Simulacija i analiza dinamike promjene stupnja prijenosa automatskog mjenjača u AVL CRUISE okruženju

Brkić, Antonio

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

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:235:494124

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**

Repository / Repozitorij:

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

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Antonio Brkić

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori: Student:

Prof. dr. sc. Joško Deur, dipl. ing. Antonio Brkić

Zagreb, 2017.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru profesoru Jošku Deuru na pruženoj prlici za izradu ovog rada, kao i Vanji Ranogajecu koji je spremno odgovarao na sve nejasnoće i time pridonio izradi ovog rada.

Antonio Brkić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Antonio Brkić** Mat. br.: 0036473840

Naslov rada na engleskom jeziku: **Simulation and analysis of automatic transmission shift dynamics within the AVL CRUISE environment**

Opis zadatka:

Računalne simulacije imaju široku primjenu u analizi dinamičkog ponašanja pogonskog sustava vozila. AVL CRUISE predstavlja visoko-integriranu simulacijsku platformu, koja nudi široku paletu modela pojedinih komponenti pogonskih sustava vozila i popratnih alata. U radu je potrebno:

- Opisati značajke modela temeljnih komponenti pogonskih sustava vozila dostupnih u AVL CRUISE okruženju, te korištenjem tih podmodela implementirati cjelokupni model pogonskog sustava s automatskim mjenjačem s planetarnim prijenosnicima;
- generirati mape promjene stupnja prijenosa uzimajući u obzir kriterije ostvarenja željenih voznih performansi i minimizacije potrošnje goriva;
- provesti simulacije dinamičkog ponašanja cjelokupnog modela za tipične ispitne zadatke poput vožnje po zadanom certifikacijskom voznom ciklusu, zalijetanja vozila u širokom rasponu uzdužne brzine i vožnje pod punim opterećenjem;
- analizirati rezultate simulacija s naglaskom na dinamiku uzlaznih i silaznih promjena stupnja prijenosa, te međudjelovanje automatskog mjenjača i motora s unutarnjim izgaranjem.

Zadatak zadan:

30. studenog 2016.

Rok predaje rada:
1. rok: 24. veljače 2017.
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2017.
3. rok: 22. rujna 2017.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 27.2. - 03.03. 2017.
2. rok (izvanredni): 30. 06. 2017.
3. rok: 25.9. - 29. 09. 2017.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Joško Deur

v.d. predsjednika Povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

SADRŽAJ I
POPIS SLIKA II
POPIS TABLICA IV
POPIS KRATICA V
SAŽETAK VI
SUMMARY VII
1. UVOD 1
2. MODEL VOZILA 2
2.1. Izrada modela vozila 2
2.2. Opis komponenti modela vozila 3
3. GENERIRANJE MAPE PROMJENE STUPNJA PRIJENOSA 11
3.1. Postavljanje parametara „Gear Shifting Program“-a 12
3.2. Provođenje simulacije i analiza „Gear Shifting Program“-a 14
4. PROVOĐENJE SIMULACIJA OSNOVNOG MODELA 18
5. ANALIZA SIMULACIJSKIH REZULTATA OSNOVNOG MODELA 23
5.1. Analiza potrošnje goriva i voznosti vozila 25
5.2. Analiza dinamike promjene stupnja prijenosa 28
5.2.1. Analiza dinamike uzlaznih promjena stupnja prijenosa („Upshift“) 29
5.2.2. Analiza dinamike silaznih promjena stupnja prijenosa („Downshift“) 32
6. ZAKLJUČAK 34
LITERATURA 35
PRILOZI 36

POPIS SLIKA

Slika 1. Mogućnosti povezivanja AVL CRUISE alata [1] ... 1
Slika 2. Model vozila u AVL CRUISE okruženju ... 2
Slika 3. Vrste veza [1] ... 3
Slika 4. Ikona komponente „Vehicle“ u AVL CRUISE okruženju i prozor s osnovnim postavkama [1] ... 4
Slika 5. Ikona komponente „Engine“ i prozor s mapom potrošnje goriva [1] ... 4
Slika 6. Ikona komponente „Torque Converter“ s pripadnim krivuljama pretvorbe momenta [1] ... 5
Slika 7. Ikona komponente „Gear Box“ s definiranim stupnjevima prijenosa [1] ... 5
Slika 8. Ikona komponente „Single Ratio“ s pripadajućim parametrima [1] ... 6
Slika 9. Ikona komponente „Differential“ s pripradajućim parametrima [1] ... 6
Slika 10. Ikona komponente „Brake“ s parametrima za prednje (gore) i stražnje (dolje) kočnice [1] ... 7
Slika 11. Ikona komponente „Wheel“ s nekim od pripadajućih parametara [1] ... 7
Slika 12. Ikona komponente „Cockpit“ s nekim od pripadajućih parametara [1] ... 8
Slika 13. Ikona komponente „Exhaust Gas Unit“ s mapom korisnosti NOX pretvorbe [1] ... 8
Slika 14. Ikona komponente „Monitor“ sa varijablama koje prati [1] ... 8
Slika 15. Ikona komponente „Gear Box Program“ s pripadajućim krivuljama promjene stupnja prijenosa [1] ... 9
Slika 16. Ikona komponente „Gear Box Control“ s pripadajućim parametrima [1] ... 10
Slika 17. „OPT Folder“ sa pod-datotekama „GSP Generation“ i „GSP Optimization“ ... 11
Slika 18. Postavke „Settings Stationary Tasks“ datoteke ... 12
Slika 19. Postavke „GSP Settings“ datoteke ... 13
Slika 20. Parametri „Optimization Settings“ datoteke ... 14
Slika 21. Mapa promjene stupnja prijenosa koju generira „GSP Generation“ modul ... 15
Slika 22. Potrošnje optimiziranih NEDC (lijevo) i US06 (desno) ciklusa ... 15
Slika 23. Idealni raspored stupnjeva prijenosa po NEDC ciklusu ... 16
Slika 24. Idealni raspored stupnjeva prijenosa po US06 ciklusu ... 17
Slika 25. Stablo datoteke „Project“ ... 18
Slika 26. Definiranje načina promjene stupnja prijenosa („Shifting Strategy“) ... 19
Slika 27. Standardni profil vozača („Driver“) ... 19
Slika 28. Parametri za koje je potrebno definirati kurs („Course“) ... 19
Slika 29. Profil brzine vozila u NEDC voznom ciklusu ... 20
Slika 30. Profil brzine vozila u US06 voznom ciklusu ... 20
Slika 31. Profil brzine vozila u UDC voznom ciklusu ... 20
Slika 32. Modul „Calculation Center“ ... 21
Slika 33. Modul „Result Manager“ ... 22
Slika 34. Referentna (ljubičasta linija) i ostvarena (plava linija) brzina vozila za NEDC vozni ciklus. Crvena linija prikazuje dopušteno minimalno i maksimalno odstupanje brzine vozila od referentnog profila ... 23
Slika 35. Referentna (ljubičasta linija) i ostvarena (plava linija) brzina vozila za US06 vozni ciklus. Crvena linija prikazuje dopušteno minimalno i maksimalno odstupanje brzine vozila od referentnog profila ... 24

Slika 36. Referentna (ljubičasta linija) i ostvarena (plava linija) brzina vozila za UDC vozni ciklus. Crvena linija prikazuje dopušteno minimalno i maksimalno odstupanje brzine vozila od referentnog profila 24
Slika 37. Korištenjem mape promjene stupnja prijenosa koja je generirana GSP Generation modulom 25
Slika 38. Korištenjem „Gear Box Control“ modula za promjenu prijenosa ovisno o brzini vozila 25
Slika 39. Krivulje maksimalnog ubrzanja po stupnjevima prijenosa u odnosu na brzinu vozila 27
Slika 40. Vrijednosti maksimalnog ubrzanja za pojedini stupanj prijenosa i optimalne točke promjene stupnja prijenosa za ostvarenje najvećeg ubrzanja 27
Slika 41. Krivulja zalijetanja u širokom rasponu uzdužne brzine 28
Slika 42. Zalijetanje s parametrima po diskretnim točkama brzina vozila 28
Slika 43. Simulacijski rezultati 2-3 uzlazne promjene na kojem su izdvojene pojedine karakteristične veličine (trenutni stupanj prijenosa, željeni stupanj prijenosa, izlazni moment mjenjača, prijenosni omjer, moment motora, brzina vrtnje motora, pomak papučice gasa) 30
Slika 44. Simulacijski rezultati 4-5 (gore) i 1-2 (dolje) uzlazne promjene na kojem su izdvojene pojedine karakteristične veličine (moment motora, brzina vrtnje motora, trenutni stupanj prijenosa, željeni stupanj prijenosa, izlazni moment mjenjača i signal ubrzanja) 31
Slika 45. Simulacijski rezultati 4-3 silazne promjene na kojem su izdvojene pojedine karakteristične veličine (trenutni stupanj prijenosa, željeni stupanj prijenosa, izlazni moment mjenjača, prijenosni omjer, moment motora, brzina vrtnje motora, pomak papučice gasa) 33

POPIS TABLICA

Tablica 1. Odnos potrošnje goriva simulacijskih rezultata korištenjem „Gear Box Control“, „GSP Generation“ i „GSP Optimization“ modula u litrama na sto kilometara 26

POPIS KRATICA

Kratica	**Opis**
AVL	Njem. Anstalt für Verbrennungskraftmaschinen List, ili u prijevodu Institut za motore s unutarnjim izgaranjem List
AT	Engl. Automatic Transmission – automatska transmisija
SUI	Motor s unutarnjim izgaranjem
GSP	Gear Shifting Program – modul u računalnom programu AVL CRUISE
CVT	Engl. Continuously variable transmission – kontinuirano varijabilna transmisija
NEDC	Engl. New European Driving Cycle – certifikacijski vozni ciklus
US06	Od SFTP – US06 (engl. Supplemental Federal Test Procedure) - certifikacijski vozni ciklus
UDC	Engl. Urban Driving Cycle – certifikacijski vozni ciklus

SAŽETAK

U sklopu ovog završnog zadatka bilo je potrebno provesti simulaciju i analizu dinamike promjene stupnja prijenosa automatskog mjenjača u AVL CRUISE okruženju. Primjenom navedenog softvera izrađen je model konvencionalnog vozila za kojeg su generirane mape promjene stupnja prijenosa koristeći modul „Gear Shifting Program“. Konačno, provedene su simulacije na osnovu kojih je napravljena analiza potrošnje goriva te dinamike promjene stupnja prijenosa. Kroz rad se, osim analize simulacija, daje i pregled korištenih komponenti pomoću kojih je izrađen model te su također opisane i neke od korištenih funkcija potrebnih za provođenje simulacija.

Ključne riječi: simulacija pogonskog sustava vozila, automatski mjenjač,
mapa promjene stupnja prijenosa, AVL CRUISE, dinamika promjene stupnja prijenosa

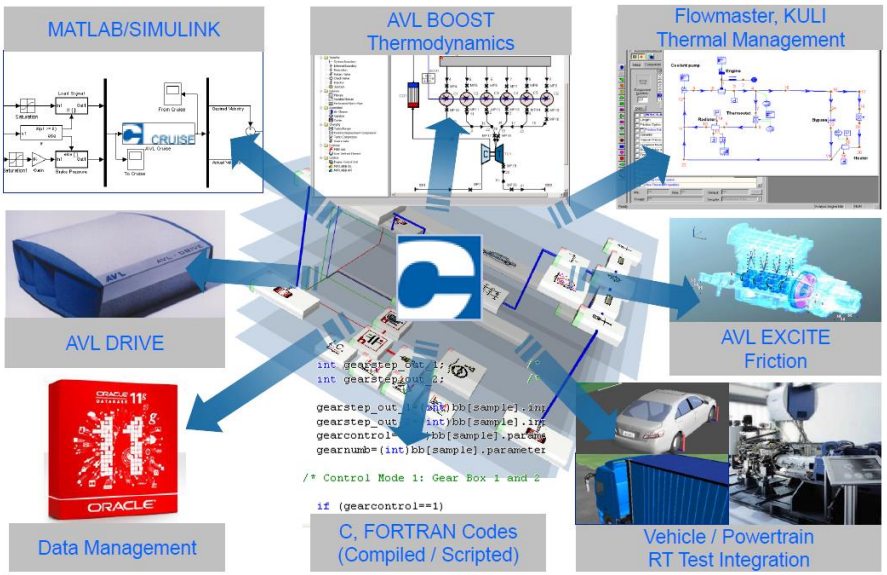
SUMMARY

The subject of this thesis is simulation of vehicle powertrain system equipped with conventional automatic transmission (AT) and analysis of obtained simulation results with focus on automatic transmission shift dynamics. Simulations are performed within AVL CRUISE – a highly-integrated simulation platform that offers a wide variety of powertrain component models and associated tools. One module that is available within AVL CRUISE environment is "Gear Shifting Program", which is used in this work for generation of gear shifting maps. Finally, analyses of shift dynamics and fuel consumption are carried out based on the obtained simulation results. In addition to the simulation-based analyses, the thesis gives an overview of the powertrain components used to build the complete vehicle model.

Keywords: vehicle powertrain simulation, automatic transmission, gear shifting map, AVL CRUISE, gear shifting dynamics

1. UVOD

U sklopu ovog završnog zadatka potrebno je provesti simulacije i analizu dinamike promjene stupnja prijenosa automatskog mjenjača u AVL CRUISE okruženju. AVL CRUISE predstavlja visoko-integriranu simulacijsku platformu, a proizvod je austrijske tvrtke AVL (njem. *Anstalt für Verbrennungskraftmaschinen List*) koja se bavi istraživanjem te konzultiranjem na području autoindustrije. Primjenom navedenog softvera potrebno je izraditi model pogonskog sustava vozila s automatskim mjenjačem te generirati mape promjene stupnja prijenosa uzimajući u obzir kriterije ostvarenja željenih voznih performansi i minimizaciju potrošnje goriva i konačno provesti simulacije na osnovu kojih se provode daljnje analize. Cilj rada je prikazati utjecaj mape promjene stupnja prijenosa na ukupnu potrošnju goriva za različite vozne cikluse te prikazati i analizirati dinamiku promjene stupnja prijenosa za uzlaznu („Upshift“) i silaznu („Downshitf“) promjenu kako bi se bolje razumijeli utjecaji takvih promjena na model. Također prikazati će se i međudjelovanje automatskog mjenjača i SUI motora u toku promjene stupnja prijenosa.



