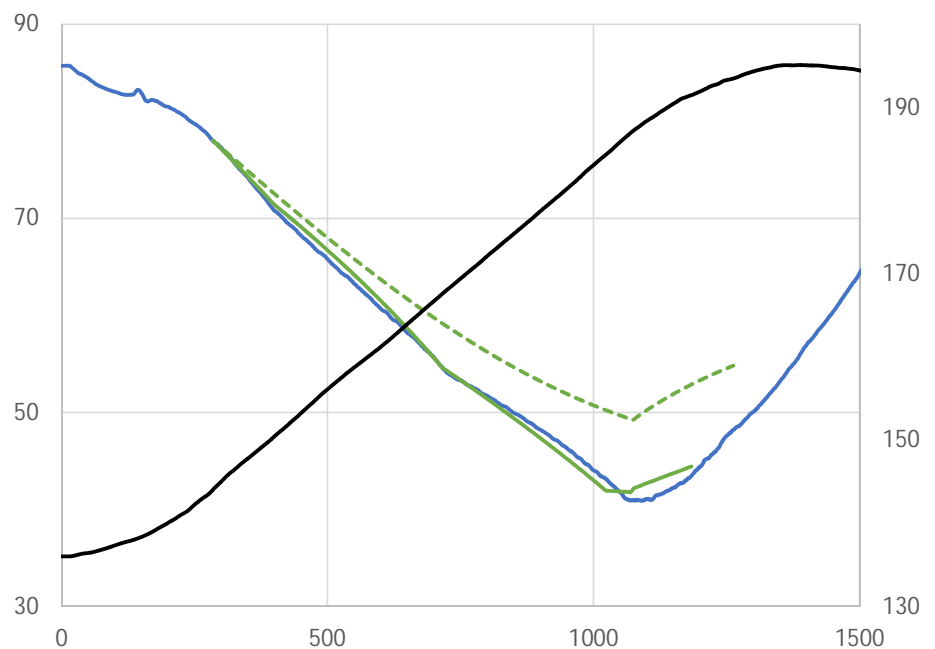


Andreas Nesdal

Modellering av fartsprofil til tunge kjøretøy i stigning

Masteroppgåve i bygg- og miljøteknikk
Veileder: Arvid Aakre
Juni 2019



Andreas Nesdal

Modellering av fartsprofil til tunge køretøy i stigning

Masteroppgåve i bygg- og miljøteknikk
Veileder: Arvid Aakre
Juni 2019

Noregs teknisk-naturvitskaplege universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Samandrag

Formålet med denne oppgåva er å vidareutvikle ein modell som estimerer fartsprofil for tunge køyretøy i stigning. Eksisterande modellar ser på motoreffekten i køyretøya som konstant og maksimal, medan effekten i realiteten er avhengig av kva gir som er i bruk og turtalet til motoren.

Gjennom samarbeid med transportbransjen er det samla kunnskap om metodar og gjennomført praktiske forsøk i køyretøy. Forsøka inkluderer testing av både enkelt utstyr for personbil og meir avansert utstyr som også fungerer med tunge køyretøy. Til slutt er det gjennomført forsøk med ein instrumentert lastebil i ordinær godstrafikk, der fart og posisjon vart logga saman med informasjon om gir og turtal. Resultata frå arbeidet danna grunnlaget for formuleringa av den vidareutvikla modellen.

Prosjektet har kartlagt fleire metodar som kan nyttast til datalogging frå tunge køyretøy og vist fordelar og ulemper med desse. Resultata frå undersøkingane viser at alle metodane krev tilrettelegging til det enkelte køyretøy, på grunn av manglande standardisering av datakommunikasjon og fysiske grensesnitt. Den formulerte modellen viser godt samsvar med målte fartsprofil frå lastebilforsøket og gjev eit meir nøyaktig fartsprofil enn den eksisterande modellen.

Funna i prosjektet indikerer at ein slik modell av motoreffekten er hensiktsmessig, ut frå eit mål om meir nøyaktige fartsprofil for tunge køyretøy. Framgangsmåtane nytta i prosjektet kan vere nyttige for å gjennomføre meir omfattande forsøk i framtidige arbeid, og prinsippet for den vidareutvikla modellen kan nyttast som eit utgangspunkt for meir generelle køyretøymodellar.

Abstract

The purpose of this work is to develop a model that predicts the speed profiles of heavy vehicles in grades. Existing models assume engine power to be constant, while it in reality is dependent on gear and engine speed. This project attempts to implement this effect into the model.

The project has cooperated with transportation companies in order to gain methodological knowledge and perform experiments with heavy vehicles. The experiments include testing of simple logging devices for light vehicles as well as more advanced equipment which can also be applied on heavy vehicles. Also, field testing with a truck in commercial traffic has been conducted, logging position and speed data with a GPS device, while simultaneously collecting information about gear and engine speed.

The study surveys and compares several methods for data collection from heavy vehicles. Because of a lack of standardisation in communication protocols and physical interfaces, each method requires adaption to the vehicle in question. The proposed model produces speed profiles that closely replicate the actual speed profile recorded during field testing.

The findings in this project indicate that the proposed way of modelling engine power facilitates for more realistic speed profiles for heavy vehicles. The methods used for data logging may be useful to conduct more comprehensive trials in future work, and the model proposed may be used as a basis for more general vehicle models.

Forord

Denne masteroppgåva er skriven våren 2019 ved Institutt for bygg- og miljøteknikk på NTNU. Oppgåva er det avsluttande arbeidet ved studiet Bygg- og miljøteknikk, med veg som hovudprofil. Hovudretteleiar for oppgåva har vore Arvid Aakre, leiar for Trafikkteknisk senter ved NTNU.

Eg vil rette ein stor takk til Arvid for hjelp og støtte gjennom heile prosjektet. Vidare vil eg takke Jan Erik Molde for hjelp med den praktiske gjennomføringa av møta med transportbransjen. Oppgåva er skriven med støtte frå Asplan Viak-programmet. Eg vil difor takke trondheimskontoret ved gruppeleiar for samferdsel Wenche Lunder for å ha stilt med kontorplass og gode rammevilkår for gjennomføringa av oppgåva.

Samarbeidet med transportbransjen har vore sentralt for resultatet av prosjektet. Eg ønskjer difor å rette ein takk til Per Johan Aftreth ved Trønderlinjen, Arne Jan Hopen ved Wist last & buss, Ronny Sandvik ved Sandvik transport, Raymond Kristoffersen ved NTNU transport, samt Trond Stuevold og Jon Idar Aasenhuis i Børstad transport.

Trondheim, 7. juni 2019

Andreas Nesdal

Innhold

1	Innleiing	1
1.1	Bakgrunn	1
1.2	Problemstilling	2
1.3	Oppbygging av oppgåva	2
1.4	Prosjektgjennomføring	3
2	Om fysisk modellering av køyretøy	4
2.1	Motstandskrefter	5
2.1.1	Rullemotstand	5
2.1.2	Luftmotstand	6
2.1.3	Stigningsmotstand	7
2.1.4	Effekttap i drivverk	7
2.1.5	Metode for å bestemme koeffisientar for luft- og rullemotstand	7
2.2	Motorkraft	8
2.2.1	Samanhengen mellom fart og turtal	8
2.2.2	Samheng mellom dreiemoment, turtal og effekt	9
2.3	Akselerasjon	9
3	Tidlegare forskning	10
3.1	Modellen til Børnes og Aakre (2011)	10
3.1.1	Inndata til modellen	10
3.1.2	Oppsett av modellen	10
3.1.3	Kalibrering av modellen	11
3.1.4	Utdata frå modellen	11
3.2	Annan forskning på området	14
3.2.1	Archilla og De Cieza (1996)	14
3.2.2	Bester (2000)	15
3.2.3	Rakha, Lucic <i>et al.</i> (2001)	15
3.2.4	Rakha og Lucic (2002)	15
3.2.5	Lan og Menendez (2003)	16
3.2.6	Rakha og Yu (2004)	16
3.2.7	Arellano, Echaveguren og Vargas-Tejeda (2014)	17
3.3	Oppsummering	17
4	Samarbeid med transportbransjen	18
4.1	Innleiande møte med Mercedes	18
4.2	Besøk på verkstaden til Trønderlinjen	19
4.3	Møte med Wist last & buss	19
4.4	Møte med Sandvik transport	19
4.5	Forsøk hos NTNU transport	20
4.6	Forsøk med Børstad transport	20
5	Datakommunikasjon i køyretøy	21
5.1	CAN – Controller area network	21

5.2	OBD – On-board vehicle diagnostics	22
5.3	FMS – Fleet management system	23
5.3.1	Vurdering av FMS til praktiske forsøk	23
5.4	SAE J1939-standarden	24
5.4.1	Koding av meldingar	24
5.5	Flåtestyringssystem	25
5.6	Døme på CAN-data frå Scania	25
6	Utstyr for datalogging	27
6.1	Bluetooth-baserte OBD-II-adapterar	27
6.1.1	Android-appen Torque	27
6.1.2	Testing av adapterane	28
6.2	Racelogic GPS-loggingsutstyr	28
6.2.1	VBOX Sport, Mini og Micro	29
6.2.2	Video VBOX Pro	29
6.2.3	Testing av VBOX-modellane	31
7	Forsøk med lastebil	33
7.1	Utvikling av grensesnitt mellom VBOX og OBD type B	33
7.2	Logging av CAN-data med Video VBOX Pro	33
7.2.1	Bakgrunnsinformasjon	33
7.2.2	Gjennomføring av forsøket	34
7.2.3	Resultat og utfordringar	35
7.3	Testtur med Børstad transport	36
7.3.1	Førebuing	36
7.3.2	Oppsett og gjennomføring	37
7.3.3	Resultat	38
8	Utviding av eksisterande modell	39
8.1	Formål med ein utvida modell	39
8.2	Implementering av variabel effekt	39
8.2.1	Samanheng mellom gir, fart og turtal	40
8.2.2	Tidspunkt for girskifte	41
8.3	Integrering i eksisterande reknearkmodell	41
8.4	Døme frå testtur med Børstad	42
8.5	Avgrensingar i modellen	44
8.5.1	Horisontal veggeometri	44
8.5.2	Trafikk	44
8.5.3	Fartsgrense	44
8.5.4	Vêr og føre	45
8.5.5	Andre forhold ved vegen	45
9	Oppsummering	46
9.1	Vidare arbeid	47
Vedlegg A Grunnlagsdata modell Leistadåsen		I

Figurar

2.1	Diagram over rulle­motstand for ulike dekk­typar	5
2.2	Illustrasjon av luft­straumen rundt to typar bilkarosseri (Grøn, 2018).	6
2.3	Diagram som viser kurvene for dreiemoment (stipla linje) og effekt for Volvo­motoren D13K (Volvo, udatert, s. 39)	8
2.4	Diagram for å bestemme koeffisienten for tregleiksmoment, k_m . (Robert Bosch GmbH, 2007, s. 434)	9
3.1	Skjerm­bilde av Excel­modellen til Børnes og Aakre (2011).	12
3.2	Døme på farts­profil produsert av modellen til Børnes og Aakre.	13
3.3	Illustrasjon av variabel effekt avhengig av fart samanlikna med konstant effekt (Rakha og Lucic, 2002, s. 415)	16
5.1	Illustrasjon av arbeids­flyten i eit CAN­nettverk (CSS Electronics, 2019).	21
5.2	Figurane viser utforminga av OBD­portar av type A og B. Nummeringa av pinnane er vist i figur (a), men er den same for begge typane (Wikipedia, 2019).	22
5.3	Bilde av FMS­grensesnittet i ein Mercedes­lastebil. (Foto: Andreas Nesdal)	23
5.4	Den generelle oppbygginga av ei CAN­melding, med storleikar for dei ulike delane, etter J1939­standarden (CSS Electronics, 2019).	24
5.5	Diagram over informasjonen i datasettet frå Scania.	26
5.6	Samanlikning av målt motoreffekt og teoretisk, konstant effekt.	26
6.1	Illustrasjon av adapteren OBDKey. (OBDKey, 2016)	27
6.2	Illustrasjonar av høvesvis VBOX Sport, VBOX Mini og VBOX Micro (Race­logic, 2018[a]).	29
6.3	Illustrasjon av Video VBOX Pro med tilkopla utstyr (Racelogic, 2018[b]).	30
6.4	Skjerm­bilde frå VBOX Test Suite som viser korleis ein kan lage ein eigen data­kanal.	31
6.5	Figuren viser skilnaden på farts­profilen logga med VBOX Mini (blå farge) og med VBOX Sport (raud farge). Datapunkta i diagrammet er gjennomsnitt av tre målingar, for å fjerne dei minste variasjonane (Skjerm­bilde frå VBOX Test suite).	32
6.6	Figuren viser skilnaden på høgde­profilen logga med VBOX Mini (blå farge) og med VBOX Sport (raud farge) (Skjerm­bilde frå VBOX Test suite).	32
7.1	Overgang mellom VBOX og OBD type B. (Foto: Andreas Nesdal)	33
7.2	Skjerm­bilde frå Vegkart som viser korleis ein kan filtrere vegstrekningar med ei viss stigning (Statens vegvesen, 2019)).	37
7.3	Oppsettet på videoopptak under forsøks­turen. (Foto: Andreas Nesdal)	37

7.4	Diagram som viser farten og nedgiringane i ei stigning på E6 ved Leistadåsen i Malvik.	38
8.1	Illustrasjon av korleis ein kan modellere variabelt dreiemoment (eigenprodusert).	40
8.2	Kurve for effekt og dreiemoment for Volvo-motoren D13K540 (Volvo, 2019b).	41
8.3	Samanlikning av ny og gammal modell for Leistadåsen.	43
A.1	Inngangsdata for berekning av fartsprofil for Leistadåsen i kapittel 8.	I

Tabellar

2.1	Oversikt over symbol nytta i kapittel 2.	4
3.1	Oversikt over emneorda som er nytta i litteratursøket.	14
4.1	Tidslinje over samarbeidet med transportbransjen.	18
6.1	Oversikt over nokre aktuelle VBOX-modellar (Racelogic, 2018[a]).	28
6.2	Prinsippstruktur for eksporterte CSV-filer.	29
6.3	Fysiske mål for Video VBOX Pro (Racelogic, 2018[c]).	30
7.1	Spesifikasjonar for lastebilane testa i forsøket hos NTNU transport.	34
8.1	Døme på variabel effekt som funksjon av farten. Data frå Børstad-forsøket.	42

1 Innleiing

1.1 Bakgrunn

Fartsnivå og trafikkflyt på vegnettet er avhengig av ei rekkje forhold. Nokre sentrale faktorar er fartsgrense, trafikkmengd, veggeometri og køyretøyfordeling. Ved liten trafikk på vegar av god standard er ofte fartsgrensa den avgrensande faktoren, medan det på svingete, smale vegar kan vere geometrien i seg sjølv som reduserer farten og kapasiteten.

Det norske vegnettet består i stor grad av tofeltsvegar av varierende standard. Hovudvegane har typisk ein stor del tungtrafikk, slik at det i mange tilfelle er desse køyretøya som er bestemmende for fartsnivået. Dette skuldast at tunge køyretøy har lågare effekt–masse-forhold enn personbilar, noko som avgrensar farten desse køyretøya klarer å halde på strekningar med stor stigning. På grunn av høgt tyngdepunkt og dårleg stabilitet avgrensar også horisontalgeometrien farten til tunge køyretøy i forhold til lette køyretøy.

Sidan tunge køyretøy har andre eigenskapar enn lette køyretøy og kan ha stor påverknad på fartsnivå og trafikkavvikling, er det ønskjeleg med modellar som kan predikere farten til desse køyretøya. Det eksisterer modellar som prøver å løyse denne utfordringa ved å produsere fartsprofil basert på eigenskapar ved køyretøyet og veggen.

I denne oppgåva er det undersøkt studiar som modellerer tunge køyretøy i stigningar. Den typiske måten dette vert gjort på, er å bruke ei kraftlikevekt til å rekne ut akselerasjonen til køyretøyet. I denne kraftlikevekta inngår drivkrefter og motstandskrefter. Motstandskreftene er ytre krefter som rulle- og luftmotstand, medan drivkrafta kjem frå motoren i køyretøyet.

For motstandskreftene nyttar forskarane i dei undersøkte studiane grunnleggjande fysiske samanhengar og kjende likningar frå litteraturen. Dette er ikkje tilfellet for modelleringa av motorkrafta, der alle studiane unntatt Rakha og Lucic (2002) reknar med konstant effekt frå motoren. Også den studien reknar med konstant effekt i dei fleste tilfelle, med unntak av for låge fartsnivå, der effekten er redusert.

Litteraturgjennomgangen syner at det er gjort lite forskning på eigenskapane og effektleveransen til motorar i tunge køyretøy. Motorane i tunge køyretøy har endra seg mykje dei siste tiåra, med stadig meir fokus på avanserte styringssystem, automatikk og reduksjon av drivstoffbruk. Dette er difor eit område med behov for ny forskning.

1.2 Problemstilling

Formålet med denne oppgåva er å forbetre dei eksisterande modellane for fartsprofil til tunge køyretøy i stigning, gjennom å endre måten motoreffekten er modellert på. Det vert teke utgangspunkt i modellen til Børnes og Aakre (2011).

Eit ledd i vidareutviklinga av modellen er å samle inn motordata frå tunge køyretøy under køyring i stigning for å kunne seie noko om verkemåten til motoren i slike situasjonar. Data frå desse forsøka kan så nyttast til å kalibrere ein ny modell. For at ein ny, meir avansert modell skal vere hensiktsmessig, bør resultatet frå modellen vere ei forbetring av den eksisterande modellen. For å kunne gjennomføre slike forsøk treng ein kjennskap til utstyr og metodar for uthenting av motordata frå tunge køyretøy.

Desse delmåla kan samanfattast i to forskingsspørsmål:

- *Korleis kan ein logge motordata frå tunge køyretøy under køyring?*
- *Kan ein oppnå eit meir realistisk fartsprofil ved å modellere motoreffekten meir nøyaktig?*

1.3 Oppbygging av oppgåva

Første del av oppgåva (kapittel 2) tek for seg dei grunnleggjande fysiske samanhengane som er nødvendige i arbeidet med å modellere køyretøy. Dette vil danne grunnlaget for den vidare modelleringa.

Kapittel 3 gjer greie for dei eksisterande modellane som er skildra i litteraturen, med særleg vekt på modellen til Børnes og Aakre (2011). Sidan denne modellen dannar grunnlaget for vidare arbeid, vert verkemåten og oppsettet av denne grundig gjennomgått. Andre del av kapittelet gjev ei oversikt over liknande modellar i litteraturen.

I arbeidet med å kartleggje metodar for datalogging har samarbeidet med transportbransjen vore viktig. Dette er særleg viktig ettersom det finst lite litteratur på området. Denne prosessen og viktige resultat frå samarbeidet er vist i kapittel 4.

