CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Förnybar energikälla, modellering och simulering av elektrifierat framdrivningssystem

av

Alexander Boström

Niklas Serner

Ett examensarbete för högskoleingenjörsexamen
inom mekatronik

hos
Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper
Chalmers Tekniska Högskola

CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

15 juni 2023

Försäkran om författarskap

Alexander Boström & Niklas Serner, försäkrar om att denna avhandling med titeln 'Förnybar energikälla och framdrivningssystem' och det arbete som presenteras i den är vårt eget. Vi bekräftar att:

- Detta arbete utfördes helt eller huvudsakligen under kandidatur för en kandidatexamen vid detta universitet.
- Där vi har konsulterat andras publicerade arbeten är detta alltid tydligt tillskrivet.
- Där vi har citerat från andras arbete, anges alltid källan. Med undantag för sådana citat är denna avhandling helt och hållet vårt eget arbete.
- Vi har nämnt alla huvudkällor som varit till hjälp.
- Där uppsatsen bygger på arbete som vi själva gjort tillsammans med andra, har vi tydliggjort exakt vad som gjorts av andra och vad vi själv har bidragit med.

Signatur:

Datum: 2023-06-18

Signatur:

Datum: 2023-06-19

"A body at rest wants to stay at rest"

Newton First Law

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Abstrakt

Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper
Chalmers Tekniska Högskola

Kandidatexamen

av Alexander Boström
Niklas Serner

This report is focused on the methodology of modelling an electric propulsion system of a heavy vehicle intended for military use, foremost used to ship large and heavy cargo in different types of terrain. The purpose of modelling the propulsion system is to be able to simulate the vehicle in relevant settings and environments for the intended area of use. The work in this report is theoretical and no physical constructions were made. The modelling and simulation is made with software, more specific Matlab and Simulink. An extra energy source is included in the system to simulate the differences between a possible maintenance charge of the battery during operation and it's effect on the range of the vehicle. The simulation results will show the performance of the vehicle that has been modeled. The overall result of the report will show wheter a such system has the potential to replace the existing vehicles in the military fleet driven by fossil fuels, and possible areas of development. No comparision is made with the existing vehicles, but the performance of the modeled electric propulsion system is analyzed. The conclusion is that the modeled system has a performance similar to the reference literature. The grade force and the rolling resistance is what affect the power consumption mostly, while the aerodynamic force is less significant. The vehicle handles the settings and environments that the system is simulated in. Furthermore is the extra energy source necessary to achieve longer range. For the external factors, the development within battery technology and fuelcell technology gives a positive future on the subject.

Tillkännagivanden

Vi vill tack våra handledare på Saab i Göteborg som möjliggjort detta examensarbete samt bidragit med kunskap och stöd för vårt arbete. Att vi dessutom haft möjligheten att vara i Saab's lokaler och delta på möten etc. har gett oss viss inblick och perspektiv på arbetslivet som ingenjör. Vi vill även tacka vår examinator på Chalmers som underlättat arbetet genom att ge goda råd samt diskuterat olika tillvägagångssätt under arbetets gång.

Innehåll

Försäkran om författarskap i

Abstract iii

Tillkännagivanden iv

Lista av Figurer vii

Lista av Tabeller ix

Förkortningar x

Fysiska konstanter xi

Symboler xii

1 Introduktion 1
- 1.1 Inledning . . . 1
- 1.2 Syfte . . . 2
- 1.3 Frågeställning . . . 2
- 1.4 Teoretisk ram . . . 3
- 1.5 Avgränsningar . . . 3

2 Material 4
- 2.1 Material . . . 4
  - 2.1.1 Powertrain Blockset - Longitudinal Driver . . . 5
  - 2.1.2 Powertrain Blockset - Datasheet Battery . . . 5
  - 2.1.3 Batteri och motor . . . 6

3 Metod 7
- 3.1 Utvecklingsmiljö - Matlab projekt . . . 7
- 3.2 Modelleringsmetod . . . 8
- 3.3 Körprofil . . . 8
- 3.4 Förare . . . 12
- 3.5 Bromssystem . . . 13

3.6 Motor . . . 14
3.7 Batteri . . . 18
3.8 Drivlina . . . 21
3.9 Fordon . . . 22
3.10 Extra kraftkälla . . . 26
3.11 Datavisualisering . . . 27

4 Simulering **29**
4.1 Analyseringsmetod . . . 29
4.2 Simuleringsmiljöer . . . 30

5 Resultat **34**
5.1 Referenshastighet . . . 34
5.2 Medelförbrukning . . . 35
5.3 Laddningsnivå och extra kraftkällans inverkan . . . 36
5.4 Effekten av respektive kraft . . . 37

6 Diskussion **39**

7 Slutsats **43**

A Appendix **45**

Litteraturförteckning **46**

Figurer

2.1 Longitudinal Driver-blocket i Simulink. 5
2.2 Datasheet Battery-blocket i Simulink. 6

3.1 Block diagram för framdrivningssystemet som modelleras i Simulink. . . . 8
3.2 Figur (a) visar den önskade hastighets variationen över tid och figur (b) visar stignigens variation över tid. 10
3.3 Figur (a) visar underhållsladdning under operation till batteriet över tid och figur (b) visar lasten som i ton fordonet fraktar över tid. 11
3.4 Subsystemet för Driver/förare. 12
3.5 Bilden visar fordonets bromsystem konstruerat i simulink. 13
3.6 Subsystemet electric motor i Simulink. 14
3.7 Subsystem tillhörnade electic motor vid namn MotorTorqueLimiter. . . . 15
3.8 Vridmoments kuvert för en elektrisk motor (17). 15
3.9 Subsystem tillhörnade electic motor vid namn RegenTorqueLimiter. . . . 16
3.10 Subsystem tillhörande electric motor vid namn MotorLosses. 17
3.11 Subsystemet för Battery. 18
3.12 Subsystemet för CurrentCalc, som tillhör subsystemet för Battery/batteri. 19
3.13 Inställningar och värden på data för Datasheet battery-blocket. 20
3.14 Subsystemet för Driveline 21
3.15 Krafter som verkar på fordonet. 23
3.16 Värde på koefficienten C_r för olika underlag (21). 25
3.17 Kraftekvationer i subsystemet för Vehicle. 25
3.18 Beräkningar av energi, effekt och position i subsystemet för Vehicle. . . . 26
3.19 Subsystemet för Extra energy source. 27
3.20 Subsystemet för Monitoring & visualization. 28

4.1 Figur (a)(b)(c)(d) visar körprofilernas lutning på underlaget. 31
4.2 Figurerna (a)(b)(c)(d) visar tyngden i ton på lasten som har används vid simulering av de olika körprofilerna. 31
4.3 Figurerna (a)(b)(c)(d) visar profiler över den extra effekt angivet i kW som underhållsladdar batteriet under simuleringen. 32
4.4 Figurerna (a)(b)(c)(d) visar variationen av rullmotsånd under samtliga simuleringar av körprofilerna. 33

5.1 Figurerna (a)(b)(c)(d) visar profiler över referenshastigheten v_{ref} (blå kurva) samt fordonets hastighet v (orange kurva) från simulering. 34
5.2 Figurerna (a)(b)(c)(d) visar resultatet över laddningsnivåerna (SOC) med och utan tillgång till en extra kraftkälla. 36

5.3 Figurerna (a)(b)(c)(d) visar profiler över krafternas inverkan på fordonet under simulering. 37
5.4 Figurerna (a)(b)(c)(d) visar profiler över den effekt som krävs av fordonet för att övervinna respektive kraft. 38

A.1 Hela subsystemet för Vehicle. 45

Tabeller

3.1 Variabler ur data.m-filen som används i Driver-subsystemet. 12
3.2 Variabler ur data.m-filen som används i broms-subsystemet. 13
3.3 Variabler ur data.m-filen som används i motor-subsystemet. 14
3.4 Variabler ur data.m-filen som används i Battery-subsystemet. 18
3.5 Variabler ur data.m-filen som används i drivline-subsystemet. 21
3.6 Variabler ur data.m-filen som används i Vehicle-subsystemet. 23
3.7 Variabler från variabelfilen som används i subsystemet för Extra energy source. 26

5.1 Resultatet över medelförbrukning, räckvidd samt effektivitet för de olika körprofilerna efter simulering. 35

Förkortningar

PTB	**P**ower**T**rain **B**lockset
APP	**A**cceleration**P**edal **P**osistion
BPP	**B**rake**P**edal **P**osistion
SOC	**S**tate **O**f **C**harge

Fysiska konstanter

$$\text{Gravitation} \quad g \quad = \quad 9.81 \ m/s^2$$

Symboler

U	spänning	V
I	ström	A
R_i	intern resistans	Ohm
T_K	temperatur	Kelvin
SOC	state of charge	%
P	effekt	W (Js^{-1})
F_i	summerade krafter, fordon	N
F_t	drivande kraft	N
F_a	aerodynamisk kraft	N
F_g	lutningens kraft	N
F_r	kraft från rullmotståndet	N
ρ	luftdensitet	kg/m^3
C_d	aerodynamisk koefficient	
A_f	area front	m^2
v	hastighet	m/s
m	massa, total	kg
g	gravitation	m/s^2
C_r	rullmotstånd koefficient	
θ	lutning	deg
K_P	proportionell verkan	
K_I	integralverkan	
$P_{requested}$	önskad effekt	W
ω	rotationshastighet	$rads^{-1}$

Dedikerat till en spännade framtid inom ingenjörskonsten...

Kapitel 1

Introduktion

Detta kapitel innefattar inledning, syfte, frågeställning, teoretisk ram samt avgränsningar. Inledningen förklarar sammanhanget mellan företagets ambitioner och varför arbetet är viktigt för företaget. Inledningen kopplar även till den förstudie som gjorts inför denna rapport, och de slutsatser som dragits där, samt allmän bakgrund kring den plattform som ska modelleras. Syftet preciserar det huvudsakliga målet med rapporten. Frågeställningen bryter ner oklarheterna kring modellering och simulering av plattformen i flertalet delfrågor. Teoretisk ram anger nivån och utgångspunkt på arbetet baserat på vart företaget står idag, och vad de vill åstadkomma med resultatet. Avgränsningarna tar upp det som inte ska inkluderas i arbetet.

1.1 Inledning

Förnyelsebara energikällor är idag ett viktigt ämne vad gäller vår planets framtid. Här ligger försvarsindustrin något efter den civila fordonsindustrin. Traditionellt har Saab använt dieselgeneratorer för att generera el till sina radarsystem. Saabs ambitioner är att även försvarsindustrins energiförsörjning ska vara av förnyelsebar typ (2). Vad gäller fordon så krävs därmed en övergång mot framdrivningssystem vars energikälla är av förnyelsebar typ. Denna rapport syftar till att konstruera en simuleringsmodell av ett framdrivningssystem för en elektrisk plattform, modelleringen kommer ske i mjukvara för att sedan kunna simuleras. Plattformen är avsedd för att frakta tunga laster i dynamiska miljöer, alltifrån slätt väglag till svår terräng. Simuleringen kommer därför ske i olika körprofiler för att undersöka hur en sådan plattform kan komma att prestera i olika miljöer. Inga fysiska konstruktioner kommer göras, enbart en teoretisk modellering följt av simulering.

En förstudie gjordes innan arbetet med modellering och simulering påbörjades. Detta med syftet att undersöka och utvärdera tänkbara lösningar på förnybara energikällor och framdrivningssystem, samt ge underlag för den uppföljande modelleringen. Slutsatsen från förstudien förespråkar en eldriven plattform med Litiumjärnfosfat-batterier. Detta eftersom framdrivningen av en sådan plattform inte släpper ut några växthusgaser, utvecklingspotential finns inom batteritekniken, möjlighet att implementera bränslecell för underhållsladdning samt flertalet fördelar för militärt bruk (2).

En extra kraftkälla kommer ingå i modelleringen av framdrivningssystemet. Denna kraftkälla kan underhållsladda framdrivningssystemets batteri för att åstadkomma förbättrad räckvidd. I praktiken skulle denna extra kraftkälla kunna vara en bränslecell eller någon typ av aggregat som kan underhållsladda det drivande batteriet.

1.2 Syfte

Rapportens syfte är att matematisk modellera ett framdrivningssystem för en elektrisk plattform. Modellen kommer sedan simuleras i olika körprofiler för att undersöka hur en sådan plattform kan komma att prestera i verkligheten.

1.3 Frågeställning

Rapportens frågeställning består av två huvudfrågor samt tillhörande delfrågor.

- Hur modelleras de olika delarna i framdrivningssystemet?
  - Förare/styrning?
  - Batteriet?
  - Bromssystem?
  - Motor?
  - Drivlina?
  - Fordonet?
  - Körprofiler?
  - Extra energikälla?
- Hur presterar det modellerade framdrivningssystemet i olika körprofiler?
  - Hur väl följs referenshastigheten?

- Medelförbrukning?
- Batteriets laddningsnivå (SOC)?
- Skillnaden av extra kraftkälla på/av?
- Effektåtgång för respektive kraft som verkar på fordonet?

1.4 Teoretisk ram

Då rapporten berör ett område som är relativt nytt för försvarsindustrin, kommer utvecklingen av modellen börja på en enkel och grundlig nivå. Under arbetets gång byggs dessa grundliga modeller på, med målet att forma modellen till den avsedda plattformen. Hur långt denna utveckling kommer styrs till stor del av de tidsmässiga resurserna. Dock är det önskvärt att slutresultatet kan användas, och eventuellt vidareutvecklas, i framtida projekt inom området.

1.5 Avgränsningar

Inga fysiska konstruktioner kommer göras. Således kommer inte ekonomiska analyser göras för en eventuell produktion av plattformen. Inget bestämt eftersökt slutresultat finns för simuleringen av modellen bortsett från att kunna besvara frågeställningen. Utvecklingen av modellen och dess uppbyggnad är huvudfokus.

Kapitel 2

Material

Detta kapitel beskriver de material och hjälpmedel som används i rapporten. Dessa består primärt av mjukvara, dock tillkommer två hårdvarukomponenter tillhörande fordonets framdrivningsystem och energilagring. Dessa modelleras teoretiskt i mjukvara med hjälp av den information som presenteras i respektive komponents datablad.

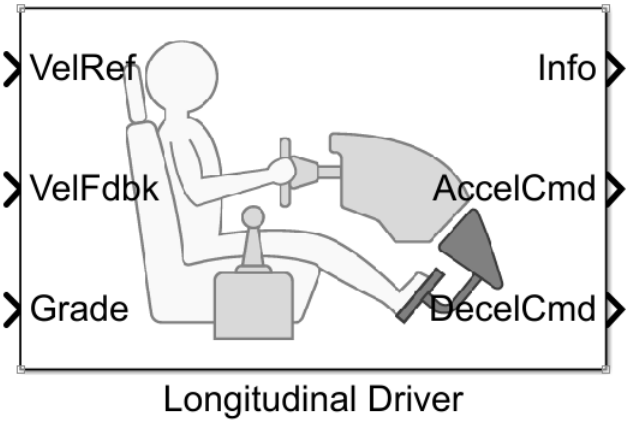
2.1 Material

Arbetet görs i programvara, Matlab och Simulink. I Matlab kan variabler defineras för att sedan laddas in till workspace, där sedan Simulink kan hämta dessa variabler. Modellering och simulering sker i Simulink, vilket är ett tillägg till Matlab avsett just för simulering. En projekt-fil kan skapas i Matlab, vilket innebär att olika typer av Matlab-filer, dokument och Simulink-modeller placeras i en .prj -fil (5). I denna rapport läses data för körprofilerna in från en Excel-fil. Även denna Excel-fil ingår i projekt-filen i Matlab.

