Aalborg Universitet
Studenterrapport

ENERGIEFFEKTIV HASTIGHEDSTILPASNING

VED BRUG AF FARTPILOT

Rasmus Beck Nielsen & Morten Stie Laugesen

Vej & Trafik, Kandidatspeciale

Forår 2013

AALBORG UNIVERSITET

STUDENTERRAPPORT

Det Ingeniør-, Natur- og Sundhedsvidenskabelige Fakultet

Titel:

Energieffektiv hastighedstilpasning ved brug af fartpilot

Engelsk titel:

Energy efficient cruise control adaptation

Projekttype:

Kandidatspeciale

Projektperiode:

Vej og Trafik, 10. semester
6. februar til 6. juni, 2013

Deltagere:

Morten Stie Laugesen

Rasmus Beck Nielsen

Vejleder:

Erik Kjems

Oplagstal: 4
Sidetal: 106 inkl. bilag
1 bilags-DVD
Afsluttet den 06-06-2013

Synopsis:

Dette afgangsprojekt tager udgangspunkt i Trafikforskningsgruppens, ved Aalborg Universitet, forskningsprojekt omkring udvikling af en energieffektiv fartpilot til lastbiler, der vha. hastighedstilpasning efter vejens længdeprofil, kan opnå en potentiel brændstofbesparelse. Projektet omhandler udledningen en forsøgsmodel, der kan eftervise en potentiel brændstofbesparelse ved kørsel med hastighedstilpasning frem for en konventionel fartpilot - efterfølgende benyttes de empiriske data til at sammenligne Trafikforskningsgruppens simuleringsmodel med forsøgskørslerne, for derved at undersøge om modellen kan verificeres ift. teori kontra praksis.

Rapporten er opbygget efter tre faser, der er dannet på baggrund af et litteraturstudie og indledende overvejelser omkring forsøgslokalitet og -opstilling.
Fase 1 omhandler de initierende testkørsler, der foretages for at vurdere muligheder og metoder til selve forsøgskørslen.
I fase 2 udføres forsøgskørslerne i praksis, hvortil der foregår en efterfølgende databehandling og analyse af resultaterne.
Fase 3 omhandler simuleringsmodellen, hvor dataresultaterne fra forsøgskørslerne implementeres i modellen med henblik på verificering af teori kontra virkelighed.

Forord

Denne rapport er udarbejdet som et kandidatspeciale på 10. semester på Vej og Trafik kandidatuddannelsen ved Aalborg Universitet. Rapporten tager udgangspunktet projektsamarbejde med Trafikforskningsgruppen ved Aalborg Universitet, omkring et igangværende forskningsprojekt, der omhandler udvikling af en energieffektiv fartpilot. Det overordnede emne for dette projekt er således, *Eftervisning af den potentielle brændstofbesparelse ved kørsel med energieffektiv hastighedstilpasning frem for fartpilot* og er udarbejdet i perioden 6. februar til 6. juni 2013.

Der rettes stor tak til vejlederen Erik Kjems, for vejledning og diskussioner omkring emnet. Der rettes desuden stor tak til Trafikforskningsgruppens medlemmer; Erik Kjems, Lars Bolet og Darius Plausinaitis for vidensdeling og deling af simuleringsmodellen - desuden takkes Darius Plausinaitis for løbende opdateringer af model og dertilhørende hjælp. Endvidere takkes Lennart Hansen fra Dancar, for besvarelse af spørgsmål omkring kørselsmonitorering, under Trafikforskningsgruppens projektmøde d. 2/4-2013. Anders Otte fra Aalborg Universitet takkes for at have bistået med materiel til forsøgskørslerne og GPS målingerne.

Læsevejledning
Med afsæt i et litteraturstudie og et overordnet forsøgssetup er rapporten opdelt i tre faser; 1) Initierende testkørsel, der omfatter de indledende forudsætninger for forsøgskørslen om modelsammenligningen. 2) Forsøgskørslen, der omfatter selve forsøget i praksis med dertilhørende analyse og resultater. 3)Teori kontra virkelighed, hvor Trafikforskningsgruppens simuleringsmodel sammenholdes med forsøgskørslerne i praksis.

Rapportens kildehenvisninger er samlet i en litteraturliste bagerst i rapporten, og er angivet efter Harvard-metoden, dvs. kilder i teksten refereres med [Efternavn, År], hvortil der fremkommer et bogstav efter årstallet, hvis samme forfatter har flere udgivelser. I selve litteraturlisten angives kildehenvisningerne med forfatter(e), titel samt år/udgave, hvor internetadresserne er angivet med forfatter, titel, URL og år. Figurer og tabeller nummereres iht. kapitlet, således den første figur i kapitel 1 har nummer 1.1, den anden, nummer 1.2 osv. Forklarende figur- og tabeltekst findes under de givne figurer og tabeller. Tallene i denne rapport er afrundet i forhold til udregningerne, hvilket kan medføre, at der kan forekomme uoverensstemmelser mellem de nedskrevne facitter og udregninger.

Bilaget følger den rækkefølge, der henvises til i rapporten. På vedlagte Dvd findes de elektroniske bilag, hvor der i bilag G findes en oversigt over DVD'ens indhold og tilhørende sti.

Summary

The energy consumption of vehicles is a major research and technological development subject on both national and international level, where the goal is to ensure greater energy efficiency by developing new sustainable initiatives. One of the research areas is to develop a predictive cruise control which utilizes information about the road topography to reduce the fuel consumption for a given trip. This main subject is also the basis for a research project from The Traffic Research Group (TRG) at Aalborg University, which purpose is to examine the potential for fuel savings and associated uncertainties with the development of a predictive cruise control system. At this time TRG developed an early mathematical model to simulate driving and calculation of the energy required to move the vehicles, but has not yet approached the problem of energy efficient driving which therefore is the main subject of this master thesis.

This report's key area of research is to investigate the fuel savings that can be expected with energy efficient driving rather than driving with a conventional cruise control, when the speed is adapted to the vertical geometry of the road. This requires the establishment of an experimental model, which will form the basis for the empirical data collection and experimental run. The empirical data results are subsequently used to verify the TRG's simulation model in relation to the experiment.

The report is structured according to three phases: 1) an initiating test run, 2) the experimental driving and 3) theory versus reality, and is written as an iterative process where methods are continuously optimized.

Phase one is based on a selected locality that is suitable for the experimental run, afterwards it is studied which method for measurements that can be used for the empirical data collection and how it can be performed in the field. The experimental measurements is based on on-board diagnostics (OBD), which provide real-time information from the experimental vehicle to a computer and logs information about fuel consumption, speed, time etc..

Phase two deals with the specific experimental driving, carried out with four different driving methods; cruise control, on/off control, locked throttle position and speed adaptation. The following analysis showed that the OBD-link wasn't compatible with the fuel consumption, and therefore couldn't be validated. Thus, an alternative method for measurements was used. By manual refueling, as well as readings of the car's integrated tripcomputer, the validation could be performed. Furthermore, the experimental runs were optimized so they were made with energy-efficient speed adaptation, which were then compared with an ordinary cruise control. The results of the experiment and empirical data collection show savings on 15.3 percent when measuring the tripcomputer and 27.6 percent when refueling. This is a relatively large difference between the two figures, and the reason is estimated to be dependent on measurement uncertainties and too few experiments. It is concluded that driving with energy efficient speed adaptation instead of cruise control will provide fuel savings between 15.3 and 27.6 percent, while the travel time will only be extended by 1.5 percent.

Phase three is an examination of TRG's simulation model to study whether it can be compared

with the experimental runs, and if it can be verified in relation to them. The model is continuously updated and calibrated by TRG using the empirical data - the latest version shows a saving of two percent with energy efficient speed adaptation and therefore can't be compared with the experiment. It's also difficult for the model to simulate the speed profile from the cruise control and it's estimated that more empirical data is needed before there is a basis to verify the model.

This report concludes that there is a significant fuel saving by driving with speed adjustment on a hilly road and the experimental run show that it can be done without substantial reduction in the travel time. There is still a lack of reliability in the experiment and it is essential that future vehicle monitoring is done by measuring the vehicles CAN-bus with greater accuracy in the empirical data. Additionally, there is a need for further experiments to develop an actual energy efficient cruise control.

Indholdsfortegnelse

Summary vi

Kapitel 1 Indledning 4
1.1 Intelligent fartpilot til tunge køretøjer - Trafikforskningsgruppens forsøgsprojekt . 6
1.2 Energieffektiv ITS . . . 6
1.2.1 Eksisterende energieffektiv fartpilot . . . 7
1.3 Forskningsprojekter . . . 7
1.3.1 Linköping Universitet . . . 7
1.3.2 Virginia Tech Transportation Institut . . . 8
1.4 Initierende for projektet . . . 10
1.4.1 Afgrænsning . . . 11
1.5 Metodeafsnit . . . 11

Kapitel 2 Overordnede setup 13
2.1 Kørselsdynamik . . . 13
2.2 Testlokalitet . . . 15
2.2.1 Valg af forsøgslokalitet . . . 16
2.3 Forsøgsopstilling . . . 18
2.3.1 Fase 1 - Initierende testkørsel . . . 19
2.3.2 Fase 2 - Forsøgskørsel . . . 20
2.3.3 Fase 3 - Teori kontra praksis . . . 23

Kapitel 3 Fase 1 - Initierende testkørsel 25
3.1 Testlokaliteten . . . 25
3.1.1 Forudsætninger ift. kørsel på lokaliteten . . . 27
3.2 Målemetode . . . 29

Kapitel 4 Fase 2 - Forsøgskørsel 32
4.1 Behandling af data . . . 33
4.1.1 Fejl i OBD-link . . . 33
4.2 Dataanalyse af 1. forsøgskørsel . . . 35
4.2.1 Kørselsmetode 1 - Fartpilot . . . 35
4.2.2 Kørselsmetode 2 - On/off fartpilot . . . 38
4.2.3 Kørselsmetode 3 - Fast speederposition . . . 40
4.2.4 Kørselsmetode 4 - Energieffektiv hastighedstilpasning (manuelt) . . . 41
4.2.5 Opsummering af kørselsmetoder . . . 44

Kapitel 5 Fase 2 - 2. Forsøgskørsel 45
5.1 Dataanalyse af 2. forsøgskørsel . . . 47
5.1.1 Kørselsresultater for begge kørselsmetoder . . . 47
5.1.2 Dataanalyse af hastighedsprofilerne . . . 49
5.2 Analyse af videodokumentation . . . 52

5.2.1 Videoanalyse af fartpilot og energieffektiv hastighedstilpasning 53
5.2.2 Opsummering 56
5.3 Diskussion 56

Kapitel 6 Teori kontra praksis **58**
6.1 Simulering 58
6.1.1 Parameter forudsætninger 59
6.2 Verificering af Simulink-modellen 60
6.2.1 Simulinks egen fartpilot 61
6.2.2 Simulering af fartpiloten ud fra forsøgskørslens hastighedsprofil 62
6.2.3 Simulering af energieffektiv hastighedstilpasning ud fra hastighedsprofilet 62
6.3 Diskussion 66

Kapitel 7 Konklusion **68**
7.1 Perspektivering 70

Litteratur **71**

Bilag A Energieffektiv ITS **74**
A.1 Eksisterende teknologier 74

Bilag B Forsøgslokaliteter **75**
B.1 Alternative forsøgsstrækninger 75
B.1.1 Strækningsoversigter 83

Bilag C Initierende testkørsel **85**
C.1 Forudsætninger ift. kørsel på lokaliteten 85
C.1.1 Oversigtstegning 86
C.1.2 Andre forhold 88
C.2 Målemetode 88

Bilag D 1. Forsøgskørsel **89**
D.1 Placering af kridtstreger 89
D.2 Behandling af data 90
D.2.1 Fejl i OBD-link 90
D.2.2 Kørselsmetode 1 - fartpilot 90
D.2.3 Kørselsmetode 2 - On/off fartpilot 92
D.2.4 Kørselsmetode 3 - Fast speederposition 93
D.2.5 Kørselsmetode 4 - Energieffektiv fartpilot (manuel) 94

Bilag E 2. Forsøgskørsel **96**
E.1 Dataanalyse 96
E.1.1 Beregning af procentmæssig strækningslængde 96
E.1.2 Hastighedsprofil for returkørsel fra syd til nord 97
E.1.3 Noteringer under kørsel 98

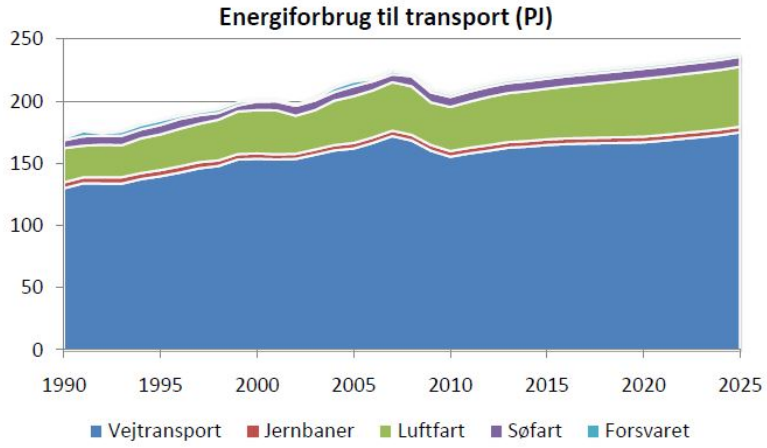
Bilag F Modelsimulering **100**
F.1 Indslag fra 21 søndag 100

F.2 Ændrede parametre 101
F.3 Opdaterede versioner af Simulink-modellen 103

Bilag G Elektronisk bilag **104**
G.1 Fase 1 - Initierende testkørsel 104
G.1.1 Målemetode 104
G.2 Fase 2 - Forsøgskørsel 104
G.2.1 Første forsøgskørsel 104
G.2.2 Data til 1. forsøgskørsel 105
G.3 Fase 2 - 2. Forsøgskørsel 105
G.3.1 Test af hastighedsvisning 105
G.3.2 Data 105
G.3.3 Videoer fra forsøgskørslen 105
G.3.4 Data til videoanalyse 105
G.4 Teori kontra praksis 106

Indledning 1

I takt med den øgede fokus på klimaforandringer og udledningen af CO2, er der rettet stor fokus på transportsektoren, idet energiforbruget primært dækkes af fossile brændstoffer som benzin og diesel, hvilket øger mængden af CO2. Ifølge Trafikstyrelsen udledes mere end 20% af den danske CO2 fra transportsektoren, hvoraf vejtransport udgjorde omtrent 75% af dette i 2010, jævnfør figur 1.1, som viser transportsektorens energiforbrug frem til 2010 og forventede udvikling til år 2025 [Energistyrelsen, 2011].

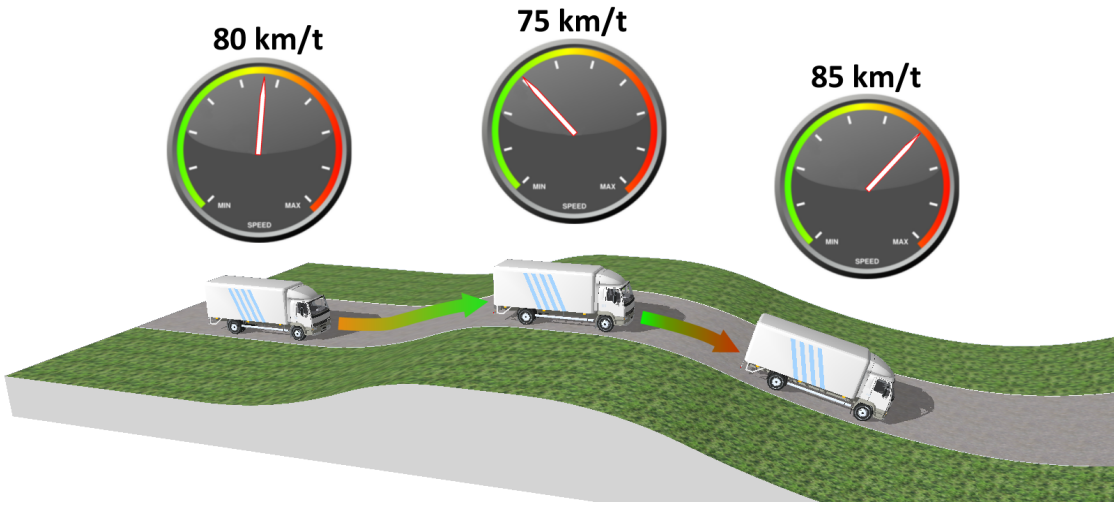


Figur 1.1. Transportsektorens energiforbrug fordelt på transportmidler [Energistyrelsen, 2011]

Vejtransport er således et fremtrædende område, hvor der potentielt kan spares på mængden af de fossile brændstoffer og derved opnå en reduktion af CO2 udledningen, enten ved at bruge mindre brændstof eller udnytte den bedre - derfor er der på national og international plan fokus på nye og bæredygtige tiltag, som skal sikre større energieffektivitet samt nedbringelse af transportens CO2 udledning. Disse tiltag gør sig bl.a. gældende på et politisk niveau, som øger presset på den teknologiske udvikling samt incitamentet for bilfabrikanter til at udvikle mere brændstoføkonomiske og miljøhensynsmæssige løsninger. Ifølge EU's hvidbog *Transport 2050* er målet bl.a. at reducere CO2 udledningen for alle nye biler i 2020 til 95 g/km i gennemsnit (4.1 l/100 km, benzin) [Commison, 2012] - dette skal ses ud fra det nuværende mål på 130 g/km (4.9 l/100 km, benzin) for nye biler i 2015, som for enkelte bilfabrikanter allerede er nået [Transport & Environment, 2013]. På nationalt plan overvåger Trafikstyrelsen ligeledes nye bilers brændstofforbrug, idet den grønne ejerafgift reguleres ud fra forbruget, hvor køretøjet energimærkes med betegnelserne fra A til G [Trafikstyrelsen, 2013c].

I det brede forlig omkring *En grøn transportpolitik* fra 2009 blev det endvidere besluttet at afsætte midler til forsøgspuljer med henblik på at fremme energieffektive transportløsninger [Transportministeriet, 2009]. I forbindelse med denne forsøgspulje har Trafikforskningsgruppen ved Aalborg Universitet, i samarbejde med Dancar og Arla Foods A/S, modtaget 500.000 kr.

til et forskningsprojekt omkring udvikling af en energieffektiv fartpilot. Projektet omfatter en intelligent fartpilot til tunge køretøjer, hvori det undersøges, om en energibesparelse kan opnås ved, at fartpiloten videreudvikles til at tage højde for terrænet.



Figur 1.2. Energieffektiv fartpilot for tunge køretøjer, der tillader en reduceret fart over bakketoppen, for derefter at tillade en øget fart på nedkørslen

På figur 1.2 er den grundlæggende idé med Trafikforskningsgruppens projektet illustreret, hvor der skal udvikles et system for energieffektiv hastighedstilpasning, som tilpasses efter terrænforholdene, hvorved en potentiel brændstofbesparelse opnås. Dancars rolle i dette projekt er at udvikle den reelle fartpilot, der kan integreres i lastbiler, hvortil Arla stiller deres lastbiler til rådighed [Trafikforskningsgruppen, 2011].

Den potentielle brændstofbesparelse skal ske ved, at fartpiloten informeres omkring stigninger og nedkørsler, således der tillades en reduceret hastighed på stigninger, men omvendt en øget hastighed på nedkørsler, dog indenfor et given hastighedsinterval. Dermed benytter den energieffektive fartpilot sig af den potentielle energi, som nedkørsler indebærer, hvilket er i modsætning til en konventionel fartpilot. Den konventionelle fartpilot udnytter ikke dette potentiale, idet hastigheden fastholdes hen over bakketoppen, hvorefter evt. overskydende fart reduceres ved motorbremsning. Kendskab til terrænforholdene er derfor essentielt, således brændstofforbruget kan minimeres ved at reducere energiforbruget henover bakketoppen og udnytte den potentielle energi ved efterfølgende nedkørsel.

Der findes flere internationale forskningsprojekter indenfor området, og i en tidlig rapport *Control of highway vehicles for minimum fuel consumption over varying terrain* fra 1977 forskede Schwarzkoff og Leipnik i at udvikle en algoritme til køretøjer, som skulle give chaufføren mulighed for at optimere hastigheden til det varierende terræn og derved minimere brændstofforbruget [Schwarzkopf og Leipnik, 1977]. Brændstofbesparelse var på daværende tidspunkt ligeledes et relevant emne, og der blev forsket i forskellige metoder for energieffektiv kørsel - bl.a. ved at chaufføren holdte farten konstant, i stil med den konventionelle fartpilot, og forsøg hvor speederen i stedet holdtes konstant. Formålet med Schwarzkopf og Leipniks rapport var at definere en optimal energieffektiv kørselsmetode i en matematisk model[Schwarzkopf og Leipnik, 1977].

Efterfølgende har flere forskningsprojekter taget udgangspunkt i Schwarzkopf og Leipniks rapport, med bl.a. en integreret boks i lastbiler, der har terrænforholdene for en kendt strækning implementeret, hvorefter der i kombination med en GPS-enhed vælges det optimale hastighedsprofil samt gear [Hellström et al., 2009]. Undersøgelsen *Look-ahead control for heavy trucks to minimize trip time and fuel consumption* viste en gennemsnitlig brændstofbesparelse på 3,5%, men det blev samtidigt konkluderet i rapporten, at det intuitivt ikke er vanskeligt at spare brændstof ved at køre langsommere, men at køre langsommere et sted, medfører et behov for at køre hurtigere andre steder for at indhente den tabte tid [Hellström et al., 2008].

1.1 Intelligent fartpilot til tunge køretøjer - Trafikforskningsgruppens forsøgsprojekt

Trafikstyrelsens pulje for teknologisk baserede forsøgsprojekter er givet i forbindelse med et forprojekt, som grundlæggende skal belyse potentialet for brændstofbesparelse og usikkerhederne omkring denne form for energieffektiv hastighedstilpasning af fartpiloten. Ved et positivt udfald af forprojektet vil det være muligt at søge om yderligere tilskud til udviklingen af teknologien [Trafikstyrelsen, 2013a].

Trafikforskningsgruppens oprindelige ansøgning bygger på at udvikle og integrere algoritmer i fartpiloten, der ud fra kendskab til vejens tracé, kan tilpasse speederen til en optimal hastighed og brændstoftilførsel - i denne forbindelse er det skønnet, at en brændstofbesparelse på 5-10% kan imødekommes i et vilkårligt køretøj [Trafikforskningsgruppen, 2011]. Projektet er sidenhen ændret til det omtalte forprojekt mht. flere forundersøgelser, hvilket iht. Trafikforskningsgruppens projektmøde bl.a. har afledt følgende emner: udvikling af en simuleringsmodel, bestemme vejens kortgrundlag og tracé (3D), opstilling af simpel forsøgsmodel til kørsel i marken og modelkørsel i marken [Trafikforskningsgruppen, 2013a].

Hvis forprojektet viser, at den skønnede brændstofbesparelse er signifikant, vil det være muligt at søge om midler ved *Det Strategiske Forskningsråd (DSF)* og *Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (EUDP)*, som udbyder samlet 25 mio. inden for forskning, udvikling og demonstration inden for energieffektiv transport [Ministeriet for Forskning, 2013]. På sigt forventes det, at den energieffektive fartpilot kan udvikles til at implementere yderligere data omkring bl.a. vejens tracé, geoinformation samt trafikforhold [Trafikforskningsgruppen, 2013a].

Et litteraturstudie af forskningsområdet viser, at der findes flere forskningsprojekter og produkter indenfor energieffektive fartpiloter, hvilket behandles i følgende afsnit.

1.2 Energieffektiv ITS

Projekter lignende Trafikforskningsgruppens har fundet sted, hvor forskellige firmaer og universiteter har udviklet og forsket i energieffektive fartpiloter. Derudover eksisterer der andre hjælpeteknologier til biler, som har en energieffektiv effekt - en kort gennemgang af disse findes i bilag A.1.

1.2.1 Eksisterende energieffektiv fartpilot

Mercedes-Benz Run smart
Mercedes har siden 2009 tilbudt intelligente fartpiloter til deres Freightliner lastbiler. Systemet hedder *Run smart* og kan ud fra terrænets forløb, optil en 1 mil (1,6 km), variere hastigheden med 6% fra den fastsatte hastighed. Derved udnyttes den ekstra energi, der kommer ved nedkørsel og en højere hastighed tillades inden efterfølgende stigning, hvorved en mere energieffektiv kørsel opnås. *Run smart* medfører en potentiel brændstofbesparelse på 3% ift. den almindelig fartpilot[Cars Talk, 2013]. I maj 2012 blev *Run smart* opgraderet, således systemet automatisk kan skifte gear for at køre i det mest optimale og derved spare brændstof [Motor Trend, 2013].

Scania Active Prediction
I 2012 lancerede Scania deres svar på en energieffektiv fartpilot, under navnet *Scania Active Prediction*. Systemet fungerer på samme måde som Mercedes's, hvor systemet vha. kendskab til vejens længdeprofil og lokalisering af lastbilen, kan forudsige, om der kommer en bakke og derved justere hastigheden for mere energieffektiv kørsel. Systemets typografiske kort dækker p.t. over ca. 95% af det primære og sekundære vejnet i Vest- og Centraleuropa - de områder, hvor systemet ikke har kendskab til typografien, vil den almindelige fartpilot være aktiveret. Ud fra Scanias egen beregninger kan deres system spare op til 3% brændstof, med mindre end 2 minutter tidstab på en hel dags kørsel [Scania, 2011].

