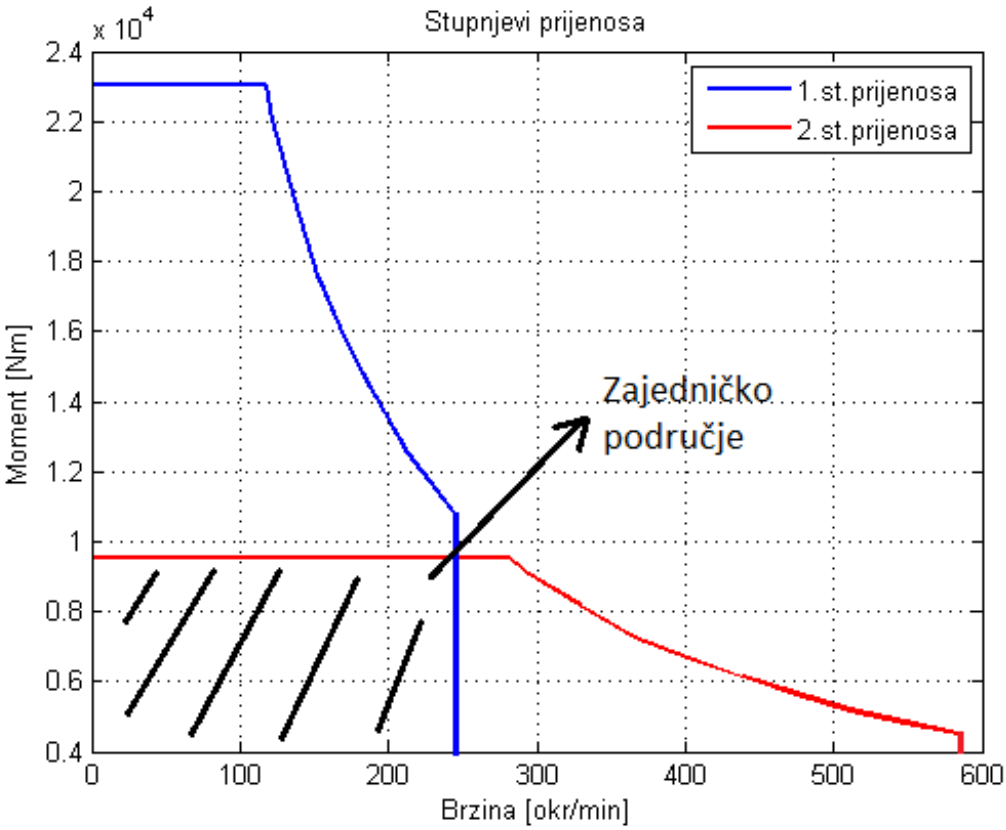
Jednadžba za kutnu brzinu kotača (ω_{kot}) je:

$$\omega_{kot} = \frac{\omega_m}{i_o h_{1,2}} \tag{4.2}$$

gdje su dobivene vrijednosti stupnjeva prijenosa: h_1 = 8.9 (za svladavanje uspona od 33%) i h_2 = 3.7 (za brzinu vozila 90 km/h).

Vidi se kako se radno područje prvoga stupnja prijenosa i drugoga poklapaju u jednom području. To područje je potrebno raspodijeliti tako da u jednom dijelu područja vozilo vozi u prvom stupnju prijenosa, a u drugom dijelu područja u drugom stupnju. Raspodijeliti je potrebno iz razloga što u nekom dijelu toga zajedničkog područja motor ima veću korisnost ukoliko vozilo vozi u prvom stupnju prijenosa, a u nekom drugom dijelu ima veću korisnost ako vozi u drugom stupnju.

U prilogu 8.5 mogu se vidjeti radne točke pogona na grafu radnih područja 2 – stupanjske transmisije.

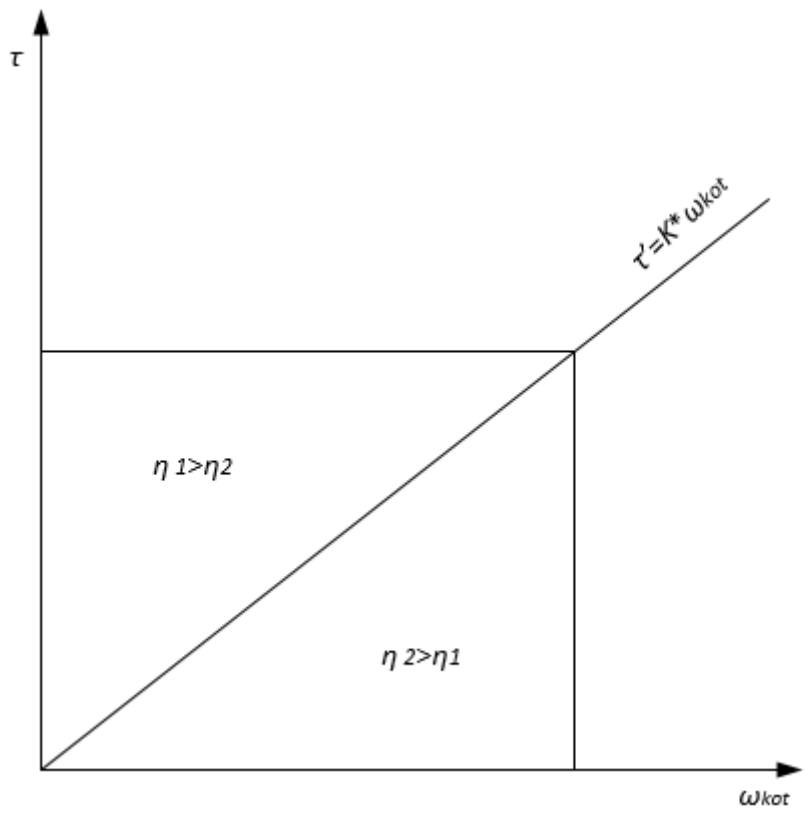


Slika 4. 1: 2 – stupanjska transmisija

Analizom (vidi prilog 8.2) je ustanovljeno da bi bilo zadovoljavajuće to zajedničko područje podijeliti na dva jednaka dijela pravcem iz ishodišta kao što se može vidjeti na slici 4.2. Moment na kotačima (τ_{kot}) dobiven iz opterećenja vozila uspoređuje se sa vrijednošću momenta dobivenom sljedećom jednadžbom:

$$\tau' = K\omega_{kot} \tag{4.3}$$

Ukoliko je τ_{kot} veći od τ' vozilo će voziti u prvom stupnju prijenosa, a ukoliko je τ_{kot} manji od τ' vozilo će voziti u drugom stupnju prijenosa.



Slika 4. 2: Podijeljeno zajedničko područje

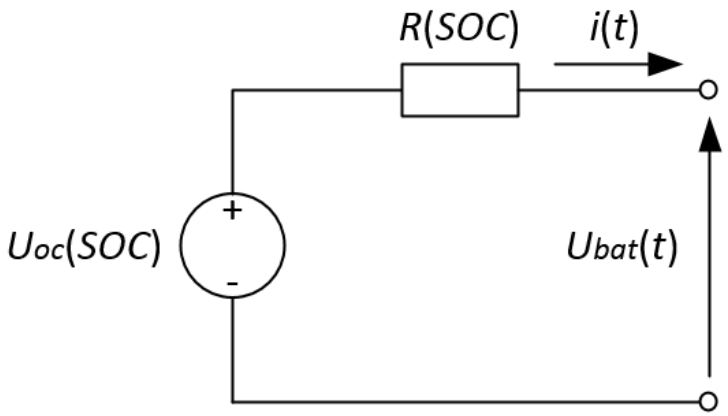
4.2 MATEMATIČKI MODEL BATERIJE

Jednadžba koja povezuje električnu snagu sa mehaničkom snagom i gubicima glasi:

$$P_{bat} = P_m \eta_m^{-\mathrm{sgn}(Pm)} = \tau_m \omega_m \eta_m^{-\mathrm{sgn}(Pm)} \tag{4.4}$$

Iz jednadžbe se vidi da ako je snaga motora (P_m) pozitivna da se vozilo pogoni i da je snaga baterije (P_{bat}) veća nego P_m, a ako je P_m negativna vozilo koči i P_{bat} je manja nego P_m.

Na slici 4.3 prikazan je pojednostavljeni shematski prikaz baterije koji je primijenjen u modeliranju simulink modela vozila:



Slika 4. 3: Pojednostavljeni shematski prikaz baterije

Model baterije daje informaciju o stanju napunjenosti baterije (*SOC*) baziranu na iskorištenju električne energije baterije. *SOC* ovisi o struji punjenja/pražnjena ($i(t)$) i o kapacitetu baterije ($Q_{\max}$) prema sljedećoj jednadžbi:

$$S\dot{O}C = -\frac{i(t)}{Q_{\max}} \tag{4.5}$$

Jednadžba za električnu snagu baterije glasi:

$$P_{bat} = U_{OC}(SOC)i(t) - R(\mathrm{sgn}(i))i^2(t) \tag{4.6}$$

Kombinirajući jednadžbe (4.5) i (4.6) dobiva se sljedeća jednadžba modela baterije:

$$S\dot{O}C = \frac{\sqrt{U_{OC}^2(SOC) - 4R(\mathrm{sgn}(i))P_{bat}} - U_{OC}(SOC)}{2Q_{\max}R(\mathrm{sgn}(i))} \tag{4.7}$$

[17]

Iz jednadžbe se vidi da *SOC* ovisi o naponu baterije (U_{OC}), otporu (R), snazi (P_{bat}) i njenom kapacitetu ($Q_{\max}$).

5 DIMENZIONIRANJE I IMPLEMENTACIJA POGONA VOZILA

U ovom poglavlju prikazan je preliminarni odabir baterije, postupak određivanja mase vozila i implementacija matematičkog modela električnog dostavnog vozila u programskom paketu MATLAB Simulink.