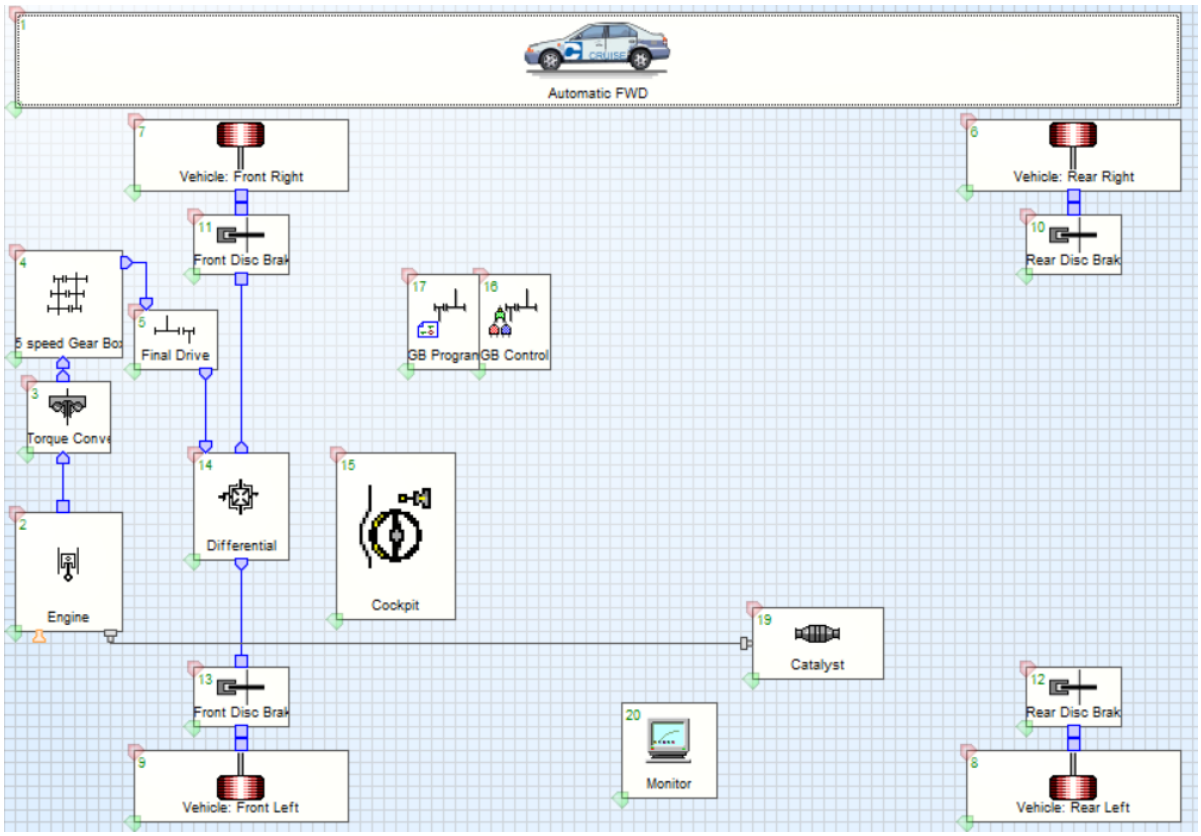
Slika 1. Mogućnosti povezivanja AVL CRUISE alata [1]

2. MODEL VOZILA

2.1. Izrada modela vozila

Korištenjem softvera AVL CRUISE te njegovih gotovih modela pojedinih komponenti pogonskog sustava vozila i popratnih alata kao što su vrste veza među komponentama, izrađen je model vozila (Slika 2). Mnogobrojni parametri, koje je potrebno unijeti prilikom izrade, preuzeti su iz već postojećih modela koji dolaze s AVL CRUISE instalacijom.

Prilikom izrade modela bilo je potrebno ubaciti odgovarajuće komponente vozila te ih povezati odgovarajućom vrstom veze. Vrste veza, kao i svaka od korištenih komponenti, detaljnije su objašnjene u sljedećem potpoglavlju (2.2).

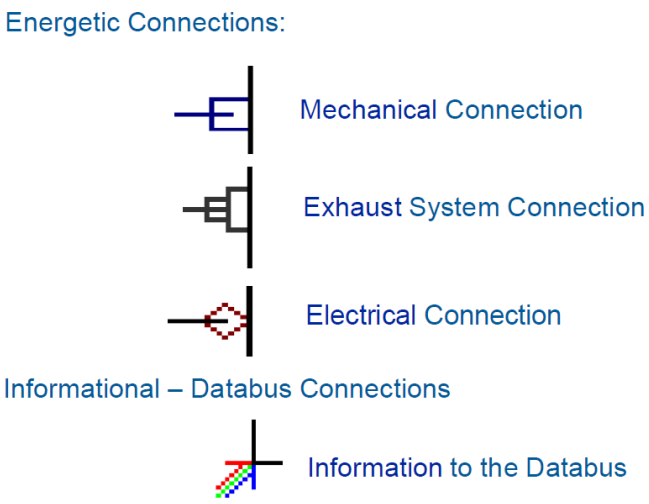


Slika 2. Model vozila u AVL CRUISE okruženju

2.2. Opis komponenti modela vozila

U ovom poglavlju detaljnije je prikazana svaka od komponenti modela vozila. Interakcija između komponenti omogućena je korištenjem dvije osnovne vrste veza (Slika 3). Prilikom izrade ovog rada korištene su dvije vrste energetskih veza od mogućih tri, te jedna informacijska veza.

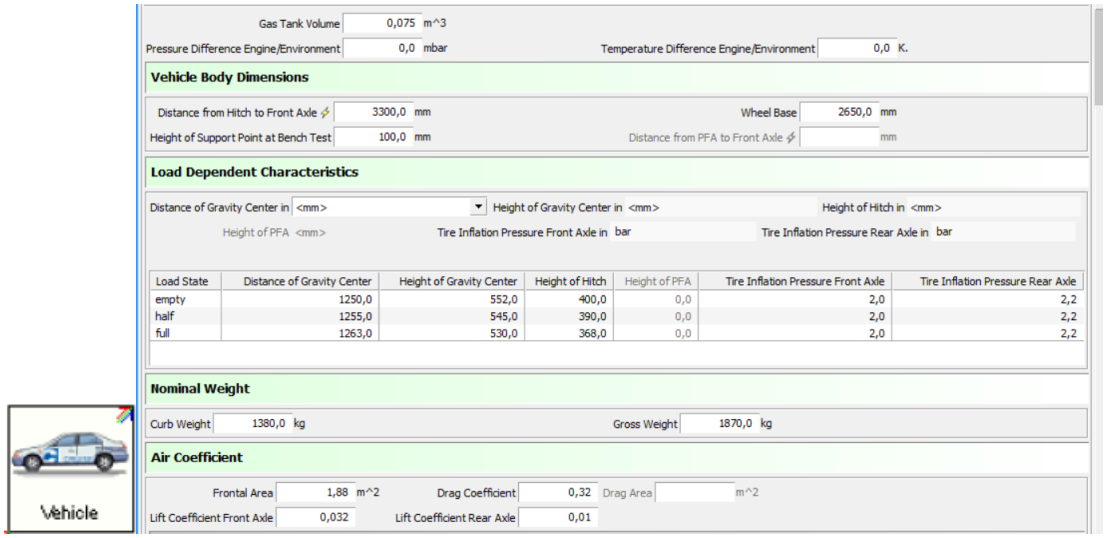
Korištenjem energetskih veza gotovo sve komponente međusobno su povezane mehaničkom vezom, veza ispuha korištena je samo kod povezivanja SUI motora s komponentom ispušnog sustava, dok električna veza nije korištena. Informacijske veze služe da bi se slali upravljački signali te dijelile informacije među komponentama, primjerice ukoliko je potrebno pratiti broj okretaja motora na instrument ploči u kabini („Cockpit“-u) treba informacijskom vezom povezati broj okretaja motora iz komponente „Cockpit“ s brojem okretaja motora iz komponente „Engine“.



Slika 3. Vrste veza [1]

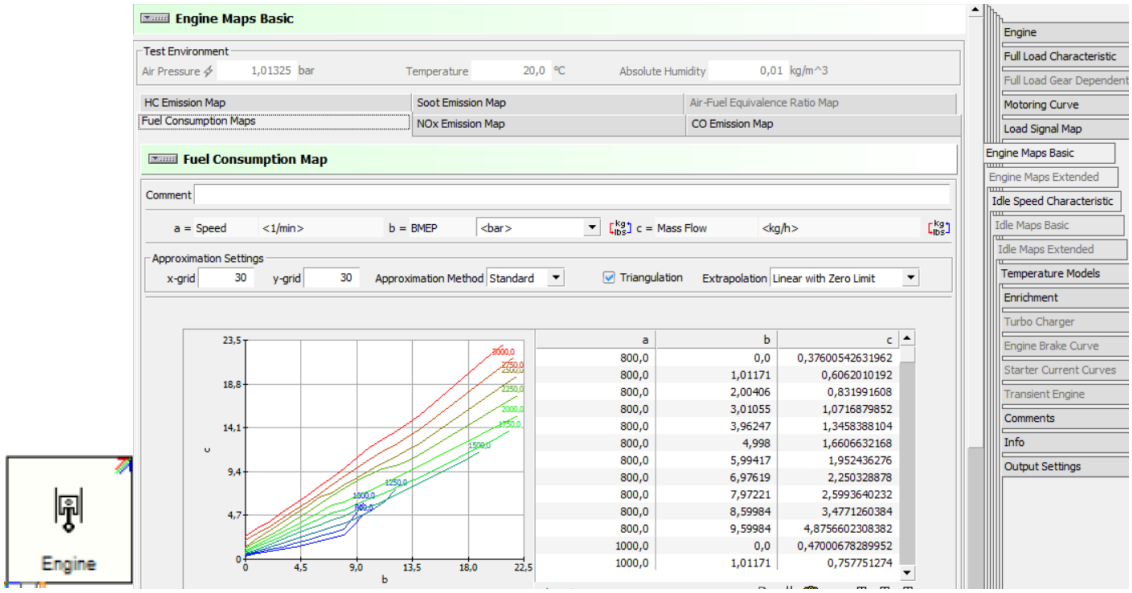
Nadalje prikazane su sve korištene komponente, njihov kratak opis i neki od osnovnih parametara za izvedbu simulacija.

Osnovna komponenta svakog modela naziva se „Vehicle“ ili vozilo (Slika 4). Komponentom „Vehicle“ definiraju se osnovni podaci za neko vozilo kao što su dimenzije, masa vozila, volumen spremnika goriva, koeficijent otpora zraka i slično.



Slika 4. Ikona komponente „Vehicle“ u AVL CRUISE okruženju i prozor s osnovnim postavkama [1]

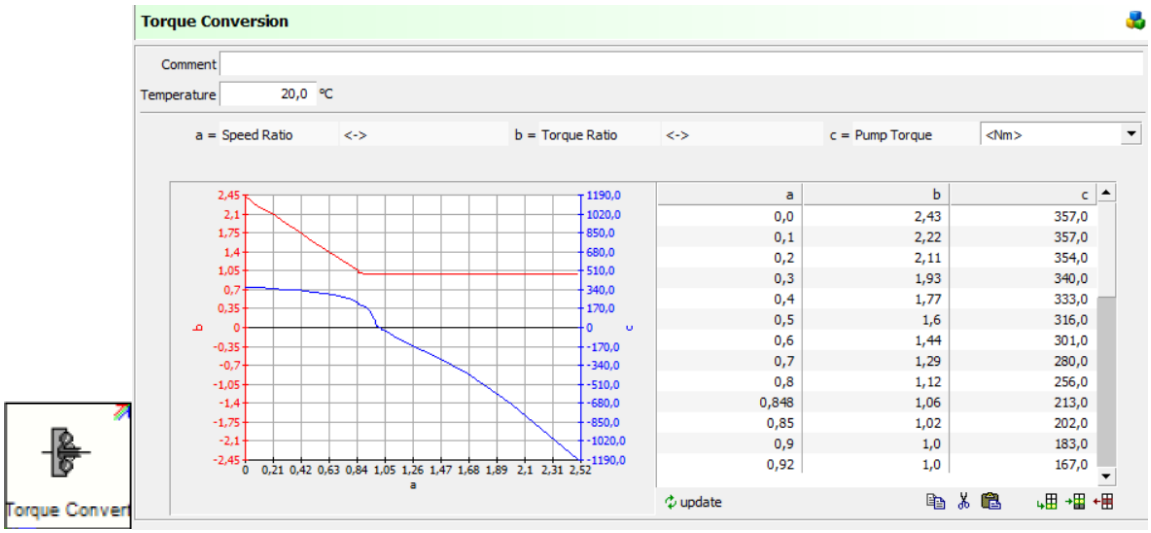
Komponenta „Engine“ daje matematički model motora s unutarnjim izgaranjem (Slika 5) te su u njoj sadržane karakteristike samog motora. Potrebno je unijeti osnovne podatke kao što su radni obujam, broj cilindara, vrsta motora (benzinski ili dizelski) te razne mape za potrošnju goriva, emisije štetnih plinova, karakteristike punog opterećenja i slično.



Slika 5. Ikona komponente „Engine“ i prozor s mapom potrošnje goriva [1]

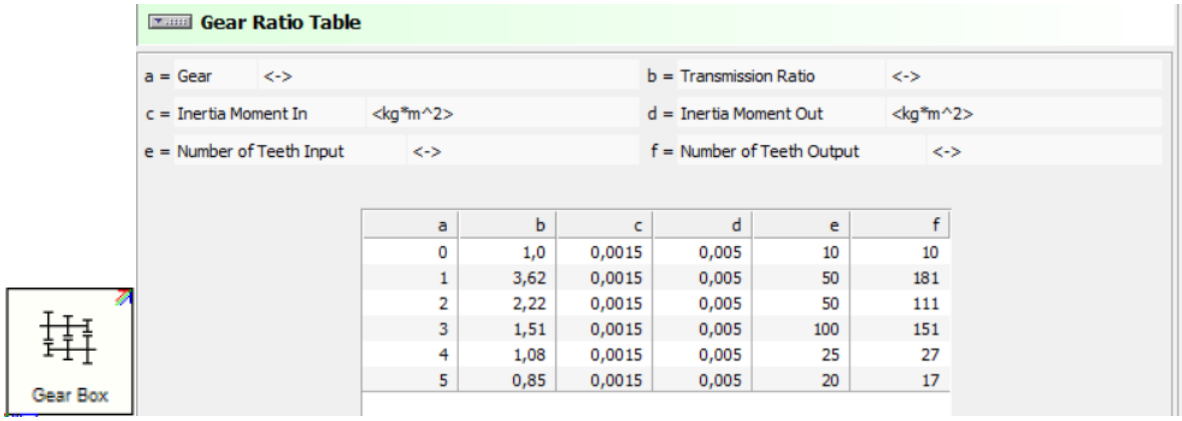
Komponenta „Torque Converter“ predstavlja pretvarač momenta (Slika 6) koji je zapravo hidrodinamička spojka koja povezuje izlazno vratilo SUI motora s ulaznim vratilom

transmisije. Tako je u modelu ta komponenta poveznica između komponente SUI motora i komponente „Gearbox“ ili mjenjač. Parametri pretvarača momenta su krivulje pretvorbe momenta kao i momenti inercije pumpe odnosno turbine s uljem.



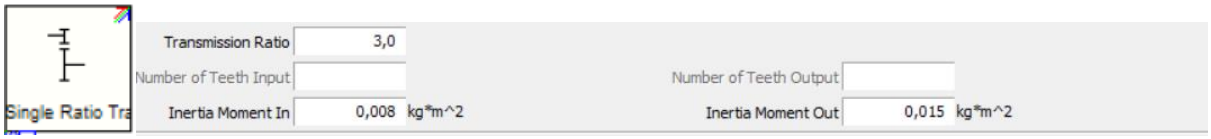
Slika 6. Ikona komponente „Torque Converter“ s pripadnim krivuljama pretvorbe momenta [1]

Slijedi već spomenuta komponenta „Gear Box“ koja predstavlja mjenjač. Parametri mjenjača preuzeti su iz postojećih AVL-ovih primjera, tako je za ovaj model definiran mjenjač s pet stupnjeva prijenosa čiji su prijenosni omjeri definirani prema slici 7. Prema istoj slici su definirani momenti inercije (ulazni i izlazni) za svaki stupanj prijenosa te korisnost koja je za svaki stupanj prijenosa postavljena na 95%.