Basert på kunnskap frå bransjen og eksterne kjelder er det kartlagt informasjon om kva kommunikasjonssystem som finst i moderne køyretøy og korleis desse fungerer. Kapittel 5 gjev ei oversikt over desse og relevansen for bruk i praktisk datainnsamling. Siste del av kapittelet gjev også eit døme på korleis data frå slike system kan sjå ut.

Medan dei tidlegare kapitla i størst grad har fokusert på køyretøyet i seg sjølv, tek kapittel 6 for seg det eksterne utstyret ein kan nytte for å hente ut data frå køyretøy. Dette inklu-

derer både enkelt, rimeleg utstyr laga for personbil og meir avansert utstyr med eit større bruksområde. Kapittelet inneheld også resultat frå den innleiande testinga av utstyret.

Erfaringane frå det førre kapittelet og kunnskapen om kommunikasjonssystema i tunge køyretøy dannar grunnlaget for forsøka med datainnsamling frå lastebil, som er skildra i kapittel 7. Første del handlar om tilpassing av utstyret til lastebil og forsøket med å kople seg til data-nettverket i køyretøyet og hente ut data. Andre del skildrar eit forsøk med GPS-logging av eit vogntog i ordinær trafikk mellom Trondheim og Steinkjer.

Mot slutten av oppgåva, i kapittel 8, er det formulert eit forslag til ein utvida modell som betrek omsyn til den varierende motoreffekten under køyring. Prinsippet for den nye modellen er forklart, i tillegg til korleis den kan integrerast i den eksisterande modellen til Børnes og Aakre (2011). Til slutt vert den nye modellen testa med data frå vogntogforsøket.

Siste kapittel oppsummerer funna i prosjektet og forsøker å svare på forskingsspørsmåla i oppgåva. Det vert gjeve tilrådingar for kva metodar som verkar mest eigna og kva område framtidig forskning bør sjå nærmare på.

1.4 Prosjektgjennomføring

Hovuddelen av arbeidet i prosjektet er gjennomført av forfattern med støtte frå hovudrettleiar Arvid Aakre ved Institutt for bygg- og miljøteknikk på NTNU. Dette inkluderer testinga av loggeutstyret, samarbeidet med bedrifter i transportbransjen, datainnsamling frå vogntog og arbeidet med den vidareutvikla modellen. I tillegg har overingeniør Jan Erik Molde, også ved Institutt for bygg- og miljøteknikk, bidrege i prosjektet gjennom å etablere kontakt med samarbeidsbedriftene og tilretteleggje møte.

2 Om fysisk modellering av køyretøy

Dette kapitlet vil ta for seg grunnleggjande fysikk knytt til modellering av køyretøy, med vekt på tunge køyretøy. Fokuset vil vere på kreftene som verkar på køyretøyet, og korleis desse kan representerast. Hovudvekta av informasjonen her har bakgrunn i Robert Bosch GmbH (2007, s. 430–434), men stemmer godt overeins med modellane som er valde i annan litteratur på området. Tabell 2.1 gjev forklaringar for symbola nytta i dette kapitlet.

Tabell 2.1: *Oversikt over symbol nytta i kapittel 2.*

Symbol	Forklaring	Eining
A	Frontareal til køyretøy	m^2
a	Akselerasjon	m/s^2
α	Stigning	rad
c_d	Drag-koeffisient for luftmotstand	–
F	Tilgjengeleg drivkraft	N
F_L	Luftmotstand	N
F_R	Rullemotstand	N
F_S	Stigningsmotstand	N
F_W	Total køyremotstand	N
f	Koeffisient for rullemotstand	–
g	Gravitasjonskonstant = $9,82 \text{ m/s}^2$	m/s^2
i	Utvekslingsforhold motor – drivhjul	–
k_m	Koeffisient for tregleiksmoment	–
m	Køyretøymasse	kg
n	Motorturtal	o/min
n_d	Rotasjonsfart til drivhjul	o/min
η	Verknadsgrad for motor og drivlinje	–
P	Motoreffekt	kW
p	Stigning (= $100 \tan \alpha$)	%
r	Radius til drivhjul	m
ρ	Massetettleik luft = $1,20 \text{ kg/m}^3$	kg/m^3
τ	Dreiemoment	Nm
v	Køyretøyfart	m/s
v_0	Vindfart mot front av køyretøy	m/s

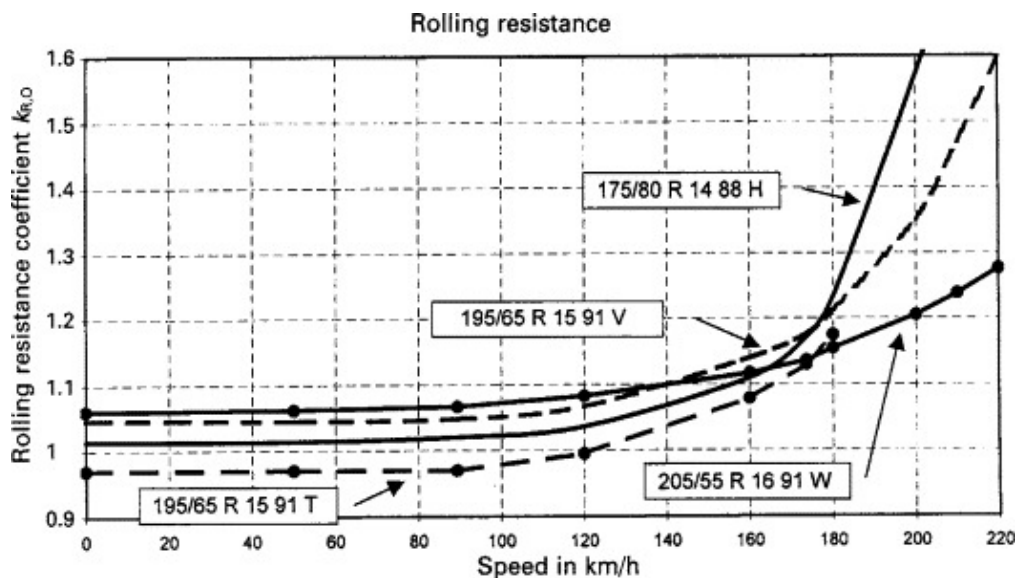
2.1 Motstandskrefter

Robert Bosch GmbH (2007, s. 430–434) reknar med tre grupper av ytre krefter som verkar mot framdrifta til køyretøyet. Desse tre er rulle­motstand (F_R), luftmotstand (F_L) og stigningsmotstand (F_S). Summen av desse kallar vi her for F_W , som vist i likning 2.1. Vidare i kapittelet vert det gjeve eit oversyn over måten kreftene er representerte på.

$$F_W = F_R + F_L + F_S \quad (2.1)$$

2.1.1 Rullemotstand

Med rulle­motstand meiner ein kreftene som oppstår på grunn av at hjula på køyretøyet rullar over vegoverflata. Når hjulet rullar på vegoverflata, utan å skli, skuldast motstandskreftene hovudsakleg elastiske deformasjonar i dekket og underlaget. Rulle­motstanden er avhengig av den vertikale lasta på akslingen, lufttrykket i dekket, farten til køyretøyet og overflatestrukturen til dekk og underlag.



Figur 2.1: Teoretisk samanheng mellom rulle­motstand og fart for ulike dekktypar (Reimpell, Stoll og Betzler, 2000).

Kva måte rulle­motstanden avheng av farten på, avheng av typen dekk. Reimpell, Stoll og Betzler (2000) viser resultat frå testar av dekk gjennomført av Michelin, som viser at rulle­motstanden har eit ganske stabilt nivå opp til eit visst fartsnivå, der motstanden aukar. Fartsnivået for denne auken i rulle­motstand aukar med høgare hastigheitsklasse på dekket.

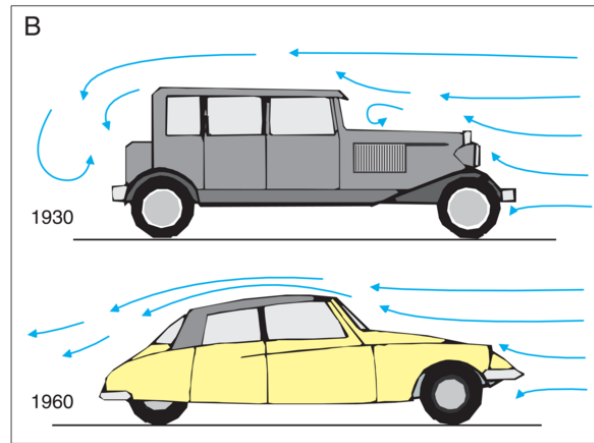
Dette er vist i figur 2.1, der høgare klasse (bokstav seinare i alfabetet) har stabil rullemotstand for eit lengre fartsintervall enn lågare klassar.

Sidan rullemotstanden er relativt stabil opp til det kritiske fartsnivået, er det vanleg å rekne rullemotstanden som fartsuavhengig. Dei viktigaste bidraga til rullemotstanden vert då uttrykt ved friksjonskoeffisienten f og normalkrafta frå underlaget mot hjulet. Normalkrafta er lik vekta av køyretøyet mg , multiplisert med $\cos\alpha$, der α er vinkelen mellom vegen og horisontalplanet. Denne modellen er oppsummert i likning (2.2).

$$F_R = f \cdot mg \cos \alpha \quad (2.2)$$

2.1.2 Luftmotstand

Luftmotstand er krefter som oppstår på objekt som flyttar seg gjennom lufta. Dels oppstår kreftene på grunn av friksjon mellom lufta og karosseriet på køyretøyet, dels oppstår dei på grunn av trykkskilnaden mellom framsida og baksida av køyretøyet. På framsida av køyretøyet oppstår overtrykk på grunn av at lufta vert pressa saman. Bak køyretøyet oppstår turbulens og undertrykk frå lufta som strøymer rundt karosseriet (Grøn, 2018).



Figur 2.2: Illustrasjon av luftstraumen rundt to typar bilkarosseri (Grøn, 2018).

$$F_L = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_d \cdot A \cdot (v + v_0)^2 \quad (2.3)$$

Ein vanleg måte å modellere luftmotstand på er ved hjelp av den såkalla draglikninga, som skildrar aerodynamisk drag. Faktorane i denne likninga er tettleiken til lufta ρ , dragkoeffisienten c_d , frontarealet til køyretøyet A , køyretøyfarten v og vindfarten v_0 (positiv for motvind), etter samanhengen vist i likning (2.3). A representerer det største tverrsnittet av køyretøyet, altså den ortogonale projeksjonen av fronten til køyretøyet (Robert Bosch GmbH, 2007, s. 430). c_d uttrykkjer kor aerodynamisk utforminga av køyretøyet er, altså kor lett lufta kan strøyme rundt køyretøyet. Figur 2.2 illustrerer dette ved å vise korleis lufta strøymer rundt to ulike karosseri, der 1930-modellen skapar meir turbulens og større luftmotstand enn 1950-modellen. Dette kan overførast til skilnaden mellom lastebilar og personbilar.

2.1.3 Stigningsmotstand

Med stigningsmotstand er meint den delen av tyngdekrafta som verkar parallelt med vegen i oppoverbakkar. Denne kan uttrykkast som vekta av køyretøyet multiplisert med sinus til vinkelen mellom vegen og horisontalplanet (α), som vist i likning (2.4).

$$F_S = mg \sin \alpha \quad (2.4)$$

2.1.4 Effekttap i drivverk

I tillegg til dei ytre motstandskreftene er det også eit effekttap frå motoren til hjula. Dette kjem frå drivverket, altså klutsj/momentomformar, girkasse, akslingar og så vidare. Storleiken på dette tapet er avhengig av motoroppsett (tverrgåande motor eller rekkjemotor) og elles utforminga av dei ulike komponentane. Dette vert ofte oppgjeve som ein verknadsgrad η . Robert Bosch GmbH (2007, s. 434) oppgjev denne til mellom 88 og 92 prosent for tverrgåande motorar, og til mellom 91 og 95 prosent for rekkjemotorar.

2.1.5 Metode for å bestemme koeffisientar for luft- og rullemotstand

Robert Bosch GmbH (2007) skildrar ein empirisk metode for å estimere koeffisientar for luftmotstand og rullemotstand. Metoden er basert på at ein lèt køyretøyet rulle fritt (drivhjul frikopla) på flatmark, slik at farten vert redusert. Ein antek då at det berre er luftmotstand og rullemotstand som verkar på køyretøyet.

Ein startar med å rekne ut gjennomsnittleg fart og akselerasjon for to fartsintervall, gjerne eit intervall med høg fart (v_1 og a_1) og eit med lågare fart (v_2 og a_2 .) Ved å nytte antakingane om at rullemotstanden er uavhengig av fart og at luftmotstanden er proporsjonal med kvadratet av farten, kan ein estimere dei einskilde koeffisientane. Likningane (2.5) og (2.6) viser denne samanhengen. Merk at einingane for fart og akselerasjon er km/t og km/(t·s) i desse likningane.

$$c_d = \frac{6m \cdot (a_1 - a_2)}{A(v_1^2 - v_2^2)} \quad (2.5)$$

$$f = \frac{28,2 \cdot (a_2 \cdot v_1^2 - a_1 \cdot v_2^2)}{10^3 \cdot (v_1^2 - v_2^2)} \quad (2.6)$$

2.2 Motorkraft

Krafta frå motoren er det som set køyretøyet i stand til å akselerere, når motorkrafta er større enn motstandskreftene. Den tilgjengelege krafta på drivhjula (F) er proporsjonal med effekten levert frå motoren (P) og høgare verknadsgrad til drivlinja (η), og omvendt proporsjonal med farten til køyretøyet (v) (Robert Bosch GmbH, 2007, s. 434). Likning (2.7) viser denne samanhengen. Med konstant effekt vert altså krafta mindre etter som farten stig.

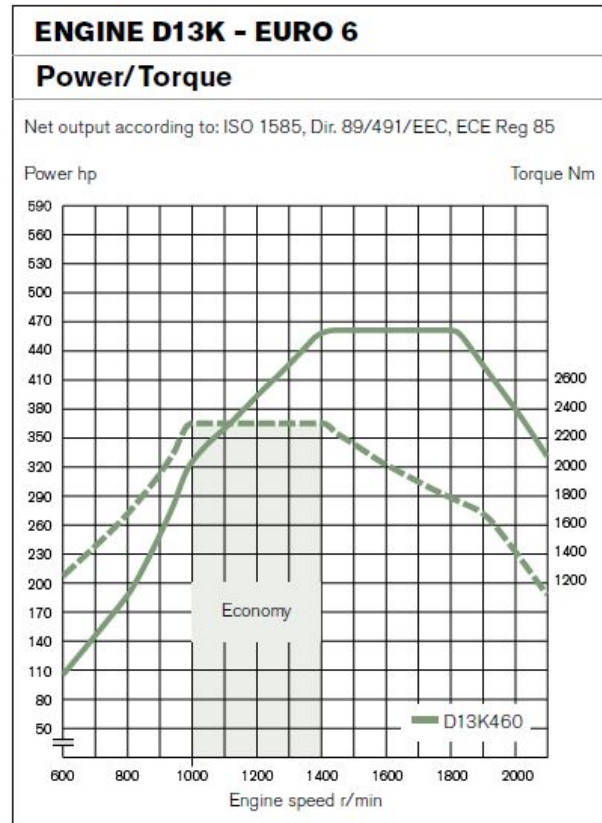
$$F = \frac{P \cdot \eta}{v} = \frac{\tau \cdot i \cdot \eta}{r} \quad (2.7)$$

Motoreffekt er ofte uttrykt i hestekrefter (hk) i daglegtale og i spesifikasjonar frå køyretøyprodusentar. I dei fleste fysiske likningar nyttar ein SI-eininga for effekt, watt (W). I køyretøysamheng er det som regel mest hensiktsmessig å nytte kilowatt (kW). For å rekne om mellom desse kan ein nytte omrekningsfaktoren 0,735, altså at 1 hk tilsvarer 0,735 kW.

2.2.1 Samanhengen mellom fart og turtal

I eit bestemt gir er turtalet proporsjonalt med køyretøyfarten etter likning (2.8). i er forholdet mellom rotasjonsfarten til motoren og rotasjonsfarten til drivhjula (utvekslingsforholdet). Dette kan uttrykkast slik: $i = \frac{n}{n_d}$. Kwart gir har eit bestemt utvekslingsforhold. På denne måten kan ein utleie ein eintydig samheng mellom fart og turtal, dersom ein kjenner utvekslingsforholdet til giret som er i bruk.

$$n = \frac{60 \cdot v \cdot i}{2\pi r} \quad (2.8)$$



Figur 2.3: Diagram som viser kurvene for dreiemoment (stipla linje) og effekt for Volvo-motoren D13K (Volvo, udatert, s. 39)

2.2.2 Samanheng mellom dreiemoment, turtal og effekt

Ved å kombinere likning (2.7) og (2.8) kan ein utleie at effekten er proporsjonal med produktet av dreiemoment og turtal, etter likning (2.9). Det er her valt å utelate η for å synleggjere samanhengen. Koeffisienten $\frac{2\pi}{60}$ er for å konvertere turtal frå omdreiingar per minutt, som er den vanlegaste måten å uttrykkje det på, til radianar pr. sekund.

$$P = \tau \cdot n \cdot \frac{2\pi}{60} \quad (2.9)$$

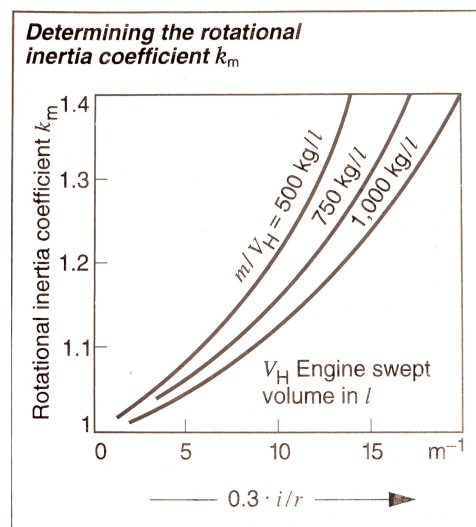
Avhengig av motorkarakteristikken varierer dreiemomentet med turtalet. Motorprodusentar publiserer ofte eit diagram som viser denne samanhengen. Figur 2.3 viser eit døme på eit slikt diagram for ein Volvo-motor. Frå figuren kan ein sjå at effekten ved 1000 o/min er om lag 330 hk, medan den ved 1500 o/min er på 460 hk, altså ein differanse på 130 hk.

Sidan turtalet vil variere med farten, som vist i likning (2.8), vil også effekten variere avhengig av farten. Avhengig av effektkurva til motoren vil dermed ikkje effekten vere maksimal og konstant dersom farten varierer.