I Simulink finns olika bibliotek avsett för specifika simuleringsområden. Denna rapport inkluderar ett av dessa bibliotek Powertrain Blockset (PTB) som möjliggör användandet av färdiga block med inbyggda funktioner och beräkningar (1). Modelleringen är primärt uppbyggt av väl etablerade matematiska och fysikaliska lagar/samband. Vissa beräkningsmodeller tillkommer från vetenskapliga artiklar inom området för simulering av eldrivna fordon, referenser ges vid dessa tilfällen. Utöver dessa används några av de färdiga block från PTB i Simulink. Blocken från PTB används eftersom de är utvecklade av Mathworks med syftet att underlätta arbetet för simulering av framdrivningssystem.

2.1.1 Powertrain Blockset - Longitudinal Driver

Detta block från Powertrain Blockset används för att simulera en förare genom att kontrollera fordonets hastighet. Fig. 2.1 illustrerar hur Longitudinal Driver-blocket ser ut i Simulink samt dess in- respektive utsignaler.

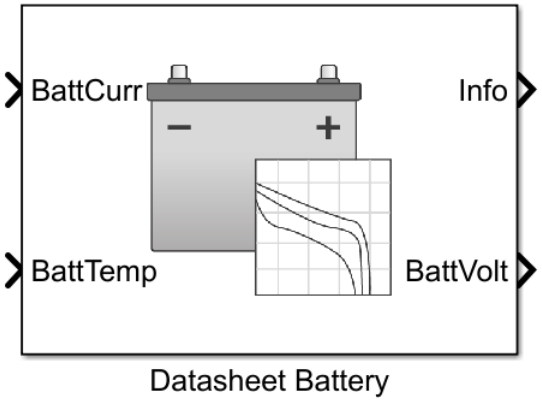


FIGUR 2.1: Longitudinal Driver-blocket i Simulink.

Regulatorn är en PI-regulator med syfte att beräkna det kvarstående felet mellan fordonets hastighet (VelFdbk i Fig. 2.1) och referenshastigheten (VelRef i Fig. 2.1), och sedan reglera hastigheten utifrån det aktuella felet. Utsignalerna AccelCmd och DecelCmd i Fig. 2.1 ges i form av ett normaliserat kommando som varierar mellan 0 och 1. Detta kommando är en procentsats som representerar den önskade kraften uttryckt i gas- respektive bromspedalens läge. Denna kraft skall minimera skillnaden mellan referenshastigheten och den faktiska hastigheten på fordonet. Blocket tar även in en signal för lutningen på underlaget i grader (Grade i Fig 2.1). Mathworks Help Center har dokumentation för samtliga block i PTB, där en detaljerad och utförlig beskrivning ges inför användning av Longitudinal Driver-blocket (6).

2.1.2 Powertrain Blockset - Datasheet Battery

Detta block från Powertrain Blockset illustreras i Fig. 2.2. Dess syfte är att simulera ett batteripack av Litiumjon-typ. Blockets beräkningar tar hänsyn till hur batteriets aktuella laddningsnivå SOC påverkar batteriets prestanda, samt hur batteriets temperatur påverkar den inre resistansen R_i. Blocket möjliggör även att använda specifik data från leverantören av batteriet, det finns även standard data som liknar ett typiskt Litiumjon-batteri (7).



FIGUR 2.2: Datasheet Battery-blocket i Simulink.

Datasheet Battery-blocket tar som insignal in den ström som systemet kräver av batteriet (BattCurr i Fig. 2.2), samt vilken temperatur T_K batteriet har (BattTemp i Fig. 2.2). Blocket ger batteriets spänning som en utsignal (BattVolt i Fig. 2.2), samt en buss signal (Info i Fig. 2.2) som ger flertalet beräkningar på batteriets prestanda under simuleringen. Mathworks Help Center har även en detaljerad och utförlig beskrivning av Datasheet Battery-blocket (7).

2.1.3 Batteri och motor

En specifik typ av motor samt en specifik typ av batteri är på förhand avsedda för plattformen. Därför kommer data på tekniska storheter användas från datablad på motor och batteri. Motorn är en borstlös permanent-magnetiserad synkron elmotor från tillverkaren Danfoss med produktnamn EM-PMI250 (3). En tillhörande konverterare EC-C1200D-600-530 används ihop med motorn.

Batteripacket består av 32 stycken seriekopplade Litiumjärnfosfat-batterier på 12V och 105Ah styck. Tillverkaren är Super B och produktnamnet är Nomada 12V105Ah (4). Batteripacket ger en total spänning på 384V vilket är inom inom motorns opererande spänningsområde samt tillräckligt högt för att operera på motorns nominella spänning vilket är 350V (3).

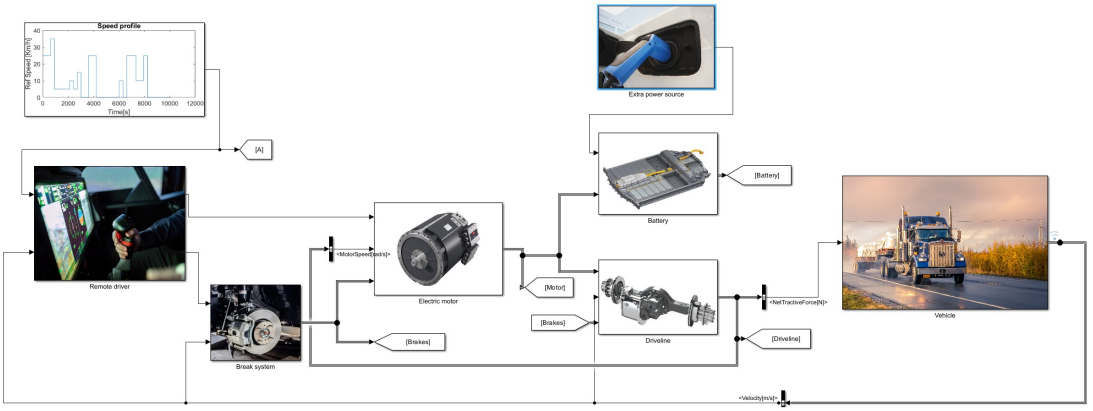
Kapitel 3

Metod

Detta kapitel berör de metoder som används för att besvara frågeställningen. Upplägget för arbetet och utvecklingsmiljön avhandlas inlednigsvis, för att sedan gå in på modelleringen av framdrivningssystemet och respektive subsystems funktioner.

3.1 Utvecklingsmiljö - Matlab projekt

Samtliga filer som är kopplade till modellering och simulering finns i en projektfil (.prj) i Matlab. Denna projektfil innehåller filer som används i olika programvaror. De två huvudsakliga filerna är Matlab-scriptet data.m samt Simulink-modellen simulation.slx. I simulation.slx konstrueras matematiska modeller som representerar de olika delarna av framdrivningssystemet. Systemet modelleras och delas upp i subsystem för att ge en tydlig struktur. En överblick av hela det modellerade systemet visas i Fig. 3.1. Viss modularitet har skapats i modellen genom att datan som ingår i delsystemen länkats till Matlab-scriptet data.m (Workspace), detta för att möjliggöra enkelt utbyte av komponenter eller dimensioner i fordonet. De variabler från denna variabelfil (data.m) som används i respektive subsystem presenteras inledningsvis i en tabell vid varje delkapitel av kapitel 3 Metod. Projektfilen innehåller också en Excel-fil. Denna Excel-fil innehåller de körprofiler som ska simuleras.



FIGUR 3.1: Block diagram för framdrivningssystemet som modelleras i Simulink.

Utöver de subsystem som syns i Fig. 3.1 finns även ytterligare ett subsystem. Detta påverkar dock inte övriga modellen av framdrivningssystemet utan är enbart till för datavisualisering. Mer om subsystemet för datavisualisering finns i kapitel 3.11.

3.2 Modelleringsmetod

I detta arbete används effektförlustmodellering för konstruera det matematiska modellerna som beskriver de olika komponenterna i fordonet. Detta innebär att de matematiska ekvationerna som ställs upp är baserade på effektbalans, där effekten ut ur en komponent P_{ut} är lika med effekt in i komponenten P_{in} subtraherat med innebördes förlust $P_{förlust}$ (10), vilket uttrycks i ekvation 3.1.

$$P_{ut} = P_{in} - P_{förlust} \quad (3.1)$$

Variabeln $P_{förlust}$ är i denna rapport vanligtvis en procentsats av effekten P_{in}.

3.3 Körprofil

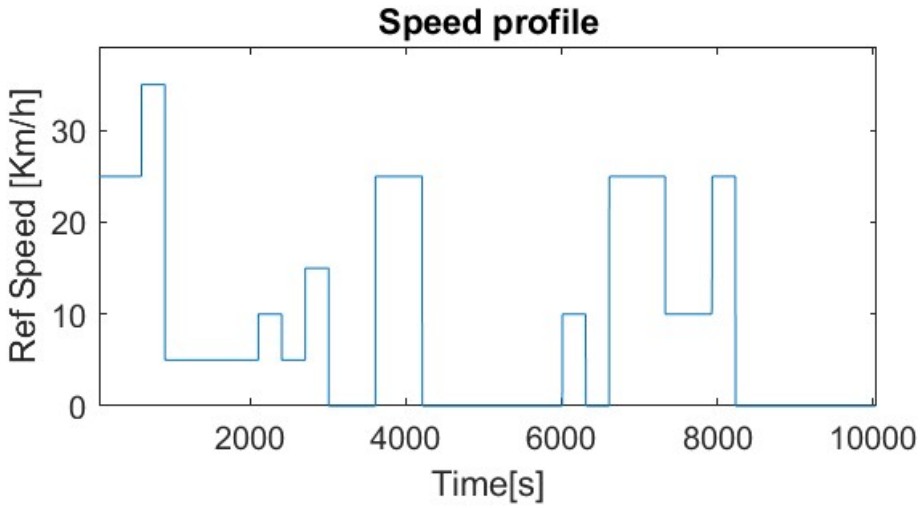
För att kunna besvara frågeställningarna i denna rapport krävs dels att de matematiska modellerna som simuleras är korrekta, men även att miljön och omständigheterna i vilket fordonet simuleras i kan variera över tid. Detta realiseras genom att konstruera en körprofil som är uppbyggd av flera serier med datapunkter. Dessa representerar önskade värden för tillexempel det simulerade fordonets hastighet över tid, men kan också innefatta parametrar på den tänkta omgivningen, exempelvis lutningen på underlaget.

Det konstruerade fordonet utvärderas i sin transienta prestanda genom att använda en körprofil bestånde av sex delar. De sex delarna representerar hastighet, stigning, ojämnheter/vibrationer från markunderlag, rullmotstånd beroende på underlagets material, extra kraftkällans underhållsladdning samt en lastprofil.

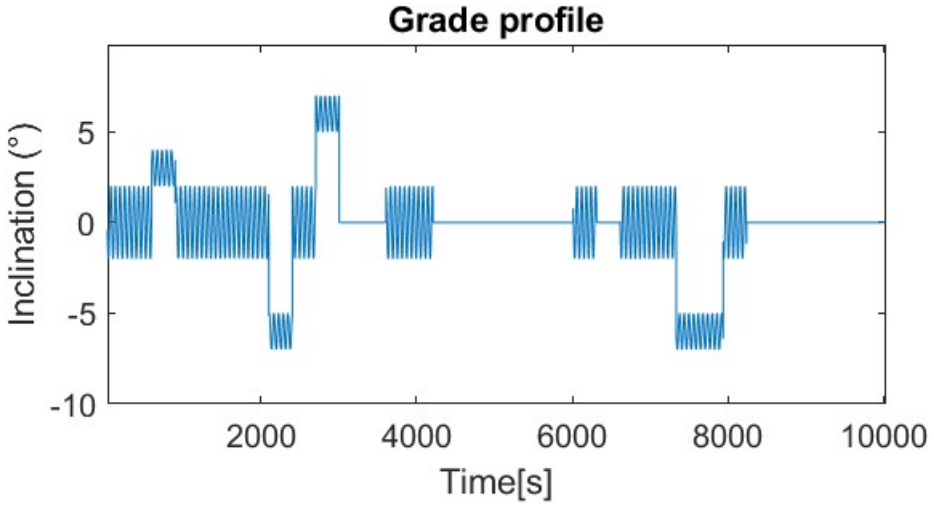
Eftersom en körprofil består av ovan nämnda sex delar så skapas sex matriser i Matlab, en för respektive del av körprofilen. Matrisernas storlek beror på körprofilens totala simuleringstid. För varje hel sekund finns ett tillhörande värde. Den generella storleken på körprofilens respektive matriser är $simtime \times 2$. Om en körprofil är 4980 sekunder, blir därmed matrisernas storlek 4980×2.

Som tidigare nämnt i kapitel 3.1 läses datapunkter från körprofilerna in till Matlab från en Excel-fil. Dessa datapunkter sparas i ett klass-objekt som hanterar de olika matriserna tillhörande den valda körprofilen. Denna klass heter scenario, vilket även förtydligar vart i Simulink-modellen data från körprofilen används. Används data från körprofilen börjar variabelnamnet på scenario. , följt av variabelns namn.

I figurerna 3.2 och 3.3 nedan illustreras körprofilernas utseende. Fig. 3.2(b) inkluderar både ojämnheter och lutning på underlaget. Rullmotståndskoefficienten presenteras ej här visuellt eftersom det enbart består av ett varierande värde beroende på underlaget.



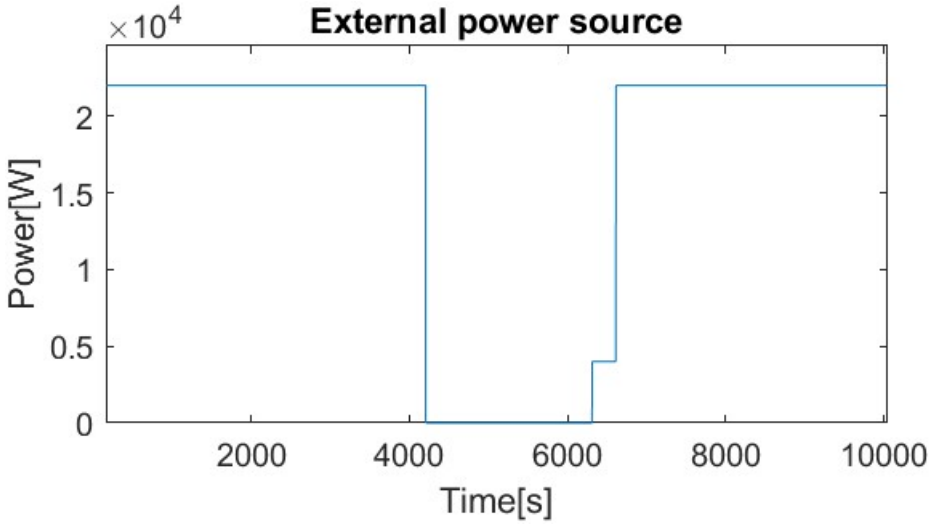
(a) Hastighetsprofil i km/h.



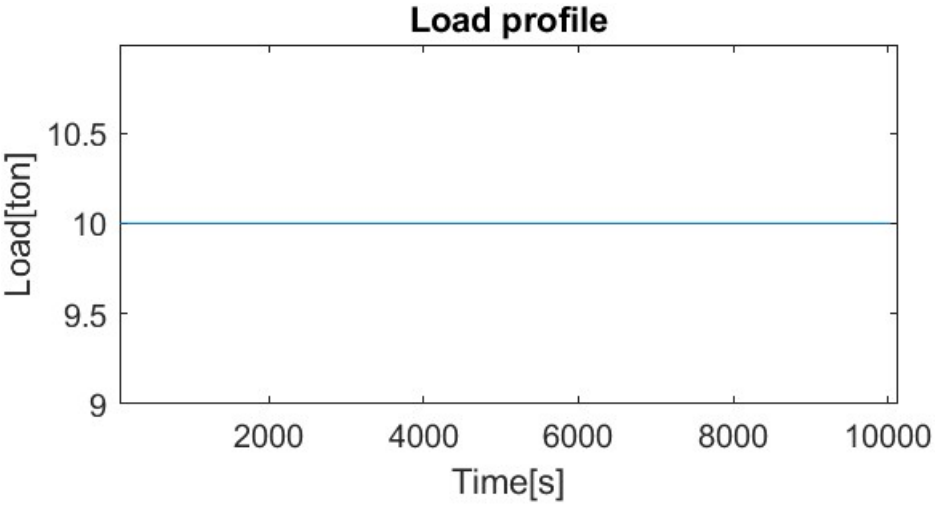
(b) Stigningsprofil i grader.