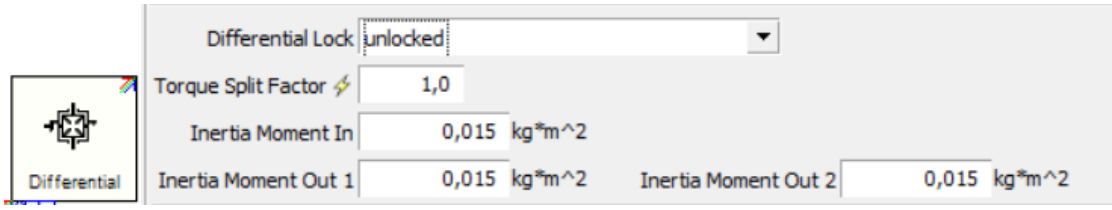
Slika 7. Ikona komponente „Gear Box“ s definiranim stupnjevima prijenosa [1]

Komponenta „Single Ratio“ (Slika 8) predstavlja jedan prijenosni omjer između dvije komponente. Tako je ovdje definiran prijenosni omjer između komponente „Gear Box“ odnosno mjenjača i komponente „Differential“ odnosno diferencijala. Parametri za komponentu „Single Ratio“ su momenti inercije ulaznog i izlaznog dijela, prijenosni omjer, te korisnost koja je postavljena na 97%. Tipično se naziva „Final Drive“ ili završni prijenos.



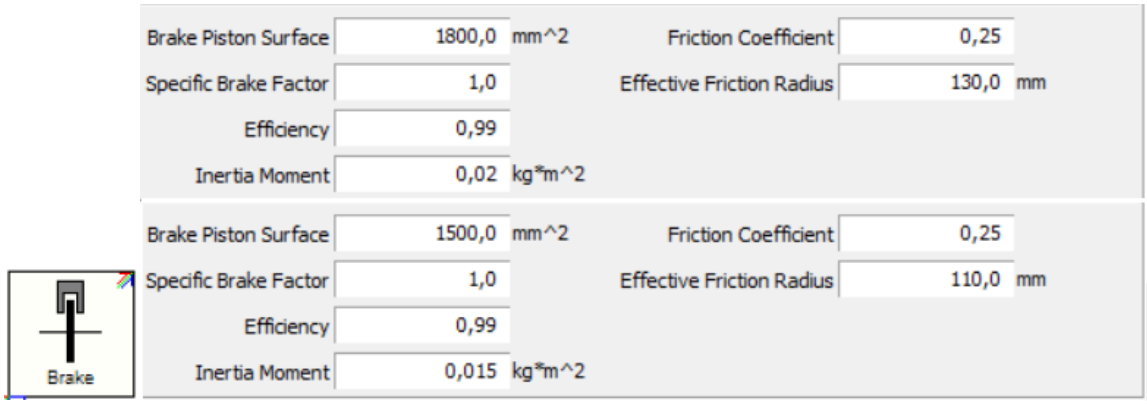
Slika 8. Ikona komponente „Single Ratio“ s pripadajućim parametrima [1]

Komponenta „Differential“ predstavlja diferencijal (diferencijalni prijenosnik) odnosno djelitelj snage (Slika 9). Parametri su momenti inercije ulaznog vratila i dvaju izlaznih poluvratila te faktor razdvajanja momenta („Torque Split Factor“). Faktor razdvajanja momenta predstavlja odnost između vrtijednosti momenta koji se raspodjeljuje na drugo poluvratilo podijeljen sa vrijednost momenta koji se raspodjeljuje na prvo poluvratilo.



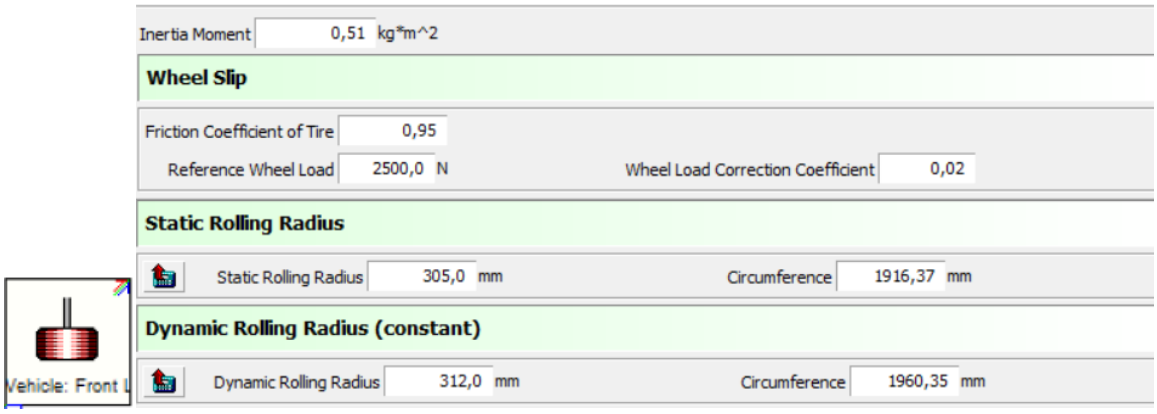
Slika 9. Ikona komponente „Differential“ s pripradajućim parametrima [1]

Model sadrži četiri komponente „Brake“ (Slika 10) koje predstavljaju po dvije prednje i dvije stražnje kočnice. Parametri za prednje i stražnje kočnice su različiti, a matematički model koji ih opisuje funkcija je sljedećih parametara: površine, koeficijenta trenja, momenta inercije i slično.



Slika 10. Ikona komponente „Brake“ s parametrima za prednje (gore) i stražnje (dolje) kočnice [1]

Model također sadrži i četiri komponente „Wheel“ (Slika 11) koje predstavljaju četiri kotača. Sva četiri kotača sadrže iste parametre koji se sastoje od momenta inercije kotača, koeficijenta trenja gume, referentnog opterećenja kotača, statičkog i dinamičkog radijusa kotrljanja, raznih karakteristika klizanja itd.

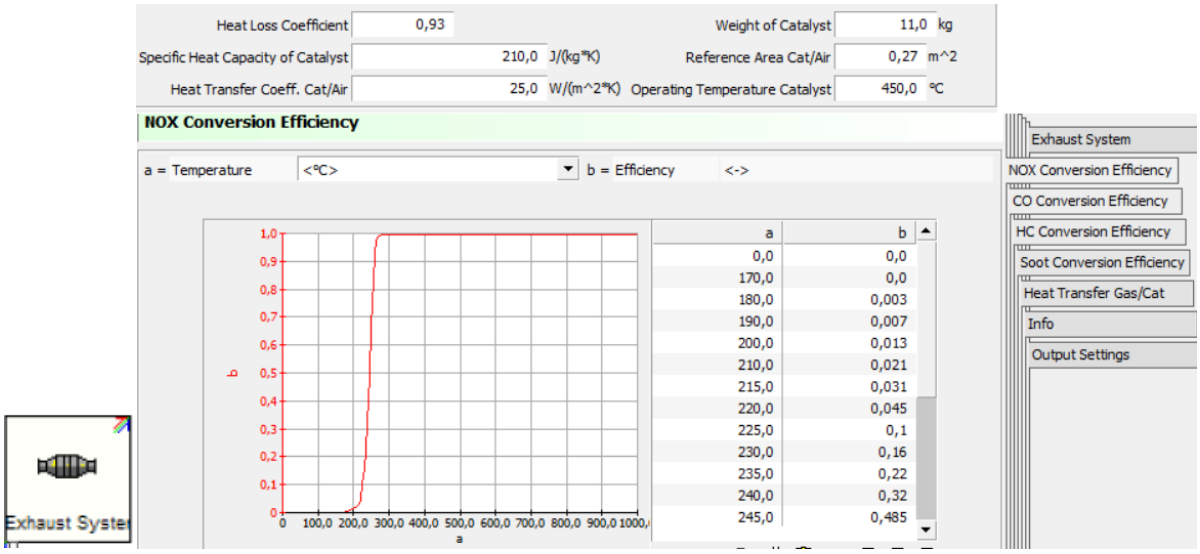


Slika 11. Ikona komponente „Wheel“ s nekim od pripadajućih parametara [1]

Komponenta „Cockpit“ (Slika 11) predstavlja kabinu te je ona poveznica između vozača i vozila, služi da se opiše koji su podaci na raspolaganju vozaču te kako on može utjecati na vozilo. U njoj se određuje vrsta prijenosa (manualni ili automatski) te karakteristike pedale gasa i pedale kočnice. Ovdje su obje karakteristike linearne (od 0 do 100%).

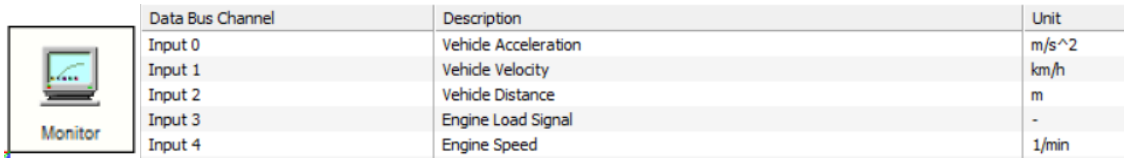
Slika 12. Ikona komponente „Cockpit“ s nekim od pripadajućih parametara [1]

Komponenta „Exhaust Gas Unit“ (Slika 13) uzima u obzir učinak katalizatora na emisiju štetnih plinova. Parametri, kao i krivulje efikasnosti pretvorbe koje su za većinu ispušnih plinova jednake, prikazani su na slici 13.



Slika 13. Ikona komponente „Exhaust Gas Unit“ s mapom korisnosti NOX pretvorbe [1]

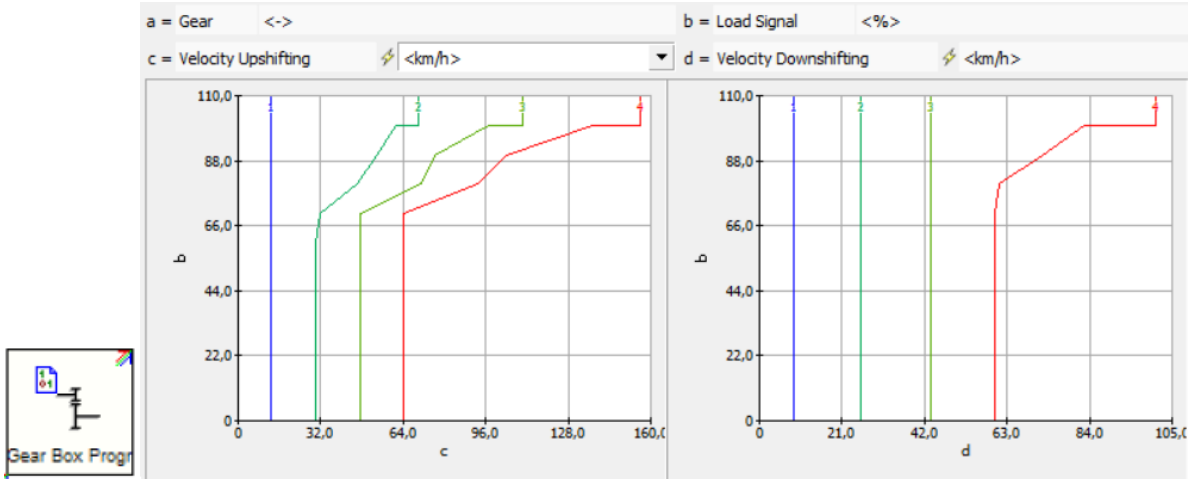
Komponenta „Monitor“ (Slika 14) služi za praćenje proizvoljnih, korisnički-definiranih varijabli za vrijeme izvođenja simulacije. Može se pratiti do deset različitih varijabli koje povezuju informacijske veze između komponente „Monitor“ i odgovarajućih komponenti modela pogonskog sustava vozila.



Data Bus Channel	Description	Unit
Input 0	Vehicle Acceleration	m/s^2
Input 1	Vehicle Velocity	km/h
Input 2	Vehicle Distance	m
Input 3	Engine Load Signal	-
Input 4	Engine Speed	1/min

Slika 14. Ikona komponente „Monitor“ sa varijablama koje prati [1]

Komponenta „Gear Box Program“ (Slika 15) sadrži mape promjene stupnja prijenosa po zadanim krivuljama. Krivulje su dane kao funkcija pozicije papučice gasa („Load Signal“) i brzine vrtnje SUI motora. Detaljan opis kako se dobivaju krivulje prikazan je u idućem poglavlju koje se odnosi na generiranje mape promjene stupnja prijenosa.



Slika 15. Ikona komponente „Gear Box Program“ s pripadajućim krivuljama promjene stupnja prijenosa [1]

Komponenta „Gear Box Control“ (Slika 16) mijenja brzine ovisno o brzini vrtnje motora ili brzini vozila te je ujedno i poveznica između komponenata „Gear Box Program“ i „Gear Box“. U njoj se definiraju parametri za promjene stupnja prijenosa ovisno o brzini vrtnje motora, brzini vrtnje motora u sljedećem stupnju prijenosa ili prema profilu brzine vozila.

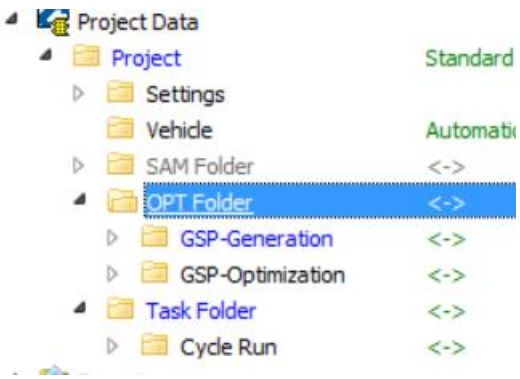
Slika 16. Ikona komponente „Gear Box Control“ s pripadajućim parametrima [1]

3. GENERIRANJE MAPE PROMJENE STUPNJA PRIJENOSA

Generiranje mape promjene stupnja prijenosa izvodi se koristeći modul integriran u AVL CRUISE naziva „Gear Shifting Program“ ili skraćeno GSP. GSP se odnosi na optimizacijsku datoteku („OPT Folder“, Slika 17) koja se dalje dijeli na tri pod-datoteke naziva:

- GSP Wizard – Sastoji se od vrlo kompaktne metode stvaranja uzoraka promjene stupnja prijenosa koja kombinira performanse vozila i potrošnju goriva. [5]
- GSP Generation – Sastoji se od stvaranja mape promjene stupnja prijenosa koristeći slobodna ograničenja u pogledu performansi vozila i nagiba ceste, stvarajući upravljačke programe za „lock-up“ spojke kao i za njihove odgovarajuće raspone vozljivosti. [5]
- GSP Optimization – Sastoji se od određivanja optimalnih stupnjeva prijenosa na zadanom voznom ciklusu uzimajući u obzir potrošnju/ograničenja na emisije štetnih plinova za različite konfiguracije pogona. [5]

Po uzoru na već gotove modele, korišteni su moduli „GSP Generation“ i „GSP Optimization“ (Slika 17) u kojima se namještaju potrebni parametri za provođenje izračuna.