1.3 Forskningsprojekter

Trafikforskningsgruppen er ikke de eneste, som har forsket i at udvikle en energieffektiv fartpilot, da både Linköping Universitet i Sverige og Virginia Tech Transportation Institut i USA begge har lavet lignende forskningsprojekter. Disse er dog blevet udviklet til at køre mere energieffektivt på hovedveje, hvor Trafikforskningsgruppens forskning er møntet på de danske landeveje. Hertil bygger Virginia Tech Transportation Institut's forskning på en energieffektiv fartpilot for personbiler, hvor Trafikforsikringsgruppen og Linköping Universitet er fokuseret på tynge køretøjer.

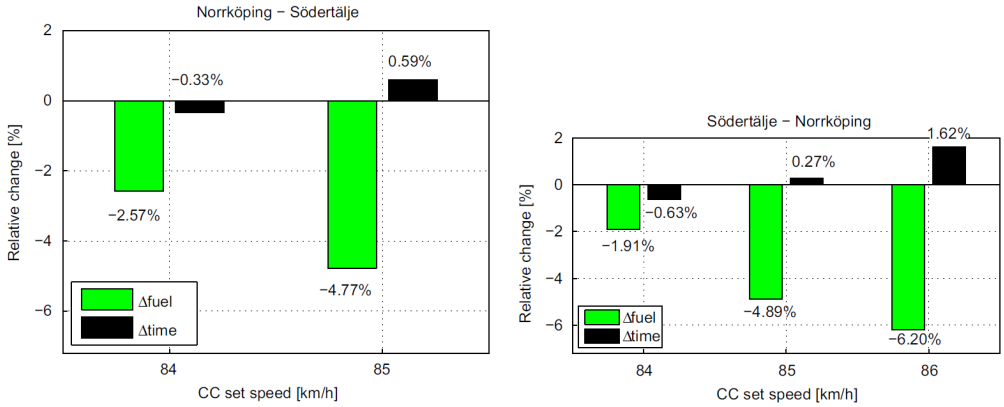
1.3.1 Linköping Universitet

Linköping Universitet og Scania har forsket i en energieffektiv fartpilot, der ud fra en kendt typografi kan optimere energiforbruget i et tungt køretøj ved at variere hastigheden. Dette afsnit er baseret på [Hellström et al., 2008].

Linköping Universitet har udviklet en algoritme, som kan beregne den optimale hastighed og gear, ud fra hvordan strækningen forløber. Hertil er der implementeret en algoritme, som vægter brændstofbesparelsen kontra forøgelsen af rejsetiden - dette skyldes, at der intuitivt kan spares brændstof ved at reducere hastigheden. Yderligere er algoritmen forsøgt holdt så simpel som muligt for at undgå lange beregningsprocesser og derved få realtidsberegninger fra algoritmen, uden brug af kraftige computere.

Algoritmen blev testet på motorvej E4 i Sverige, mellem Södertälje og Norrköping, på en 120 km

strækning, med en tilladt minimum og maksimum hastighed på hhv. 79 og 89 km/t - testen blev udført i en Scania lastvogn med hænger.

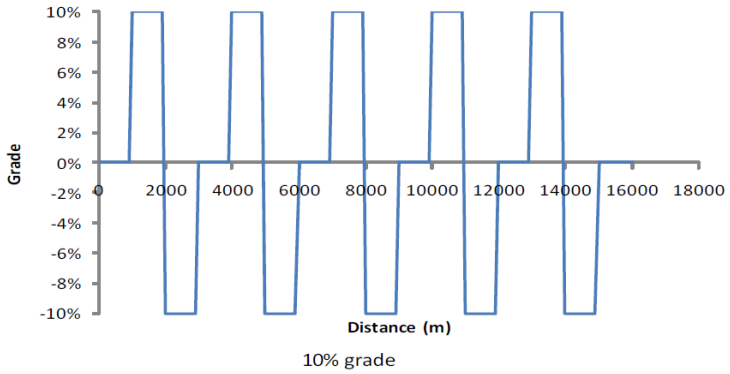


Figur 1.3. Venstre: Resultater fra testkørslen fra Norrköping til Södertälje. Højre: Resultater fra testkørslen fra Södertälje til Norrköping. [Hellström et al., 2008]

Som det ses på figur 1.3 er der mulighed for at spare brændstof på en energieffektiv fartpilot, dog bliver det på bekostning af rejsetiden ved højere hastigheder. Rapporten angiver, at det gennemsnitlige forbrug i begge retninger, falder med 3,53% med en negligeret reducering af rejsetid på 0,03% i sammenligning med en traditionel fartpilot. Yderligere er det gennemsnitlige antal af gearskift reduceret med 42%, pga. hastigheden var forøget inden begyndelsen af en bakke, og derved undgik nedskiftning af gear for at trække over bakken.

1.3.2 Virginia Tech Transportation Institut

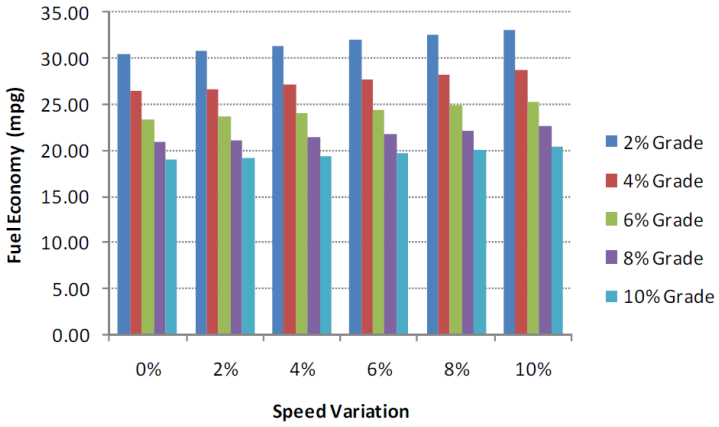
Virginia Tech Transportation Institute's forskning er baseret på et simuleringsforsøg, hvor terrænet fra en fiktiv harmonisk kuperet strækning, se figur 1.4, og segmenter af Interstate 81 i USA, er indlagt i modellen for at simulere virkningen af deres energieffektive fartpilot for fem forskellige biler. Afsnittet er baseret på [Ahn et al., 2011].



Figur 1.4. Typografiske data for den fiktive strækning med 10% hældning [Ahn et al., 2011]

Ud fra den fiktive strækning er indflydelsen af hældningen på vejens længdeprofil undersøgt, hvor der er forsøgt at simulere den samme strækning med henholdsvis 2, 4, 6, 8 og 10 % hældning.

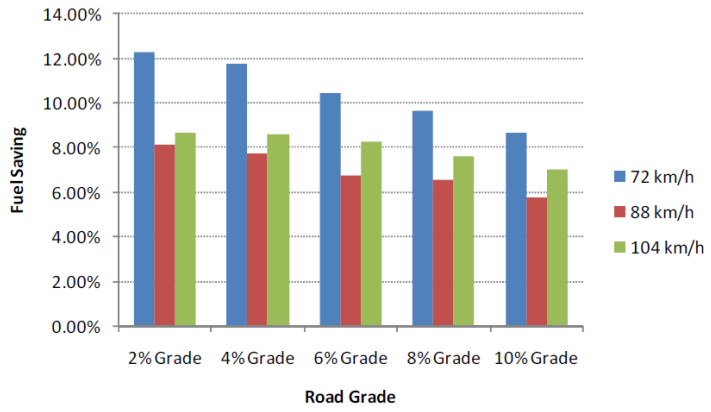
Dertil er energiforbruget målt ved hastighedsvariationer på 2, 4, 6, 8 og 10 %. Resultatet kan ses på figur 1.5



Figur 1.5. Brændstofforbruget med energieffektiv fartpilot ift. hastighedsvariation og hældning af vejen [Ahn et al., 2011]

Som det ses, er det ved de lave hældninger, der køres længst på literen. Dette skyldes, at den højere hastighed, som opnås på større hældning, ikke kan opveje det ekstra brændstofforbrug, der bruges ved stigninger med samme hældning. Yderligere skal det bemærkes, at der ved større hastighedsvariation opnås et bedre brændstofforbrug, hvilket skyldes, at der accepteres en større hastighed ved nedkørslen og derved opnås mere energi, som kan bruges ved efterfølgende stigning - derudover accepteres en mindre hastighed på stigningen.

Yderligere blev det, ud fra den fiktive strækning med forskellig hældning og hastighedsvariation på 10%, undersøgt, hvilke af tre hastigheder; 72, 88, 104 km/t, der var mest energibesparende. Resultatet fra en Toyota Camry ses på figur 1.6



Figur 1.6. Brændstofforbruget ved forskellige hældninger og hastigheder med 10% variation [Ahn et al., 2011]

Der spares en del brændstof ved kørsel med en energieffektiv fartpilot, uafhængigt hvilken hastighed der køres med. Den mest energibesparende hastighed er ved 72 km/t, og som det bemærkes er den mindst energibesparende ved 88 km/t. Dette skyldes, at køretøjet har det optimale brændstofforbrug med konventionel fartpilot ved 88 km/t, derved forringes brændstofforbruget

ved højere og lavere hastigheder, og derfor opnås en ikke nær så effektiv brændstofbesparelse som ved de andre hastigheder.

Disse forskningsprojekter viser, at der er et potentiale i at udvikle en energieffektiv fartpilot, der sparer på brændstoffet ved at tillade en variation i hastigheden. Den potentielle brændstofbesparelse sker især ved, at energien fra nedkørslen udnyttes ved den efterfølgende stigning. Dog er det essentielt, at der forekommer en kuperet strækning for at udnytte den energieffektive fartpilots potentiale.

1.4 Initierende for projektet

Det primære formål med Trafikforskningsgruppens igangværende forprojektet er at afdække usikkerheder samt foretage forundersøgelser inden den egentlige udvikling af en energieffektiv fartpilot - deraf er der afledt en række emner, som grundlæggende behandler hhv. teorien bag, opbygningen af en simuleringsmodel samt udførelse af forsøgskørsel i praksis. Det er med udgangspunkt i disse emner, at grundlaget for dette projekt er dannet, idet Trafikforskningsgruppen har opbygget en teoretisk og matematisk model for simulering af kørsel på en given strækning.

Idéen bag dette projekt er, at tage udgangspunkt i Trafikforskningsgruppens teoretiske overvejelser samt simuleringsmodel, og udføre forsøgskørsler med henblik på en sammenligning af den teoretiske model kontra test i praksis. Dette stiller dog krav til, at der opstilles en forsøgsmodel for testkørslen i praksis, som kan belyse det mulige potentiale for brændstofbesparelse. Projektet er derved et projektsamarbejde med Trafikforskningsgruppen, hvor dataindsamling og kørselsmonitoreringen skal benyttes ift. at eftervise virkningen af en energieffektiv fartpilot. Efterfølgende sammenlignes simuleringsmodellen og testkørslerne, hvorved bl.a. følsomme parametre kan belyses med henblik på en fremtidig videreudvikling.

Tidligere forskning indenfor energieffektive kørselsmetoder og fartpiloter viser, at der findes en potentiel brændstofbesparelse ved at implementere terrænforholdene, men samtidigt findes der ikke en entydig måde, hvorpå kørselsmetoden skal udføres. Dertil er tidsaspektet en essentiel del, idet langsommere kørsel umiddelbart giver brændstofbesparelser, men samtidigt medfører problemstillinger omkring en forlænget rejsetid.

Det er grundlæggende for projektet, at der opstilles en forsøgsmodel til udførelse i praksis, som vha. af empiri kan eftervise og dokumentere den brændstofbesparelse der potentielt kan opnås ved hastighedstilpasning, og efterfølgende udvikling af en energieffektiv fartpilot - dataindsamlingen danner desuden grundlaget for verificering af Trafikforskningsgruppen simuleringsmodel.

Ovenstående har således været initierende for projektet og har udledt følgende opgaveformulering.

Opgaveformulering

Hvor stor en brændstofbesparelse kan forventes ved kørsel med hastighedstilpasning frem for en konventionel fartpilot, når hastigheden tilpasses strækningens længdeprofil?

Hvordan kan brændstofbesparelsen eftervises i praksis?

Hvor præcis er simuleringsmodellen og kan den verificeres i forhold til kørslerne i praksis?

1.4.1 Afgrænsning

Projektet omhandler opstilling og udførelse af forsøg med energieffektiv hastighedstilpasning i praksis, og efterfølgende sammenligning af model og virkelighed.

Trafikforskningsgruppens oprindelige projekt er baseret på tunge køretøjer, men dette projekt er afgrænset til kun at omhandle køretøjer, der kan føres med et B-kørekort.

Dertil er der en række forudsætninger omkring forsøget og modellen, som afgrænses fra. Der udvikles ikke egne algoritmer til simuleringsmodellen, og eftersom denne ikke kan simulere kørsel i horisontalkurver, behandles forsøgsstrækningens eneste horisontalkurve ikke i resultaterne eller i modellen. Ej heller indgår der beregninger på kørselsdynamikken, men teorien behandles kort. Der afgrænses endvidere fra optimering ift. til gear, bl.a. fordi der ikke kan udkobles under kørsel med fartpilot, hvortil modelversionen er afgrænset til kun at simulere et gear.

Hovedfokus er at eftervise en potentiel brændstofbesparelse ved hastighedstilpasning frem for fartpilot, og forsøget udføres kun på en enkelt strækning - derfor kan resultaterne kun sammenholdes med den enkelte strækning og ikke generaliseres. Der indgår ikke økonomiske overvejelser omkring brændstofforbrug og rejsetid.

1.5 Metodeafsnit

Projektet bygger på en undersøgelse og eftervisning af, hvor stor en brændstofbesparelse der kan opnås ved kørsel med hastighedstilpasning frem for fartpilot, og efterfølgende om Trafikforskningsgruppens simuleringsmodel kan verificeres ift. forsøgskørslerne i praksis. Opstilling og udførelse af forsøget er derfor essentielt for projektet, hvorfor dette afsnit omhandler metoden for dataindsamlingen, som er grundlæggende for at besvare opgaveformuleringen. Rapporten er dertil opbygget som en lang proces, hvor der læres af fejl i målinger og metoder undervejs, og disse fejl vurderes for derved at udlede nye metoder til måling.

Dataindsamling
Udgangspunktet er et litteraturstudie af sekundær data, der udføres med henblik på at indsamle information omkring lignende forskningsprojekter og den viden, der foreligger indenfor projektområdet. Dertil kan der drages nytte af erfaringer med evt. tidligere udførte forsøgskørsler, således disse kan inddrages i projektets egen forsøgsopstilling og udførelse. Endvidere er der deltaget i et projektmøde afholdt af Trafikforskningsgruppen omkring deres konkrete projekt.

Forsøgskørsel
Forsøgskørslerne, der udføres undervejs i dette projekt, er grundlaget for den empiriske dataindsamling og bygger på primære data og kvantitative metoder - dvs. dataindsamlingen udføres specielt til projektet og metoden sker ved at logge bl.a. hastighed og brændstofinformation under forsøgskørslen, hvilket medfører data, der kan bearbejdes i bl.a. Excel. Desuden er det en forudsætning, at alle kørsler udføres i samme køretøj.

Eftersom dataindsamlingen foregår ved kvantitativ metode, er der store krav til validiteten, da det er vigtigt, at det er det korrekte der måles og at resultaterne er troværdige. Dertil stilles der krav om høj reliabilitet for at sikre en høj målenøjagtighed, således forsøgene medfører samme resultat,

selvom de udføres uafhængigt af hinanden.

Idet dataindsamlingen foregår ved egne kørsler, kan dette gå ud over objektiviteten under udførelsen, hvilket derfor kan påvirke resultaterne. Det er derfor hensigtsmæssigt med dokumenteret repeterbarhed og reliabilitet, således forsøget kan gentages, og der uafhængigt kan opnås ens resultater. Alt noteres således også fra forsøgskørslerne for at dokumentere udførelsen af disse.

Udførelsen af forsøgskørslerne baseres desuden på en iterativ proces, hvor indledende kørsler analyseres og efterfølgende optimeres før den egentlige forsøgskørsel.

Simuleringsmodel
Den empiriske dataindsamling ved forsøgskørslerne er ligeledes grundlaget for at vurdere Trafikforskningsgruppens simuleringsmodel og verificere den ift. kørslerne i praksis. Modellen kalibreres derfor ud fra data omkring forsøgskøretøjet og -lokaliteten, hvorefter resultaterne fra modellen sammenlignes med forsøgskørslen i praksis for evt. at bekræfte, at modellen kan eftervises i praksis.

Overordnede setup 2

Det overordnede setup er grundlaget for at udlede en forsøgsopstilling, der skal eftervise effekten af energieffektiv hastighedstilpasning i praksis. Indledningsvist skal der lokaliseres en potentiel forsøgsstrækning, hvilket bl.a. bygger på grundlæggende kørselsdynamiske parametre, hvorefter der redegøres for forsøgsopstillingen og de bagvedliggende overvejelser.

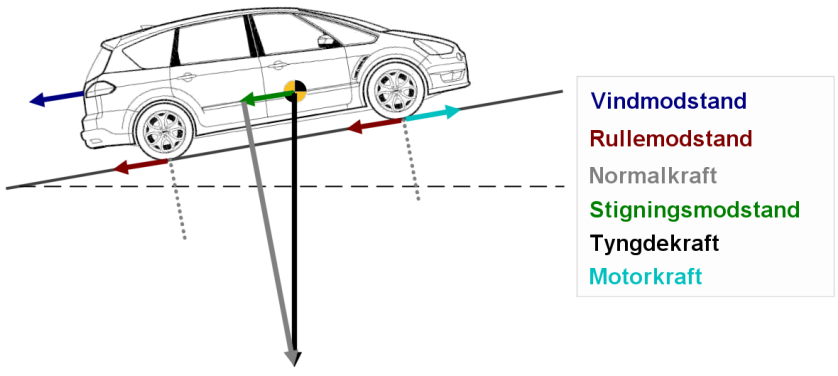
2.1 Kørselsdynamik

Før en forsøgslokalitet og en forsøgsbil kan udvælges, er det vigtig at have kendskab til kørselsdynamikken, der optræder i et køretøj ved kørsel i et kuperet terræn - eftersom det er de dynamiske kræfter, som skal medvirke til en brændstofbesparelse ved kørsel med en energieffektiv hastighedstilpasning. Afsnittet er baseret på Trafikforskningsgruppens teoretiske betragtninger for en energieffektiv hastighedstilpasningsstrategi [Bolet et al., 2013].

De kræfter som påvirker køretøjet, kan opdeles i to kategorier, hvor den ene er alle de kræfter, som virker på køretøjet og som ikke kan påvirkes af chaufføren; f.eks. vindmodstand og rullemodstand, som betegnes eksterne kræfter. Den anden kategori er den kraft som chaufføren kan kontrollere; dvs. motorkraften, der betegnes den interne kraft.

Ved udvikling af en energieffektiv fartpilot er det nødvendigt løbende at tilpasse de regulerende kræfter til de påførte kræfter, således de påførte kræfter udnyttes til fremdrift, hvor det er muligt - her tænkes især tyngdekraftens indvirkning, hvorfor et kuperet terræn vil være formålstjenligt ift. forsøgskørsel med en konventionel fartpilot og energieffektiv hastighedstilpasning.

Når kørselsdynamikken i et køretøj skal beskrives, kan der betragtes seks slags kræfter som påvirker køretøjet, se figur 2.1 - de følgende punkter beskriver de eksterne kræfter, og i det sidste punkt betragtes motorkraften, som er en intern kraft.



Figur 2.1. Kræfternes indvirkning på køretøjet

Tyngdekraften
Af de påførte kræfter er det klart tyngdekraften, som har størst betydning i forhold til kørsel med energieffektiv hastighedstilpasning. Dette skyldes, at tyngdekraften, ved stigning eller nedkørsel, opdeles i to komposanter, hhv. en normalkraft og en stigningsmodstand, hvor det er stigningsmodstanden, som skal give den "ekstra" energi til bevægelsesenergien, således kravet til motorkraften mindskes.

Stigningsmodstanden er afhængig af massen på køretøjet og hældningen på vejen, hvor større masse og hældning vil medføre mere "ekstra" energi. Dog betyder det, at der skal bruges mere motorkraft ved stigninger, hvilket medfører ekstra energiforbrug. For at opnå en bedre udnyttelse af tyngdekraften og udnyttelse af den potentielle energi, er det bedst med korte stigninger og bakker samt korte afstande imellem dem, således energien bedst kan udnyttes ved næste stigning.

Centripetalkraften
Denne kraft optræder kun når et køretøj bevæger sig igennem horisontalkurver, og derved udsættes for en sideacceleration, som er rettet mod kurvens krumningscentrum. Kraften er med til at reducere den fremadrettede energi, hvorfor den har en negativ indvirkning på energiforbruget. Idet Trafikforskningsgruppens simuleringsmodel ikke medregner horisontalkurver, er det nødvendigt at lokalisere en forsøgsstrækning uden eller med få sving, for således at negligere centripetalkraftens indvirkning på sammenligningen af teori og praksis.

Vejens normalkræfter
Normalkraften modvirker de kraftkomposanter, der virker vinkelret på vejoverfladen, som f.eks. køretøjets egenvægt. Normalkraften fordeles på køretøjets hjul og er så stor, at køretøjets hjul ikke synker ned i vejbelægningen. En ujævn vejbelægning bevirker, at normalkræften ændrer sig fra punkt til punkt, hvilket medfører, at køretøjet skal optage vertikale kræfter i støddæmperne og derved kommer der et energitab i forhold til en jævn vej.

Yderligere har en ujævn vej direkte betydning for både rullemodstanden og friktionskraften, eftersom disse er afhængige af normalkraften og derved kan variere på en ujævn vej. Simuleringsmodellen tager ikke højde for ujævnheder i vejbelægningen, og derfor er det nødvendig at lokalisere en strækning, som er i acceptabel stand.

Rullemodstand og friktionskraft
Rullemodstanden virker altid modsat køretøjets bevægelsesretning og er et udtryk for det energitab, som forekommer i de bevægelige dele når et hjul er i bevægelse f.eks. hjulleje.

Friktionskraften er den som forekommer mellem dækket og vejoverfladen og ligeledes den kraft, der overfører motorkraften til fremdrift.

Vind- og luftmodstand
Vind og luftmodstand er to komplicerede modstande at regne på, eftersom der kan opstå turbulens og vindmodstanden kan skifte retning alt efter, hvordan det blæser, om køretøjet kører i læ eller om vejen svinger. Hvis vejret forudsættes vindstille, vil beregningen af luftmodstanden være mere simpel og samtidig mulig at medtage i simuleringsmodellen. Det er derfor vigtigt, at der ikke blæser kraftigt på de dage, hvor forsøgskørslerne udføres, da dette vil komplicere sammenligningen af teori og praksis. Det er især i forhold til vindmodstanden ved med- og modvind, som kan have en indflydelse på brændstofforbruget.

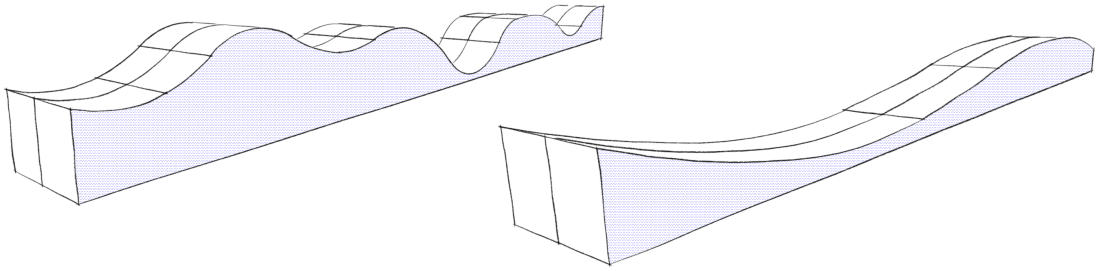
Motorkraften
Størrelsen af motorkraften på et køretøj afhænger af, hvor stor effekt motoren har. Kraften skal alene overvinde de overnævnte modstande og kræfter for at skabe fremdrift, og er samtidig den kraft, som skal reduceres for at skabe en energibesparelse. Ved at slippe speederen bruger motoren ikke brændstof, hvilket dog forudsætter, at bilen har elektronisk indsprøjtning - men samtidigt vil motorkraften omdannes til motorbremsning pga. modstanden i motoren. Det er derfor vigtig at lokalisere en strækning med gunstige forhold, således især tyngdekraftens effekt er større end motorbremsen ved nedkørsel.

På baggrund af de kørselsdynamiske egenskaber er der nu dannet et grundlag for udvælgelsen af en forsøgsstrækning til både forsøg i praksis og simuleringsmodellen. Det er vigtig at lave forsøgskørslerne med samme bil, idet omtalte kræfter varierer fra bil til bil, og en evt. besparelse på forbruget kan skyldes en ændring af disse.

2.2 Testlokalitet

Lokalisering af et passende testområde har stor betydning for sammenligningen af simuleringsmodellen og forsøgskørsel i marken. Udgangspunktet for udvælgelsen af et specifikt område er afgrænset til Nordjylland, hvortil de betydende vurderingskriterier er beskrevet i det følgende. Flere af kriterierne begrundes ved, at simuleringsmodellen er bestemmende for, hvilke forudsætninger der bør medtages ved vurderingen af en egnet testlokalitet samt for at simplificere flere af forsøgsparametrene.