FIGUR 3.2: Figur (a) visar den önskade hastighets variationen över tid och figur (b) visar stignigens variation över tid.

Hastigheten i 3.2(a) består av en önskad konstant hastighet för fordonet efter en viss acceleration eller retrdation. Stigningsprofilen i 3.2(b) består av både lutningen från underlagets stigning, men också den tänkta viberationen/ojämnheterna, där av att signalen ökar samt minskar i grader men också oscillerar med en viss varierande amplitud beroende på väglag. De oscillerande partierna är alltså ojämnheter.



(a) Extra laddning till batteriet i watt.



(b) Lastprofil i ton.

FIGUR 3.3: Figur (a) visar underhållsladdning under operation till batteriet över tid och figur (b) visar lasten som i ton fordonet fraktar över tid.

Den extra kraftkällan i Fig. 3.3(a) representerar en kraftkälla som kan tillföra effekt till batteriet både när fordonet är stillastående eller under färd. I Fig. 3.3(b) visas en profil över lasten som påverkar fordonet med sin vikt, i detta fall är den konstant 10 ton.

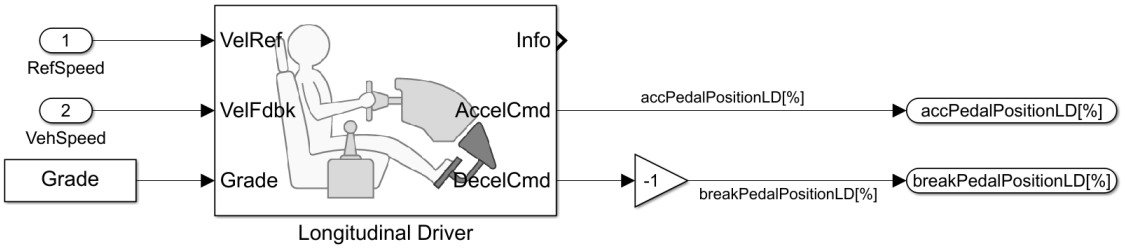
3.4 Förare

I tabell 3.1 nedan visas de variabler ur variabelfilen data.m som används i subsystemet för Driver.

Tabell 3.1: Variabler ur data.m-filen som används i Driver-subsystemet.

Variabel	Symbol	Enhet
scenario.grade profile	θ	deg
scenario.speed profile	v_{ref}	m/s

En förare modelleras med hjälp av ett Longitudinal Driver-block från PTB. Detta block reglerar fordonets hastighet som en PI-regulator. Värdena på regulatorns proportionella verkan K_P och integralverkan K_I är bestämda efter testkörning av olika körprofiler, detta resulterade i $K_P = 500$ samt $K_I = 250$. Då syftet med detta subsystem är att fordonet ska följa referenshastigheten, samt att rapporten avgränsar arbetet till modellering utan fysiska konstruktioner, så kan höga värden på regulatorns proportionella verkan och integralverkan godtas, eftersom inga fysiska don kan ta skada av den aggresiva regleringen. I Fig. 3.4 visas hela Driver-subsytemet.



Figur 3.4: Subsystemet för Driver/förare.

Till vänster i Fig. 3.4 visas de tre insignalerna till Longitudinal Driver-blocket, RefSpeed, VehSpeed och Grade. Signalen RefSpeed är referenshastigheten från körprofilen v_{ref}. Signalen VehSpeed är fordonets aktuella hastighet v, denna hastighet beräknas i subsystemet Vehicle i delkapitel 3.9. Även signalen Grade är från körprofilen och anger underlagets lutning i grader.

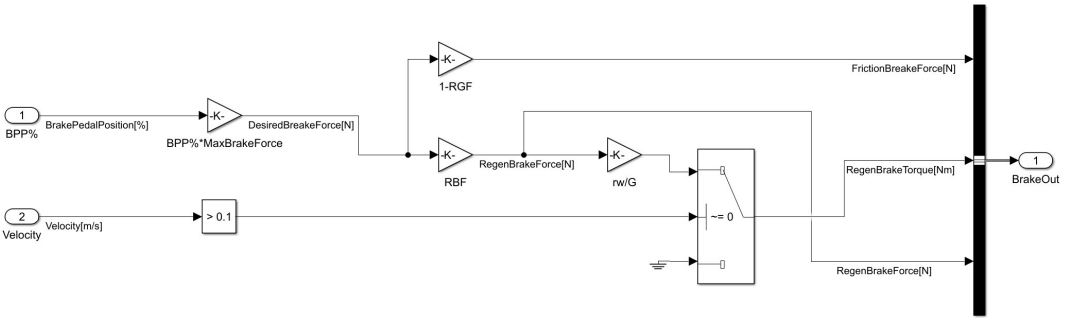
De signaler som går ut från subsystemet är accPedalPosition (APP) och breakPedalPosistion (BPP), bägge angivs i procent och är belägna till höger i Fig. 3.4. Dessa utsignaler är sedan insignaler i nästkommande subsystem. APP till subsystemet för Motor, och BPP till subsystemet för Break system. Signalerna anger andelen gas alternativt broms som krävs för att fordonet skall följa referenshastigheten.

3.5 Bromssystem

Ett bromsystem har konstruerats enligt Fig. 3.5 för att hantera uppdelningen av bromskraften mellan friktions- och återvinningsbromsning.

Tabell 3.2: Variabler ur data.m-filen som används i broms-subsystemet.

Variabel	Symbol	Enhet
RBF	$Frac_{regen_r}$	-
1−RBF	$Frac_{friction_r}$	-
rw	R_{wheel}	m
G	$G_{driveline}$	-



Figur 3.5: Bilden visar fordonets bromsystem konstruerat i simulink.

En bromsningssignal med ett negativ värde mellan $0 - 1$ kommer in i subsystemet från föraren, för att sedan multipliceras med den totalt tillåtna bromskraften som systemet kan utöva på fordonet. Den totalt tillåtna bromskraften delas sedan upp som en friktionskraft, som representerar två skivbromsar. Samt den bromskraft som bildas när den elektriska motorn fångar upp rörelseenergin från fordonet i rullning. Dessa två bromskrafter skickas ut på en signalbuss, som sedan plockas upp av andra subsystem i systemet. Uppdelningen demonstreras i ekvationerna 3.2 och 3.3.

$$F_{Regen} = Frac_{regen_r} * \text{BPP} \tag{3.2}$$

$$F_{Friction} = (1 - Frac_{friktion_r}) * \text{BPP} \tag{3.3}$$

Yttligare en signal som går ut på signalbussen är den önskade återvinningssignalen omvandlad till återvinningsmoment [Nm]. Detta sker genom att återvinningskraften multipliceras med hjulradien dividerat på drivlinas utväxling.

$$\text{Regen breaking torque} = F_{regen} * \frac{R_{wheel}}{G_{driveline}} \tag{3.4}$$

Denna signal går sedan genom ett switchblock (12), som endast skickar ut signalen om fordonet har en hastighet över 0.1 km/h, annars är signalen 0.

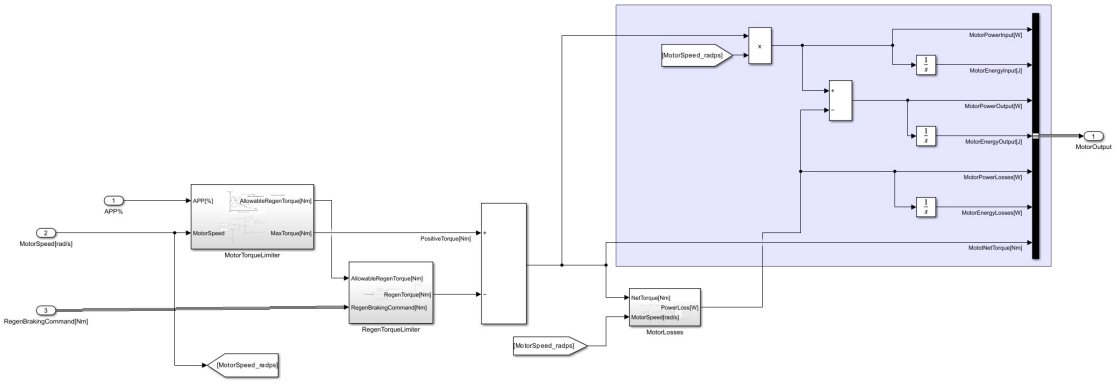
3.6 Motor

En elektrisk borstlös permanent-magnetiserad synkron motor har modulerats i denna rapport enligt Fig. 3.6, där tillhörande konstanter i tabell 3.3 kommer från motorns datablad utgiviet av tillverkaren Danfoss (3).

TABELL 3.3: Variabler ur data.m-filen som används i motor-subsystemet.

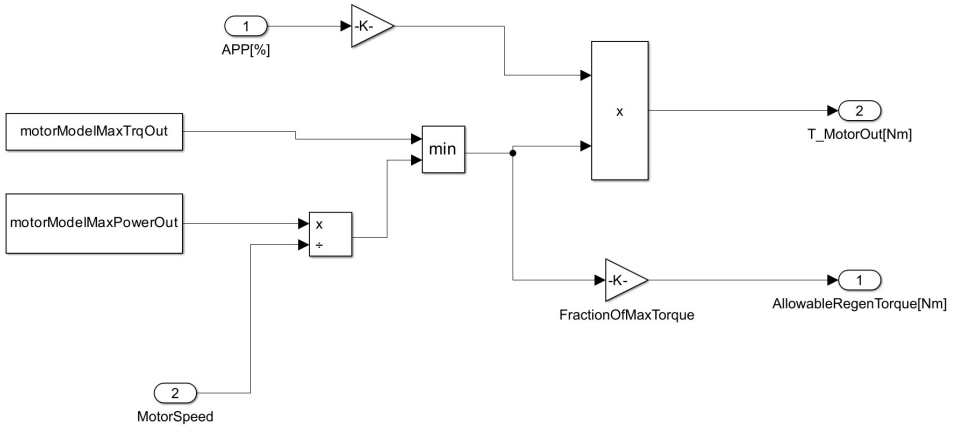
Variabel	Symbol	Enhet
motorModelMaxPowerOut	P_{max}	W
MotorSpeed	ω_{motor}	Nm
AllowableRegenTorque	T_{Regen_m}	Nm
FractionOfMaxTorque	$K_{FractionOfMaxTorque}$	-

Den elektriska motorn i Fig. 3.6 tar in tre signaler, APP% vilket representerar förarens gaspedal, med ett positivt värde mellan $0-1$. MotorSpeed vilket representerar motorns egna varvtal uttycket i rad/s. Till sist signalen RegenBrakingCommand, vilket är det önskade regenerativa bromsmomentet uträknat i subsystemet bromsystem 3.5.



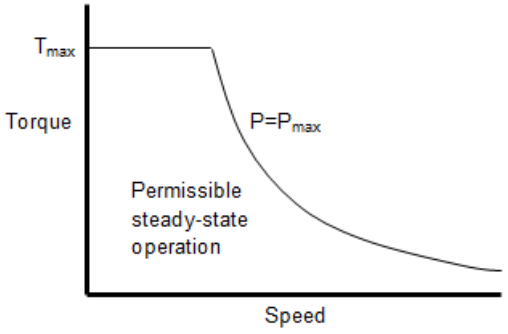
FIGUR 3.6: Subsystemet electric motor i Simulink.

De två förstnämda signalerna, APP% och MotorSpeed hanters vidare i ett subsystem vid namn MotorTorqueLimiter som redovisas i Fig. 3.7.



FIGUR 3.7: Subsystem tillhörnade electic motor vid namn MotorTorqueLimiter.

Detta subsystem ser till att det det önskade momentet från motor till hjulen på fordonet inte överskrider motors maximalt tillåtna moment, och att motorns karaktär följer en såkallad vridmoments kuvert som illusteras i Fig. 3.8.



FIGUR 3.8: Vridmoments kuvert för en elektrisk motor (17).

Detta realiseras genom att multiplicera förarens bromspedalpostion med det minsta värdet av antigen konstanten för motorns maximala moment, eller motorns maximala kraft dividerat på motorns rotationshastighet. Detta resulterar i att motorns moment följer den graf som illustreras i figur 3.8.

$$T_{P_m} = \frac{P_{max}}{\omega_{motor}} \tag{3.5}$$

$$T_{max} = \min(P_{max}, T_{P_m}) \tag{3.6}$$

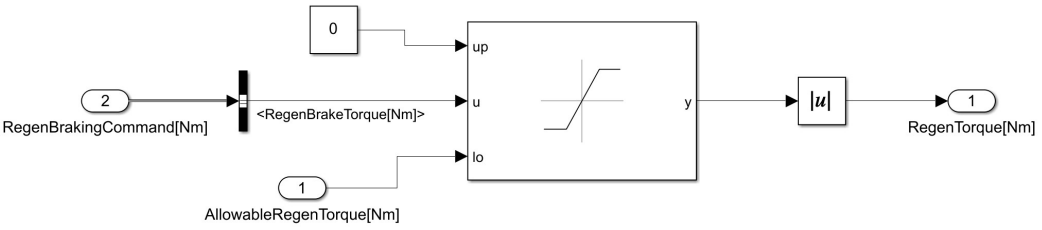
$$T_{motorOut} = \text{APP\%} \times T_{max} \tag{3.7}$$

Sluligen i subsystemet 3.7 räknas ett tillåtet återvinningsmoment ut genom att ta signalen T_{max} som multipliceras med den tillåtna konstanten för återvinningsförmågan hos

den elektriska motorn, för att sedan skicka som utsignal ur subsystemet.

$$T_{Regen_m} = T_{max} \times K_{FractionOfMaxTorque} \tag{3.8}$$

Nästa subsystem i Fig. 3.9 vid namn RegenTorqueLimiter i Fig. 3.6 begränsar den elektriska motorns återvinningsmoment genom ett saturation dynamic block(20), som limiterar det förfrågade återvinningsmomentet mellan 0 och det maximalt tillåtna återvinningsmomentet, AllowableRegenTorque. Absolutbeloppet tas av den utgående signalen från saturation dynamic- blocket, detta eftersom att signalen önskas vara positiv som utsignal ur subsystemet.

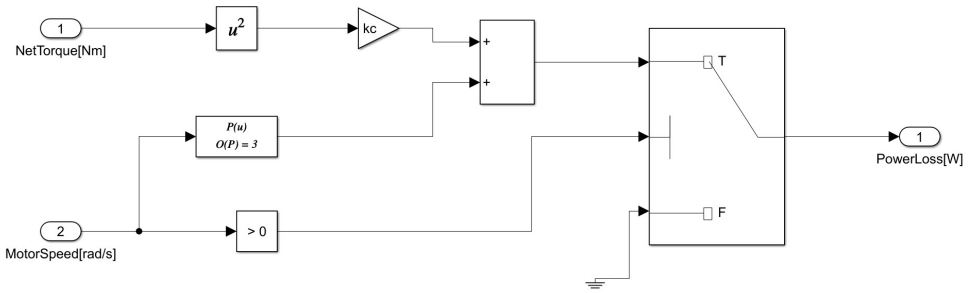


FIGUR 3.9: Subsystem tillhörnade electic motor vid namn RegenTorqueLimiter.