2.3 Akselerasjon

Nettokrafta som er tilgjengeleg for å akselerere køyretøyet, er drivkrafta fråtrekt kreftene som utgjør køyremotstanden. Etter Newtons andre lov er dermed akselerasjonen lik nettokrafta dividert med massen til køyretøyet, som vist i likning (2.10). Koeffisienten k_m kompenserer for at ein i tillegg til å akselerere den statiske køyretøymassen også må akselerere roterande massar (hjul, veivaksel osv.). Figur 2.4 kan brukast for å estimere denne koeffisienten for lette køyretøy. For tunge køyretøy vil denne koeffisienten liggje nærme 1, sidan massen til køyretøyet er relativt mykje større enn massen til dei roterande delane.

$$a = \frac{F - F_W}{k_m \cdot m} \quad (2.10)$$



Figur 2.4: Diagram for å bestemme koeffisienten for tregleiksmoment, k_m . (Robert Bosch GmbH, 2007, s. 434)

3 Tidlegare forskning

Utgangspunktet for modellutviklinga i prosjektet er Børnes og Aakre (2011). Første del av dette kapittelet tek for seg oppsettet og verkemåten til reknearkmodellen som høyrer til studien, med døme på korleis eit produsert fartsprofil kan sjå ut. Andre del av kapittelet går gjennom annan forskning på tunge køyretøy i stigning, med det formål å avklare om desse studiane har element som er nyttige i ei vidareutvikling av modellen til Børnes og Aakre (2011).

3.1 Modellen til Børnes og Aakre (2011)

Modellen er basert på ei kraftlikevekt mellom drivkrefter og motstandskrefter, som då bestemmer akselerasjonen til køyretøyet. Det er nytta likningar frå Robert Bosch GmbH (2007), som omtalt i kapittel 2. Modellen er bygd opp rundt eit rekneark, der det vert gjort utrekningar for faste tidssteg. For kvart tidssteg reknar modellen ut kreftene som verkar på køyretøyet og estimerer deretter akselerasjonen.

3.1.1 Inndata til modellen

Figur 3.1 viser inndatadelen av reknearkmodellen. Her kan ein oppgje verdiar for rullemotstand, dragkoeffisient og frontareal til køyretøyet. Vidare må ein oppgje startfarten, massen og effekten til køyretøyet. I tillegg kan ein tilpasse verdiar for lufttettleik og tyngdeakselerasjon.

Veggeometrien er forenkla til fem delstrekningar med rettlinjler både i horisontal- og vertikageometrien. Ein oppgjev dermed lengd og stigning for kvar av desse delstrekningane. I tillegg oppgjev ein utnyttingsgrad for motoreffekten (u) for kvar delstrekning.

3.1.2 Oppsett av modellen

Modellen utfører ei trinnvis utrekning, der ein går ut frå konstant akselerasjon mellom kvart tidssteg. Akselerasjonen vert rekna ut frå tilgjengeleg motorkraft fråtrekt motstandskreftene. Motstandskreftene er luftmotstand, stigningsmotstand, og rullemotstand. Motorkrafta er forenkla til å vere ein konstant verdi. Intern motstand og verknadsgraden til motoren er teke omsyn til gjennom ein faktor u for utnyttingsgrad av motoreffekten.

For kvart tidssteg reknar modellen ut differansen mellom tilgjengeleg motoreffekt og effekten av motstandskreftene, og vidare akselerasjonen, som vist i likning (3.1). Med konstant

akselerasjon vert då farten ved neste tidssteg rekna ut ved hjelp av den grunnleggjande kinematikklikninga (3.2).

$$P_{aks} = P_{utnytta} - P_{motstand} = (m \cdot a) \cdot v \quad (3.1)$$

$$v = v_0 + at \quad (3.2)$$

3.1.3 Kalibrering av modellen

Modellen er kalibrert ut frå ei stor mengd observasjonar frå forsøk med instrumenterte lastebilar. I konklusjonen listar forfattarane opp fleire forhold det har vore vanskeleg å kontrollere eller måle, som effektutnytting, val av gir og andre forhold ved føraren sin køyrestil (Børnes og Aakre, 2011, s. 417). Desse faktorane har dermed i mindre grad vorte evaluerte i utviklinga av modellen.

3.1.4 Utdata frå modellen

Reknearkmodellen produserer eit diagram som viser fartsutviklinga til køyretøyet saman med høgdeprofilen på strekninga. Eit døme på eit slikt diagram er vist i figur 3.2. Dette kan mellom anna brukast til å lese av kritiske verdiar for når ein bør starte og avslutte eit forbikøyringsfelt. Modellen gjev også eit estimat på tidsbruken for det tunge køyretøyet samanlikna med eit lett køyretøy. Lette køyretøy går ein ut frå klarer å halde fartsgrensa på staden, uavhengig av stigning.

GRUNNLAGSDATA (gule (og grønne) felt kan endres):

Kommentar:

Modell

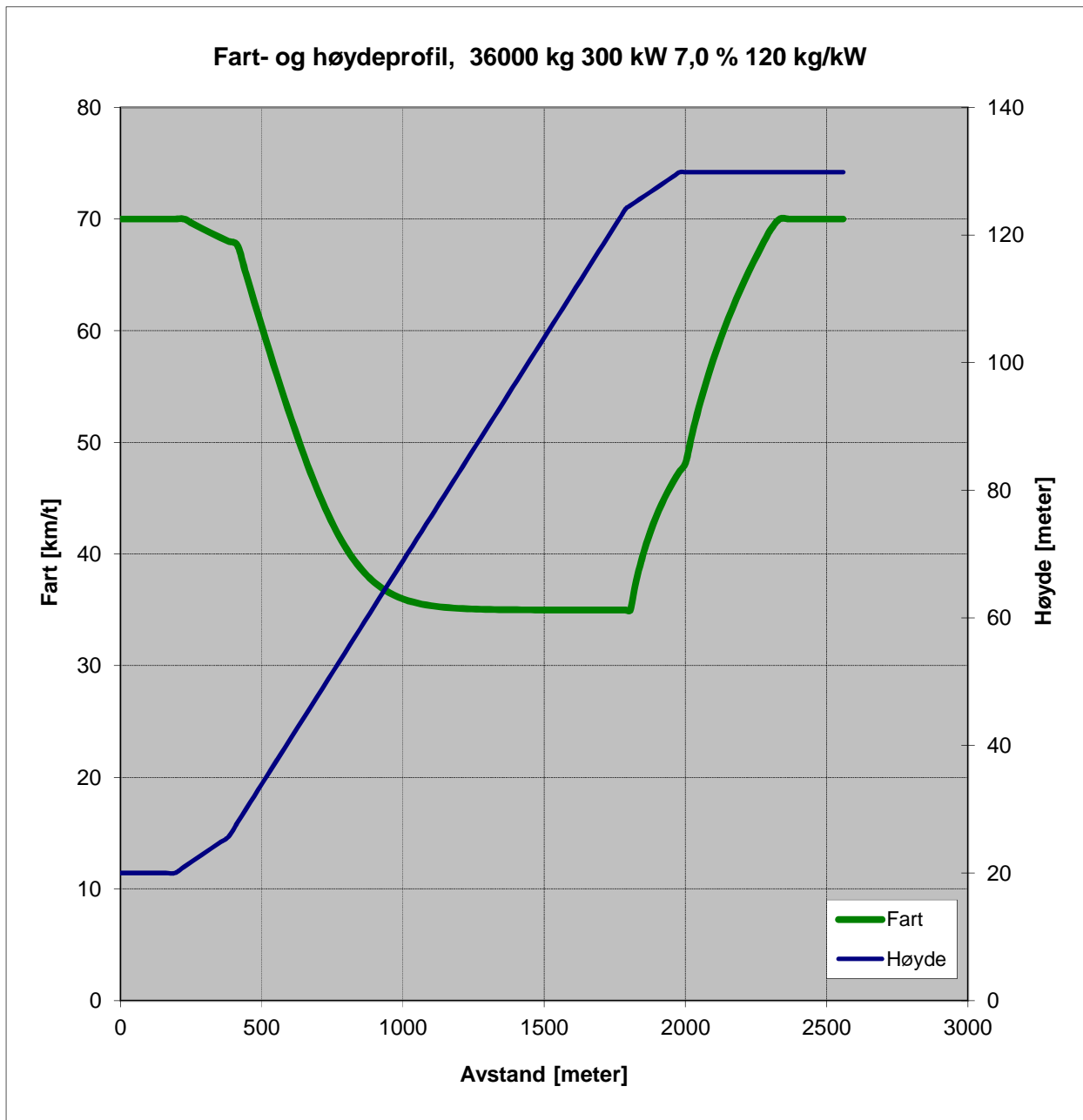
Tidsintervall	deltaT	1,7	sekund	Brukes for å formattere grafen
Tyngdeakselerasjon	g	10	m/s ²	
Tetthet luft	rho	1,20	kg/m ³	Ved vanlig temperatur og trykk
Vindhastighet	v0	0,0	m/s	(+ = motvind)
Rullemotstand	f	0,015		Typisk område 0.010 - 0.020
Luftmotstand	cw	0,60		Personbil 0.30-0.50, lastebil 0.50 - 0.70
Areal	A	8,0	m ²	Personbil ca 2 m ² , lastebil ca 8 m ²
Startavstand	x1	0,0	meter	For grafisk framstilling
Starthøyde	h1	20,0	meter	For grafisk framstilling
Starthastighet	v1	70	km/t	
Maxhastighet	v_max	70	km/t	
Max akselerasjon	a_max	3,0	m/s ²	KLADD - ulike mål for effekt
Masse	m	36000	kg	Dreiemoment
Maks effekt	P_max	300,0	kW	Turtall
Tilsvarende i HK		408,0	HK	Effekt
Masse / effekt forhold		120,0	kg/kW	Tilsvarende i HK
		88,2	kg/HK	
Effekt / masse forhold		8,33	W/kg	Effekt i HK
		11,33	HK/tonn	Tilsvarende i kW
Tidsforbruk	Lett	2558	meter	70,0 km/t
	Tung	2558	meter	46,5 km/t
				131,6 sek
				198,0 sek
				66,4 sek

Angi utnyttelse av effekten for hver delstrekning i tabellen under

Delstrekninger:

	stigning	lengde			høyde	utnyttelse	utnyttet
	S	L	fra	til	H	grad	effekt
	prosent	meter	meter	meter	meter	u	P
						prosent	Watt
1	0,0	200	0	200	0,0	95	285000
2	3,0	200	200	400	6,0	95	285000
3	7,0	1400	400	1800	98,0	100	300000
4	3,0	200	1800	2000	6,0	95	285000
5	0,0	200	2000	2200	0,0	95	285000
Sum		2200			110,0		

Figur 3.1: Skjermbilde av Excel-modellen til Børnes og Aakre (2011).



Figur 3.2: Døme på fartsprofil produsert av modellen til Børnes og Aakre.

3.2 Annan forskning på området

I litteraturgjennomgangen er det valt å fokusere på nyare litteratur som omhandlar modellering av farten til tyngre køyretøy. I utgangspunktet vart det søkt litteratur frå dei siste 10 åra, men ettersom mykje av litteraturen stammar frå rundt årtusenskiftet, vart søkjeperioden utvida til dei siste 25 åra, 1993–2018. Det er valt å sjå på studiar som omhandlar modellering av enkeltkøyretøy. Det vil seie at studiar som berre nyttar deskriptiv statistikk for å skildre ei gruppe køyretøy eller trafikken på ei strekning, med modellar som ikkje kan nyttast på enkeltkøyretøy, ikkje er tekne med.

I hovudsak er Google Scholar (<https://scholar.google.no>) nytta som søkjemotor for å finne litteratur. Under søket er det nytta kombinasjonar av emneorda gjevne i tabell 3.1. Dei sentrale funna er omtalte i dei neste delkapitla.

Tabell 3.1: *Oversikt over emneorda som er nytta i litteratursøket.*

Emneord	Engelsk tilsvar	Synonym
modell	model	prediction
stigning	grade	slope, gradient
tunge køyretøy	heavy vehicles	trucks
fartsprofil	speed profile	

3.2.1 Archilla og De Cieza (1996)

Formålet med denne studien var å observere fartsprofilane til lastebilar og tilpasse ein kraftlikevektsmodell til dei innsamla dataa. Det vart samla inn data frå tre strekningar på ein argentinsk hovudveg, med registrering av punktfarten enkelte stader. Data om køyretøya vart samla inn på ein vektstasjon etter observasjonsstrekningane. Prinsippa for modellering av motstandskreftene er tilsvarande likningane i kapittel 2. Motorkrafta i køyretøya vart av forskarane rekna som usikker, så i staden vart bremsekrafta nytta som drivkraft i modellen.

Studien har eit relativt stort datagrunnlag, i underkant av 3000 køyretøy av alle typar. Manglande informasjon om motorkraft og dei få målepunkta for fart er likevel viktige avgrensingar i studien. Studien nemner at girskift og køyrestilen til sjåføren vil påverke fartsprofilen, men vel å sjå vekk frå desse faktorane for å gjere modellen enklare.

3.2.2 Bester (2000)

Bester utvikla ein modell som går ut frå at akselerasjonen til køyretøyet er ein lineær funksjon av farten. Dermed kan ein skildre akselerasjonen berre ut frå to konstantar α og β , i tillegg til stigningsmotstanden $p \cdot mg$. p er stigninga på strekninga (m/m). Formelen for akselerasjon vert dermed som vist i likning (3.3).

$$a = \alpha - \beta v - p \cdot mg \quad (3.3)$$

Desse konstantane kan ein finne ved å gjere ein regresjon av empiriske data frå køyretøy, sidan modellen berre er avhengig av farten til køyretøya. Denne modellen tek ikkje omsyn til meir detaljerte eigenskapar ved køyretøya. Fordelen til denne modellen er først og fremst at kalibreringa er relativt enkel å gjennomføre, og at den kan brukast både for enkeltkøyretøy og grupper av køyretøy (Bester, 2000, s. 114).

3.2.3 Rakha, Lucic *et al.* (2001)

Rakha, Lucic *et al.* (2001) nyttar ein dynamisk modell som reknar ut akselerasjonen til køyretøyet ved å sjå på utnyttbare drivkrefter i forhold til motstandskreftene, vist prinsipielt gjennom likning (3.4). Motstandskreftene i modellen er vindmotstand, rulle- og stigningsmotstand, tilsvarende likningane i Robert Bosch GmbH (2007), som vist i kapittel 2.

$$a = \frac{F - F_W}{m} \quad (3.4)$$

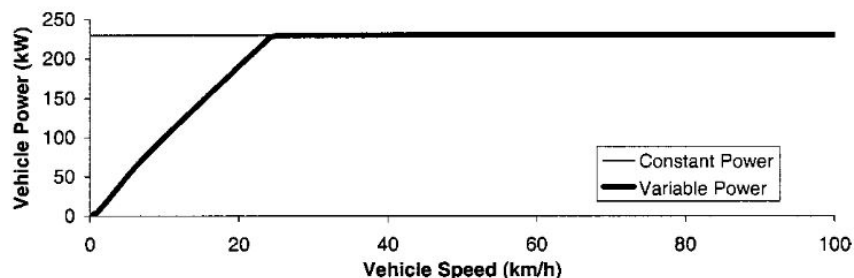
Tilgjengeleg drivkraft er forenkla til å vere ein konstant verdi multiplisert med ein faktor μ som representerer effekttap: $F = \mu F_0$.

Metoden for å rekne ut fartsprofilen var å bruke ei Euler-approksimering med steglengd på 1 sekund, liknande framgangsmåten til Børnes og Aakre (2011). Ein reknar då med konstant akselerasjon i kvart steg i utrekninga.

3.2.4 Rakha og Lucic (2002)

Rakha og Lucic (2002) vidareutvikla modellen frå 2001 ved å implementere variabel effekt. Den tidlegare modellen gjekk ut frå at tilgjengeleg effekt er konstant, uavhengig av fart.

Modellen i denne studien ser på effekten som lineært aukande frå null, opp til eit maksimalt nivå. Dette skal reflektere betre den faktiske situasjonen, der effekten er låg når farten er låg, på grunn av hyppige girskifte. Formålet med denne endringa er å unngå at ein overestimerer akselerasjonen når farten er låg.



Figur 3.3: Illustrasjon av variabel effekt avhengig av fart samanlikna med konstant effekt (Rakha og Lucic, 2002, s. 415)

3.2.5 Lan og Menendez (2003)

Denne studien utviklar ein metode for å lage fartsprofil basert på eigenskapar ved tunge køyretøy i stigningar. Forfattarane av studien gjer ikkje eigne forsøk i felt, men formulerer ein teoretisk modell liknande det tidlegare studiar har gjort. Tilgjengeleg akselerasjon for køyretøyet vert rekna ut frå netto tilgjengeleg kraft til framdrift, altså motorkraft fråtrekt motstandskrefter frå stigning, rullestand og luftmotstand. Som dei andre studiane nemnde tidlegare i dette kapitlet, unntatt Rakha og Lucic (2002), opererer denne modellen med konstant effekt frå motoren.

3.2.6 Rakha og Yu (2004)

Denne studien implementerer variabel effekt-modellen til Rakha og Lucic (2002) i programvara *Trucksim*. Dette er eit program som produserer fartsprofil for stigningar. Vidare ser den på effekten av dekketilstand, vogntogvekt og drivkrafta til køyretøyet, ved å utføre analysar med denne programvara.

Studien samanliknar køyretøy med ulik motoreffekt, men likt effekt-masse-forhold, men vurderer ikkje meir detaljerte motorkarakteristikkar. Motoreffekten er modellert etter same prinsipp som Rakha og Lucic (2002), altså lineært aukande effekt ved låg fart, og konstant effekt over eit visst fartsnivå.

3.2.7 Arellano, Echaveguren og Vargas-Tejeda (2014)

Dette er ein av dei nyaste studiane på området. Formålet med denne studien var å kalibrere modellen til Bester (2000) til tunge køyretøy på nokre vegstrekningar i Chile. For å samle inn fartsdata vart det brukt ein VBOX Mini GPS-loggar, plassert i ein følgjebil bak køyretøya som vart målte. Ut frå dette laga forskarane generelle fartsprofil for ulike stigningsgrader, tilpassa dette utvalet av køyretøy.

Modellen tok utgangspunkt i kortare strekningar med stigning, og det vert understreka at resultatata ikkje er gyldige for lengre stigningar. Resultatet vert framheva som nyttig for å produsere fartsprofil for eit utval køyretøy, utan detaljert kjennskap til eigenskapane til køyretøya.

I forhold til tidlegare studiar oppnår denne ei meir nøyaktig datainnsamling, sidan fartsmålinga føregår med ein nøyaktig GPS-loggar heller enn punktmålingar eller mindre avanserte GPS-system. Likevel er resultatata mindre overførbare til modellering av enkeltkøyretøy, sidan Besters enkle modell er brukt. Denne modellen nyttar konstant motoreffekt til å formulere ein lineær samanheng mellom fart og akselerasjon, som vist i likning (3.3).

3.3 Oppsummering

Felles for modellane er at dei enten nyttar kraftlikevekter (dynamikk) eller kinematiske samanhengar for å modellere fart og akselerasjon til tunge køyretøy i stigning.

