

Jakob Kogstad og Simen Wrige Nygaard

# Modellering av tunge kjøretøy i stigninger

TBA4542 Transport, fordypningsprosjekt  
Porsgrunn, 19. desember 2020



# Sammendrag

Dette er en prosjektrapport som er utarbeidet i forbindelse med emnet *TBA4542 Transport, fordypningsprosjekt* ved Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet - NTNU. Formålet til prosjektrapporten er å gi en introduksjon, samt legge et grunnlag for videre arbeid med masteroppgave i kommende semester. Prosjektoppgaven er bygget opp av et litteratursøk i form av en «State of the Art», utarbeidelse av forskningsspørsmål og en metodeplan.

Arbeidet er motivert av en interesse for veg- og trafikktekniske forhold, tyngre kjøretøy, databehandling og praktisk anvendelse av teoretiske modeller. Det er tidligere ved NTNU blitt utviklet en hastighetsmodell for tunge kjøretøy i motbakke. Av litteratursøket kommer det frem at det er muligheter for optimalisering av hastighetsmodellen ved bruk av motorloggerdata og GPS-data fra reelle kjøreturer med tyngre kjøretøy.

Det er blitt utført pilotforsøk med tilgjengelig loggerutstyr på personbiler som viser lovende resultater for motorlogging og datauttak. Neste steg blir å utføre tilsvarende pilotforsøk på tyngre kjøretøy før mer målrettet datainnsamling kan igangsettes, etterfulgt av databehandling, implementering og optimalisering av eksisterende hastighetsmodell.

En mer presis hastighetsmodell gir bedre forutsetninger for anvendelse innenfor en rekke områder. Vegutforming, drivstofforbruk, ytelse, miljømessige påvirkninger, reisetidsberegninger og LCA-analyser er blant de potensielle anvendelsesområdene for en slik hastighetsmodell.

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>i</b>
<b>1 Introduksjon</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrunn . . . . .	1
1.2 Hensikten med prosjektrapporten . . . . .	1
<b>2 Litteratursøk</b>	<b>2</b>
2.1 Hensikten med litteratursøk . . . . .	2
2.2 Type litteratursøk . . . . .	2
<b>3 State of the Art</b>	<b>3</b>
3.1 Gjeldende praksis for vegutforming . . . . .	3
3.2 Bakgrunn for modellering av kjøretøy . . . . .	5
3.2.1 Motorkraft . . . . .	5
3.2.2 Hastighet og turtall . . . . .	5
3.2.3 Kjøretøydynamikk og drivkrefter . . . . .	5
3.2.4 Akselerasjon . . . . .	6
3.2.5 Kjøremotstand . . . . .	6
3.2.5.1 Luftmotstand . . . . .	6
3.2.5.2 Rullemotstand . . . . .	7
3.2.5.3 Stigningsmotstand . . . . .	8
3.3 Logging av tyngre kjøretøy . . . . .	9
3.3.1 CAN-protokollen og SAE J1939-standard . . . . .	9
3.3.2 Loggerinstrumenter . . . . .	10
3.3.2.1 GPS-logging med VBOX fra Racelogic . . . . .	10
3.3.2.2 Motorlogging med CANedge1 fra CSS Electronics . . . . .	11
3.4 Modellen til Børnes og Aakre . . . . .	12
3.5 Tidligere arbeid med modellen . . . . .	15
3.5.1 Opstad, 2015 . . . . .	15
3.5.2 Nesdal, 2019 . . . . .	15
<b>4 Forskningsspørsmål</b>	<b>17</b>
<b>5 Metodeplan</b>	<b>18</b>
5.1 Introduksjon . . . . .	18
5.2 Forberedelsesfasen . . . . .	18
5.2.1 Pilotforsøk med lette kjøretøy . . . . .	18
5.2.2 Pilotforsøk med tyngre kjøretøy v/ NTNU . . . . .	19
5.3 Datainnsamling . . . . .	20
5.4 Datauttak og analyse . . . . .	20
5.5 Utvidelse av eksisterende modell . . . . .	20
<b>6 Budsjett og tidsplan for masteroppgaven</b>	<b>21</b>
6.1 Budsjett . . . . .	21
6.2 Tidsplan . . . . .	21
<b>Scientific abstract</b>	<b>22</b>

## Figurer

3.1	Eksempel med regnearkmodell for forbikjøringsfelt i stigning [Vegdirektoratet, Statens vegvesen 2019a]	4
3.2	Relative lufthastigheter mot kjøretøy [Schramm, Hiller og Bardini 2014]	7
3.3	VBOX Mini [Racelogic 2020a]	10
3.4	Loggerinstrumentet CanEdge1 [CSS Electronics 2020b]	11
3.5	Adapterkabel av type 2 [CSS Electronics 2020c]	11
3.6	Datagang fra logging til fremstilling [CSS Electronics 2020d]	12
3.7	Skjerm bilde av et eksempel med inndata til hastighetsmodell [Børnes og Aakre 2011]	14
3.8	Skjerm bilde av et eksempel med predikert hastighetsprofil fra hastighetsmodell [Børnes og Aakre 2011]	15
3.9	Implementering av variabel motoreffekt i hastighetsmodell [Nesdal 2019]	16
5.10	Uthentet data fra pilotforsøk med personbil	19
5.11	Kart med logget GPS-data fra pilotforsøk med VBOX mini	19
6.12	Gantt-diagram med oppgaver og tidshorisont for masteroppgaven	21

## Tabeller

3.1	Dimensjonerende verdier som inngår i beregning av akselerasjon for vogntog [Vegdirektoratet, Statens vegvesen 2019b]	3
3.2	Utvalg av kjøretøytyper med dragkoeffisient, $C_D$ [Rakha mfl. 2001]	7
3.3	PGN-data [Copperhill technologies 2020]	9
3.4	SPN-data [Copperhill technologies 2020]	10
3.5	CSS Electronics' CANedge1, tekniske spesifikasjoner [CSS Electronics 2020a]	11
3.6	Passive inputparametere for hastighetsmodell [Børnes og Aakre 2011]	13
3.7	Dynamiske inputparametere for hastighetsmodell [Børnes og Aakre 2011]	13
6.8	Budsjett for prosjekt- og masteroppgaven	21

## Vedlegg

Vedlegg 1 - Teknisk skriv - loggerustyrstilkobling i lastebil	I
Vedlegg 2 - Tidsplan for masteroppgaven	III
Vedlegg 3 - Litteratursøk	V

# 1 Introduksjon

## 1.1 Bakgrunn

For å ha et forutsigbart trafikkbilde er det viktig å opprettholde den oppgitte kapasiteten på vegnettet. Et forutsigbart trafikkbilde gir økt sikkerhet, muliggjør effektiv ruteplanlegging og sørger for et pålitelig tilbud for brukerne.

På det norske vegnettet er den foretrukne fraktmetoden ofte med lastebiler og trailere grunnet tilgjengelighet, lavest kostnad, mindre behov for varelager og rask levering. Industri og bosetning ligger spredt, og topografien i Norge gjenspeiles i vegnettet med liten radius i kurvene og store høydeforskjeller. Vegene i de mer rurale områdene av landet er stort sett tofeltsveger med varierende kvalitet. Disse krevende forholdene gjør det vanskelig for tungt lastede kjøretøy å opprettholde fartsgrensen. Motstandskreftene i stigninger med høy gradient overgår i mange tilfeller de tilgjengelige motorkreftene, og hastigheten vil avta. Dette fører til redusert kapasitet på vegnettet, særlig på tofeltsveger, som ikke er bærekraftig.

Det er blitt utarbeidet en hastighetsmodell for tyngre kjøretøy i stigning, som legger grunnlaget for beregningsmodellen Statens vegvesen benytter for dimensjonering av forbikjøringsfelt. Modellen benytter flere faste inngangsparametere sammen med fysiske lover for å beregne teoretisk hastighet i punkter langs stigningen. Det eksisterer muligheter for å optimalisere denne hastighetsmodellen ved bruk av reelle motordata. En utvidet hastighetsmodell kan føre til mer nøyaktig teoretisk modellering som gir et bedre vurderingsgrunnlag for geometrisk utforming av veger.

## 1.2 Hensikten med prosjektrapporten

Prosjektrapporten kan betraktes som et forprosjekt for masteroppgaven. Arbeidet som har inngått i prosjektoppgaven har vært å finne et ønsket fagområde for fordypning, gjennomgang av relevant litteratur, avdekking av kunnskapshull og formulering av forskningsspørsmål. Metode for gjennomføring av masteroppgaven er også presentert i prosjektoppgaven. I løpet av semesteret er det blitt tilbudt supplerende seminarer med ulike tema det er nyttig å sette seg inn i, før et mer omfattende akademisk arbeid tas fatt på. Hensikten er å ha gjort et forarbeid for å lette inngangen i masteroppgaven.

## 2 Litteratursøk

Størsteparten av arbeidsmengden i prosjektoppgaven er lagt i litteratursøk med presentasjon av relevant litteratur, som gjenspeiles i innholdet. Prosessen startet tidlig og har vært pågående gjennom store deler av prosjektoppgavens tidsramme.

### 2.1 Hensikten med litteratursøk

Ulike tilnærminger og viktigheten av litteratursøk ble tidlig presentert og fremhevet under prosjektemnets seminarer. Et viktig læringsmoment er prosessen rundt litteratursøk isolert sett, med fokus på søkemetoder, filtrering og evaluering av litteratur.

Litteratursøk skal benyttes for å gi en oversikt over eksisterende litteratur for valgt tema. Funnene fra litteratursøkene danner et grunnlag for å presentere en «State of the Art», en oversikt over hvor forskningen står i dag sett opp mot valgt fokusområde. Presentasjonen av relevant litteratur gir grobunn for identifisering av aktuelle kunnskapshull som spiller inn på utforming av forskningsspørsmål.

### 2.2 Type litteratursøk

Som en del av faget *TBA4128 Prosjektledelse VK* ved NTNU er det gjort et litteraturstudium for problemstillingen som er valgt. Målet med litteraturstudiet var å oppnå en forståelse for søkemetodikk og kildekritikk. Litteratursøket i sin helhet med beskrivelse av metodikk og de åtte vurderte kildene er vedlagt i vedlegg 3. De åtte kildene er et utvalg av søkeresultatene som omhandler oppgavens tematikk. Kildene er en kombinasjon av tips fra veileder, avgrensede søk i søkemotorer og snowballing. Den samme metodikken er blitt anvendt for andre kilder som er benyttet i prosjektoppgaven, selv om de ikke er direkte fremlagt i den eksterne rapporten fra litteratursøket.

## 3 State of the Art

### 3.1 Gjeldende praksis for vegutforming

Håndbok N100 Veg- og gateutforming stiller krav til forbikjøringsfelt i stigning. Hensikten er å ivareta et jevnt fartsnivå, derfor skal forbikjøringsfelt vurderes hvor hastighetsdifferansen mellom tunge og lette kjøretøy blir for stor. [Vegdirektoratet, Statens vegvesen 2019a] Hastighetsdifferansen som kategoriseres som for stor og dermed utløser et behov for forbikjøringsfelt, er satt til 15 km/h. Forbikjøringsfeltet bør avsluttes når fartsdifferansen er nådd 10 km/h. Dette gjelder på vegstrekker hvor antall tunge kjøretøy per døgn er minst 400. Det presiseres at i stigninger med positiv helning skal det benyttes en regnearkmodell for beregning av lengden på forbikjøringsfeltet.

Regnearkmodellen som det refereres til i håndbok N100 benytter fysiske lover for å beregne hastigheten til et tungt kjøretøy i motbakke, for så å anslå start og sluttunkt for et forbikjøringsfelt basert på hastighetsdifferansen mellom det tunge kjøretøyet og fartsgrensen. Hastigheten beregnes i tidsintervaller ut i fra kraftlikevekt mellom kjøretøyet drivkrefter og kjøremotstand. Stigningen som det skal beregnes for kan oppdeles i inn-til 10 delstrekker. Modellen har i prinsippet lik oppbygning som modellen til Børnes og Aakre som er beskrevet i kapittel 3.4. En viktig forskjell mellom modellene er de ulike inngangsparameterene som kan velges. I modellen beskrevet i håndbok N100 er en rekke parametere fastsatt ut i fra dimensjonerende forhold. Dimensjonerende verdier for tyngre kjøretøy (vogntog) i modellen finnes i håndbok V120 Premisser for geometrisk utforming av veier [Vegdirektoratet, Statens vegvesen 2019b], og er gjengitt i tabell 3.1. Et eksempel med bruk av modellen kan er lagt ved i figur 3.1.

Parameter	Enhet	Verdi
Rullestand	-	0,015
Luftmotstand	-	0,6
Areal, front	$m^2$	8,0
Masse	$kg$	40 000
Motoreffekt	$kW$	360
Utnyttelsesgrad	%	95

**Tabell 3.1:** Dimensjonerende verdier som inngår i beregning av akselerasjon for vogntog [Vegdirektoratet, Statens vegvesen 2019b]

# FORBIKJØRINGSFELT I STIGNING

Regneark for beregning av forbikjøringsfelt i stigninger

Versjon 1.0 / 2012-12-12

## Forenklet stigningsforløp:

Stigningsforløpet forenkles til opptil 9 delstrekninger, iht beskrivelse i håndbok 265. Delstrekningenes stigning og lengde settes i tabellen.

	Stigning [%]	Lengde [m]
L1	0,0	400
L2	3,5	400
L3	7,0	600
L4	3,5	400
L5	0,0	1000
L6		
L7		
L8		
L9		

Fartsgrense

Vf 80 km/t

Fartsgrensen på vegen

Startfart (valgfritt)

V1 km/t

Hvis startfarten er ulik fartsgrensen, tast inn verdi.

Kritisk fartsdifferanse

$\Delta V_{k,start}$  15 km/t

Jmfr. Håndbok 265

$\Delta V_{k,slutt}$  10 km/t

Startprofil (valgfritt)

x1 0,0 m

Profilnummer ved starten av L1.