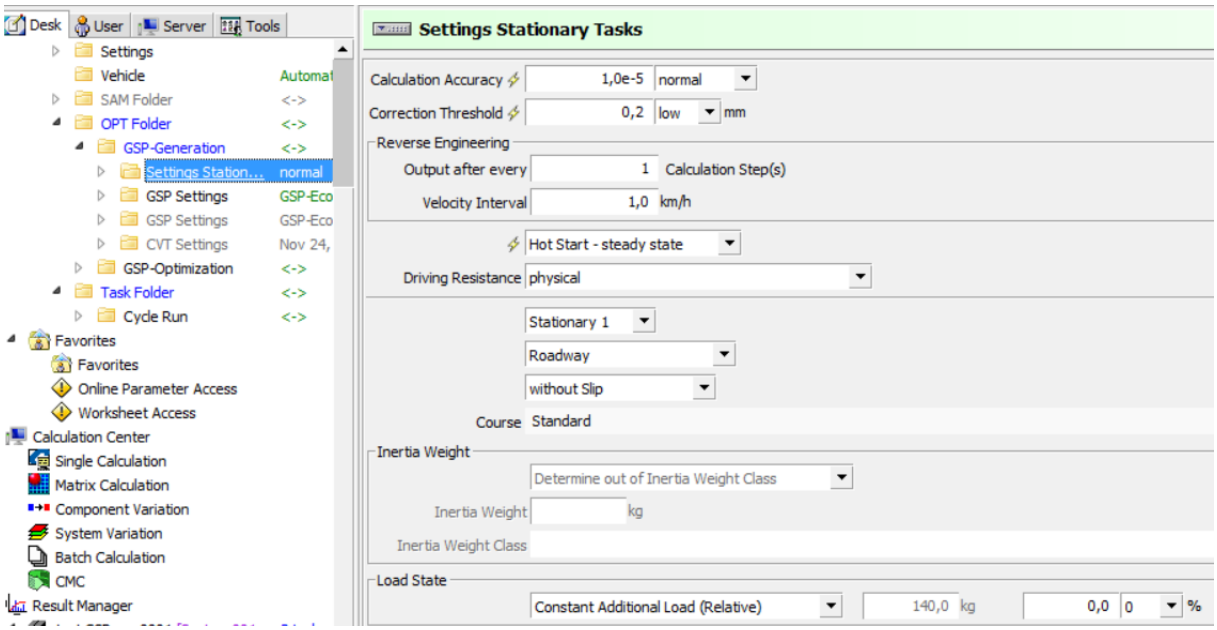


Slika 17. „OPT Folder“ sa pod-datotekama „GSP Generation“ i „GSP Optimization“

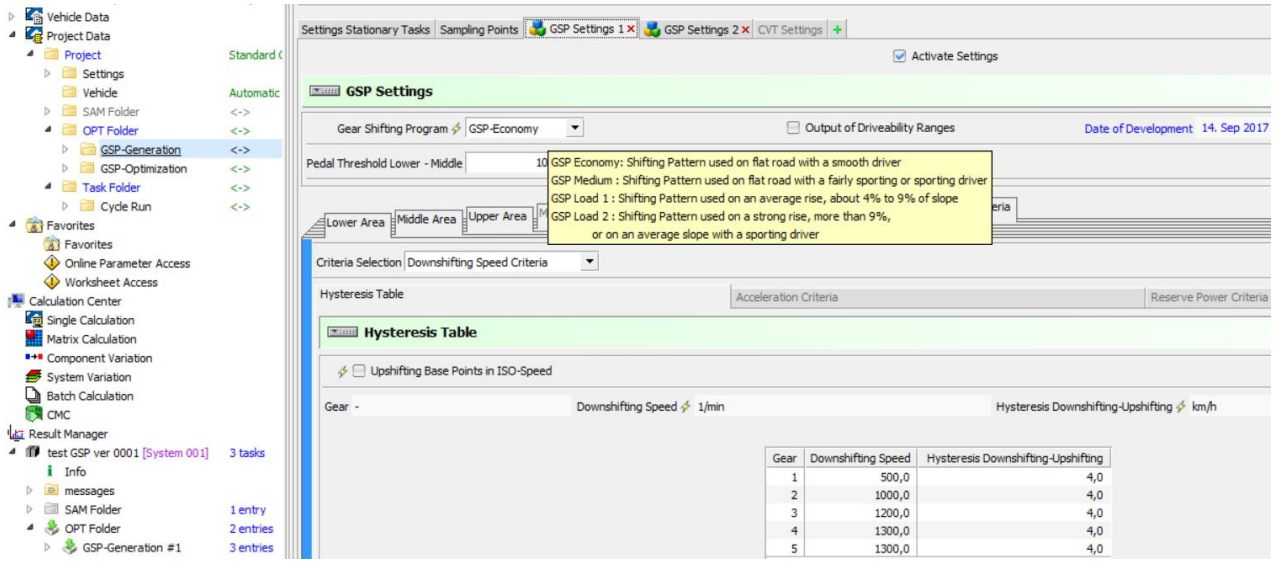
3.1. Postavljanje parametara „Gear Shifting Program“-a

Datoteka „GSP Generation“ također se dijeli na tri pod-datoteke:

- Settings Stationary Tasks – U kojoj se podešavaju osnovne karakteristike proračuna (Slika 18).
- GSP Settings – U kojoj se podešava mnoštvo parametara, jedno od kojih je „Gear Shifting Program“ koji se odnosi na profil vožnje (ekonomična, sportska itd.). Također ostale postavke se dijele na tri glavna dijela („Lower Area“, „Middle Area“ i „Upper Area“) [5] u kojima se određuje profil promjene brzina. Ovisno o poziciji papučice gasa sustav određuje koji od ta tri dijela je trenutno aktivan. (Slika 19)
- CVT Settings – Ovaj dio se odnosi na varijabilnu transmisiju, a ne na transmisiju kakva je zadana zadatkom, stoga se ovdje ne koristi.



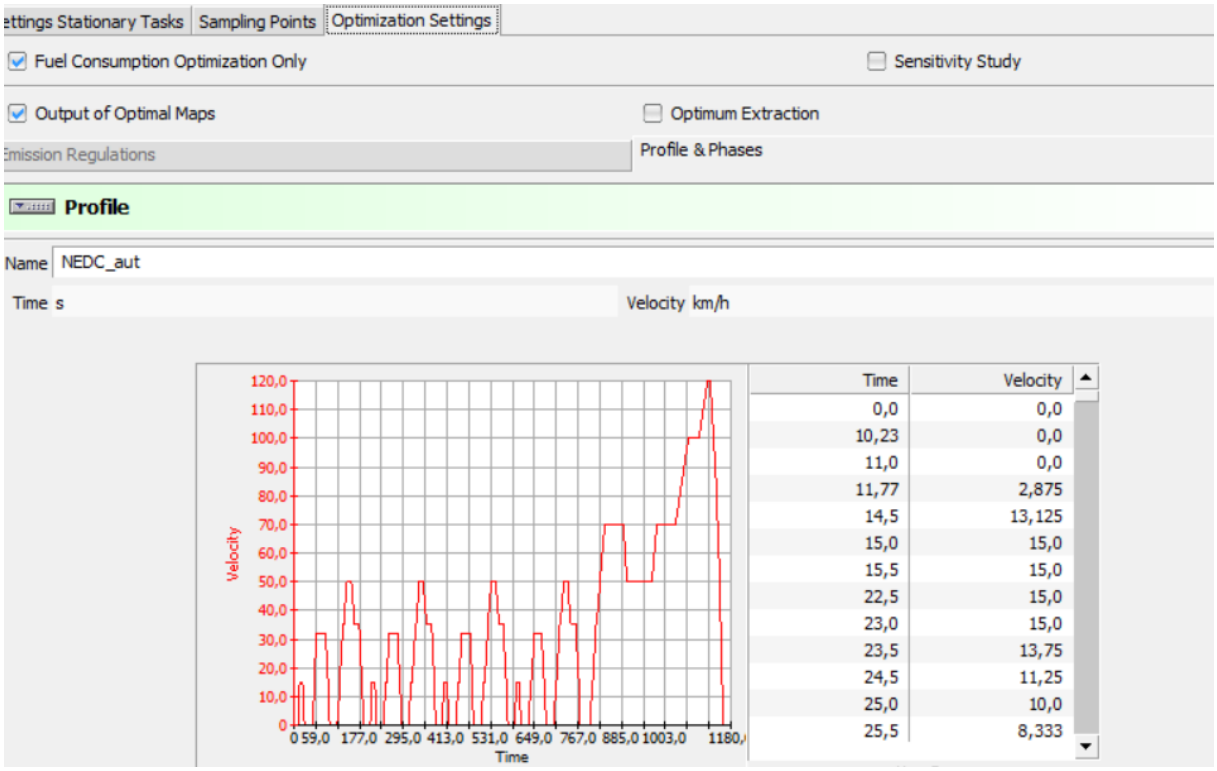
Slika 18. Postavke „Settings Stationary Tasks“ datoteke



Slika 19. Postavke „GSP Settings“ datoteke

Valja napomenuti da se ovjde radi o statičkom generiranju mape promjene stupnjeva prijenosa te da one ne uzimaju u obzir dinamiku samog vozila.

Datoteka „GSP Optimization“ također se dijeli na datoteku „Settings Stationary Tasks“ u kojoj se postavljaju parametri identični onima kao kod „GSP Generation“ datoteke. Osim navedene „Settings Stationary Tasks“ sadrži i „Optimization Settings“ datoteku u kojoj se podešavaju željeni parametri optimizacije mape promjene stupnja prijenosa koje se računaju po zadanom voznom ciklusu. Dakle parametri optimizacije koji se zadaju su: vozni ciklus, potrošnja goriva, emisije štetnih plinova i ograničenja brzine. Kako je to zadatkom zadano, korištena je opcija za računanje optimalne potrošnje goriva koja automatski isključuje parametre emisije štetnih plinova, tj. uzima u obzir samo kriterij minimizacije potrošnje goriva na danom voznom ciklusu (Slika 20).

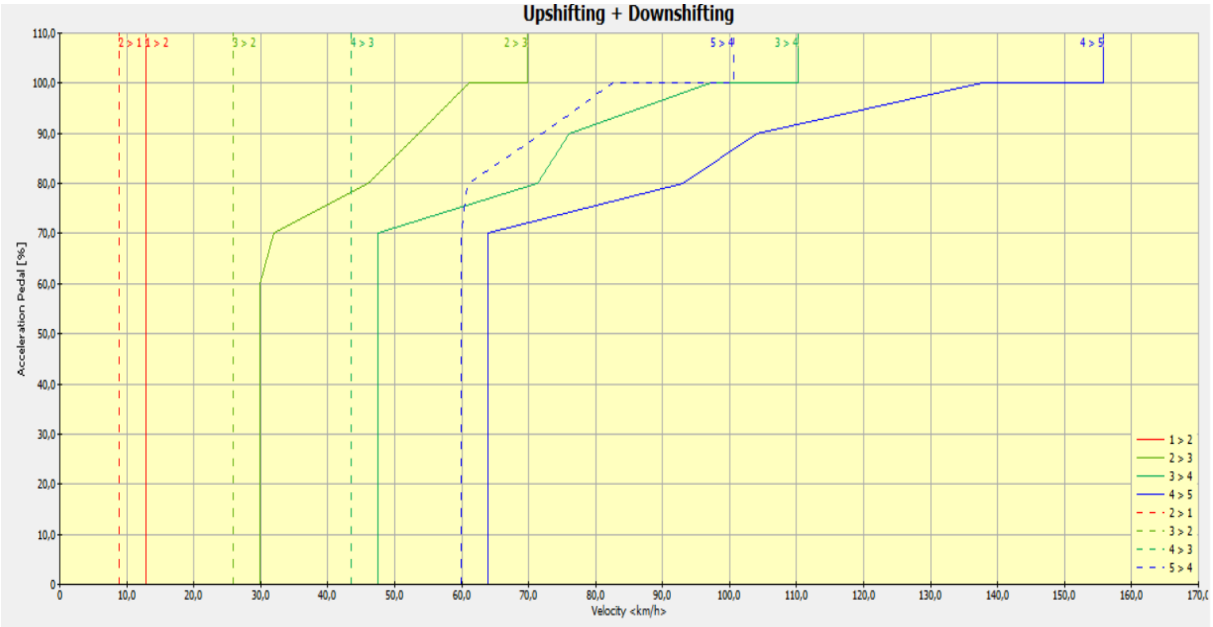


Slika 20. Parametri „Optimization Settings“ datoteke

Na slici je prikazan profil brzine za NEDC ciklus, no proračun je rađen i za ciklus US06 u svrhu usporedbe rješenja.

3.2. Provođenje simulacije i analiza „Gear Shifting Program“-a

Konačno simulacija je spremna za pokretanje te nam „GSP Generation“ proračunava mapu promjene stupnja prijenosa (Slika 21), gdje je stupanj prijenosa određen brzinom vozila na osi apscise i pozicijom papučice gasa na ordinati. Puna crta na slici 21 predstavlja uzlaznu promjenu stupnja prijenosa („Upshifting“) dok isprekidana crta predstavlja silaznu promjenu stupnja prijenosa („Downshifting“).



Slika 21. Mapa promjene stupnja prijenosa koju generira „GSP Generation“ modul

Modul „GSP Optimization“ proračunava kako bi izgledao optimalan način vožnje na zadanom ciklusu uz zadane kriterije, tj. daje prikaz profila vožnje s najmanjom potrošnjom goriva za zadani certifikacijski ciklus. Dakle rezultati navedenog modula primarno služe za prikaz idealnog profila vožnje za zadane kriterije te sam modul ne generira nove (bolje) mape promjene stupnja prijenosa nego služi kao primjer kako bi vozni ciklus trebao izgledati. Takva rješenja optimizacije daju idealne potrošnju goriva koja za NEDC ciklus iznosi 3,78 litara na sto kilometara, a za US06 ciklus potrošnju od 3,84 litre na sto kilometara (Slika 22). Te brojke prikazuju iznimno niske potrošnje koje su ujedno i nerealne.

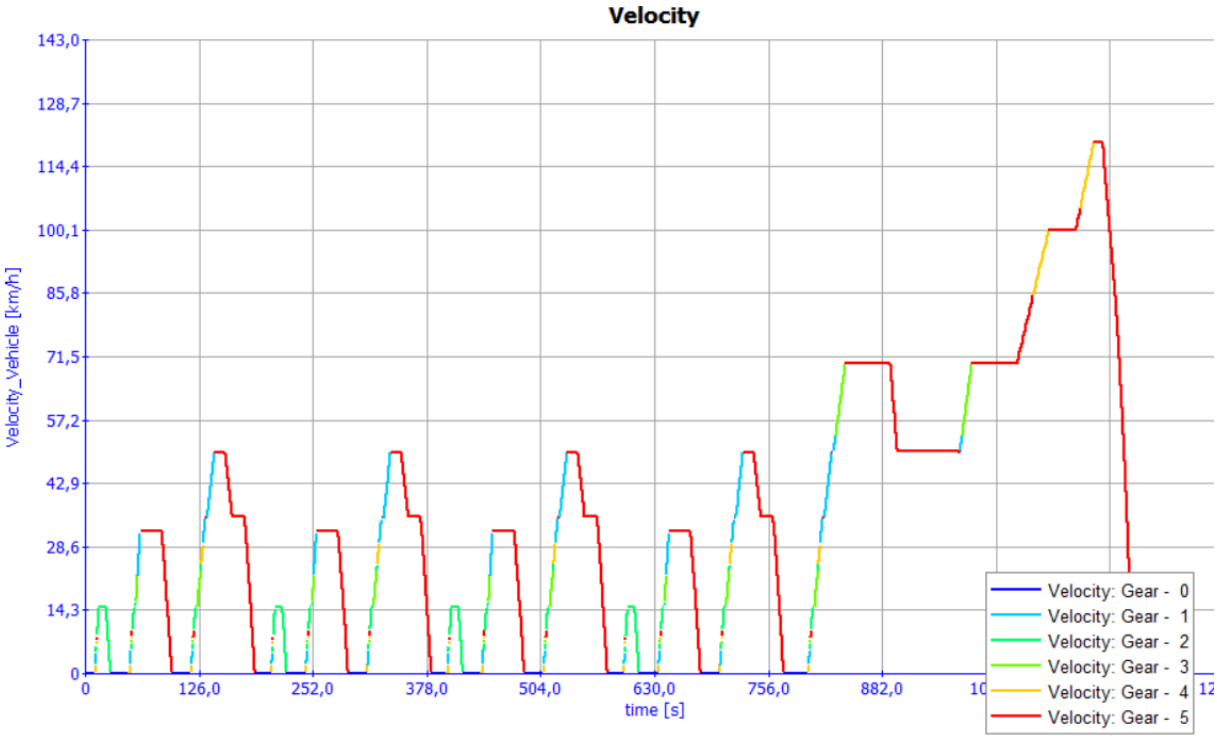
```
RESULTS OF OPTIMIZATION ON CYCLE

Optimum Weighting Factor:   0.0000   [-]
Fuel Consumption:      3.78     [l/100km]
Emission NOx:        0.000      [g/km]
```

```
RESULTS OF OPTIMIZATION ON CYCLE

Optimum Weighting Factor:   0.0000   [-]
Fuel Consumption:      3.84     [l/100km]
Emission NOx:        0.000      [g/km]
```