5.1 PRELIMINARNI ODABIR BATERIJE

Za potrebe preliminarnog odabira baterije modeliran je pojednostavljeni model dostavnog EV i implementiran u programskom okruženju MATLAB Simulink (Slika 5.1). U modelu su korištene jednadžbe uzdužne dinamike vozila od (2.1) do (2.8). Iz toga slijedi potrebna mehanička snaga motora:

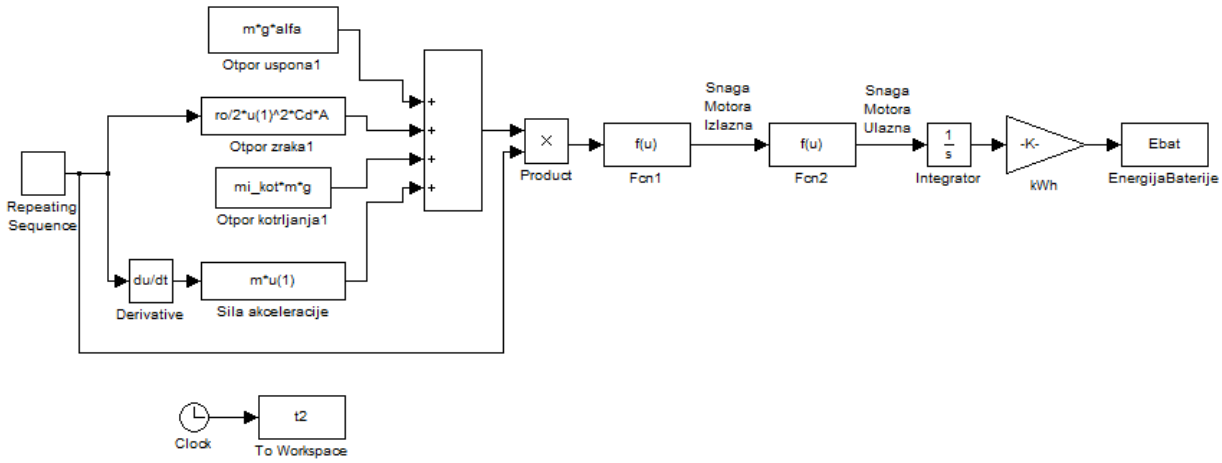
$$P_m = P_{pog}\eta_t^{-\mathrm{sgn}(P_{pog})} \tag{5.1}$$

Iz jednadžbe se vidi da ako je snaga pogona (P_{pog}) pozitivna da se vozilo pogoni i da je poztebna snaga motora (P_m) veća nego P_{pog}, a ako je P_{pog} negativna vozilo koči i P_m je manja nego P_{pog}.

Ulazna snaga motora, odnosno, snaga baterije računa se prema jednadžbi (4.4). Korištena je konstantna vrijednost korisnosti motora (η_m) vrijednosti 90%.

Energija baterije dobije se integriranjem potrebne snage baterije u određenom vremenskom periodu prema jednadžbi:

$$E_{bat} = \int_t P_{bat} dt \tag{5.2}$$



Slika 5. 1: Pojednostavljeni model vozila

Tako su dobivene približne vrijednosti potrebne energije baterije i kapaciteta za pojedine vozne cikluse, a mogu se vidjeti u tablici 5:

Tablica 5: Energija i kapacitet baterije za vozne cikluse

Vozni ciklus	Energija baterije (E_{bat}) [kWh]	Kapacitet baterije (Q_{max}) [Ah]
Sintetički trajanja 1.06 h	30	41.6
Sintetički trajanja 1.8 h	93.2	129.5
Sintetički trajanja 3.73 h	232.1	322.3
Sintetički trajanja 3.81 h	201.4	279.7
Sintetički trajanja 6.04 h	497.6	691

Odabran je kapacitet baterije od 167 Ah, odnosno izraženo pomoću energije to iznosi 120 kWh. Ta vrijednost je odabrana jer zadovoljava potrebe dostavljanja unutar grada.

Tablica 6: Mase pojedinih tipova baterija energije 120 kWh [6]

Tip baterije	Masa [kg]
Olovo – kiselina	≈4500
Nikal – kadmij	≈2600
Nikal – metalni hidrid	≈2000
Litij – ion	≈1500
Natrij – sumpor	≈1300
Natrij – metal klorid	≈1300
Aluminij - zrak	≈650
Cink – zrak	≈630

Iz tablice 6 može se vidjeti da je masa odabrane litij – ion baterije 1500 kg. Tako bi se baterija sastojala od 2244 ćelije (187 serijski spojenih i 12 paralelno). Kako bi se produžio vijek trajanja baterije vrijednost *SOC* –a varira između 20% i 85% [18] Punjačem bi se ova baterija napunila za 2 sata i 14 minuta (vidi prilog 8.3).

Cijena ove baterije je otprilike 36 000 $, a do 2022. bi tako mogla biti 15 000 $. [1]

5.2 ODREĐIVANJE MASE ELEKTRIČNOG DOSTAVNOG VOZILA

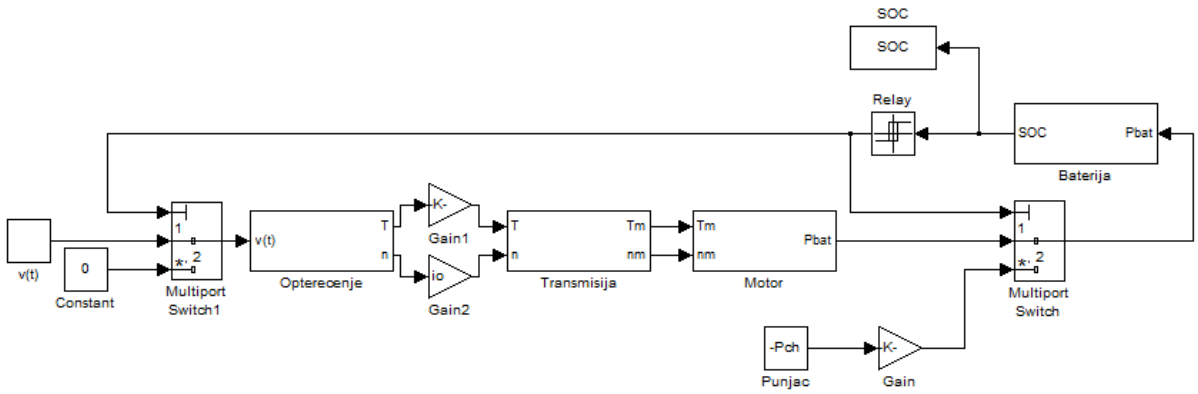
U tablici 7 je prikazan postupak određivanja mase dostavnog EV.

Tablica 7: Određivanje mase vozila[3, 19, 20, 21, 8]

Masa dostavnog ICE vozila [kg]	7860
Mase koje se oduzimaju:	
Masa transmisije [kg]	260
Masa motora [kg]	650
Masa spremnika sa gorivom[kg]	200
Mase koje se dodaju:	
Masa transmisije [kg]	50
Masa motora [kg]	57.5
Masa baterije [kg]	1500
Masa dostavnog EV [kg]	8360

5.3 SIMULACIJSKI MODEL ELEKTRIČNOG POGONA VOZILA

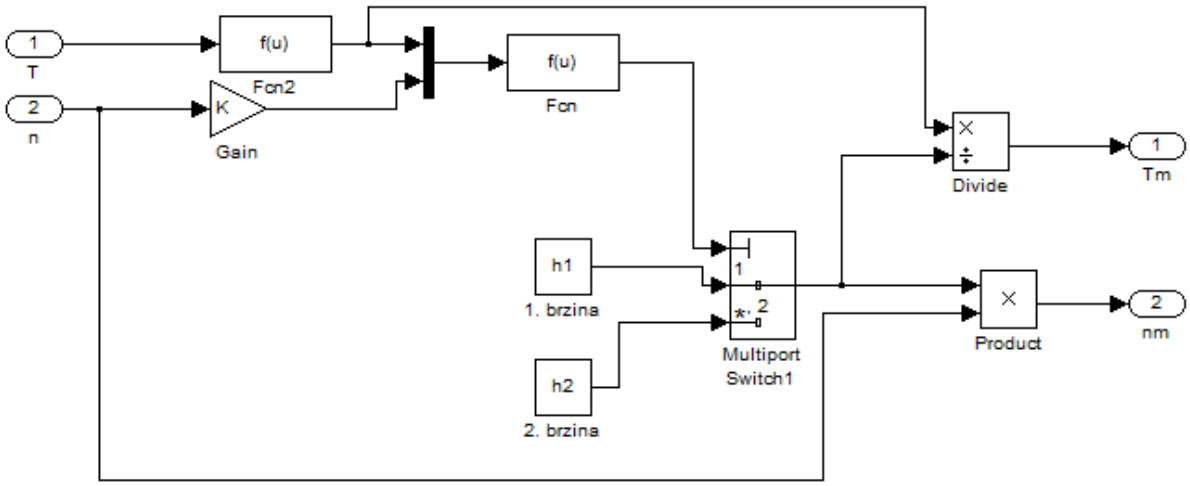
Na slici 5.2 prikazan je model električnog dostavnog vozila sa svim komponentama pogona. Može se vidjeti da je cjelokupni model vozila sastavljen od podmodela koji predstavljaju pojedine komponente vozila. Ulaz modela je vozni ciklus, a računa se opterećenje vozila. Opterećenje vozila, odnosno potrebni moment na kotačima zajedno s kutnom brzinom kotača se u podmodelu transmisije pretvaraju u moment i kutnu brzinu motora/generatora. U podmodelu motora/generatora se, uključujući gubitke u motoru/generatoru, računa potrebna snaga koju baterija mora isporučiti. Baterija isporučuje snagu u vremenu, odnosno energiju u određenom rasponu napunjenosti, a kada vrijednost napunjenosti padne ispod određenog praga, počinje punjenje baterije preko punjača. Kada se baterija napuni do određene vrijednosti, ponovno se prebacuje na pražnjenje voznim ciklusom.