Starthøyde (valgfritt)

h1 633,2 m.o.h.

Høyde ved starten av L1.

Antall sekunder

T 200,0 sek.

Modellens beregningstidsrom

Punkt A der farten < 65 km/t inntreffer etter:

887 m

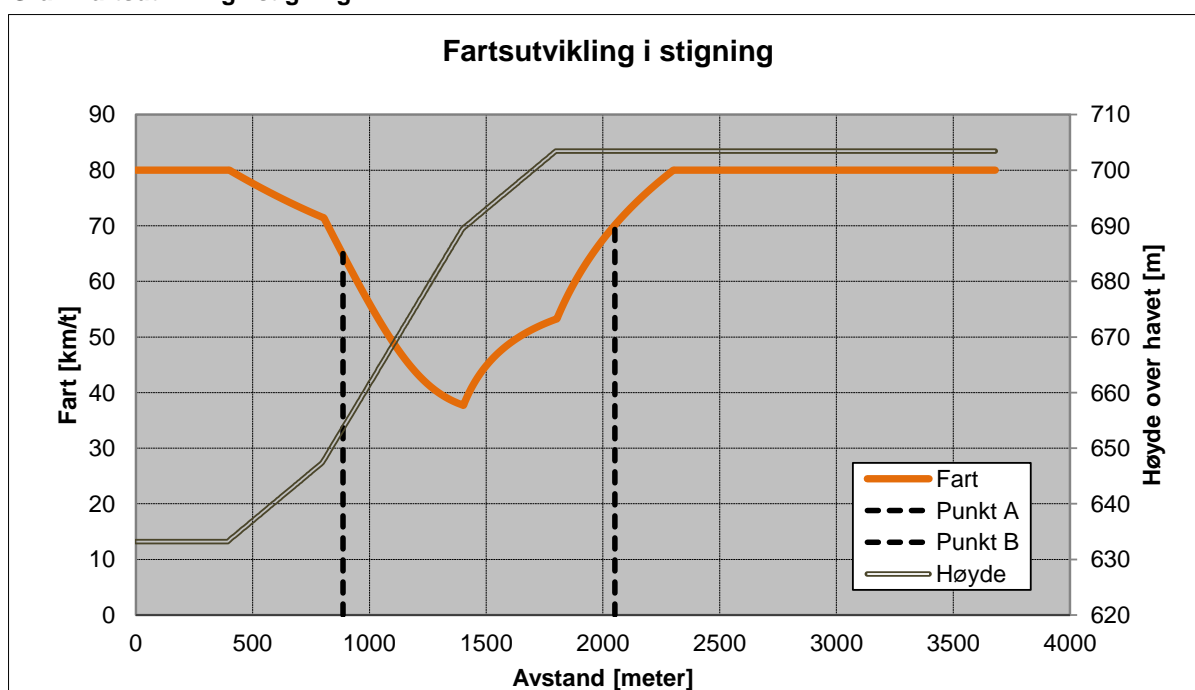
Punkt B der farten ≥ 70 km/t inntreffer etter:

2051 m

Forbikjøringsfeltets lengde, minimum:

1164 m

Graf: Fartsutvikling i stigning



**Figur 3.1:** Eksempel med regnearkmodell for forbikjøringsfelt i stigning [Vegdirektoratet, Statens vegvesen 2019a]



## 3.2 Bakgrunn for modellering av kjøretøy

Ved matematisk modellering av hastigheten til et objekt må de fysiske kreftene som har påvirkning kunne kvantifiseres og beskrives med tall. Grunnleggende fysiske formler for ulike fenomener nyttes for å gi et mest mulig realistisk bilde. For å modellere et kjøretøy i bevegelse kan de fysiske bidragene avgrenses til to overordnede hovedgrupper, drivkrefter som gir et positivt bidrag i bevegelsesretningen og motstandskrefter som gir et negativt bidrag i bevegelsesretningen. Motstandskreftene som virker på et kjøretøy omtales mer spesifikt som kjøremotstand.

Som Andreas Nesdal i sin masteroppgave [Nesdal 2019] er det valgt å benytte håndboka fra Robert Bosch [Robert Bosch GmbH 2007] for å beskrive drivkreftene til et kjøretøy. Formlene presentert i de neste delkapitlene er hentet fra denne.

### 3.2.1 Motorkraft

For at et legeme skal kunne akselerere må summen av krefter som bidrar i fartsretningen være større enn kreftene som virker i mot. Dette vil også gjelde for et kjøretøy hvor motorenheten skaper krefter som blir overført til hjulene via drivsystemet.

Sammenhengen mellom den tilgjengelige kraften på drivhjula ( $F$ ), motoreffekten ( $P$ ), drivlinjas virkningsgrad ( $\eta$ ) og farten til kjøretøyet ( $v$ ) er presentert i likning (1), hvor det kommer frem at kraften vil avta ved høyere hastighet.

$$F = \frac{P \cdot \eta}{v} = \frac{\tau \cdot i}{r} \cdot \eta \quad (1)$$

### 3.2.2 Hastighet og turtall

Hastigheten til et kjøretøy kan beskrives ved å benytte rotasjonsfarten til drivhjula ( $n_d$ ), hjuldiameteren og turtallet til motoren ( $n$ ). Sammenhengen mellom turtallet og rotasjonsfarten til drivhjula kan beskrives med et utvekslingsforhold for et bestemt gir, og kan uttrykkes ved:  $i = \frac{n}{n_d}$ . Høyere gir vil gi et større utvekslingsforhold som igjen vil gi høyere rotasjonsfart ved et gitt turtall.

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

### 3.2.3 Kjøretøydynamikk og drivkrefter

For kjøretøy blir ofte motoreffekten oppgitt i hestekrefter ( $hk$ ), som kan konverteres til SI-enheten for effekt, watt ( $W$ ). Størrelsen på effekten gjør det hensiktsmessig å benytte kilowatt ( $kW$ ), hvor 1 hk tilsvarer 0,735 kW. Kombinasjon av likningen for krafta på drivhjulene (1) og likningen for hastigheten (2), gir at motoreffekten ( $P$ ) er proporsjonal med produktet av dreiemomentet ( $\tau$ ) og turtallet ( $n$ ), som er vist i likning (3). For å konvertere turtall fra omdreininger per minutt til radianer per sekund benyttes koeffisienten

$$\frac{2\pi}{60}.$$

$$P = \tau \cdot n \cdot \frac{2\pi}{60} \quad (3)$$

### 3.2.4 Akselerasjon

Akselerasjonen til et kjøretøy ved et gitt tidspunkt kan beregnes ved hjelp av Newtons andre lov, som sier at kraft er et produkt av masse og akselerasjon. Akselerasjonen til et kjøretøy vil være et resultat av størrelsen på drivkreftene ( $F$ ), kjøremotstanden ( $F_K$ ), massen til kjøretøyet ( $m$ ) og kreftene som går med til å akselerere roterende masser. Formelen for akselerasjon er vist i likning (4). Ved roterende masser menes hjul, drivaksling og andre roterende elementer i systemet, og koeffisienten  $k_m$  beskriver betydningen av å akselerere disse elementene i forhold til kjøretøyet masse. For tunge kjøretøy vil differansen mellom den roterende massen og kjøretøyet masse være av en slik størrelse at  $k_m \approx 1$ .

$$a = \frac{F - F_K}{k_m \cdot m} \quad (4)$$

### 3.2.5 Kjøremotstand

Kjøremotstand er motstandskrefter på kjøretøyet som må overkommes for å skape fremdrift. Normen for studier som fokuserer på modellering av kjøretøy er å gjøre en forenkling som inkluderer de dominerende kvantifiserbare motstandskreftene, luftmotstand ( $F_L$ ), rulle- og stigningsmotstand ( $F_R$ ) og stigningsmotstand ( $F_S$ ). Summen av disse tre motstandskreftene utgjør den totale kjøremotstanden ( $F_K$ ).

$$F_K = F_L + F_R + F_S \quad (5)$$

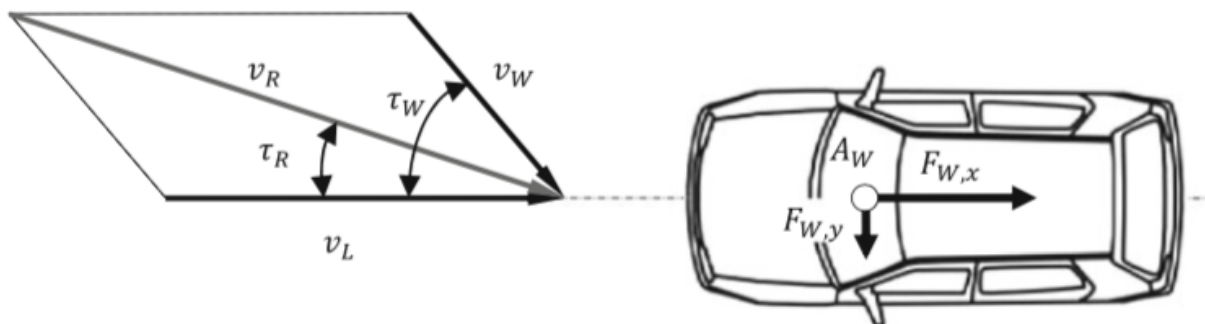
#### 3.2.5.1 Luftmotstand

Luftmotstand er motstandskrefter som virker på legemer i bevegelse gjennom luft. Den totale luftmotstanden på kjøretøy kan deles inn i tre fysiske fenomener [Schramm, Hiller og Bardini 2014]:

- Motstand som følge av turbulens mot bakenden av kjøretøyet – ca. 85%
- Overflatemotstand som følge av skjærkrefter langs kjøretøyet – ca. 10%
- Indre motstand av luften som passerer gjennom kjøretøyet – ca. 5%

Når et kjøretøy er i bevegelse, kommer størsteparten av luftmotstanden fra turbulens, grunnet trykkforskjeller i luften foran og bak kjøretøyet. Ved å betrakte et todimensjonalt system kan den relative vindhastigheten beregnes ved hjelp av vinklene ( $\tau_R$ ) og ( $\tau_W$ ) som fremgår av figur 3.2.

For beregninger i kjøretøymodeller er det et ønske om å betrakte kreftene som virker i longitudinal retning. Motkreftene som kjøretøyet opplever grunnet luftmotstand kan derfor beskrives som



**Figur 3.2:** Relative lufthastigheter mot kjøretøy [Schramm, Hiller og Bardini 2014]

$$F_L = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot C_D \cdot (v_0 + v_L)^2 \quad (6)$$

hvor  $\rho$  er luftens massetetthet,  $A$  er frontarealet til kjøretøyet og  $C_D$  er en dimensjonsløs dragkoeffisient. Dragkoeffisienten påvirkes av utformingen til objektet den beskriver, hvor en mer strømlinjeformet utforming gir en lavere tallverdi. Rekha mfl. [Rakha mfl. 2001] fremlegger ulike typer kjøretøy med tilhørende dragkoeffisient. Et utvalg er gjen-gitt i tabell 3.2.  $v_0$  og  $v_L$  beskriver den relative hastighetsforskjellen mellom henholds-vis den stillestående luften og kjøretøyet, og den ikke-stillestående luften og kjøretøyet. Motvind ( $v_L$ ) i forhold til kjøreretningen vil være et positivt bidrag i formelen.

Kjøretøytype	$C_D$	Kilde
Semitrailer	0.70	Fitch (1994)
Søppelbil	0.95 - 1.05	SAEJ2188
Cattle hauler (Amerikansk snutedesign)	1.1	SAEJ2188
Kjøretøy med aerodynamiske tiltak på tak	0.64	SAEJ2188

**Tabell 3.2:** Utvalg av kjøretøytyper med dragkoeffisient,  $C_D$  [Rakha mfl. 2001]

### 3.2.5.2 Rullemotstand

Ved å betrakte et legeme som *ikke* er frittrullende over et underlag, vil det dannes et høyere trykk i fremre del av legemet sammenlignet med bakre del. Det vil oppstå en longitudinal resultantkraft i kontaktpunktet mellom legemet og underlaget, som består av bidrag fra ulike fenomener. Plastisk deformasjon rundt kontaktpunktet, elastisk hys-terese og adhesjon er store bidragsyttere til rullemotstand. [Ai mfl. 2011]

For et dekk som ruller over et asfaltdekke, vil parametere som har betydning for rulle-motstand typisk være underlagets ruhet, aksellast, dekktrykk, dekktemperatur, hastig-het, dekkmaterial- og utforming, og slippvinkel. [Gillespie 1992] Flertallet av modeller bruker en tilnærming hvor rullemotstanden er et produkt av normalkraften mot under-laget og en friksjonskoeffisient,

$$F_R = f_r \cdot W = f_r \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha) \quad (7)$$

hvor  $f_r$  er friksjonskoeffisienten,  $m$  er massen til kjøretøyet,  $g$  er gravitasjonskonstanten og  $\alpha$  er vinkelen mellom en potensiell stigning i forhold til horisontalplanet, angitt i radianer. Ved transportinstituttet i Sverige er det blitt gjort empiriske forsøk med lastebil både med og uten henger for å bestemme friksjonskoeffisienten ( $f_r$ ). Parametere som inngår i modellen for lastebil er indeksverdien til dekkets overflateruhet ( $iri$ ) i m/km, dekkets makrotekstur ( $mpd$ ) i mm og lastebilens hastighet ( $v$ ) i m/s: [Hammarström mfl. 2012]

$$f_r = 0,00414 + 0,0000158 \cdot iri \cdot v + 0,00102 \cdot mpd \quad (8)$$

Gjennomsnittlig  $iri$  for det svenske vegnettet i studien er estimert til å være 2,4 m/km. Gjennomsnittlig  $mpd$  er estimert til å være 0,9 mm. Ved bruk av disse gjennomsnittsverdiene kan friksjonskoeffisienten ( $f_r$ ) varieres med hastigheten ( $v$ ) i m/s. Med data fra Statens vegvesen kan også  $iri$  og  $mpd$  varieres for å gi en mer presis opptredende friksjonskoeffisient for gitte strekninger.