De sista subsystemet i 3.6 är MotorLosses, vilket adderar den elektriska motors olika effektförluster. Den totala förlusten räknas ut som en tredjegradsekvation

$$P_{losses} = k_c \times T^2 + k_i \times \omega + k_\omega \times \omega^3 + C \tag{3.9}$$

Ekvationen realiseras i simulink enligt Fig. 3.10 som använder ett polynomial-block(22) som räknar ut $k_i \times \omega + k_\omega \times \omega^3 + C$, för att sedan addera detta med $k_c \times T^2$.



FIGUR 3.10: Subsystem tillhörande electric motor vid namn MotorLosses.

I listan nedanför förklaras samtliga koefficienter och konstanter för tredjegradsekvationen 3.9 som används för att räkna ut motorns totala inbördes förluster.

- k_c: Denna koefficient kallas för kärnförlustkoefficienten, och representerar förlusterna i motorns magnetiska kärna pågrund av hysteres och virvelströmmar. Denna typ av förlust beror på kärnmaterialet och geometrin. Denna förlust ökar med motorns vridmoment där av $k_c \times T^2$.

- k_i: Denna koefficient kallas för järnförlustkoefficienten, och representerar förluster i motorn pågrund av dess järnkomponenter (som statorn och rotorn), samma här skapas dessa förluster vid magnetisk hysteres och virvelströmmar. Dessa förluster beror av järnmaterialet och dess geometri, och det ökar med ökande motorhastighet där av $k_i \times \omega$.

- k_ω: Denna koefficient kallas för vind- och friktionsförlust, och är den förlust som absorberas av motorns roterande delar, tillexempel rullagren i motors rotor. Denna förlust beror av motorns hastighet där av $k_\omega \times \omega^3$.

- C: Denna konstant representerar förlusterna i motorn som inte beror på vridmoment eller motorhastighet, så som förluster i isolering eller motorledningar.

Dessa ovannämda konstanter bestäms vanligtvis genom exprementialla mätningar eller simuleringar av motors beteende, och de kan variera beroende på motors design och driftförhållanden.

Avslutningsvis i Fig. 3.6 beräknas effekten ut ur motor, $P_{motorUt}$ enligt ekvation 3.11, genom att multiplicera motorns rotationshastighet med det önskade momentet för att sedan subtraheras med dess innesbördes förluster. Denna signal tillsammans med andra analyssignaler skickas sedan ut på en buss, som används av andra subsystem eller vid visualiseringen av simulerad data.

$$P_{motorOut} = P_{motorIn} - P_{losses} \tag{3.10}$$

$$P_{motorOut} = \omega_{motor} \times T_{motor} - (k_c \times T^2 + k_i \times \omega + k_\omega \times \omega^3 + C) \tag{3.11}$$

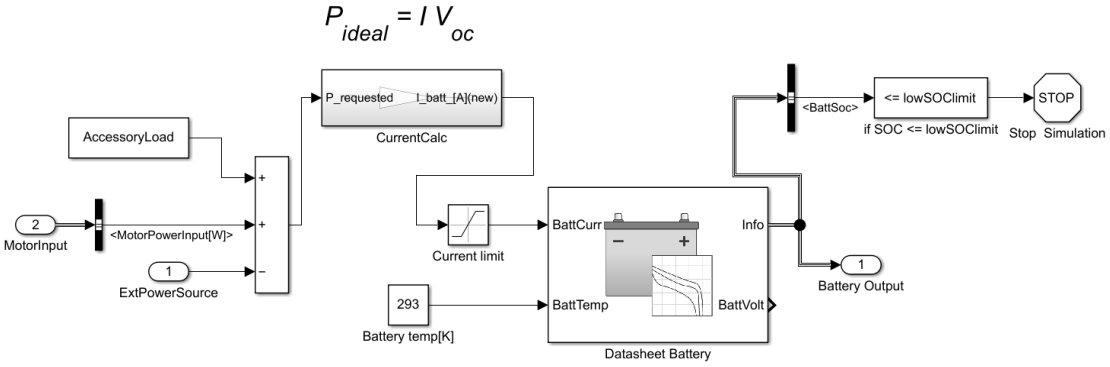
3.7 Batteri

I tabell 3.4 visas de variabler ur variabelfilen som används i subsystemet för Battery.

TABELL 3.4: Variabler ur data.m-filen som används i Battery-subsystemet.

Variabel	Symbol	Enhet
AccessoryLoad	P_{load}	W
openCircuitVoltage	V_{oc}	V
lowSOClimit	SOC_{lowLim}	%
V oc table	$V_{ocTable}$	V
R int table	R_i	Ohm
scenario.power profile	P_{extSrc}	W

Hela subsystemet för modelleringen av batteriet visas i Fig. 3.11. Batteriet är i själva verket ett batteripack bestående av flertalet battericeller enligt kapitel 2.1.3. Plattformens batteripack modelleras med hjälp av ett Datasheet Battery-block från PTB. Detta block tar in en signal i form av den ström, BattCurr i Fig. 3.11, som efterfrågas av systemet.



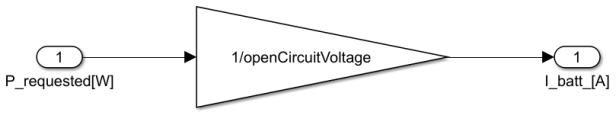
FIGUR 3.11: Subsystemet för Battery.

Strömmen beräknas utifrån den summerade effekt $P_{requested}$ systemet kräver av batteriet. Summeringen sker enligt ekvation 3.12. Variabeln P_{load} är enbart till för att ge användare möjlighet att simulera en extra last på batteriet. I denna rapport är värdet på P_{load} satt till noll. Variabeln P_{extSrc} är den effekt som den extra kraftkällan kan förse systemet med.

$$P_{requested} = P_{motor} + P_{load} - P_{extSrc} \tag{3.12}$$

Beräkning av strömmen sker sedan i subsystemet CurrentCalc vilket illustreras i Fig. 3.12 och sker enligt ekvation 3.13 (11).

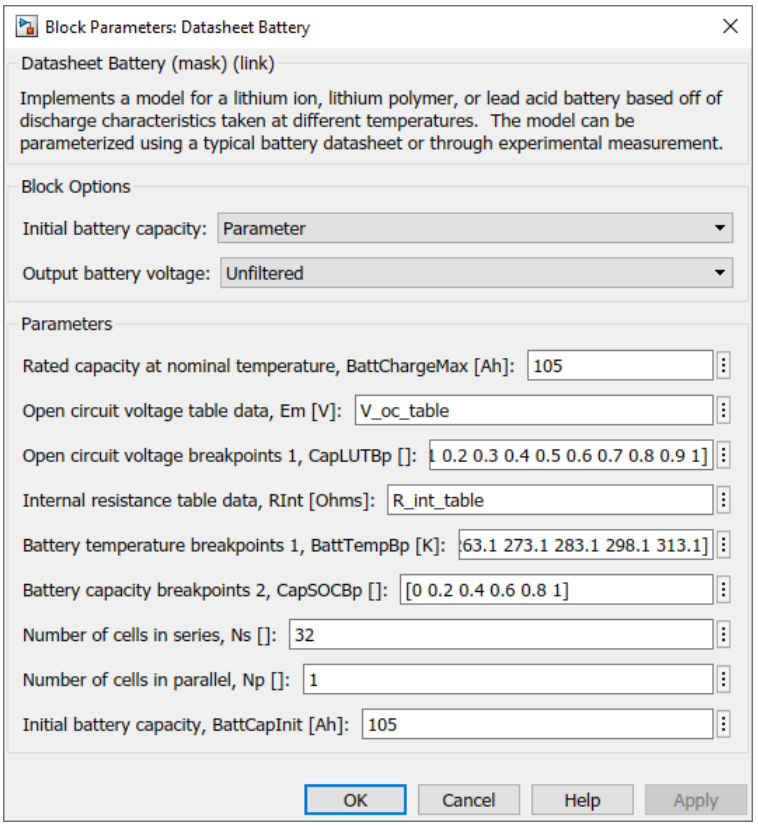
$$I = \frac{P_{requested}}{V_{oc}} \tag{3.13}$$



FIGUR 3.12: Subsystemet för CurrentCalc, som tillhör subsystemet för Battery/batteri.

Efter beräkning av ström passerar signalen ett Saturation-block (13), med namn Current limit i Fig. 3.11, innan signalen tas in i Datasheet battery-blocket. Detta för att inte överstiga den maximala ström som batteriet tillåter, vilket är 105A enligt leverantören Super B (4). Signalen begränsas därmed mellan -105 A till 105 A, där negativ ström avser den ström som uppstår vid bromsåtervinning. Batteriets temperatur anges som en konstant i Kelvin och avgör den interna resistansen på batteriet. I Fig. 3.13 nedan visas de inställningar och data som är aktuellt för Datasheet battery-blocket. Parametrarna Number of cells in series samt Number of cells in parallel i Fig. 3.13 anger batteripackets struktur. Batteripacket består av 32 seriekopplade celler enligt kapitel 2.1.3.

Datasheet battery-blocket ger möjlighet att använda typspecifik data från leverantören av batteriet, dock finns det redan data på dessa storheter angivet som standard för ett Litiumjon-batteri. För den interna resistansen R_i används standardvärden då ingen data på detta angavs av batterileverantören Super B. Förstudien presenterade Litiumjärnfosfat-batteriet som en typ av Litiumjon-batteri med förbättrad prestanda (2). Detta samt en vetenskaplig rapport om intern resistans för Litiumjon-batterier (8) ger underlag för att den interna resistansen i ett Litiumjärnfosfat-batteri inte skiljer sig avsevärt från det i ett Litiumjon-batteri. Därav används standard värden på interna resistansen i Datasheet Battery-blocket. Blocket tar även hänsyn till battericellernas spänning i förhållande till den aktuella SOC. Här används specifik data för ett Litiumjärnfosfat-batteri (9), denna data ligger i variabeln V oc table i Matlab-filen data.m. Detsamma gäller variabeln för interna resistansen R int table, som enligt förklaring ovan är standarddata för parameter Internal resistance table data i Fig. 3.13.



FIGUR 3.13: Inställningar och värden på data för Datasheet battery-blocket.

Utsignalerna från Datasheet battery-blocket används enbart för övervakning och datavisualisering. Som synes i Fig. 3.11 skickas bussen från Info-signalen ut från subsystemet, vilket senare används för datavisualisering av simuleringen. Beräkningsmodeller och förklaringar för bussens respektive signaler är dokumenterade i Mathworks Help Center (7).

Slutligen modelleras en funktion för övervakning av batteriet. Funktionen skall stoppa simuleringen om batteriets SOC når värdet på variabeln SOC_{lowLim} vilket för denna rapport är 5%. Batteriets aktuella SOC finnes i en av Info-bussens signaler från Datasheet battery-blocket. Fig. 3.11 visar hur signalen för SOC väljs från bussen med hjälp av en Bus selector (14) och därefter jämförs med värdet på variabeln SOC_{lowLim} i ett Compare To Constant-block (15). Om villkoret stämmer stoppas simulationen av ett Stop Simulation-block (16).

Värdet på SOC_{lowLim} kan bestämmas godtyckligt utefter vilken marginal användaren vill ha. Att stoppa simuleringen då batteriets SOC är låg blir för denna rapport mindre väsentlig då inga fysiska konstruktioner ska göras. Detta görs vanligtvis för att inte skada battericellerna (2).

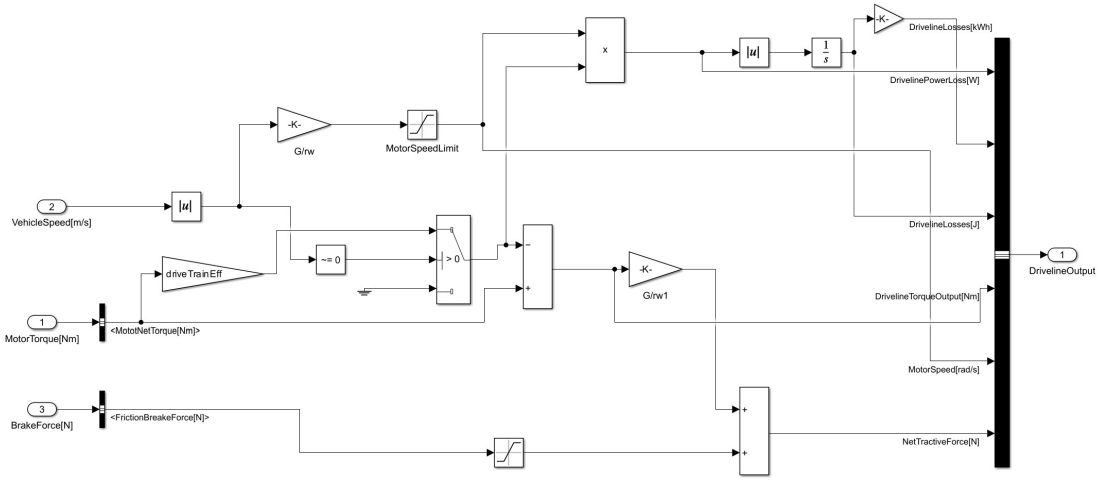
3.8 Drivlina

I tabell 3.5 nedan visas de variabler från variabellistan som används i subsystemet för drivlinan.

Tabell 3.5: Variabler ur data.m-filen som används i drivline-subsystemet.

Variabel	Symbol	Enhet
driveTrainEff	K_{losses}	-
rw	R_{wheel}	m
driveLineGear	G	utväxling

En drivlina har modelerats enligt Fig. 3.14, vilket representerar den komponent som överför momentet från den elektriska motorn till fordonets hjul, som sedan driver fordonet framåt med en viss kraft. En drivlina kan variera i dess innebödes komponenter, där en sådan vanligtvis innehåller en växellåda, differential och drivaxlar (26). Den modellerade drivlinan i Fig. 3.14 är en förenklad modell, där motorn och fordonets hjul endast länkas genom en kuggväxel.



Figur 3.14: Subsystemet för Driveline

Syftet med subsystemet för drivlinan är att räknat ut en framdrivningskraft för fordonet. Detta sker genom att momentet tas in från motorns signalbuss, för att sedan subtraheras med estimerad förlust från drivlinan (3.14). Den estimerade förlusten räknas ut genom konstanten driveTrainEff, K_{losses} (3.15), vilket är en andel av motorns moment. Förlusten går genom ett switchblock (12), som ser till att förlusten endast räknas med om fordonet rör på sig. Därefter multipliceras momentet med utväxligen G över hjulradien R_{wheel} (3.16), vilket innebär att motorns moment nu har bildat en framdrivningskraft.

$$T_{driveline} = T_{motor} - T_{losses} \tag{3.14}$$

$$T_{losses} = T_{motor} \times K_{losses} \tag{3.15}$$

$$F_{propulsion} = T_{driveline} \times \frac{G}{R_{wheel}} \tag{3.16}$$

Utväxligen för kuggväxeln G har valts så att fordonet når sin tänkta maximala hastighet 80 km/h vid motorns maximala varvtal 10000 rpm (3). Kuggväxelns förhållande räknas ut enligt (27), och uträknigen sker därför på följande sätt:

$$\frac{80}{3.6} = 22.2m/s \tag{3.17}$$

$$R_{wheel} \times \pi = circumference_{wheel} \tag{3.18}$$

$$\frac{22.2}{circumference_{wheel}} = rotationalspeed_{wheel}[rps] \tag{3.19}$$

$$rotationalspeed_{wheel}[rps] \times 60 = rotationalspeed_{wheel}[rpm] \tag{3.20}$$

$$G = \frac{10000}{rotationalspeed_{wheel}} \tag{3.21}$$

Slutligen går framdrvningskraften i Fig. 3.14 genom ett additionsblock tillsammans med friktionskraften från skrivbromsarna, vilket är en kraft som antar negtiva värden. Innan additionsblocket har friktionskraften gått igenom ett satureringsblock (13), vilket begränsar kraftens storlek till den tänkta maximala bromsverkan för fordonet. Framdrivningskraften skickas sedan ut på en signalbuss tillsammans med ett flertal andra signaler relaterade till drivlinan för analys och visualisering.