Slika 5. 2: Simulink model električnog dostavnog vozila

5.3.1 Podmodel transmisije

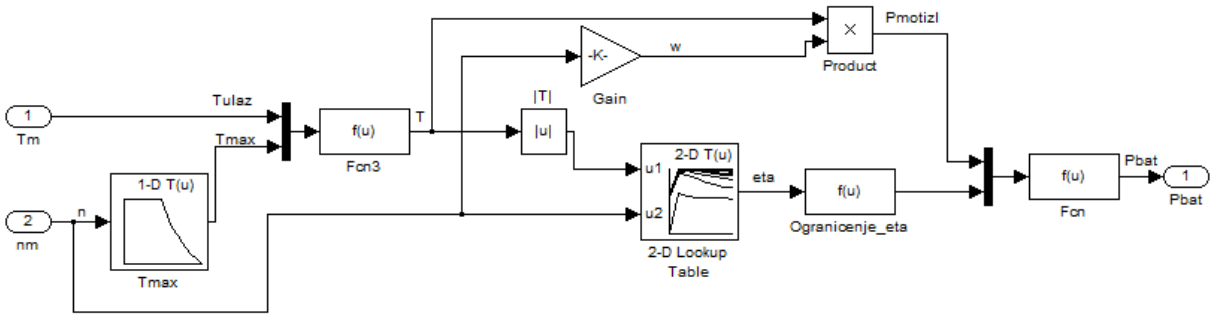
Podmodel transmisije je implementacija odabira stupnjeva prijenosa opisanog u prethodnom poglavlju. Ulaz podmodela su kutna brzina i moment kotača, a izlaz su kutna brzina i moment motora/generatora prema jednadžbama (4.1) i (4.2).



Slika 5. 3: Simulink podmodel transmisije

5.3.2 Podmodel motora/generatora

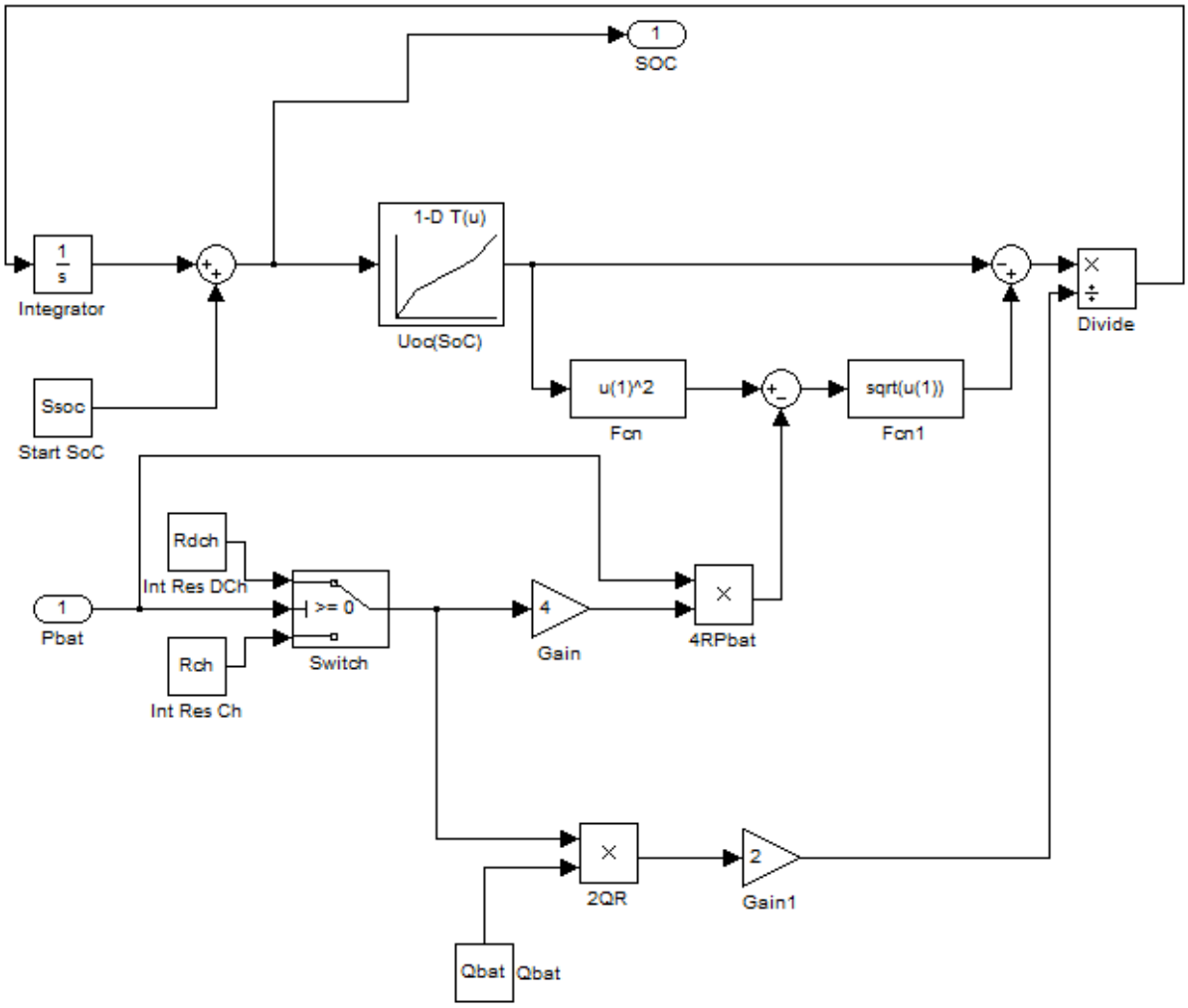
Na ulazu podmodela su potrebna kutna brzina i moment motora/generatora. 1 – D Lookup Table sadrži maksimalne vrijednosti momenta motora/generatora za pojedine brzine. Ukoliko je potreban moment manji od maksimalnog momenta za određenu brzinu, vozilo će se pogoniti tim momentom, a ukoliko je potreban moment veći od maksimalnog momenta motora/generatora za određenu brzinu, vozilo će se pogoniti tim maksimalnim momentom. Moment motora se množi sa njegovom kutnom brzinom kako bi se dobila snaga motora. 2 – D Lookup Table sadrži mapu motora/generatora čiji su ulazi moment i kutna brzina, a izlaz korisnost. Izlaz podmodela motora je snaga koju baterija mora isporučiti prema jednadžbi (4.4).



Slika 5. 4: Simulink podmodel motora/generatora

5.3.3 Podmodel baterije

Podmodel baterije predstavlja simulink model matematičkog modela baterije opisanog u prethodnom poglavlju, a uključuje jednadžbu (4.7). Na ulazu podmodela je potrebna snaga koju baterija mora isporučiti u određenom trenutku. Ukoliko je snaga pozitivna odabire se jedna vrijednost unutarnjeg otpora, a ukoliko je negativna odabire se druga vrijednost. 1 – D Lookup Table sadrži U_{OC} karakteristiku baterije (Slika 3.5). Izlaz modela je *SOC*.



Slika 5. 5: Simulink podmodel baterije [11]

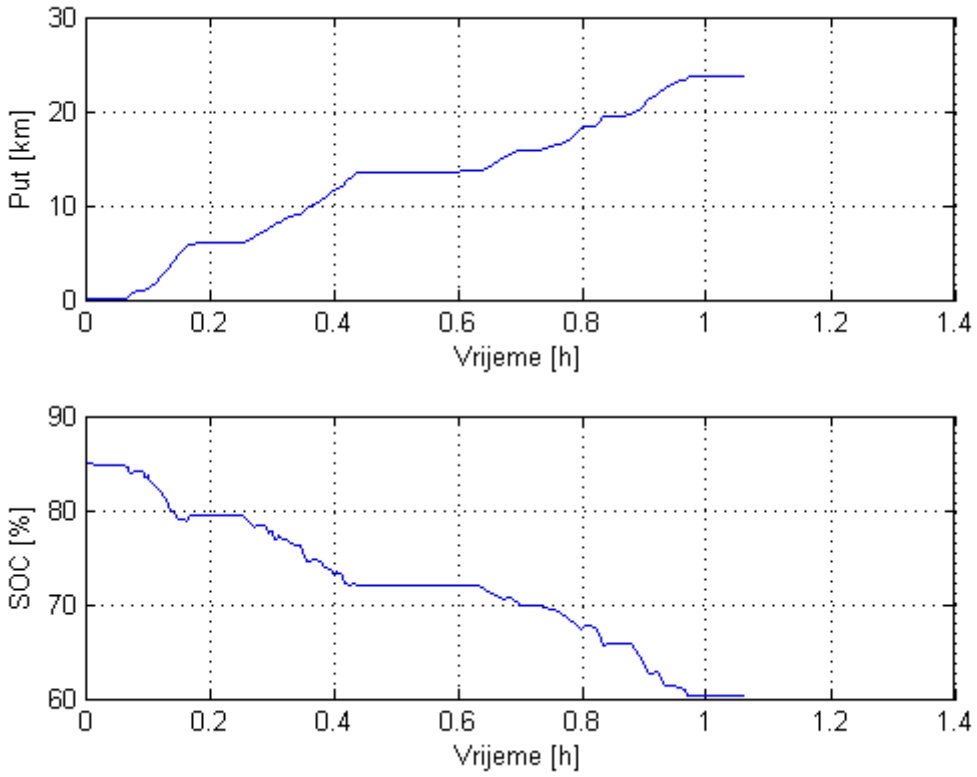
6 SIMULACIJSKI REZULTATI

U ovom poglavlju bit će prikazani simulacijski rezultati ponašanja dostavnog vozila za sintetičke vozne cikluse u programskom paketu MATLAB Simulink. Simulacija će prvo biti provedena za maksimalno opterećenje vozila, a zatim na primjeru jednog ciklusa sa različitim opterećenjima. Također će biti prikazan na primjeru jednog ciklusa domet vozila sa dvostruko snažnijom baterijom. Za simulaciju će se koristiti implementirani model električnog pogona prikazan u prethodnom poglavlju.

6.1 MAKSIMALNO OPTEREĆENJE VOZILA

Sljedeće simulacije provedene su za slučaj maksimalnog opterećenja vozila na svih pet sintetičkih ciklusa. Simulacija je provedena tako da prvo vozilo vozi dok se ne isprazni baterija, zatim slijedi punjenje baterije, te ponovni nastavak vožnje i pražnjenje baterije. Opisano je treba li uopće punjenje baterije kako bi vozilo prošlo ciklus, te ako treba, koliko puta treba napuniti bateriju. Dani su podaci koliki put prijeđe vozilo prije punjenja baterije, a zatim koliki je ukupni prijeđeni put i u kojem vremenskom periodu. Može se još vidjeti konačno stanje *SOC* – a na kraju vožnje i ukupna korisnost vozila za pojedini ciklus. Ukupna korisnost vozila izračunata je na način da se podijelila energija na kotačima sa energijom koju isporučuje punjač.