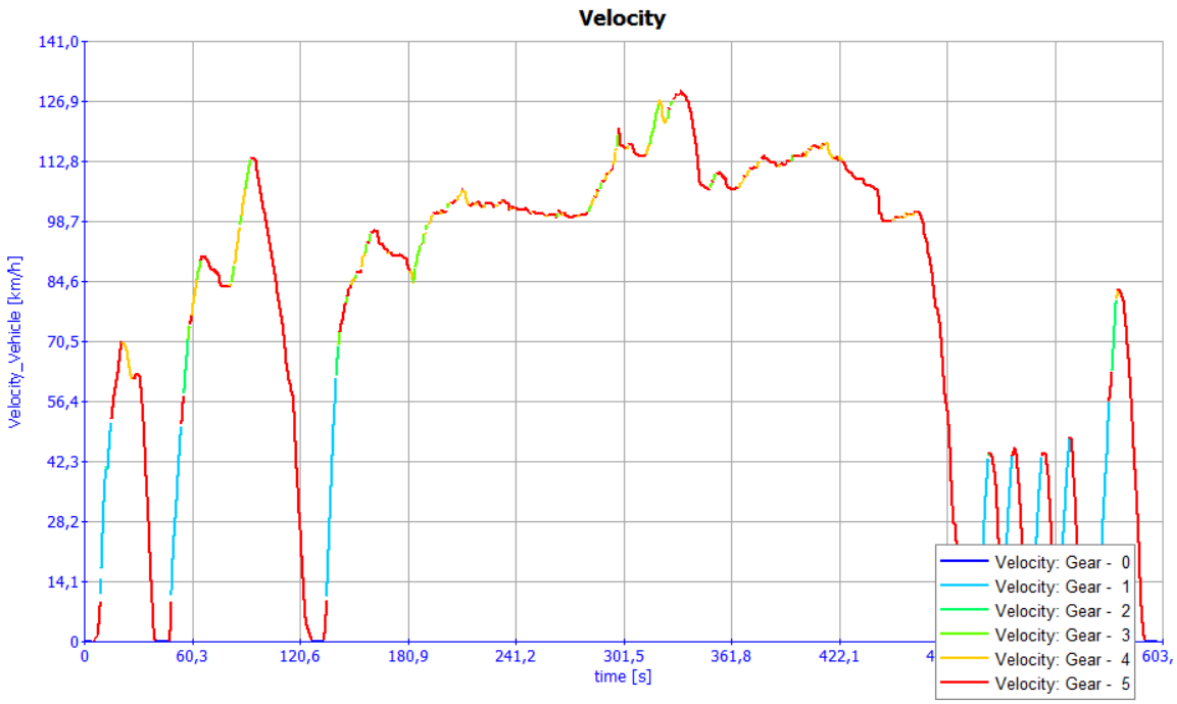
Slika 22. Potrošnje optimiziranih NEDC (lijevo) i US06 (desno) ciklusa



Slika 23. Idealni raspored stupnjeva prijenosa po NEDC ciklusu

Kao što je to vidljivo na slici 23, raspored stupnjeva prijenosa po NEDC ciklusu nije realan, naime u nekim slučajevima graf prikazuje vožnju u petom stupnju prijenosa za brzine koje su čak manje od 10 kilometara na sat ili kretanje iz četvrtog stupnja prijenosa, uz to promjene nekih od stupnjeva prijenosa događaju se prečesto što bi narušilo kvalitetu vožnje.

Da bi se potpuno uvjerili u ove zaključke prikazan je i graf za US06 ciklus (Slika 24). Naime, kako je to vidljivo na slici 24, vozilo za ciklus US06 kreće u zadnjem stupnju prijenosa što je dokaz da optimizacija nije realna te da je nemoguće osigurati takvu vožnju u realnim uvjetima.

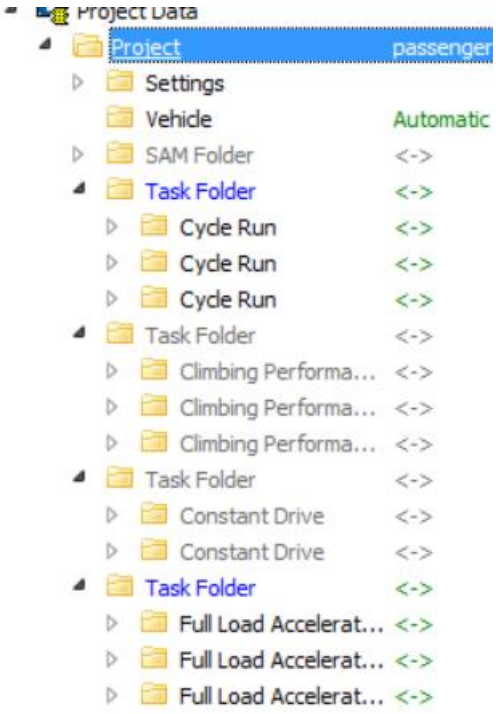


Slika 24. Idealni raspored stupnjeva prijenosa po US06 ciklusu

Iz razloga što je vožnja kakvu prikazuje optimizator nerealna te on ne generira nove mape, za simulacije u kojima se provodi analiza dinamike promjene stupnja prijenosa koristi se mapa promjene stupnjeva slobode koju je prethodno generirao modul „GSP Generation“.

4. PROVOĐENJE SIMULACIJA OSNOVNOG MODELA

Da bi se mogle provesti simulacije izrađenog modela vozila, osim povezivanja komponenti i zadavanja mnogobrojnih parametara, potrebno je podesiti „Project“ datoteku. U „Project“ datoteci definiraju se „Task Folder“-i koji predstavljaju zadatke koje računalni program treba izvršiti. Tako se definiraju zadaci vožnje po zadanom certifikacijskom ciklusu („Cycle Run“), zadaci ubrzavanja pod punim opterećenjem („Full Load Acceleration“), zadaci konstantne vožnje, uspinjanja, kočenja i slično (Slika 25). U okviru ovog zadatka potrebno je provesti simulacije za „Cycle Run“ i „Full Load Acceleration“, odnosno vožnja po zadanom ciklusu (provedene su vožnje na tri različita ciklusa) te vožnja (ubrzavanje) pod punim opterećenjem. Također u oviru datoteke „Project“ nalazi se i datoteka „Vehicle“ u kojoj se definira model vozača koji je podešen na standardni automatski.

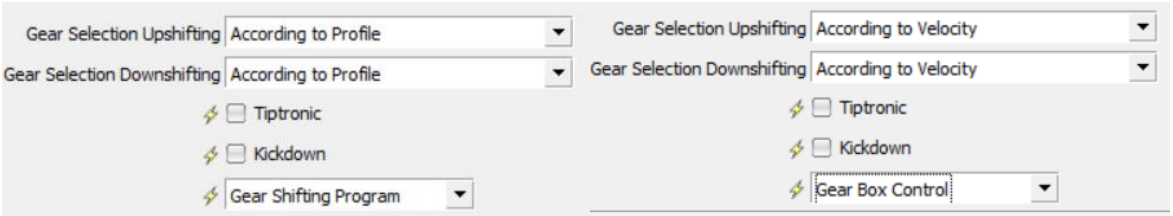


Slika 25. Stablo datoteke „Project“

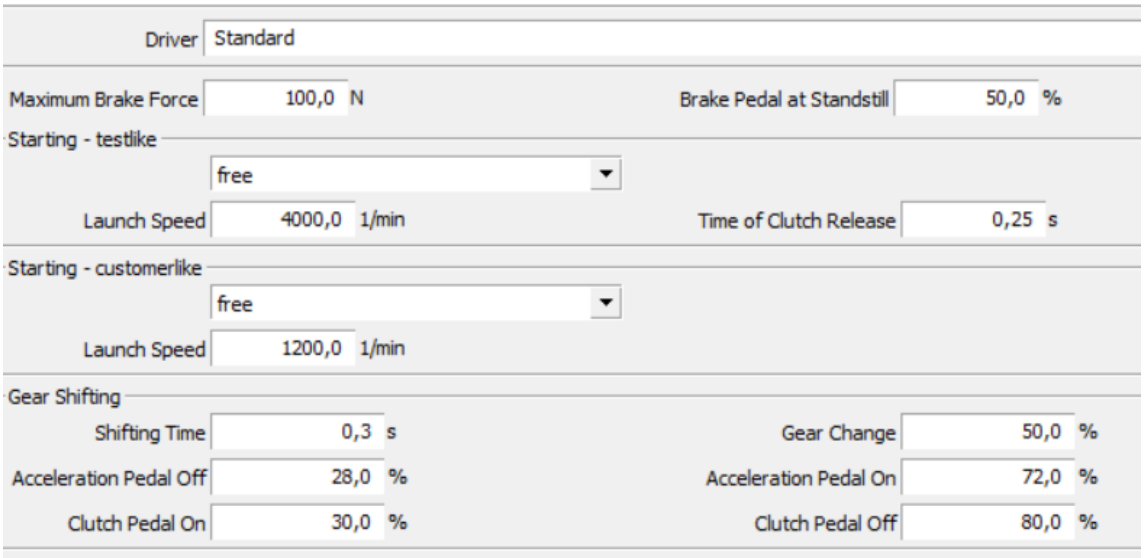
U datoteci „Cycle Run“ definiraju se kurs (engl.„Course“, u kojem se definiraju parametri kao što su brzina vjetra, pritisak zraka, vlažnost zraka i slično), vozni ciklus, model vozača te način promjene stupnja prijenosa (koristeći „Gear Shifting Program“ ili „Gear Shifting

Control“). Komponente kurs i model vozača je za sva tri ciklusa jednaka (standardno AVL-ovo okruženje za kurs, te standardni AVL-ov model vozača). Vozni ciklusi podešeni su na NEDC, US06 te UDC.

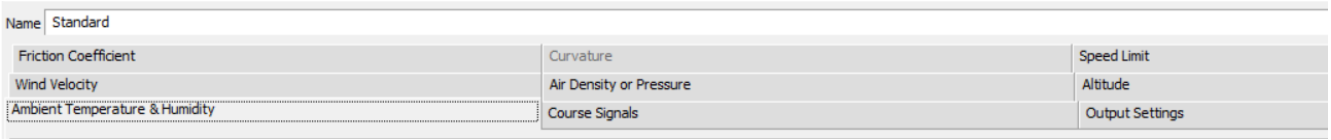
Izvedena su oba načina promjene stupnja prijenosa, „Gear Shifting Program“ za profil generiran GSP-om u trećem poglavlju, te „Gear Shifting Control“ po profilu brzine (Slika 16).



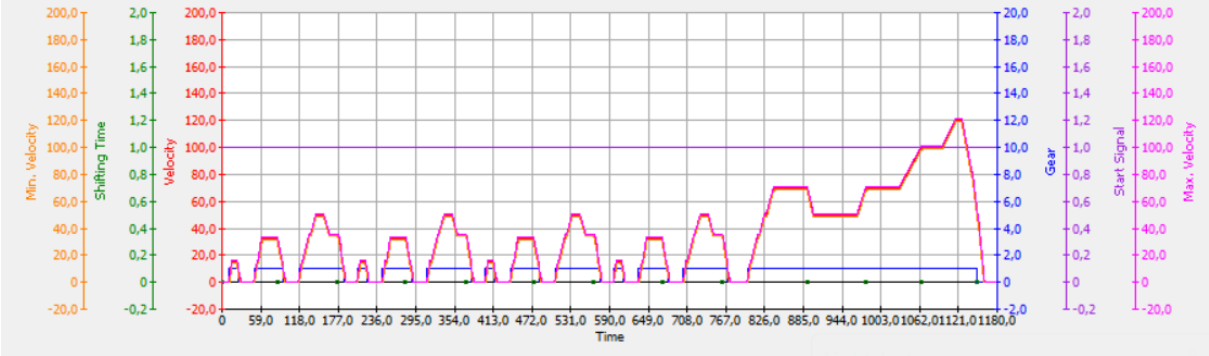
Slika 26. Definiranje načina promjene stupnja prijenosa („Shifting Strategy“)



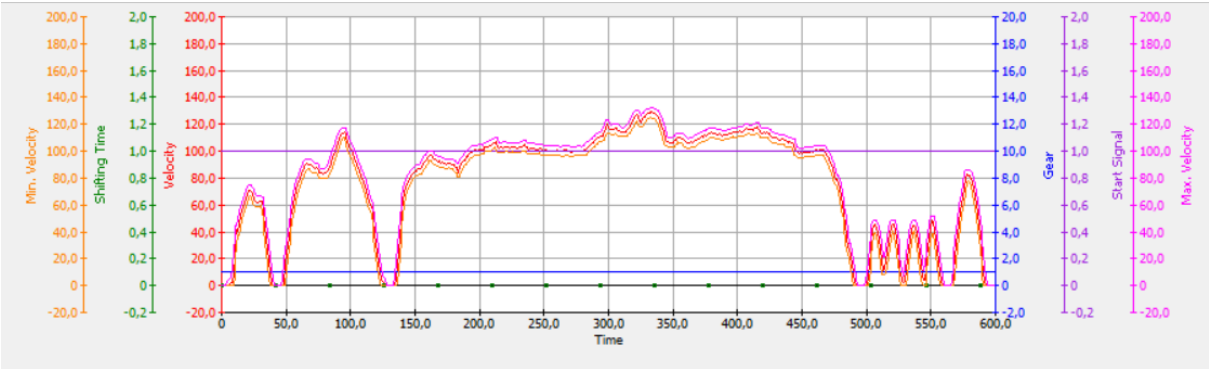
Slika 27. Standardni profil vozača („Driver“)



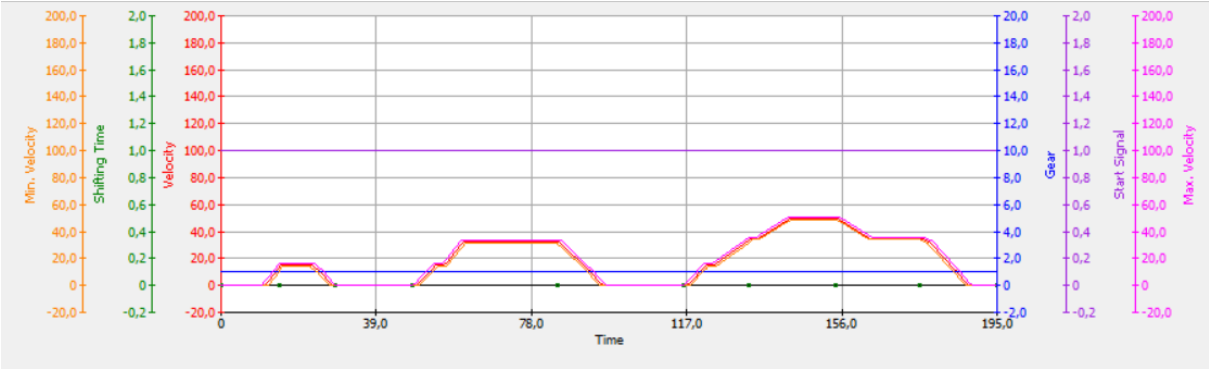
Slika 28. Parametri za koje je potrebno definirati kurs („Course“)