### 3.2.5.3 Stigningsmotstand

Stigningsmotstand beskriver motstand som følge av endring i potensiell energi. Gravitasjonskraften trekker på alle objekter på jorda med en kraft som beskrives av Newtons andre lov,

$$F_S = m \cdot g \cdot \sin(\alpha) \quad (9)$$

hvor  $m$  er massen til objektet,  $g$  er gravitasjonskonstanten og  $\alpha$  er vinkelen mellom underlaget og horisontalplanet, angitt i radianer. Stigningsmotstanden på et kjøretøy i motbakke vil derfor være tilsvarende.

### 3.3 Logging av tyngre kjøretøy

#### 3.3.1 CAN-protokollen og SAE J1939-standarden

De aller fleste kjøretøy i dag benytter CAN-protokollen (Controller Area Network) som basis for å kommunisere mellom motorstyreenheter som eksempelvis airbag, ABS-system eller vindusviskere. CAN er i hovedsak et verktøy for kommunikasjon og prioritering av meldinger, igjen definert av et programspråk hvor det er mulig å gjøre mer komplekse operasjoner.

I de fleste kommersielle tyngre kjøretøy er dette overordnede standardiserte program-språket SAE J1939-standarden, definert av SAE. (Society of Automotive Engineers) Fra et dataloggingsperspektiv fungerer J1939 som et tolkningslag over CAN, med et sett av standardiserte meldinger og transformasjonsregler som fungerer på et bredt spekter av tyngre kjøretøy, i motsetning til lettere personkjøretøy hvor de ulike produsentene benytter egne protokoller. SAE J1939-standarden spesifiserer i tillegg hvordan data kan konverteres til menneskelig lesbar form.

SAE J1939 ble tatt i bruk i år 2000, og har erstattet de tidligere standardene SAE J1708 og SAE J1587. Hastigheten var 250 kbit/s frem til 2015-2016, hvorpå hastigheten ble doblet til 500 kbit/s ettersom stadig flere motorstyreenheter i kjøretøyene krever større kapasitet. J1939 bruker i dag CAN 2.0B – et heksadesimalt tallformat hvor meldingene består av en identifiseringspakke på 29 bit, etterfulgt av en datapakke på 64 bit = 8 byte med rå CAN-data. J1939-meldingene blir identifisert ved hjelp av PGN (Parameter Group Number), som igjen inndeles i tre avgrensede identifiseringsenheter. [Prasad, Tang og Luo 2019] Av den totale identifiseringspakken på 29 bit består 18 bit av PGN, 3 bit er prioritering og 8 bit er kildeadressen. Et eksempel på en parametergruppe er motortemperatur, som blant annet omfatter drivstofftemperatur, oljetemperatur og kjølevæske. Disse enkelte motorstyreenhetene som inngår i parametergruppen og gir data til datapakkedelen av J1939-meldingene er også nummererte, i form av SPN (Suspect Parameter Number). Et eksempel på en PGN med tilhørende SPN-er kan sees i tabell 3.3 og 3.4. [Copperhill technologies 2020]

PGN 65262	Engine temperature
Transmission rate	1 sec
Data length	8 bytes
Default priority	6
PG Number	65262 (FEEE <sub>HEX</sub> )

**Tabell 3.3:** PGN-data [Copperhill technologies 2020]

Byte number	Suspect Parameter	SPN
1	Engine Coolant Temperature	110
2	Fuel Temperature	174
3,4	Engine Oil Temperature	175
5,6	Turbocharger Oil Temperature	176
7	Engine Intercooler Temperature	52
8	Engine Intercooler Thermostat Opening	1134

**Tabell 3.4:** SPN-data [Copperhill technologies 2020]

J1939-meldingene kan i teorien avleses og tolkes manuelt ved hjelp av dokumentet SAE J1939/71, som inneholder oversikter over PGN-er og SPN-er sammen med informasjon om hvordan data skal transformeres. Dette blir raskt en omfattende jobb hvis større mengder data skal undersøkes, i praksis er det vanlig å benytte software til dette.

### 3.3.2 Loggerinstrumenter

Det eksisterer mange instrumenter for logging av kjøretøy, både for logging av motor-data og posisjonsdata. I denne oppgaven er det blitt valgt å fokusere på produkter fra de to aktørene VBOX Motorsport og CSS Electronics for logging av data fra hhv. GPS og motor. Grunnen til at det blir fokusert på disse aktørene er at de har produkter som får gode tilbakemeldinger på prestasjon og brukervennlighet, samt at NTNU besitter relevante produkter som er aktuelle for videre forskningsarbeid.

#### 3.3.2.1 GPS-logging med VBOX fra Racelogic

VBOX er en produktserie med dataloggere fra det britiske selskapet Racelogic. I produktserien finnes det en rekke varianter, hvor tilkoblingsmuligheter for tilleggsutstyr er det som i hovedsak skiller dem. I tillegg varierer dataloggerhastigheten mellom 5 Hz og 100 Hz for de ulike loggerne. [Racelogic 2020b] VBOX Mini med 10 Hz loggerfrekvens er blitt brukt i testforsøk i prosjektoppgaven. VBOX Mini har mulighet for tilkobling av kablet GPS-antenne for forbedret signal. Denne antennen monteres på taket ved hjelp av en innebygd magnet. VBOX Mini begynner å logge når kjøretøyet starter å bevege seg. GPS-data fra loggingen blir lagret direkte til et SD-minnekort.

Filformatet VBOX bruker kalles dbn, og kan leses i Racelogics eget program VBOX Test suite. Dataen i programmet kan fremstilles med grafer og posisjon i



**Figur 3.3:** VBOX Mini [Racelogic 2020a]

kart, og eksporteres til CSV format for bruk i andre programmer som Excel og Python.

VBOX mini har også et innebygget gyroskop som gir data for akselerasjon i horisontalplanet. Denne kan brukes for å estimere retningsendring i horisontalplanet og slip ratio. En mulighet er å benytte dette for å estimere friksjonsendring som en funksjon av horisontalkurvatur.

### 3.3.2.2 Motorlogging med CANedge1 fra CSS Electronics

CSS Electronics er et dansk firma som har spesialisert seg innenfor utvikling av helprofesjonelle, brukervennlige og kostnadseffektive CAN-bus motordataloggere og software, hvor flaggskipet er CANedge1 som kan sees i figur 3.4. Tekniske spesifikasjoner tilhørende CSS Electronics' CANedge1 er gitt i tabell 3.5.

Lengde [mm]	50,2
Bredde [mm]	83,4
Høyde [mm]	24,5
Vekt [g]	100
Tåleevne, temperatur [°C]	-25 til 70
Statusindikasjoner	LED-lamper

**Tabell 3.5:** CSS Electronics' CANedge1, tekniske spesifikasjoner [CSS Electronics 2020a]



**Figur 3.4:** Loggerinstrumentet CanEdge1 [CSS Electronics 2020b]

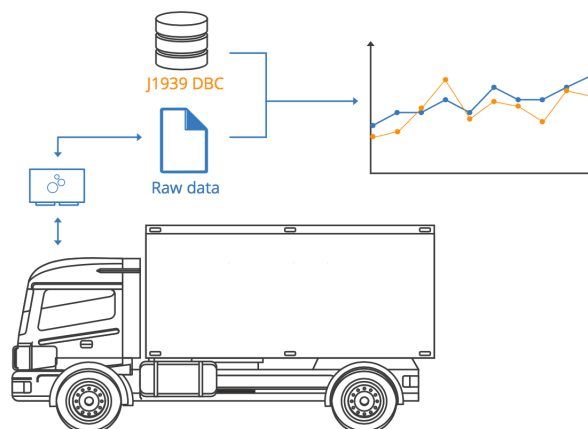


**Figur 3.5:** Adapterkabel av type 2 [CSS Electronics 2020c]

Dataloggerinstrumentet CANedge1 har to fysiske CAN-bus grensesnitt, med standard DB9-tilknytning. (Deutsch 9 pin) For logging av tyngre kjøretøy av nyere dato (i tråd med endringen i datahastighet kommentert i kapittel 3.3.1), brukes en adapterkabel av type 2 som er illustrert i figur 3.5. CANedge1 støtter alle CAN-baserte protokoller, deriblant SAE J1939-standard. Logging og overføring av data baseres på kontrollmeldinger fra CAN-busen og blir satt opp i en standard MDF4-fil, som kan avleses direkte

på datamaskin. CANedge1 benytter et uttakbart SD-minnekort for oppsett av konfigurasjoner og loggerfiler. Frekvensen på dataloggingen kan utføres helt ned til hvert 50  $\mu$ s, med flere muligheter til å forhåndsdefinere ulike loggermønstre. CANedge1 har ikke støtte for GPS-data, men har en innebygget høypresisjons sanntidsklokke. Ved bruk av tidsstempler kan loggede motordata sammenstilles med GPS-data fra andre loggerinstrumenter som også har sanntidsklokke.

CSS Electronics har også utviklet software som automatiserer tolkning av rå CAN-data. De tilbyr en ferdigutviklet J1939 DBC-fil, som inneholder et sett med dekodingsregler som trengs for å konvertere loggerdata til menneskelig lesbar form. [CSS Electronics 2020d] Filen inneholder mer enn 1060 PGN-er og 6400 SPN-er, funksjonen til disse er presentert i kapittel 3.3.1. En illustrasjon av datagangen fra logging med CANedge1 til fremstilling av menneskelig lesbar data er illustrert i figur 3.6.



**Figur 3.6:** Datagang fra logging til fremstilling [CSS Electronics 2020d]

### 3.4 Modellen til Børnes og Aakre

Formålet med modellen til Børnes og Aakre er å etablere en predikerende hastighetsmodell som kan brukes til å estimere reisetid for tyngre kjøretøy som en funksjon av ulike kjøretøy-, veg- og trafikkparametere. Modellen fokuserer kun på vertikalkurvatur, drivkrefter og kjøremotstand, men det understrekes at langt flere faktorer vil spille inn på hastighetsprofilen i virkeligheten. [Børnes og Aakre 2011]

Modellen kalkulerer en teoretisk hastighetsprofil basert på inputdata som kan deles opp i tre kategorier. Disse kategoriene er kjøretøyparametere, stigningsbeskrivelse og kjøremotstand. I kjøretøyparametere inngår kjøretøyets masse, maksimal motorkraft, utnyttelsesgrad av motorkraft og starthastighet. I stigningsbeskrivelse inngår den prosentvise vertikale helningen og lengden, oppdelt i inntil 5 delstrekker. I kjøremotstand inngår rullemotstand, luftmotstand og stigningsmotstand. Rullemotstand beregnes ved bruk av kjøretøyets masse, jordens gravitasjonskonstant, den vertikale helningen og en friksjonskoeffisient. Luftmotstand beregnes ved bruk av luftens massetetthet, kjøretøyets frontareal, hastighet og dragkoeffisient, samt vindhastighet relativ til kjøretøyets bevegelsesretning. Stigningsmotstand beregnes ved bruk av kjøretøyets masse, jordas gravitasjonskonstant og den vertikale helningen. En oversikt over passive inputparametere til modellen kan sees i tabell 3.6.

Modellen er bygget i regnearkprogrammet excel. Der beregnes hastigheten til kjøretøyet i tidsintervaller ut i fra kraftlikevekt mellom kjøretøyets drivkrefter og kjøremotstand, basert på inputparametere i tabell 3.6 og 3.7. Vertikalkurvatur for en ønsket stigning oppgis i form av lengde og helning, med tilhørende utnyttelsesgrad fra kjøretøyets mo-



Parameter	Symbol	Enhet
Masse	$m$	$kg$
Maks effekt	$P_{max}$	$kW$
Starthastighet	$v_1$	$km/h$
Makshastighet	$v_{max}$	$km/h$
Maks akselerasjon	$a_{max}$	$m/s^2$
Frontareal	$A$	$m^2$
Vindhastighet	$v_0$	$m/s$
Rullefriksjonskoeffisient	$f_r$	-
Dragkoeffisient	$c_w$	-
Lufttetthet	$\rho$	$kg/m^3$
Tyngdeakselerasjon	$g$	$m/s^2$

**Tabell 3.6:** Passive inputparametere for hastighetsmodell [Børnes og Aakre 2011]

tor. Utnyttelsesgraden forklarer et effekttap i motoren, som i hovedsak kommer av drivverksmotstand grunnet interaksjonen mellom motorens bevegelige deler. Segmentet med vertikalkurvatur og utnyttelsesgrad gjøres mer dynamisk ved mulighet for oppdeling i inntil 5 delstrekker. Dynamiske inputparametere for delstrekker kan sees i tabell 3.7.

Parameter	Enhet
Lengde	$m$
Helning	$\%$
Utnyttelsesgrad	$\%$

**Tabell 3.7:** Dynamiske inputparametere for hastighetsmodell [Børnes og Aakre 2011]

Modellen er kalibrert og validert med reelle observasjoner fra feltundersøkelser. Et vegsegment på 70 km ble kjørt med ulike kombinasjoner av tyngre kjøretøy, førere og last. På vegsegmentet var det flere stigninger av en slik grad at kjøretøyets terminale krabbe-hastighet ble oppnådd, hvor det er kraftlikevekt mellom driv- og motstandskreftene, dermed ingen akselerasjon. Et eksempel på inndata til modellen er gitt i figur 3.7, med tilhørende estimert fartsprofil i figur 3.8.