Kuperet strækning med flere korte bakker
Det mest betydningsfulde vurderingskriterie for udvælgelsen af testlokaliteten er, at terrænet vil give anledning til flere accelerationer og decelerationer af køretøjet. Endvidere er det formålstjenligt med flere korte bakke over en strækning fremfor store og lange bakker, se illustrationen på figur 2.2.



Figur 2.2. Venstre: Strækning med flere korte bakker. Højre: Strækning med store men lange bakker

Det er især ift. udnyttelse af den potentielle energi, hvor det vil være hensigtsmæssigt med flere korte bakker.

En længere og forholdsvis retlinjet forsøgsstrækning
Ved en længere strækning er der mulighed for flere bakker, og derved bliver testkørslen mindre eksponeret overfor variationer og usikkerheder. Desuden medfører en længere strækning større nøjagtighed ved måling af energiforbruget under kørsel i marken, da den brugte brændstofmængde således øges.

En helt lige strækning foretrækkes dertil, eftersom horisontalkurver har indvirkning på køretøjets kørselsdynamik, hvilket giver anledning til, at køretøjet mister energi. Dertil tager den nuværende version af simuleringsmodellen ikke højde for horisontalkurver, hvorfor en lige strækning vil øge nøjagtigheden ift. sammenligningen af model og virkelighed.

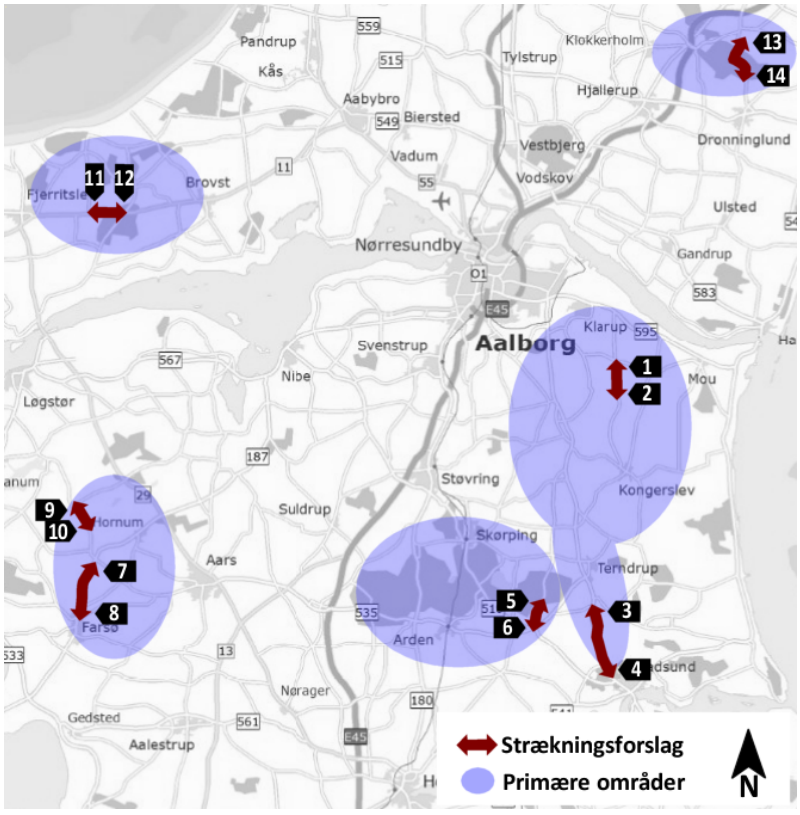
Fri kørsel

En forudsætning for kørsel af både modellen og forsøg i praksis er, at den øvrige trafik ikke har indvirkning på forsøget, idet det skal tillades, at køretøjet kan reducere og øge hastigheden forsvarligt og uden påvirkning fra øvrig trafik. Derfor efterstræbes det, at trafikintensiteten på strækningen er lav, således forsøgskørslerne ikke påvirkes af den øvrige trafik, idet dette vil medføre, at det pågældende forsøg givetvis skal forkastes.

Med mindre forsøgsstrækningen afspærres for den øvrige trafik, kan tilstedeværelsen af denne dog ikke undgås, hvorfor det kan være formålstjenligt at køre på tidspunkter med lav trafikintensitet - således reduceres risikoen for, at testkørslen påvirkes. Desuden forudsættes det, at de sikkerhedsmæssige forhold varetages på strækningen, hvilket indebærer hensynstagen til vigepligtsforhold og vejbelægning, samt at det givne hastighedsniveau kan opretholdes forsvarligt.

2.2.1 Valg af forsøgslokalitet

Nordjylland er udgangspunktet for at finde en forsøgstrækning, hvortil figur 2.3 illustrerer udvalgte strækningsforslag samt de primære områder, som er gennemkørt forud for valget af forsøgslokalitet.



Figur 2.3. Figuren illustrerer udvalgte strækningsforslag, samt hvilke områder der primært er gennemkørt

Det er valgt, at lokaliteten for model- og forsøgskørsel skal afgrænses til én konkret strækning ud af de syv illustrerede på ovenstående figur 2.3. Derfor redegøres der i det følgende for fordele og ulemper ved de syv alternative forsøgstrækninger, hvortil strækningsbenævnelserne er opstillet i tabel 2.1.

Nr.	**Strækningsforslag**	**Vejnavn**
1	(1-2)	Tiendemarken
2	(3-4)	Hadsundvej
3	(5-6)	Thoruphedegårdsvej
4	(7-8)	Hornumvej
5	(9-10)	Flejsborgvej
6	(11-12)	Aalborgvej
7	(13-14)	Storeskovvej

Tabel 2.1. Tabel over de syv forskellige strækningsforslag

Hver enkelt vejstrækning vurderes mht. vurderingskriterierne, hvortil hvert kriterium bedømmes ud fra angivelserne i tabel 2.2. For uddybet beskrivelse af fordelene og ulemperne samt billeder for hver strækning henvises til bilag B.1 og B.1.1.

Vurdering	*Betydning*
++	God
+	Acceptabelt
-	Mindre god
- -	Uacceptabelt

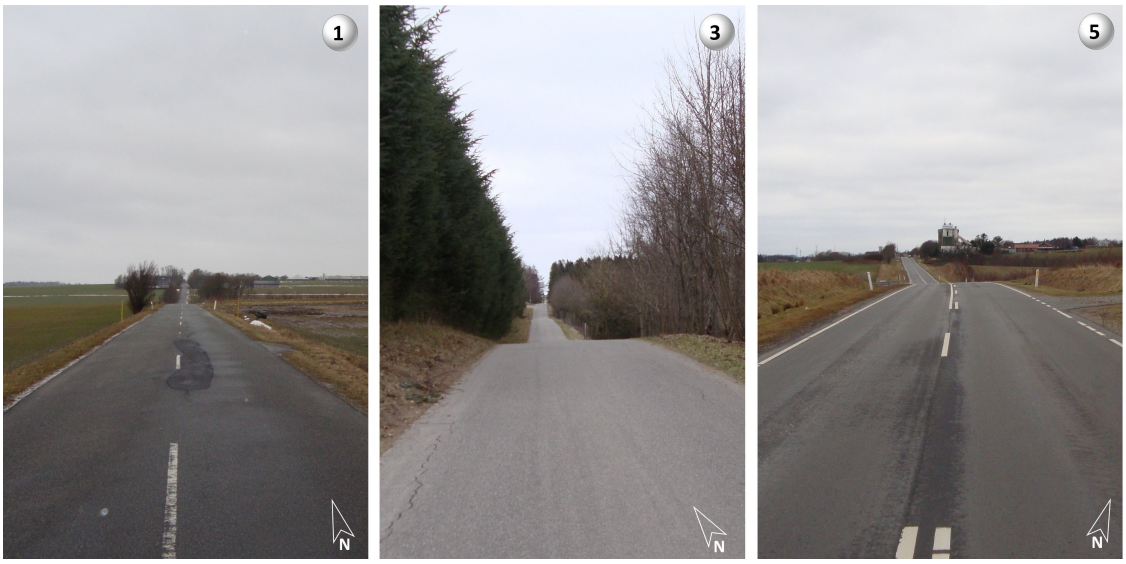
Tabel 2.2. Betydning af vurderingsbetegnelser

I tabel 2.3 fremgår vurderingen af hvert strækningsforslag - det skal tilføjes, at vurderingskriterie omkring kuperet terræn vægtes højest, hvorfor det er determinerende, at dette minimum vurderes acceptabel.

Kriterie	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
Kuperet terræn	**+**	**-**	**++**	**- -**	**+**	**-**	**+**
Strækningslængde	-	++	-	+	-	+	+
Horisontalkurvatur	++	+	+	-	+	++	- -
Trafik	++	-	++	+	++	-	+
Belægning	-	++	+	++	++	++	++
Kryds og bebyggelse	+	+	+	++	++	++	++

Tabel 2.3. Vurdering af strækning 1 til 7, med hovedvægt på kuperet terræn markeret med rødt

Det ses af tabel 2.3, at strækningsforslag 1, 3, 5 og 7 enten er vurderet acceptable eller gode, men strækning 7 har en del horisontalkurver, hvilket vurderes uacceptabelt og strækningen udgår derfra fra udvælgelsen. Derfor behandles strækningsforslag 1,3 og 5 i det følgende - billeder fra de tre lokaliter ses på figur 2.4.



Figur 2.4. Billeder fra hhv. strækningsforslag 1, 3 og 5

Strækning 3 er mest kuperede og vurderes således også som værende den eneste gode i tabel 2.3 - dertil er strækningens umiddelbare tracé i stil med den illustrerede strækning til venstre på figur 2.2, hvorimod strækning 1 og 5 består mere af få og lange bakker. Det eneste vurderingskriterium, der ikke direkte vurderes acceptabelt, er strækningslængden (ca. 2,4 km), men som følge af det forholdsvis store antal af bakker, er der gode muligheder for energieffektiv hastighedstilpasning på strækningen, se skitse af terrænet på figur 2.5.

Figur 2.5. Skitse af terrænet fra strækning 3 - baseret på GPS-målinger

Derfor vælges strækning 3, Thoruphedegårdsvej, som værende projektets forsøgslokalitet for både simuleringsmodellen og kørsel i marken.

2.3 Forsøgsopstilling

Idet forsøgsområdet er bestemt er næste trin at redegøre for forsøgsopstilling, da dette, iht. afsnit 1.5, danner grundlag for indsamlingen af empiri. Det er i projektet valgt at arbejde med tre faser; *initierende testkørsel*, *forsøgskørslen* og slutteligt *teori kontra praksis* - det skal hertil bemærkes, at rapporten efterfølgende er opbygget efter disse tre faser. Følgende redegør for overvejelserne, der ligger til grund for hver af de tre faser.

2.3.1 Fase 1 - Initierende testkørsel

Med udgangspunkt i udvælgelsen af den konkrete strækning for både modelkørsel og kørsel i praksis, omfatter fase 1 de initierende testkørsler, som foretages med henblik på at inspicere strækningen, indsamle højdedata samt vurdere potentiale og forudsætninger på lokaliteten.

Forud for testkørslerne er der overvejet flere metoder til dokumentation og måling af data, idet der lægges stor vægt på reliabilitet ved den empiriske dataindsamling. Antallet af informationer og målenøjagtigheden har stor indflydelse på dataudtrækket og efterfølgende analyse samt især ift. verificering af kørsel og model. Fra tidligere forskningsprojekter ses det, at kørsel med en energieffektiv fartpilot, frem for en konventionel, kan give energibesparelser på omkring 3% [Hellström et al., 2008] - samtidigt konkluderes det, at der intuitivt kan spares brændstof ved at køre langsommere, hvorfor hastighed også har stor indflydelse på forsøget. I forbindelse med forsøgskørslerne vil det derfor være formålstjenligt med nøjagtige målinger af brændstofforbruget, hastigheden og tiden, hvortil muligheder og metoder beskrives i det følgende.

Målemetode
Måling af brændstofforbruget kan enten ske manuelt eller digitalt, dvs. ved manuel påfyldning og aflæsning af brændstof efter hver forsøgskørsel eller ved at tilkoble digitalt måleudstyr til køretøjets CAN-bus.

Fordelen ved digital måling er, at der ofte kan indsamles realtidsinformationer omkring bl.a. brændstofforbrug, hastighed og speederpositionen. Dette stiller dog krav til, at der kan kommunikeres med bilen, hvorfor understøttelse af et OBD-link (On Board Diagnostic) er nødvendigt, se figur 2.6. I henhold til EU direktiv 98/69/EC har det siden 2001 og 2004 været et krav, at hhv. benzin- og dieselbiler understøtter OBD-link tilslutning, hvorfor forsøgsbilen skal være af nyere årgang end disse, hvis denne metode tages i brug [European parliament, 1998].

Figur 2.6. PC baseret OBD-link

Hvis digital måling ikke er mulig må brændstofforbruget aflæses manuelt ved påfyldning enten på lokaliteten eller ved nærmeste tankstation. Hastigheden kan noteres ud fra speedometeret under forsøgskørsel, hvorefter en gennemsnitshastighed kan beregnes ud fra strækningslængde og kørselstid.

Idet digital måling kan give realtidsinformationer, vælges der at arbejde videre med denne målemetode - udførelsen af de initierende testkørsler, foretages således også for at teste OBD-linkets kompatibilitet, hvilket bearbejdes i afsnit 3.2.

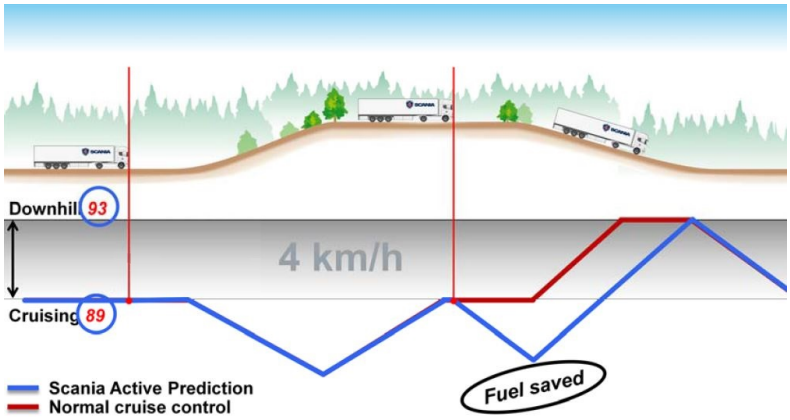
2.3.2 Fase 2 - Forsøgskørsel

I fase 2 gennemføres forsøgskørslerne på strækningen, hvilket bl.a. sker på baggrund af de forudsætninger, der udledes ved de initierende kørsler. Før forsøgskørslerne kan foretages, er det nødvendigt at overveje, hvilke kørselsmetoder der potentielt kan give en energibesparelse ift. en konventionel fartpilot - med afsæt i nedenstående overvejelserne skal det bemærkes, de valgte kørselsmetoder slutteligt opsummeres i dette afsnit.

Ifølge Schwarzkopf og Leipniks rapport fra 1977, var der flere forslag til, hvordan en strækning kunne køres mere energibesparende, bl.a. ved at holde hastigheden så konstant som muligt under alle vejforhold eller ved at holde speederpositionen konstant [Schwarzkopf og Leipnik, 1977]. Fastholdelse af hastigheden svarer til nutidens fartpiloter, der i teorien accelererer regelmæssigt for at opretholde en given hastighed, jf. bilag A.1.

Kørsel med fartpiloten på strækningen vil således være udgangspunktet for forsøgskørslen, idet tilgangen til projektet er, at eftervise en energieffektiv kørselsmetode ift. en konventionel fartpilot. Dette medfører et krav om, at forsøgsbilen er udstyret med en fartpilot, idet manuel kontrol af hastigheden kun tilnærmelsesvis kan udføres lig en fartpilot, hvilket endvidere vil skabe problemer ift. reliabiliteten af målingerne.

Idet kørsel med fartpilot også giver en vis repeterbarhed, er det muligt at indføre en energieffektiv kørselsmetode, hvor fartpiloten hhv. slukkes og tændes indenfor et givet hastighedsinterval. Denne metode giver mulighed for implementering af viden omkring terrænforhold og derved slukke fartpiloten før bakketoppen, og på denne måde opnå en eventuel brændstofbesparelse. Dette er endvidere i stil med Scanias eksisterende produkt *Active prediction*, jf. afsnit 1.2.1, som er illustreret på figur 2.7.



Figur 2.7. Brændstofbesparelsen sker ved, at energiforbruget reduceres inden nedkørslen på bakken, hvorefter den potentielle energi øger hastigheden til en given grænse [Scania, 2011]

Problemstillingen omkring denne kørselsmetode er, at lavere hastighed ved et punkt kræver en højere hastighed på et andet, hvis der ikke accepteres et tidstab - Scania løser således dette ved, at der accelereres umiddelbart før stigningen, for således at køre med større moment og rette gear. Derved spares der både tid på stigningen og brændstof på nedkørslen [Scania, 2011].

For at undersøge flere alternative kørselsmetoder, som potentielt medfører brændstofbesparelser, vælges det at køre forsøgskørslerne med konstant speederposition. Den potentielle besparelse ved

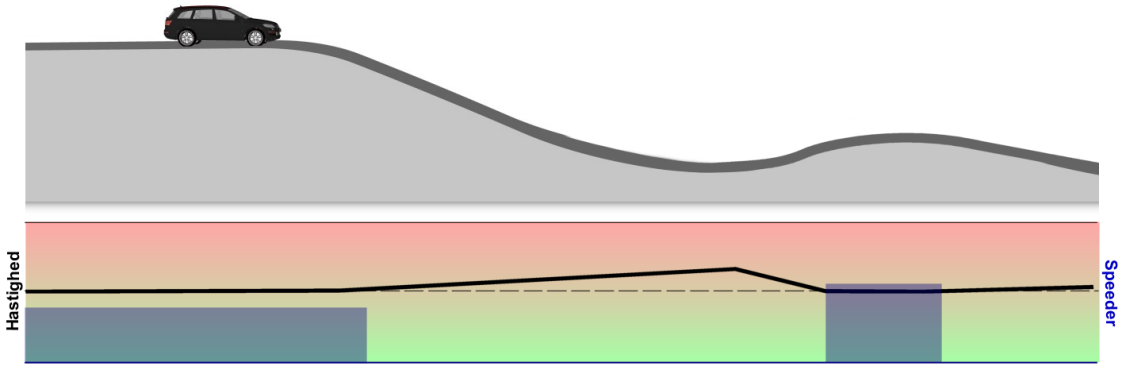
denne metode er dog svær at forudsige, hvilket ligeledes er gældende for hastighedsprofilet og det eventuelle tidstab.

Sidste kørselsmetode integrerer elementer fra hver af de tre ovenstående metoder og på denne måde opnås en forventet brændstofbesparelse samtidig med, at kørselstiden holdes tilsvarende. Denne kørselsmetode kaldes for energieffektiv hastighedstilpasning og styres manuelt indenfor en øvre og nedre hastighedsgrænse.

I de nedenstående punkter opsummeres kørselsmetoderne med dertilhørende forudsætninger, samt hvordan kørslerne forventes udført. For at eksemplificere kørselsmetoderne gives en hastighed på 60 km/t, hvortil hastighedsintervallet fastsættes til en øvre og nedre grænse på hhv. 70 og 50 km/t.

Kørselsmetode 1 - Fartpilot
Fartpiloten indstilles til 60 km/t og strækningen gennemkøres med denne hastighed.

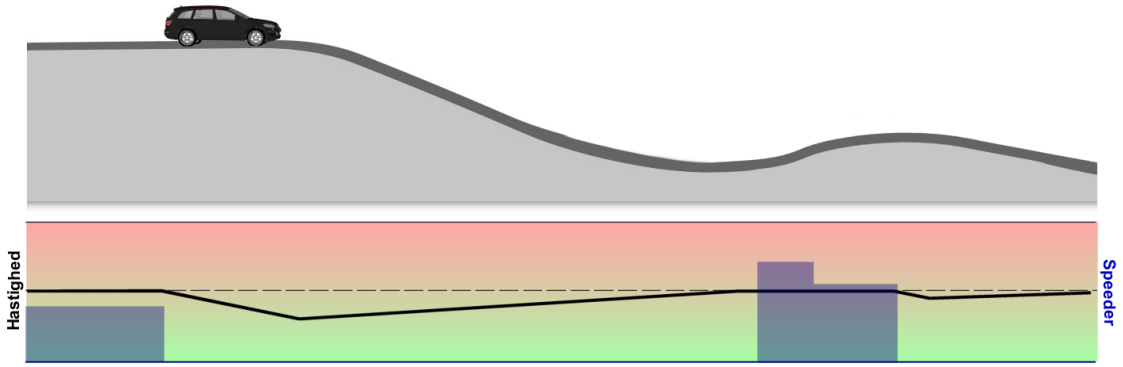
Forventet kørsel
Hastigheden på 60 km/t opretholdes på hele strækningen, dvs. yder større motorkraft på stigninger og motorbremser på nedkørsler. På figur 2.8 ses det forventede hastighedsprofil for en fiktiv strækning, når fartpiloten er aktiveret - bemærk dertil den forventede speederposition er illustreret med blåt.



Figur 2.8. Det forventede hastighedsprofil og speederposition ved *kørselsmetode 1* - højden af de blå markeringer illustrerer speederpositionen

Kørselsmetode 2 - Energieffektiv fartpilot (on/off)
Fartpiloten indstilles til 60 km/t, hvorefter den sættes på pause inden bakketoppen og på repeat enten når hastigheden er ved 50 km/t, eller når der igen skal køres 60 km/t. Dette skal vurderes og optimeres på forsøgslokaliteten, hvilket bl.a. kan gøres ved optegning med kridt på vejbanen, som indikerer stedet for pause af fartpilot.

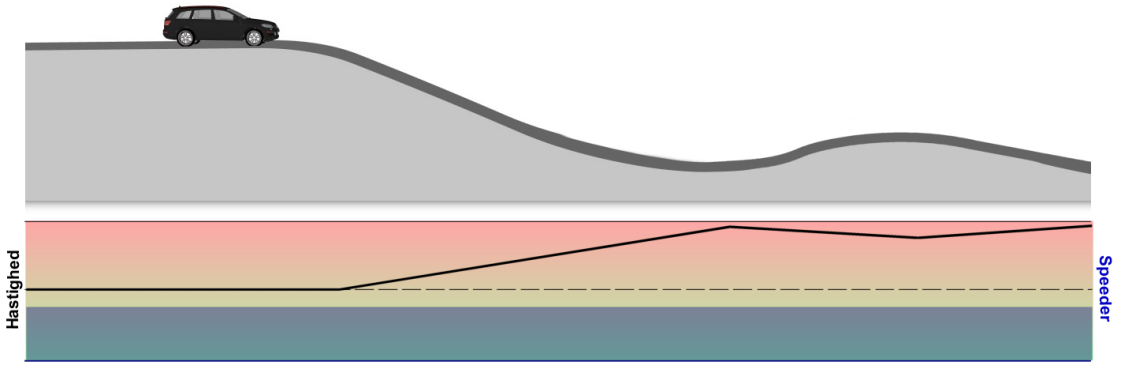
Forventet kørsel
Hastigheden på lige strækninger holdes på 60 km/t, men før bakketoppe slukkes fartpiloten, hvorefter hastigheden daler, dog til minimum 50 km/t - på nedkørslen tillades det, at den potentielle energi øger køretøjets hastighed til 70 km/t. Når hastigheden er 60 km/t tændes fartpiloten igen, dog forventes det at bilen accelererer mere, for at opretholde den angivne hastighed, se figur 2.9.



Figur 2.9. Det forventede hastighedsprofil og speederposition ved *kørselsmetode 2*

Kørselsmetode 3 - Fast speederposition
Speederpositionen fastholdes på en position svarende til 60 km/t på lige vej - dette kalibreres ift. kørsel på lige vej. Derefter gennemkøres strækningen med denne position fastholdt.

Forventet kørsel
Der gives den nødvendige gas til at opretholde 60 km/t på en lige strækning, når denne er fundet gennemkøres strækning, hvorefter stigninger medfører hastigheder under 60 km/t og nedkørsler medfører hastigheder over 60 km/t, se figur 2.10.



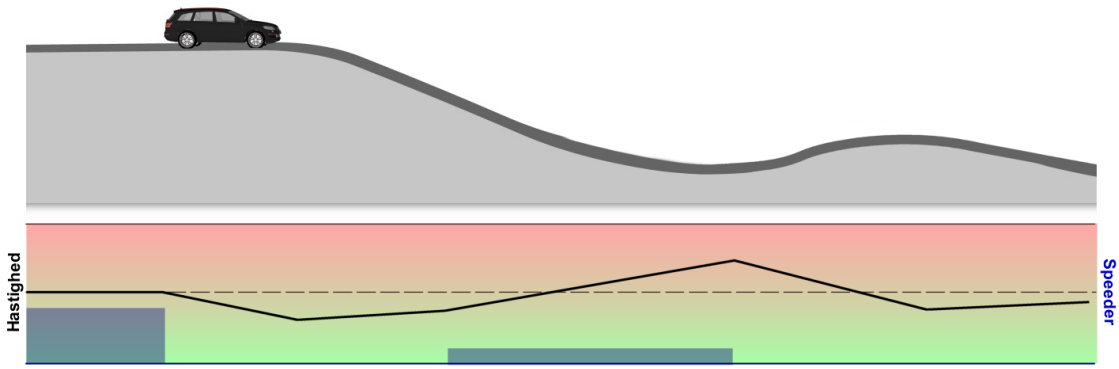
Figur 2.10. Det forventede hastighedsprofil og speederposition ved *kørselsmetode 3*

Speederposition ændres ikke under kørslen, og derfor er den forventede gennemsnitshastighed svær at forudsige - det skal nævnes, at hastighed ikke må overstige hastigheder, som medfører konflikt med lov- og sikkerhedsmæssige aspekter. Hvis dette er tilfældet, må den oprindelige speederposition reduceres.