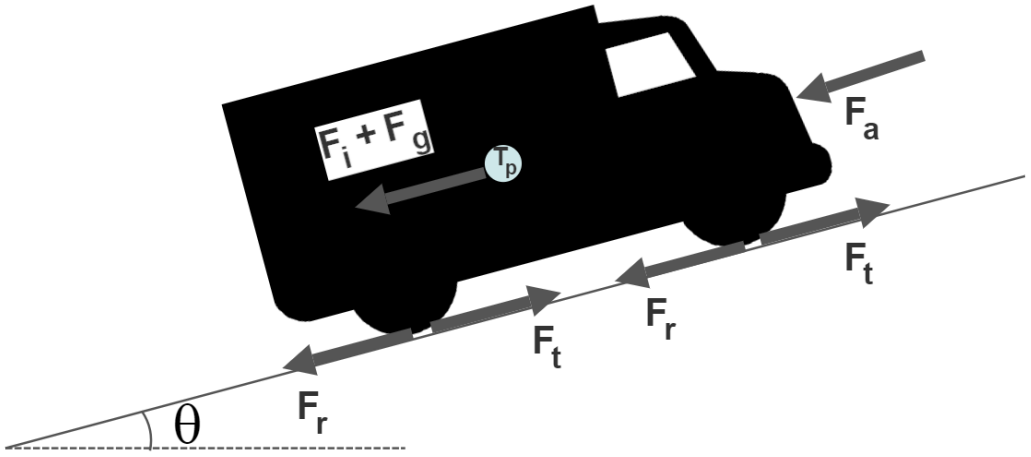
3.9 Fordon

I tabell 3.6 nedan visas de variabler från variabellistan som används i subsystemet för Vehicle.

Tabell 3.6: Variabler ur data.m-filen som används i Vehicle-subsystemet.

Variabel	Symbol	Enhet
airDensity	ρ	kg/m^3
aeroDragCoeff	C_d	koefficient
frontArea	A_f	m^2
massVeh	$m_{vehicle}$	kg
gravity	g	m/s^2
scenario.rolling profile	C_r	koefficient
scenario.load profile	m_{load}	kg
scenario.grade profile	θ	rad

Subsystemet för Vehicle består primärt av kraftekvationer för fordonets chassi, följt av beräkning och omvandling för visualisering av den effekt och energi som krävs för framdrivningen av fordonet. Samtliga krafter som verkar på fordonet illustreras i Fig. 3.15 nedan.



Figur 3.15: Krafter som verkar på fordonet.

Samtliga krafter som agerar på fordonet summeras enligt ekvation 3.22 (19). Notera att F_r och F_t i ekvation 3.22 är summan av respektive kraft för samtliga hjul.

$$F_i = F_t - F_a - F_g - F_r \tag{3.22}$$

Ekvationen för fordonets summerade krafter kan även uttryckas enligt Newtons andra rörelselag där kraften F_i motsvarar totala massan m enligt ekvation 3.23 multiplicerat med accelerationen, vilket resulterar i ekvation 3.24 (19). Detta möjliggör integration av fordonets acceleration för att ta fram fordonets hastighet samt position.

$$m = m_{load} + m_{vehicle} \tag{3.23}$$

$$F_i = m \times a \tag{3.24}$$

F_t är den drivande kraften som drivlinan behöver leverera för att övervinna övriga krafter och driva fordonet framåt, alternativt en bromsande kraft från bromssystemet. Även denna kraft uttrycks som en summering av övriga krafter som verkar på fordonet enligt ekvation 3.25, eftersom F_t behöver övervinna dessa för att förflytta fordonet (19).

$$F_t = F_i + F_a + F_g + F_r \tag{3.25}$$

F_a är den aerodynamiska kraft som luften ger upphov till, med andra ord luftmotståndet. Ekvation 3.26 illustrerar hur denna kraft modellerats. Luftmotståndet beror på luftens densitet, arean av fordonets front, fordonets hastighet samt en koefficient för luftmotstånd. Då fordonet vanligtvis är lastat kan denna koefficient anses som likvärdig med den för en buss (19). Det numeriska värdet på C_d blir då 0.6. Luftdensiteten beror på luftens temeperatur och tryck. Vid $15°C$ och ett lufttryck på 101.32 kPa är luftdensiteten ρ lika med 1.2 kg/m^3.

$$F_a = 0.5 \times \rho \times C_d \times A_f \times v^2 \tag{3.26}$$

F_g är den kraft som lutningen på underlaget ger upphov till och beräknas enligt ekvation 3.27 (19). Notera att vinkeln θ är summan av lutningen och de eventuella ojämnheterna på underlaget. Skillnaden mellan lutning och ojämnheter förklaras samt illustreras visuellt i kapitel 4.2 Simuleringsmiljö.

$$F_g = m \times g \times sin(\theta) \tag{3.27}$$

F_r är rullmotståndet som materialet på underlaget ger upphov till. Denna kraft beräknas enligt ekvation 3.28 (19) där koefficienten för rullmotståndet C_r är den variabel som tar hänsyn till underlagets material. Rullmotståndet är noll då fordonet står stilla. Därför jämförs absolutbeloppet av fordonets hastighet v med ett konstant värde 0.01 i ett Compare To Constant-block (15) i Fig. 3.15. Är hastigheten över 0.01 är F_r enligt ekvation 3.28, annars är F_r noll. Detta eftersom rullmotståndet inte påverkar fordonet när det står stilla.

$$F_r = m \times g \times C_r \times cos(\theta) \tag{3.28}$$

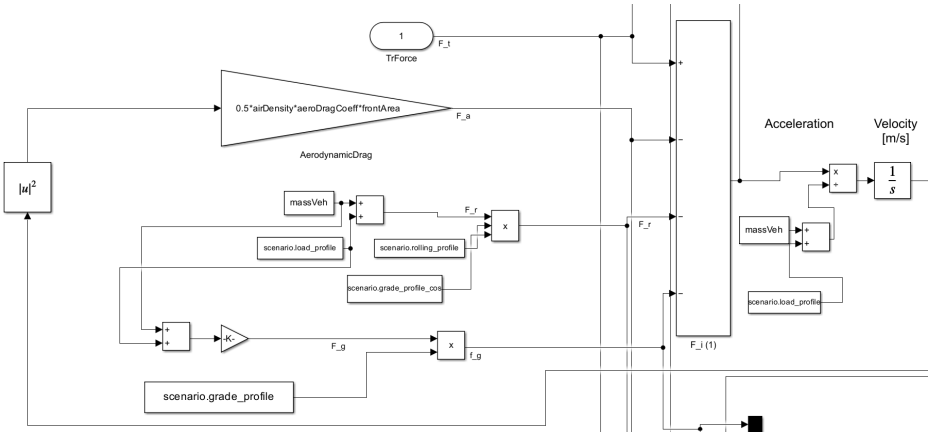
Koefficienten för rullmotståndet C_r har bestämts efter tabellen i Fig. 3.16 (21).

Rolling Resistance Coefficient		
c	c_l *(mm)*	
0.001 - 0.002	0.5	railroad steel wheels on steel rails
0.001		bicycle tire on wooden track
0.002 - 0.005		low resistance tubeless tires
0.002		bicycle tire on concrete
0.004		bicycle tire on asphalt road
0.005		dirty tram rails
0.006 - 0.01		truck tire on asphalt
0.008		bicycle tire on rough paved road
0.01 - 0.015		ordinary car tires on concrete, new asphalt, cobbles small new
0.02		car tires on tar or asphalt
0.02		car tires on gravel - rolled new
0.03		car tires on cobbles - large worn
0.04 - 0.08		car tire on solid sand, gravel loose worn, soil medium hard
0.2 - 0.4		car tire on loose sand

FIGUR 3.16: Värde på koefficienten C_r för olika underlag (21).

Körprofilerna definerar vilken typ av underlag som fordonet kör på uttryckt i text. Beroende på vilket underlag körprofilen ska efterlikna, matchas det med ett lämpligt värde på koefficienten C_r enligt tabellen i Fig. 3.16. De matchade värdena på koefficienten C_r skrivs in i matrisen scenario.rolling profile, vilket är en del av körprofilen.

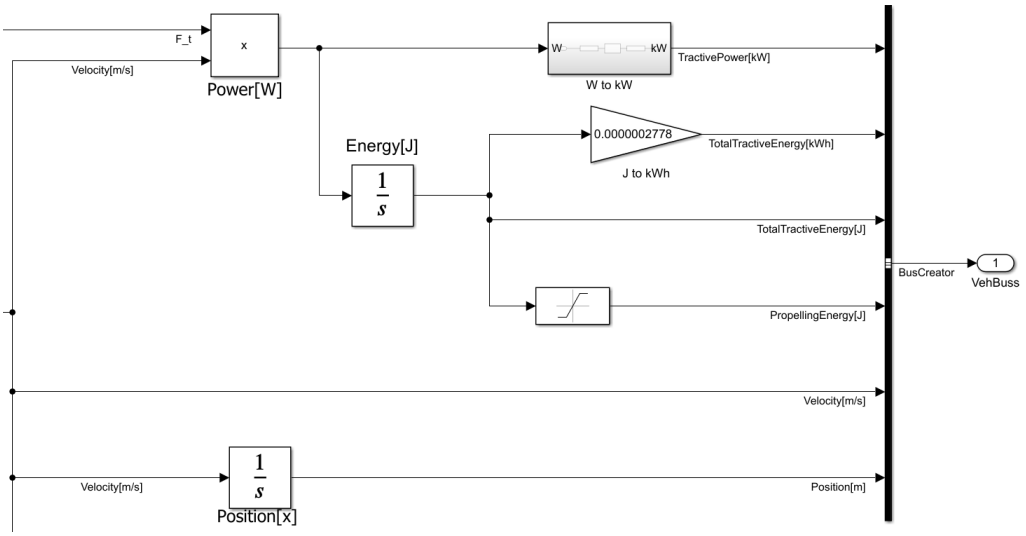
Samtliga kraftekvationer modelleras i subsystemet för Vehicle enligt Fig. 3.17.



FIGUR 3.17: Kraftekvationer i subsystemet för Vehicle.

I ekvationerna 3.27 samt 3.28 används sinus- respektive cosinus-funktioner av lutningen θ. Detta beräknas i variabelfilen, vilket medför att scenario.grade profile i Fig. 3.17 innehåller sinus värden av lutningen θ. Detsamma för scenario.grade profile cos, som innehåller cosinus värden av lutningen θ. Fordonets acceleration beräknas enligt ekvation 3.24, sedan integreras denna signal för att få fordonets hastighet, vilket syns i högra delen av Fig. 3.17.

Subsystemet för Vehicle består även av en del beräkningar för att få fram den energi och effekt som förbrukas vid framdrivningen av fordonet. Denna del visas i Fig. 3.18 och utgör tillsammans med Fig. 3.17 hela subsystemet Vehicle. En överblick av hela subsystemet finns i bilaga A.



FIGUR 3.18: Beräkningar av energi, effekt och position i subsystemet för Vehicle.

Effekten beräknas enligt ekvation 3.29 (19). Den beräknade effekten integreras för att få framdrivningens energiåtgång. Därefter sker enbart omvandligar mellan enheter.

$$P = F_t \times v \tag{3.29}$$

Hastigheten integreras vilket ger fordonets postion, som motsvarar den sträckan fordonet kört. Ett Saturation-block används för att begränsa signalen Total Tractive Energy i Fig. 3.18 till positiva värden. Signalen PropellingEnergy i Fig. 3.18 är alltså utan eventuellt regenererad energi från inbromsning.

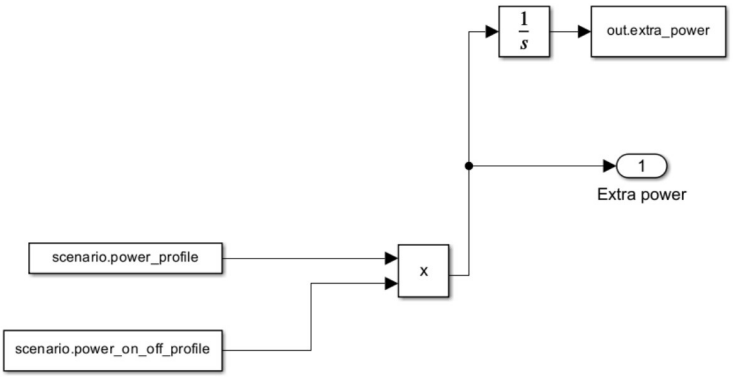
3.10 Extra kraftkälla

En extra kraftkälla kan bidra med effekt till framdrivningen av fordonet, alternativt underhållsladda batteriet. Hur och när denna extra kraftkällan bidrar med effekt till systemet bestäms av körprofilen. I tabell 3.7 visas de variabler från variabelfilen som medverkar i subsystemet för Extra energy source.

TABELL 3.7: Variabler från variabelfilen som används i subsystemet för Extra energy source.

Variabel	Symbol	Enhet/värde
scenario.power profile	P_{extSrc}	W
scenario.power on off profile		1 eller 0
out.extra power	E_{extSrc}	J

Hela subsystemet illustreras i Fig. 3.19 nedan. I de stunder fordonets effektförbrukning är lägre än den mängd effekt som tillförs från extra kraftkällan så underhållsladdas batteriet.

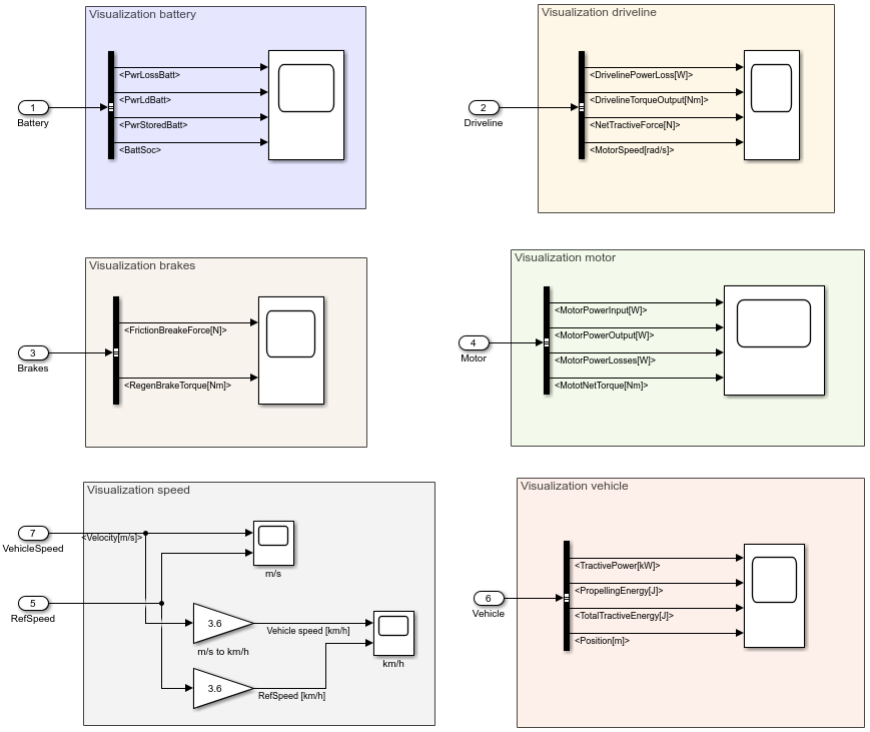


FIGUR 3.19: Subsystemet för Extra energy source.