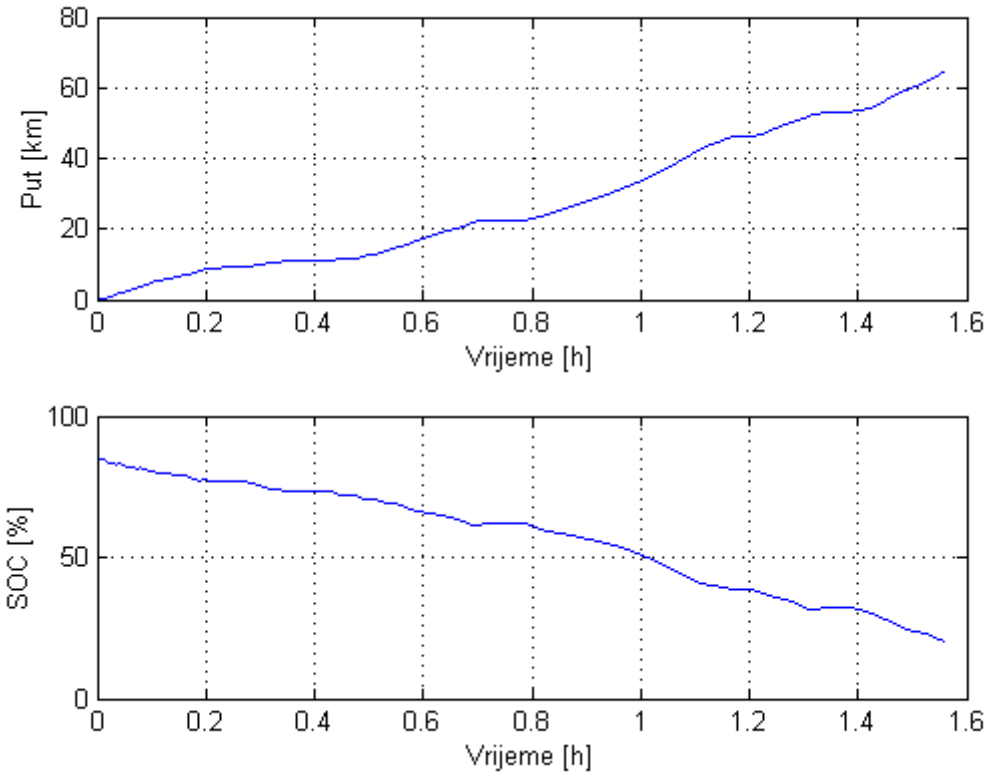
Sintetički ciklus trajanja 1.06 h



Slika 6. 1: Simulacijski rezultati ciklusa trajanja 1.06 h

Iz simulacije možemo vidjeti da vozilo prijeđe cijeli ciklus bez punjenja baterije. Ukupni prijeđeni put je 23.7 km, a konačno stanje *SOC* – a je 60.1 %. Ukupna korisnost vozila za ovaj ciklus je 64.5 %.

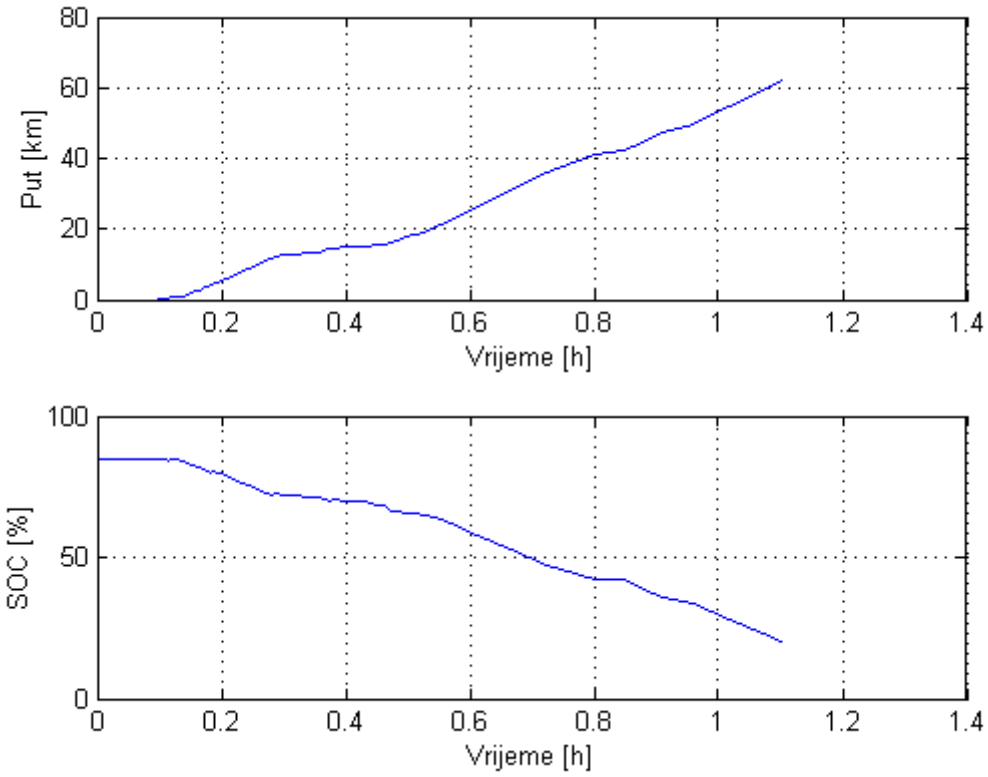
Sintetički ciklus trajanja 3.73 h



Slika 6. 2: Simulacijski rezultati ciklusa trajanja 3.73 h

Prijeđeni put prije punjenja baterije je 64.4 km. Bateriju je potrebno napuniti 2 puta kako bi vozilo prešlo cijeli ciklus. Ukupni prijeđeni put je 176.4 km u trajanju od 8 sati i 46 minuta. Stanje *SOC* – a na kraju puta je 40.5 %. Ukupna korisnost vozila za ovaj ciklus je 68.7 %.

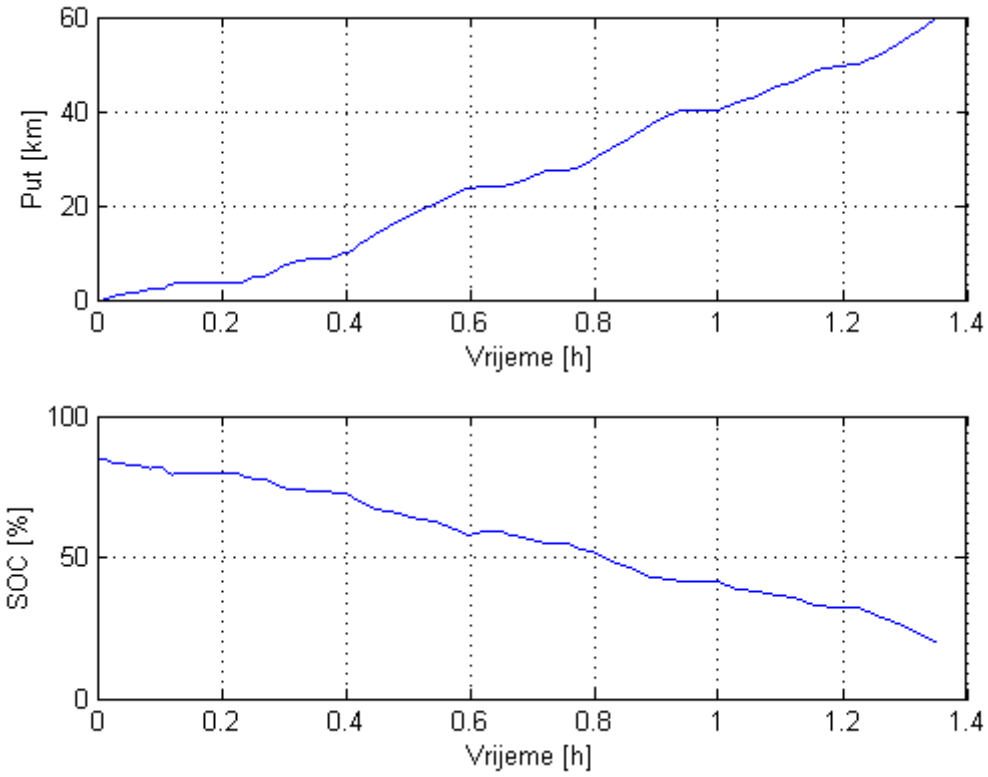
Sintetički ciklus trajanja 3.81 h



Slika 6. 3: Simulacijski rezultati ciklusa trajanja 3.81 h

Prijeđeni put prije punjenja baterije je 62 km. Bateriju je potrebno napuniti 2 puta kako bi vozilo prešlo cijeli ciklus. Ukupni prijeđeni put je 154.5 km u trajanju od 8 sati i 10 minuta. Stanje *SOC* – a na kraju puta je 47.4 %. Ukupna korisnost vozila za ovaj ciklus je 71.2 %.