Kørselsmetode 4 - Energieffektiv hastighedstilpasning (manuelt)
Med udgangspunkt i en hastighed på 60 km/t skal strækningen gennemkøres, hvortil trykket på speederen øges/reduceres med henblik på at opnå en energieffektiv kørsel, som udnytter kendskabet til det forestående terræn.

Forventet kørsel
Mellem bakkerne opretholdes en hastighed på 60 km/t, hvor der forinden hver bakke tillades et let tryk på speederen og øget hastighedsændring - speedertrykket reduceres herefter jævnt over stigningen, dog til minimum 50 km/t. Ved nedkørslen tillades det, at hastigheden øges til 70 km/t,

enten vha. tyngdekraftens påvirkning på køretøjet, eller ved at der trykkes let på speederen for at overkomme evt. motorbremsning. Den potentielle energi der opnås ved nedkørslen, kan dermed have en energieffektiv effekt på den følgende stigning, se figur 2.11



Figur 2.11. Det forventede hastighedsprofil og speederposition ved *kørselsmetode 4*

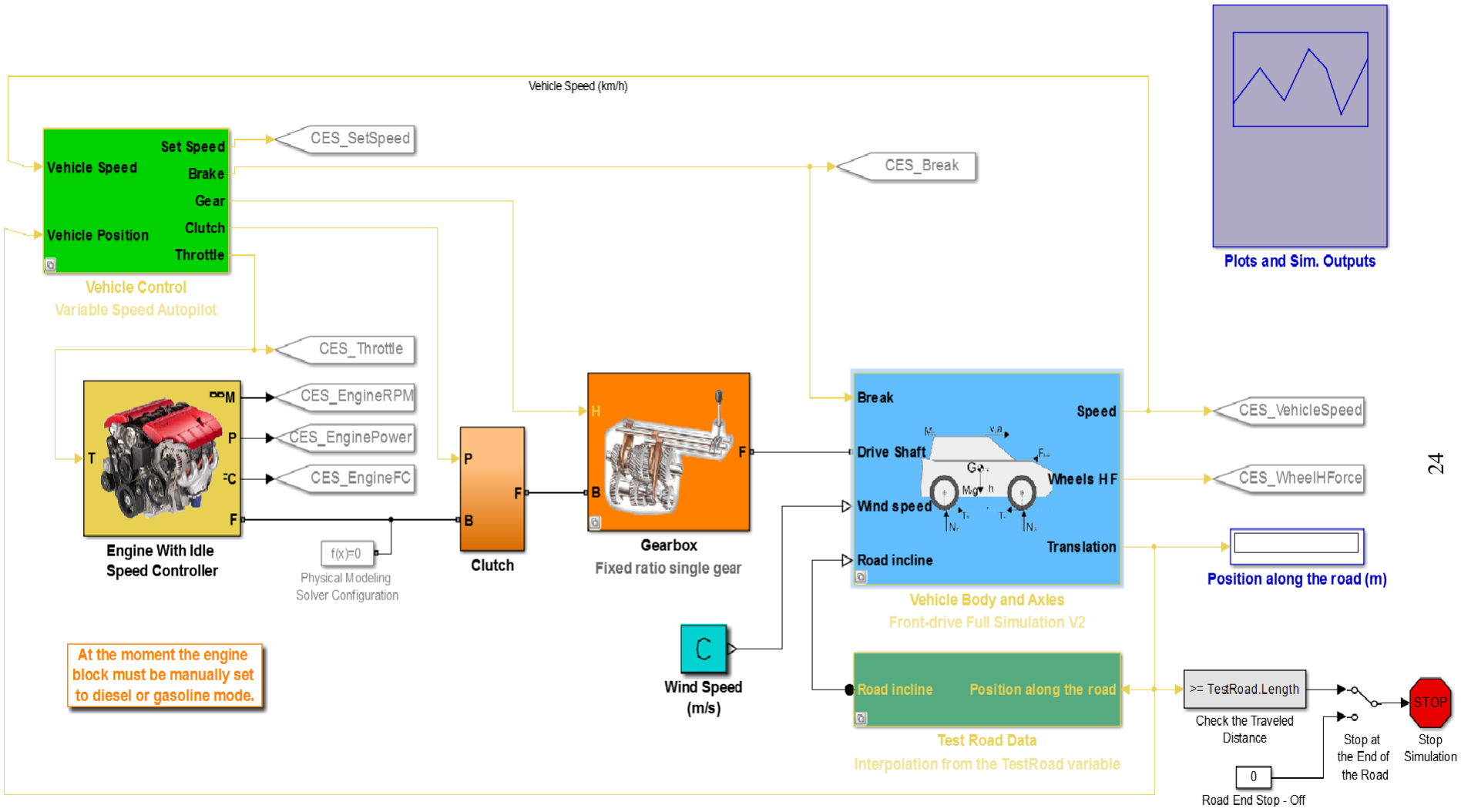
Idet speederen styres manuelt, vil der forekomme variationer, hvorfor denne form for forsøgskørsel vil have størst repeterbarhed, hvis speederpositionen kan logges med OBD-linket. Det vil dertil være formålstjenligt med kridtstreger til at angive positionen for enten øget eller reduceret hastighed, således dette forekommer ens i alle kørslerne.

2.3.3 Fase 3 - Teori kontra praksis

Tredje og sidste fase består i at verificere Trafikforskningsgruppens simuleringsmodel, og derved undersøge om modellen og teorien kan eftervise resultaterne fra forsøgskørslerne i fase 2, samt hvilke dele af modellen der er mest følsom ift. forsøgskørslen.

Simuleringen er baseret på *Simulink*, der er et *Matlab* tilføjelsesprogram og værktøj til simulering, analyse og kontrol af komplekse modeller og dynamiske systemer. Modellen er opbygget som illustreret på figur 2.12, hvor hver blok repræsenterer et system af algoritmer, som omfatter både kørselsdynamik og bilfysik.

Med afsæt i fase 2's data og resultater skal modellen simuleres ved at implementere de specifikke højdedata fra strækningen samt det pågældende køretøjs specifikationer. Herved kan det vurderes om teori og empiri er tilsvarende, og hvilke parametre der er mest følsom. Idet det er valgt at køre med OBD-linket, vil det hovedsagelige grundlag for verificeringen være at sammenholde realtidsinformationerne fra kørselsmonitoreringen med modellen - dette forudsætter dog at OBD-linket understøttes og er kompatibel med disse informationer.



Figur 2.12. Screen dump fra Simulink-modellen [Trafikforskningsgruppen, 2013b]

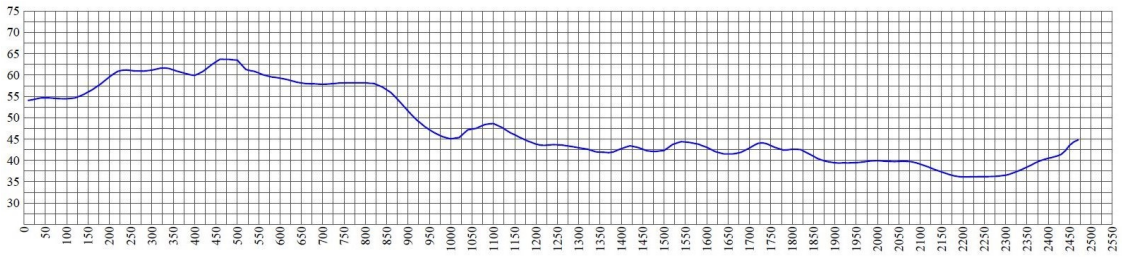
Fase 1 - Initierende testkørsel 3

I henhold til afsnit 2.3 foretages den initierende testkørsel for at indsamle detaljerede oplysninger og data omkring den valgte testlokalitet ved Thoruphedegårdsvej, dertil omhandler kapitlet forudsætninger for, at forsøgskørslen i marken kan udføres i praksis samt metoden for dataindsamling.

3.1 Testlokaliteten

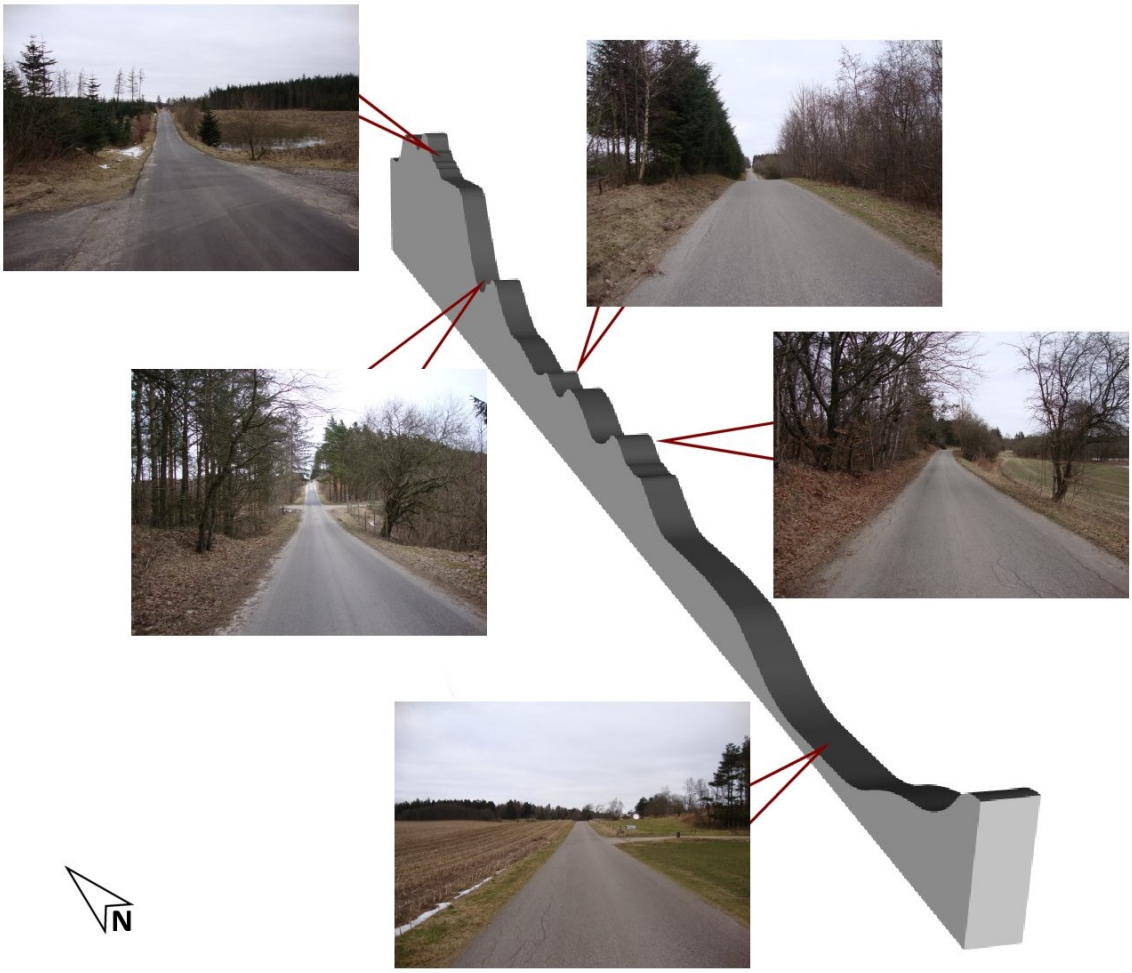
Efter udvælgelsen af den ca. 2,4 kilometer lange strækning på Thoruphedegårdsvej som testlokalitet, er området besigtiget for yderligere og uddybende detaljer omkring terrænforhold samt hastighedsfastsættelse ift. sikkerhed, belægning og sigt.

Længdeprofil
Kendskab til længdeprofilet er dertil nødvendigt for Simulink-modellen og vha. GPS-målinger er længdeprofilet på figur 3.1 fremstillet, hvorefter det er muligt at simulere kørsel på strækning ved at implementere GPS-dataene i *Simulink*.



Figur 3.1. Længdeprofil over den valgte testlokalitet ved Thoruphedegårdsvej

På trods af den forholdsvis korte strækning forekommer der korte bakker, hvilket ses tydeligt på både figur 3.1 og 3.2. At terrænet er kuperet kommer ligeledes til udtryk ved forskellen i kotehøjderne, der varierer tæt på 30 meter fra hhv. det højeste punkt til det laveste på strækningen. Desuden er flere af bakkerne korte men stejle, og en enkelt bakke har en maksimal gradienthældning på omtrent 10%, hvilket øger tyngdekraftens virkning på køretøjet og muligheden for udnyttelsen af den potentielle energi.



Figur 3.2. Oversigtstegning med billeder fra lokaliteten - alle billeder er taget mod nord

GPS-målingerne er foretaget med RTK (Real Time Kinematic) Leica GPS måleudstyr, der potentielt måler ned til få centimeters nøjagtighed, hvis der er uhindret forbindelse til alle satellitter, se figur 3.3.

Figur 3.3. GPS-måling for hver 20. meter

Med dette udstyr er der for hver 20. meter af strækningen logget et GPS koordinat fra midten af vejen, som derefter er bearbejdet i *Novapoint* til det viste længdeprofil.

3.1.1 Forudsætninger ift. kørsel på lokaliteten

Der er foretaget en række testkørsler på lokaliteten med henblik på at vurdere forudsætningerne, forholdene og potentialet før den egentlige forsøgskørsel i marken.

Sikkerhedsforhold
Jf. *Strækningsforslag 3* i bilag B.1, samt vurderingskriterierne i tabel 2.3 forekommer der ikke meget trafik på strækningen, hvilket giver gode forhold for kriteriet omkring fri trafikafvikling - men det skal dog bemærkes, at vejens bredde på 5 meter vanskeliggør passage af to biler, og modkørende trafik kan derved have indflydelse på forsøget.

Desuden er der flere steder med dårlige oversigtsforhold, som følge af små konkave vertikalkurver, og kombineret med vejens smalle bredde, betyder dette, at det ikke anses som værende forsvarligt at opretholde en hastighed på de tilladte 80 km/t, se figur 3.4 samt billedserien i bilag C.1.

Figur 3.4. Eksempel på vejens smalle bredde samt dårlige oversigtsforhold ved vertikalkurven, hvorfor det ikke er forsvarligt at køre 80 km/t

Derforuden indebærer strækningens eneste horisontalkurve ligeledes dårlige oversigtsforhold, og i modsætning til den resterende del, er det vanskeligt at opdage modkørende på større afstand. For at imødekomme disse problemstillinger er det valgt at gennemføre forsøgskørslerne med 60 km/t som initierende hastighed, hvortil der køres med gult roterblink på bilen for at gøre opmærsom på køretøjets tilstedeværelse. Dertil opstilles en advarselstavle for enden af strækningen, som angiver opmåling, og kegler opstilles desuden ved kurverne med dårlig oversigt, hvilket er vist på figur 3.5 samt på oversigtstegningerne i bilag C.1.1.

Figur 3.5. Venstre: advarselstavler for opmåling på strækningen. Højre: opstillet kegle ved vertikalkurve med dårlig oversigtsforhold

Initierende hastighed

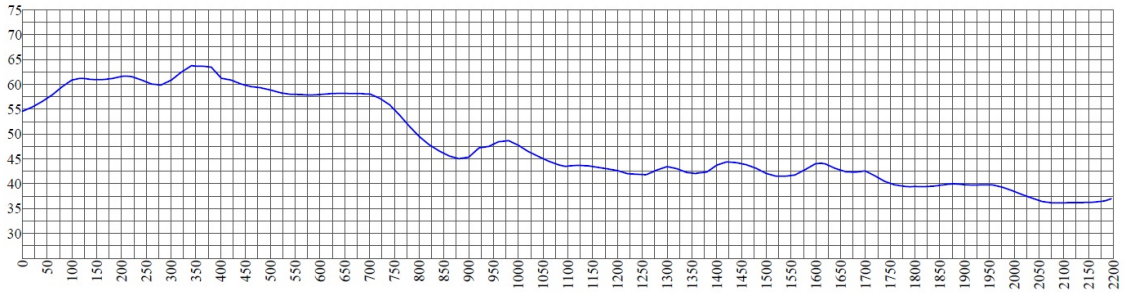
Eftersom det er valgt at reducere forsøgshastigheden til 60 km/t af sikkerheds- og oversigtsmæssige årsager, skal det undersøges om denne hastighed kan opnås inden forsøgsstrækningens begyndelse.

Mod nord ender den asfalterede vej i en grusvej samt et lille sving, hvilket er vist på figur 3.6 - dette skaber især et problem når forsøgskørslen skal foretages fra nord til syd, eftersom grusvejens stand vanskeliggør at køre med 60 km/t. Derfor flyttes strækningens nordlige punkt 40 meter mod syd, således den initierende hastighed kan opnås før forsøgskørslens start. 160 meter hen ad grusvejen er der desuden en god vendemulighed ved forsøgskørslen, hvilket betyder at der er en accelerationsstrækning på ca. 200 meter, se også illustration på figur C.2 bilag C.1.1.

Figur 3.6. Det nordlige og sydlige punkt for den opmålte strækning

I den sydlige del, ender den opmålte strækning ved byskiltet til Astrup og derfor en hastighedsgrænse på 50 km/t, se figur 3.6. Pga. en god vendemulighed efter byskiltet, er det valgt at inddrage de sydligste 180 meter til accelerationsstrækning, da nedkørslen desuden er oplagt til at accelerere fra 0-60 km/t, se figur C.3 i bilag C.1.1.

Derfor ændres strækningens længdeprofil sig, som vist på nedenstående figur 3.7, og forsøgstrækningen måler således ca. 2,2 kilometer.



Figur 3.7. Ændret længdeprofil for at gøre plads til accelerationsstrækninger i nord og syd

Andre forhold

Vejrlige forhold har ligeledes indflydelse på udførelsen af forsøget, da vejret kan medføre at forsøget skal indstilles af sikkerhedsmæssige og især datamæssige årsager. Vejret har indflydelse på dataudtrækket, idet både vind, regn og sne påvirker bilens kørselsdynamik, hvilket også påvirker sammenligningen af model med kørsel i virkeligheden. For at mindske indflydelsen fra disse parametre vælges det at udføre forsøgskørslerne på dage, hvor disse påvirkninger er minimale - det var således også vejret der resulterede i, at den initierende testkørsel på strækningen ikke kunne udføres i første omgang pga. sne, se billede fra d. 20/3-13 i bilag C.1.2.

3.2 Målemetode

I henhold til afsnit 2.3 er det valgt, at indsamlingen af empiri skal foretages vha. digitalt udstyr, dog under forudsætning af, at udstyret er kompatibel med de nødvendige informationer. Den sekundære målemetode er ved at notere hastighed, tid og brændstofforbrug manuelt, hvortil den initierende testkørsel har til formål at teste kravet til forsøgskøretøjet samt kompatibiliteten med OBD-linket.

Valg af forsøgskøretøj

Indledningsvist er det en del af forundersøgelsesprocessen at udvælge et køretøj, som kan benyttes ved alle tre faser. OBD-linket er i denne sammenhæng testet på en Ford Mondeo fra 2006 og Peugeot 206+ fra 2009 for at undersøge kompatibiliteten, samt hvilke informationer der kan forventes understøttet. I tabel 3.1 ses de vigtigste informationer ift. projektet, samt hvorvidt køretøjet er kompatibelt. Dataudtrækket for OBD-testen ses i elektronisk bilag G.1.1.

Køretøj	Hastighed	Speeder-position	Brændstof-forbrug	Distance	Opdaterings-hastighed [sek]
Ford Mondeo	Ja	Ja	Nej	Nej	0,63
Peugeot 206+	Ja	Nej	Ja	Nej	2,3

Tabel 3.1. Test af OBD-linket ved to forskellige biler

Det ses, at selvom det er samme OBD-link, PC hardware og software (OBDwiz), som benyttes, er det forskelligt, hvilke informationer der kan udtrækkes med OBD-linket. For begge biler kan

realtidsinformationer omkring hastigheden udtrækkes, men det er kun Peugeot'en, der understøtter informationer omkring brændstof - derimod fås realtidsinformationer omkring speederpositionen ved Ford'en. Bemærk desuden forskellen i opdateringshastigheden på de to biler, hvor det foretrækkes, at bilen opdaterer oftest muligt, for således at logge flest realtidsinformationer. Ved en høj opdateringsfrekvens er det dertil muligt at præcisere den tilbagelagte distance gennem hastighedsinformationerne.

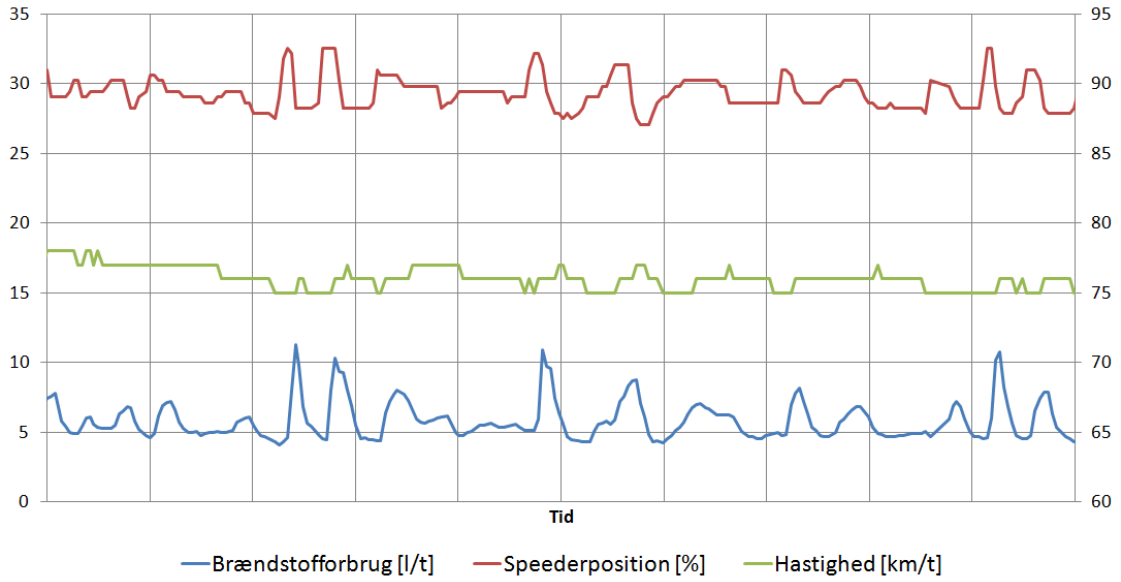
Idet realtidsinformationer omkring hastigheden kan forventes understøttet ved brug af OBD-linket, vælges det fortsat at arbejde videre med denne målemetode. Det er derfor nødvendigt at anskaffe et forsøgskøretøj med fartpilot og som understøtter OBD-linket, hvorefter den endelige målemetode, for måling af især brændstofforbruget, kan vælges.

Via Aalborg Universitet er der adgang til en Peugeot Partner fra 1999, som også er benyttet ved lokaliseringen af forsøgsområdet - problemet ift. dette køretøj er, at bilen ikke har fartpilot og i øvrigt ikke understøtter OBD-linket, hvorfor digitale målinger ikke kan udføres med det udstyr, der er til rådighed. Dertil er bilen lavt gearet, hvilket vil reducere udnyttelsen af den potentielle energi ved nedkørsler, idet bilen motorbremser kraftigt. Partneren benyttes derfor ikke til forsøgskørslen.

I stedet lejes en bil med fartpilot og af nyere årgang, således OBD-linket understøttes. Forsøgsbilen er en Ford C-Max 1,6 liters diesel med 115 hk, der med en egenvægt på ca. 1500 kilo, også bidrager til en større potentiel energi ved nedkørsel - Specifikationerne for køretøjet ses i elektronisk bilag G.1.1, hvortil bilen og setup for måling ses på figur 3.8.

Figur 3.8. Ford C-Max og tilslutning af OBD-link til bilens CAN-bus

Grundet snevejr var test af OBD-linket ikke mulig på forsøgslokaliteten, jf. bilag C.1.2 - i stedet blev større veje benyttet, da disse var ryddet for sne på dagen. Test af OBD-linket viste, at Ford C-Max'en var kompatibel og samtidigt understøttede informationer for både hastighed, speederposition og brændstofforbrug. På figur 3.9 ses et eksempel på de loggede informationer fra OBD-linket ved kørsel på en flad vej, hvortil det komplette dataudtræk ses i elektronisk bilag G.1.1.1.



Figur 3.9. Loggede realtidsinformationer omkring speederposition, hastighed og brændstofforbrug - hastigheden er angivet på den sekundære akse

Figuren viser realtidsinformationer, der er logget til computeren og efterfølgende bearbejdet i Excel. Det ses, at brændstofforbruget bl.a. afhænger af speederpositionen, hvorfor forbruget stiger når speedertrykket øges[1]. Ved kørsel med fartpilot, kan der til gengæld ikke udtrækkes informationer omkring speederpositionen.