Som synes i Fig. 3.19 går mängden effekt som P_{extSrc} bidrar med direkt till utporten för subsystemet, för att sedan fortsätta till Battery subsystemet. Utöver detta integreras samma signal för att få ut den totala mängd energi som tillförs. Datan för energin som tillförs skickas till Workspace med ett To Workspace-block. Detta block fungerar som ett omvänt From Workspace-block. Istället för att hämta data från en variabel i Workspace, så skrivs data till en variabel i Workspace (24). Datan för tillförd energi används sedan i datavisualiseringen.

3.11 Datavisualisering

Slutligen finns ett subsystem för Monitoring & visualization vilket illustreras i Fig. 3.20. Hit går samtliga data-bussar från respektive subsystem, för att med hjälp av Bus selector-block (14) och Scope-block (25) analysera godtyckliga signaler under eller efter simuleringen.



FIGUR 3.20: Subsystemet för Monitoring & visualization.

Beroende på vilka signaler som önskas att analyseras, kan detta subsystem anpassas. Genom att välja de signaler som eftersöks i Bus selector-blocket och sedan ansluta den signalen till efterföljande Scope-block. I Fig. 3.20 är de anslutna signalerna mellan Buss selector-blocken och efterföljande Scope-block valda som ett förslag på den data som kan visualiseras. Notera att subsystemet för Monitoring & visualization inte används i kapitel 5 Resultat. Där visualiseras istället de signaler som är relevanta för att besvara frågeställningen, medans godtyckliga signaler i systemet kan visualiseras i Monitoring & visualization subsystemet.

Kapitel 4

Simulering

Detta kapitel avhandlar simuleringen av det modellerade framdrivningsystemet. Simuleringen sker i fyra olika körprofiler, vilket resulterar i fyra olika analyser av framdrivningsystemet. Syftet med att presentera olika körprofiler är att kunna ge en bredare bild av prestandan hos fordonet, vilket uppnås genom att de olika körprofilerna varierar utifrån den tänkta hastigheten och miljö som ett sådant fordon kan tänkas operera i.

4.1 Analyseringsmetod

Kapitlet avhandlar de tillvägagångsätt som används för att besvara den andra huvudfrågan i frågeställningen. Genom att analysera och sammanställa resultatet av simuleringen kan det senare visualiseras i diagram och stapeldiagram för att tydligt presentera simuleringsresultatet. Nedan presenteras den andra huvudfrågan samt dels delfrågor följt av hur respektive delfråga kommer besvaras.

- Hur presterar det modellerade framdrivningssystemet i olika körprofiler?
    1. Hur väl följs referenshastigheten? Genom ett diagram över fordonets hastighet v och referenshastigheten v_{ref} under simuleringen kan följsamheten och eventuella skillnader enkelt analyseras.
    2. Medelförbrukning? Genom att beräkna den totala medelförbrukningen i kilowattimmar per 100 km (kWh/100km) för respektive körprofil kan en medelförbrukning åstadkommas. Då körprofilerna är olika långa, både i avstånd och tidsmässigt, väljs en referens på 100 km så att jämförelse körprofilerna emellan är möjlig. Dessutom beräknas effektiviteten under varje körprofil i form av antal kilometer per kilowattimme (km/kWh). Även den summerade

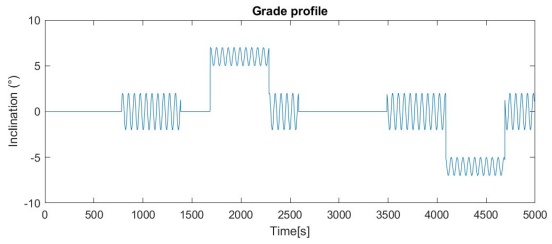
medelförbrukningen körprofilerna emellan beräknas. Detta görs främst för att datan finns tillgänglig.

3. State of charge (SOC)? Datasheet battery-blocket levererar batteriets aktuella laddning i procent, vilket även illustrerar vart under körprofilen batteriet urladdas alternativt laddas.
4. Skillnaden av extra kraftkälla på/av? Genom att simulera och i ett diagram visualisera framdrivningsystemet med den extra kraftkällan på, då enligt aktuell körprofil, eller av, kan skillnaden i SOC analyseras.
5. Effektåtgång för respektive kraft som verkar på fordonet? Varje kraft som verkar på fordonet beräknas till en motsvarande effekt som krävs av framdrivningssystemet för att övervinna denna kraft. Dessa effekter presenteras i ett stapeldiagram för att illustrera hur den totala effekten av framdrivningen är fördelad.

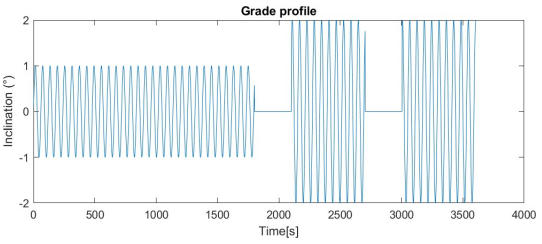
Simuleringsresultaten kommer i uppföljande kapitel 5 Resultat, att presenteras i figurer där de signaler som är aktuella för respektive delfråga visas. Delfrågorna är uppdelade i delkapitel, där resultaten från simuleringen av samtliga körprofiler visas. Detta för att illustrera skillnaderna i resultaten mellan de olika körprofilerna. Gemensamt för samtliga profiler är att batteriets temperatur är 20 grader Celcius, samt att batteriets laddningsnivå initialt är 100%.

4.2 Simuleringsmiljöer

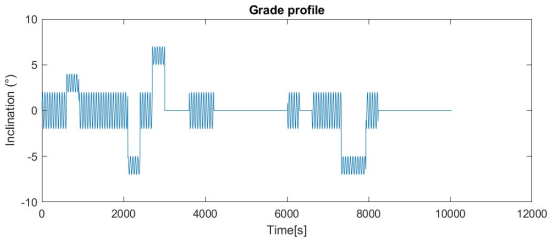
Körprofilerna som används under simulationen har en lutning på underlaget enligt Fig. 4.1, där lutningen i dessa körprofiler antigen antar positiv- eller negativa värden i grader, samt de partierna där lutningen är 0. Lutningen är en konstant lutning på underlaget, medans de oscillerande partierna ska efterlikna ett ojämt underlag. En konstant lutning och ett ojämnt underlag kan sammanfalla samtidigt, vilket sker i körprofil 1 4.1(a) och körprofil 3 4.1(c) nedan.



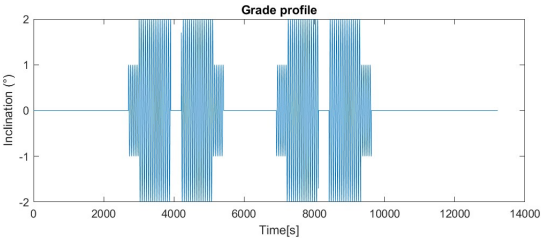
(a) Körprofil 1.



(b) Körprofil 2.



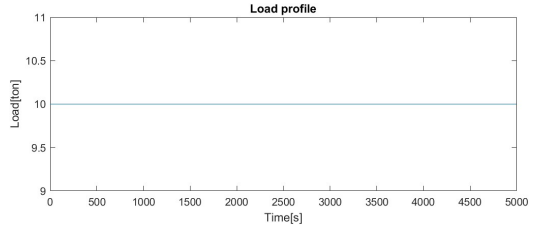
(c) Körprofil 3.



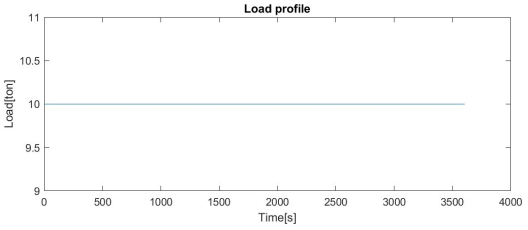
(d) Körprofil 4.

FIGUR 4.1: Figur (a)(b)(c)(d) visar körprofilernas lutning på underlaget.

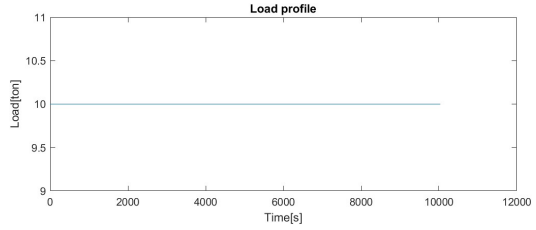
I simulationen ingår en tänkt last stående på fordonets lastutrymme. Variationen av dess massa i de olika körprofilerna redovisas i Fig. 4.2.



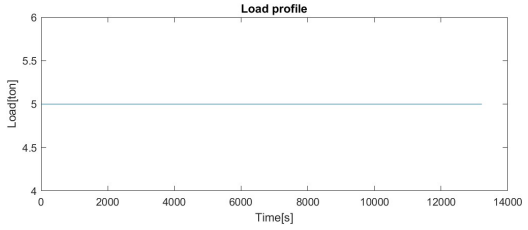
(a) Körprofil 1.



(b) Körprofil 2.



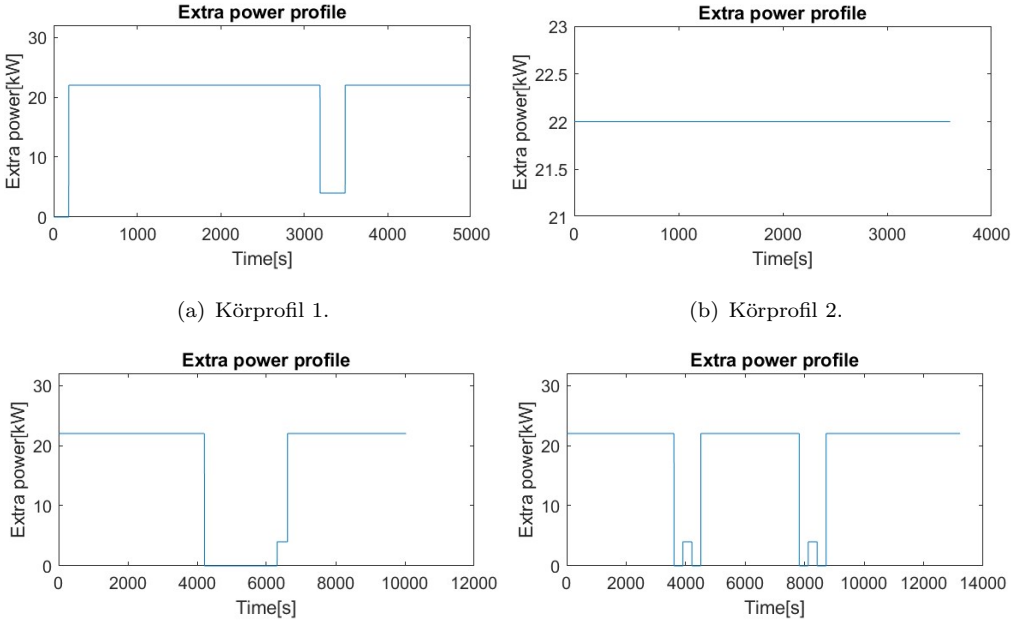
(c) Körprofil 3.



(d) Körprofil 4.

FIGUR 4.2: Figurerna (a)(b)(c)(d) visar tyngden i ton på lasten som har används vid simulering av de olika körprofilerna.

Den extra kraftkällan tillför effekt enligt Fig. 4.3. I fallet då den extra kraftkällan är av tillförs ingen effekt alls. Vid simuleringen kommer två iterationer ske, en med extra kraftkällan på, och en med extra kraftkällan av. Detta för att kunna se hur laddningsnivån i batteriet påverkas av den extra kraftkällan.



(a) Körprofil 1.

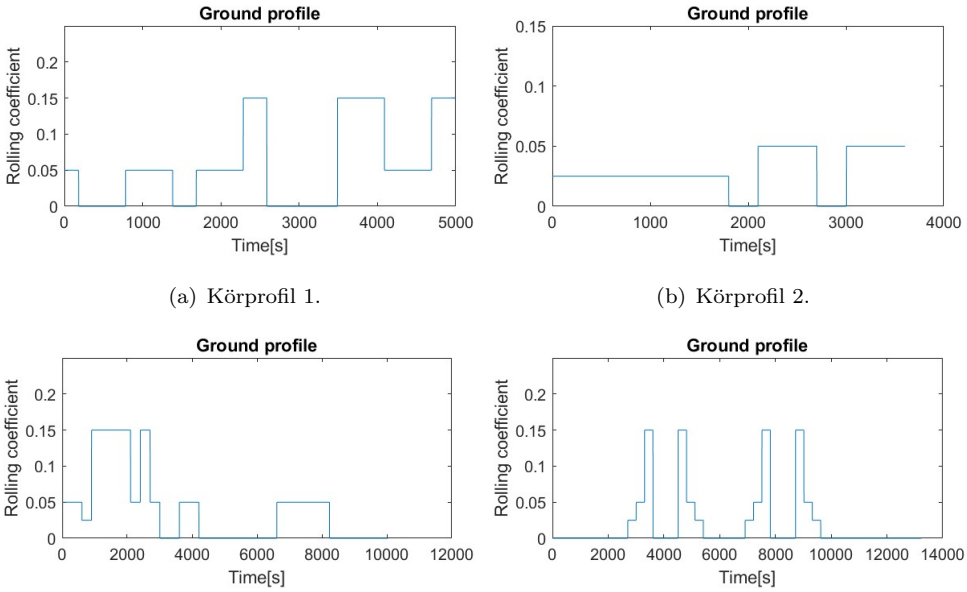
(b) Körprofil 2.

(c) Körprofil 3.

(d) Körprofil 4.

FIGUR 4.3: Figurerna (a)(b)(c)(d) visar profiler över den extra effekt angivet i kW som underhållsladdar batteriet under simuleringen.

Rullmotstånds koefficienten C_r som inverkar i ekvation 3.28 varierar i de olika körprofilerna enligt Fig. 4.4 .



(a) Körprofil 1.

(b) Körprofil 2.

(c) Körprofil 3.

(d) Körprofil 4.

FIGUR 4.4: Figurerna (a)(b)(c)(d) visar variationen av rullmotsånd under samtliga simuleringar av körprofilerna.

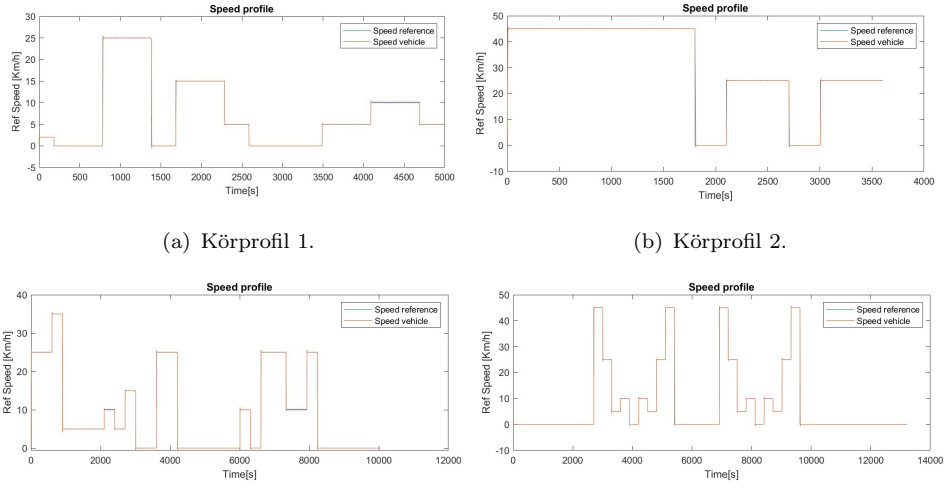
Kapitel 5

Resultat

Detta kapitel innehåller de resultat som erhållits vid simuleringen. Bortsett från resultaten av batteriets laddningsnivå och extra kraftkällans inverkan, som avhandlas i samma delkapitel, är övriga resultat indelade efter delfrågorna i andra huvudfrågan av frågeställningen.