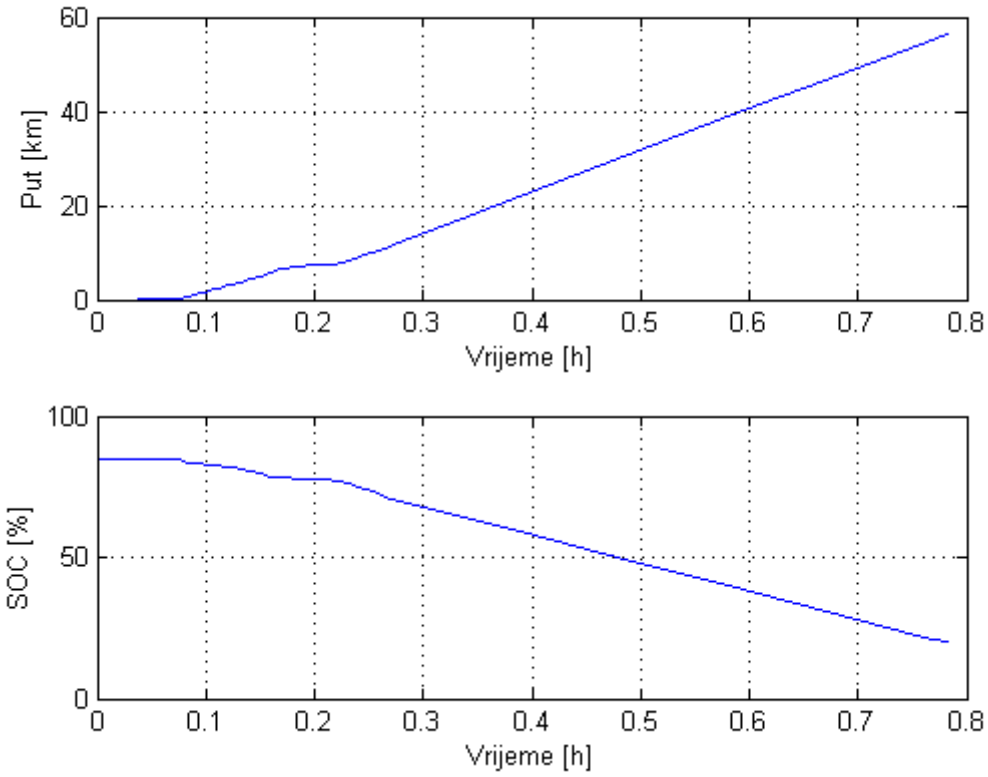
Sintetički ciklus trajanja1.8 h



Slika 6. 4: Simulacijski rezultati ciklusa trajanja 1.8 h

Prijeđeni put prije punjenja baterije je 60 km. Bateriju je potrebno napuniti kako bi vozilo prešlo cijeli ciklus. Ukupni prijeđeni put je 72.7 km u trajanju od 4sata. Stanje *SOC* – a na kraju puta je 66.6 %. Ukupna korisnost vozila za ovaj ciklus je 71.2 %.

Sintetički ciklus trajanja 6.04 h

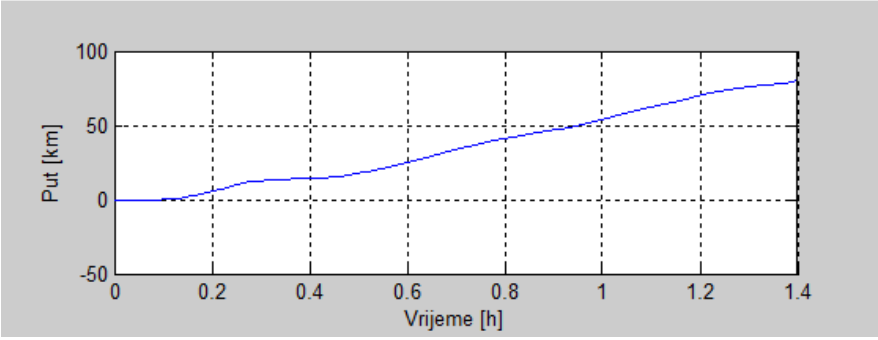


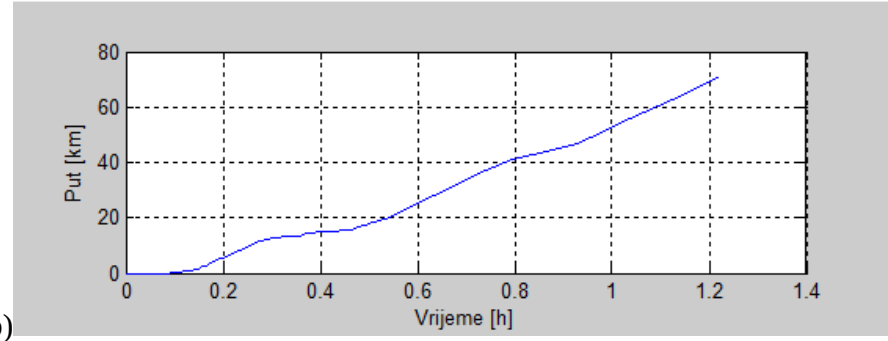
Slika 6. 5: Simulacijski rezultati ciklusa trajanja 6.04 h

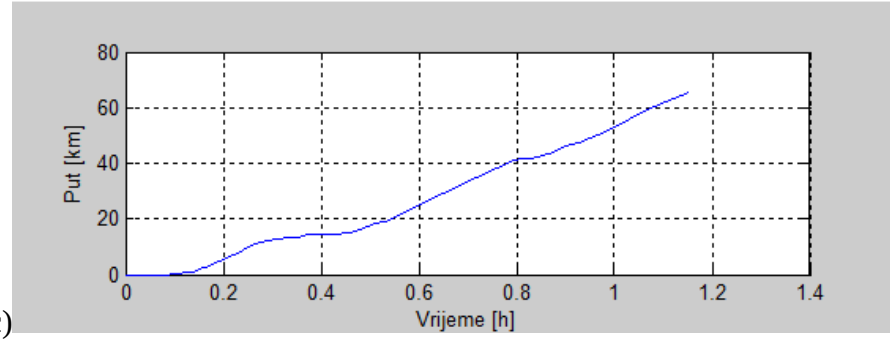
Prijeđeni put prije punjenja baterije je 56.2 km. Bateriju je potrebno napuniti 5 puta kako bi vozilo prešlo cijeli ciklus. Ukupni prijeđeni put je 363.3 km u trajanju od 16 sati. Stanje *SOC* – a na kraju puta je 67.3 %. Ukupna korisnost vozila za ovaj ciklus je 69.6 %.

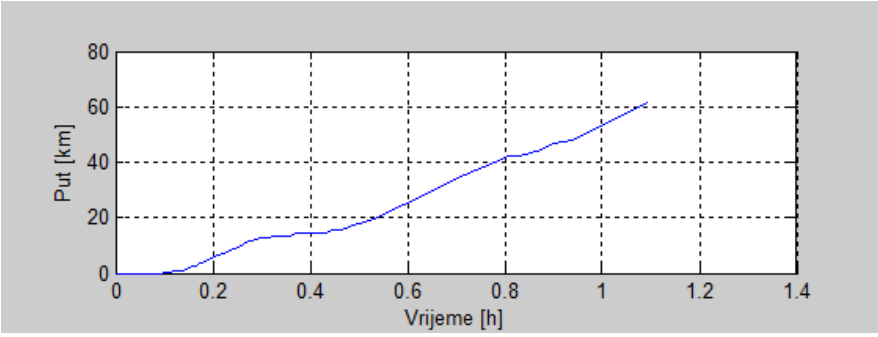
6.2 RAZLIČITO OPTEREĆENJE VOZILA

Simulacija za različito opterećenje vozila, odnosno različite mase tereta provedena je na sintetičkom ciklusu trajanja 3.81h, a gleda se koliki put vozilo prijeđe do padanja vrijednosti *SOC* – a na 20 %. Mase tereta će biti: 0 kg (prazno vozilo), 2000 kg, 4000 kg i 6000 kg.

a)


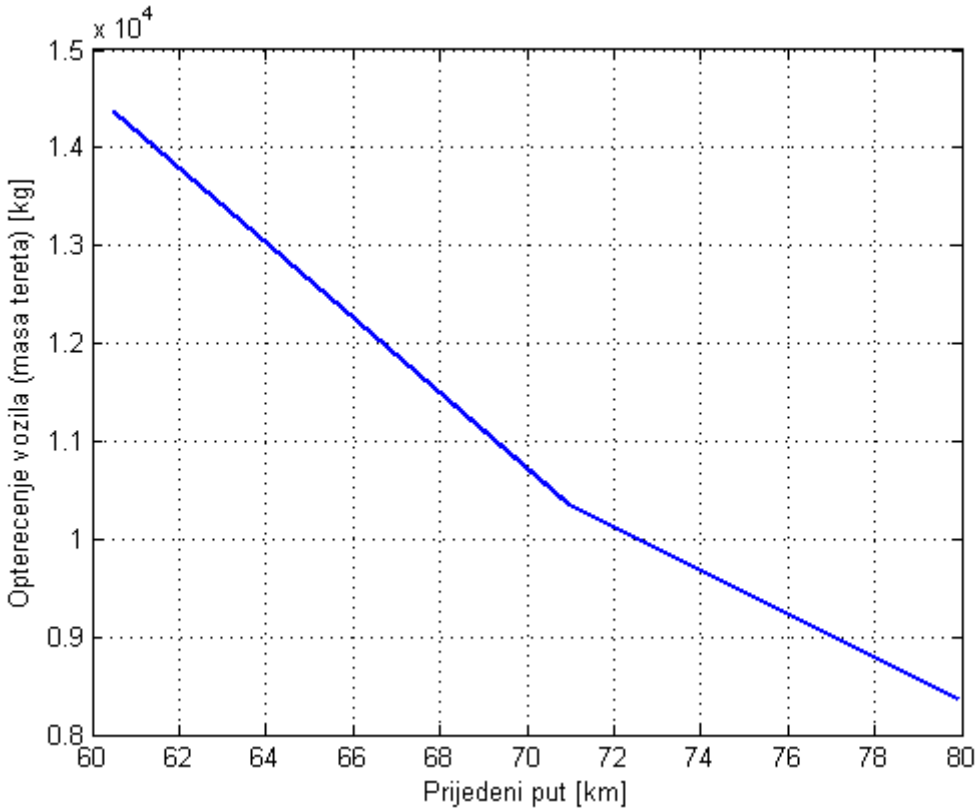
b)


c)


d)


Slika 6. 6: Prijeđeni put za opterećenje: 0 kg a), 2000 kg b), 4000 kg c), 6000 kg d)