Testkørslen viste endvidere, at hastigheden på speedometeret ikke svarer til den reelle hastighed, idet test med fartpilot på hhv. 60, 70, 80, 90 og 100 km/t konstant loggede 5 km/t under disse hastigheder, se bilag C.2 og elektronisk bilag G.1.1.1. For kontrol af den loggede fartpilot hastighed, blev der benyttet en TomTom GPS enhed ved 60 km/t - denne viste således 56 km/t i gennemsnit, hvorfor den reelle hastighed vurderes til at ligge 4-5 km/t under det, speedometeret viser.

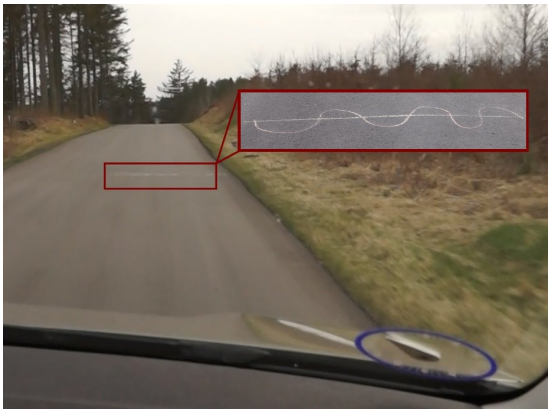
Eftersom OBD-linket viste sig kompatibel med Ford C-Max'en, benyttes bilen som forsøgskøretøj i fase 2 og efterfølgende modelleringskøretøj i fase 3.

[1] Speederposition - 81% svarer til helt åbent gasspjæld og ved 15% er speederen sluppet på figur 3.9

Fase 2 - Forsøgskørsel 4

Selve forsøgskørslen foretages på baggrund af overvejelserne i det initierende setup i kapitel 3, og planlagt til at finde sted torsdag d. 4. april til fredag d. 5 april 2013. Eftersom det PC baserede OBD-link er den primære enhed for kørselsmonitoreringen, er der en tidsmæssig begrænsning for, hvor lang tid OBD-linket kan benyttes - i den forbindelse er der indkøbt en omformer til bilens 12 volts udtag, men omformeren kortsluttede efterfølgende ved tilslutning til computer. Derfor benyttes i stedet tre bærbare computere på forsøgsdagene, hvorpå det PC baserede software OBDwiz installeres, hvilket samlet medfører en batteri tid på omtrent otte timer.

Forsøgskørslerne udføres iht. de beskrevne kørselsmetoder i afsnit 2.3 og udføres i både nord- og sydgående retning, hvortil udgangspunktet er at gennemføre 10 kørsler i begge retninger for hver af de fire kørselsmetoder. Udførelsen af kørselsmonitoreringen foregår ved, at OBD-linket er aktiveret mellem de markerede start/slut på oversigtsfigurerne i bilag C.1.1.



Figur 4.1. Eksempel på kridtstregsafmærkningen på vejen

For at øge repeterbarheden for *kørselsmetode 2* (On/off fartpilot) og *kørselsmetode 4* (Energieffektiv hastighedstilpasning med manuel styret speeder) er det i forsøgsopstillingen vurderet, at kridtstreger på vejen skal angive, hvor hhv. fartpiloten skal slukkes, eller hvor speederen skal slippes, se eksempel på figur 4.1. Stregerne er optegnet på baggrund af længdeprofilet, besigtigelse på forsøgslokaliteten samt testkørsler på strækningen, hvortil stregernes placering er illustreret i bilag D.1. Placeringen af kridtstregerne er lavet på baggrund af GPS-koordinater for hver streg på lokaliteten, jf. elektronisk bilag G.2.1.

Forudsætninger er således på plads, hvorefter den egentlige forsøgskørsel kan udføres.

Forsøgskørsel d. 4. og 5. april 2013
De vejrmæssige forhold var gode disse to dage med solskin og temperaturer tæt på 10 grader samt en nordøstlig vind med en middel vindhastighed på 2,5 m/s, hvortil et samlet overblik for forsøgskørslens forudsætninger er opstillet i tabel 4.1.

Forudsætninger	**-**
Køretøj	Ford C-Max
Forsøgsstrækning	Nord og sydgående
Strækningslængde	2,2 km
OBD-link	Hastighed, speederposition Brændstofforbrug og tid
Hastighedsmisvisning	- 5 km/t
Gear valg	4. gear ud af 6
Temperatur	$\approx 10\ ^oC$, skyfrit
Vindstyrke	2,5 m/s
Vindretning	NØ

Tabel 4.1. Forsøgskørslens forudsætninger

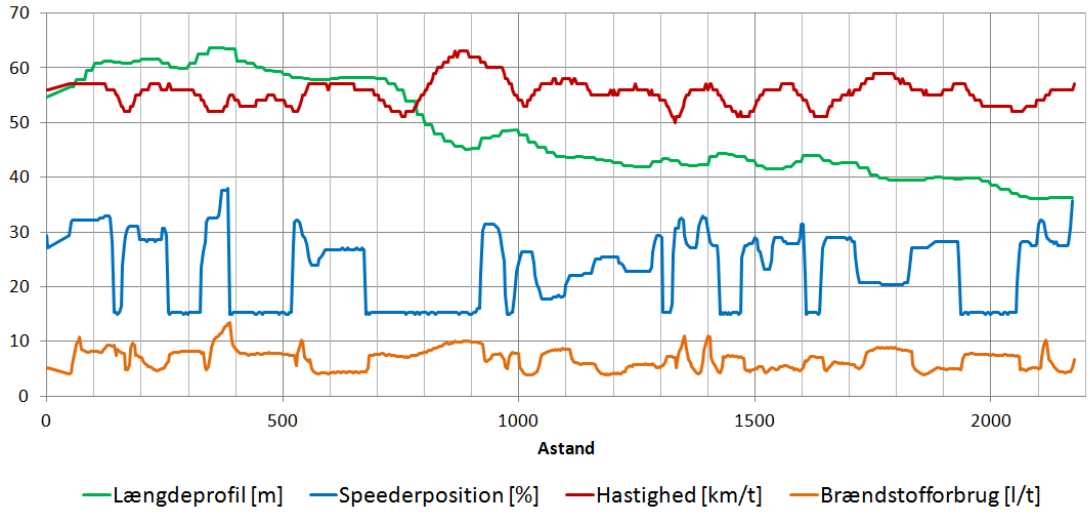
4.1 Behandling af data

Realtidsinformationerne fra kørselsmonitoreringen logges på computeren som en .CSV fil, hvilket kan indlæses i programmet Excel. Idet der ikke logges informationer omkring den tilbagelagte afstand, er det vanskeligt at relatere realtidsinformationerne til den aktuelle position på længdeprofilet - dog er det muligt at estimere en afstand, eftersom informationer omkring tiden og hastigheden logges ca. tre gange i sekundet. Afstanden sammenholdes efterfølgende med højdedataene fra de indsamlede GPS-koordinater, hvortil det er muligt at estimere positionen på længdeprofilet, hvilket er formålstjenligt ift. dataanalysen.

I elektronisk bilag G.2.2 findes både rådata og de efterfølgende behandlede data fra forsøgskørslen.

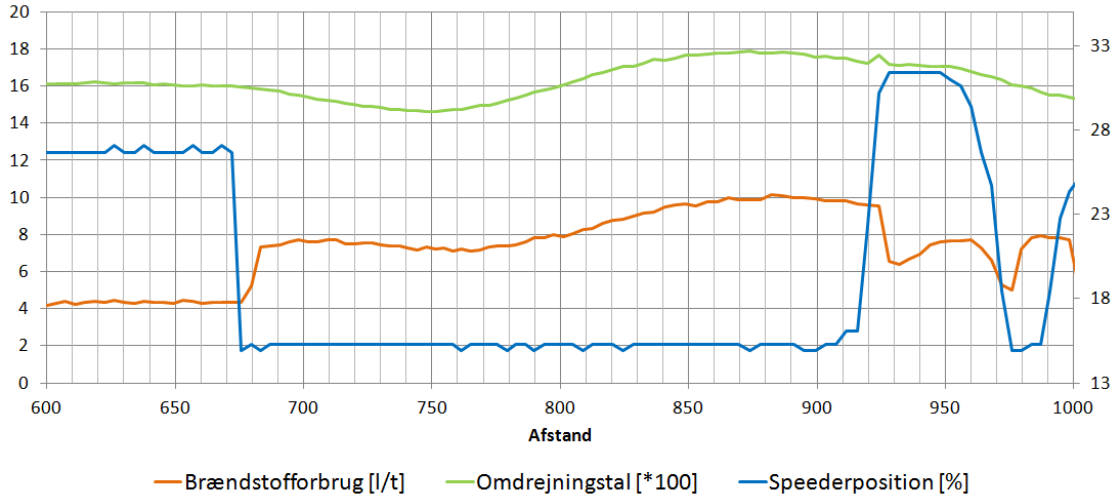
4.1.1 Fejl i OBD-link

På baggrund af databehandling skal der gøres opmærksom på, at der er fejl i forsøgsresultaterne for brændstofforbruget, hvilket umiddelbart skyldes, at OBD-linket beregner forbruget og ikke aflæser det ud fra bilens CAN-bus. Fejlen i angivelsen af brændstofforbruget er illustreret på grafen på figur 4.2, som er de gennemsnitlige dataresultater på de loggede data fra *kørselsmetode 4* med manuel hastighedstilpasning. Bemærk især, hvordan brændstofforbruget stiger, når speederen slippes efter bl.a. 700 meter.



Figur 4.2. Gennemsnitlige dataresultater fra *kørselsmetode 4*, hvor hastighed, speederposition og brændstofforbrug vises sammen med den estimerede position på længdeprofilet

Brændstofforbruget burde falde til nul efter speederen slippes, idet indsprøjtningen af brændstof afbrydes når bilen dertil holdes i gear [Trafikstyrelsen, 2013b]. Dette kan skyldes en fejl ved, at OBD-linket beregner og ikke måler bilens reelle brændstofforbrug. Gennem OBDwiz logges brændstofforbruget nemlig ved at beregne mass airflow, og algoritmen der ligger bag beregningsmetoden kendes ikke. Umiddelbart sker beregningsfejlen når speederpositionen er sluppet, hvorefter det ift. figur 4.3 virker til, at brændstofforbruget derefter bestemmes ud fra omdrejningstallet.



Figur 4.3. Udsnit der viser, hvordan brændstofforbruget og omdrejningstallet følges når speederen slippes - speederpositionen er angivet på sekundæraksen

Figuren viser et udsnit fra den største nedkørsel på strækningen, hvor hastigheden øges som følge af den potentielle energi. Det forventede brændstofforbrug burde være nul, efter speederen slippes, men det ses tydeligt på grafen, at der sker en fejl.

Det vurderes, at OBD-linket ikke kan benyttes ved dataanalysen omkring udledning af en procent-

mæssig brændstofbesparelse. Selvom fejlen er gældende for alle kørsler og kørselsmetoder, kan brændstofforbruget ved hver kørselsmetode ikke sammenlignes. Dette skyldes bl.a., at et let tryk på speederen medfører et mindre brændstofforbrug, jf. bilag D.2.1, hvilket giver komplikationer ift. eftervisningen af den mest energieffektive kørselsmetode.

I forhold til at eftervise en eventuel brændstofbesparelse ved de forskellige kørselsmetoder er det derfor nødvendigt at udføre forsøgskørslerne igen. Derfor skal der benyttes en alternativ metode til at dokumentere brændstofforbruget, jf. afsnit 2.3, hvilket således bliver ved manuel måling. Måden, hvorpå dette skal udføres, beskrives i kapitel 5.

Selvom forsøgskørslen skal udføres igen, bør resultaterne fra 1. forsøgskørsel dog indledningsvist analyseres, idet hastigheden vurderes til at have en høj reliabilitet. Således kan kørselsmetoderne sammenholdes med henblik på at analysere hastighedsprofilet, og efterfølgende vurdere potentialet ved hver enkelt metode, hvilket kan viderebringes til udførelsen af 2. forsøgskørsel.

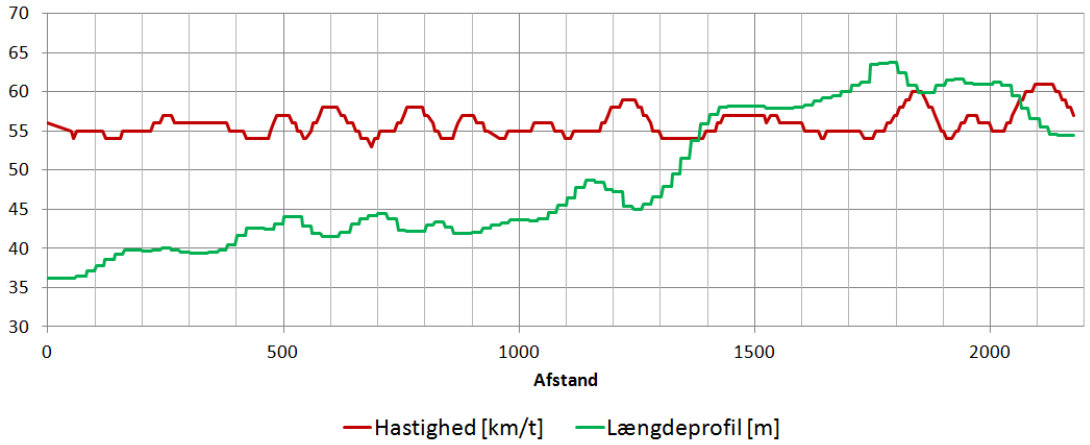
4.2 Dataanalyse af 1. forsøgskørsel

Eftersom OBD-linket viste fejl ved brændstofforbruget, indgår dette ikke i dataanalysen af 1. forsøgskørsel. I stedet analyseres hastighedsprofilet for således at vurdere kørselsmetodernes egnethed i praksis, hvilket bl.a. omfatter gennemsnitshastigheden og -rejsetiden. Dertil foretages analysen med henblik på at vurdere, hvilke forudsætninger der skal viderebringes til 2. forsøgskørsel.

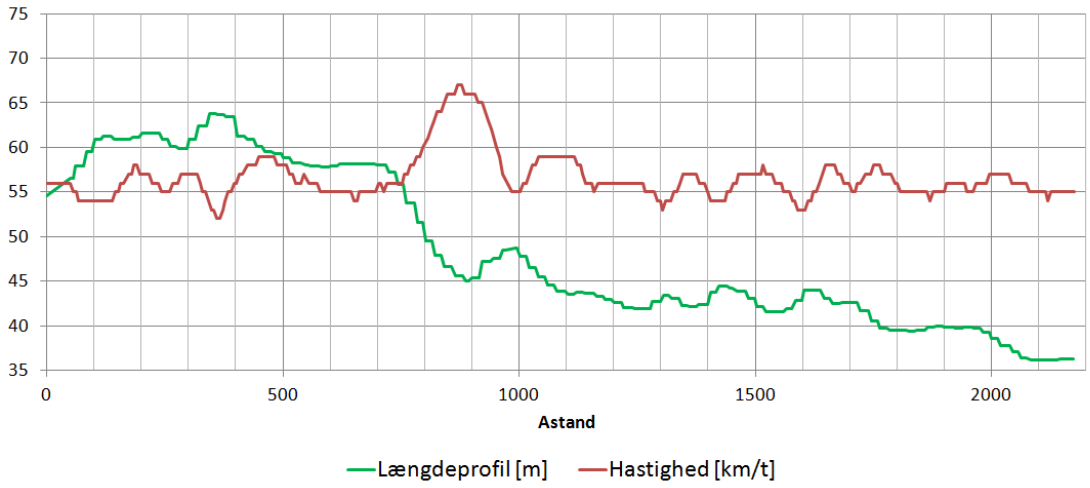
4.2.1 Kørselsmetode 1 - Fartpilot

Jævnfør afsnit 2.3 blev kørslerne med fartpilot gennemført ved en angivet hastighed på 60 km/t, og det er de gennemsnitlige hastighedsprofiler vist på figur 4.4 og 4.5, der er grundlaget for vurderingerne af de resterende kørselsmetoder for hhv. nord- og sydgående retning.

Det skal bemærkes, at OBD-linket ikke logger speederposition når fartpiloten er aktiveret, samt at fartpilotens og speedometerets angivelse af 60 km/t, vises som 55 km/t på de efterfølgende grafer, hvilket skyldes den konstante misvisning på 5 km/t på speedometeret. Derfor er 55 km/t den faktiske hastighed, som alle kørsler er udført med.

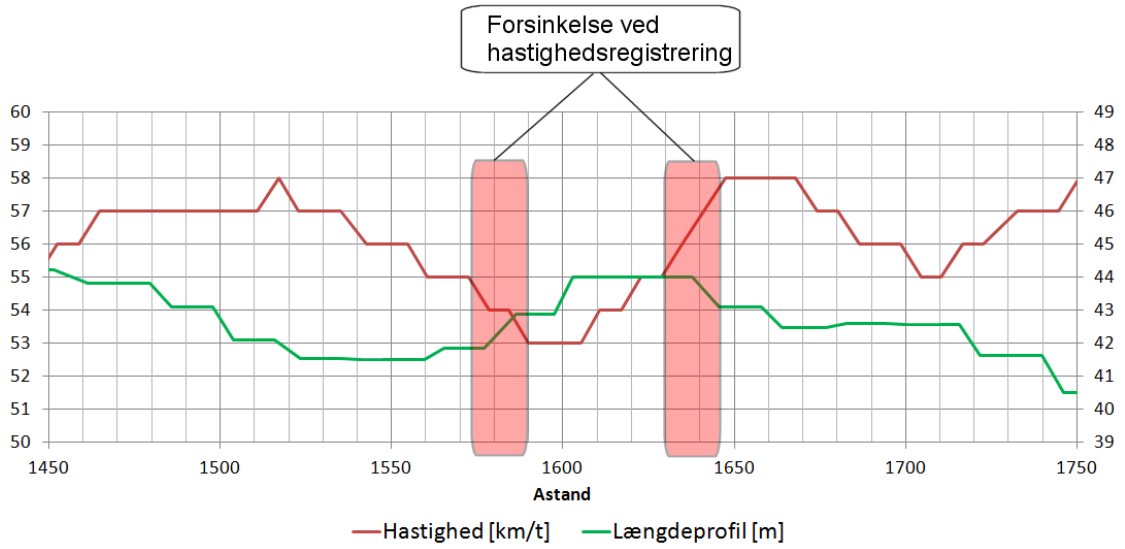


Figur 4.4. Det gennemsnitlige hastighedsprofil ved *kørselsmetode 1* i nordgående retning



Figur 4.5. Det gennemsnitlige hastighedsprofil ved *kørselsmetode 1* i sydgående retning

Det ses af figurerne, at fartpiloten forsøger at opretholde en hastighed på 55 km/t, men som følge af de mange vertikalkurver sker der en del hastighedsvariationer. Variationen fremkommer ved, at fartpiloten ikke har kendskab til terrænet og de mange korte bakker med små vertikalkurveradiusser. Dette skyldes især kombinationen af, at fartpiloten har en lille forsinkelse, og at der motorbremses når fartpiloten registrerer en højere hastighed, hvilket kan medføre en mindre energieffektiv kørsel, se figur 4.6.



Figur 4.6. Illustration af hastighedsprofil, der viser, at fartpiloten har en forsinkelse ved registrering af nødvendig motorkraft - sekundæraksen viser længdeprofilet

På grund af forsinkelsen ved registrering af hastighed og nødvendig motorkraft, accelererer bilen ofte over hver bakketop, hvorefter motorbremsning benyttes når hastigheden er for høj. Forsinkelsen medfører således også, at bilen ofte kører langsommere end 55 km/t ved den efterfølgende stigning, idet stigningen begynder under bilens motorbremse. I bilag D.2.2 er det forsøgt at eftervise, at fartpiloten motorbremser på nedkørsler, når hastigheden er større en den angivne hastighed.

Måden, hvorpå forsøgskørslerne udføres, gør det i øvrigt muligt at forkaste de kørsler, der forstyrres af bl.a. andre køretøjer. Derfor er der en høj repeterbarhed ved kørsel med fartpiloten, hvilket er illustreret i bilag D.2.2, som viser samtlige hastighedsprofiler med fartpiloten i nord- og sydgående retning.

Den gennemsnitlige hastighed og rejsetid for strækningen ses i tabel 4.2 - der skal dog gøres opmærksom på, at disse gennemsnit er beregnet ved en strækningsafstand på 2150 meter i stedet for 2200 meter. Dette skyldes, at forsøgskørslerne ikke har præcis samme afstand når OBD-linket slukkes, og derfor er beregningerne lavet ud fra 2150 meter.

Metode 1	**Hastighed**	**Rejsetid [sek]**
Nordgående	56	139
Sydgående	57	137

Tabel 4.2. Gennemsnitlig hastighed og rejsetid for *kørselsmetode 1* - afrundet til hele tal

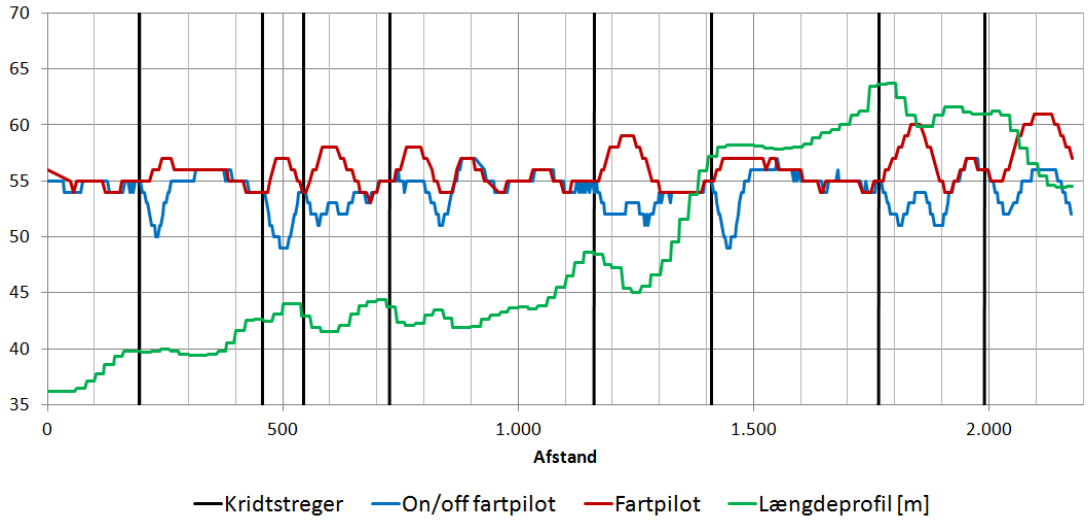
Især rejsetiden kan benyttes ift. sammenligningen af de øvrige kørselsmetoder, eftersom tiden er en vigtig parameter.

Det kan slutteligt konkluderes, at der vurderes et stort potentiale ved at implementere vertikalkurverne i fartpiloten - således bør brændstofforbruget kunne effektiviseres, eftersom hastighedsprofilet viser, at fartpiloten ofte accelererer hen over bakketoppen og efterfølgende ikke udnytter den potentielle energi fuldt ud ved næste stigning.

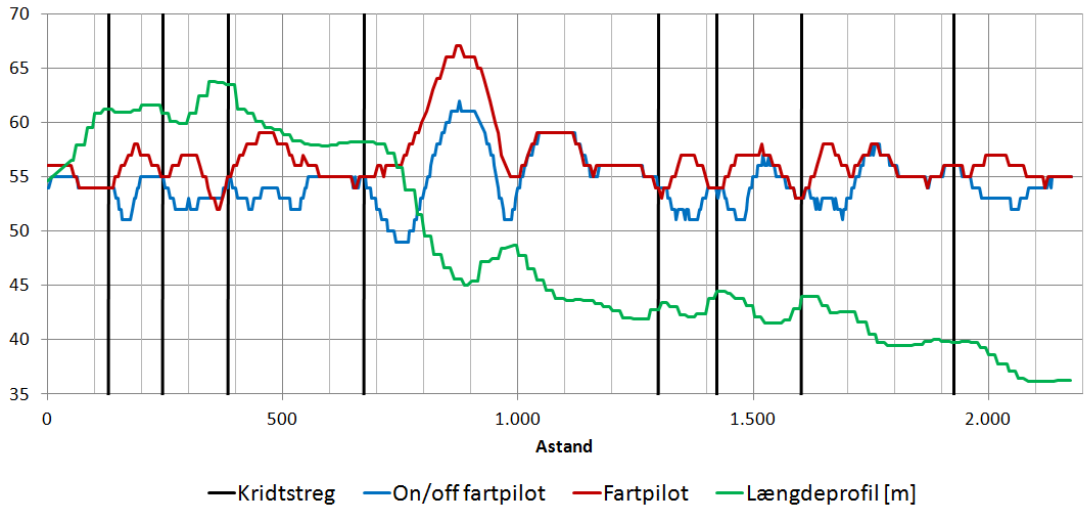
4.2.2 Kørselsmetode 2 - On/off fartpilot

Med *kørselsmetode 2* udnyttes kendskabet til terrænforholdene, således fartpiloten ikke accelererer henover bakketoppene. I stedet tillades det, at fartpiloten slukkes før bakketoppen eller før nedkørsler, jf. metoden på figur 2.9 på side 22, og således opnå en potentiel brændstofbesparelse.