Slika 29. Profil brzine vozila u NEDC voznom ciklusu



Slika 30. Profil brzine vozila u US06 voznom ciklusu

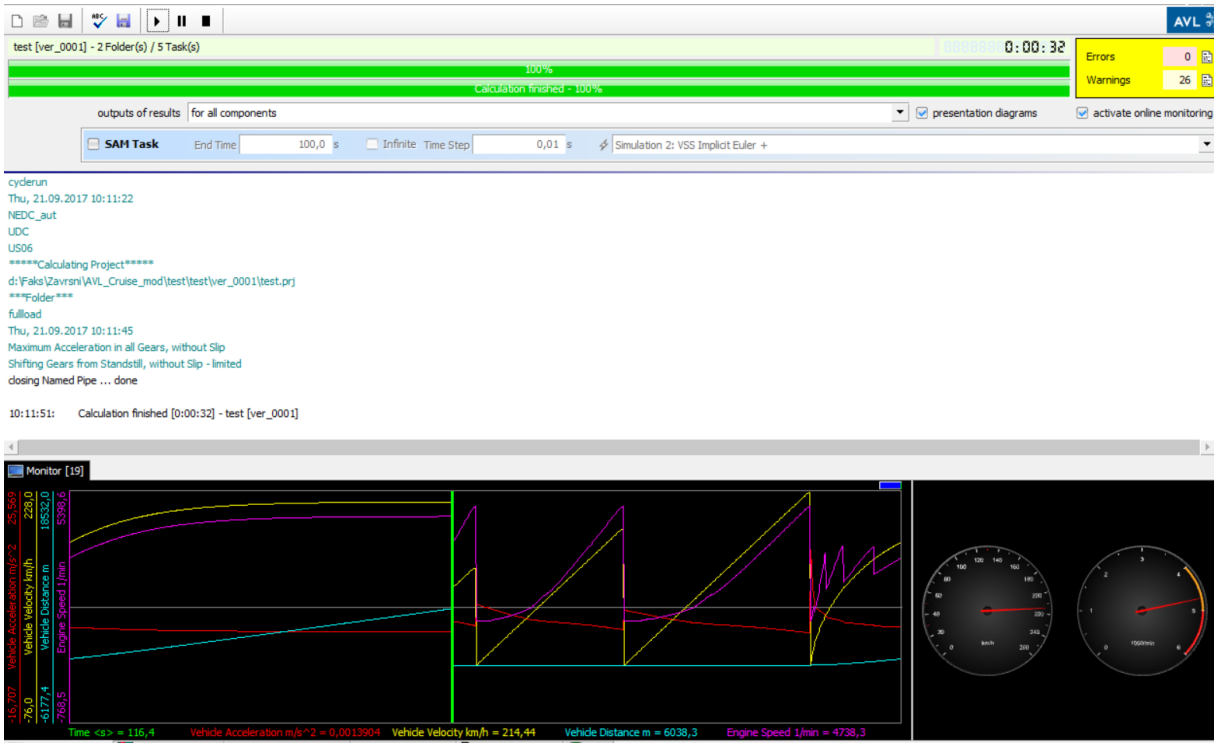


Slika 31. Profil brzine vozila u UDC voznom ciklusu

U datoteci „Full Load Acceleration“ također je potrebno definirati vozača i kurs, koji su definirani jednako kao i kod „Cycle Run“ datoteke. Uz vozača i kurs definira se način vožnje za testiranje, tako se „Full Load Acceleration“ testira na „Shifting Gears From Standstill“ način (pri kojem se stupnjevi prijenosa mjenjaju po „Gear Shifting Program“-u) te „Maximum

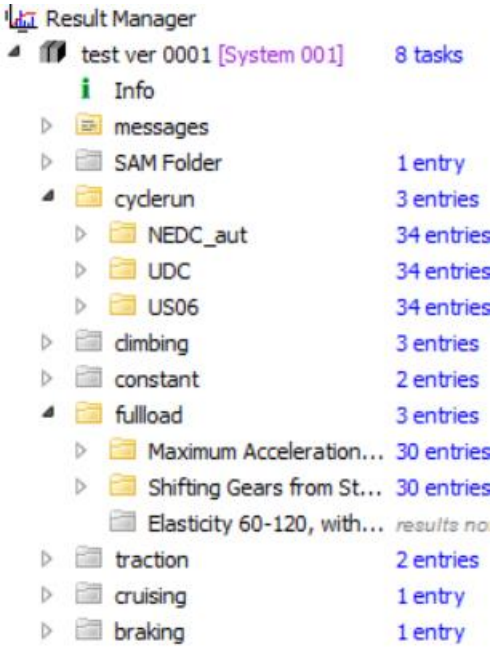
Acceleration in all Gears“ način (pri kojem se stupnjevi prijenosa mjenjaju za maksimalno ubrzanje).

Konačno sve je spremno za provođenje simulacija odnosno izračuna koji se pokreću u modulu centar za izračunavanje („Calculation Center“, Slika 32).



Slika 32. Modul „Calculation Center“

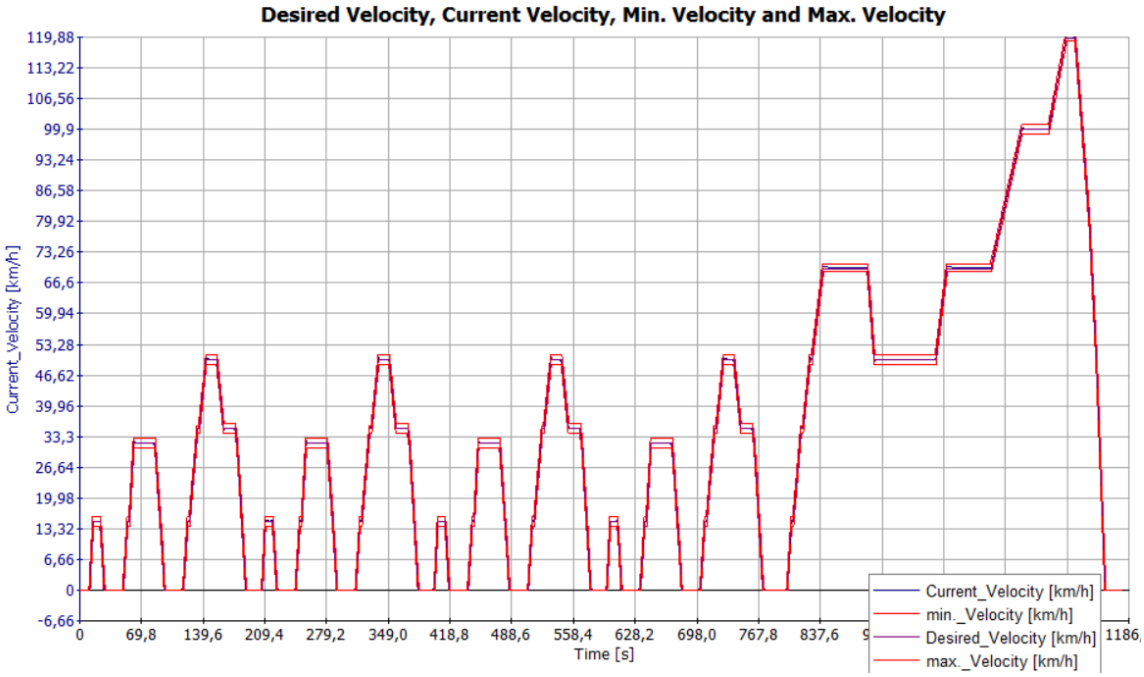
Tijekom provođenja simulacije moguće je pratiti varijable koje su zadane kao ulazi za komponentu „Monitor“. Ostali rezultati mogu se vidjeti u modulu „Result Manager“ (Slika 33) nakon provođenja simulacije. AVL CRUISE automatski iscrtava dijagrame koje smatra da su zanimljivi korisniku, također moguće je i takve dijagrame izmjenjivati te izrađivati vlastite po želji.



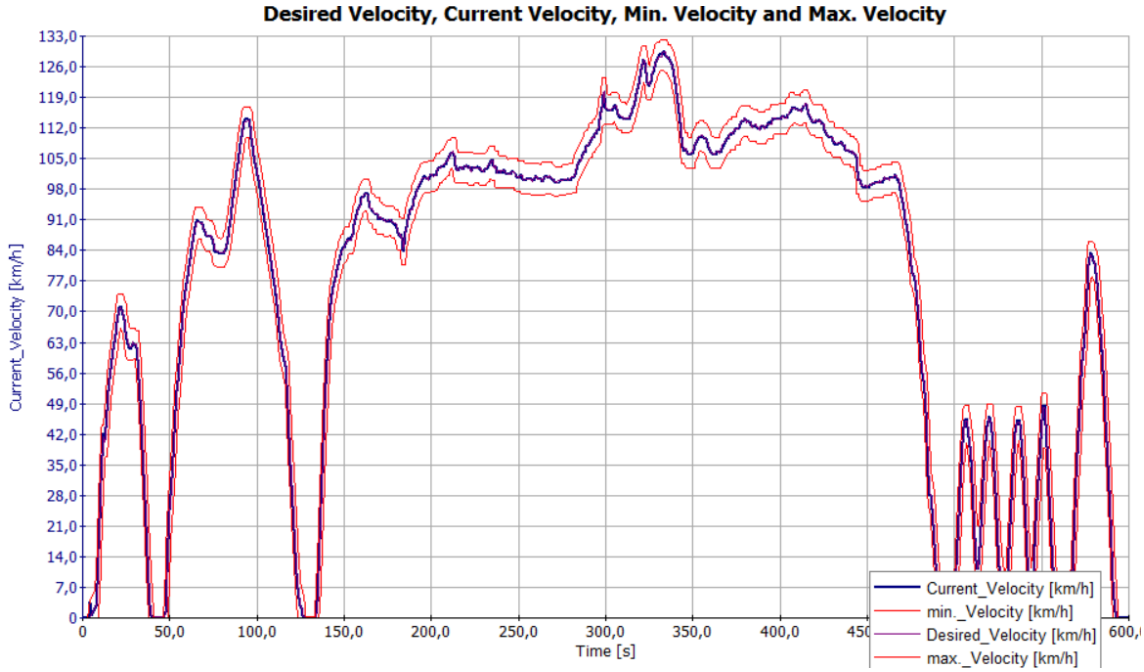
Slika 33. Modul „Result Manager“

5. ANALIZA SIMULACIJSKIH REZULTATA OSNOVNOG MODELA

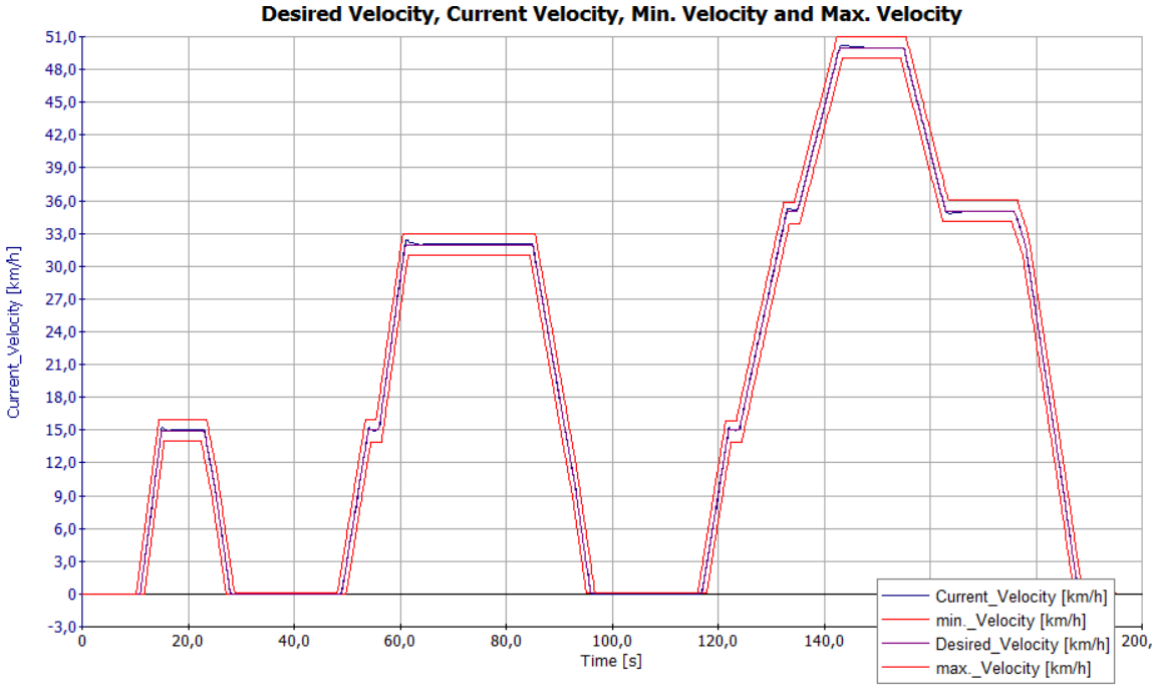
Nakon izvođenja simulacija potrebno je provjeriti dijagram vozača, vidjeti prati li vozač zadani ciklus. Ukoliko vozač ne prati zadani ciklus treba provjeriti jesu li zadani parametri ispravni, ispraviti ih te ponoviti simulaciju.



Slika 34. Referentna (ljubičasta linija) i ostvarena (plava linija) brzina vozila za NEDC vozni ciklus. Crvena linija prikazuje dopušteno minimalno i maksimalno odstupanje brzine vozila od referentnog profila



Slika 35. Referentna (ljubičasta linija) i ostvarena (plava linija) brzina vozila za US06 vozni ciklus. Crvena linija prikazuje dopušteno minimalno i maksimalno odstupanje brzine vozila od referentnog profila



Slika 36. Referentna (ljubičasta linija) i ostvarena (plava linija) brzina vozila za UDC vozni ciklus. Crvena linija prikazuje dopušteno minimalno i maksimalno odstupanje brzine vozila od referentnog profila

Kako je brzina vozila uvijek između minimalne i maksimalne dozvoljene te uredno prati željenu brzinu, zaključuje se da vozač dobro prati sva tri ciklusa te da su simulacije prošle u redu.

5.1. Analiza potrošnje goriva i voznosti vozila

Kao što je to već ranije spomenuto simulacije su provedene koristeći dva načina promjene stupnja prijenosa. Po mapi promjene stupnja prijenosa iz „GSP Generation“ modula čije je generiranje opisano u trećem poglavlju te korištenjem komponente „Gear Box Control“ po brzini vozila koja je objašnjena u drugom poglavlju.