Datamaterialet som studiane baserer seg på, er av varierende type og omfang. Medan nokre nyttar punktmålingar av fart, nyttar andre GPS-mottakarar plassert i følgjebilar bak køyretøya (til dømes Arellano, Echaveguren og Vargas-Tejeda (2014)) eller mottakarar plasserte i det aktuelle køyretøyet. Andre studiar gjer inga datainnsamling, men skildrar berre ein teoretisk modell. Dette gjeld til dømes Bester (2000).

Ingen av modellane nemnde her har gjort forsøk der motordata er registrert saman med farts- og posisjonsdata. Slike parametrar er heller ikkje forsøkt implementerte i modellane. Det er etterspurd meir forskning på dette området. Dette er ei av tilrådingane i konklusjonen i Rakha, Lucic *et al.* (2001, s. 424): «Conduct similar field tests with alternative trucks to investigate differences in vehicle performance as a function of engine and truck characteristics».

Litteratursøket tyder difor på at det er behov for studiar som inkluderer meir detaljert modellering av karakteristikken og verkemåten til lastebilmotorar. Studiane som er funne, nyttar også i stor grad dei same prinsippa for modellering av motstandskrefter. Vidare modellutvikling vil nytte desse prinsippa for å representere dei ytre motstandskreftene.

4 Samarbeid med transportbransjen

Formålet med denne masteroppgåva har vore å kartleggje metodar og system for logging av motordata frå tunge køyretøy og å bruke dette til å formulere eit forslag til ein vidareutvikla modell. For å oppnå desse måla har samarbeid med transportbransjen vore viktig. Formålet med dette har vore todelt: For det første å samle informasjon om system og metodar for datalogging i tunge køyretøy, og for det andre å få hjelp til praktiske forsøk. Tabell 4.1 viser ei oversikt over prosessen i samarbeidet.

Tabell 4.1: *Tidslinje over samarbeidet med transportbransjen.*

Oktober 2018	Innleiande møte med Mercedes
Februar 2019	Besøk på verkstaden til Trønderlinjen
Mars 2019	Møte med Wist last & buss Møte med Sandvik transport Utvikling av OBD-overgangskabel Forsøk hos NTNU transport
April 2019	Forsøk med vogntog frå Børstad transport

Kapittelet presenterer framdrifta i samarbeidet, mellom anna prosessen med utforsking av ulike typar kommunikasjonssystem og utstyr. Sentrale kommunikasjonssystem som OBD, CAN og FMS er nemnde. Desse vert gjort greie for i kapittel 5, men er nemnde ved namn her for å gje betre oversikt. Utstyret som er testa i oppgåva vert gjennomgått i kapittel 6.

4.1 Innleiande møte med Mercedes

3. oktober 2018 hadde vi eit innleiande møte med Mercedes lastebil i Trondheim, representert av Per Johan Aftreth hos Trønderlinjen AS. På dette møtet fekk firmaet presentert problemstillinga i prosjektet. Det vart så diskutert måtar ein kunne løyse dette på og om OBD-II-protokollen kunne brukast som grensesnitt for datalogging.

Møtet markerte første kontakt med bransjen, og prosjektet fekk etablert Mercedes som ein mogleg samarbeidspartnar og som eit kontaktpunkt mot transportfirma. I tillegg fekk prosjektgruppa inntrykk av at logging av motordata via OBD-porten burde vere mogleg.

4.2 Besøk på verkstaden til Trønderlinjen

15. februar 2019 besøkte prosjektgruppa Trønderlinjen AS på Øysand utanfor Trondheim. Formålet med besøket var å innhente meir informasjon om metodar for logging av data gjennom OBD-II og å kartleggje eventuelle andre metodar for datainnsamling. På verkstaden viste ein av mekanikarane plasseringa av ulike portar og grensesnitt i ein Mercedes-lastebil, noko som var nyttig for å gjere ei vurdering av om grensesnittet var eigna til datalogging.

Vi var ikkje klar over FMS-kommunikasjonsprotokollen før dette besøket, då ein av verkstadteknikarane fortalde om denne og viste oss plasseringa i ein av lastebilane på verkstaden. FMS vart tema på møtet som resultat av at representantane frå Trønderlinjen ikkje hadde særleg kjennskap til OBD-porten som grensesnitt for datalogging. FMS-grensesnittet verka då som eit godt alternativ for å hente ut data, sidan kommunikasjonen er standardisert.

4.3 Møte med Wist last & buss

8. mars 2019 gjennomførte prosjektgruppa eit møte med Wist last & buss i deira lokale på Sandmoen i Trondheim. Bedrifta var representert ved Arne Jan Hopen, som mellom anna jobbar med flåtestyringssystem. Formålet med møtet var å undersøkje kva metodar for datalogging som var kjende hos Volvo, og å samle meir kunnskap om FMS som grensesnitt for logging av data under køyring. Under møtet fekk vi ein introduksjon av Volvo sitt flåtestyringssystem, *Dynafleet*. Det vart også gjeve eit overblikk over materiale og spesifikasjonar for nokre av lastebilane til Volvo. Blant desse spesifikasjonane var dreiemoment- og effektkurver for motorane, som er særleg nyttige for å utvikle ein realistisk modell av motoreffekten.

Prosjektgruppa fekk også besøkje verkstaden til Wist, der ein av verkstadteknikarane viste plasseringa av FMS-grensesnittet i ein ny Volvo-lastebil. Denne var annleis plassert enn hos Mercedes, ei opplysning som var viktig for det seinare valet av OBD-porten som grensesnitt for datalogging i forsøket hos NTNU transport (kapittel 7.2).

4.4 Møte med Sandvik transport

Prosjektgruppa hadde eit møte med Sandvik transport 8. mars 2019, der problemstillinga til prosjektet vart presentert. Formålet var å innhente fleire erfaringar med datalogging frå køyretøy, ettersom firmaet hadde nokre erfaringar med dette frå tidlegare. Teknisk ansvarleg i bedrifta gav nyttig informasjon om CAN-system og korleis dette kunne vere koda, og tilbaud

at bedrifta kunne hjelpe med oppsett av overgang frå Video VBOX til OBD. Denne prosessen er nærmare skildra i kapittel 7.1.

Vi fekk også eit innblikk i situasjonen for transportselskap, der marginane er små og krava til effektivitet er store. Dette påverkar også køyrestilen til sjåførane, som vert oppfordra til å køyre økonomisk for å spare drivstoff og slitasje på bilen. Denne innsikta var nyttig for modellutviklinga, fordi økonomisk køyring inneber at motoren opererer i eit lågare turtalsområde, som igjen påverkar effektleveransen til motoren.

4.5 Forsøk hos NTNU transport

Avdelinga for internttransport hos NTNU var samarbeidspartnar under forsøket med logging av CAN-data frå lastebil med Video VBOX Pro. Avdelinga stilte med køyretøy og sjåfør. Forsøket vart gjennomført 27. mars 2019 i NTNU sine lokale i Trondheim. Resultata frå samarbeidet var svært nyttige og stadfesta at utstyret som vart utvikla i samarbeid ved Sandvik transport, fungerte som det skulle. Kapittel 7.2 skildrar gjennomføring og resultat frå dette forsøket.

Analysearbeidet gjennomført av Racelogic i etterkant av forsøket viste også at tolking av rå CAN-data kan vere komplisert og tidkrevjande. Det er ei nyttig erfaring i planlegginga av nye forsøk, då ein må setje av nok tid og gjere ei vurdering av kva datasignal som er dei viktigaste å logge.

4.6 Forsøk med Børstad transport

Gjennom samarbeidet med Mercedes vart det oppretta kontakt med transportfirmaet Børstad transport. Firmaet køyrer fleire tungtransportruter i Trøndelag og var difor aktuelt som samarbeidspartnar. Ved hjelp av bilansvarleg i firmaet, Trond Stuevold, vart det avtalt ei passande rute for gjennomføring av eit forsøk i ordinær trafikk. Dette var viktig for å samle inn data som i størst mogleg grad representerer realistiske forhold. I tillegg til GPS-dataa som vart samla inn, gav også forsøket innsikt i forhold som var viktige for modellutviklinga, mellom anna fokuset på økonomisk køyring og korleis dette påverkar køyrestilen.

Dataa frå dette forsøket danna også grunnlaget for testinga og kalibreringa av forslaget til ny modell i kapittel 8. Både det målte fartsprofilen og observasjonane av kva turtalsområde motoren typisk opererer i, var nyttige i dette arbeidet.

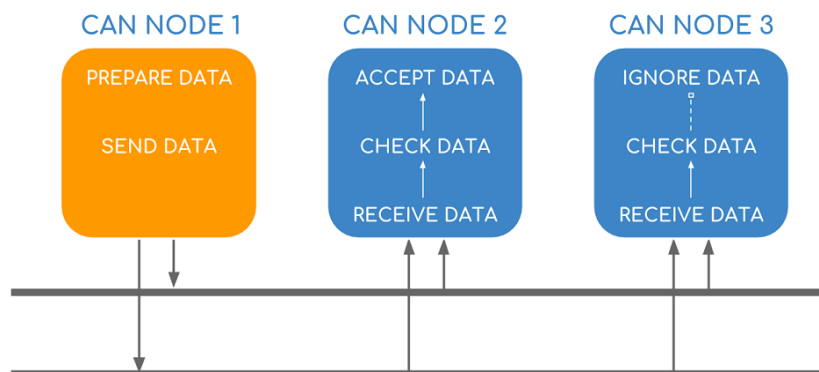
5 Datakommunikasjon i kjøretøy

Gjennom møta med transportbransjen og studium av litteratur og elektroniske kjelder er dei mest vanlege systema for datakommunikasjon i kjøretøy kartlagte. Dei mest sentrale for dette prosjektet er CAN, OBD-II og FMS. I tillegg har kjøretøyfabrikantane ofte sine eigne, proprietære flåtestyringssystem. Desse systema er skildra nærmare i dei neste delkapitla. På slutten av kapittelet er det også gjeve eit døme på CAN-data frå ein Scania-lastebil.

5.1 CAN – Controller area network

Ulike system i moderne kjøretøy kommuniserer over eit nettverk kalla Controller area network (CAN). Dette nettverket tillèt uavhengige system å kommunisere over det same fysiske grensesnittet, på ein måte som gjer at alle tilkopla einingar kan kommunisere med kvarandre (CSS Electronics, 2019). På denne måten treng ein ikkje direkte kabling mellom komponentar som har behov for å kommunisere med kvarandre, og ein reduserer kostnaden og risikoen for feil.

I moderne bilar finst det mange såkalla ECU-ar (Electronic control unit) som kontrollerer forskjellige system. Dette kan mellom anna vere motorstyring, ABS-systemet, elektriske vindauge eller underhaldningssystemet. Kvar ECU mottok alle meldingar som vert sende over nettverket (CAN), og sorterer og prioriterer meldingar etter relevans for systemet. Meldingane som vert sende, får også ulik prioritet avhengig av kor kritisk systemet er. Meldingar som høyrer til ABS-systemet, til dømes, får høg prioritet, medan ei melding frå bilradioen ikkje er like viktig og får lågare prioritet i nettverket. Måten dei ulike nodane i nettverket kommuniserer via nettverket på, er illustrert i figur 5.1.



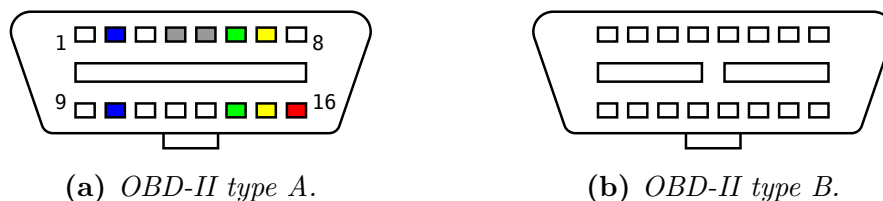
Figur 5.1: Illustrasjon av arbeidsflyten i eit CAN-nettverk (CSS Electronics, 2019).

5.2 OBD – On-board vehicle diagnostics

OBD er eit fellesomgrep for køyretøysystem som hjelper brukaren eller verkstaden å diagnostisere og kontrollere statusen til ulike delar av køyretøy. Tidlege versjonar av OBD var spesifikke for den enkelte køyretøyfabrikanten og var gjerne avgrensa til å tenne ei varsel-lampe i instrumentpanelet på bilen når ein feil var registrert. Dagens system for personbilar, OBD-II, er standardisert og kan gje ei rekkje ulike feilkodar og sanntidsdata frå køyretøyet.

Det første OBD-systemet der det var mogleg å skanne etter feil, vart utvikla av Volkswagen i 1968 (Barreto og Ciolek, 2017). I åra etter utvikla andre bilprodusentar sine egne system, med ulike grensesnitt og kodesystem. I 1988 byrja SAE (Society of Automotive Engineers) arbeidet med å utforme ein standard for eit felles fysisk grensesnitt og kodesett. Åtte år seinare, i 1996, vart standarden OBD-II gjort obligatorisk for alle nye lette køyretøy i USA. Bakgrunnen for innføringa av standarden var miljøreguleringar. Det skulle vere ein enkel måte å lese ut nødvendige data for å kontrollere utslepp på. I Europa vart OBD-II – i form av EOBD, det europeiske tilsvaret til OBD-II – gjort obligatorisk for lette køyretøy med bensinmotor i 2001. Diesalkøyretøy fekk det same pålegget frå 2003.

Den rådande standarden i dag er OBD-II, som har ein standardisert kontakt med 16 pinnar, som vist i figur 5.2. Det er to variantar av denne kontakten, type A og B. Prinsipielt er desse like, bortsett frå at type A er for køyretøy med 12-voltssystem og type B er for 24-voltssystem. For å hindre at ein koplars utstyr for type A til køyretøy med 12-voltssystem, er OBD-portar av type B utstyrt med eit todelt spor. Denne skilnaden ser ein tydeleg mellom dei to prinsippskissene i figur 5.2.



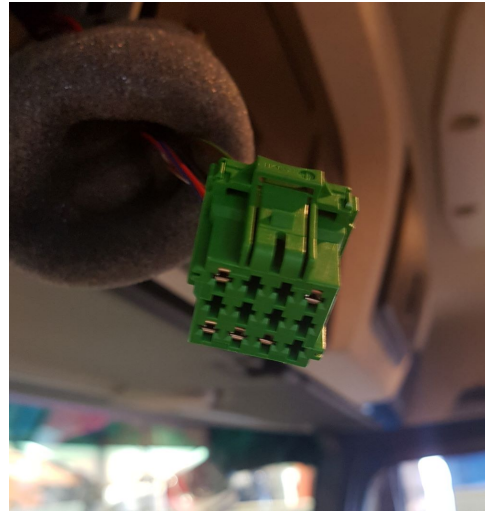
Figur 5.2: Figurane viser utforminga av OBD-portar av type A og B. Nummeringa av pinnane er vist i figur (a), men er den same for begge typane (Wikipedia, 2019).

Av dei 16 pinnane er det 5 av dei som er av særleg interesse for datalogging. Pinne 16 er viktig fordi den leverer nettspenning til utstyret. Denne har altså spenning på 12 volt i lette køyretøy og 24 volt i tunge køyretøy. Pinnane 6 og 14 er for tilkopling til høvesvis CAN high og CAN low. Det er likevel opp til produsenten å bestemme om desse pinnane skal vere aktive, så dette varierer mellom merka. OBD-II-skanneverktøy kommuniserer hovudsakleg over standarden ISO 9141, som høyrer til pinnane 7 og 15.

5.3 FMS – Fleet management system

Fleet management system, forkorta FMS, er ein felles standard for utveksling av data til flåtestyringssystem. Inventure Automotive (2013) skildrar standarden og bakgrunnen for den. Standarden vart utvikla i eit samarbeid mellom lastebilfabrikantane Volvo, Scania, MAN, DAF og Mercedes-Benz, for å la GPS-baserte flåtestyringssystem hente ut tekniske data frå køyretøyet og fungere på tvers av bilmerka.

Den første utgåva av standarden, *FMS Standard 1.0*, vart utgjeven i 2002 og var laga med tanke på lastebilar med godstransport. Denne inneheld mellom anna køyretøyfarten, gjennomsnittleg drivstoffbruk, turtal og enkel informasjon frå fartsskrivaren. I 2007 kom ein tilsvarande standard retta mot bussar, kalla *BUS-FMS*, og definerer busspesifikke signal om dørøpningar og liknande. Det var separate standardar for buss og lastebil fram til versjon 3.0 kom i 2012. Då vart skiljet oppheva og signala for både buss og lastebil samla i same standard.



Figur 5.3: Bilde av FMS-grensesnittet i ein Mercedes-lastebil. (Foto: Andreas Nesdal)

5.3.1 Vurdering av FMS til praktiske forsøk

Standarden skildrar berre kva signal som kan vere tilgjengeleg gjennom FMS-protokollen, men ikkje den fysiske utforminga av ein slik port. Denne kan dermed ha ulik utforming frå merke til merke. Figur 5.3 viser korleis denne porten ser ut og kvar den er plassert i ein Mercedes-lastebil. Det er ei ulempe at porten ikkje har ei standard utforming, sidan ein då må skreddarsy utstyret til kvart køyretøy.

Besøka på lastebilverkstadane viste døme på plasseringa av FMS-porten i køyretøyet. Hos Mercedes var denne plassert i taket over sjåføren, medan den hos Volvo var plassert bak sikringsboksen på passasjersida. Desse undersøkingane vart vurdert til at FMS-grensesnittet ofte er for vanskeleg tilgjengeleg for praktisk logging. Bakgrunnen for denne vurderinga er mellom anna at porten bør vere tilgjengeleg utan fysiske inngrep i køyretøyet, ettersom dette vil kunne innverke på garanti- og tryggleiksordningar. Det er også eit krav at tilkopling av utstyr ikkje må forstyrre føraren under køyring.

I tillegg er FMS-systemet ofte i bruk på køyretøy som er i kommersiell drift, ettersom eit

flåtestyringssystem som oftast vil vere tilkopla. Dermed vil ein måtte nytte ein overgang som gjev tilgang for to system samtidig. Dette vart ikkje sett vidare på, ettersom det vart vurdert som for tidkrevjande og teknisk vanskeleg for dette prosjektet.

5.4 SAE J1939-standarden

J1939 er eit sett med standardar som definerer korleis datakommunikasjon kan skje over CAN i tyngre køyretøy (Kvaser, 2007). Det er ein open standard som dei fleste tyngre køyretøy av nyare dato støttar. Ulike delar av standarden skildrar både den fysiske tilkoplinga til nettverket (det fysiske laget), reglar for sending av meldingar over nettverket (datalinklaget) og oppbygginga av dei enkelte meldingane (applikasjonslaget). Overføringsfarten er som oftast enten 250 kb/s eller 500 kb/s.

5.4.1 Koding av meldingar

Ei CAN-melding er oppbygd av åtte delar, som vist i figur 5.4. Dei fleste av desse har metafunksjonar, som å definere start og slutt på meldinga og kontrollere integritet (CSS Electronics, 2019). Dei delane som er viktige for å lese ut informasjon frå meldinga, er *CAN-ID*, kontrollfeltet og datafeltet. CAN-ID skildrar kva meldinga handlar om, og datafeltet inneheld den faktiske informasjonen.