Det gennemsnitlige hastighedsprofil for kørsel med on/off fartpilot er vist på figur 4.7 og 4.8, hvor hastighedsprofilet fra *kørselsmetode 1* ligeledes er vist. Stregerne indikerer, hvornår fartpiloten slukkes, således det illustreres, hvor brændstoftilførslen afbrydes, idet speederen også er sluppet.



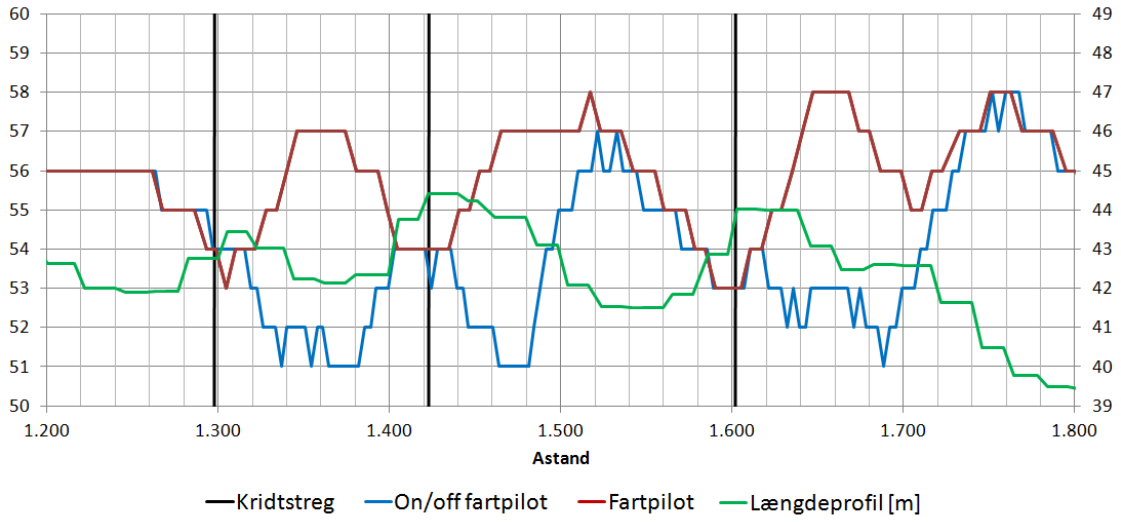
Figur 4.7. Det gennemsnitlige hastighedsprofil for ved *kørselsmetode 1* og *2* i nordgående retning



Figur 4.8. Det gennemsnitlige hastighedsprofil for ved *kørselsmetode 1* og *2* i sydgående retning

Hastighedsprofilet for *kørselsmetode 2* er anderledes ved de bakker, hvor fartpiloten deaktiveres, hvilket ofte medfører et næsten omvendt hastighedsprofil. I modsætning til *kørselsmetode 1* accelereres der ikke over bakketoppene, idet fartpiloten slukkes - dette, i kombination med at

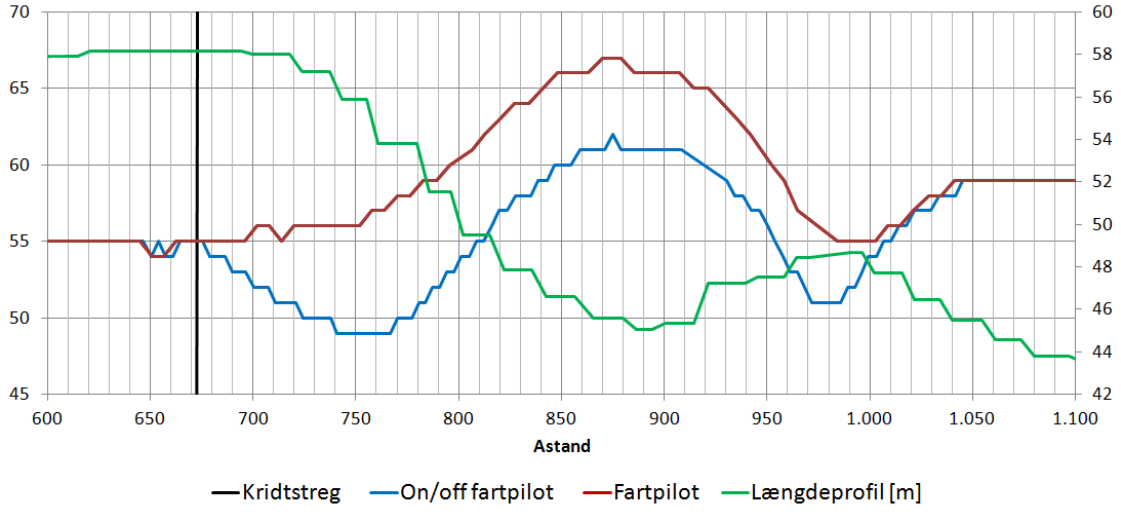
terrænet kendes, gør, at acceleration i stedet forekommer på nedkørslerne, hvor den potentielle energi kan udnyttes, se figur 4.9.



Figur 4.9. Sammenligning af hastighedsprofilet for *kørselsmetode 1* og *2*, hvor det ses at fartpiloten accelererer henover bakketoppen, hvor gasspjældet i stedet lukkes ved on/off metoden - sekundæraksen viser længdeprofilet

Ved sammenligning af de to metoder ses det, at *kørselsmetode 1* accelererer for meget hen over bakketoppen, hvilket skyldes den føromtalte forsinkelse i fartpiloten. On/off metoden medfører derimod en potentiel brændstofbesparelse ved at lukke for brændstoftilførelsen over bakketoppen og i stedet accelerere på nedkørslen.

Fordelen ved kendskabet til terrænet er især tydeligt på figur 4.10, der efterviser teorien bag on/off metoden, idet brændstoftilførslen lukkes før den gør ved den konventionelle fartpilot.



Figur 4.10. Eftervisning af det teoretiske hastighedsprofil fra figur 2.9 på side 22 i praksis - sekundæraksen viser længdeprofilet

Problemstillingen ved *kørselsmetode 2* kommer dog også til udtryk ved de forrige grafer samt

figur 4.10. Den potentielle brændstofbesparelse sker når fartpiloten slukkes, men samtidigt indhentes den tabte tid ikke, idet hastigheden ikke overstiger den konventionelle fartpilot. Dette ses også af tabel 4.3, der viser den gennemsnitlige hastighed og rejsetid for *kørselsmetode 2*. Alle hastighedsprofilerne er desuden samlet i bilag D.2.3.

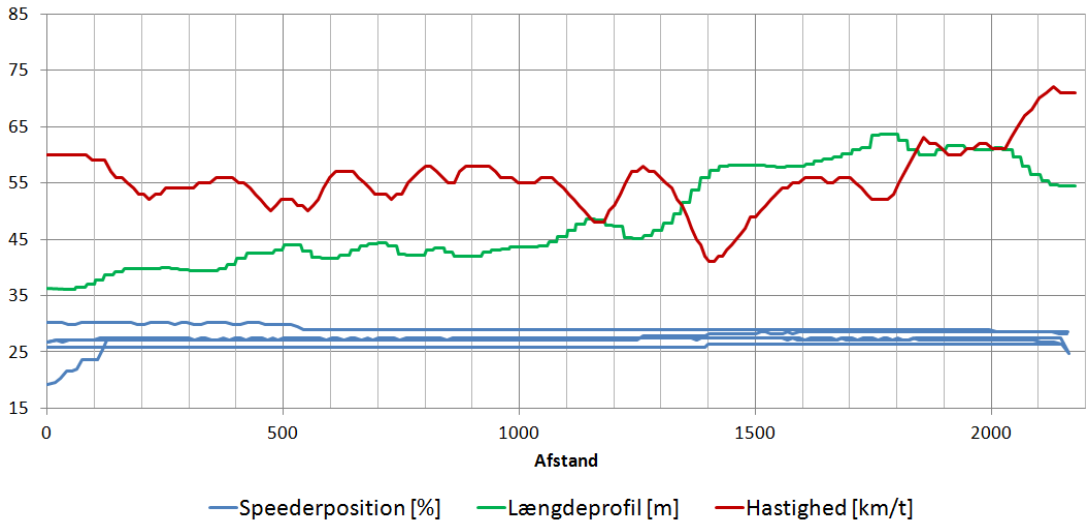
Metode 2	Hastighed	Rejsetid [sek]
Nordgående	54/56	143/139
Sydgående	54/57	142/137

Tabel 4.3. Gennemsnitlig hastighed og rejsetid for *kørselsmetode 2*. *Kørselsmetode 1* (fartpilot) er markeret med rødt - afrundet til hele tal

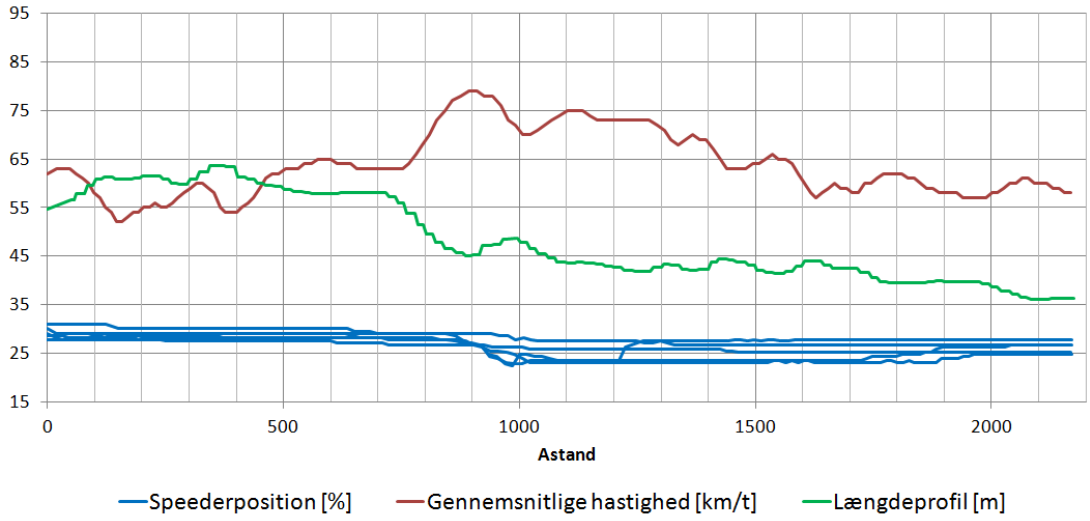
Rejsetiden for *Kørselsmetode 2* er i gennemsnit 3,3% længere ift. *kørselsmetode 1* og har i sydgående retning 5 sekunder længere rejsetid. Problemet med at indhente den tabte tid er ligeledes i stil med, hvad Linköping Universitet pointerede ved et lignende forskningsprojekt, jf. afsnit 1.3 på side 7.

4.2.3 Kørselsmetode 3 - Fast speederposition

Ved fast speederposition var den oprindelige idé at lægge et objekt bag speederen, for således at sikre en fast position - dette var dog ikke muligt, eftersom det tryk, som var nødvendig for at køre 60 km/t på en lige strækning, var så lavt, at det ikke kunne accelereres til 60 km/t. Derfor blev den faste speederposition kontrolleret med foden, hvilket medførte variationer i både speederposition og hastighedsprofil, se figur 4.11 og 4.12, hvor samtlige hastighedsprofiler ses i bilag D.2.4.



Figur 4.11. Speederpositionen for hver kørsel med det gennemsnitlige hastighedsprofil med *kørselsmetode 3* i nordgående retning



Figur 4.12. Speederpositionen for hver kørsel med det gennemsnitlige hastighedsprofil med *kørselsmetode 3* i sydgående retning

Det ses, at *kørselsmetode 3* med fast speederposition medfører store hastighedsvariationer, hvor især nedkørsler ofte resulterer i for høje hastigheder. De gennemsnitlige hastigheder og rejsetider, i tabel 4.4, viser således også, at en fast speederposition ikke fungerer i praksis, da metoden ikke tilpasses til stigningsforholdende - bl.a. er gennemsnitshastigheden 10 km/t højere end indgangshastigheden (55 km/t) i sydgående retning.

Metode 3	**Hastighed**	**Rejsetid [sek]**
Nordgående	54/56	143/139
Sydgående	65/57	120/137

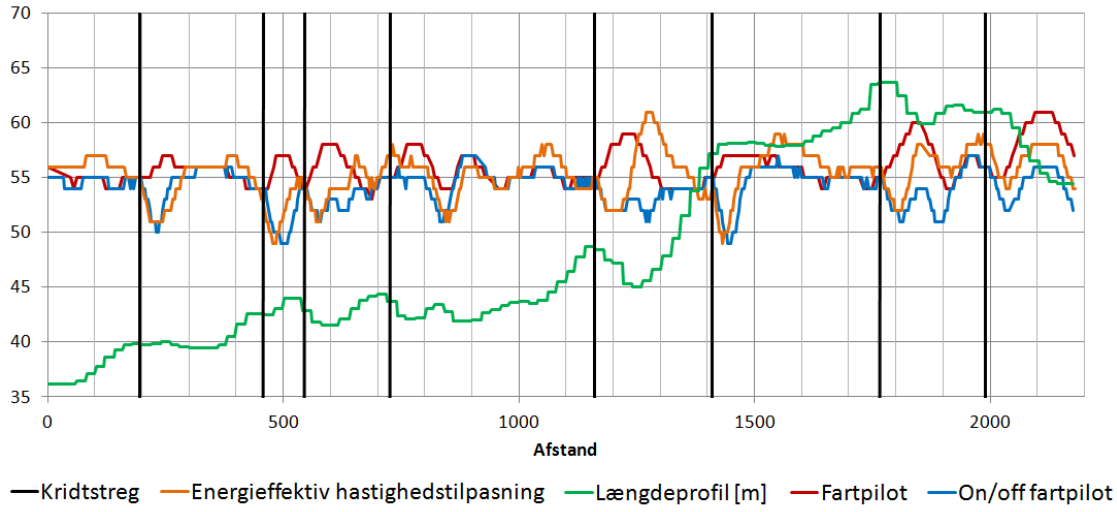
Tabel 4.4. Gennemsnitlig hastighed og rejsetid for *kørselsmetode 3*. *Kørselsmetode 1* er markeret med rødt - afrundet til hele tal

Selvom metoden ikke fungerer ved det pågældende terræn, er der et par aspekter, der er værd at videreføre. Det skal bemærkes, at en fast speederposition medfører en væsentlig hurtigere rejsetid end en konventionel fartpilot i den sydgående retning, hvilket især skyldes det åbne gasspjæld på nedkørsler. Ved *kørselsmetode 2* (on/off), hvor fartpiloten blev slukket før bakketoppen, var rejsetiden til gengæld længere end fartpiloten, men medførte samtidigt en forventelig brændstofbesparelse - en kombination af elementer fra både *kørselsmetode 2* og *3* kan derfor være formålstjenlige, og er således også den teoretiske idé bag den energieffektive hastighedstilpasning.

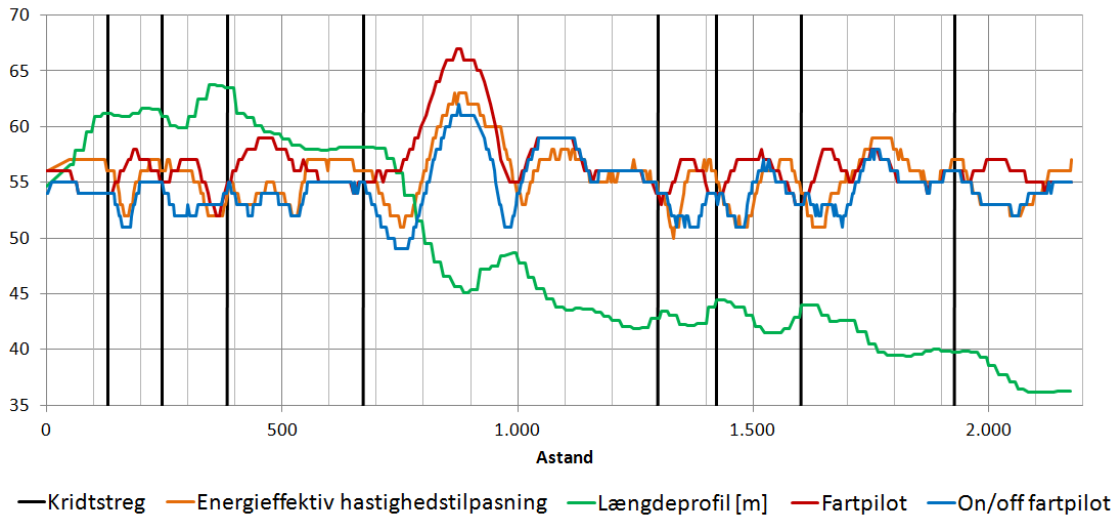
4.2.4 Kørselsmetode 4 - Energieffektiv hastighedstilpasning (manuelt)

Kørselsmetode 4 bygger på samme grundlag som *kørselsmetode 2*, da kridtstregerne ligeledes benyttes til at indikere, hvor speederen skal slippes. Eftersom speederen styres manuelt er det muligt selv at styre accelerationen og derved opnå en evt. kortere rejsetid. Det gennemsnitlige hastighedsprofil er derfor sammenlignet med *kørselsmetode 1* og *2* på figur 4.13 og 4.14.

I bilag D.2.5 ses hastighedsprofilet og speederpositionen for alle kørslerne.



Figur 4.13. Gennemsnitlige hastighedsprofil for *kørselsmetode 4* sammenlignet med *kørselsmetode 1* og *2* i nordgående retning



Figur 4.14. Gennemsnitlige hastighedsprofil for *kørselsmetode 4* sammenlignet med *kørselsmetode 1* og *2* i sydgående retning

Hvis den gennemsnitlige hastighed og rejsetid dertil sammenlignes for de tre kørselsmetoder, ses det i tabel 4.5 og 4.6, at rejsetiden er kortere end *kørselsmetode 2* (on/off), men fortsat længere end *kørselsmetode 1* (fartpilot).

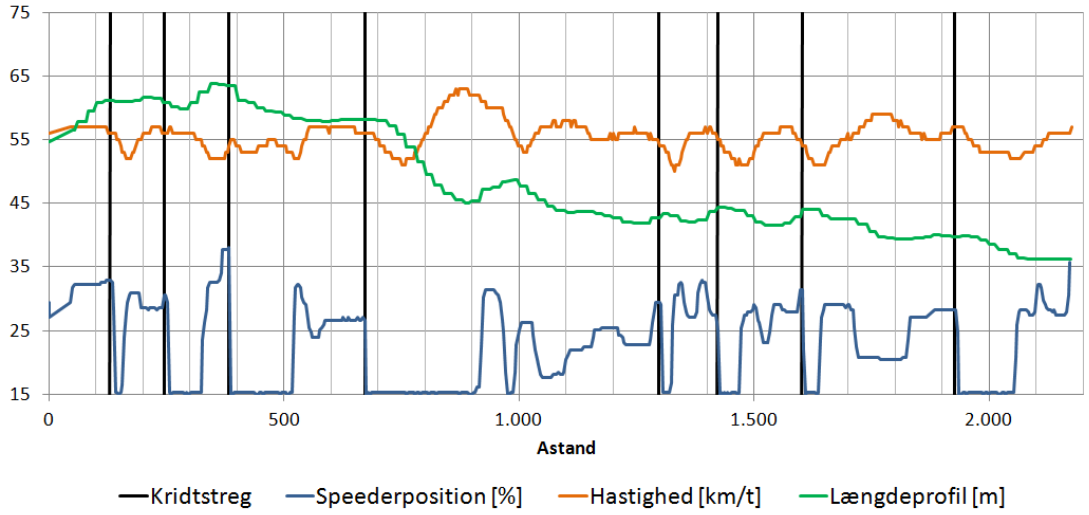
Nordgående	**Hastighed**	**Rejsetid [sek]**
Kørselsmetode 1	56	139
Kørselsmetode 2	54	143
Kørselsmetode 4	55	140

Tabel 4.5. Gennemsnitlig hastighed og rejsetid for *kørselsmetode* 1 (fartpilot), *2* (on/off) og *4* i nordgående retning - afrundet til hele tal

Sydgående	Hastighed	Rejsetid [sek]
Kørselsmetode 1	57	137
Kørselsmetode 2	54	142
Kørselsmetode 4	55	140

Tabel 4.6. Gennemsnitlig hastighed og rejsetid for *kørselsmetode* 1 (fartpilot), *2* (on/off) og *4* i sydgående retning - afrundet til hele tal

Selvom rejsetiden er kortere, er *kørselsmetode 1* fortsat 2-3 sekunder hurtigere, og det er samtidigt vanskeligt at vurdere, om *kørselsmetode 4* har en signifikant brændstofbesparende effekt. Hvis speederpositionen dertil analyseres, se figur 4.15, viser det sig, at der er mulighed for at optimere hastighedsprofilet, idet *kørselsmetode 4* ikke er udført iht. til de teoretiske overvejelser fra figur 2.11 på side 23.



Figur 4.15. Gennemsnitlige hastighedsprofil og speederposition for *kørselsmetode 4* i sydgående retning

Udførelsen af *kørselsmetode 4* minder for meget om *kørselsmetode 2*, der på trods af en forventelig brændstofbesparelse, medfører en længere rejsetid. Ved at implementere tryk på speeder på nedkørsler, forventes det at rejsetiden kan forkortes og samtidig resultere i en energieffektiv effekt. Potentialet er især tydeligt på den største nedkørsel ved 700 meter på figur 4.15, hvor hastigheden bør holdes ved et let speedertryk før begyndelsen af stigningen og således køre hen over bakketoppen med speederen sluppet. Derved bør et let tryk på speederen medføre, at den efterfølgende bakke ved 1000 meter kan passeres uden brug af speeder.

4.2.5 Opsummering af kørselsmetoder

Gennem dataanalysen af hastighedsprofiler og speederpositioner for de fire kørselsmetoder er det vurderet, hvilke metoder og overvejelser der skal viderebringes til 2. forsøgskørsel.

Kørselsmetode 1 er fortsat essentiel at viderebringe, idet denne kørselsmetode er grundlaget for at eftervise et mere energieffektivt hastighedsprofil i praksis.

Kørselsmetode 2 vurderes til at medføre en energibesparende effekt, men problemet er samtidigt, at rejsetiden forlænges, idet der ikke køres hurtigere end fartpiloten på hele strækningen. Dette medfører, at rejsetiden forlænges med omtrent 3%, hvilket vurderes til at negligere effekten af brændstofbesparelsen, og derved fjerne idéen med en udviklingen af en energieffektiv fartpilot.

Kørselsmetode 3 med fast speederposition viste sig at give store hastighedsvariationer, hvilket dog også var forventeligt. Både af lov- og sikkerhedsmæssige grunde egner *kørselsmetode 3* sig ikke i praksis, da speederpositionen skal kunne tilpasses til terrænet.

Kørselsmetode 4 har størst potentiale og hastighedsprofilet kan fortsat optimeres ved at benytte elementer fra *kørselsmetode 2* og *3*.

Det konkluderes at 2. forsøgskørsel skal udføres med *kørselsmetode 1* og *4*, og *kørselsmetode 2* og 3 forkastes, idet de ikke havde den ønskede effekt. OBD-linket benyttes fortsat til at logge hastigheden, da den vurderes troværdig. For at teste om OBD-linkets fejl, skyldes bilen, er det valgt at leje en anden bil - men måling af brændstofforbruget skal i 2. forsøgskørsel også foregå ved manuel påfyldning og aflæsning på lokaliteten for at sikre, at et valid brændstofforbrug kan indgå i analysen.

Fase 2 - 2. Forsøgskørsel 5

Det essentielle ved 2. forsøgskørsel er, at brændstofforbruget kan måles, eftersom 1. forsøgskørsel viste, at OBD-linket ikke loggede valide data omkring brændstofforbruget. Det er valgt, at låne en anden bil til forsøgskørslen for at undersøge, om fejlen ved OBD-linket skyldes Ford C-Max'en - men det er samtidigt valgt, at brændstofmonitoreringen også skal foregå manuelt, således en evt. besparelse kan dokumenteres.

Den nye forsøgsbil er en Renault Laguna, årgang 2011, 2,0 diesel med 150 hk og egenvægt på ca. 1500 kg, se figur 5.1 - specifikationerne for køretøjet ses i elektronisk bilag G.2.

Figur 5.1. Forsøgsbil: Renault Laguna stationcar

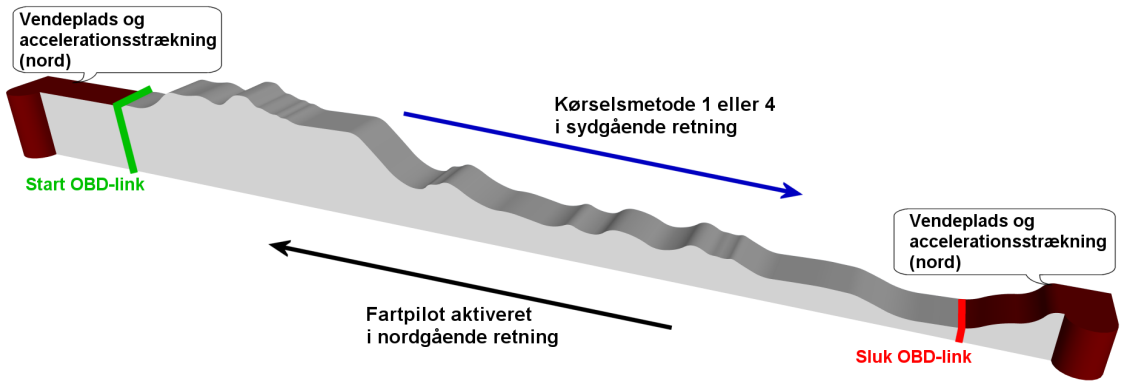
Nye forudsætninger
I henhold til afsnit 4.2.5 udføres 2. forsøgskørsel kun ved *kørselsmetode 1* (fartpilot) og *kørselsmetode 4* (energieffektiv hastighedstilpasning), idet on/off- og fast speeder metoden ikke resulterede i den ønskede effekt i praksis.