**GRUNNLAGSDATA** (gule (og grønne) felt kan endres): 0,8

Kommentar:

Modell

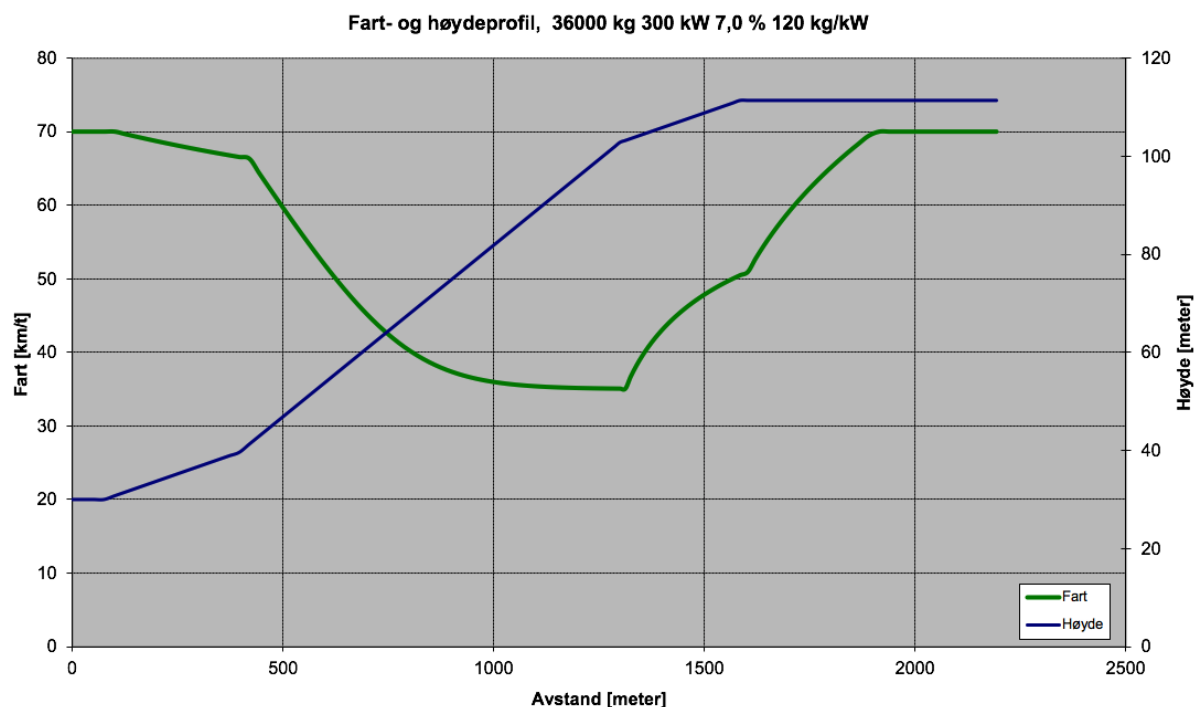
Tidsintervall	deltaT	1,30	sekund	Brukes for å formattere grafen
Tyngdeakselerasjon	g	10	m/s^2	
Tetthet luft	rho	1,20	kg/m^3	Ved vanlig temperatur og trykk
Vindhastighet	v0	0,0	m/s	(+ = motvind)
Rullemotstand	f	0,015		Typisk område 0.010 - 0.020
Luftmotstand	cw	0,60		Personbil 0.30-0.50, lastebil 0.50 - 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	30,0	meter	For grafisk framstilling
Starthastighet	v1	70	km/t	
Maxhastighet	v_max	70	km/t	
Max akselerasjon	a_max	3,0	m/s^2	<b>KLADD - ulike mål for effekt</b>
Masse	m	36000	kg	Dreiemoment
Maks effekt	P_max	300,0	kW	Turtall
Tilsvare i HK		408,0	HK	Effekt
Masse / effekt forhold		120,0	kg/kW	Tilsvare i HK
		88,2	kg/HK	
Effekt / masse forhold		8,33	W/kg	Effekt i HK
		11,33	HK/tonn	Tilsvare i kW
Tidsforbruk	Lett	2193	meter	70,0 km/t
	Tung	2193	meter	50,6 km/t
				112,8 sek
				156,0 sek
				43,2 sek

Angi utnyttelse av effekten for hver delstrekning i tabellen under

Delstreknings:

	stigning S prosent	lengde L meter	fra meter	til meter	høyde H meter	utnyttelse grad u prosent	utnyttet effekt P Watt
1	0,0	100	0	100	0,0	95	285000
2	3,0	300	100	400	9,0	95	285000
3	7,0	900	400	1300	63,0	100	300000
4	3,0	300	1300	1600	9,0	95	285000
5	0,0	100	1600	1700	0,0	95	285000
Sum		1700			81,0		

**Figur 3.7:** Skjerm bilde av et eksempel med inndata til hastighetsmodell [Børnes og Aakre 2011]



**Figur 3.8:** Skjerm bilde av et eksempel med predikert hastighetsprofil fra hastighetsmodell [Børnes og Aakre 2011]

## 3.5 Tidligere arbeid med modellen

### 3.5.1 Opstad, 2015

Erlend Opstad leverte i 2015 en erfaringsbasert masteroppgave ved NTNU, som så på behov for forbikjøringsfelt i stigning på E39 Ørskogfjellet. [Opstad 2015] Størsteparten av oppgaven omhandler innsamling av reelle trafikkdata fra tynge kjøretøy i stigninger, samt tolkning og vurdering av innhentet data. Modellen til Børnes og Aakre blir mot slutten av oppgaven i et kort segment benyttet for å vurdere sammenhengen mellom teoretisk og observerte hastighetsprofil for tynge kjøretøy i stigninger. I den teoretiske hastighetsmodellen ble det brukt et vekt/kraft-forhold på 122,4 kg/kW.

Opstad påpeker at den teoretiske hastighetsmodellen danner et hastighetsprofil som er gjenkjennelig for kjøretøygruppe 24 og 25. (Kjøretøy som er lengre eller lik 12,5 meter) Det presiseres at andel tunge kjøretøy som er i gruppe 24 og 25 av den totale gruppen som omfatter tunge kjøretøy, (kjøretøy som er lengre eller lik 5,6 meter) er svært liten.

### 3.5.2 Nesdal, 2019

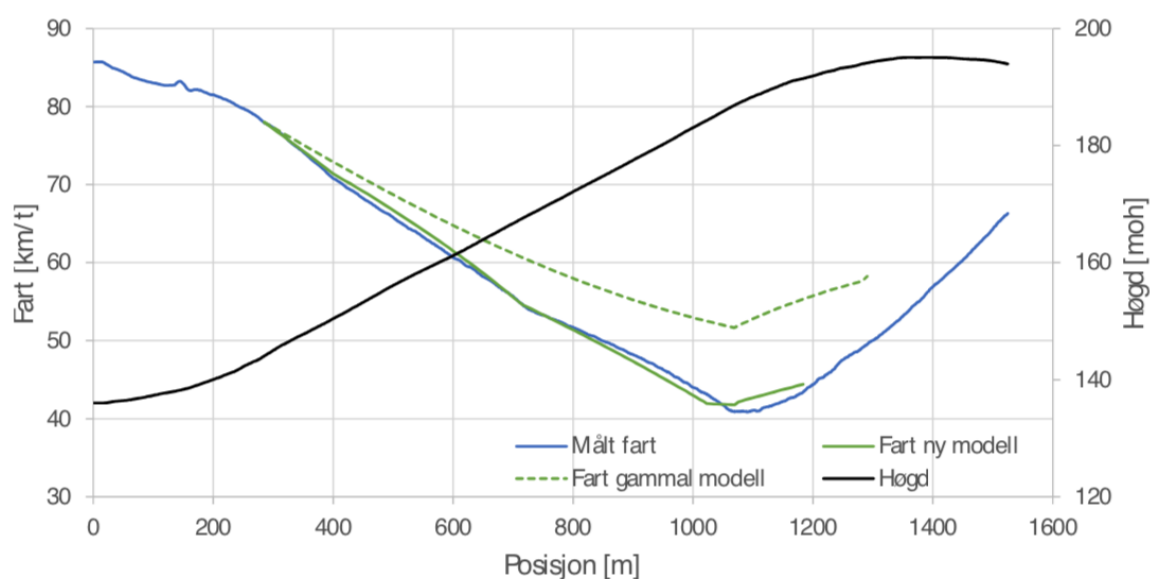
Andreas Nesdal leverte i 2019 en masteroppgave ved NTNU, som så på modellering av fartsprofil til tunge kjøretøy i stigning. [Nesdal 2019] Nesdal jobbet direkte mot Børnes og Aakres hastighetsmodell, med datainnsamling og videreutvikling.

Et av målene til Nesdal var å logge motordata, sammen med GPS-informasjon fra feltforsøk med tunge kjøretøy. Dette skulle så brukes til å videreutvikle eksisterende hastighetsmodell, ved å modellere motoreffekten mer nøyaktig.

Nesdal erfarte i løpet av masteroppgaven at det viste seg utfordrende å hente ut motordata fra tyngre kjøretøy. Grensesnitt mellom kjøretøykomponenter og loggerenheter, ulik fysisk utforming for informasjonsflyt i kjøretøyene, samt datakoding av eldre standard var blant utfordringene Nesdal erfarte. For Nesdal ble utfordringene med å hente ut motordata av en slik grad at det ble vurdert som urealistisk å kunne finne gode tekniske løsninger innen gjeldende tidsramme. Løsningen ble å filme instrumentpanelet og å logge GPS-data. Dette ble gjort under en forsøksstur med en lastebil på 50 tonn.

Med resultatene fra forsøkssturen utarbeidet Nesdal en formel for effekt som varierer med hastigheten til kjøretøyet. Nesdals formel for effekt er basert på den spesifikke momentkurven for lastebilen som ble benyttet i forsøket, hvor det er en lineær sammenheng mellom motoreffekt og produktet av dreiemoment og turtall. Momentkurven i kombinasjon med avlest hastighet, gir og turtall danner et grunnlag for å kunne variere motoreffekt med hastighet.

Nesdal gjennomførte modellberegninger for en utvalgt stigning fra forsøkssturen. Det ble gjennomført beregninger med den eksisterende hastighetsmodellen, så med å inkludere variabel motoreffekt. For den nye modellen som inkluderer variabel motoreffekt ble friksjonsparameteren for rullemotstand nedskalert for å få en bedre kurvetilpasning. Resultatet kan sees i figur 3.9.



**Figur 3.9:** Implementering av variabel motoreffekt i hastighetsmodell [Nesdal 2019]

Det er åpenhet i masteroppgaven om at datagrunnlaget bak forskningen er mangelfullt. Modellen er basert på data fra én enkelt forsøksstur, som er en svakhet i resultatet. Det presiseres at området trenger mer forskning, også med andre fokusområder enn Nesdal selv har hatt.

## 4 Forskningsspørsmål

Prosessen med å utarbeide forskningsspørsmål har pågått parallelt med litteratursøket i prosjektoppgaven. Det var tidlig klart hvilken retning prosjekt- og masteroppgaven ville ta, med fokus på logging av motordata fra tyngre kjøretøy. Uthentet motordata gir grobunn for et bredt spekter av potensiell anvendelse, eksempelvis innen drivstoffberegninger, ytre miljøpåvirkninger, reisetidberegninger, LCA-analyse, ytelse og geometrisk utforming.

Målet med masteroppgaven er å uthente motordata fra tyngre kjøretøy for å kalibrere og optimalisere en regnearkmodell for tyngre kjøretøy i motbakke. Med bakgrunn i fremlagt litteratur og forskningshull er det blitt formulert to forskningsspørsmål som masteroppgaven skal gi svar på:

1. Hvordan kan loggerutstyr benyttes for å uthente motordata fra kommersielle tyngre kjøretøy?
2. Hvordan kan motordata fra tyngre kjøretøy anvendes for å optimalisere en regnearkmodell for tunge kjøretøy i motbakke?

## 5 Metodeplan

### 5.1 Introduksjon

Metodeplanen er en forhåndsdefinert faseplan for både prosjektoppgaven og masteroppgaven. De ulike fasene presenteres, hvor enkelte faser er gjennomført mens andre faser ligger lengre frem i tid. Risikofaktorer, usikkerheter og potensielle fallgruver belyses for å kunne vurderes og håndteres på et tidlig stadium.

Forskningsspørsmålene som ble definert i kapittel 4 fordrer en kvantitativ fremgangsmåte for å kunne besvares. En mer dyptgående vurdering av ulike metodiske fremgangsmåter ble derfor tidlig ansett som overflødig. Hovedoppgavene dreier seg om å samle inn, eksportere, behandle og implementere data fra forsøkturer med tyngre kjøretøy.

### 5.2 Forberedelsesfasen

Forberedelsesfasen avgrenses til tiden frem til prosessen med innsamling av større mengder data fra tyngre kjøretøy igangsettes. Forberedelsesfasen består av pilotforsøk på lette og tyngre kjøretøy med tilgjengelig loggerutstyr.

#### 5.2.1 Pilotforsøk med lette kjøretøy

Tidlig i prosjektoppgaven ble det gitt tilgang på loggerutstyret VBOX fra Racelogic. Under pilotforsøk med personbil ble VBOX mini brukt til å logge posisjonsdata, og ap-pen Torque pro ble brukt til å logge motordata fra bilens OBD-port. Loggerfrekvensen ble satt til 10 ganger i sekundet for både VBOX mini og Torque pro. Dataen fra de ulike loggerinstrumentene ble eksportert til excel i csv-format, deretter sammenstilt ved hjelp av å sammenligne målt hastighet fra de to uavhengige loggerinstrumentene. Eksempel på uthentet data fra pilotforsøket kan betraktes i figur 5.10, hvor omdreininger per sekund og hastighet er logget mot tid. GPS-data fra pilotforsøket er plottet i kart fra Google Earth i figur 5.11.



**Figur 5.10:** Uthentet data fra pilotforsøk med personbil



**Figur 5.11:** Kart med logget GPS-data fra pilotforsøk med VBOX mini

Hensikten med å gjennomføre pilotforsøk på lettere kjøretøy er å bli trygge på utstyret som skal tas i bruk ved logging av data fra tyngre kjøretøy. Det er uvisst hvor mange anledninger det blir til å logge data fra tyngre kjøretøy, derfor er det viktig å være godt forberedt under forsøkene som kommer. Pilotforsøkene gir i tillegg en indikasjon på hva som venter av databehandling.