5.1 Referenshastighet

Resultatet efter simulering av körprofilerna illustreras i Fig. 5.1 där referenshastigheten v_{ref} samt fordonets hastighet v jämförs.



(a) Körprofil 1.

(b) Körprofil 2.

(c) Körprofil 3.

(d) Körprofil 4.

FIGUR 5.1: Figurerna (a)(b)(c)(d) visar profiler över referenshastigheten v_{ref} (blå kurva) samt fordonets hastighet v (orange kurva) från simulering.

Skillnaderna mellan v_{ref} och v är som synes i Fig. 5.1 marginella för samtliga profiler, vilket indikerar att fordonet följer referenshastigheten väl. De områden där signalerna skiljer sig är vid inbromsningar och accelerationer, vilket är rimligt då körprofilens referenshastighet är en stegfunktion. Referenshastigheten kan tillexempel ändra värde från 0 till 25 på en sekund, vilket sker i Fig. 5.1(a) vid 800 sekunder. Därav är det rimligt att fordonets hastighet avviker från referenshastigheten i dessa situationer. Även då lutningen på underlaget är oscillerande, alltså ojämnt, skiljer sig signalerna något. Detta eftersom den kraft som gravitationen ger upphov till även den oscillerar, och fordonet påverkas då av en varierande kraft vilket gör att dess hastighet påverkas därefter och oscillerar något.

5.2 Medelförbrukning

Medelförbrukning, räckvidd och effektivitet vid simulering av samtliga körprofiler illustreras i tabell 5.1.

Körprofil	Medelförbrukning [kWh/100km]	Räckvidd [km]	Effektivitet [km/kWh]
Körprofil 1	116.06	10.141	0.86163
Körprofil 2	35.241	30.861	2.8376
Körprofil 3	69.182	25.112	1.4455
Körprofil 4	44.677	28.458	2.2383

Tabell 5.1: Resultatet över medelförbrukning, räckvidd samt effektivitet för de olika körprofilerna efter simulering.

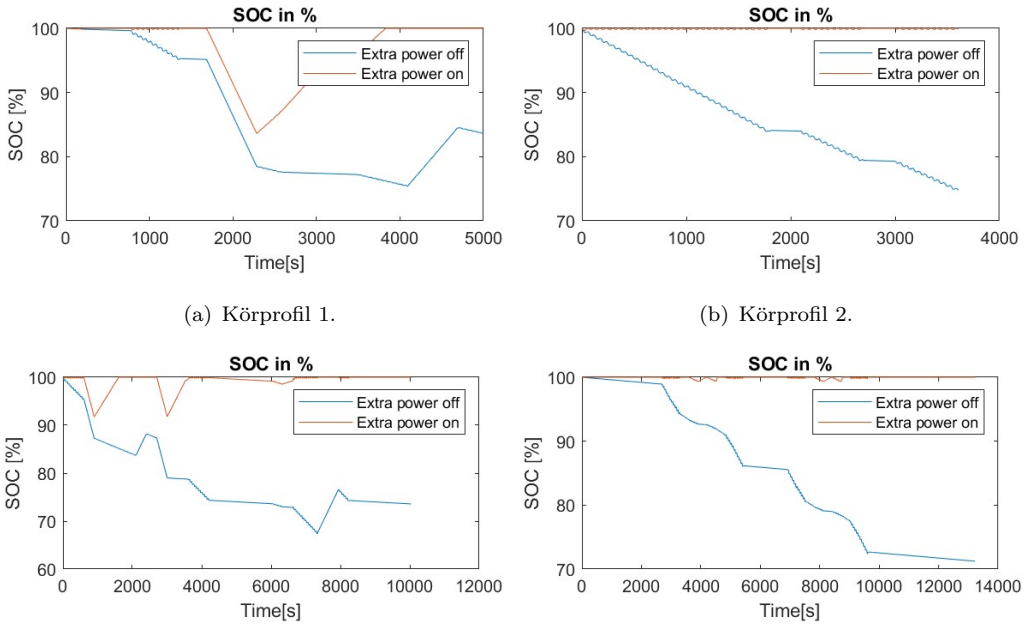
De individuella resultaten i tabell 5.1 är entydiga och kan analyseras först då de sätts i ett sammanhang. I denna rapport är det intressant att jämföra skillnaderna i medelförbrukning för de olika körprofilerna. Då kan dessutom ett medelvärde av medelförbrukningen av samtliga fyra körprofiler beräknas vilket görs i ekvation 5.1 nedan. Nämnvärt till detta är att körprofil 4 har en last på 5 ton, till skillnad från övriga körprofiler vars last är 10 ton.

$$\frac{116.06 + 35.241 + 69.182 + 44.677}{4} = 66.29[kWh/100km] \tag{5.1}$$

Resultaten i tabellen kan även jämföras med liknande fordon vars framdrivningssystem och energiförsörjning är av annan typ. Detta ligger dock utanför syftet med denna rapport och en sådan analys görs därför inte här.

5.3 Laddningsnivå och extra kraftkällans inverkan

Vid simuleringen sker två iterationer, en med den extra kraftkällan enligt körprofilen samt en helt utan den extra kraftkällan. Detta påverkar batteriets laddningsnivå SOC och skillnaderna illustreras i Fig. 5.2 nedan.



(a) Körprofil 1.

(b) Körprofil 2.

(c) Körprofil 3.

(d) Körprofil 4.

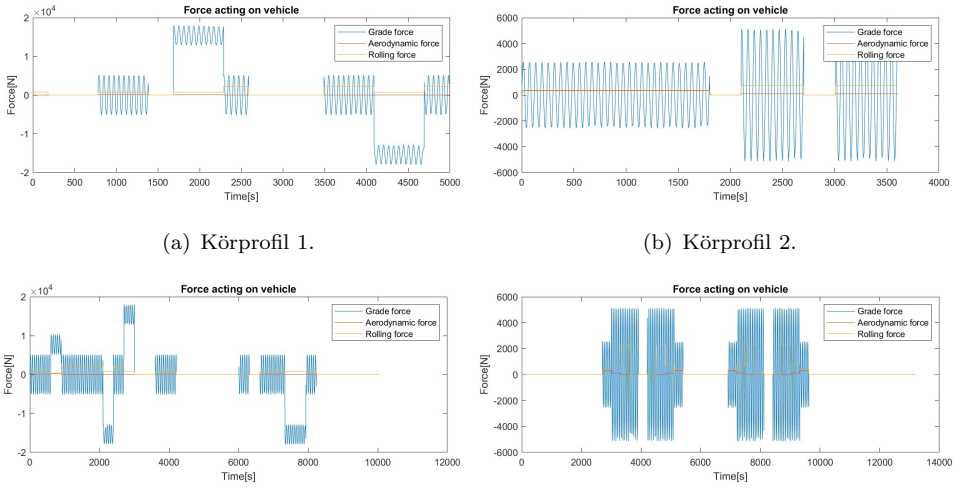
FIGUR 5.2: Figurerna (a)(b)(c)(d) visar resultatet över laddningsnivåerna (SOC) med och utan tillgång till en extra kraftkälla.

Som synes för samtliga körprofiler i Fig. 5.2 ger den extra kraftkällan en tydlig skillnad i batteriets laddningsnivå. För körprofil 2 i Fig. 5.2(b) och körprofil 4 i Fig. 5.2(d) laddas batteriet inte ur mer än 2 % när den extra kraftkällan är på. Gemensamt för dessa två körprofiler är att de inte har någon konstant lutning, utan enbart ojämnheter från underlaget. I nästkommande delkapitel 5.4 analyseras de krafter som verkar på fordonet under simuleringen. Där observeras att den kraft som lutningen på underlaget ger upphov till är mest signifikant. Denna observation kan även göras i Fig. 5.2(a) och Fig. 5.2(c) ovan. Där körprofil 1 och körprofil 3 har en konstant positiv lutning (även en oscillerande ojämnhet som dock inte är lika signifikant som den konstanta lutningen) så blir samtidigt laddningsnivån i batteriet lägre. Där körprofilerna 1 och 3 istället har en negativ lutning ökar istället laddningsnivån i batteriet på grund av bromsåtervinning. Detta syns tydligast längs de blåa datapunkterna i Fig. 5.2(a) och Fig. 5.2(c) där extra kraftkällan är av. Dock sker detsamma med extra kraftkällan på.

Bromsåtrervinningen syns även i samtliga körprofiler i Fig. 5.2 då underlaget är ojämnt, alltså då lutningen är oscillerande. Laddningsnivån i batteriet får då också en oscillerande form på grund av bromsåtrervinningen.

5.4 Effekten av respektive kraft

Krafterna som verkar på fordonet under simuleringen visas i Fig. 5.3 nedan.



(a) Körprofil 1.

(b) Körprofil 2.

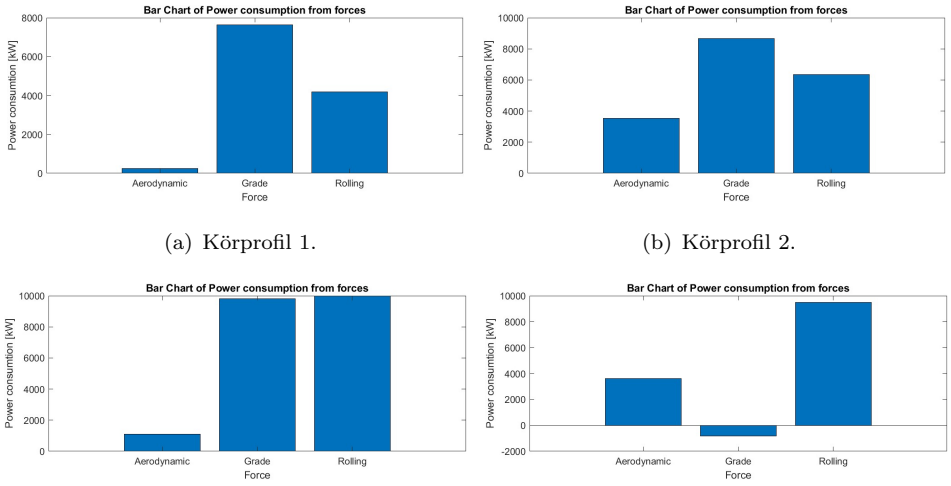
(c) Körprofil 3.

(d) Körprofil 4.

FIGUR 5.3: Figurerna (a)(b)(c)(d) visar profiler över krafternas inverkan på fordonet under simulering.

Gemensamt för samtliga profiler i Fig. 5.3 är att kraften som uppstår pågrund av lutning samt omjämheter i underlaget (Grade force), ekvation 3.27, har en signifikan inverkan på fordonets dynamiska prestada. Vid vissa underlag har även den kraft som uppstår pågrund av rullmotstånd (Rolling force), ekvation 3.28, en relativt stor inverkan på fordonet. Den aerodynamiska krafen (Aerodynamic force) i ekvation 3.26 kan anses som minst signifikan i sammanhanget, eftersom att dess storlek aldrig kommer nära någon av de andra krafternas storlek i plotarna ovan.

Den summerade effekten som krävs för att övervinna respektive kraft visas i Fig. 5.4. Effekten som motsvarar respektive kraft erhålles på samma sätt som i ekvation 3.29.



(a) Körprofil 1.

(b) Körprofil 2.

(c) Körprofil 3.

(d) Körprofil 4.

FIGUR 5.4: Figurerna (a)(b)(c)(d) visar profiler över den effekt som krävs av fordonet för att övervinna respektive kraft.

Staplarna i Fig. 5.4 visar en något mer jämn verkan på fordonet dynamiska prestanda jämfört med resultaten i Fig. 5.3. Effekten som krävs för att övervinna samtliga krafter räknas ut genom $P = F \times v$, detta resulterar sålldes i att storleksordnigen som respektive kraft påverkar fordonet med i form av effekt blir mer utjämnat, speciellt gäller detta för lutningskraften(grade force) och rullmotståndet(Rolling force).

Eftersom att bromsåtervinnig finns tillgängligt i fordonet, kan lutningsmotsåndet (grade force) ge tillbaka effekt till fordonet. Detta gäller inte för resterande effekter i Fig. 5.4.

Kapitel 6

Diskussion

Rapporten avhandlar hur det på förhand önskade framdrivningsystemet modellerats och simulerats samt en analys av simuleringsresultaten. Detta var rapportens huvudsakliga syfte, och frågeställningen har därmed besvarats. I kapitel 1.1 Inledning presenterades en bakgrund till rapporten samt Saab's ambitioner om förnybar energiförsörjning. Det modellerade framdrivningsystemet är eldrivet, och släpper därmed inte ut några växthusgaser från framdrivningen av fordonet vilket uppfyller Saab's uttalade ambitioner. Dock kan ett batteri laddas med energi som utvunnits från fossila bränslen vilket indirekt hade gett de modellerade framdrivningssystemet ett utsläpp av växthusgaser. Detta ligger däremot utanför rapportens område, men värt att nämna i sammanhanget. Körprofilerna är utformade för att efterlikna de typer av terräng som plattformen är avsedd att användas i.

Arbetet med modelleringen av framdrivningssystemet påbörjades på en grundlig nivå enbart uppbyggt av matematiska samband. Med tiden implementerades Matlab's färdiga funktioner för simulering av fordon. Detta gav bättre precision på modellen, samt möjlighet att analysera fler signaler i framdrivningssystemet. Användandet av Matlab's färdiga funktioner gjorde även att modellen liknade några av de modeller som simulerats i liknande publicerade vetenskapliga rapporter vilket möjligjorde att kontrollera om resultaten var rimliga. Givetvis har denna rapport skiljt sig från de övriga vetenskapliga rapporter som finns på området i många avseenden, primärt är det syftet och frågeställningarna som skiljer sig. Därav är det svårt att jämföra denna rapports resultat till de förväntade resultatet från referenslitteraturen. Å andra sidan avviker inte resultatet av denna rapport avsevärt med någon av de befintliga modellerings- och simuleringsrapporter som lästs inför och under arbetets gång.

Som redan omnämnts i kaptiel 1.4 Teoretisk ram och kapitel 1.5 Avgränsningar är denna rapport en teoretisk och grundlig modell av ett framdrivningssystem. Detta medför att

samtliga subsystem har modellerats med grundliga funktioner och matematiska samband för att efterlikna ett verkligt system. Därmed saknar modellen en detaljrikedom, och flertalet faktorer som påverkar systemet är inte med i denna rapport. Dock är de huvudsakliga faktorerna givetvis med i modellen. Då rapporten är avgränsad till teoretisk modellering har inget arbete gjorts för att undersöka dessa detaljer. Däremot har en del faktorer medvetet valts bort ur modellen. Den främsta anledningen till detta är just att ingen fysisk konstruktion ska göras enligt rapportens avgränsningar, och därmed blir vissa faktorer svåra att uppskatta med tillräcklig precision. Exempel på sådana faktorer är förluster i drivlina och motor. I denna rapport har drivlinans förluster uppskattats med hjälp av handledarna på Saab.

Det kan vara värt att tänka över hur mycket av eventuella detaljer som faktiskt skulle vara värt att implementera i modellen. Många gånger används modellering och simulering som ett verktyg just för att få en övergripande bild av ett system, utan att behöva påbörja den fysiska konstruktionen. I och med att de huvudsakliga delarna av ett framdrivingssystem ingår i modellen så behöver det inte vara självklart att resultatet påverkas signifikant av att fler detaljer implementeras.

Ett område som inte har undersökts i denna rapport är påverkan på prestanda då batteriets temperatur varierar. Detta eftersom beställaren har efterfrågat en specifik temperatur på batteriet för samtliga körprofiler. Dock kan det enkelt undersökas i den nuvarande modellen hur batteri och prestanda generellt påverkas av varierande temperaturer. Den interna resistansen i modellen är dock uppskattad och inte exakt uppmätt. Därav kan endast en generell variation av prestanda följt av temperaturskillnader göras i nuvarande modell.