Den manuelle brændstofmåling medfører ændringer i forsøgets setup, idet dokumentationen af brændstofforbruget skal foregå ved, at der tankes og aflæses brændstof ved nærmeste tankstation, se oversigtsfigur C.3 i bilag C.1.1. Derfor udføres forsøgskørslen i stedet ved, at bilen påfyldes brændstof til tanken er fuld, hvorefter strækningen køres 15 gange i et samlet forløb - bilen tankes direkte herefter og brændstofforbruget aflæses.

Den manuelle måling gør, at kørselsmetodernes brændstofforbrug ikke kan analyseres stedsspecifikt, men i stedet som et samlet forbrug, hvorfor der afgrænses til kun at udføre forsøgskørslen i sydgående retning, da denne retning vurderes til at medføre de tydeligste resultater.

Kørslen foregår ved, at der køres i sydgående retning med hhv. *kørselsmetode 1* og *4*,

hvorefter der vendes i syd og køres med fartpilot tilbage til vendepladsen i nord, se figur 5.2. Kørselsmonitoreringen sker således kun mellem start og stop af OBD-linket, hvortil den potentielle brændstofmæssige besparelse sker ved at køre forsøgsstrækningen svarende til den blå pil på figur 5.2 15 gange. Dette er således forudsætningerne for både *kørselsmetode 1* og *4*, hvortil begge kørsler udføres ens, dvs. med fartpiloten fra syd til nord og ens tidsforbrug på vendepladserne.



Figur 5.2. Forudsætning for måling på strækningen - fra start OBD til sluk OBD er den isolerede forsøgsstrækning på 2,2 km

Eftersom kørslen udføres som en samlet session, er det ikke længere muligt at forkaste den enkelte kørsel, hvis denne påvirkes af f.eks. øvrig trafik - derfor noteres alt ned under forsøgsudførelsen, således dette kan indgå i analysen.

2. Forsøgskørsel d. 25. april 2013

2. forsøgskørsel blev udført d. 25. april, hvor det var overskyet, men tørt. Der var endvidere forholdsvis vindstille med en vestlig vind på 3 m/s. OBD-linkets kompatibilitet med Renault'en blev indledningsvist testet, for at undersøge om fejlen ved logningen af brændstofforbruget, stadig forekom. Samme fejl viste sig for Renault'en og manuel måling af brændstofforbruget blev derfor dokumentationen for virkning af kørsel med energieffektiv hastighedstilpasning frem for fartpilot. Det viste sig også, at speederpositionen ikke kunne logges gennem OBD-linket, og speederpositionen kan derfor ikke indgå i analysen

Hovedformålet med 2. forsøgskørsel er derved at eftervise, om der kan opnås en brændstofbesparelse ved at køre med en energieffektiv hastighedstilpasning frem for en konventionel fartpilot, uden væsentlig betydning for rejsetiden.

I tabel 5.1 ses et overblik over forudsætningerne for 2. forsøgskørsel.

Forudsætninger	**-**
Køretøj	Renault Laguna
Forsøgsstrækning	Sydgående
Strækningslængde	2,2 km
OBD-link	Hastighed og tid
Manuel måling	Brændstofforbrug
Hastighedsmisvisning	- 2 km/t
Gear valg	4. gear ud af 6
Temperatur	$\approx 11\ ^oC$, overskyet
Vindstyrke	3 m/s
Vindretning	V

Tabel 5.1. Forudsætninger for 2. forsøgskørsel

Renault'en havde ligeledes en misvisning på speedometeret, men denne var kun på 2 km/t - dvs. når fartpiloten var sat til 60 km/t, loggede OBD-linket 58 km/t, se elektronisk bilag G.3.1.

5.1 Dataanalyse af 2. forsøgskørsel

Grundlaget for at eftervise en evt. brændstofbesparelse ved at køre med energieffektiv hastighedstilpasning frem for fartpilot, bygger på den manuelle aflæsning af forbruget efter endt kørsel. Det skal bemærkes, at bilens kørecomputer også viser den samlede mængde brændstof i liter, der er forbrugt siden sidste nulstilling. Denne information benyttes således til at supplere de manuelle målinger, og det foreløbige forbrug noteres desuden, hver gang der vendes på den nordlige vendeplads. Endvidere noteres alle informationer under kørsel, således hændelser ved den første kørselsmetode, kan gentages i anden, for således at opnå størst mulig lighed i sammenligningen. I elektronisk bilag G.3.2 findes både rådata og de efterfølgende behandlede data fra forsøgskørslen.

5.1.1 Kørselsresultater for begge kørselsmetoder

Forud for dataanalysen opstilles her de empiriske resultater for både forsøgskørslen med fartpilot og energieffektiv hastighedstilpasning. Resultaterne, aflæst på tankstanderen, kan således ses i tabel 5.2, hvortil kørecomputerens informationer er vist i tabel 5.3, hvor figur 5.3 viser de noterede brændstofinformationer. I bilag E.1 ses kvitteringerne fra tankstationen.

Aflæsning af brændstofforbrug på tankstation

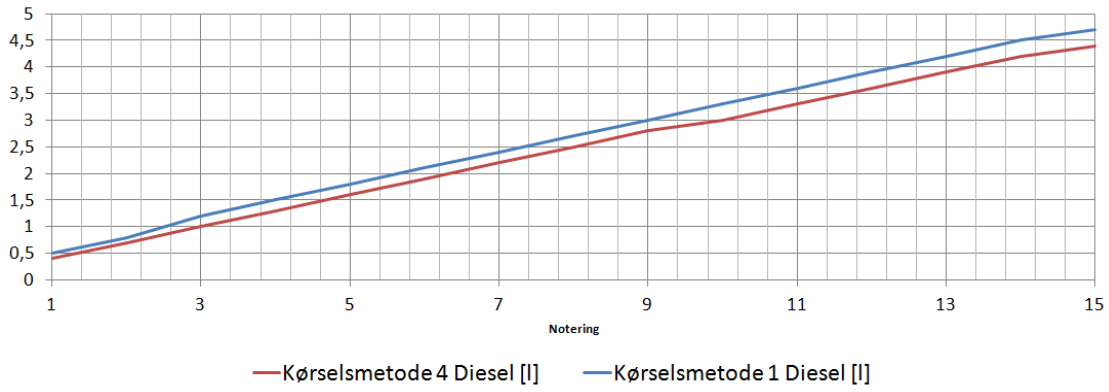
Fartpilot	Inden kørsel	Efter kørsel
Diesel	Fuld tank	4,55 liter
Klokkeslæt	10:59	13:00
Hastighedstilpasning		
Diesel	Fuld tank	4,02 liter
Klokkeslæt	14:40	16:39

Tabel 5.2. Tabel over brændstofopfyldning på tanken

Aflæsning af bilens samlede brændstofforbrug på kørecomputeren

Fartpilot	Inden kørsel	Efter kørsel
Forbrug	0 liter	4,7 liter
Antal km	0 km	80,0 km
Hastighedstilpasning		
Forbrug	0 km	4,4 liter
Antal km	0 km	80,0 km

Tabel 5.3. Tabel over aflæsning af bilens triptæller og angivne brændstofforbrug



Figur 5.3. Graf over hver notering af kørecomputerens brændstofforbrug

Det ses i tabel 5.4 og 5.5 at kørsel med energieffektiv hastighedstilpasning medfører en energibesparelse på hhv. 11,6%, hvis der aflæses manuelt ved påfyldning af diesel og en besparelse på 6,4%, hvis kørecomputerens informationer bruges.

Manuel tankning	Aflæsning	Besparelse
Fartpilot	4,55 liter	
Hastighedstilpasning	4,02 liter	*11,6%*

Tabel 5.4. Brændstofbesparelse i procent ved aflæsning af manuel tankning

Kørecomputer	Aflæsning	Besparelse
Fartpilot	4,7 liter	
Hastighedstilpasning	4,4 liter	*6,4%*

Tabel 5.5. Brændstofbesparelse i procent ved aflæsning af kørecomputer

Der er en 45% afvigelse mellem de to besparelser, hvilket både kan skyldes, at der er flere små faktorer ved påfyldning, som kan have indvirkning på, hvor meget brændstof der påfyldes, samt at kørecomputeren kun angiver forbruget ned til tiendedele. Det vurderes dog, at der opnås en brændstofbesparelse i intervallet 6,4 - 11,6 % ved at køre med energieffektiv hastighedstilpasning frem for en fartpilot.

Det skal bemærkes, at den omtalte besparelse kun fremkommer ved at køre i sydgående retning med energieffektiv hastighedstilpasning, hvilket samlet set kun udgør 41% af de 80 km, der køres, jf. bilag E.1.1. Det er derfor hensigtsmæssigt at udlede, hvad brændstofbesparelsen udelukkende er på den strækning, hvor der køres med energieffektiv hastighedstilpasning, jf. figur 5.2 på side 46. Hvis der teoretisk set blev kørt med energieffektiv hastighedstilpasning på den samtlige strækningslængde, må en brændstofbesparelsen på 15,4 - 28,0 % kunne opnås - dette forudsætter dog, at længdeprofilet for sydgående retning gentages over alle 80 kilometer. Et bedre overblik over besparelsen ses i tabel 5.6

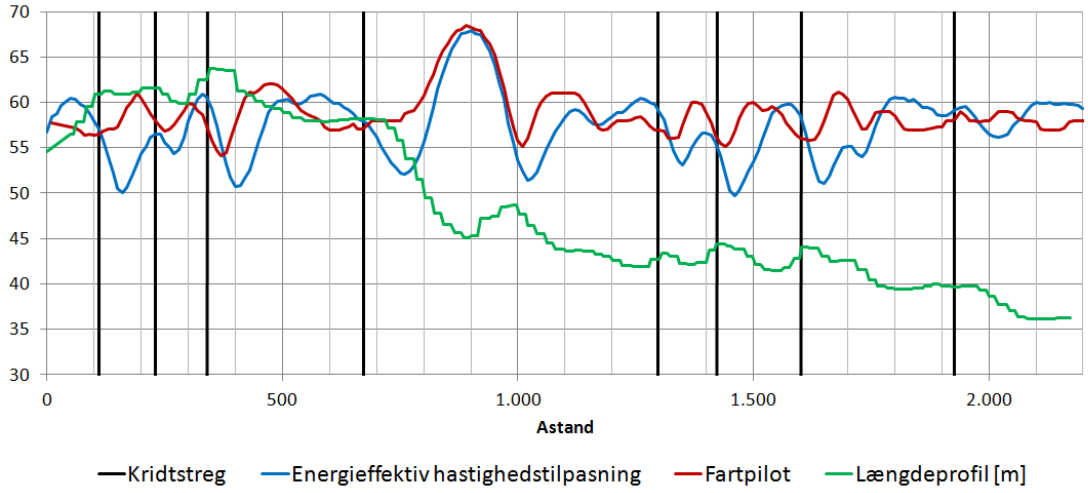
Brændstofbesparelse	**Empiri** **33 ud af 80 km**	**Teori** **80 ud af 80 km**
Manuel tankning	11,6%	28,0%
Kørecomputer	6,4%	15,4%

Tabel 5.6. Den målte og teoretiske brændstofbesparelse, hvis hele kørslen foretages med *kørselsmetode 4* i stedet for kun 41% af strækningen

Det er eftervist, at der opnås en brændstofbesparelse ved at køre med energieffektiv hastighedstilpasning frem for fartpilot, men det er samtidigt nødvendigt at analysere hastighedsprofilet for at vurdere og dokumentere kørselsmetoderne.

5.1.2 Dataanalyse af hastighedsprofilerne

Det gennemsnitlige hastighedsprofil for fartpilot og energieffektiv hastighedstilpasning er illustreret på figur 5.4, hvor kridtstregerne fortsat markerer, hvor speederen slippes. Det ses, at den energieffektive hastighedstilpasning er optimeret ift. 1. forsøgskørsel, jf. bilag D.2.5.1, idet den potentielle energi udnyttes til acceleration på nedkørslerne. I elektronisk bilag G.3.2 ses dataudtrækket fra OBD-linket.



Figur 5.4. Gennemsnitlige hastighed for kørsel med fartpilot og energieffektiv hastighedstilpasning

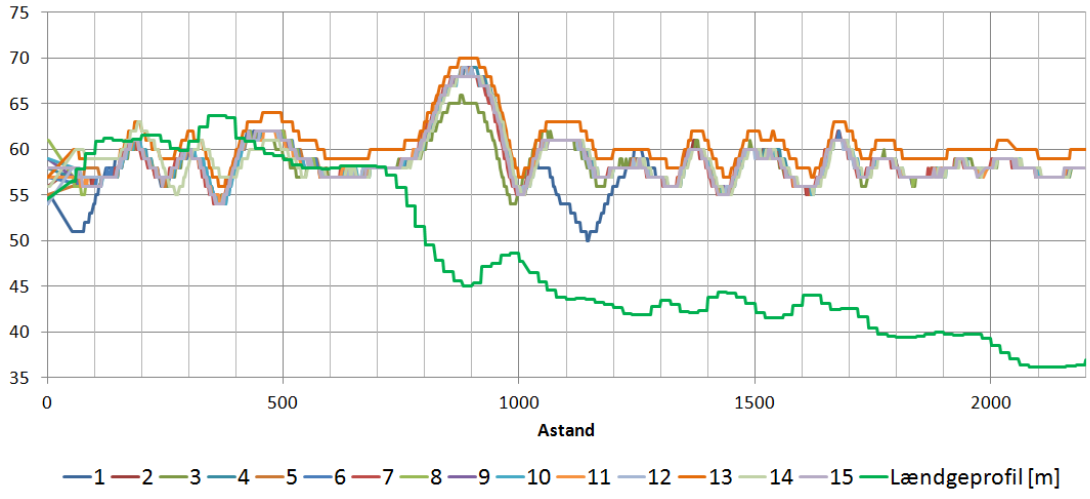
I forhold til gennemsnitshastigheden og rejsetiden, se tabel 5.7, er kørsel med fartpilot dog stadigt det hurtigste, hvilket især skyldes, at der med energieffektiv hastighedstilpasning rammes den nedre hastighedsgrænse flere steder - således bliver rejsetiden forlænget med to sekunder.

Sydgående	Hastighed	Rejsetid [sek]
Fartpilot	59	132
Energieffektiv	57	134

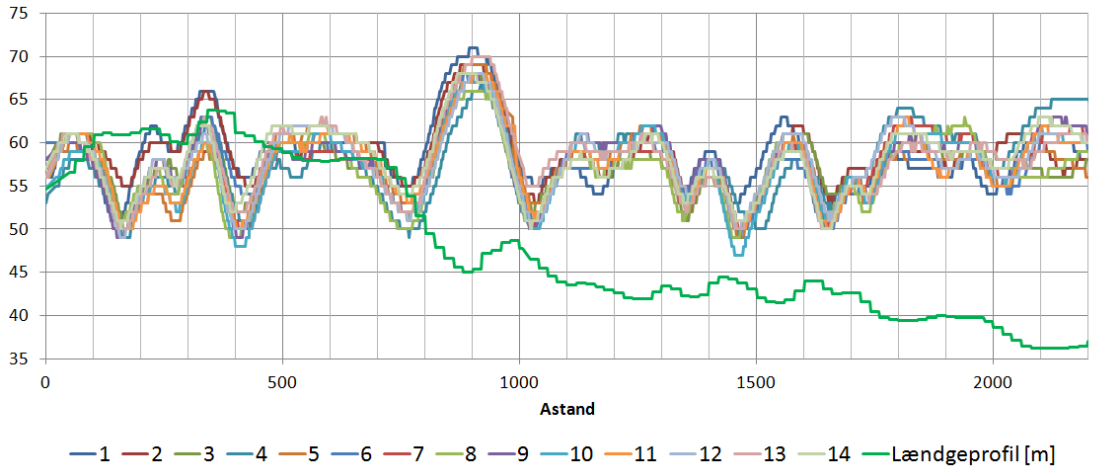
Tabel 5.7. Gennemsnitlig hastighed og rejsetid for fartpilot og energieffektiv hastighedstilpasning - afrundet til hele tal

Vurdering af hastighed kontra brændstofforbrug

For at eftervise, at kørslerne er udført ens og brændstofbesparelsen ikke skyldes variationer i kørselsudførelsen, redegøres der for de tiltag, der er foretaget ved hver enkelt kørsel De samlede hastighedsprofiler for de 15 kørsler ses på figur 5.5 og 5.6. I bilag E.1.2 ses endvidere to hastighedsprofiler for returkørslen, hvilket illustrerer, at der er kørt ens fra syd til nord.



Figur 5.5. Alle 15 hastighedsprofiler for fartpiloten



Figur 5.6. De 14 hastighedsprofiler for energieffektiv hastighedstilpasning - det sidste hastighedsprofil blev ikke logget pga. mangel på batteri på PC

Det ses, at kørslerne er udført forholdsvist ens, dog med små variationer ved energieffektiv hastighedstilpasning, hvilket skyldes den manuelle hastighedsfastsættelse. Bemærk desuden, at der især er tre kørsler med fartpilot, som er anderledes - disse skyldes hhv. en modkørende rendegraver, kørsel med 62 km/t på fartpilot og kørsel i 3. gear ved en fejl. Disse blev alle noteret, således den efterfølgende kørselsmetode også blev udført med bl.a. disse tiltag, jf. noteringerne i bilag E.1.3. Det blev også kontrolleret, at ventetiden på vendepladserne var ens, således brændstofbesparelsen ikke kan tilskrives, at bilen holdte i tomgang.

Det skal nævnes, at den forkerte kørsel i 3. gear med fartpilot, ikke blev udført ved energieffektiv hastighedstilpasning ved en fejl. Det er tydeligt at se, at 3. gear medfører en væsentlig motorbremsning på den store nedkørsel på figur 5.5 og at brændstofforbruget, derfor forventes større ved netop denne kørsel - dette bør således også have betydning for den samlede brændstofbesparelse.

Selvom energieffektiv hastighedstilpasning ikke blev gennemført med den enkelte kørsel i 3. gear, vurderes det fortsat, at kørsel med energieffektiv hastighedstilpasning medfører en signifikant brændstofbesparelse.

Idet brændstofforbruget er dokumenteret ved optankning på tankstationen og ved kørecomputeren, kan det ikke dokumenteres, hvor på strækningen brændstofbesparelsen skete. Det blev til gengæld erfaret på forsøgsdagen, at bilens kørecomputer også viste realtidsinformationer omkring brændstofforbruget - der blev således foretaget videodokumentation af bilens kørecomputer for at sammenholde brændstofbesparelsen ift. strækningen.

5.2 Analyse af videodokumentation

Under forsøgskørslen blev der foretaget enkelte videooptagelser af bilens kørecomputer, da denne viste realtidsinformationer omkring brændstofforbruget, se figur 5.7. Idet videoen kun omfatter displayet, er det markeret, hvornår OBD-linket starter, således tiden kan sammenholdes med det hastighedsprofil OBD-linket logger. Derved kan brændstofinformationerne, ved efterfølgende analyse, sammenholdes med hastighedsprofilet for den pågældende tur, se bilag E.1.3, der viser, hvilke ture der er filmet.

Figur 5.7. Illustration af bilen display, som blev filmet under kørsel

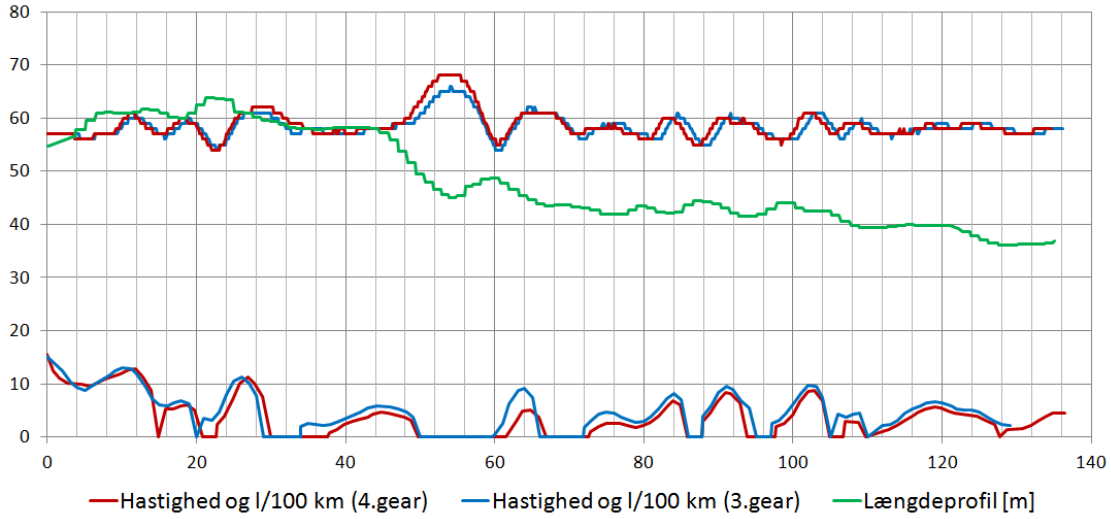
Der er ikke videoer af alle kørsler, så metoden kan ikke benyttes til at verificere brændstofforbruget, men benyttes i stedet til at dokumentere, hvor der sker en besparelse. Desuden giver videoerne mulighed for at analysere brændstofbesparelsen på den konkrete forsøgsstrækning - denne kan således sammenholdes med den teoretiske besparelse i tabel 5.6 på side 49, for derved at vurdere den udledte procentmæssige brændstofbesparelse.

Ved et tilfælde er turen med fartpilot i 3. gear filmet, og kan derfor analyseres ift. de andre filmede ture med fartpilot, hvilket giver mulighed for at estimere effekten, det har haft på brændstofforbruget.

Følgende videoanalyse omhandler den konkrete forsøgsstrækning, således det kan vurderes, hvilken brændstofbesparelse. det medfører at køre med en energieffektiv hastighedstilpasning frem for fartpilot, samt om den kan eftervise den teoretiske besparelse fra tabel 5.6 - videoerne findes i elektronisk bilag G.3.3.

Vurdering af 3. gear fejlkørslens indflydelse på brændstofbesparelsen
Ud fra hastighedsprofilerne på figur 5.5, ses det tydeligt ved den store nedkørsel, at der er mere inerti i motoren, som derved motorbremser mere, hvilket endvidere medfører et forventeligt øget brændstofforbrug på hele strækningen. Eftersom turen med 3. gear er filmet, er det muligt at sammenligne denne med de andre ture med fartpilot og derved vurdere, hvilken indflydelse det har på den teoretiske brændstofbesparelse.

Forskellen på kørsel med fartpilot i 3. og 4. gear ses på figur 5.8 og konsekvensen for turens gennemsnitlige brændstofforbrug ses i tabel 5.8



Figur 5.8. Hastighedsprofil og brændstofforbrug med fartpilot i hhv. 3. og 4. gear

	3. gear >< 4. gear
Merforbrug	15,4%

Tabel 5.8. Merforbrug i brændstof ved at køre strækningen i 3. frem for 4. gear

Den ene kørsel i 3. gear medfører et merforbrug på 15,4%, hvilket derfor påvirker det samlede brændstofforbrug for alle kørslerne. Hvis merforbruget for denne tur medregnes, bliver brændstofbesparelsen derfor reduceret, se tabel 5.9 for den korrigerede empiri og teori. Data og dertilhørende beregninger findes i elektronisk bilag G.3.4.

Brændstofbesparelse	**Korrigeret empiri 33 ud af 80 km**	**Korrigeret teori 80 ud af 80 km**
Kørecomputer	6,3%	15,3%

Tabel 5.9. Korrigeret brændstofforbrug når det medtages, at en enkelt kørsel var i 3.gear

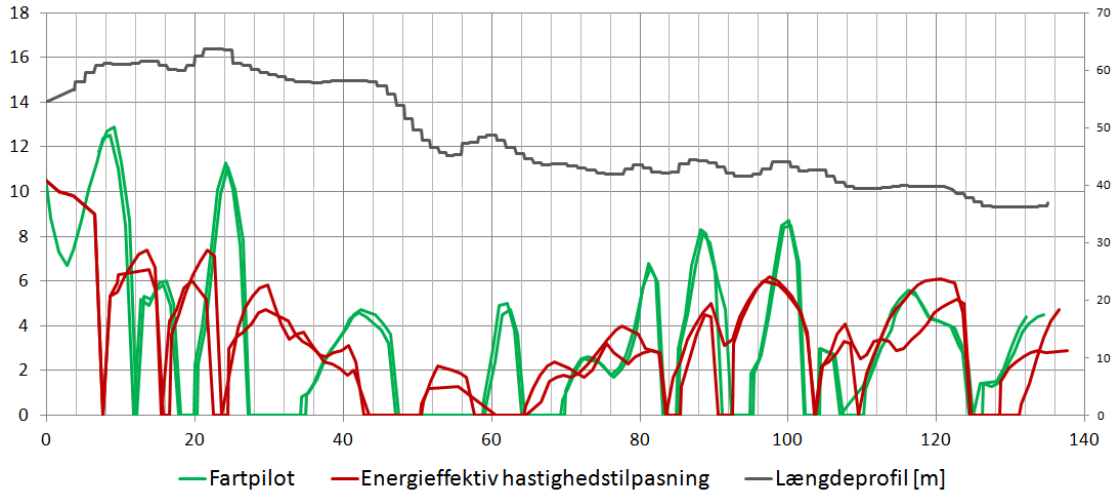
Det viser således, at den enkelte tur i 3. gear, ikke har stor indflydelse på den samlede brændstofbesparelse ved de 15 ture, men det viser samtidig, at gearvalget har stor betydning, og er derfor en vigtig parameter ved fremtidig udvikling af en energieffektiv fartpilot.