### 5.2.2 Pilotforsøk med tyngre kjøretøy v/ NTNU

Det neste steget i forberedelsesfasen er å gjennomføre pilotforsøk på tyngre kjøretøy. Transportgruppa ved NTNU har uttalt at de har tilgang på to lastebiler som kan være aktuelle. I følge en representant i transportgruppa er det blitt etablert kontakt med lastebilansvarlige og informert om prosjekt- og masteroppgaven som skal gjennomføres. Det er blitt sendt ut et teknisk skriv med informasjon om hvordan tilkobling av loggerutstyr i lastebil er tenkt utført, med portrettering av type 2-tilkoblingen som er be-

skrevet i kapittel 3.2.2.2. OBD-tilkobling er også listet som et alternativ. Det tekniske skrivet kan sees i vedlegg 1.

Hensikten med å gjennomføre pilotforsøk på tyngre kjøretøy er av de samme grunnene som for pilotforsøk på lette kjøretøy, men med et naturlig steg i retningen mot hva masteroppgaven vil dreie seg om. Softwareoppsettet i CANedge1 fra CSS Electronics for tyngre kjøretøy er forskjellig fra oppsettet for lette kjøretøy, ettersom kjøretøyene benytter ulike standarder. Det vil derfor være viktig å påse at dette forhåndsdefinerte oppsettet er riktig. Det kan være en utfordring å få tilgang til den foretrukne type 2-tilkoblingen for datalogging i ulike lastebiler. Det er ikke uvanlig at denne porten er mindre tilgjengelig, eksempelvis bak et panel som må demonteres. Nevnte aspekter ved tyngre kjøretøy vil være nyttig å erfare under pilotforsøk før mer omfattende forsøk gjennomføres.

### 5.3 Datainnsamling

Det blir viktig å etablere kontakt med transportbransjen tidlig, for å planlegge gjennomføring av forsøk med tyngre kjøretøy. Resultatene fra pilotforsøk på tyngre kjøretøy vil potensielt avdekke utfordringer som ønskes presentert for relevante transportaktører i forkant av forsøk. Det er et ønske om å få til flere forsøkssturer med ulike typer kjøretøy, sjåfører og nyttelast. Dette for å gjøre innsamlet data så representativt som mulig. I datainnsamlingsfasen er det et mål å besvare det første forskningsspørsmålet.

### 5.4 Datauttak og analyse

Datauttak og mer dyptgående analyse av uthentet data følger etter at fasen med datainnsamling er gjennomført. Innsamlet data skal konverteres til menneskelig lesbar form, for så å bli eksportert til en plattform for analyse. Konverteringen av data er planlagt å bli gjennomført gjennom J1939 dbc-softwarefilen som er blitt kjøpt inn fra CSS Electronics. Regnearkprogrammet excel er tiltenkt som plattform for videre analyse av konvertert data.

En vesentlig oppgave blir å sammenstille posisjonsdata logget fra VBOX og motordata logget fra CANedge1. Begge loggerinstrumentene har en innebygget sanntidsklokke som skal brukes som utgangspunkt for å få til dette. En mulighet er å sammenlikne hastighetsdata for å avduke eventuelle tidsforskyvninger.

### 5.5 Utvidelse av eksisterende modell

Når Børnes og Aakres eksisterende hastighetsmodell skal forsøkes utvides, er det en vurdering som må tas angående hvilke loggerdata det ønskes å fokuseres på. Det er potensielt flere parametere som er interessante for implementering, eksempelvis girvalg, motorens effekt og utnyttelsesgrad, horisontalgeometri og rullestand. Kombinasjoner av disse er også en mulighet. Kvaliteten på ulike analyserte motordata vil trolig påvirke valget for fokusområdet, sammen med nytten av potensiell praktisk anvendelse.



## 6 Budsjett og tidsplan for masteroppgaven

### 6.1 Budsjett

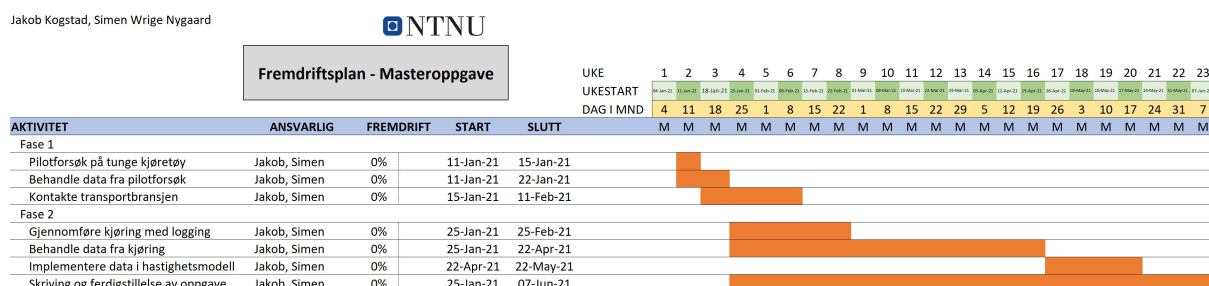
Det vil være noe utgifter i forbindelse med masteroppgaven. Under prosjektoppgaven ble det kjøpt inn utstyr og lisens for logging av kjøretøy fra CSS Electronics. Instituttet sto for disse kostnadene. Det har vært kjøreutgifter i forbindelse med utprøving av loggerutstyr ved flere anledninger under prosjektoppgaven, gjennomført med kandidatens egne kjøretøy. Dette må også påberegnes i masteroppgaven. Kjøreutgiftene vurderes til å være av overkommelig størrelse og vil dekkes av kandidatene selv. Budsjettet er vedlagt i tabell 6.8.

Loggerutstyr	NOK 9 932,-
Kjøreutgifter	NOK 1 000,-
<b>Totalt</b>	<b>NOK 10 932,-</b>

Tabell 6.8: Budsjett for prosjekt- og masteroppgaven

### 6.2 Tidsplan

En tentativ tidsplan for masteroppgaven kan betraktes i figur 6.12. For større skala, se vedlegg 2. Gantt-skjemaet er utformet i excel og vil bli brukt aktivt under masteroppgaven som et verktøy for å holde kontroll og oversikt over pågående og kommende arbeidsoppgaver, med tilhørende fremdrift og status. Diagrammet er dynamisk, som gjør at det er uproblematisk å gå tilbake i tid for å hente informasjon om foregående prosesser. Dette vil være nyttig om det skulle råde usikkerhet på et tidspunkt angående tidligere arbeidsoppgaver.



Figur 6.12: Gantt-diagram med oppgaver og tidshorisont for masteroppgaven

# Scientific abstract

## Implementation of engine data in speed models for heavy duty vehicles in grades

Speed models for heavy duty vehicles in grades has proven to be a helpful tool in road planning, in particular when foreshadowing possible capacity related challenges in individual grade segments. To this date a predictive speed model has been developed, applying physical laws to calculate speed and acceleration in multiple points along an inspected grade.

The aim of the upcoming master thesis is to use logging equipment to assemble engine and GPS-data from test drives with heavy duty vehicles. The gathered data will be processed and interpreted to be implemented in the existing speed model. Several pilot test drives using light vehicles has been carried out by the authors and shows great promise regarding processing and interpreting logging data from available equipment.

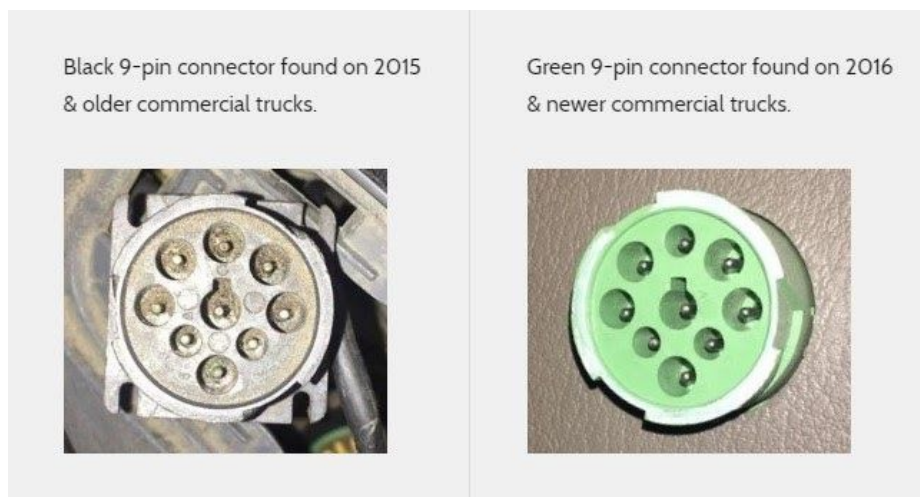
By implementing experience numbers from real life data in the speed model, it should be possible to optimize the model and describe genuine situations with an even higher degree of precision. The obvious consequence of a more precise speed model is better prerequisite for road planning. However the speed model could also be applied to a various selection of subjects, such as fuel consumption, vehicle performance, environmental consequences, travel time calculations and LCA-analysis.

**Keywords:** Speed model, grades, heavy duty vehicles, data logging, engine logging

## Referanser

- Ai, Jun mfl. (2011). «Assessment of rolling resistance models in discrete element simulations». I: *Powder Technology* 206.3. (Hentet 27.10.2020), s. 269–282.
- 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.
- Copperhill technologies (2020). *A Brief Introduction to the SAE J1939 Protocol*. (Hentet 10.11.2020). URL: <https://copperhilltech.com/a-brief-introduction-to-the-sae-j1939-protocol/>.
- CSS Electronics (2020a). *CANedge1 documentation*. (Hentet 21.11.2020). URL: <https://canlogger.csselectronics.com/canedge-docs/ce1/introduction.html>.
- (2020b). *CANedge1: 2x CAN Bus Data Logger (SD + RTC)*. (Hentet 17.12.2020). URL: <https://www.csselectronics.com/screen/product/can-logger-sd-canedge1/language/en>.
- (2020c). *DB9-Deutsch 9-Pin Cable (Type 2 J1939, CAT)*. (Hentet 17.12.2020). URL: <https://www.csselectronics.com/screen/product/can-bus-logger-j1939-adaptor>.
- (2020d). *J1939 DBC File - PGN & SPN Data*. (Hentet 21.11.2020). URL: <https://www.csselectronics.com/screen/product/j1939-dbc-file-pgn-spn>.
- Gillespie, Thomas D (1992). *Fundamentals of vehicle dynamics*. Bd. 400. (Hentet 26.10.2020). Society of automotive engineers Warrendale, PA.
- Hammarström, Ulf mfl. (2012). *Rolling resistance model, fuel consumption model and the traffic energy saving potential from changed road surface conditions*. (Hentet 4.11.2020). Statens väg-och transportforskningsinstitut.
- Nesdal, Andreas (2019). «Modellering av fartsprofil til tunge køyretøy i stigning». Masteroppg. NTNU.
- Opstad, Erlend (2015). «Behov for forbikjøringsfelt i stigning på E39 Ørskogfjellet». Masteroppg. NTNU.
- Prasad, BVP, Jing-Jou Tang og Sheng-Jhu Luo (2019). «Design and Implementation of SAE J1939 Vehicle Diagnostics System». I: *2019 IEEE International Conference on Computation, Communication and Engineering (ICCCE)*. (Hentet 10.11.2020). IEEE, s. 71–74.
- Racelogic (2020a). *VBOX Mini*. (Hentet 17.12.2020). URL: <https://www.vboxautomotive.co.uk/index.php/en/products/data-loggers/vbox-mini>.
- (2020b). *VBOX Vehicle Testing Products*. (Hentet 17.12.2020). URL: <https://www.vboxautomotive.co.uk/index.php/en/products>.
- Rakha, Hesham mfl. (2001). «Vehicle dynamics model for predicting maximum truck acceleration levels». I: *Journal of transportation engineering* 127.5. (Hentet 6.11.2020), s. 418–425.
- Robert Bosch GmbH (2007). *Automotive Handbook 7th edition*. Robert Bosch GmbH.
- Schramm, Dieter, Manfred Hiller og Roberto Bardini (2014). «Vehicle dynamics». I: *Modeling and Simulation*. (Hentet 26.10.2020). Springer, s. 151.
- Vegdirektoratet, Statens vegvesen (2019a). *Håndbok N100 Veg-og gateutforming*. (Hentet 22.11.2019).
- (2019b). *Håndbok V120 Premisser for geometrisk utforming av veger*. Tekn. rapp. (Hentet 22.11.2019).

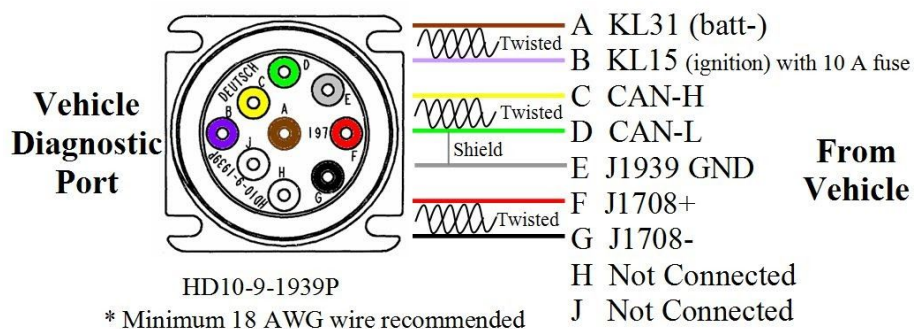
## Vedlegg 1 - Teknisk skriv - loggerustyrstilkobling i lastebil



Forklaring på endring av 9-pinsport gjort i 2015-2016:

<https://www.diesellaptops.com/blogs/news/the-new-green-9-pin-j1939-connectors-explained>

Kort oppsummert: Økt antall ECU-er fører til langt større trafikk på kjøretøynettverket. Hvor den gamle (svarte) var begrenset til 250 kbs, økte man til 500 kbs på den nye (grønne) rundt 2015 - 2016. Endringen i designet er for å forhindre at man kobler til gammelt diagnostiseringsutstyr som ikke takler 500 kbs til den nye kontakten - hvor man kan risikere å skade både kjøretøy og utstyr.