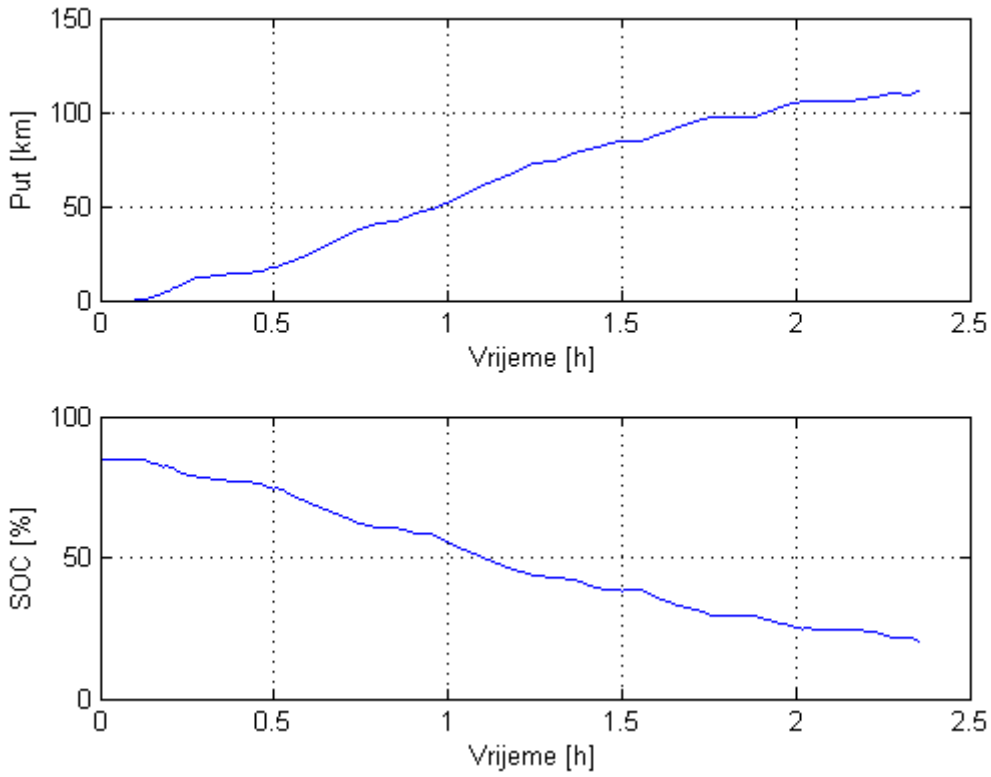
Iz rezultata simulacije sa slike 6.6, a i iz jasnijeg prikaza na slici 6.7 može se vidjeti kako prijeđeni put ovisi o različitim opterećenjima vozila.



Slika 6. 7: Ovisnost prijeđenog puta o opterećenju vozila

6.3 DVOSTRUKO SNAŽNIJA BATERIJA

Simulacija sa dvostruko snažnijom baterijom i maksimalnim opterećenjem vozila je također provedena na sintetičkom ciklusu od 3.81 h, a prikazana je na slici 6.8:



Slika 6. 8: Simulacijski rezultati ciklusa trajanja 3.81 h sa dvostruko snažnijom baterijom

Iz simulacije je vidljivo da sada vozilo prije punjenja baterije pređe 110.7 km. Da bi vozilo prešlo cijeli put sada je potrebno 1 punjenje baterije. Stanje *SOC* – a na kraju puta je 63.6 %. Ukupna korisnost vozila za ovaj slučaj je 67.7 %.

7 ZAKLJUČAK

U ovom radu opisane su komponente pogona dostavnog EV, dani su matematički modeli uzdužne dinamike, te komponenata pogona. Potom je model pogona dostavnog EV implementiran u programskom paketu MATLAB Simulink, a na posljetku su prikazani rezultati simulacija.

Najbitnije od svega su simulacije na različitim voznim ciklusima jer prikazuju ponašanje dostavnog vozila u različitim uvjetima. Na temelju simulacija može se zaključiti da je vozilo izuzetno pogodno za gradske vožnje, a da nije pogodno za duže relacije pri većim brzinama poput vožnje autoputom. Gradska vožnja ovim dostavnim EV je pogodna iz razloga što to nisu velike udaljenosti pa nije potrebno punjenje baterije, a baterija se također puni prilikom kočenja, koje je u ovom slučaju učestalo. Budući da su u gradovima velike buke, te veliko zagađenje zraka, ovo vozilo također pokazuje superiornost u kontekstu ovih parametara nad vozilom sa ICE.

8 PRILOG

8.1 INICIJALIZACIJSKA DATOTEKA

Na slici 8.1 prikazana je inicijalizacijska datoteka sa parametrima dostavnog EV korištenim u ovom radu.

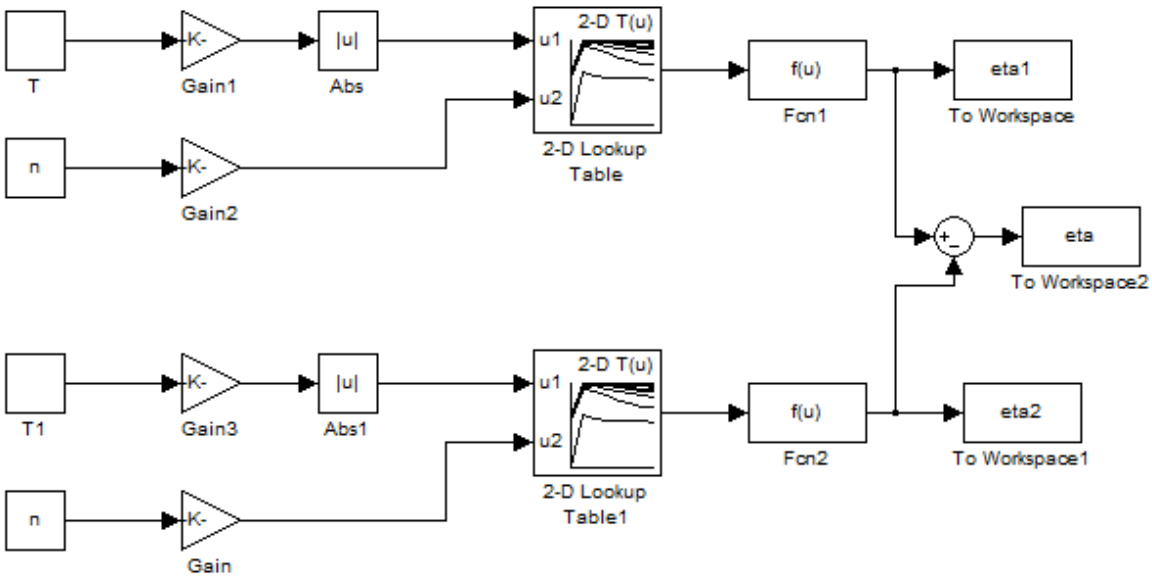
```
% Parametri
% Brzina i vrijeme iz voznog ciklusa
tv=importdata('TV.txt');
t1=tv(:,1);
t=t1'; %s
v1=tv(:,2);
v=v1'./3.6; %m/s
% Parametri vozila
r=0.413; %m
m=17520; %kg
A=9.36; %m^2
% Ostali parametri
mi_kot=0.012;
g=9.80665; % m/s^2
Cd=0.63;
ro=1.225;  %kg/m^3
alfa=0; %°
omjer=9.5493; % 1 rad/s = 9.5493 rpm
Pch=44000; %Snaga punjaca = 44kW
etaCh=0.8;
% Parametri baterije
Ssoc=0.85;
Qbat=1200000; %As
Rdch=0.02945; %Om
Rch=0.001426; %Om
```

```
% Parametri motora
T=[0,100,200,300,400,500,600,700];
n=[0,500,1000,1500,2000,2500,3000,3500,4000,4500,5000,5500,6000,6500,7000,7500,8000];
eff=[0,0.6,0.56,0.56,0.56,0.56,0.55,0.55,0.55,0.55,0.55,0.55,0.55,0.55,0.55,0.54,0.53;
0.6,0.88,0.92,0.923,0.93,0.93,0.927,0.922,0.919,0.92,0.9135,0.9095,0.9,0.89,0.875,0.865,0.86
0.55,0.85,0.91,0.917,0.937,0.94,0.943,0.944,0.945,0.944,0.9425,0.94,0.9345,0.93,0.926,0.9215,0.92
0.53,0.8,0.88,0.914,0.93,0.938,0.943,0.944,0.95,0.95,0.9485,0.945,0.9415,0.938,0.935,0.9327,0.93
0.53,0.75,0.86,0.895,0.919,0.93,0.9375,0.941,0.944,0.9465,0.944,0.9415,0.9395,0.933,0.933,0.932,0.929
0.53,0.72,0.84,0.875,0.906,0.92,0.925,0.9328,0.9375,0.9375,0.935,0.9335,0.934,0.9332,0.933,0.932,0.929
0.52,0.68,0.81,0.86,0.88,0.907,0.9185,0.9237,0.927,0.927,0.932,0.9335,0.934,0.9332,0.933,0.932,0.929
0.51,0.67,0.78,0.845,0.87,0.89,0.9065,0.912,0.9195,0.927,0.932,0.9335,0.934,0.9332,0.933,0.932,0.929];
% Redukcija
h1=8.9;
h2=3.7;
K=49.446; %Konstatna za pravac koji odjeljuje brzine
etaT=0.95; % Eta transmisije
io=3.7; %Prijenosni omjer diferencijala
```

Slika 8. 1: Inicijalizacijska datoteka

8.2 ODREĐIVANJE GRANICE STUPNJEVA PRIJENOSA

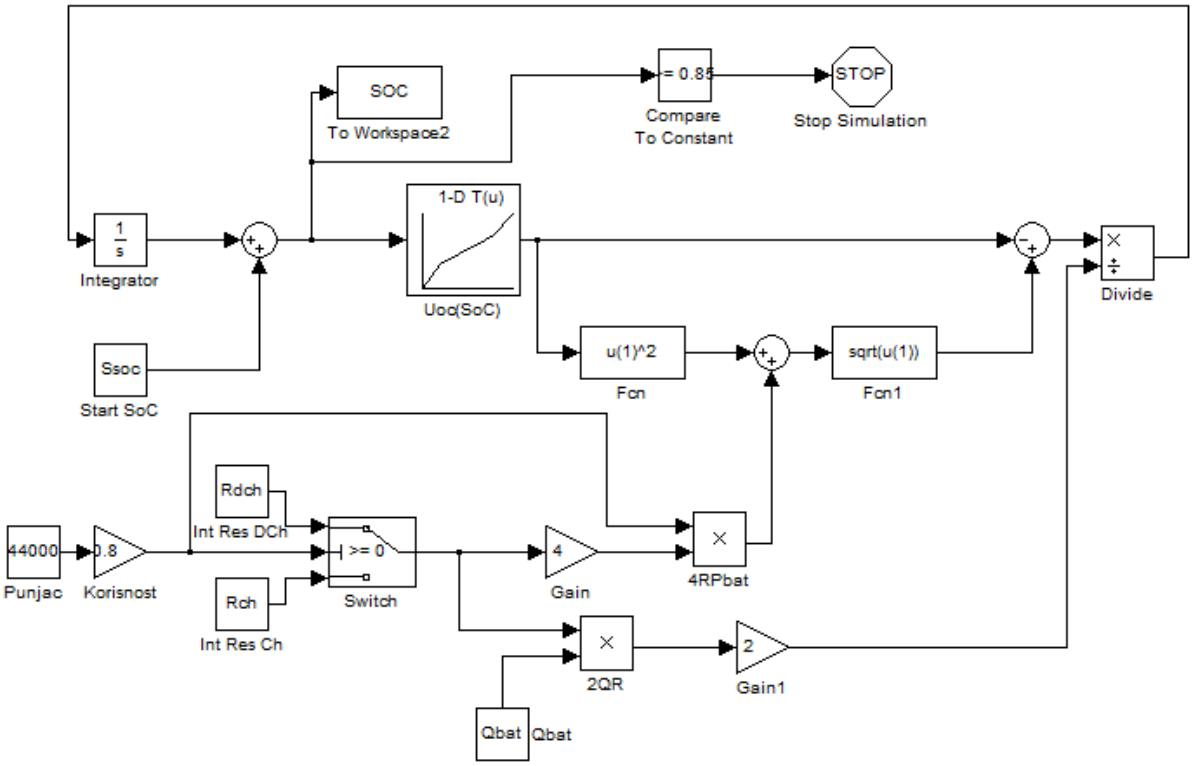
Granica između dva stupnja prijenosa je određena tako da je određen broj točaka (n_n,τ_n), za n= 1,2,3… iz zajedničkog područja stupnjeva prijenosa proveden kroz mapu motora, te je uspoređeno na kojem području je efikasnost jednog stupnja prijenosa veća u odnosu na drugi i obratno kako je i prikazano na slici 8.2:



Slika 8. 2: Određivanje granice stupnjeva prijenosa

8.3 PUNJENJE BATERIJE PUNJAČEM

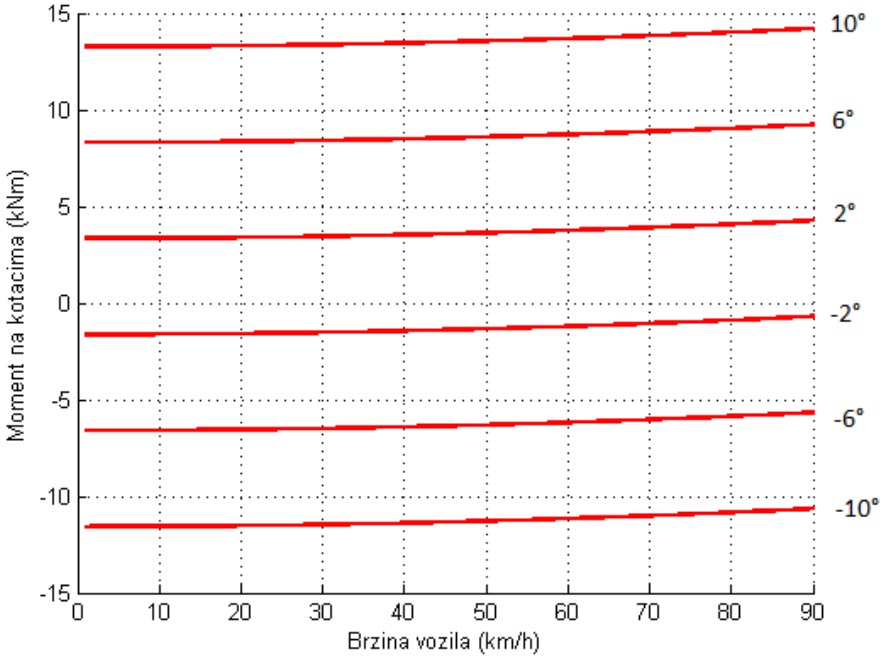
Na Simulink modelu na slici 8.3 može se vidjeti punjenje baterije preko punjača. Uzet je submodel baterije iz petog poglavlja i dodane su konstantna vrijednost od 44 kW koja predstavlja punjač, te pojačanje od 0.8 koje predstavlja korisnost punjača. Gleda se vrijeme potrebno da vrijednost *SOC* – a poraste od 20% do 85%.



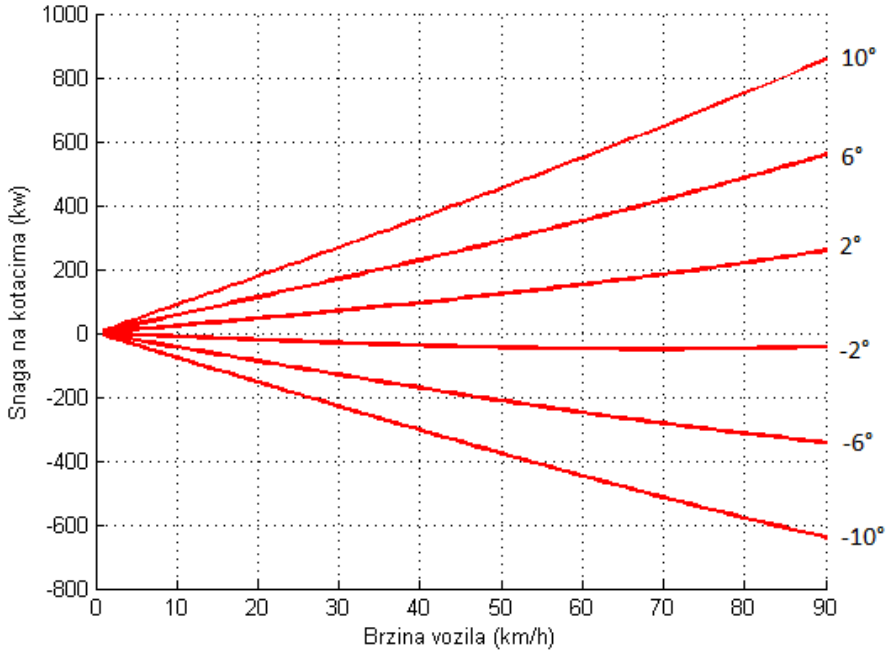
Slika 8. 3: Simulink model baterije s punjačem

8.4 UZDUŽNA DINAMIKA STACIONARNE VOŽNJE

Na slikama 8.4 i 8.5 može se vidjeti ovisnost momenta, odnosno snage na kotačima o brzini vozila i kutu nagiba podloge za slučaj stacionarne vožnje i maksimalnog opterećenja vozila.



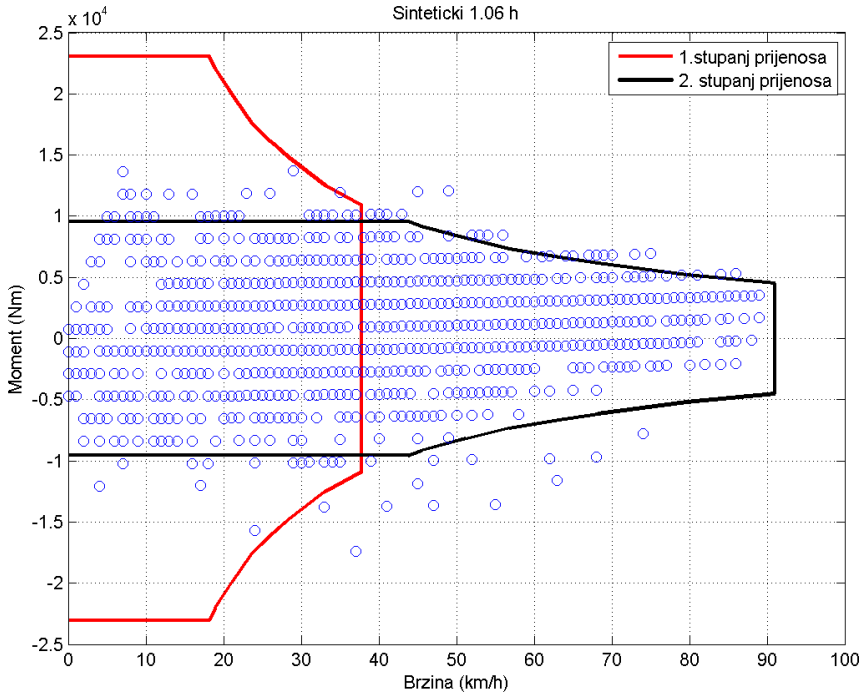
Slika 8. 4: Ovisnost momenta o brzini i kutu nagiba podloge



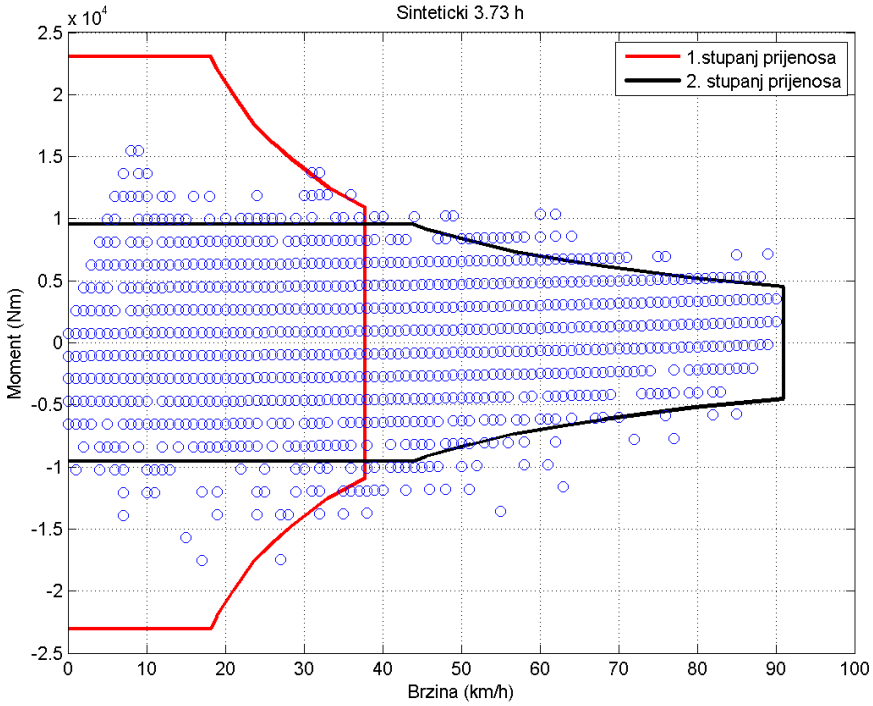
Slika 8. 5: Ovisnost snage o brzini i kutu nagiba podloge