1 bit	29 bit	1 bit	6 bit	0–64 bit	16 bit	2 bit	7 bit
Start	CAN-ID	RTR	Kontroll	Data	CRC	Acknowledge	Slutt

Figur 5.4: Den generelle oppbygginga av ei CAN-melding, med storleikar for dei ulike delane, etter J1939-standarden (CSS Electronics, 2019).

Rådata frå CAN-bussen er i heksadesimalt format og må konverterast for å vere lesbart. I tillegg er dataverdien i meldinga lagra som ein desimalverdi som må ha skalerast med ein faktor og leggjast til ein konstant for å gje rett verdi. CSS Electronics (2019) uttrykkjer det på følgjande måte:

$$[\text{Scaled Data Value}] = [\text{Offset}] + [\text{Scale}] \times [\text{Raw Decimal Data Value}]$$

Konverteringsreglar for CAN-meldingar er gjerne gjevne i DBC-formatet (CSS Electronics, 2018). Dette er databasefiler med informasjon om spesifikke meldingar og korleis dei er koda. DBC-filer kan dermed brukast for å gjere rådata frå CAN-bussen om til lesbar informasjon. Det finst både filer for opne standardar som J1939 og filer for køyretøyfabrikantane sine

proprietære system. Sistnemnde er ofte tilfellet i lette køyretøy og eldre tunge køyretøy. I dei tilfella ein ikkje har konverteringsreglane tilgjengeleg, må ein gjere såkalla *reverse engineering* for å kunne bruke informasjonen.

5.5 Flåtestyringssystem

Volvo sitt flåtestyringssystem har namnet *Dynafleet* (Volvo, 2019a). Dette systemet gjev tilgang til sanntidsinformasjon om køyretøyet, som posisjon, køyre-/kviletid, drivstoffbruk, køyrd rute, med meir. I tillegg måler systemet køyrestil og drivstoffeffektivitet for kvar sjåfør, som så får utrekna ein poengsum. Formålet er å gje kvar sjåfør oversikt over sine forbetningsområde og å skape konkurranse mellom sjåførane om å køyre mest mogleg økonomisk.

Dynafleet fungerer ved å hente ut data gjennom FMS-grensesnittet i køyretøyet. Dette er tilrettelagt for tilkopling av tredjepartsutstyr og er laga ut frå eit behov for å registrere sanntidsdata under køyring. Sidan data som er tilgjengeleg gjennom Dynafleet i hovudsak er gjennomsnittsdata for eit lengre tidsrom, vart dette systemet vurdert som mindre eigna for formålet til prosjektet.

5.6 Døme på CAN-data frå Scania

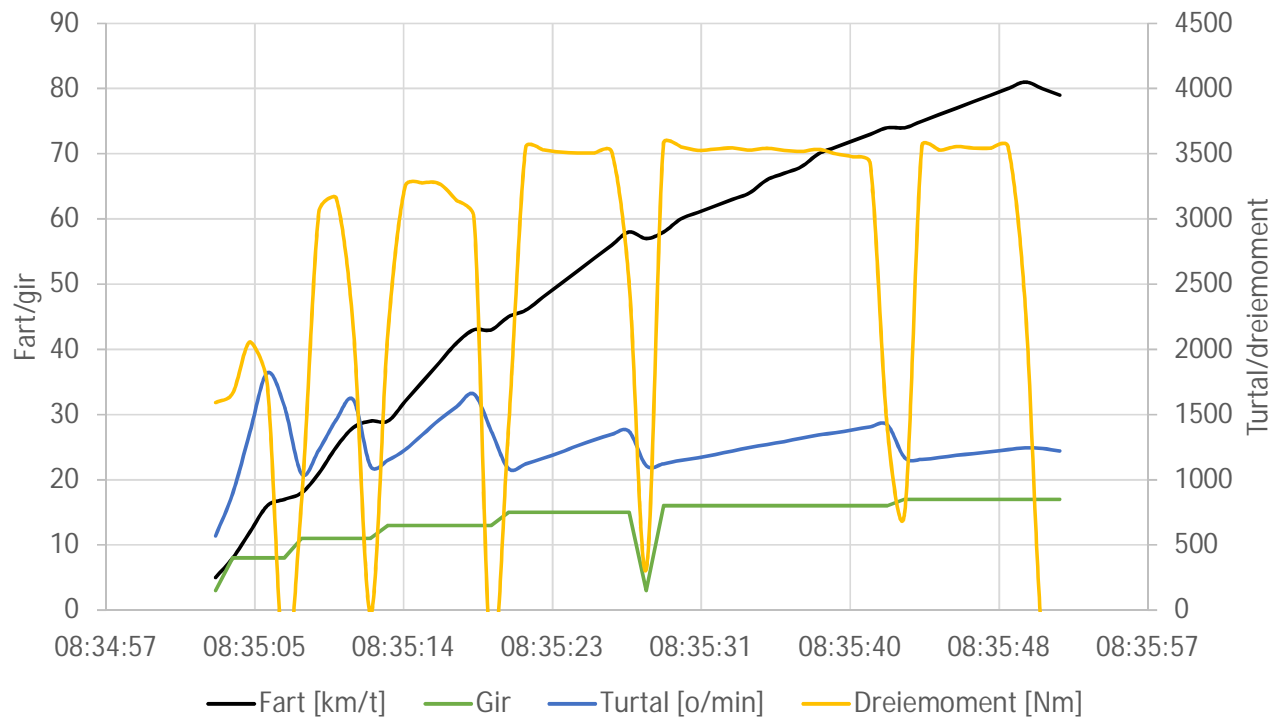
Prosjektgruppa har fått tilsendt eit døme på CAN-data frå Scania. Datasettet er frå eit akselerasjonsforsøk, der blant anna desse dataa er registrerte:

- Gasspedalposisjon
- Gir
- Køyretøyfart
- Motorturtal
- Dreiemoment

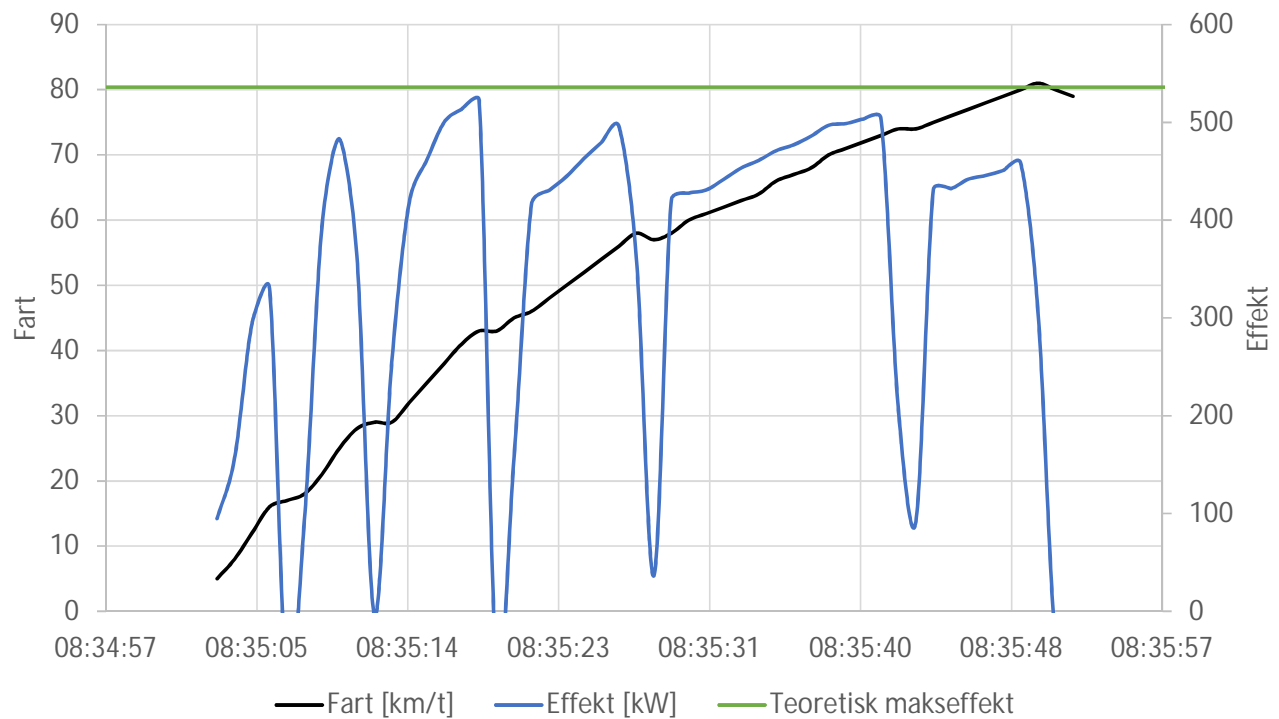
Dataa er registrerte med sekundoppløysing og er knytte til eit tidsstempel. Figur 5.5 viser eit diagram over fart, turtal, gir og dreiemoment under forsøket. Ein kan tydeleg observere girskifta i diagrammet. Turtalskurva aukar gradvis etter som farten aukar innanfor kvart gir, før ho fell etter girskifta. Ein ser også at dreiemomentet vert kraftig redusert under girskifta.

Frå verdiane for dreiemoment og turtal i datasettet er effekten rekna ut etter samanhengen i likning (2.9). Resultatet av utrekninga er vist i figur 5.6. Det er også plotta ein teoretisk maksverdi for motoreffekten, som eit bilde på skilnaden mellom konstant effekt og den faktisk tilgjengelege effekten. Som ein kan sjå, er det relativt store variasjonar i effekten. Det vil

vidare seie at den totale energien ein har til framdrift, er vesentleg lågare i tilfellet med variabel effekt. Energien kan ein sjå som arealet under effektkurvene.



Figur 5.5: Diagram over informasjonen i datasettet frå Scania.



Figur 5.6: Samanlikning av målt motoreffekt og teoretisk, konstant effekt.

6 Utstyr for datalogging

6.1 Bluetooth-baserte OBD-II-adapterar

Det finst fleire typar utstyr som kan lese av motordata frå diagnoseporten i personbilar. Felles for desse er at dei kommuniserer over OBD-II-protokollen, som er standard i dei fleste lette bensin- og dieselmotoryretøy produsert på 2000-talet.

Det er gjort forsøk med to slike OBD-II-adapterar: ELM 327 og OBDkey. Begge desse kommuniserer med smarttelefon/nettbrett over Bluetooth. Prinsippet for desse er at dei sender førespurnader om data ved hjelp av såkalla OBD-PID (parameter-ID), som er kodar for ulike typar informasjon tilgjengeleg over OBD-protokollen. Einingane er omtrent like store som fyrstikkøskjer og får straum direkte via OBD-kontakten.



Figur 6.1: *Illustrasjon av adapteren OBDKey. (OBD-Key, 2016)*

6.1.1 Android-appen Torque

For å kunne nytte Bluetooth-adapterane til datalogging treng ein programvare og utstyr som kan kommunisere med adapteren. Det finst programvare til formålet både for smarttelefon, nettbrett og pc. Appen Torque Pro for Android-telefonar og -nettbrett er nytta til dataregistrering med desse adapterane. Dette er ein av dei bestseljande appane for slik bruk og har høg vurdering (4,4 av 5 stjerner) på Google Play (Google, 2019). Denne appen er svært rimeleg i innkjøp (28 kr) og har mange nyttige funksjonar og tilleggsmodular. I tillegg til informasjonen frå OBD-porten kan Torque også logge data frå den innebygde GPS-mottakaren i telefonen. Hovudgrensesnittet kan tilpassast fullt ut med den informasjonen ein ønskjer, så ein i sanntid kan følgje med på informasjon frå GPS og motor.

Frå appen kan ein eksportere registrerte data i reknearkformat som CSV-filer, der kvar linje i fila inneheld eit tidsstempel og tilhøyrande GPS- og motordata. Sidan dette er eit ope og lesbart format, kan ein nytte dei programma ein ønskjer for å analysere informasjonen, til dømes Excel eller eit programmeringsspråk som Python.

6.1.2 Testing av adapterane

Hausten 2018 gjennomførte prosjektgruppa testar med datalogging i personbil. Desse testane vart gjort med Torque installert på ein Android-smarttelefon for å kommunisere med adapterane. GPS-mottakarane i smarttelefonar er typisk nøyaktige til ein radius på om lag 5 meter (National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation og Timing, 2017).

Testinga vart gjennomført ved å kople adapterane til OBD-porten i ein personbil og så køyre turar i trondheimsområdet. Formålet var å undersøkje kva data som var tilgjengeleg, og eventuelle skilnadar mellom ELM 327 og OBDKey. Testinga gav indikasjon på at adapteren ELM327 har høgare dataauthenticeringsrate enn OBDKey. Begge adapterane klarte å hente ut sentrale data som fart og turtal, og elles såg adapterane ut til ha å tilgang til dei same datakanalane. Dette var som venta, sidan OBD-II-protokollen er standardisert for alle nyare personbilar. Det var heller ikkje uventa at ELM 327 klarte å hente ut data raskare, sidan denne vart kjøpt inn i 2018, medan OBDKey vart kjøpt i 2010.

6.2 Racelogic GPS-loggingsutstyr

Racelogic er ein av dei leiande leverandørane av utstyr for å logge GPS-data frå køyretøy. Dei leverer ulike typar GPS-loggarar som kan logge data frå intern eller ekstern GPS-antenne opptil 20 gonger i sekundet. I tillegg kan nokre av dei samtidig logge motordata via OBD-II-grensesnittet i køyretøyet. Tabell 6.1 viser ei oversikt over nokre av dei aktuelle modellane. Tabellen viser maksimal loggefrekvens for GPS-data og den oppgjevne nøyaktigheita for posisjonering horisontalt og vertikalt.

Tabell 6.1: *Oversikt over nokre aktuelle VBOX-modellar (Racelogic, 2018[a]).*

Modell	Frekvens	Plan	Høgd	OBD-tilkopling
Video VBOX Pro	20 Hz	$\pm 2,5$ m	± 6 m	Ja
VBOX Sport	20 Hz	± 5 m	± 5 m	Nei
VBOX Mini	10 Hz	± 3 m	± 10 m	Ja, med ekstrapakke
VBOX Micro	10 Hz	± 3 m	± 10 m	Ja

Data som VBOX-produkta produserer, vert lagra på minnekort i einingane i det proprietære VBO-formatet, som inkluderer all posisjons-, video- og lyddata. Racelogic tilbyr ein programpakke for framvising og analyse av registrerte data. I tillegg kan ein eksportere filene til CSV-format, slik at ein kan nytte andre program til analyse. Prinsippet for korleis desse filene er oppbygde, er vist i tabell 6.2. Her får ein alle tids- og GPS-data loggført saman

med motordata frå bilen. Formatet gjer det mogleg å filtrere og tilpasse informasjonen på ein enkel måte, slik at den passar analysemetoden ein ønskjer å bruke.

Tabell 6.2: *Prinsippstruktur for eksporterte CSV-filer.*

Tid	Satelittar	Fart	Breiddegrad	Lengdegrad	Høgd	Turtal
12:23:18	6	67	63°24,8121 N	10°24,9359 E	41,61	1472
12:23:19	6	65	63°24,8121 N	10°24,9370 E	41,85	1449
12:23:20	7	64	63°24,8121 N	10°24,9375 E	42,03	1438
12:23:21	6	62	63°24,8122 N	10°24,9388 E	42,22	1415

6.2.1 VBOX Sport, Mini og Micro

VBOX Sport er ein liten, vasstett modell med innebygd GPS-mottakar. Denne er mest berekna for enklare målingar, som rundetider, då den ikkje kan koplast til OBD-kontakt i bilen (Racelogic, 2018[a]). VBOX Mini har fleire funksjonar: Den kan vise sanntidsdata på ein LCD-skjerm og logge data på SD-kort. OBD-data kan loggast ved å kople til ein separat input-output-modul. VBOX Micro er også vasstett og er laga med tanke på langtidsopptak, der ein kan justere datasamlingsraten mellom éin gong i minuttet (1/60 Hz) og ti gonger i sekundet (10 Hz). Denne modellen har inngangsportar for direkte avlesing av motordata frå OBD-II-kontakt i køyretøy.



Figur 6.2: *Illustrasjonar av høvesvis VBOX Sport, VBOX Mini og VBOX Micro (Racelogic, 2018[a]).*

6.2.2 Video VBOX Pro

Video VBOX Pro er den mest omfattande løysinga av dei fire som er nemnde i tabell 6.1, og kan lagre – i tillegg til GPS-data og motordata – videoopptak frå opptil fire kamera og

lydopptak frå to mikrofonar. Dette gjer det mogleg å registrere trafikkmiljøet og føraråtfæra på ein systematisk og nøyaktig måte. Figur 6.3 viser ein illustrasjon av utstyret, og tabell 6.3 gjev dei viktigaste fysiske måla.

Tabell 6.3: *Fysiske mål for Video VBOX Pro (Racelogic, 2018[c]).*

	Høgd	Breidd	Djupn	Vekt
Video VBOX Pro	33 mm	170 mm	122 mm	700 g

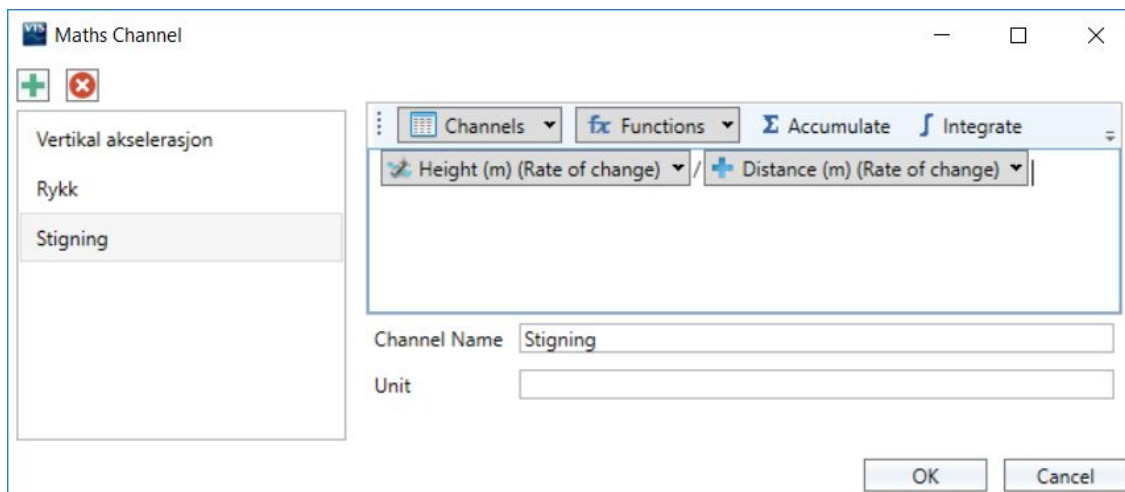


Figur 6.3: *Illustrasjon av Video VBOX Pro med tilkoplta utstyr (Racelogic, 2018[b]).*

Den fysiske eininga er ikkje større enn at ho enkelt kan takast med i ei veske og flyttast mellom køyretøy, og ho får straum frå standard 12-volts-uttak i køyretøyet. Vidare kan kamera, GPS-mottakar og anna utstyr festast med sugekoppar og magnetar, slik at det er enkelt å setje opp og ta ned.