DB9 (hankjønn) til Deutsch 9-pin (Grønn,hankjønn).

DB9 går inn i dataloggeren mens Deutsch 9-pin (Grønn,hankjønn) går inn i Deutsch 9-pin (Grønn,hankjønn) lokalisert i kjøretøyet.

Intro til SAE J1939 standard:

<https://www.youtube.com/watch?v=LxtLiP9P6G0>

Se denne for forklaring av dataspråk +++

## Vedlegg 2 - Tidsplan for masteroppgaven

Fremdriftsplan - Masteroppgave

Fremdriftsplan - Masteroppgave																																
AKTIVITET	ANSVARLIG	FREMDRIFT	START	SLUTT	UKE																											
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23					
					DAG I MND																											
Fase 1																																
Pilotforsøk på tunge kjøretøy	Jakob, Simen	0%	11-Jan-21	15-Jan-21																												
Behandle data fra pilotforsøk	Jakob, Simen	0%	11-Jan-21	22-Jan-21																												
Kontakte transportbransjen	Jakob, Simen	0%	15-Jan-21	11-Feb-21																												
Fase 2																																
Gjennomføre kjøring med logging	Jakob, Simen	0%	25-Jan-21	25-Feb-21																												
Behandle data fra kjøring	Jakob, Simen	0%	25-Jan-21	22-Apr-21																												
Implementere data i hastighetsmodell	Jakob, Simen	0%	22-Apr-21	22-May-21																												
Skriving og ferdigstillelse av oppgave	Jakob, Simen	0%	25-Jan-21	07-Jun-21																												

## Vedlegg 3 - Litteratursøk



NTNU

Norges  
teknisk-naturvitenskapelige  
universitet  
Fakultet for  
ingeniørvitenskap  
Institutt for bygg- og miljøteknikk

## Rapport litteratursøk

Simen Wrige Nygaard

# Rapport Litteratursøk

## *Modellering av tunge kjøretøy i stigninger*

Trondheim, høsten 2020



NTNU

Kunnskap for en bedre verden

## FORORD

Som en del av vurderingsgrunnlaget i *TBA4128 Prosjektledelse VK* er det blitt gjort et litteraturstudium, hvor resultatet er en rapport som tar for seg teori rundt søkemetoder og søkestrategier, samt presenterer kilder. Kildene er vurdert etter TONE – kriteriene sammen med snowballing og andre kildekritiske vurderinger.

Forfatteren har gjennomført studiet på egenhånd, men jobber sammen med medstudent Jakob Kogstad om prosjekt- og masteroppgave innen fagfeltet veg og transport.

Problemstillingen «Modellering av tunge kjøretøy i stigninger» ble relativt tidlig valgt da forfatteren og Jakob Kogstad deler mange av de samme faginteressene. Begge har observert og reflektert over tunge kjøretøy som danner køer og skaper frustrasjon hos medtrafikanter, og ønsker med å se på løsninger som kan forbedre dette.

En rekke kilder har blitt vurdert som godt egnet til videre bruk i prosjektoppgavens arbeider. Etter hvert som videre arbeid med prosjektoppgaven blir gjort vil det legges til flere kilder som styrker kunnskapen til forfatteren og kvaliteten på arbeidet.

Takk til veileder Arvid Aakre for formulering av en meget interessant problemstilling for prosjektoppgaven.

Trondheim, 18.10.20

Simen Wrige Nygaard

## SAMMENDRAG

Litteratursøket har tatt utgangspunkt i hastighetsmodellen til veileder Arvid Aakre og problemstillingen «Modellering av tunge kjøretøy i stigninger». Forfatteren ønsker gjennom søket å finne frem til annet arbeid som er gjort på området, samt øke kunnskapen knyttet til modellering av tunge kjøretøy. Forfatteren har også valgt å se på kilder om grunnleggende fysikk og dynamikk for kjøretøy, da dette er relevant for forståelsen av modellen.

Funnene viser at det har blitt gjort en del forskning på modellering av kjøretøy, men et gjennomgående fellestrekk er at det er for små datamengder knyttet til kalibrering av hastighetsmodellen. Dette har også blitt uttrykt av veileder i samtaler med han. Ønsket er derfor å bygge videre på eksisterende kilder og legge tyngde på dette med datainnsamling. Kildene viser mange gode metoder for datainnsamling som har blitt brukt, men at variasjonen av kjøretøy og antall loggede kilometer er liten.

## INNHALDSFORTEGNELSE

<b>Forord .....</b>	<b>i</b>
<b>Sammendrag .....</b>	<b>ii</b>
<b>Innholdsfortegnelse .....</b>	<b>iv</b>
<b>Figurliste .....</b>	<b>v</b>
<b>Tabelliste.....</b>	<b>v</b>
<b>1. Innledning .....</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Mål.....	1
<b>2. Metode .....</b>	<b>2</b>
2.1 Generelt .....	2
2.2 Søkets fokusområde.....	2
2.3 Litteratursøking i databaser og søkemetoder .....	2
2.6 Søkemetodikk.....	4
2.6.1 søkeord og fraser.....	4
2.6.2 søkestrategi .....	5
2.6.3 søk i databaser og søkemetoder .....	6
<b>3. Evaluering av litteraturen .....</b>	<b>7</b>
3.1 Kilde 1: Description, Validation and Use of a Model to Estimate Speed Profile of Heavy Vehicles in Grades.....	7
Kilde 2: Modelling av fartsprofil til tunge kjøretøy i stigning .....	8
Kilde 3: Behov for forbikjøringsfelt i stigning på E39 Ørskogfjellet .....	9
Kilde 4: A model of truck speed profiles on short upward slopes .....	10
Kilde 5: Vehicle Dynamics Model for Predicting Maximum Truck Acceleration Levels.....	11
Kilde 6: Fundamentals of vehicle dynamics .....	12
Kilde 7: Optimization on Design Parameters of Road Longitudinal Slope Based on Truck Dynamics .....	13
Kilde 8: Road Slope Estimation with Standard Truck Sensors.....	14
<b>4. Konklusjon .....</b>	<b>15</b>
<b>5. Bibliografi .....</b>	<b>16</b>

## FIGURLISTE

Figur 1: Eksempel på søkemetodikk og bruk av de boolske operatorene OR og AND i søkemotoren Oria .....	4
Figur 2: Strategi for selektering av kilder.....	5

## TABELLISTE

Tabell 1: Søkord og treff i databaser .....	6
Tabell 2: Litteraturdata kilde 1 .....	7
Tabell 3: Litteraturdata kilde 2 .....	8
Tabell 4: Litteraturdata kilde 3 .....	9
Tabell 5: Litteraturdata kilde 4 .....	10
Tabell 6: Litteraturdata kilde 5 .....	11
Tabell 7: Litteraturdata kilde 6 .....	12
Tabell 8: Litteraturdata kilde 7 .....	13
Tabell 9: Litteraturdata kilde 8 .....	14

## 1. INNLEDNING

### 1.1 BAKGRUNN

Som en del av faget *TBA4128 Prosjektledelse VK* og fordypningsprosjektet innen transport skal det gjøres et litteraturstudium i samsvar med problemstillingen som er valgt.

Fordypningsprosjektet er ment som et forstudium og har som mål å formulere en problemstilling for masteroppgaven. Våren 2020 presenterte faglærerne ved «Veg, Transport og Jernbane» en rekke oppgaveforslag man kunne ta utgangspunkt i. Forfatteren har sammen med Jakob Kogstad valgt problemstilling «Modellering av tunge kjøretøy i stigninger» for prosjektoppgaven. Det presiseres at Jakob Kogstad ikke har bidratt til denne rapporten da han verken har emnene *TBA4128 Prosjektledelse VK* eller *TBA4151 Anleggsteknikk VK*.

Veileder Arvid Aakre har tidligere vært med å utvikle en regnearkmodell for tunge kjøretøy i stigninger. Denne ønsker man å kalibrere og videreutvikle. Dette gjøres ved å samle inn data og gjøre observasjoner av praktisk trafikkavvikling. Modellen har allerede blitt brukt i en erfaringsbasert masteroppgave av Erlend Opstad (2015, Behov for forbikjøringsfelt i stigning på E39 Ørskogfjellet). Videre har Andreas Nesdal jobbet med datainnsamling og videreutvikling av modellen i sin masteroppgave. (2019, Modellering av fartsprofil til tunge kjøretøy i stigning). Modellen blir også brukt som utregningsgrunnlag for vegutforming, trafikkavvikling, trafiksikkerhet og utslippsberegninger.

### 1.2 MÅL

Målet med litteraturstudiet er å finne liknende tidligere forskning som er gjort, og sette forfatterens problemstilling i kontekst. Gjennom kildesøk og kritisk kildekritikk skal kunnskapsnivået innen temaet økes. Kunnskaper om søketeknikker og litteraturkritikk står også sentralt.

Allerede utførte forsøk, kjøretøyets kraftlikevekt i bevegelse, og hvordan anskaffe data er relevante temaer som er interessante å utforske i forbindelse med oppgaven. Disse temaene favner om et bredt spekter og mye informasjon vil være mer eller mindre relevant. Det vil likevel være viktig for å få en helhetlig forståelse av temaet.

## 2. METODE

### 2.1 GENERELT

I dette kapittelet beskrives hvordan litteratursøket er gjennomført, og hvilke metoder og teknikker som er blitt brukt. Ulike databaser er tatt i bruk for å innhente informasjon og kryssjekke relevans og kvalitet på kildene. NTNU sin wiki er brukt som en introduksjon. (VIKO, 2020) Denne informasjonen ble mer eller mindre også formidlet av Gunvor Røkke (Fagansvarlig, Bygg- og miljøteknikk) i forbindelse med seminaret om litteratursøk tilhørende fordypningsprosjektet.

### 2.2 SØKETS FOKUSOMRÅDE

Litteratursøket tar utgangspunkt i oppgave «Modellering av tunge kjøretøy i stigninger», som skal leveres i desember 2020. Relevante kilder og publikasjoner vil bli presentert i denne rapporten og senere bli brukt i arbeidet med prosjektoppgaven.

### 2.3 LITTERATURSØKING I DATABASER OG SØKEMETODER

For å finne aktuell litteratur har det blitt gjennomført søk i ulike søkemotorer. Disse fungerer ved at man benytter relevante søkeord, filter og boolske operatorer for å finne litteratur i håndterlig mengde. Søkeord både på norsk og engelsk er brukt i søkene for å inkludere forskning som er gjort i andre land. Flere søkemotorer blir brukt for å kunne kryssjekke resultat og ikke overse relevante resultater. Det er blitt kontrollert om en fagfelle vurdering er blitt gjort.

«Fagfelle vurdering er kvalitetssikring av forskningsbidrag (fagartikler, bøker) ved at eksperter (typisk to-fire) innenfor faget kritisk vurderer bidraget før publikasjon.» (Svartdal, 2020, snl.no) Artikler som ikke er fagfelle vurdert er også blitt brukt da disse har en stor relevans for problemstillingen.

Backward- og forward snowballing har blitt brukt for å komme frem til nye relevante artikler. Forward snowballing refererer til nye tidsskrifter basert på kildene til det valgte tidsskriftet. Backward snowballing er da det motsatte hvor man jobber seg bakover mot den opprinnelige kilden. Når man hverken kan iterere seg lengre fremover eller bakover er løkken sluttet. (Wohlin, 2020)

- *Oria* har samlet norske universitetsbibliotekers samlinger og gjort dem søkbare gjennom sin søketjeneste. Her finner man: bøker, artikler, masteroppgaver, tidsskrifter, musikk, filmer og elektroniske ressurser m.m. (VIKO, 2020) *Oria* viser også om litteraturen er fagfelle vurdert eller ikke.
- «I *Google Scholar* kan man søke etter artikler, avhandlinger, sammendrag m.m. NTNU Universitetsbiblioteket har gjort sine digitale samlinger søkbare via *Google Scholar* for NTNU studenter og ansatte.» (VIKO, 2020) I *Google Scholar* er det enkelt å gjøre snowballing gjennom siteringsfunksjonen.