Rullmotståndet påverkas av däckens lufttryck och däcktyp (21), vilket inte har inkluderats i denna rapport på grund av avgränsningarna. I vissa simuleringsrapporter tar man hänsyn till trögheten från de inre roterande komponenterna i framdrivningsystemet vid beräkning av fordonets hastighet och acceleration (19). Detta har i denna rapport inte inkluderats, dels för rapportens avgränsning till teoretisk arbete, och dels för att en elektrifierad drivlina generellt har färre roterande delar än exempelvis en drivlina för en förbränningsmotor vilket även omnämndes i förstudien (2).

Den aerodynamiska kraften som påverkar fordonet är i rapporten baserat på en viss temperatur, lufttryck samt luftdensitet. Ingen vind inkluderas i luftmotståndet, med andra ord är körprofilerna vindstilla. Då den aerodynamiska kraften är relativt liten jämfört med övriga krafter som verkar på fordonet, inkluderas ingen vind i denna rapport. Utöver luft och vind påverkas den aerodynamiska kraften av fordonets frontala area. I modellen är denna area konstant oavsett last. Detta eftersom den aerodynamiska

kraften är relativt liten, samt att inga av körprofilerna har en obefintlig last. Lasten är nämligen den faktor som påverkar frontarean mest.

Den effektåtgång som kraften från underlagets lutning ger upphov till resulterar i ett negativt värde i Fig. 5.4(d) för körprofil 4. Detta resultat kan misstolkas som en regenererad effekt från bromsåtervinning, då det är negativt. Dock har detta resultat inget med bromsåtervinning att göra. Resultatet är enbart den summerade effektåtgången för respektive kraft som verkar på fordonet. Möjligen kan körprofilens referenshastighet, som visas i Fig. 5.1(d) göra detta möjligt. Detta eftersom referenshastigheten är som högst vid de mindre ojämnheterna (oscillationer mellan 1 och -1 grader), och lägre vid de större ojämnheterna (oscillationer mellan 2 och -2 grader). Om fordonet kommer in i ett parti med större ojämnheter samtidigt som dess hastighet ska minska kan en viss mängd energi regenereras av bromsarna. Dessutom har inte lutningsprofilen en svängningstid på exakt 60 sekunder. Detta kan medföra att när referenshastigheten blir noll så kan lutningen på underlaget fortsatt vara negativt ett antal sekunder. Därmed erhålls en summerad negativ effekt från lutningen. Detta resultat har undersökts med tillhörande teori. Summan av effektåtgången för samtliga krafter stämmer överrens med teorin i ekvation 3.25, även för körprofil 4, vilket stärker pålitligheten i resultatet.

Inlednigsvis i denna rapport nämns det att Saab's ambitioner är att försvarsindustrins energiförsörjning i framtiden ska bestå av förnyelsebar typ. Sett till vart Saab står idag, skulle detta kunna innebära en konstruktion av en elektrisk platform, vilket är ett relativt obeprövat i sammanhanget. En omställning av sådan karaktär medför en del frågetecken kring teknisk bärkraft, samt vad för krav som kan ställas på prestanda. Efter att en sådan plattform har simulerats i de tänkta miljöer där fordonet ska röra sig, anses resultaten från denna rapport tyda på att en viss teknisk bärhet finns i sammanhanget. I synnerhet de resultat som presenteras i Fig. 5.2, där laddningsnivåerna i slutändan aldrig understiger 65 % av batteriets energikapcitet.

För längre räckvidd är underhållsladdning från en extra kraftkälla nödvändig. Å andra sidan hade ett större batteripack medfört en ökad räckvidd, vilket är ett område som kan undersökas närmare. Ett större batteripack kan enkelt implementeras och simuleras i den nuvarande modellen.

Den aggressiva regleringen av fordonets hastighet kan påverka prestandan. Detta eftersom kraftiga gas- och bromskommandon ges för att fordonet ska följa referenshastigheten. I praktiken är behöver det inte vara nödvändigt att fordonet följer referenshastigheten så exakt som möjligt. I denna rapport är körprofilerna uppbyggda på ett sätt som gjorde att en aggresiv reglering av fordonets hastighet var relevant för att resultatet skulle kunna analyseras likvärdigt för alla fyra körprofiler.

Ett område som ej beaktas i denna rapport är hur effekten in i batteriet, från extra kraftkälla eller bromsåtervinning, ska hanteras då batteriet redan är fulladdat. Detta bör beaktas om en fysisk konstruktion ska göras. En enkel lösning skulle vara att enbart tillåta underhållsladdning och/eller bromsåtervinning då batteriet är under exempelvis 80% av full SOC. Även typen av den extra energikällan bör bekatas. I förstudien (2) påpekades att bränsleceller mår bäst av att leverera en konstant effekt, vilket är ytterligare en faktor att ha i åtanke om vidareutveckling ska göras.

Vid simulering kan det hända att simuleringen fastnar extra länge vid vissa tidpunkter. Detta beror på att körprofilerna till stor del är stegformade. Exempel på ett sådant fall är om fordonet står still på plant underlag och referenshastigheten går från 0 till 25 km/h och lutningen på underlaget går från 0 till 5 grader. Vid allför stora skillnader kan simuleringen krascha. Detta beror på att Simulink inte klarar att integrera stegformade funktioner.

Kapitel 7

Slutsats

Vissa slutsatser kan dras utifrån rapportens resultat med anknytning till syfte och frågeställning. Modelleringen av framdrivingssystemt är baserat på matematiska och fysikaliska samband, som enligt referenslitteraturen är väl etablerade för just modellering av ett framdrivingssystem. Detta ger en övergripande modell av fordonet som inkluderar de huvudsakliga delarna och funktionerna som ett framdrivingssystem har. Dock finns det förbättringspotential gällande mindre detaljer. Detaljarbetet hade underlättats om en tydligare plan för en fysisk konstruktion hade funnits då mycket av de detaljer som i denna rapport lämnats utanför beror på ovisshet kring fordonets fysiska konstruktion och hårdvarukomponenter. I subsystemen för motorn och drivlina uppkommer en del förluster. Dessa har i denna rapport approximerats genom att en andel av den effekt som kommer in till respektive subsystem dras av.

Gällande simuleringen har rapporten åstadkommit det som önskades av beställaren (Saab). Då primärt att körprofiler implementerats efter beställarens önskemål samt att simuleringsresultaten kunnat besvara frågeställningen.

Medelförbrukning och effektivitet för de olika körprofilerna visas i tabell 5.1. Dessutom beräknas en summerad medelförbrukning baserat på respektive körprofils medelförbrukning i ekvation 5.1. Denna summerade medelförbrukning resulterade i 66.29 kWh/100km. Huruvida den erhållna medelförbrukningen kan mäta sig med befintliga fordon med förbränningsmotorer lämnas åt läsaren då det ej ingår i denna rapports syfte. Däremot kan det konstateras att energiåtgången per kilometer varierar kraftigt mellan de olika körprofilerna.

Resltatet i Fig. 5.3 och Fig. 5.4 ger vissa hänvisningar kring områden på den mekaniska kontruktionen som potentiellt kan förbättras för att erhålla en ökad prestanda för fordonet. De simulerade resultaten i figurerna indikerar på att stigningsmotståndet

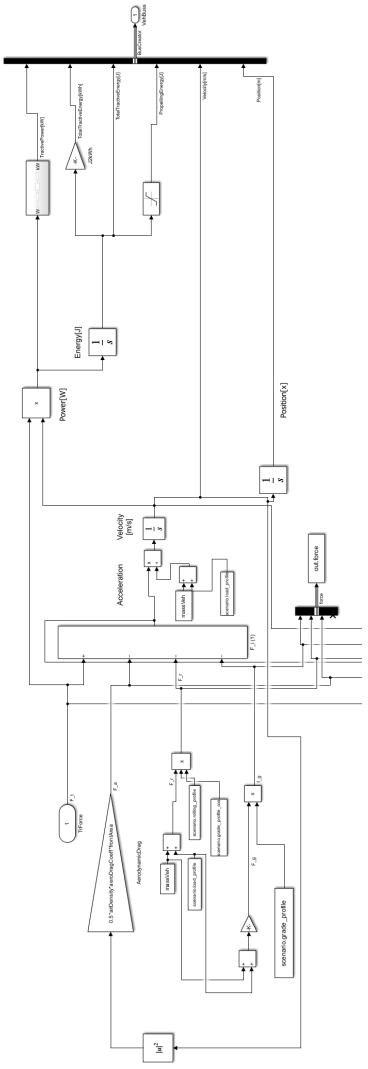
(Grade force) har en stor inverkan på den dynamiska prestandan, och därmed indirekt påverkan på den energiåtgång som krävs från fordonets batteri. Eftersom att konstanten m, massan för fordonet i kraften från stigningsmotståndet i ekvation 3.27 är det enda som kan ändras tillföljd av en mekanisk konstruktion, är det således endast denna som kan ändras för att optimera energi åtgången från stigningsmotståndet. En rekommendation till kommande konstruktion eller optimeringsförsök i simulationen av fordonet är att se över ingående fysiska komponenter, detta med avseende att minska den totala vikten på fordonet, vilket i slutändan kommer att generera ett mindre stignings motstånd från ekvation 3.27. I likhet med denna rekommendation kan även massan av ett större batteripack jämföras med massan av en extra kraftkälla, och respektive inverkan på räckvidden. Ett större batteripack kan vara mer effektivt energi- och viktmässigt än vad en extra modul för underhållsladdning är.

Värt att nämna är att även ekvation 3.28, rullmotstånd i resultatet från Fig. 5.3 och Fig. 5.4 har stundtals en signifikant inverkan på fordonets prestanda. Som nämt ovan finns även här en viss förbättringspotential när det kommer till optimera den åtgångna energin för att driva fordonet framåt. I ekvation 3.28 gäller här att massan m, på fordonet samt rullmotstånds koefficineten C_r, är konstanter som kan påverkas vid en optimerad mekanisk konstruktion. Vad gäller m, massan på fordonet följer här rekommendationen samma som nämts i stycket ovan. För C_r, rullmotståndskoefficienten påverkas denna av friktionen mellan underlaget och fordonet däck. Från ett mekaniskt perspektiv påverkas denna koefficient av bland annat hjulens design, så som material och däcktryck, samt dess geometri (21). Därför rekommenderas en vidare undersökning för optimering av dessa parameterar för att kunna förbättra energiåtgången mellan hjul och underlag för fordonet.

I sin helhet har rapporten uppfyllt det som beställaren efterfrågat. Vidare utveckling behöver inte nödvändigtvis behandla detaljer i modellen. Den förstudie som gjorts inför denna rapport nämner vissa varianter på framdrivningssystem som är av förnyelsebar typ. Modellen i denna rapport hade exempelvis kunnat byggas på med en bränslecell för att underhållsladda batteriet alternativt hybrid-varianter. Dessa olika varianter av energiförsörjning och framdrivning för den aktuella plattformen och dess användningsområde hade därefter kunna jämföras för att slutligen utvärdera vilken variant som lämpar sig bäst i sammanhanget.

Bilaga A

Appendix



Figur A.1: Hela subsystemet för Vehicle.

Litteraturförteckning

[1] MathWorks. (2023) Powertrain blockset - model and simulate automotive powertrain systems. [Online]. Available: https://se.mathworks.com/products/powertrain.html

[2] A. Boström and N. Serner, "Förnybar energikälla och framdrivningssystem - förstudie," Chalmers tekniska högskola, 2023.

[3] Danfoss. (2020) Data sheet em-pmi250 + ec-c1200d, electric machine + converter systems. [Online]. Available: https://cdn.shopify.com/s/files/1/1820/0269/files/EM-PMI250_Converter_Data_Sheet.pdf?v=1678530560

[4] S. B. (2023) Datasheet nomada 12v105ah. [Online]. Available: https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/superb-com/sulu/uploads/media/01/datasheet_nomada_12v105ah_v1-4_en.pdf

[5] MathWorks. (2023) Projects. [Online]. Available: https://se.mathworks.com/help/matlab/projects.html

[6] ——. (2023) Longitudinal driver. [Online]. Available: https://se.mathworks.com/help/vdynblks/ref/longitudinaldriver.html?

[7] ——. (2023) Datasheet battery. [Online]. Available: https://se.mathworks.com/help/autoblks/ref/datasheetbattery.html

[8] Y. Yue, S. Li, X. Cheng, J. Wei, F. Zeng, X. Zhou, and J. Yang, "Effects of temperature on the ohmic internal resistance and energy loss of lithium-ion batteries under millisecond pulse discharge," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2301, no. 1, p. 012014, jul 2022. [Online]. Available: https://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/2301/1/012014

[9] N. Seghers. (2022) Lifepo4 voltage chart (1 cell, 12v, 24v, 48v). [Online]. Available: https://cleversolarpower.com/lifepo4-voltage-chart/

[10] M. Z. Bingzhan Zhang, Chris Chunting Mi. (2011) Charge-depleting control strategies and fuel optimization of blended-mode plug-in hybrid electric vehicles.

[Online]. Available: https://chrismi.sdsu.edu/publications/2011_05_TVT_Charge_Depletion.pdf

[11] C. M. Xi Zhang, *Vehicle Power Management - Modeling, Control and Optimization*. Springer London, aug 2011, no. 1. [Online]. Available: https://link.springer.com/book/10.1007/978-0-85729-736-5#bibliographic-information

[12] Mathworks. (2006) Switch. [Online]. Available: https://se.mathworks.com/help/simulink/slref/switch.html

[13] ——. (2006) Saturation. [Online]. Available: https://se.mathworks.com/help/simulink/slref/saturation.html

[14] ——. (2006) Bus selector. [Online]. Available: https://se.mathworks.com/help/simulink/slref/busselector.html

[15] ——. (2006) Compare to constant. [Online]. Available: https://se.mathworks.com/help/simulink/slref/comparetoconstant.html

[16] ——. (2006) Stop simulation. [Online]. Available: https://se.mathworks.com/help/simulink/slref/stopsimulation.html

[17] ——. (2008) Generic motor and drive with closed-loop torque control. [Online]. Available: https://se.mathworks.com/help/sps/ref/motordrivesystemlevel.html

[18] G. G. Z. Zongxuan Sun, *Design and Control of Automotive Propulsion Systems (1st ed.)*. CRC Press, december 2014, no. 1. [Online]. Available: https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/b17947/design-control-automotive-propulsion-systems-zongxuan-sun-guoming-zhu

[19] A. Kumar, A. Chandekar, P. Deshmukh, and R. Ugale, "Development of electric vehicle with permanent magnet synchronous motor and its analysis with drive cycles in matlab/simulink," *Materials Today: Proceedings*, vol. 72, pp. 643–651, 2023, 2nd International Conference and Exposition on Advances in Mechanical Engineering (ICoAME 2022). [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785322054797

[20] Mathworks. (2006) Saturation dynamic. [Online]. Available: https://se.mathworks.com/help/simulink/slref/saturationdynamic.html

[21] E. ToolBox. (2008) Rolling resistance. [Online]. Available: https://www.engineeringtoolbox.com/rolling-friction-resistance-d_1303.html

[22] Mathworks. (2006) Polynomial. [Online]. Available: https://se.mathworks.com/help/simulink/slref/polynomial.html

[23] ——. (2022) Matlab and simulink racing lounge: Vehicle modeling. [Online]. Available: https://se.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/63823-matlab-and-simulink-racing-lounge-vehicle-modeling

[24] ——. (2006) To workspace. [Online]. Available: https://se.mathworks.com/help/simulink/slref/toworkspace.html

[25] ——. (2015) Scope. [Online]. Available: https://se.mathworks.com/help/simulink/slref/scope.html

[26] Wikipedia. (2022) Drivetrain. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Drivetrain

[27] ——. (2023) Gear train. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Drivetrain

[1]

[1]Notering: Vid källor i följd med samma författare kommer författarens namn ersättas med — i de efterföljande referenserna.