Det er også mogleg å logge motordata frå køyretøyet saman med GPS-informasjon, men dette krev innlasting av konfigurasjonsfiler for den spesifikke køyretøymodellen. Racelogic har slike filer tilgjengeleg for ei rekkje bilmerke og -modellar, som fritt kan lastast ned frå nettsida deira.

Alle data vert lagra i det proprietære VBO-formatet. Desse filene kan lesast med den medfølgjande programvara, VBOX Test Suite. Programmet kan vise ruta som er køyrd og diagram over fart, akselerasjon og liknande. I tillegg kan ein lage sine egne datakanalar ut frå basisdata som fart og posisjon. Eit døme kan vere å lage ein kanal som viser stigninga på strekninga, ved å leggje inn formelen $\frac{dy/dt}{dx/dt}$, som vist i figur 6.4.

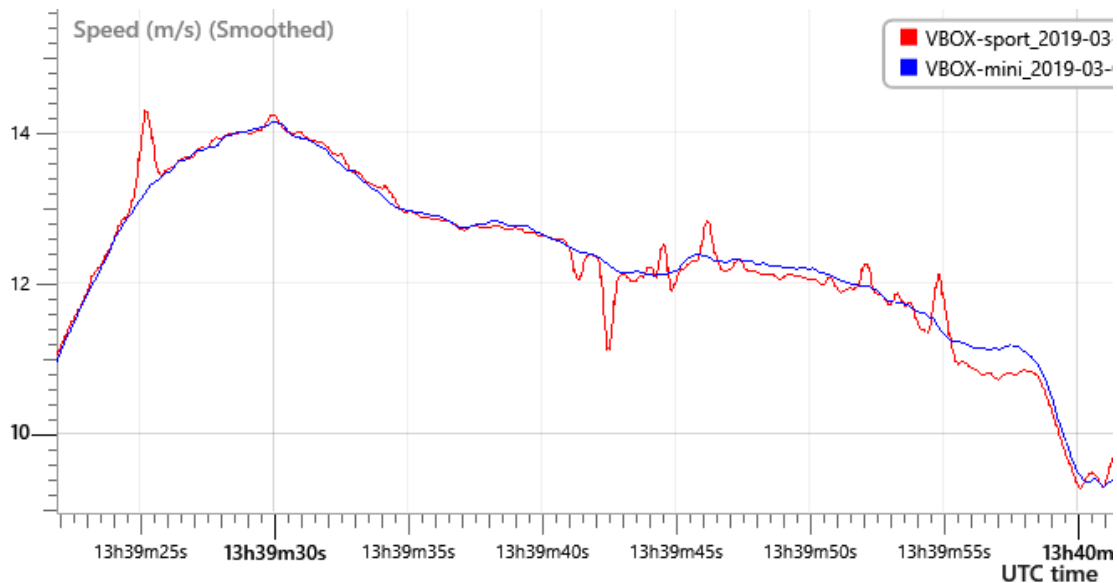


Figur 6.4: Skjerm bilde frå VBOX Test Suite som viser korleis ein kan lage ein eigen data-kanal.

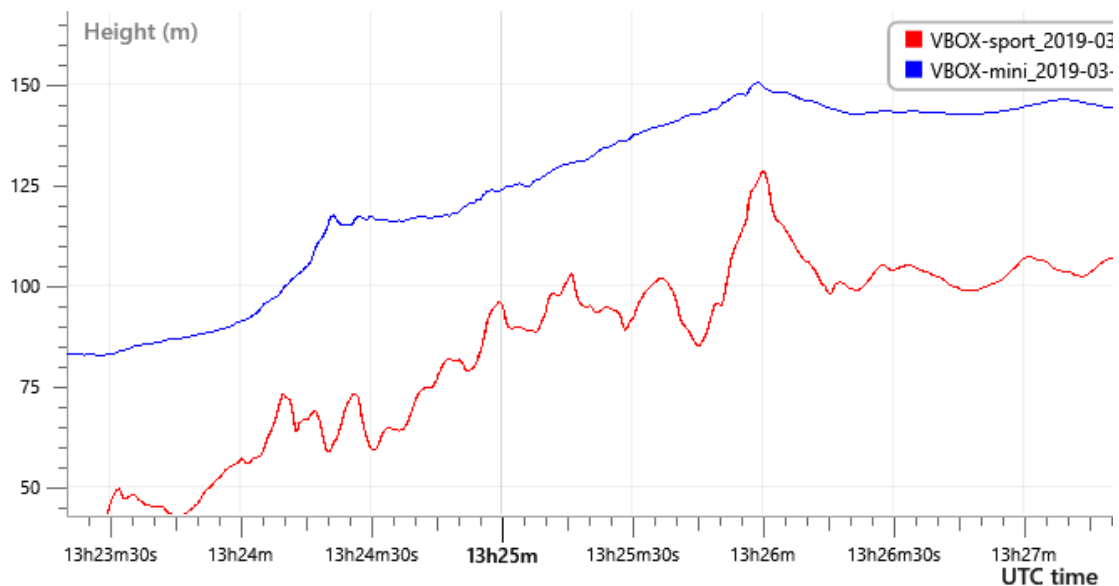
6.2.3 Testing av VBOX-modellane

Det vart gjennomført testar med samtidig logging av data frå Video VBOX Pro og Torque Pro. VBOX registrerte nøyaktige GPS-data, og Torque logga motordata frå OBD-grensesnittet i bilen. Video VBOX Pro har også ein inngangsport for CAN-data frå køyretøyet, men dette fekk vi ikkje testa. Ein treng ei konfigurasjonsfil for den spesifikke bilmodellen ein nyttar for å kunne lese og tolke CAN-data med VBOX-systemet, og denne hadde ikkje Racelogic tilgjengeleg for den aktuelle bilmodellen.

Det vart også gjort eit forsøk med hensikt å samanlikne modellane VBOX Mini og VBOX Sport. Mini har ekstern antenne på taket av køyretøyet, medan Sport har innebygd antenne som er plassert inne i bilen. Vidare loggar Mini 10 gonger i sekundet, medan Sport loggar 20 gonger i sekundet. Som illustrert i figur 6.5 gjev Mini eit meir stabilt og sannsynlegvis meir nøyaktig fartsprofil enn Sport. Ein kan sjå den same tendensen når ein samanliknar høgdeprofilen produsert av dei to modellane (figur 6.6). Profilet til Mini er jamnare og har færre små variasjonar. Samtidig ser ein at dei to modellane har ein systematisk skilnad i høgdemåling, som kan skuldast feil kalibrering. Ein enkel kontroll mot Norgeskart (Kartverket, 2019) viser at målingane til Sport ligg nærmast karthøgda.



Figur 6.5: Figuren viser skilnaden på fartsprofilen logga med VBOX Mini (blå farge) og med VBOX Sport (raud farge). Datapunkta i diagrammet er gjennomsnitt av tre målingar, for å fjerne dei minste variasjonane (Skjerm bilde frå VBOX Test suite).



Figur 6.6: Figuren viser skilnaden på høgdeprofilen logga med VBOX Mini (blå farge) og med VBOX Sport (raud farge) (Skjerm bilde frå VBOX Test suite).

7 Forsøk med lastebil

7.1 Utvikling av grensesnitt mellom VBOX og OBD type B

I samarbeid med Sandvik transport AS utvikla vi ein kabelovergang mellom Video VBOX Pro og OBD-grensesnitt av type B. VBOX-en har ein medfølgjande kabel for bruk mot type A-portar, men til vårt formål hadde vi behov for å lese ut data frå tunge køyretøy.

8. mars 2019 hadde vi eit innleiande møte med Sandvik transport, der vi utveksla informasjon om kva behov prosjektet vårt hadde, og kva dei kunne bidra med av informasjon og utstyr. Firmaet hadde ein del tidlegare erfaringar med denne typen dataauthenting frå personbil og også noko tilsvarende erfaring frå lastebil. Teknisk sjef i firmaet meinte dette burde vere mogleg å få til, så lenge ein kjende til måten datasignala var koda på.

Etter nytt møte 11. mars tilbaud Sandvik å ta seg av kopling av ein ny kabel som kunne fungere som overgang mellom CAN-porten på VBOX og OBD-porten i lastebil. I denne kabelen er det berre to leidningar som er i bruk: CAN high og CAN low, som vist i figur 7.1. Ein slik kabel vil berre kunne fungere i køyretøy som har kopla CAN-bussen til pinne 6 og 14 i OBD-porten.



Figur 7.1: Overgang mellom VBOX og OBD type B. (Foto: Andreas Nesdal)

7.2 Logging av CAN-data med Video VBOX Pro

7.2.1 Bakgrunnsinformasjon

Video VBOX Pro har funksjonalitet for logging av data frå CAN-bussen i køyretøy. For at VBOX-en skal kunne tolke informasjonen frå køyretøyet, trengst det ei konfigurasjonsfil for dette. Racelogic, produsenten av utstyret, har tilgjengeleg slike filer for ei rekkje lette bilar på nettsidene sine, men ikkje for tunge køyretøy. Selskapet si kundestøtteavdeling uttalar at systema for tunge og lette køyretøy er ganske like, og at Video VBOX er i stand til å handtere data frå begge køyretøykategoriane (e-post frå Racelogic Support, 14. februar 2019).

Med bakgrunn i dette fekk vi tilsendt ein prosedyre for at dei skulle kunne lage ei konfigurasjonsfil (DBC-fil) for det aktuelle køyretøyet. Denne baserer seg på at VBOX-en er tilkopla CAN-bussen med kabelen vist i figur 7.1 medan ein utfører stega i prosedyren. Denne framgangsmåten kan samanfattast slik (e-post frå Racelogic Support, 5. mars 2019):

1. Trykk på gasspedalen og hald i fem sekund. Gjer deretter det same med bremsepedalen.
2. Snu rattet frå maks utslag venstre til maks utslag høgre, og så tilbake til senterposisjon.
3. Veksle gjennom gira frå nøytral opp til høgaste gir, og via revers tilbake til nøytral.

Samtidig sa instruksjonane at ein skulle filme det som vart gjort, med eit kamera tilkopla Video VBOX. Poenget med denne prosedyren er at teknikarane hos Racelogic dermed kan få eksakte tidspunkt for når dei ulike handlingane vert utførte, og så identifisere kva datasignal frå CAN-bussen som høyrer til dei ulike komponentane. Under er vist utdata frå CAN-bussen, registrert med Video VBOX under forsøket 27. mars 2019. Som ein kan sjå, er dataa lagra i heksadesimalt format.

```
042659472 18FF9B00x 05 00 00 10 3C 02 00 00
042659482 18FF9A00x FF FF FF FF FF FF FF FF
042659482 18FF9800x A8 61 00 00 00 00 A8 61
042659482 08FF2D3Fx 04 DF 00 00 00 00 FF FF
```

Det vert produsert ei stor mengd slik informasjon når ein loggar rådata frå CAN-bussen på denne måten. VBOX lagar eit tidsstempel i loggefila 20 gonger i sekundet. Ved å sjå på fila kan ein til dømes finne 53 datalinjer mellom to tidsstempel, altså i ein periode på 50 ms.

7.2.2 Gjennomføring av forsøket

For å få testa denne prosedyren tok vi kontakt med internttransportavdelinga på NTNU. Dei disponerer ulike lastebilar, som for ein stor del vert brukte til renovasjon. Testane vart gjort på to ulike lastebilar, ein ny Volvo og ein noko eldre Mercedes. Spesifikasjonane for desse er viste i tabell 7.1. Desse stod parkerte i garasjen til avdelinga under forsøka. Ein av dei tilsette sjåførane assisterte oss med utføringa av stega i prosedyren.

	Årsmodell	Modell	Motoreffekt	Eigenvekt
Volvo	2016	FM 5800	460 hk	11 860 kg
Mercedes	2012	2536L/45	360 hk	11 590 kg

Tabell 7.1: *Spesifikasjonar for lastebilane testa i forsøket hos NTNU transport.*

Ei av utfordringane med å bruke Video VBOX Pro i tunge køyretøy er at straumadapterane

som følgjer med, berre fungerer på 230 volt og 12 volt, medan lastebilar i hovudsak nyttar eit elektrisk system på 24 volt. Det var ukjent før forsøket om lastebilane hadde tilgjengeleg 12-voltsuttak. For å vere sikre på å få gjennomført forsøka brukte vi ein omformar frå 12 til 24 volt.

Video VBOX Pro vart kopla opp på passasjersida i køyretøyet, med overgangskabelen kopla til OBD-porten i lastebilen. I tillegg vart kamera og skjerm kopla til eininga. Skjermen viser bildet frå kameraet og er særleg viktig i dette forsøket, der ein må sørgje for at handlingane ein gjer, er synlege på opptaket. GPS-mottakaren var også kopla til, men hadde ingen funksjon i dette forsøket, sidan køyretøyet stod stille og var utanfor satelittdekning.

7.2.3 Resultat og utfordringar

Forsøka vart gjennomførte etter instruksjonane ovanfor, på same måte i begge køyretøya etter tur. Ei utfordring som dukka opp, var at lite lys inne i lastebilen gjorde videoen mørk, særleg i første steg, der vi filma bruken av pedalane. Dette vart løyst ved å bruke lommelykt og stengje garasjen for å unngå motlys.

Begge køyretøya vart testa med loggeoppsett frå Racelogic for 250 kb/s og 500 kb/s datafart. Resultatet var dermed fire datasett, to for kvart køyretøy. VBOX-en har ei indikatorlampe for aktivitet på CAN-inngangen. Under forsøka kunne ein observere at denne var mørk under forsøka med Volvo-lastebilen, medan den blinka under logginga frå Mercedes-lastebilen. Under logginga med sistnemnde, blinka lampa raskare med oppsettet for 250 kb/s enn 500 kb/s. Desse observasjonane kunne ein i etterkant relatere direkte til mengda data som vart logga. Frå Volvo-lastebilen fekk vi ikkje henta ut CAN-data med nokon av oppsetta. Mercedes-lastebilen gav data for begge oppsetta, men 500 kb/s-oppsettet gav mange feilmeldingar og mindre data.

Resultata frå forsøket tyder på at denne Volvo-modellen ikkje har CAN-bussen fysisk tilkopla OBD-porten, slik at dataauthenting ikkje er mogleg frå dette grensesnittet. I tillegg ser CAN-bussen i Mercedes til å vere sett opp med ein datarate på 250 kb/s. Dette kan vere på grunn av alderen til bilen, sidan 500 kb/s er mest vanleg i dei nyaste køyretøya.

Datafilene med CAN-informasjonen og videoopptaka vart sende til Racelogic for analyse same dag som forsøket. Dessverre klarte ikkje teknikarane hos Racelogic å tolke dataa, då informasjonen ikkje var koda etter J1939-standarden. Dette kan skuldast alderen til lastebilen, men sidan vi ikkje har testar på nyare Mercedes-lastebilar, kan ein ikkje seie sikkert om standarden er implementert i nyare modellar.

Racelogic Support gav instruksjonar for eit nytt forsøk med formål å analysere CAN-data koda på ukjend vis (e-post, 8. april 2019), ved å utføre såkalla *reverse engineering*. Dei gav likevel inntrykk av at dette er ein noko omstendeleg prosess, der kva data ein klarer å tolke, er usikkert. Sidan dette skjedde på ein relativt sein fase i prosjektet, vart det vurdert som for tidkrevjande med fleire forsøk med usikkert utfall. Det ser likevel ut til å vere ein metode som kan vere eigna til datalogging og som framtidige studiar bør undersøkje nærmare.

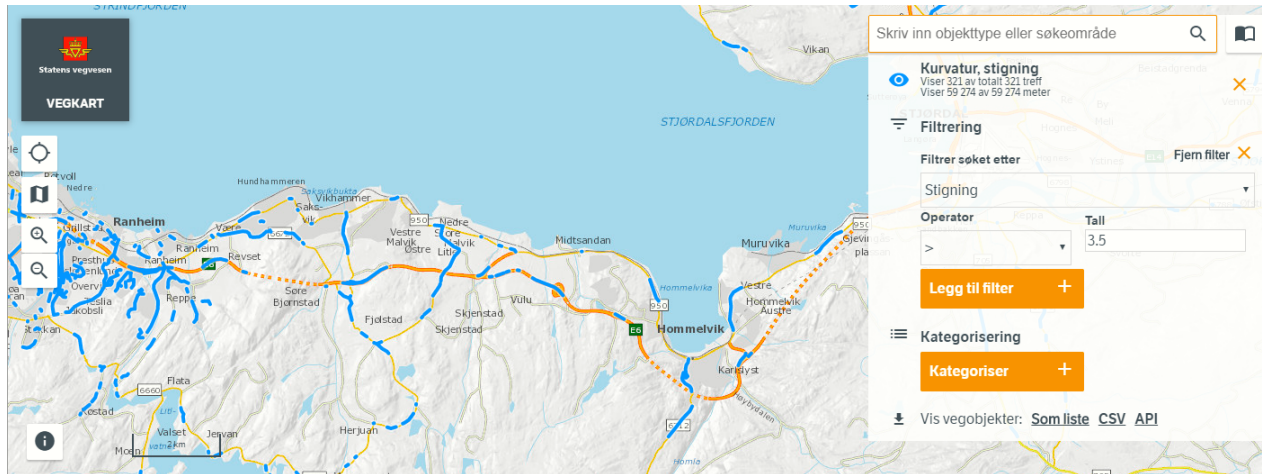
Eit viktig resultat, trass i vanskane med datatolking, er at ein fekk stadfesta at oppsettet som vart brukt, fungerte etter hensikta. Sidan ein fekk logga data frå eine lastebilen, viser det at den utvikla overgangskabelen er kopla riktig, og at pinnane reserverte til CAN high og CAN low i OBD-porten er aktive i det køyretøyet, i motsetnad til i Volvo-lastebilen. For å kunne logge motordata frå Volvo-en, og andre køyretøy utan CAN-signal i OBD-porten, må ein difor sjå på andre måtar å gjere det på, til dømes gjennom FMS-grensesnittet.

7.3 Testtur med Børstad transport

29. april 2019 vart det gjennomført ein forsøkstur med vogntog tur-retur Trondheim–Steinkjer. Dette var mogleg gjennom eit samarbeid med Børstad transport AS, som mellom anna køyrer kraftfôr til gardar i Trøndelag. Lastebilen var ein Volvo FH 2019-modell med 13-liters motor og 540 hestekrefter.