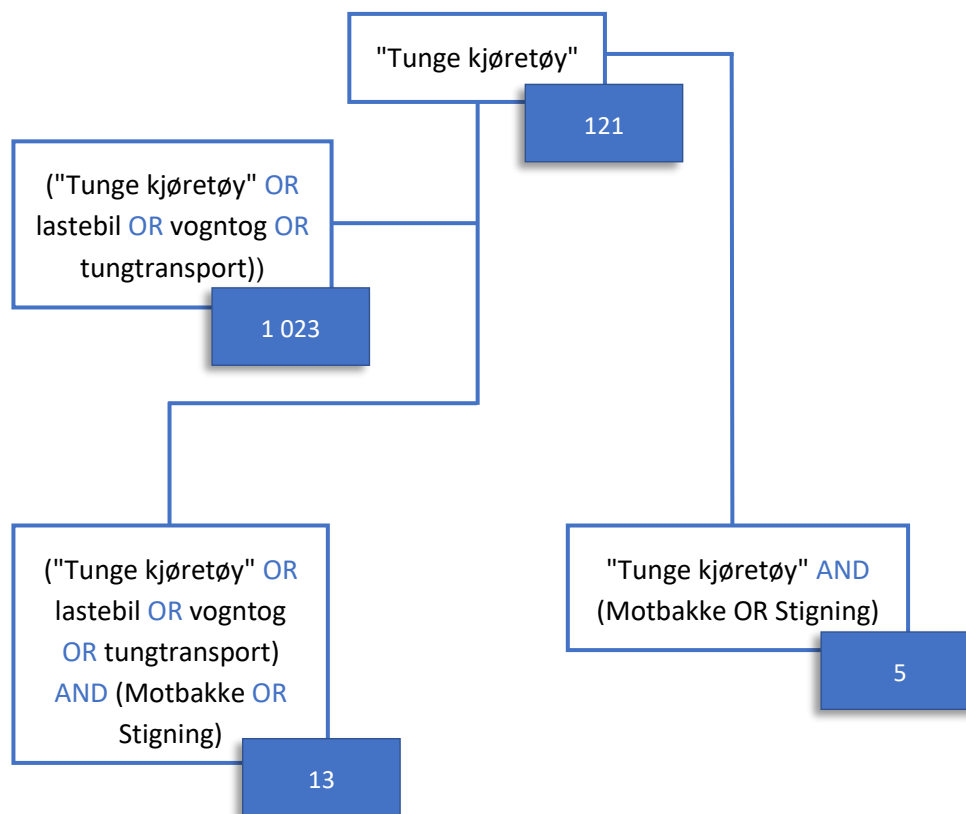
- *Web of Science* er en søketjeneste som tilbyr en abonnement-basert tilgang til forskjellige databaser som tilbyr omfattende siteringsdata for et vidt spekter av tidsskrifter. (Web of Science, 2020)
- *ASCE (American Society of civil engineers)* er verdens største fulltekst database for ingeniørteknisk forskning og praktiske publiseringer. (ASCE, 2020)
- *Scopus* kombinerer en omfattende siteringsdatabase med beriket data og kobler dem opp mot vitenskapeliginnhold. De benytter seg av ulike algoritmer og data for å vise hva som er den siste forskningen og hvem som er ledende eksperter innen området. (Elsevier, 2020)
- *Engineering Village* er den ingeniørspesifikke søkemotoren til Elsevier. Søkeresultatene er alltid ingeniørrelevante. Det er mulig å avgrense søk for å finne aktuell litteratur på en egnet måte. (Elsevier, 2020)



## 2.6 SØKEMETODIKK

### 2.6.1 SØKEORD OG FRASER

Før søket startet ble det skrevet ned sentrale ord og fraser som ble vurdert som relevante for å oppnå gode resultater. Både synonymer og engelske ord ble notert for å kunne treffe et bredere spekter av søkerresultater. De boolske operatorene OR og AND ble sammen med ulike ordkombinasjoner og trunkeringer brukt for å snevre inn og gjøre søket så nøyaktig som mulig. Nedenfor vises et eksempel på søkeord og operatører som ble brukt. OR ble brukt for å inkludere synonymer for å øke antall treff. Dette var særlig nyttig når man søkte på norsk. Begge masteroppgavene som veileder tipset om kom frem som resultat ved bruk av: ("Tunge kjøretøy" OR lastebil OR vogntog OR tungtransport) AND (Motbakke OR Stigning).

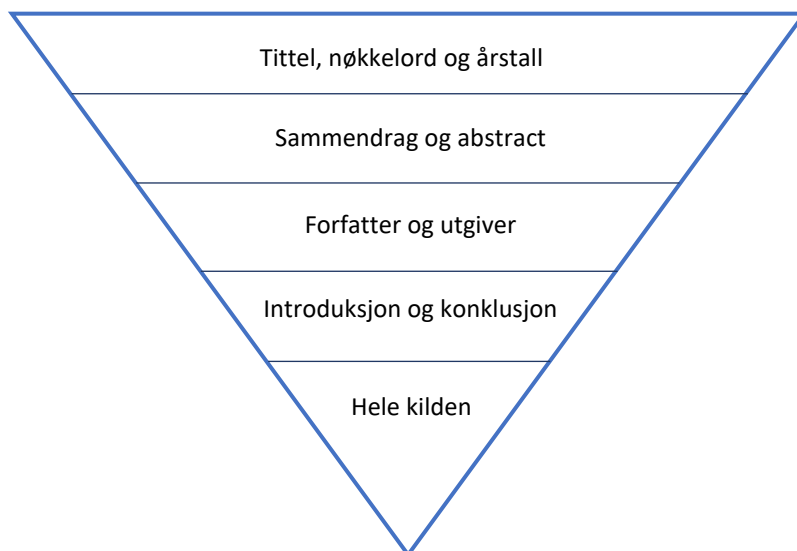


Figur 1: Eksempel på søkemetodikk og bruk av de boolske operatorene OR og AND i søkemotoren Oria

---

## 2.6.2 SØKESTRATEGI

Følgende strategi er blitt benyttet for litteratursøket:



**Figur 2: Strategi for selektering av kilder**

Mengden tidsskrifter som finnes om et tema er ofte overveldende og man må bruke en strategi for å ha mulighet til å selektere ut de interessante og relevante tekstene. Hele konseptet går ut på å begynne med lite tidkrevende selektering for så å sortere ut kilder ved bruk av mer og mer tidkrevende metoder. Man kan se på det som en omvendt pyramide vist i *figur 2*, hvor antall artikler blir færre jo lenger ned man kommer. Man ser først på tittel, nøkkelord og alderen på kilden. Videre skimleser man gjennom sammendrag og abstract. Hvis det fortsatt virker relevant, ser man på forfatteren og utgiveren. Deretter kan man se på introduksjonen og konklusjonen for å sjekke relevansen og om egnetheten er god. Har kilden kommet seg gjennom alle disse kriteriene kan man lese hele kilden for å tilegne seg ny kunnskap.

Helt feilfri er ikke denne metoden og det kan hende at relevante kilder blir forbigått. Det hender at for eksempel en tittel er dårlig formulert og søket vil ikke fange opp denne kilden.

Snowballing som ble forklart i kapitlet 2.3 *LITTERATURSØKING I DATABASER OG SØKEMETODER* ble også brukt.

### 2.6.3 SØK I DATABASER OG SØKEMETODER

Under i *tabell 1* presenteres de ulike søkefrasene samt antall resultater de forskjellige søkemotorene ga. Som man kan se av tabellen gir ikke *Web of Science*, *ASCE*, *Scopus* og *Engineering village* resultater på norsk. *Oria* og *Google Scholar* søker i bredere databaser og får ofte fler resultater enn de andre. Når man får så mange som 599 000 resultater i *Google Scholar* sier det seg selv at man ikke har mulighet til å gå gjennom alle. Likevel kan man finne gode resultater da Google plasserer kilder med mange siteringer og kilder den tror er nyttige basert på algoritmer tidlig i søkeresultatene. Flere av kildene ble funnet på flere av de ulike søkemotorene.

Tabell 1: Søkeord og treff i databaser

Søkeord/frase	Boolske operatorer	Oria	Google Scholar	Web of science	ASCE	Scopus	Engineering village
"Tunge kjøretøy"		121	1010	-	-	-	-
	AND (Motbakke OR Stigning)	5	273	-	-	-	-
("Tunge kjøretøy" OR lastebil OR vogntog OR tungtransport)		1023	3830	-	-	-	-
	AND (Motbakke OR Stigning)	13	552	-	-	-	-
(Truck OR Roadtrain OR "Heavy vehicles") AND (Slope OR Gradient OR Hill OR Uphill)		361986	599000	494	4194	1295	2220
	AND Modeling	26301	93900	257	3108	175	775
	AND Modeling AND (Speed OR Velocity)	12320	106000	97	1882	78	307
Vehicle AND Forces AND Resistance AND Dynamics		101478	959000	287	3197	414	1518

### 3. EVALUERING AV LITTERATUREN

Det blir under presentert 8 kilder som er evaluert etter TONE-kriteriene (troverdighet, objektivitet, nøyaktighet og egnethet) slik de er presentert på NDLA. (Jan-Arve Overland, 2018):

- Troverdig: Er kilden sikker?
- Objektiv: Er kilden nøytral?
- Nøyaktig: Finner du slurv og juks? Hvor ny er kilden? Oppgir forfatteren sine kilder?
- Egnethet: Kan du finne de svarene du trenger?

#### 3.1 KILDE 1: DESCRIPTION, VALIDATION AND USE OF A MODEL TO ESTIMATE SPEED PROFILE OF HEAVY VEHICLES IN GRADES

Tabell 2: Litteratordata kilde 1

Forfatterskap	Vilhelm Børnes Arvid Aakre
Tittel	Description, Validation and Use of a Model to Estimate Speed Profile of Heavy Vehicles in Grades
Utgivelsesår	2011
Utgiver	Elsevier Ltd
Format	Forskningsartikkel
Søkested	Veileder tipset
Siteringer	9 (Ifølge Google Scholar)
Antall treff	<i>Ikke relevant</i>
Søkeord	<i>Ikke relevant</i>
Formål med søket	Bli kjent med modellen og hvilke parametere som inngår.
(Børnes, Aakre, 2011)	

#### Troverdighet

Vilhelm Børnes jobber som forsker ved SINTEF og har jobbet med flere av håndbøkene til Statens vegvesen. Arvid Aakre er professor ved NTNU og er leder for Trafikkteknisk senter ved NTNU. Modellen som beskrives i forskningsartikkelen er blitt brukt som grunnlag av Statens vegvesen i flere modeller for vegplanlegging. Artikkelen er publisert av Elsevier som publiserer tidsskrifter av høy kvalitet. Artikkelen er fagfellevurdert. Kilden vurderes til å ha svært høy troverdighet.

#### Objektivitet

Data og resultater blir presentert på en objektiv måte og det er stor åpenhet om hvilke målemetoder som er brukt og hvilke usikkerheter som er tilstedeværende. Parametere og utregningsmetoder blir presentert og gir artikkelen høy transparens.

#### Nøyaktighet

Kilden er fra 2011, og dermed under 10 år gammel. Samme premisser og fysiske lover gjelder fortsatt. Bakgrunn og bruksområder for modellen blir presentert grundig.

#### Egnethet

Relevansen er høy da det er denne forskningen prosjektoppgaven tar utgangspunkt i.

## KILDE 2: MODELLERING AV FARTSPROFIL TIL TUNGE KØYRETØY I STIGNING

### Troverdighet

Andreas Nesdal var masterstudent ved NTNU i Trondheim. Masteroppgaven var ment for å forbedre og kalibrere den eksisterende modellen til Arvid Aakre. Aakre har også vært veileder for Nesdal, og som professor innen emnet gir det økt tyngde og troverdighet. Kilden vurderes til å ha god troverdighet.

### Objektivitet

Nøysom gjennomgang av alle verktøy og instrumenter som er blitt brukt under arbeidet. Problemer som Andreas støtte på underveis er forklart og forslag til forbedringer blir presentert for å gjøre det enklere for andre senere. Mangler og konsekvenser av få antall forsøk blir diskutert og viser ønske om god transparens i oppgaven.

### Nøyaktighet

Masteroppgaven ble levert våren 2019. Nøye beskrivelse av metoder og problemer som oppstod underveis gjør oppgaven etterprøvbar.

### Egnethet

Prosjektoppgaven til forfatteren har samme problemstilling som masteroppgaven til Nesdal og er ment som et videre arbeid og forbedring av denne.

Tabell 3: Litteratordata kilde 2

Forfatterskap	Andreas Nesdal
Tittel	Modellering av fartsprofil til tunge køyretøy i stigning
Utgivelsesår	2019
Utgiver	NTNU
Format	Masteroppgave
Søkested	Veileder tipset
Siteringer	Ingen
Antall treff	<i>Ikke relevant</i>
Søkeord	<i>Ikke relevant</i>
Formål med søket	Finne metoder for modellering av hastighet til tungekjøretøy
(Børnes, Aakre, 2011)	

### KILDE 3: BEHOV FOR FORBIKJØRINGSFELT I STIGNING PÅ E39 ØRSKOGFJELLET

#### Troverdighet

Erlend Opstad var masterstudent ved NTNU i Trondheim. Masteroppgaven ble skrevet i samarbeid med Statens vegvesen i forbindelse med oppgradering av strekningen E39 Ørskogfjellet. Arvid Aakre var veileder for Opstad, og som professor innen emnet gir det økt tyngde og troverdighet til oppgaven. Kilden vurderes til å ha god troverdighet.

#### Objektivitet

Masteroppgaven presenterer og diskuterer nøye rundt ulike metoder for innsamling av data. Usikkerhet og feil oppsett av utstyr og hvilken konsekvens det kan ha på kvaliteten av dataen blir diskutert. Resultatet av analysene blir brukt til å gi en anbefaling for strekningen. Kilden vurderes til å være objektiv

#### Nøyaktighet

Kilden er fra 2015 og er relevant. Kvaliteten på måleverktøy forbedrer seg raskt, men kvaliteten på målingene i masteroppgaven vurderes til å være god da det ble kontrollert med forskjellige verktøy. Det blir foretatt diskusjon rundt definisjoner og om hvilke krav som KAN og MÅ etterfølges når man planlegger en vegstrekning. Det blir påpekt at denne unøyaktige differensieringen kan gjøre det vanskelig å vite på hvilket nivå man skal legge seg i planleggingsfasen av en ny veistrekning.

#### Egnethet

Godt egnet for å få kunnskap og forståelse om de praktiske bruksområdene til modellen .

Tabell 4: Litteratordata kilde 3

Forfatterskap	Erlend Opstad
Tittel	Behov for forbikjøringsfelt i stigning på E39 Ørskogfjellet
Utgivelsesår	2015
Utgiver	NTNU
Format	Masteroppgave
Søkested	Veileder tipset
Siteringer	Ingen
Antall treff	<i>Ikke relevant</i>
Søkeord	<i>Ikke relevant</i>
Formål med søket	Øke kunnskap rundt anvendelsen av modellen.
(Opstad, 2015)	

## KILDE 4: A MODEL OF TRUCK SPEED PROFILES ON SHORT UPWARD SLOPES

### Troverdighet

Caniela Arellano er sivilingeniør og forsker, Tomás Echaveguren er førsteamanuensis og Sergio Vargas-Tejeda er amanuensis ved Universitetet i byen Concepción i Chile. Forskningsartikkelen er publisert av «Institution of Civil Engineers» som har et av de mest omfattende digitale bibliotekene for ingeniørjournaler og tidsskrifter. Kilden vurderes til å ha god troverdighet.