Cycle	Fault-time [s]	Vehicle - mass [kg]	Calculation	Slip	DISTANCE [m]	CONSUMPTION [l/100km]	EMISSIONS NOx [g]	EMISSIONS CO [g]	EMISSIONS HC [g]	EMISSIONS SOOT [g]
NEDC_aut	0.55	1455.0	Simulatio*	Off	11013.25	5.25	2.70	8.36	1.09	0.46
UDC	55.19	1455.0	Simulatio*	Off	1015.79	7.75	0.30	1.34	0.17	0.08
US06	29.08	1455.0	Simulatio*	Off	12890.35	6.53	12.19	9.66	1.05	0.33

Slika 37. Korištenjem mape promjene stupnja prijenosa koja je generirana GSP Generation modulom

Cycle	Fault-time [s]	Vehicle - mass [kg]	Calculation	Slip	DISTANCE [m]	CONSUMPTION [l/100km]	EMISSIONS NOx [g]	EMISSIONS CO [g]	EMISSIONS HC [g]	EMISSIONS SOOT [g]
NEDC_aut	0.25	1455.0	Simulatio*	Off	11013.50	6.10	3.83	12.94	2.13	0.30
UDC	55.22	1455.0	Simulatio*	Off	1015.71	8.69	0.28	1.72	0.25	0.08
US06	28.98	1455.0	Simulatio*	Off	12889.69	6.65	10.07	10.15	1.21	0.33

Slika 38. Korištenjem „Gear Box Control“ modula za promjenu prijenosa ovisno o brzini vozila

Može se primjetiti da rezultati vožnje gdje se promjena stupnja prijenosa odvija po mapi iz „GSP Generation“ modula imaju manju potrošnju goriva za sva tri testirana vozna ciklusa i to

bolju za 13,93% za NEDC, 10,82% za UDC i 1,80% za US06 u odnosu na rezultate vožnje gdje se promjena stupnja prijenosa vrši po brzini vozila kao što je to vidljivo u tablici 1.

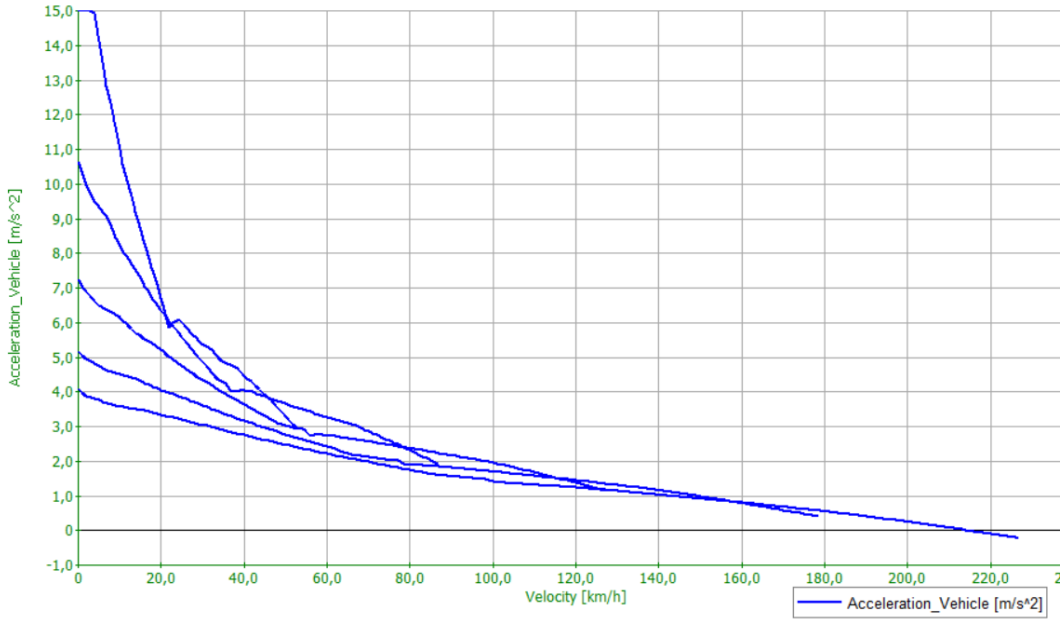
Usporedimo li to s rezultatima koje nam daje optimizator „GSP Optimization“ iz prethodnog poglavlja dobiva se znatno veća razlika u potrošnji i to 38,03% za NEDC i 42,25% za US06 bolje u odnosu na rezultate vožnje gdje se promjena stupnja prijenosa vrši po brzini vozila, te 28% za NEDC i 41,19% za US06 bolje u odnosu na rezultate vožnje gdje se promjena stupnja prijenosa odvija po mapi iz „GSP Generation“ modula.

Tablica 1. Odnos potrošnje goriva simulacijskih rezultata korištenjem „Gear Box Control“, „GSP Generation“ i „GSP Optimization“ modula u litrama na sto kilometara

Vozni ciklus:	**NEDC**	**UDC**	**US06**
„Gear Box Control“	6,10	8,69	6,65
„GSP Generation“	5,25(-13,93%)	7,75(-10,82%)	6,53(-1,80%)
„GSP Optimization“	3,78(-38,03%)	-	3,84(-42,25%)

Tako primjetna razlika između potrošnje dobivene iz optimizatora u odnosu na preostale načine promjene stupnja prijenosa predstavlja puno prostora za unaprijeđenje upravljačkih varijabli promjene stupnja prijenosa u vidu smanjenja potrošnje goriva. Pritom treba uzeti u obzir nerealnost samog optimizatora, udobnost vožnje i performanse vozila, tako se dolazi do zaključka da „GSP Generation“ modul daje poprilično dobre rezultate iako ima prostora za napredak.

Osim simulacija provedenih za vožnju po zadanim voznim ciklusima, provedene su simulacije i za vožnju pod punim opterećenjem ili maksimalnog ubrzanja (Slika 39, Slika 40) te simulacija zalijetanja vozila u širokom rasponu uzdužne brzine(Slika 41, Slika 42).



Slika 39. Krivulje maksimalnog ubrzanja po stupnjevima prijenosa u odnosu na brzinu vozila

FULL LOAD ACCELERATION - Maximum Acceleration

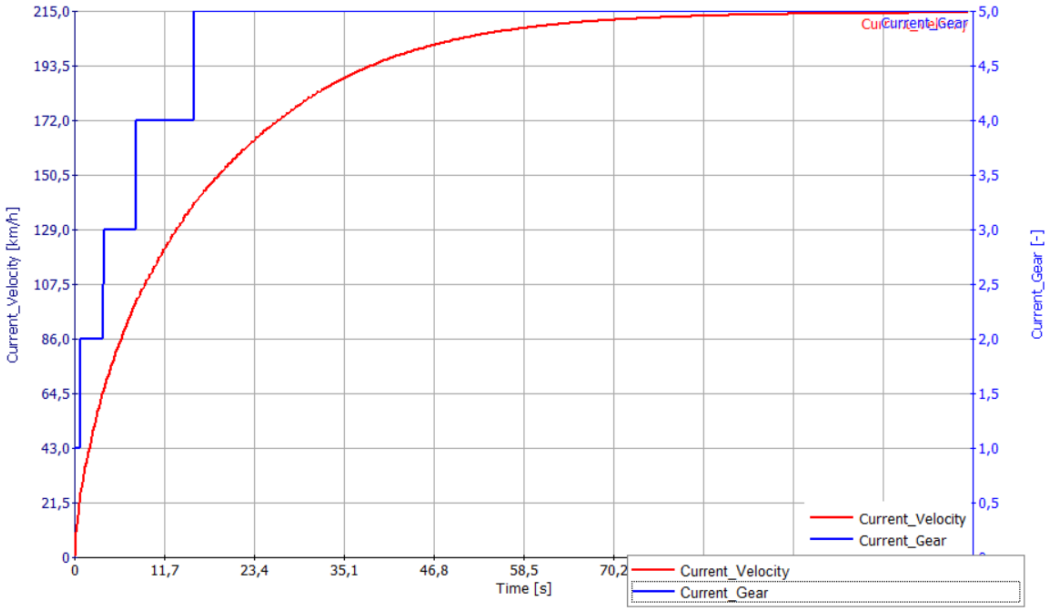
Gear	Max.Acceleration	Velocity	Speed
<->	<m/s^2>	<km/h>	<1/min>
1	15.00	0.79	1941.55
2	10.66	0.00	1941.55
3	7.26	0.00	1941.55
4	5.20	0.00	1941.55
5	4.09	0.00	1941.55

FULL LOAD ACCELERATION - Optimal Shifting Points

Gear	Speed	Velocity
<->	<1/min>	<km/h>
1	4334.25	46.01
2	4543.32	78.65
3	4569.16	116.26
4	4460.83	158.53

Slika 40. Vrijednosti maksimalnog ubrzanja za pojedini stupanj prijenosa i optimalne točke promjene stupnja prijenosa za ostvarenje najvećeg ubrzanja

Na slici 39 prikazane su krivulje maksimalnog ubrzanja po stupnju prijenosa u ovisnosti o brzini vozila, također na slici 40 prikazana su maksimalna moguća ubrzanja po stupnju prijenosa kao i optimalne točke promjene stupnja prijenosa kako bi se održala maksimalna akceleracija.



Slika 41. Krivulja zalijetanja u širokom rasponu uzdužne brzine

FULL LOAD ACCELERATION - Shifting Gears from Rest

Velocity <km/h>	Gear <->	Time <s>	Distance <m>	Speed <1/min>	Measured Speed Ratio <->
20.00	1	0.54	1.75	2284.66	0.00
40.00	2	1.68	11.49	2575.57	0.00
60.00	2	3.20	32.78	3525.76	0.00
80.00	3	5.28	73.52	3235.00	0.00
100.00	4	7.85	138.01	3713.54	0.00
120.00	4	11.37	246.07	3442.22	0.00
140.00	5	15.66	401.19	3200.11	0.00
160.00	5	21.75	655.63	3601.98	0.00
180.00	5	30.02	1047.65	4003.01	0.00
200.00	5	44.59	1821.93	4430.57	0.00

Slika 42. Zalijetanje s parametrima po diskretnim točkama brzina vozila

Na slici 41 vidljiv je profil brzine vozila te promjene stupnjeva prijenosa za maksimalno ubrzanje. Slika 42 prikazuje to isto zalijetanje vozila po diskretnim točkama i parametrima za svakih ubrzanih 20 kilometara na sat.

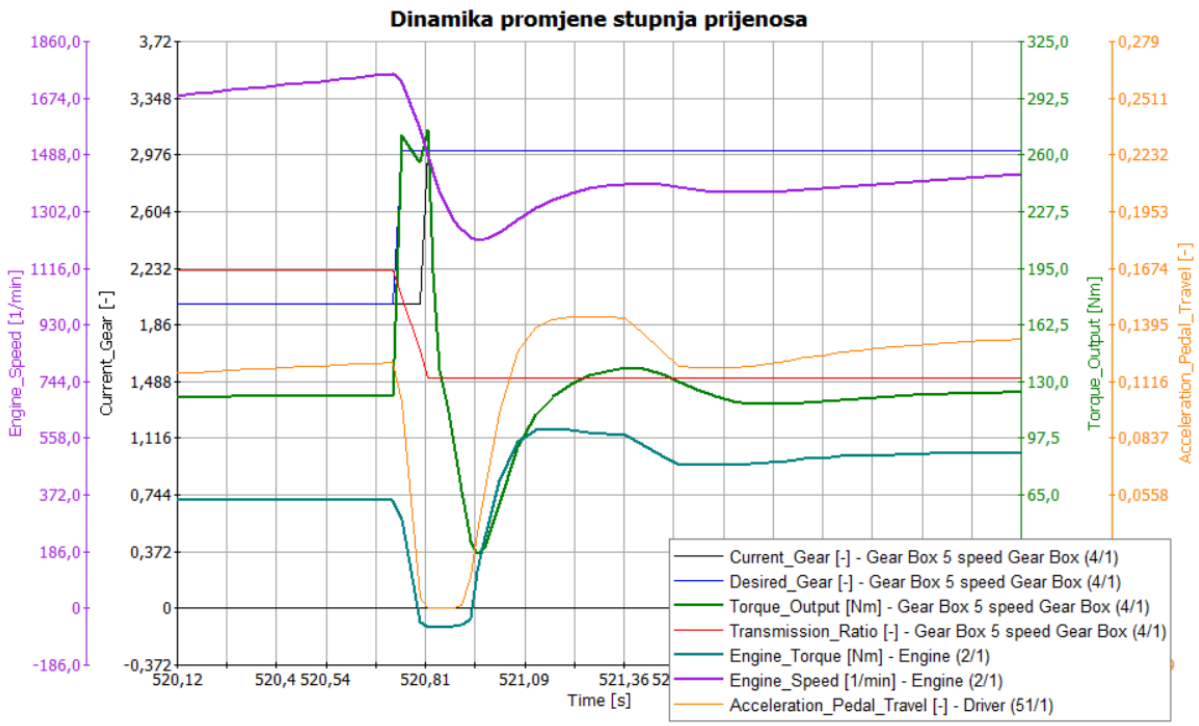
5.2. Analiza dinamike promjene stupnja prijenosa

Simulacijom matematičkog modela pogonskog sustava vozila unutar AVL CRUISE softverskog alata dobiveni su rezultati pomoću kojih će se u ovom poglavlju analizirati dinamika promjene stupnja prijenosa. Relativno se jednostavno prikazuju željeni dijagrami te se njima lako upravlja, to sve pridonosi boljoj preglednost te konačno lakšem shvaćanju same

dinamike koju je potrebno analizirati. U sklopu zadatka potrebno je analizirati dinamiku uzlaznih („Upshift“) i silaznih („Downshift“) promjena stupnja prijenosa, te međudjelovanje automatskog mjenjača i motora s unutarnjim izgaranjem. Razlikujemo četiri osnovna tipa promjena: uzlazna promjena pod opterećenjem (engl. „power-on upshift“), uzlazna promjena bez opterećenja (engl. „power-off upshift“), silazna promjena pod opterećenjem (engl. „power-on downshift“) i silazna promjena bez opterećenja (engl. „power-off downshift“). Pritom se „power-off downshift“ izvodi na isti način kao i „power-on upshift“, a „power-off upshift“ na isti način kao i „power-on downshift“.[2]