8.5 RADNE TOČKE POGONA

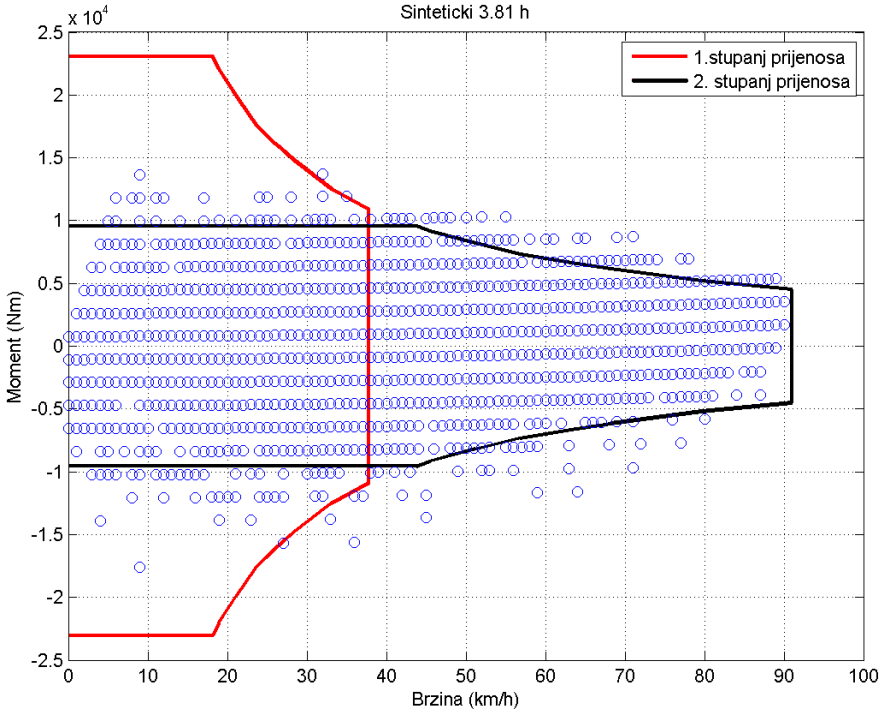
Sljedeće slike prikazuju područja stupnjeva prijenosa 2 – stupanjske transmisije i položaj radnih točaka na tom grafu za pojedine sintetičke vozne cikluse i za slučaj maksimalnog opterećenja vozila.



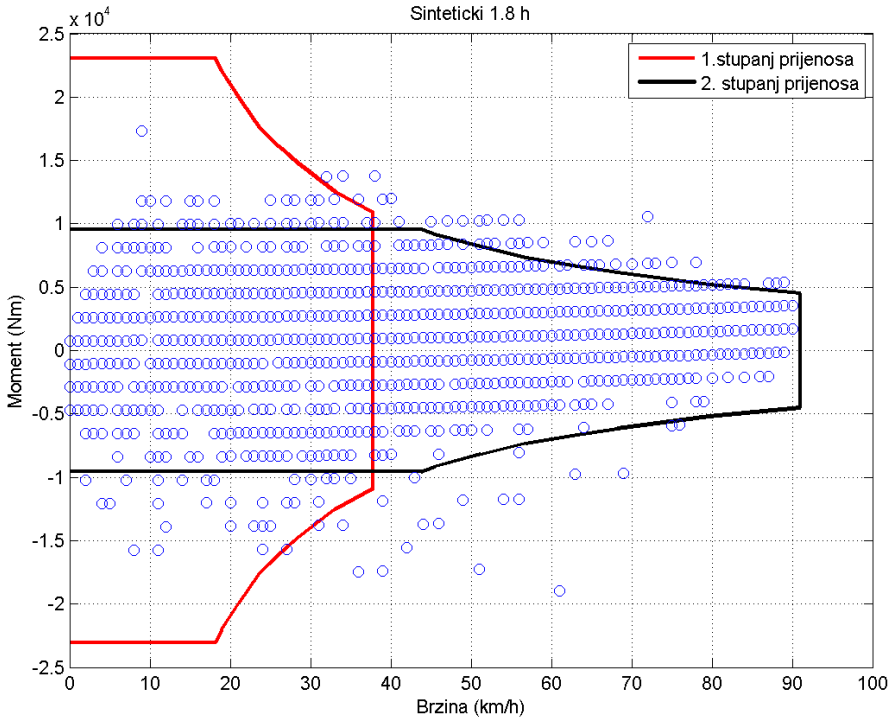
Slika 8. 6: Radne točke za sintetički ciklus trajanja 1.06 h



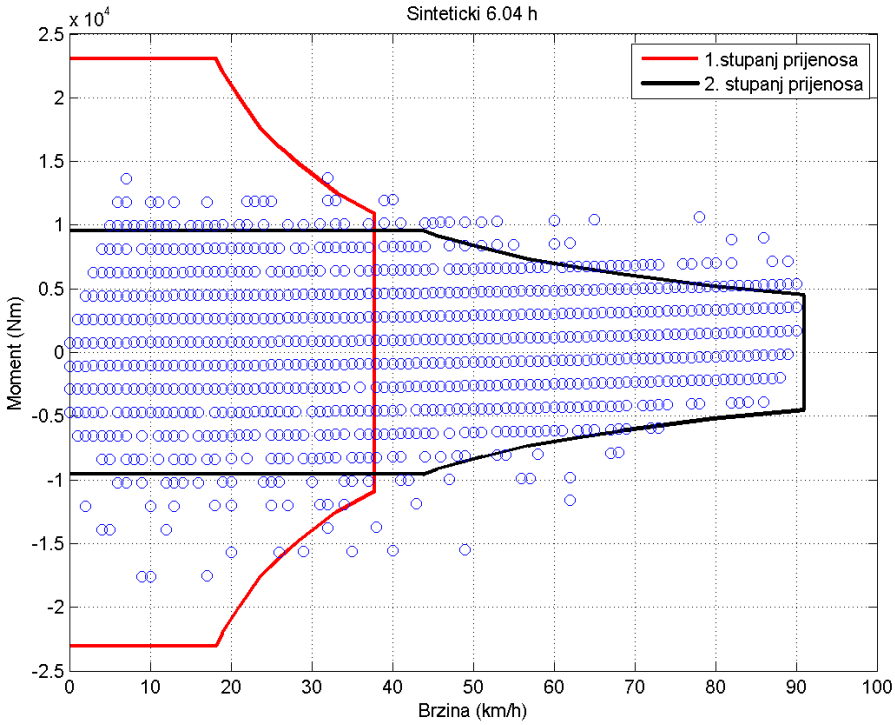
Slika 8. 7: Radne točke za sintetički ciklus trajanja 3.73 h



Slika 8. 8: Radne točke za sintetički ciklus trajanja 3.81 h



Slika 8. 9: Radne točke za sintetički ciklus trajanja 1.8 h



Slika 8. 10: Radne točke za sintetički ciklus trajanja 6.04 h

Literatura

[1] ″Električni automobil″;

http://hr.wikipedia.org/wiki/Elektri%C4%8Dni_automobil, 05.08.2014.

[2] ″Cijena energije″;

http://www.hydroquebec.com/transportation-electrification/charging-cost.html, 05.08.2014.

[3] MAN katalog, TGM 15.240 15 Tonne 4x2 BL Rigid, 2007.

[4] Škugor B.; Deur J.: The Vehicle Fleet Data Collection, Processing, Analysis, and Naturalistic Driving Cycles Synthesis

[5] Hu H.; Smaling R.; Baseley S.J.: Advanced Hybrid Powertrains for Commercial Vehicles, SAE International, Warrendale, Pennsylvania, USA, 2012.

[6] Larminie J.; Lowry J.: Electric Vehicle Technology Explained, John Wiley & Sons LTD, The Atrium, Soutern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, 2003.

[7] ″Električni motor/generator″;

http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle#Electric_motor, 30.08.2014.

[8] EVO Electric katalog, AF – 230 Motor | Generator, 2011.

[9] ″Baterija - slika″;

http://gas2.org/2012/03/14/study-lithium-ion-battery-prices-to-drop-%E2%85%93-by-2017/, 27.07.2014.

[10] ″Karakteristike ćelije baterije″;

http://www.batteryspace.com/prod-specs/icr18650nh-2200.pdf, 30.08.2014.

[11] Bin Y.; Li Y.; and Feng N.: Nonlinear Dynamic Battery Model with Boundary and Scanning Hysteresis, Proceedings of the ASME 2009 Dynamic Systems and Control Conference, 2009.

[12] ″Transmisija – slika″;

http://www.zemotoring.com/news/2011/09/getrag-two-speed-gearbox-for-electric-vehicles, 31.08.2014.

[13] ″Punjač – općenito″;

http://auto.howstuffworks.com/electric-car5.htm, 31.08.2014.

[14] ″Vrste punjača″;

http://www.electriccarpledge.com/electric-vehicle-resources/electric-vehicle-charger-types/, 31.08.2014.

[15] ″Punjač″;

http://www.universal-quick-charger.com/dc-quick-charger/, 02.08.2014.

[16] ″Korisnost punjača″;

http://physics.ucsd.edu/do-the-math/2011/08/mpg-for-electric-cars/, 02.08.2014.

[17] Cipek M.; Čorić M.; Škugor B.; Kasać J.; Deur J. : Dynamic Programing – based Optimization of Control Variables o fan Extended Range Electric Vehicle, SAE International, 2013.

[18] ″Stanje napunjenosti baterije″;

http://www.edison-net.dk/~/media/EDISON/Papers/Modeling%20of%20electric%20vehicles%20for%20EV%20grid%20integration%20study.ashx, 14.09.2014.

[19] ″Masa transmisije dostavnog ICE vozila″;

http://www.zf.com/media/media/en/productfinder_media/trucks/trucks_driveline_ecomid/pdf_102/9_s_1310_to.pdf, 02.07.2014.

[20] ″Masa motora dostavnog ICE vozila″;

http://www.man.com.au/wp-content/uploads/download-manager-files/D0836_truck_engine_EN.pdf , 02.07.2014.

[21] ″Masa transmisije dostavnog EV″;

http://www.sae.org/events/training/symposia/esvp/presentations/2011/fabio_viotto.pdf, 02.07.2014.