### Objektivitet

Studiet som er gjennomført er basert på litteratursøk, eksperimentelt design, data innsamling, prosessering og kalibrering. Kilden virker å være objektiv og er publisert på grunn av manglende forskning på korte motbakker.

### Nøyaktighet

Kilden er fra 2015, og er derfor relevant. Den går gjennom og sammenligner en rekke modeller for hastighetsmodellering av tunge kjøretøy. Dette er høyest relevant for prosjektoppgaven.

### Egnethet

Artikkelen er interessant med tanke på sammenlikningen av ulike modeller og diskusjonen rundt forskjeller mellom virkelighet og modell.

Tabell 5: Litteratordata kilde 4

Forfatterskap	Daniela Arellano Tomás Echaveguren Sergio Vargas-Tejeda
Tittel	A model of truck speed profiles on short upward slopes
Utgivelsesår	2015
Utgiver	Institution of Civil Engineers
Format	Forskningsartikkel
Søkested	Forward snowballing (Børnes, Aakre, 2011) (Google Scholar)
Siteringer	11 (Ifølge Google Scholar)
Antall treff	<i>Ikke relevant</i>
Søkeord	<i>Ikke relevant</i>
Formål med søket	Finne metoder for modellering av hastighet til tungekjøretøy
(Arellano, Echaveguren, Vargas-Tejeda, 2015)	

## KILDE 5: VEHICLE DYNAMICS MODEL FOR PREDICTING MAXIMUM TRUCK ACCELERATION LEVELS

### Troverdighet

Hesham Rakah er amanuensis og Ivana Lucic er forsker, begge ved Virginia Polytechnic Institute and State University. Sergio H. Demarchi er amanuensis ved Universidade Estadual de Maringá i Brasil. José Reynaldo Setti er førsteamanuensis ved Universidade de São Paulo i Brasil. Michel Van Aerde var amanuensis ved Virginia Polytechnic Institute and State University. Ifølge ASCE har Hesham Rakah 19 publiseringer i databasen, alle innen trafikk og transport. Dette tyder på en bred kunnskap og troverdighet om faget. Kilden er sitert 257 ganger. Kilden vurderes til å ha god troverdighet.

### Objektivitet

Testmetoder og kjøretøy blir nøye beskrevet. Utførelsen av testene er detaljert gjenfortalt så det skal være mulig å etterprøve. Parametere og koeffisienter i modellkalibreringen blir forklart.

### Nøyaktighet

Kilden er fra 2001 men blir fortsatt sett på som relevant for formålet med søket: Finne metoder for modellering av hastighet til tungekjøretøy. Instrumenter og nøyaktigheten på disse har forbedret seg betraktelig siden 2001 så det kan tenkes at resultatene hadde blitt noe annerledes, men essensen av forsøket og modellkalibrering forblir relevant.

### Egnethet

Det er interessant å se på testmetoden og hvordan denne er utført. Her ble forsøket gjort på en lukket strekning i Southwest Virginia. Det fjerner risikoen for avbrutte tester sammenliknet med tester gjort ute i trafikk.

Tabell 6: Litteratordata kilde 5

Forfatterskap	Hesham Rakha Ivana Lucic Sergio H. Demarchi José Reynaldo Setti Michel Van Aerde
Tittel	VEHICLE DYNAMICS MODEL FOR PREDICTING MAXIMUM TRUCK ACCELERATION LEVELS
Utgivelsesår	2001
Utgiver	ASCE
Format	Teknisk fagartikkel
Søkested	ASCE
Siteringer	257 (Ifølge Google Scholar)
Antall treff	3197 142 med filter
Søkeord og filter	<i>Vehicle AND Forces AND Resistance AND Dynamics,</i> <i>Filter:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING,</li> <li>- TECHNICAL PAPER</li> </ul>
Formål med søket	Finne metoder for modellering av hastighet til tungekjøretøy
( Rakha, Lucic, Demarchi, Setti, Van Aerde, 2001 )	



**Troverdighet**

Thomas Gillespie er tidligere professor ved universitetet i Michigan. Karrieren hans har hovedsakelig handlet om avansert forskning innen bilindustrien og om motorveier. Han har jobbet med produkttesting i det amerikanske forsvaret. Han har også lang fartstid hos Ford, hvor han var ansvarlig for utvikling og testing av tunge kjøretøy. Kilden er sitert så mye som 5890 ganger. Kilden vurderes til å ha svært høy troverdighet.

**Objektivitet**

Boka presenterer alle naturkrefter som påvirker et kjøretøy sammen med oppbygningen av et kjøretøy. Formler og grafer blir presentert på en oversiktlig måte. Utregningen av koeffisienter blir presentert med tester, data og grafer. Kilden er en objektiv lære om kjøretøy og fysiske krefter som er involvert.

**Nøyaktighet**

Kilden er fra 1992, men er fortsatt relevant da dette er litteratur om fysiske formler og basisen bak kjøretøys oppførsel. Dette har ikke endret seg. Forfatterens solide karriere gjør at kilden kan sees på som svært nøyaktig.

**Egnethet**

Kjøretøyets dynamiske egenskaper er det sentrale når det skal lages en modell og forståelse av de ulike likningene som inngår i modellen er svært relevant.

Tabell 7: Litteratordata kilde 6

Forfatterskap	Thomas D. Gillespie
Tittel	Fundamentals of Vehicle Dynamics
Utgivelsesår	1992
Utgiver	Society of Automotive Engineers, Inc.
Format	Bok
Søkested	Google Scholar
Siteringer	5890 (Ifølge Google Scholar)
Antall treff	959 900
Søkeord	<i>Vehicle AND Forces AND Resistance AND Dynamics</i>
Formål med søket	Øke kunnskapen om kjøretøydynamikken til tunge kjøretøy
(Gillespie, 1992)	

## KILDE 7: OPTIMIZATION ON DESIGN PARAMETERS OF ROAD LONGITUDINAL SLOPE BASED ON TRUCK DYNAMICS

### Troverdighet

Cai Xin, Zhong Yi, Zhao Yong, alle ved Shenzhen Traffic Facilities Construction Center. Mao Yan Road Safety Research Center, Research Institute of Highway, Ministry of Transport, Beijing. Titler og stillinger var ikke mulig å finne enkelt, men publikasjonen kilden er en del av tyder på at dette er en troverdig kilde.

### Objektivitet

Simuleringer av ulike tunge kjøretøy ble gjort i programmet TruckSim. Simuleringene ble kontrollert og kalibrert med et ekte kjøretøy for å øke nøyaktigheten. Alle resultatene blir presentert tydelig og konklusjonen er basert på analytiske resultater. Objektiv kilde

### Nøyaktighet

Konferansartikkelen er publisert våren 2020 og en del av publikasjonen: «Proceedings of the 9th International Conference on Green Intelligent Transportation Systems and Safety»

### Egnethet

En noe annen fremgangsmåte for å modellere ulike kjøretøy med varierende kraft/vekt ratio. Bruk av simuleringsprogram er absolutt interessant og vil bli sett nærmere på i arbeidet med prosjektoppgaven.

Tabell 8: Litteratordata kilde 7

Forfatterskap	Cai Xin Zhong Yi Zhao Yong Mao Yan
Tittel	Description, Validation and Use of a Model to Estimate Speed Profile of Heavy Vehicles in Grades
Utgivelsesår	2020
Utgiver	Springer Nature, Singapore
Format	Konferanseartikkel
Søkested	Engineering Village
Siteringer	Ingen
Antall treff	307
Søkeord	<i>(Truck OR Roadtrain OR "Heavy vehicles") AND (Slope OR Gradient OR Hill OR Uphill) AND Modeling AND (Speed OR Velocity)</i>
Formål med søket	Finne metoder for modellering av hastighet til tungekjøretøy
(Xin, Yi, Young, Yan, 2020)	

## KILDE 8: ROAD SLOPE ESTIMATION WITH STANDARD TRUCK SENSORS

### Troverdighet

Ken Johansson var masterstudent når oppgaven ble skrevet. Kilden har likevel blitt sitert 29 ganger og tyder på at forskningen er godt mottatt. Vurderes som troverdig.

### Objektivitet

Bakgrunnen for masteroppgaven er at ved å vite stigningen, kan man bedre kontrollere kjøretøyet med tanke på gir, motoreffekt og moment. Høydedata er ikke kommersielt tilgjengelig for vegnettet, og ønsket er å samle inn nøyaktig data på en kostnadseffektiv måte. Johansson presenterer tydelig data og formler. Problemer som oppstod og mangler ble åpent diskutert. Vurderes som objektiv

### Nøyaktighet

Kilden er fra 2005, og selv om måleutstyr har forbedret seg i løpet av 15 år er tankegangen den samme.

### Egnethet

Opgaven tar en litt annen innfallsvinkel hvor den fokuserer på hvordan man kan estimere stigningen ved bruk av standard lastebilsensorer. Dataene fra sensorene blir sammenlignet med høydedata fra NVDB (Nasjonal vegdatabank)

Tabell 9: Litteratordata kilde 8

Forfatterskap	Ken Johansson
Tittel	Road Slope Estimation with Standard Truck Sensors
Utgivelsesår	2005
Utgiver	Department of Signals, Sensors and Systems, KTH
Format	Masteroppgave
Søkested	Google Scholar
Siteringer	29 (Ifølge Google Scholar)
Antall treff	107 000
Søkeord	(Truck OR Roadtrain OR "Heavy vehicles") AND (Slope OR Gradient OR Hill OR Uphill) AND Modeling AND (Speed OR Velocity)
Formål med søket	Finne metoder for modellering av hastighet til tungekjøretøy
(Johansson, 2005)	

#### 4. KONKLUSJON

I denne rapporten er det blitt gjennomført ett litteratursøk med utgangspunkt i problemstillingen: «Modellering av tunge kjøretøy i stigninger». Kildene har blitt vurdert etter TONE-kriteriene for å sikre god kvalitet. Det er blitt valgt å søke på norsk og på engelsk for å gi en god bredde på søket. De fleste av de norske resultatene er enten arbeid gjort av veileder Arvid Aakre selv eller masteroppgaver hvor han har vært veileder. Resultatene fra de engelske søkene er gode for å innhente mer informasjon og belyse temaet fra et annet ståsted.

Som resultat av dette litteratursøket kan det konkluderes med at det er gjort en del forskning innen fagområdet, men at en ferdig fullverdig modell, kalibrert med mye data enda ikke er laget.

Forfatterens forståelse for kildekritikk har økt betraktelig gjennom søket. Nye gode søkemotorer er blitt presentert for forfatteren, og disse vil bli flittig brukt videre for å tilegne ny kunnskap.

## 5. BIBLIOGRAFI

VIKO (2020) *Finne kilder*. Hentet 17. oktober 2020 fra: <https://innsida.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Finne+kilder#section-Finne+kilder-Hvordan+v%C3%A6re+kildekritisk>

Svartdal, Frode: *fagfelleevaluering* i *Store norske leksikon* på snl.no. Hentet 15. oktober 2020 fra <https://snl.no/fagfelleevaluering>

Wohlin, C., 2014, May. Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. In Proceedings of the 18th international conference on evaluation and assessment in software engineering (pp. 1-10). <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/2601248.2601268>

En.wikipedia.org. 2020. Web Of Science. [online] Hentet 18. oktober 2020 fra: [https://en.wikipedia.org/wiki/Web\\_of\\_Science](https://en.wikipedia.org/wiki/Web_of_Science)

ascelibrary.org. (n.d.). About ASCE Publications | ASCE Library. [online] Hentet 18. oktober fra: <https://ascelibrary.org/about>

www.elsevier.com. (n.d.). About Scopus - Abstract and citation database | Elsevier. [online] Hentet 18. oktober 2020 fra: [https://www.elsevier.com/solutions/scopus?dgcid=RN\\_AGCM\\_Sourced\\_300005030](https://www.elsevier.com/solutions/scopus?dgcid=RN_AGCM_Sourced_300005030)

www.elsevier.com. (n.d.). Features - Engineering Village | Elsevier. [online] Hentet 18. oktober 2020 fra: <https://www.elsevier.com/solutions/engineering-village/features>

Jan-Arve Overland (2018). TONE - strategi for kildekritikk. [online] Hentet fra ndla.no 18. oktober 2020: <https://ndla.no/subjects/subject:14/topic:1:185701/resource:1:169741?filters=urn:filter:80f10045-2faa-4f6f-be0f-4c7ec9618186>

Børnes, V. and Aakre, A., 2011. Description, validation and use of a model to estimate speed profile of heavy vehicles in grades. *Procedia-social and behavioral sciences*, 16, pp.409-418. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042811010081#bbib0010>

Nesdal, A., 2019. Modelling av fartsprofil til tunge kjøretøy i stigning (Master's thesis, NTNU). <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2624717>

Opstad, E., 2015. Behov for forbikjøringsfelt i stigning på E39 Ørskogfjellet (Master's thesis, NTNU). <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2356406>

Arellano, D., Echaveguren, T. and Vargas-Tejeda, S., 2015, October. A model of truck speed profiles on short upward slopes. In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport (Vol. 168, No. 5, pp. 475-483). Thomas Telford Ltd. <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/pdf/10.1680/jtran.13.00012>

Rakha, H., Lucic, I., Demarchi, S.H., Setti, J.R. and Aerde, M.V., 2001. Vehicle dynamics model for predicting maximum truck acceleration levels. *Journal of transportation engineering*, 127(5), pp.418-425. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.453.1279&rep=rep1&type=pdf>

Gillespie, T.D., 1992. Fundamentals of vehicle dynamics (Vol. 400). Warrendale, PA: Society of automotive engineers.

Xin, C., Yi, Z., Yong, Z. and Yan, M., 2020. Optimization on Design Parameters of Road Longitudinal Slope Based on Truck Dynamics. In Green, Smart and Connected Transportation Systems (pp. 1325-1343). Springer, Singapore. [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-981-15-0644-4\\_100](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-981-15-0644-4_100)

Johansson, K., 2005. Road slope estimation with standard truck sensors. KTH, Sweden. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.492.2677&rep=rep1&type=pdf>