5.2.1. Analiza dinamike uzlaznih promjena stupnja prijenosa („Upshift“)

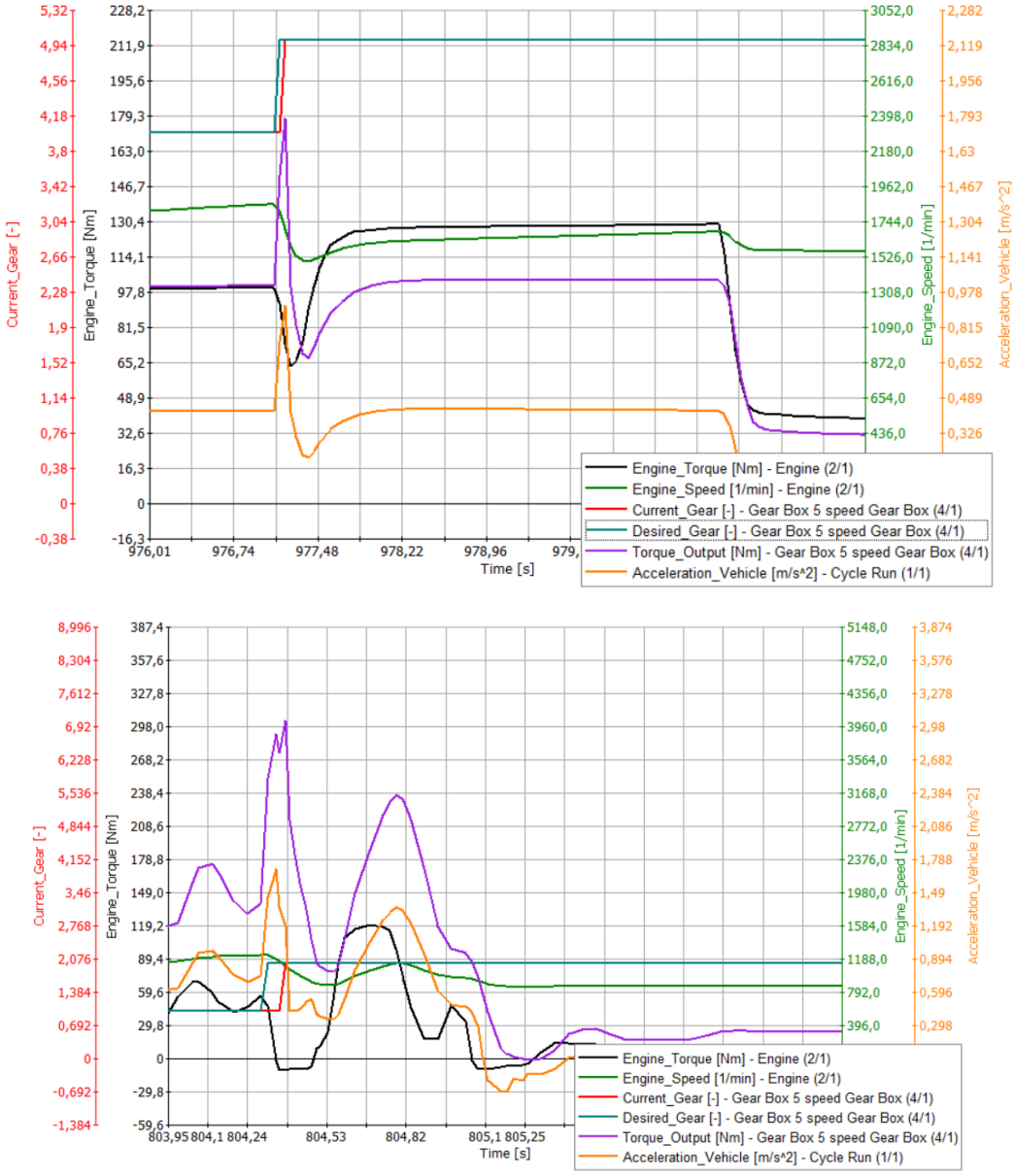
Uzlazna promjena stupnja prijenosa ili „Upshift“ definira se kao promjena stupnja prijenosa iz nižeg u viši stupanj (primjerice iz prvog u drugi ili iz trećeg u četvrti). Pritom dvije spojke mijenjaju svoje stanje, jedna od njih se isključuje i ona se naziva isključnom spojkom, dok druga preuzima moment i ona se naziva uključnom spojkom. Treba spomenuti i dvije glavne faze promjene stupnja prijenosa. Kod uzlazne promjene prva nastupa momentna faza u toku koje dolazi do promjene prijenosnog omjera momenata. U toj fazi dolazi do prijenosa momenta s isključne spojke na uključnu spojku. Zatim slijedi inercijska faza u kojoj je potrebno promijeniti i prijenosni omjer brzina kako bi se dovršila zadana promjena stupnja prijenosa. Kako bi se to ostvarilo, potrebno je spustiti brzinu vrtnje SUI motora na nižu razinu koja odgovara ciljanom stupnju prijenosa. To je moguće postići redukcijom momenta motora.[2] Problemi koji se mogu javiti prilikom uzlazne promjene su udar momenta (engl. „torque hump“) ili negativni moment (engl. „negative torque“). Nužno povećanje momenta na uključnoj spojci kako bi se usporila i sinkronizirala brzina vrtnje motora uzrokuje udar momenta na izlaznom momentu mjenjača. Negativni moment na izlaznom momentu mjenjača posljedica je nepravilnog (preranog) uključivanja uključne spojke. Negativni moment očituje se u naglom porastu izlaznog momenta mjenjača te uzrokuje trzaj (engl. „jerk“) vozila.[3]



Slika 43. Simulacijski rezultati 2-3 uzlazne promjene na kojem su izdvojene pojedine karakteristične veličine (trenutni stupanj prijenosa, željeni stupanj prijenosa, izlazni moment mjenjača, prijenosni omjer, moment motora, brzina vrtnje motora, pomak papučice gasa)

Kako je u AVL CRUISE programskom okruženju nemoguće pratiti momente i signale uključivanja i isključivanja uključne i isključne spojke za automatsku transmisiju, jako je teško definirati početak i kraj momentne faze odnosno početak inercijske faze. Taj nedostatak uvelike utječe na kvalitetu analize dinamike promjene stupnja prijenosa. Iz dijagrama (Slika 43) vidljivo je da čim se pojavi uzlazni signal za željenu promjenu stupnja prijenosa („Desired Gear“), naglo raste izlazni moment mjenjača što bi moglo predstavljati pojavu negativnog momenta. Pojava negativnog momenta predstavlja prerano uključivanje uključne spojke i uzrokuje trzaj vozila. Vidljivo je da jednako brzo reagira i vozač pomakom papučice gasa koji izravno utječe na moment motora (reducira ga) te na taj način vrlo brzo izgladi pojavu negativnog momenta. Osim na moment motora vozač na taj način smanjuje i brzinu vrtnje SUI motora te se tako rješava problem sinkronizacije brzine inercijske faze. Iako dolazi do pojave negativnog momenta ona se na ovaj način vrlo brzo izgladi te nema velik utjecaj na udobnost vožnje, što se ne može sa sigurnošću reći jer softver ne nudi opciju praćenja signala trzaja („jerk“). Ovakva strategija upravljanja doista rješava problem, naravno u realnom

sustavu ne može se upravljati vozačem, ali se može upravljati elektroničkom zaklopkom da se dobiju jednaki rezultati.



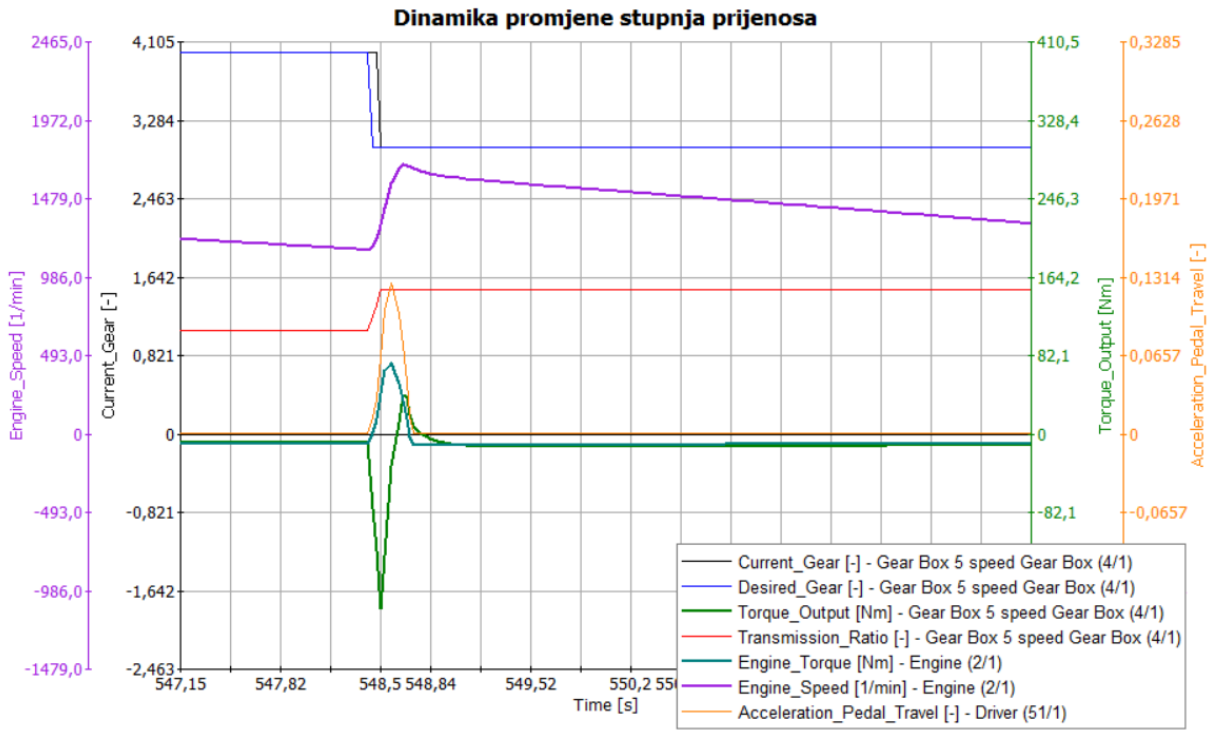
Slika 44. Simulacijski rezultati 4-5 (gore) i 1-2 (dolje) uzlazne promjene na kojem su izdvojene pojedine karakteristične veličine (moment motora, brzina vrtnje motora, trenutni stupanj prijenosa, željeni stupanj prijenosa, izlazni moment mjenjača i signal ubrzanja)

Dana su još dva dijagrama (Slika 44) za različite promjene stupnjeva prijenosa na kojima se vide slični rezultati kao i na prvom (Slika 43) dijagramu. Na svim danim dijagranima u ovom poglavlju skalirane su vrijednosti momenta motora i izlaznog momenta mjenjača. Vidljivo je da su te vrijednosti relativno male, stoga se takve promjene nazivaju uzlazne promjene bez

opterećenja („power-off upshift“). Nažalost korišteni certifikacijski vozni ciklusi su vrlo blagi te se na njima ne može naći niti jedan primjer uzlazne promjene pod opterećenjem („power-on upshift“) kao ni primjer silazne promjene pod opterećenjem („power-on downshift“).

5.2.2. Analiza dinamike silaznih promjena stupnja prijenosa („Downshift“)

Silaznu promjenu stupnja prijenosa ili „Downshift“ definira promjena stupnja prijenosa iz višeg u nižii stupanj (primjerice iz drugog u prvi ili iz četvrtog u treći). Način provedbe ove promjene stupnja prijenosa sastoji se također od dvije aktivne faze, momentne i inercijske. Kod silazne promjene stupnja prijenosa prvo nastupa inercijska faza u toku koje se mijenja prijenosni omjer brzina. Dakle, potrebno je povećati ulaznu brzinu vrtnje što se najčešće ostvaruje popuštanjem momenta na isključnoj spojci. Nakon što je izvršena promjena prijenosnog omjera brzina, ulazi se u momentnu fazu kojoj se mijenja prijenosni omjer momenata. Ponovno se vrši prijenos momenta s isključne na uključnu spojku. Ostvarivanjem tog prijenosa momenta dovršava se silazna promjena stupnja prijenosa.[2] Problemi koji se mogu javiti prilikom silazne promjene su rupa momenta (engl. „torque hole“) ili negativni moment (engl. „negative torque“). Kako je potrebno popuštati moment na isključnoj spojci da bi se povećala brzina vrtnje SUI motora isključna spojka se dovodi u poziciju gdje počinje klizati. Stoga, može se dogoditi da se spojka isključi što uzrokuje pad izlaznog momenta motora te se ta pojava naziva rupa momenta. Negativni moment je kao i kod uzlazne promjene stupnja prijenosa posljedica nepravilnog vremena uključivanja uključne spojke.[3]



Slika 45. Simulacijski rezultati 4-3 silazne promjene na kojem su izdvojene pojedine karakteristične veličine (trenutni stupanj prijenosa, željeni stupanj prijenosa, izlazni moment mjenjača, prijenosni omjer, moment motora, brzina vrtnje motora, pomak papučice gasa)

Nemogućnost praćenja parametara isključne i uključne spojke i u ovom je slučaju velik nedostatak po pitanju analize dinamike silaznih promjena stupnjeva prijenosa. Iz dijagrama (Slika 45) vidljivo je da čim se pojavi silazni signal za željenu promjenu stupnja prijenosa („Desired Gear“), naglo pada izlazni moment mjenjača što se prema literaturi [3] definira kao proklizavanje (engl. „loss of traction“). Proklizavanje može biti po život opasno i svakako ga treba izbjegavati. Uzrok tomu je pad tlaka na isključnoj spojci što uzrokuje njeno isključivanje dok je silazna promjena stupnja prijenosa još u inercijskoj fazi. Također kao i kod uzlazne promjene jednako brzo reagira i vozač (signal pomaka papučice gasa) koji diže moment motora, samim time dodatno ubrzava brzinu vrtnje motora i konačno diže izlazni moment mjenjača. U ovom slučaju ovakva strategija upravljanja nije poželjna iz razloga što stavlja u opasnost vozača i ostale sudionike u prometu. Iz dijagrama se vidi da su vrijednosti momenta motora i izlaznog momenta mjenjača relativno male, tako se i ovdje analizira samo silazna promjena bez opterećenja („power-off downshift“). Razlog tomu su blagi vozni ciklusi na kojima se nikad ne događa silazna promjena pod opterećenjem („power-on downshift“) na kojoj bi se lakše vidjeli parametri zbog njihovih većih iznosa.

6. ZAKLJUČAK

Radeći ovaj završni zadatak stečena su mnoga znanja i iskustva iz područja modeliranja pogonskog sustava vozila te njegove simulacije u AVL CRUISE programskom okruženju. Računalne simulacije imaju široku primjenu u analizi dinamičkog ponašanja pogonskog sustava vozila te daju vrijedne uvide koji se mogu iskoristiti u razvoju različitih sustava upravljanja. U radu je implementiran cjelokupni model pogonskog sustava s automatskim mjenjačem korištenjem dostupnih modela temeljnih komponenti pogonskog sustava vozila. Tako implementiran model korišten je kao baza za izvođenje simulacija za tipične ispitne zadatke poput vožnje po zadanom certifikacijskom voznom ciklusu, vožnje pod punim opterećenjem i zalijetanja vozila u širokom rasponu uzdužne brzine. Koristeći softverske alate samog programa generirana je mape promjene stupnja prijenosa te je provedena optimizacija potrošnje goriva za zadane vozne cikluse. Generirane mape rezultat su statičkih izračuna te kao takve ne uzimaju u obzir dinamiku sustava. Rezultati optimizacije su nerealni, odnosno neizvedivi u stvarnom voznom ciklusu ali daju dobar primjer čemu treba težiti želi li se smanjiti potrošnja goriva. Također je utvrđeno da se pametnim upravljanjem promjena stupnja prijenosa ovisnim o realnim parametrima i uvjetima na cesti mogu poboljšati performanse i potrošnja goriva te smanjiti emisije štetnih plinova. Nadalje, analizom provedenih simulacija s naglaskom na dinamiku ulaznih i silaznih promjena stupnjeva prijenosa, te međudjelovanje automatskog mjenjača i motora s unutrašnjim izgaranjem utvrđeno je da promjena stupnja prijenosa utječe na udobnost vožnje. Kod uzlaznih promjena stupnja prijenosa bolja promjena stupnja prijenosa podrazumijeva udobniju vožnju te se ostvaruje tako da se spriječe pojave udara momenta i negativnog momenta. Kod silaznih promjena stupnja prijenosa bolja udobnost se postiže spriječavanjem pojava rupe momenta i negativnog momenta. Navedene pojave utječu na promjenu izlaznog momenta mjenjača kojeg osjeti vozač te tako utječe na udobnost vožnje.

Konačno valja napomenuti da koliko god se rezultati simulacije činili u redu i korisni, nikad ne možemo apsolutno vjerovati simulaciji i treba rezultate promatrati sa zadrškom. Tako je poželjno dobivene rezultate provjeriti na stvarnim eksperimentalnim sustavima.

LITERATURA

[1] Materijali dobiveni od tvrtke AVL, „CRUISE Basic Training Course“, 2011.

[2] Ranogajec, V., Deur, J., and Coric, M., „Bond Graph Analysis of Automatic Transmission Shifts including Potential of Extra Clutch Control“, SAE International, 2016.

[3] Materijali dobiveni od tvrtke AVL, „Advanced Torque Based DCT Control“, 2013.

[4] Škugor, B., Deur, J., and Ivanović, V., „Dynamic Programming-Based Design of Shift Scheduling Map Talking into Account Clutch Energy Losses During Shift Transients“, SAE International, 2016.

[5] Materijali dobiveni od tvrtke AVL, „Gear Shifting Program (GSP)“, 2015.

PRILOZI

I. CD-R disc