7.3.1 Førebuing

For å kartleggje aktuelle strekningar for eit forsøk med lastebil vart det gjort eit søk etter strekningar med stigning på over 3–4 %. Dette vart gjort ved å bruke Vegkart, Statens vegvesen sitt offentlege grensesnitt mot NVDB (Nasjonal vegdatabank) (Statens vegvesen, 2019). På denne sida kan ein søkje opp objektet *Kurvatur*, *stigning*, og deretter filtrere desse etter eigenskapen *Stigning*, som vist i figur 7.2. På denne måten kan ein få markert desse strekningane på kartet.



Figur 7.2: Skjerm bilde frå Vegkart som viser korleis ein kan filtrere vegstrekningar med ei viss stigning (Statens vegvesen, 2019)).

7.3.2 Oppsett og gjennomføring

Ved starten av turen vart det lasta på kraftfôr på Skansen i Trondheim, slik at totalvekta til vogntoget var 50 tonn. Denne vekta vart kontrollert både på fyllestaden (50,4 tonn) og i lastebilen (50,0 tonn).

Lastebilen vart utstyrt med GPS-loggingsutstyr og kamera. Det vart gjort samtidige registreringar med Video VBOX, VBOX Mini og VBOX Sport. Video VBOX og VBOX Mini vart kopla opp med GPS-antennene festa med magnet på taket av førarhuset. VBOX Sport har integrert antenne og vart plassert i frontruta. Formålet med å logge med tre uavhengige system er å sikre opptak sjølv om eit av systema ikkje skulle fungere, og å kunne kontrollere datasetta mot kvarandre.



Figur 7.3: Oppsettet på videoopptak under forsøkturen. (Foto: Andreas Nesdal)

Video VBOX var tilkopla med to kamera i dette forsøket. Det eine var montert i taket over rattet og instrumentpanelet, for å kunne lese av fart, turtal, gir og annan synleg informasjon, i tillegg til å kunne observere rattørslar. Det andre kameraet vart festa i frontruta for å filme vegen framfor køyretøyet. Videoen frå desse to kameraa, i tillegg til informasjon om fart, satelittar og klokkeslett, vart sett saman til eitt bilde i oppsettsprogrammet til Video VBOX.

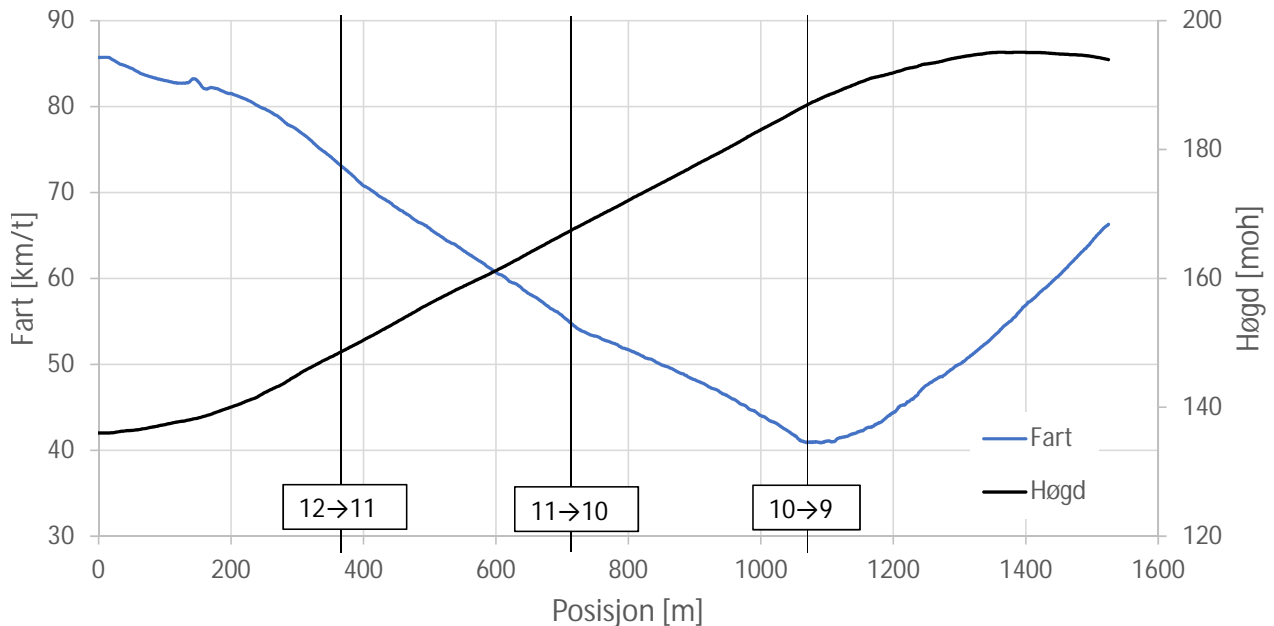
Dette oppsettet er vist i figur 7.3.

I tillegg til at instrumentpanelet vart filma, vart det også notert tidspunkt for nedgiringar manuelt i dei lengre stigningane. Grunnen til det er at lysforholda og kvaliteten på videoopptaka kan gjere det vanskeleg å lese av informasjonen på instrumentpanelet.

7.3.3 Resultat

Det var fleire bakkar som var lange og bratte nok til at farten til lastebilen vart vesentleg redusert, til dømes på E6 ved Leistadåsen i Malvik kommune. I denne stigninga vart farten til lastebilen redusert til 41 km/t. Den brattaste delen av stigninga var ikkje lang nok til at farten stabiliserte seg, så ein kan ikkje avgjere likevektsfarten. Figur 7.4 viser fartsutviklinga i denne bakken, saman med registrerte tidspunkt for girskifte.

Ein kan sjå av fartskurva i figur 7.4 at forma er konkav mellom girskifta. Fartsreduksjonen i eitt og same gir aukar ettersom farten går ned, men reduksjonen avtek etter nedgiring. Denne observasjonen stemmer godt med effektkurvene for motoren (figur 8.2), som viser at effekten avtek med minkande turtal i området 1000–1450 o/min. Dette kan forklare kvifor fartreduksjonen er størst rett før girskifte, der turtalet er lågast. Ein kan observere denne samanhengen trass i at effekten frå motstandskreftene vert redusert med lågare fart og dermed bidreg til at farten vert redusert saktare.



Figur 7.4: Diagram som viser farten og nedgiringane i ei stigning på E6 ved Leistadåsen i Malvik.

8 Utviding av eksisterande modell

Den eksisterande modellen til Børnes og Aakre (2011) er deterministisk og nyttar grunnleggjande kinematiske likningar med utgangspunkt i at akselerasjonen i kvart tidssteg er konstant. Det er valt å nytte det same prinsippet i den vidareutvikla modellen.

I den vidareutvikla modellen vil ein prøve å modellere den tilgjengelege motoreffekten på ein meir realistisk måte ved å ta omsyn til korleis dreiemomentet til motoren varierer med turtalet. Eit døme på korleis denne varierer er vist i figur 8.2, som viser dreiemoment- og effektkurvene for ein av Volvo sine lastebilmotorar. Det mest drivstoffeffektive turtalsområdet er når dreiemomentet er maksimalt, i tydinga at forholdet mellom utnyttbar effekt og drivstoffbruk er størst. Typisk er ikkje turtalsområda for maks dreiemoment og maks effekt heilt samanfallande. Det medfører at den mest økonomiske køyremåten ikkje vil utnytte den maksimale motoreffekten.

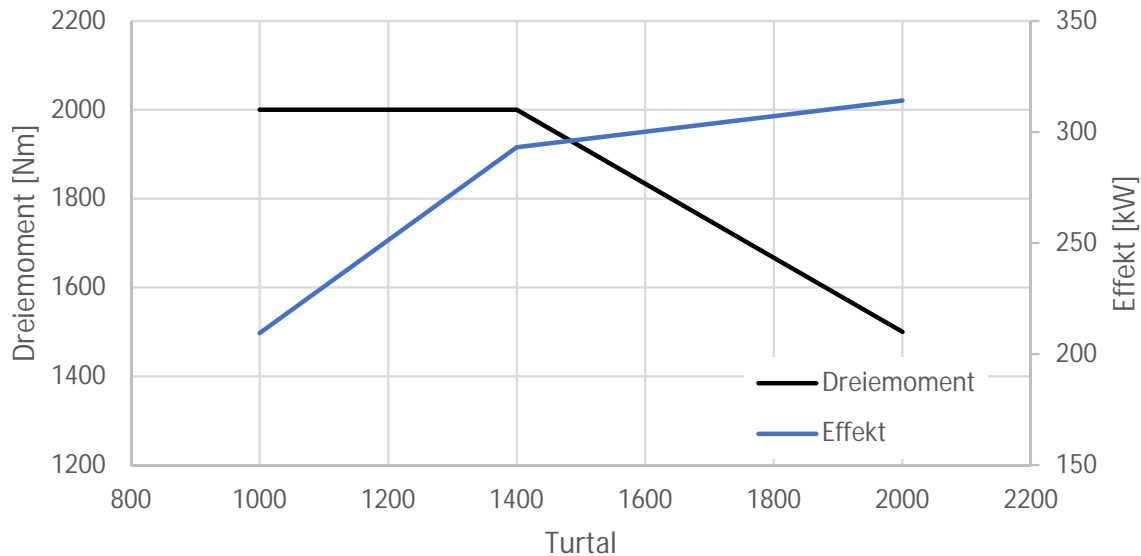
8.1 Formål med ein utvida modell

Formålet med å vidareutvikle modellen er å implementere effekt som er avhengig av turtalet. Turtalet varierer med kva fart køyretøyet har og kva gir som er i bruk. Som ein kan lese av typiske kurver for dreiemoment og effekt, varierer desse vesentleg over turtalsområdet motorane opererer i. Det er difor behov for å modellere den faktisk utnyttta effekten betre enn i den eksisterande modellen, som går ut frå at effekten er ein konstant verdi.

8.2 Implementering av variabel effekt

Som ein kan sjå av figur 8.2, kan dreiemomentkurva for denne motoren delast inn i tre område; tilnærma lineært aukande dreiemoment for turtal opptil om lag 1000 omdreiingar, konstant dreiemoment mellom 1000 og 1400 omdreiingar og tilnærma lineært minkande for turtal over 1400. Å forenkle dreiemomentkurvene på denne måten ser ut til å stemme bra også med andre lastebilmotorar, til dømes Scania sine V8-motorar (Scania, 2010). Under køyring opererer normalt lastebilmotorar på turtal over 1000, og ein kan derfor forenkle kurva til berre å bestå av den konstante delen og den lineært minkande delen, som illustrert i figur 8.1.

Sidan effekten er proporsjonal med turtalet, vil ein ikkje kunne oppnå maksimal effekt i heile det optimale turtalsområdet etter denne modellen. Det vil seie at ein modell som reknar med



Figur 8.1: *Illustrasjon av korleis ein kan modellere variabelt dreiemoment (eigenprodusert).*

at effekten er maksimal og konstant, vil overestimere tilgjengeleg effekt og dermed farten køyretøyet klarer å halde, særleg ved økonomisk køyring.

Tilgjengeleg effekt vil dermed vere avhengig av turtalet motoren har til ei kvar tid. Ved ein bestemt fart er turtalet avhengig av kva gir som er i bruk og det tilhøyrande utvekslingsforholdet. For å bruke dette i ein modell må ein etablere ein samanheng mellom fart og turtal i kvart gir. Dette er avhengig av girutvekslinga, differensialutvekslinga og hjulstorleiken. Vidare må ein bestemme punkta for girskift, altså ved kva turtal ein skiftar gir opp og ned.

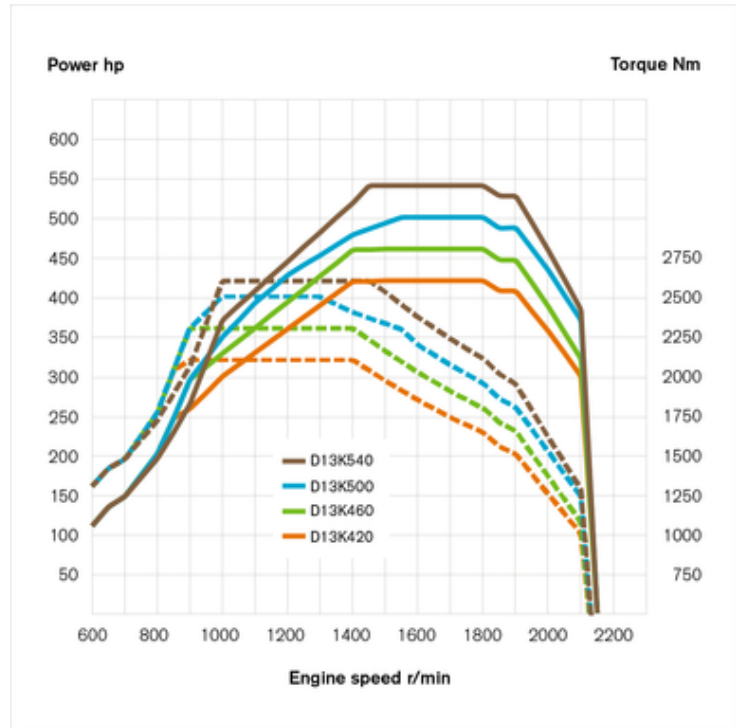
8.2.1 Samanheng mellom gir, fart og turtal

For køyring opp ei stigning der farten vert redusert, kan ein lage ein modell for turtal ut frå forholdet mellom fart og turtal i ulike gir. I same gir er utvekslingsforholdet konstant, og ein kan difor lage ein samanheng mellom turtal og fart for kvart gir ved å gjere empiriske undersøkingar. For køyring i motbakke der farten gradvis vert redusert, kan ein frå dette lage ein modell for fart og turtal berre avhengig av farten.

Forholdet mellom fart og turtal kan ein finne empirisk ved å lese av samtidige verdiar frå instrumentpanelet i køyretøyet. Dersom giret er kjent, kan ein då rekne ut turtalet ved å multiplisere farten og forholdstalet. Når turtalet er kjent, kan ein finne dreiemoment og effekt i informasjon frå produsenten. Eit døme på ei slik utrekning er vist i tabell 8.1, der effekten ved ulikt turtal er funnen frå figur 8.2.

8.2.2 Tidspunkt for girskifte

I moderne automatiske girkasser vert tidspunkta for girskifte bestemt av fleire ulike faktorar, som køyremotstand, stigning og effektinnstilling. Det er vanleg både på lette og tunge køyretøy med automatisk girkasse at ein kan velje mellom ulike program for korleis motorkrafta skal utnyttast. Dette er gjerne eit standardprogram, ein økonomisk modus og sportmodus. Økonomiprogrammet vil forsøkje å optimere forholdet mellom tilgjengeleg effekt og drivstoffbruk. Dette inneber at girkassa vil gire slik at turtalet held seg i området der motoren har maksimalt dreiemoment.



Figur 8.2: Kurve for effekt og dreiemoment for Volvo-motoren D13K540 (Volvo, 2019b).

Sportprogrammet søkjer å maksimere effektuttaket. For å oppnå dette vil motoren operere i øvre del av turtalsregisteret. Som illustrert i figur 8.1 er dreiemomentet lågare der enn for turtal i nedre del, men effekten er likevel større. Det gjer at motoren er mindre effektiv og brukar meir drivstoff på same strekning. Standardprogrammet vil prøve å balansere yting mot drivstoffbruk og vil liggje ein stad mellom økonomi- og sportprogrammet effektivitetsmessig.

Observasjonar frå Børstad-forsøket viste at automatgir-kassa gira ned når turtalet var i området 1000–1100 o/min, ved køyring i økonomimodus. Dette kan ein implementere i ein modell, enten ved å bruke eit fast turtal for nedgiring eller ei turtalsgrense for kvart gir.

8.3 Integrering i eksisterande reknearkmodell

Den eksisterande modellen reknar ut akselerasjon og fart i kvart tidssteg ut frå effekten som er tilgjengeleg til framdrift. Ein måte å integrere variabel effekt i den eksisterande modellen på er å etablere ein samanheng mellom fart og effekt, slik at modellen i kvart tidssteg hentar ut den tilgjengelege effekten frå ein tabell, etter prinsippet i tabell 8.1.

For meir avansert modellering kan ein også tenkje seg ein metode der turtalsgrensene for girskifte er avhengige av den gjeldande stigninga, som ligg nærmare måten automatiske girkasser fungerer på. Denne metoden er ikkje prøvd ut i denne oppgåva, men er verdt å sjå vidare på.

Fart [km/t]	Gir	Forhold turtal–fart	Turtal	Effekt [kW]
80	12	15,3	1224	334
79	12	15,3	1209	331
78	12	15,3	1193	328
...	12	15,3
72	12	15,3	1102	309
71	11	19,4	1377	382
70	11	19,4	1358	375
69	11	19,4	1339	368
...	11	19,4
55	11	19,4	1067	269
54	10	23,9	1291	353
53	10	23,9	1267	347
52	10	23,9	1243	340

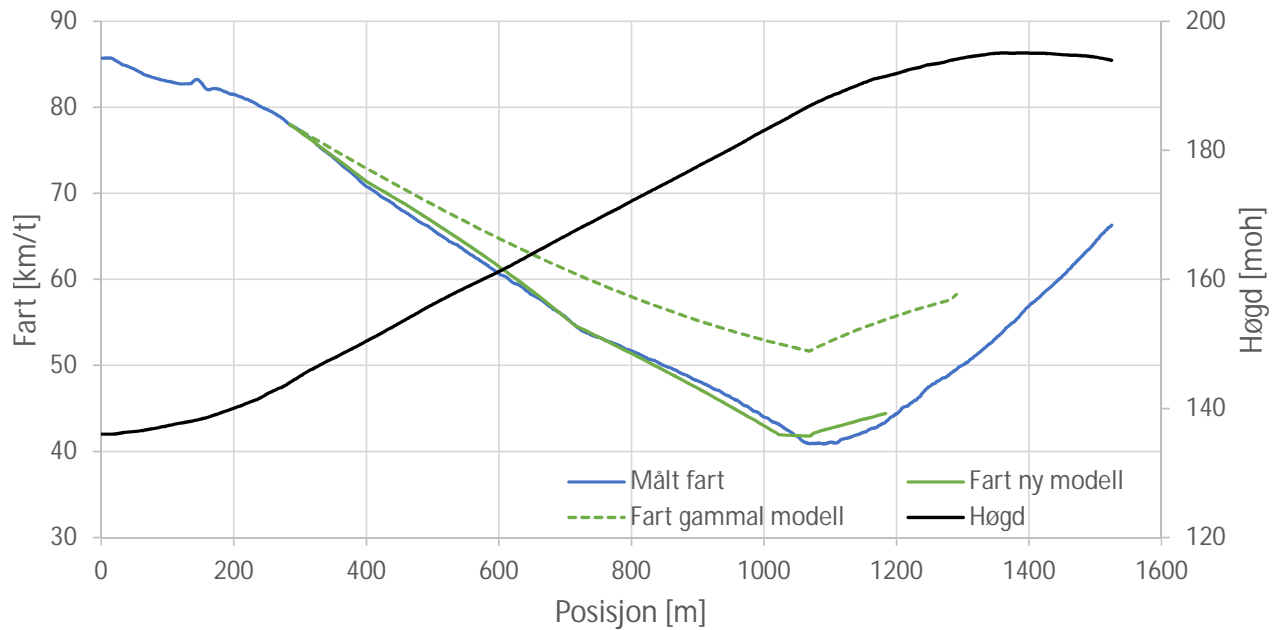
Tabell 8.1: Døme på variabel effekt som funksjon av farten. Data frå Børstad-forsøket.

8.4 Døme frå testtur med Børstad

Som eit døme på korleis den utvida modellen fungerer, er det gjort modellberekningar for ei strekning frå forsøksturen med Børstad (kapittel 7.3). I modellen er turtalsverdiane for girskifte dei same som dei som vart observerte under forsøket. Forholdet mellom turtal og fart i kvart gir vart lese av under forsøket.

Det er gjort berekningar både med den nye modellen med variabel effekt og den eksisterande modellen med konstant effekt. Først vart den nye modellen køyrd med standard parameterverdier. Deretter vart rullemotstandskoeffisienten f nedjustert til 0,006 for å passe betre med den målte farten. Rullemotstandskoeffisienten for lastebil ligg typisk mellom 0,006 og 0,01, så ein slik verdi verkar rimeleg (Robert Bosch GmbH, 2007, s. 430). Dei fullstendige inndataverdiane er gjevne i vedlegg A.

Den eksisterande modellen vart så køyrd med dei same parameterverdiane som den nye modellen. Utnyttingsgraden er sett til 100 % for heile strekninga i begge modellutrekningane. Vertikalprofilen i modellane er oppbygd av fem rettstrekningar med konstant stigning som verkar å liggje nærme den faktiske kurvaturen. For å redusere uvisse knytt til fartsutviklinga



Figur 8.3: *Samanlikning av ny og gammal modell for Leistadåsen.*

i botnen av bakken er modellen køyrd frå starten av den brattaste delen av bakken. Denne er tilnærma rettlinja i vertikalkurvaturen og har ei stigning på 5,5 %. Uvissa er knytt til måten sjåføren akselererte på i overgangen frå utforbakke til motbakke, i tillegg til ei bru over vegen i botnen av bakken som kan ha forstyrre satelittmottaket der.

Dei berekna fartsprofilane frå modellkøyringane er viste i figur 8.3. Fartsprofilen frå den nye modellen har ei form som ligg ganske nærme kurva til den målte farten, og ein kan tydeleg sjå effekten av girskift og fallande turtal. Den eksisterande modellen overestimerer farten for heile stigninga, men størst skilnad er det mot toppen av bakken. Forma på kurva er også grunnleggjande annleis. Medan kurva for målt fart er stegvis konkav, har heile den modellerte kurva ei konveks form.

Ein ser også tydeleg påverknaden av den variable effekten i den nye modellen, sidan minimumsfarten er om lag 10 km/t lågare enn i den gamle modellen. Påverknaden på fartsprofilen ser dermed ikkje ut til å vere neglisjerbar. Dette er likevel berre resultatet frå éi strekning, og validiteten til modellen er dermed usikker. For å seie noko meir om dette må ein gjennomføre fleire forsøk som ein kan kalibrere og validere modellen mot. Men det tener som eit døme på konseptet og antydgar at variabel effekt er noko som bør undersøkjast nærmare.

8.5 Avgrensingar i modellen

Forslaget til ein utvida modell forsøkjer å forbetre eitt forhold ved den eksisterande modellen: modelleringa av motoreffekten. Modellen reknar ut eit teoretisk fartsprofil for eit enkeltståande køyretøy basert på vertikalkurvaturen til vegen og grunnleggjande eigenskapar ved køyretøyet. I realiteten er det mange andre forhold som verkar inn på det endelege resultatet. Det kan tenkjast at separate modellar for kvar av desse forholda kan kombinerast, ved at eitt av forholda vil vere det mest avgrensande. Dei neste avsnitta nemner nokre av dei viktigaste momenta denne modellen ikkje tek omsyn til og korleis dei vil kunne påverke resultatet.

8.5.1 Horisontal veggeometri

I tillegg til stigning og den vertikale utforminga av vegen spelar horisontalgeometrien inn på fartsprofilen til køyretøyet. Mindre horisontalkurveradius fører til at sideakselerasjonen aukar, noko som vil avgrense farten køyretøy kan halde gjennom svingen. I skarpe horisontalkurver vil også ein del energi gå med til å endre køyreretning, slik at mindre energi er tilgjengeleg til framdrift.

8.5.2 Trafikk

Modellen er gyldig i dei situasjonane der køyretøyet kan køyre upåverka av andre trafikantar. I mange tilfelle vil det likevel vere annan trafikk som påverkar fartsvalet til det modellerte køyretøyet. Dette kan til dømes vere saktegåande køyretøy eller forstyrringar frå køyretøy som køyrer forbi. Sidan trafikken varierer over tid og stad, må ein ofte nytte trafikksimuleringar for å kunne inkludere denne faktoren i modellen.

8.5.3 Fartsgrense

Den eksisterande modellen har *maksfart* som ein mogleg inngangsparameter, som gjerne representerer fartsgrensa på strekninga. Likevel varierer det korleis ulike sjåførar forhold seg til denne, ved at nokre køyrer under og andre over fartsgrensa, noko som gjer bildet meir komplisert. Aksepten for fartsgrensa vil også avhenge av vegtypen, omgjevnadane og andre lokale forhold.

8.5.4 Vêr og føre

Temperatur, nedbør, snø- og isdekke og sikt er alle forhold som vil påverke køyretøyet. Lågare friksjon vil kunne redusere farten av omsyn til bremselengd og redusere veggrepet i motbakkar. I tillegg aukar rullemotstanden når vegen er våt eller er dekt av snø eller is. Temperaturen vil også kunne redusere effektiviteten til motorar, slik at mindre av effekten er tilgjengeleg til framdrift.

8.5.5 Andre forhold ved vegen

Andre forhold som kan påverke fartsprofilen, er kvaliteten på vegdekket og vegbreidda. Ei ujamn og holete vegoverflate vil både auke rullemotstanden og redusere farten av omsyn til slitasje og passasjerkomfort. Vegbreidda vil også påverke farten, særleg for tunge køyretøy som krev ein større del av vegen. Vegen kan til dømes vere så smal at farten må reduserast ved passering av andre køyretøy.

9 Oppsummering

Formålet med denne oppgåva har vore å forbetre modellen til Børnes og Aakre (2011) gjennom å implementere variabel effekt. Under dette formålet vart desse forskingsspørsmåla definerte:

- *Korleis kan ein logge motordata frå tunge køyretøy under køyring?*
- *Kan ein oppnå eit meir realistisk fartsprofil ved å modellere motoreffekten meir nøyaktig?*

Prosjektet har kartlagt ulike metodar for å logge motordata frå tunge køyretøy, der kvar har sine fordelar og ulemper. OBD-II-protokollen har den fordel at det fysiske grensesnittet er standardisert og tilgjengeleg i dei fleste nyare køyretøy, men samtidig varierer det mellom køyretøymodellane kva data som er tilgjengelege, og om CAN-bussen er kopla til OBD-porten. FMS-protokollen er eit tilval på nye køyretøy, som leverer standardiserte data til flåtestyringssystem etter J1939-standarden. Undersøkingane som er gjort, tyder på at dataa i denne protokollen i stor grad er dei same, men med noko variasjon. utfordringane med å bruke dette alternativet, er at den fysiske porten ikkje er standardisert og at plasseringa av denne kan variere avhengig av merke. I tillegg kan porten vere plassert på vanskeleg tilgjengelege stader i køyretøyet, som vanskeleggjer logging frå køyretøy i normal trafikk.

Det eksisterer utstyr for logging av motordata frå tunge køyretøy, men utfordringa ligg i at måten data er koda på, varierer stort mellom ulike køyretøymerke og -modellar. Enkle OBD-II-adapterar som fungerer i personbil, kan ikkje nyttast direkte i tunge køyretøy på grunn av skilnaden i driftsspenning. Lastebilforsøket med logging av motordata med Video VBOX Pro viste at det er mogleg å få hente ut rådata frå køyretøyet, men at utfordringa ligg i å tolke desse dataa. Dei ulike signala må dekodast, og tilhøyrande komponent i køyretøyet må identifiserast. Sjølv om tolkinga i dette forsøket ikkje var vellykka, tyder signala frå utstørsleverandøren på at dette bør vere mogleg å få til i framtidige forsøk.

Børstad-forsøket gav nyttige resultat, der det var mogleg å observere effekten av giring og fallande turtal under køyring i bratte motbakkar. Med direkte tilgang til data om gir og turtal kunne ein ha drege sikrere konklusjonar, men den manuelle registreringa av gir og turtal gav likevel indikasjonar på at ein meir detaljert modell av motoreffekten er hensiktsmessig.

Til slutt vart det utvikla ein fungerande modell for ei av teststrekningane i forsøket. Fartsprofilen frå denne samsvarte godt med den målte farten. Det var også stor skilnad mellom fartsprofilen frå den nye og den gamle modellen, med same parameterverdiar. Den utvida modellen er basert på eit lite datagrunnlag og dei nøyaktige parameterverdiane for luft- og rullemotstand er ikkje kjende, men den relative skilnaden mellom modellane tyder på at det kan vere hensiktsmessig å modellere motoreffekten på denne måten.

9.1 Vidare arbeid

I denne oppgåva er det kartlagt fleire metodar som kan vere aktuelle for logging av motordata, men tidsramma til prosjektet sette avgrensingar for omfanget av praktiske forsøk. Prosjektet har likevel gjeve ei oversikt over moglege framgangsmåtar som framtidige studiar bør utforske nærmare. Det finst også andre metodar for datalogging som ikkje har vore utforska. Dette inkluderer til dømes å tilpasse OBD-adapterar for personbil til bruk i lastebil.

Prosjektet har særleg hatt utfordringar med å tolke data frå tunge køyretøy. Video VBOX klarte å hente ut CAN-data frå lastebil, men prosjektgruppa lykkast ikkje i å tolke desse. Det verkar å vere ein lovande metode, men det er behov for studiar som går lenger i å analysere dataa.

Den føreslåtte modellen i kapittel 8 er kalibrert etter ein enkelt tur og har såleis eit svakt datagrunnlag. For å vurdere validiteten av modellen er det nødvendig med fleire forsøk, i fleire stigningar og med ulike køyretøy. Dette er også nødvendig for å avgjere om modellen kan generaliserast til andre køyretøymerke og -modellar.

Den eksisterande modellen tek berre omsyn til fysiske eigenskapar ved det modellerte køyretøyet og vertikalkurvaturen på strekninga, som omtalt i kapittel 8.5. Ved å ta omsyn til fleire forhold kan ein oppnå ein meir generell køyretøymodell som er gyldig for fleire situasjonar og lengre strekningar enn den eksisterande modellen.

Referansar

- Archilla, Adrián og Arístides De Cieza (1996). «Truck performance on Argentinean highways». I: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 45.1555, s. 114–123.
- Arellano, Daniela, Tomás Echaveguren og Sergio Vargas-Tejeda (2014). «A model of truck speed profiles on short upward slopes». I: *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport*. Bd. 168. 5. Thomas Telford Ltd, s. 475–483. DOI: 10.1680/tran.13.00012.
- Barreto, Victor og Paul Ciolek (2017). *What is OBD II? History of On-Board Diagnostics*. URL: <https://www.geotab.com/blog/obd-ii/> (Henta: 04.10.2019).
- Bester, Christo (2000). «Truck speed profiles». I: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1701, s. 111–115.
- Børnes, Vilhelm og Arvid Aakre (2011). «Description, validation and use of a model to estimate speed profile of heavy vehicles in grades». I: *Procedia-social and behavioral sciences* 16, s. 409–418.
- CSS Electronics (2018). *CAN DBC File - Convert Data in Real Time (Wireshark, J1939)*. URL: <https://www.csselectronics.com/screen/page/dbc-database-can-bus-conversion-wireshark-j1939-example/language/en> (Henta: 16.05.2019).
- (2019). *CAN Bus Explained - A Simple Intro (2019)*. URL: <https://www.csselectronics.com/screen/page/simple-intro-to-can-bus/language/en> (Henta: 05.04.2019).
- Google (2019). *Torque Pro (OBD 2 and Car) - Apps on Google Play*. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=org.prowl.torque%7B%5C%7Dhl=en>.
- Grøn, Øyvind (2018). *luftmotstand – Store norske leksikon*. URL: <https://snl.no/luftmotstand> (Henta: 23.05.2019).
- Inventure Automotive (2013). *FMS STANDARD - Glossary*. URL: <https://www.inventure-automotive.com/glossary/fms-standard> (Henta: 11.04.2019).
- Kartverket (2019). *Norgeskart*. URL: <https://www.norgeskart.no> (Henta: 04.04.2019).
- Kvaser (2007). *J1939 Introduction*. URL: <https://www.kvaser.com/about-can/higher-layer-protocols/j1939-introduction/> (Henta: 16.05.2019).
- Lan, Chang-Jen og Monica Menendez (2003). «Truck speed profile models for critical length of grade». I: *Journal of Transportation Engineering* 129.4, s. 408–419.
- National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation og Timing (2017). *GPS.gov: GPS Accuracy*. URL: <https://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/> (Henta: 01.04.2019).
- OBDDKey (2016). *OBDDKey*. URL: http://www.obdkey.com/images/obdkey%7B%5C_%7Dbest%7B%5C_%7Dres.jpg.

- Racelogic (2018[a]). *Data Loggers - VBOX — Vehicle Speed & Distance Measurement*. URL: <https://www.vboxautomotive.co.uk/index.php/en/products/data-loggers> (Henta: 16.12.2018).
- (2018[b]). *Video VBOX Pro 20Hz*. URL: <https://www.vboxmotorsport.co.uk/store/image/cache/catalog/VVBPro-500x500.jpg> (Henta: 16.12.2018).
 - (2018[c]). *Video VBOX Pro - Technical Specs*. URL: http://racelogic.co.uk/%7B%5C_%7Ddownloads/Technical%7B%5C_%7Dspecs/VIDEO%20VBOX%20PRO%20-%20Technical%20Specs.pdf (Henta: 16.12.2018).
- Rakha, Hesham og Ivana Lucic (2002). «Variable Power Vehicle Dynamics Model for Estimating Truck Accelerations». I: *Journal of Transportation Engineering* 128.5, s. 412–419. ISSN: 0733-947X. DOI: 10.1061/(asce)0733-947x(2002)128:5(412).
- Rakha, Hesham, Ivana Lucic *et al.* (2001). «Vehicle dynamics model for predicting maximum truck acceleration levels». I: *Journal of transportation engineering* 127.5, s. 418–425.
- Rakha, Hesham og Bin Yu (2004). «Truck performance curves reflective of truck and pavement characteristics». I: *Journal of transportation engineering* 130.6, s. 753–767. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2004)130.
- Reimpell, Jornsens, Helmut Stoll og Jurgen Betzler (2000). *The Automotive Chassis: Engineering Principles*. 2nd editio. Butterworth-Heinemann.
- Robert Bosch GmbH (2007). *Automotive Handbook*. Red. av Karl-Heinz Dietsche og Maria Klingebiel. 7th editio. John Wiley & Sons Ltd.
- Scania (2010). *New Scania V8 truck range*. URL: https://www.scania.com/group/en/wp-content/uploads/sites/2/2015/09/P10401EN-New-V8-truck-range%7B%5C_%7Dtcm40-189162.pdf.
- Statens vegvesen (2019). *Nasjonal vegdatabank (NVDB)*. URL: <https://www.vegvesen.no/fag/teknologi/nasjonal+vegdatabank> (Henta: 04.04.2018).
- Volvo (2019a). *Dynafleet – Save Fuel And Reduce Costs — Volvo Trucks*. URL: <https://www.volvotrucks.no/no-no/services/fleet-management.html> (Henta: 03.05.2019).
- (2019b). *Volvo FH – Drivlinjespesifikasjoner — Volvo Trucks*. URL: <https://www.volvotrucks.no/no-no/trucks/volvo-fh/specifications/powertrain.html> (Henta: 20.05.2019).
 - (udatert). «Tailoring your Volvo FL». I: URL: <http://www.volvotrucks.com/Site%5C-CollectionDocuments/VTC/Market/Trucks/volvo-fl-2013/pdf/specifications/Volvo%20FL-Specifications-UK.pdf>.
- Wikipedia (2019). *On-board diagnostics*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/On-board%7B%5C_%7Ddiagnostics (Henta: 10.04.2019).

Vedlegg A Grunnlagsdata modell Leistadåsen

GRUNNLAGSDATA (gule (og grønne) felt kan endres):

Kommentar:	Modell				
Tidsintervall	deltaT	0,5	sekund	Brukes for å formattere grafen	
Tyngdeakselerasjon	g	10	m/s ²		
Tetthet luft	rho	1,20	kg/m ³	Ved vanlig temperatur og trykk	
Vindhastighet	v0	0,0	m/s	(+ = motvind)	
Rullemotstand	f	0,006		Typisk område 0.010 - 0.020	
Luftmotstand	cw	0,60		Personbil 0.30-0.50, lastebil 0.50 - 0.70	
Areal	A	8,0	m ²	Personbil ca 2 m ² , lastebil ca 8 m ²	
Startavstand	x1	0,0	meter	For grafisk framstilling	
Starthøyde	h1	136,0	meter	For grafisk framstilling	
Starthastighet	v1	78	km/t		
Maxhastighet	v_max	80	km/t		
Max akselerasjon	a_max	3,0	m/s ²	KLADD - ulike mål for effekt	
Masse	m	50000	kg	Dreiemoment	
Maks effekt	P_max	397,0	kW	Turtall	
Tilsvarende i HK		539,9	HK	Effekt	
Masse / effekt forhold		125,9	kg/kW	Tilsvarende i HK	
		92,6	kg/HK		
Effekt / masse forhold		7,94	W/kg	Effekt i HK	
		10,80	HK/tonn	Tilsvarende i kW	
				540,0 HK	
				397,1 kW	
Tidsforbruk	Let	899	meter	78,0 km/t	41,5 sek
	Tung	899	meter	53,9 km/t	60,0 sek
					18,5 sek

Angi utnyttelse av effekten for hver delstrekning i tabellen under

Delstrekninger:	stigning	lengde			høyde	utnyttelse	utnyttet
	S	L	fra	til	H	grad	effekt
	prosent	meter	meter	meter	meter	prosent	Watt
1	5,5	783	0	783	43,1	100	397000
2	3,3	211	783	994	7,0	100	397000
3	1,0	100	994	1094	1,0	100	397000
4			1094	1094	0,0	100	397000
5			1094	1094	0,0	100	397000
Sum		1094			51,0		

Figur A.1: Inngangsdata for beregning av fartsprofil for Leistadåsen i kapittel 8.