5.2.1 Videoanalyse af fartpilot og energieffektiv hastighedstilpasning

Det er nu eftervist, at forsøgskørslerne er udført ens og den samlede brændstofbesparelse på den isolerede forsøgsstrækning er reduceret, for at tage højde for den enkelte fejltur i 3. gear.

Videoanalysen kan efterfølgende benyttes til at dokumentere, hvor stor en besparelse den energieffektive hastighedstilpasning medfører ved kørsel på den konkrete forsøgsstrækning, samt hvor på strækningen besparelsen sker ift. fartpiloten.

På figur 5.9 ses brændstofforbruget for hhv. de to ture med fartpilot og to ture med energieffektiv hastighedstilpasning, hvor det tydeligt ses, at fartpiloten accelerer mere henover bakketoppen, hvorfor brændstofforbruget også peaker højere.



Figur 5.9. Brændstofforbrug [l/100 km] for fartpilot og energieffektiv hastighedstilpasning

Beregningen af den gennemsnitlige brændstofbesparelse viser, at forbruget er 17,2% mindre ved energieffektiv kørsel, jf. elektroniske bilag G.3.4 - dog er der ikke nok data til at verificere besparelsen på den konkrete forsøgsstrækning, men det giver en god indikation omkring, at den teoretiske besparelse er rigtig antaget, jf. den korrigerede teori i tabel 5.9.

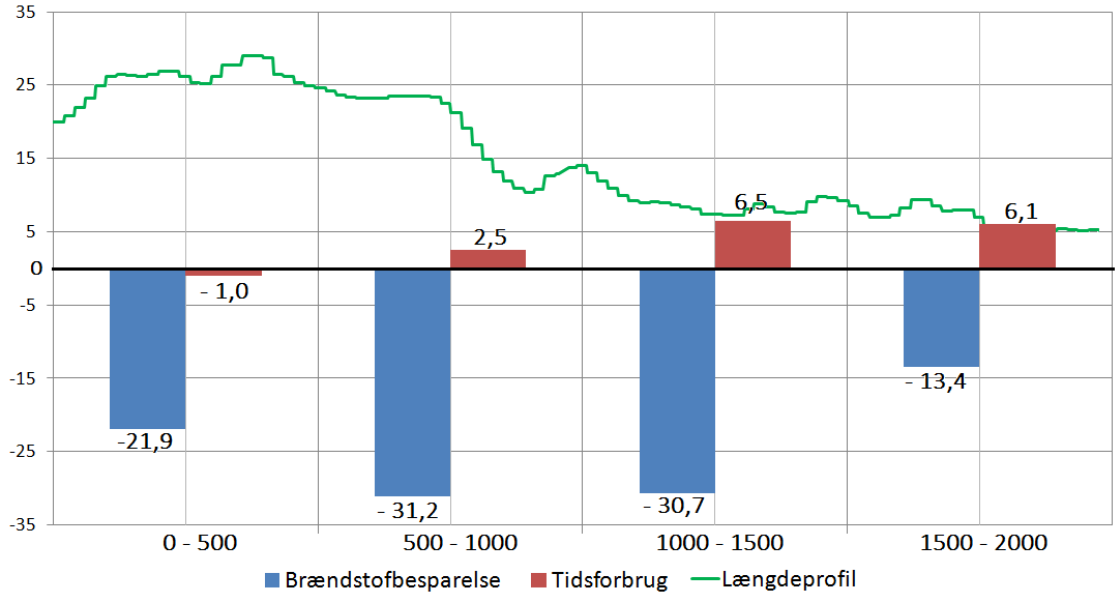
Variation kan bl.a. skyldes, at der ikke er videodata for alle 15 kørsler eller fordi den korrigerede teori, fra tabel 5.9, afhænger af, at der køres komplet ens på de resterende 47 km af kørslens samlede 80 km. Dertil viser kørecomputeren kun brændstofforbruget i tiendedele, hvilket har stor betydning for den procentmæssige besparelse ved den empirisk indsamlede værdi.

Fordelen ved videoanalysen er endvidere, at det er muligt at redegøre for, hvor på strækningen brændstofbesparelsen sker.

Brændstofbesparelse ift. forsøgsstrækningen

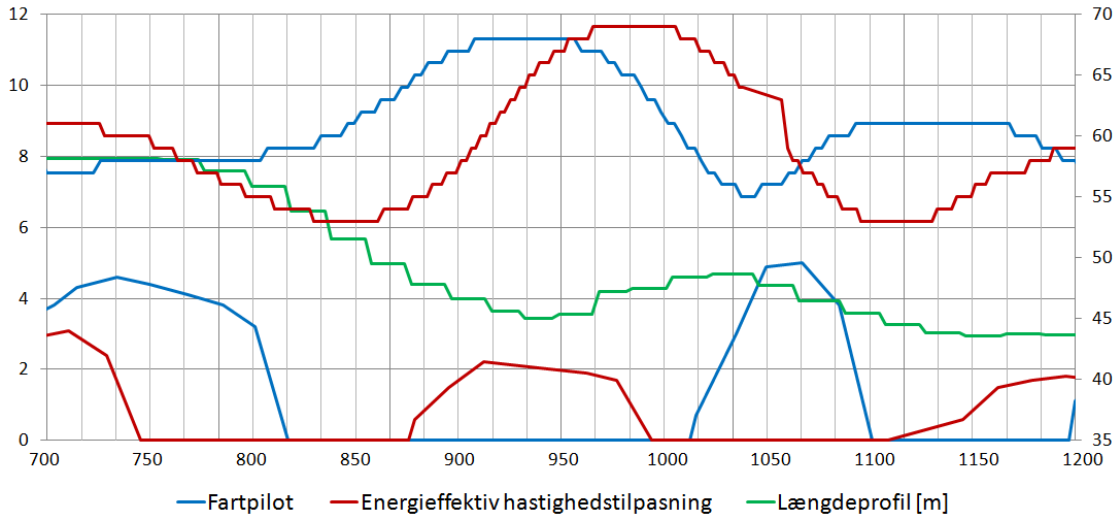
For at eftervise besparelsen ift. strækningen benyttes dataene fra videoerne af tur 7 med fartpilot og tur 5 med energieffektiv hastighedstilpasning, hvor brændstofbesparelsen mellem disse to enkelte ture er 18,1%.

For bedre at danne et overblik over brændstofbesparelsen og forskellen i rejsetid, er strækningen delt op i 500 meters intervaller, hvorefter den procentmæssige forskel mellem kørslerne er beregnet og ses illustreret på figur 5.10.



Figur 5.10. Procentmæssig besparelse i brændstof og forskel i rejsetid ved kørsel med energieffektiv hastighedstilpasning frem for fartpilot

Den største procentmæssige besparelse sker mellem 500 - 1000 meter og tilskrives især den store nedkørsel, som viser potentialet ved energieffektiv hastighedstilpasning ift. terrænet. Kendskabet til terrænet muliggør dermed, at der ikke accelereres helt hen til nedkørslen, samt at den potentielle energi udnyttes til acceleration, således der ikke bruges energi på at køre hen over den efterfølgende bakke, se figur 5.11.



Figur 5.11. Illustration af, hvordan hastighedsprofilet optimeres for at opnå en brændstofbesparelse - primæraksen viser brændstofforbruget i l/100 km

Den energieffektive hastighedstilpasning medfører dog under et sekunds forsinkelse, men der er fortsat mulighed for at optimere på hastighedsprofilet.

5.2.2 Opsummering

Den empiriske indsamling af brændstofforbruget viser en besparelse på hhv. 6,3% ved kørecomputer og 11,6% ved manuel tankning, efter tallene er korrigeret ift. den enkelte kørsel i 3. gear. Denne besparelse kan dog kun relateres til hele forsøgskørslen på 80 kilometer og ikke den isolerede forsøgsstrækning, som udgør 33 af de 80 kilometer. Det antages derfor, at energieffektiv hastighedstilpasning medfører en teoretisk besparelse på mellem 15,3 og 27,7%, hvis brændstofforbruget udelukkende måles på selve forsøgsstrækningen. Endvidere vurderes det, at der er en del usikkerheder ved den empiriske indsamling, da der stilles krav til, at alle kørsler udføres ens, eftersom kørslerne udføres i et samlet træk. Dertil er der måleusikkerheder ved påfyldningen af brændstof, og kørecomputeren viser kun brændstofforbruget ned til tiendedele, hvilket kan medføre store variationer ved beregning af den procentmæssige brændstofbesparelse - målenøjagtigheden ved empirien har dertil stor indflydelse på den teoretiske besparelse, idet denne beregnes procentmæssigt ud fra de empiriske data.

Det viste sig på forsøgsdagen, at bilens kørecomputer viste realtidsinformationer omkring brændstofforbruget, hvorfor det blev vurderet formålstjenligt, at videodokumentere disse informationer, da disse efterfølgende kunne sammenholdes direkte med den konkrete forsøgsstrækning. Gennem video- og dataanalyse, er der således eftervist en besparelse på 17,2% ved at køre med energieffektiv hastighedstilpasning frem for fartpilot på forsøgsstrækningen.

De udførte kørsler viser en signifikant brændstofbesparelse, der vurderes til at ligge mellem 15,3 og 27,7%, men der er samtidigt for få kørsler og data til at verificere den egentlige besparelse. Det har dertil en konsekvens for rejsetiden at køre med energieffektiv hastighedstilpasning i stedet for fartpilot, hvilket i gennemsnit var forøget med 1,5%, og således bør vægtes i en evt. videreudvikling.

5.3 Diskussion

I henhold til forrige opsummering er der en potentiel brændstofbesparelse ved at køre med energieffektiv hastighedstilpasning frem for fartpilot, hvortil besparelsen er vurderet til at være mellem 15,3 og 27,7%. Der er dog usikkerheder ved målemetoderne, idet kørecomputeren viser forbruget i tiendedele, og manuel tankning forudsætter en komplet ens tankopfyldning, hvilket bl.a. afhænger af brug af samme stander, hvor mange klik standeren giver samt, at bilen holder ens. Disse parametre kan således have indflydelse på, hvor stor en mængde brændstof der påfyldes bilen - det kan dog diskuteres, hvor stor mængde brændstof det omhandler, men i kombination med, at bilen kun påfyldes omtrent 4,5 liter brændstof efter endt kørsel, har disse parametre større procentmæssig indflydelse. Måden, hvorpå disse usikkerhederne kan negligeres, er, at køre flere end de 15 ture, for derved øge brændstofmængden og minimere usikkerhederne ved påfyldning. Desuden vil et gennemsnit over f.eks. 10x15 ture medføre et større datagrundlag, således brændstofbesparelsen kan præciseres og evt. verificeres.

Endvidere er der andre aspekter, som kan have indflydelse på brændstofbesparelsen ved forsøgskørslen samt efterfølgende dataanalyse. Selvom kørslerne blev udført ens, hvor alle fejl blev noteret, således de kunne inddrages i efterfølgende kørsel, skal det være in mente, at forsøgskørslerne blev udført af projektgruppen, hvilket kan have haft en effekt på kørslerne,

selvom alt blev noteret. Dette var således også en af grundende til, at videodokumentation blev foretaget under forsøgskørslen, for at eftervise og dokumentere brændstofbesparelsen på den konkrete strækning

Videodokumentationen under selve forsøgskørslen havde til gengæld en negativ effekt på udførelsen, idet forsøgskørslen indebar flere handlinger såsom; ens kørsel, hastighedstilpasning, aktivering af OBD-link, opmærksomhed på kridtstreger og især opmærksomhed på omgivelser pga. dårlige oversigtsforhold. Dette reducerede således fokus fra selve kørslen, hvilket bl.a. medførte fejlkørslen i 3. gear. Det anbefales derfor, at fremtidige forsøg separeres fra de øvrige handlinger, således fokus er rettet på hovedformålet.

Hastighedsprofilerne har været essentielle for analysen af hastighedstilpasningen, hvortil dataene bygger på OBD-linket. Der kan derfor opstå et tvivlsspørgsmål omkring, hvor præcis OBD-linket er, eftersom der var fejl i brændstofforbruget - dette understøttes også af et projektmøde med parterne i Trafikforskningsgruppens projekt d. 2/4 2013, hvor en repræsentant fra *Dancar* udtalte, at OBD-linket fortolker ud fra egne algoritmer og ikke måler ud fra bilens CAN-bus, hvorfor præcise målinger skal foretages direkte fra bilens CAN-bus [Trafikforskningsgruppen, 2013a]. Dette udstyr har dog ikke været til rådighed i dette projekt, og derfor har måling af hastigheden med GPS, været determinerende for, at den loggede hastighed fra OBD-linket vurderes korrekt.

På trods af usikkerhederne ved forsøgskørslerne og indsamlingen af empiri, vurderes det, at brændstofbesparelsen er signifikant og ligger i intervallet mellem 15,3 og 27,7 % for den konkrete strækning - dertil skal det nævnes, at det ikke er testet, hvilket gear der er mest optimalt på strækningen, hvilket således kan medføre en potentiel optimering og derfor bør inddrages ved fremtidig videreudvikling.

Endvidere medfører hastighedstilpasningen en mindre forlængelse af rejsetiden på gennemsnitlige 1,5%, men det skal tilføjes, at hastighedsprofilet kan optimeres gennem yderligere iterativ proces.

Teori kontra praksis 6

Modeller bruges for at simulere dele af virkeligheden, hvor der ønskes større forståelse om virkelighedens egenskaber eller forudsige, hvad der kommer til at hænde. Ved modelopbygning er det essentiel at vurdere, hvilke faktorer der er væsentlige for simuleringen, eftersom uvæsentlige faktorer blot gør modellen mere kompleks samt øger beregningstiden. Dette medfører ligeledes, at modeller må anses som forenklet beskrivelser af virkeligheden.

Matematiske modeller er bygget op af tre stadier, først er en systemafgrænsning, hvor de væsentlige dele, som skal indgå i modellen udvælges. Andet stadie skal de matematiske sammenhænge og formler implementeres, hvor i sidste stadie bestemmes konstanterne, således der er overensstemmelse mellem modellen og virkeligheden [Svendsen, 1994].

Trafikforskningsgruppens Simulink-model er stadig under udvikling og mangler at verificeres, for at den senere hen kan bruges til at udvikle algoritmerne, som skal implementeres i den endelige energieffektive fartpilot [Trafikforskningsgruppen, 2011]. Derfor forsøges det i kapitlet at sammenholde de indsamlede empiriske data fra fase 2 med Simulink-modellen for at verificere, om modellen afspejler forsøgskørslerne i praksis, for hhv. den energieffektive hastighedstilpasning og den konventionelle fartpilot, samt om brændstofbesparelsen kan eftervises i modellen.

Eftersom Simulink-modellen stadig er under udvikling, er der i projektperioden løbende kommet nye versioner af modellen fra Trafikforskningsgruppen. Dette skyldes bl.a. at data fra test og forsøgskørslerne, som er blevet indsamlet i projekt, løbende er implementeret i modellen og har således medvirket til videreudvikling af denne. I bilag F.3 ses ændringsdatoerne og ændringerne foretaget i modellen.

6.1 Simulering

Simulink-modellen kan simulere en kørsel på en givet strækning og estimere, hvilken hastighed køretøjet skal køre med, og hvor meget energi der bruges over en strækning. Dette gøres på baggrund af enten den implementerede fartpilot, ud fra givne speederpositioner eller ud fra et givet hastighedsprofil, hvor simuleringen søger ca. 80 m frem og forsøger at tilpasse farten, således den stemmer overens med hastighedsprofilet. Beregning af modellen foregår i loop, dvs. beregningen af f.eks. hastigheden sker om og om igen, eftersom modellen løbende får nye information omkring hhv. hastigheden, hvilken hastighed der bør køres, hvor på strækningen køretøjet befinder sig og hvilken hældningen vejen har. Ud fra disse informationer beregner modellen, hvor meget motorkraft der skal bruges for at opretholde den angivne hastighed i det pågældende punkt. Yderligere skal det nævnes, at modellen aldrig lader den implementerede fartpilots hastighed overstige mere end 10 km/t fra den angivne hastighed - hvis hastigheden overstiger 10 km/t, aktiveres bremserne i simulering. F.eks. med en angivet hastighed på 60 km/t vil den maksimale hastighed i modellen være 70 km/t, men dette kan dog angives som en parameterforudsætning.

Modellens output for energiforbruget er i kilowatttimer (kWh), hvor energiforbruget fra forsøgskørslerne er angivet i liter diesel pr. 100 kilometer. Dette vanskeliggør sammenligning af disse, idet omregningen fra kWh til diesel afhænger af motorens forbrændingseffekt, hvortil forbruget afhænger af, hvor meget motoren yder. Derfor kan der ikke ske en direkte sammenligning af energiforbruget fra modellen og den virkelige kørsel. Dog er det muligt at lave en relativ sammenligning mellem disse, eftersom det vides, at der ved energieffektiv hastighedstilpasning kan spare mellem 15,3 og 27,7 % brændstof ift. fartpiloten, hvorfor den samme besparelse forsøges eftervist i modellen.

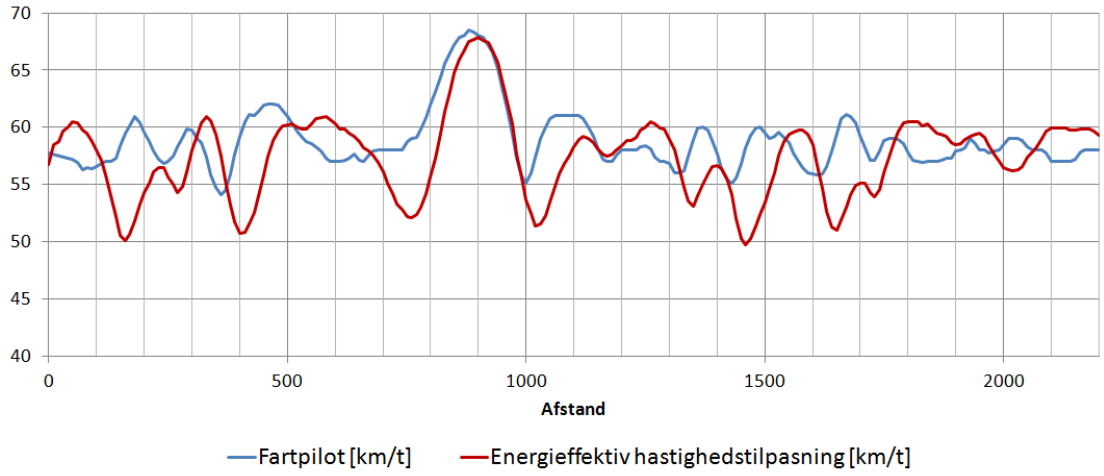
Det vigtig at fastslå, at projektet ikke omfatter ændringer i *Simulinks* algoritmer, men i stedet bruger modellen fra Trafikforskningsgruppen og tilpasser parametrene til forsøgskøretøjet og -strækningen.

6.1.1 Parameter forudsætninger

Før modellen kan sammenlignes med forsøgskørslen, er det nødvendig at indsætte parametrene fra virkeligheden, for således at simulere den mest virkelighedstro model. I det følgende gennemgås de forskellige parametre, som er implementeret i Simulink-modellen.

Længdeprofil
For at den simulerede strækning i modellen er den samme som virkeligheden, har det været nødvendigt at indsætte strækningen fra forsøgskørslen. Dataene til længdeprofilet kommer således fra GPS målingerne, som blev indsamlet, jf. afsnit 3.1 på side 25, hvor der er højdedata for hver 20. meter.

Hastighedsprofil
Hastighedsprofilerne, som skal bruges for at simulere fartpiloten og den energieffektive hastighedstilpasning, er fundet ud fra den gennemsnitlige hastighed fra alle forsøgskørslerne. Det skal dog nævnes, at de hastighedsprofiler, som varierer meget i forhold til gennemsnittet, er frasorteret for at få et mere præcis gennemsnit af de reelle kørsler. Hastighedsprofilerne, der er udgangspunktet for simuleringen ses på figur 6.1



Figur 6.1. Den gennemsnitlige hastighed for fartpiloten og den energieffektive hastighedstilpasning

Køretøjsparametre
Forsøgskørslen blev udført med en Renault Laguna, hvor de tekniske specifikationer er indført i modellen. I tabel 6.1 ses, hvilke parameter der er ændret ift. basismodellen.

Parameter	værdi
Totalvægt [kg]	1682
Front Areal [m^2]	2
Luftmodstandskoefficient [-]	0,33
Hjul radius [m]	0,306
Motorens Max effekt [kW]	110
Max effekt kW ved RPM	4000
Max omdrejninger [RPM]	6000

Tabel 6.1. De ændrede parametre i *Simulink* og tilhørende værdi

Bilens egenvægt er på 1502 kg, men eftersom der var to personer og forsøgsudstyr med i bilen, tillægges der 180 kg. Alle andre specifikationer er fundet enten på mekonomen.dk [Mekonomen, 2013], carspector.com [carspector, 2013] og fra Renault [Renault, 2005].

Negligerede parametre
Nogle af parametrene er negligeret enten pga. modellen ikke er i stand til at tage højde for dem i simuleringen eller de vurderes til at have en lille betydning ift. simuleringen.

En af de parametre, som kan have stor betydning ift. brændstofforbruget, er vindmodstanden. Denne modstand er dog kompliceret at beregne, hvortil Simulinks beregning af vindmodstanden er meget simplificeret, jf. bilag F.1. Derfor vælges det at negligere vindmodstanden i modellen, eftersom beregningen ikke er præcis og kan på den måde medføre forkerte resultater – dertil var der vindstille på de dage, hvor forsøgskørslen fandt sted, jf. tabel 5.1 på side 47, hvorfor det vurderes, at vinden havde lille betydning for forsøgskørslen.

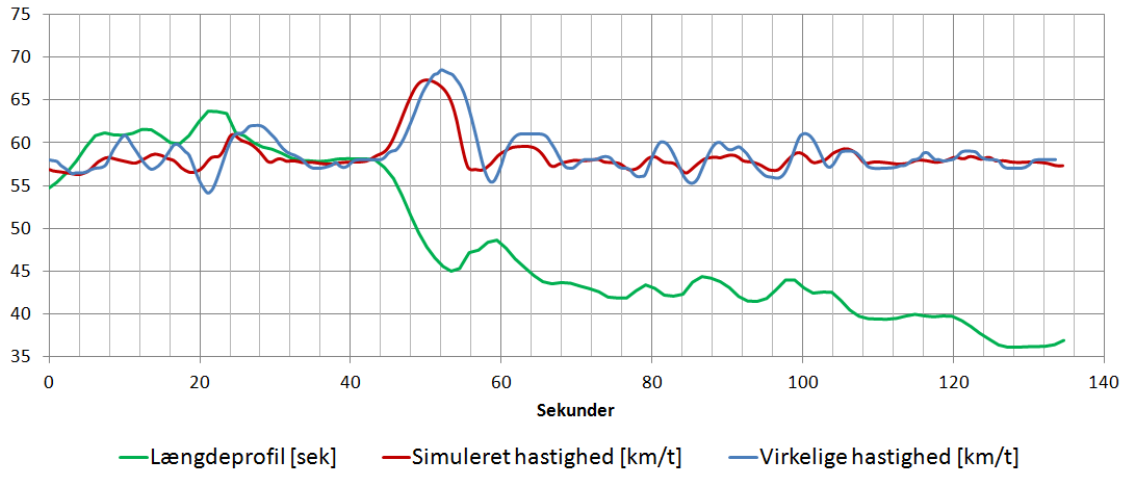
I Simulink-modellen indgår der mange parametre for motoren, som er med til at determinere, hvordan køretøjet reagerer, når der udføres en simulering over en strækning. Udover ovennævnte parametre, er det valgt at bibeholde standard parametrene fra modellen, hvilket skyldes, at data til disse parametre er vanskelige at fremskaffe eller svære at estimere – i bilag F.2 ses et udskrift af de parametre, som kan ændres ift. køretøjet, hvor parametrene markeret med gul, er ændret ud fra ovennævnte.

6.2 Verificering af Simulink-modellen

Eftersom modellen er kalibreret ud fra kørselsmoniteringen, længdeprofilet og de tekniske specifikationer fra forsøgskøretøjet, skal det undersøges, om der er en sammenhæng mellem modellen og empirien. Derfor sammenholdes simuleringsresultaterne med empirien for hhv. modellens egen fartpilot, simulering af forsøgets fartpilot og energieffektiv hastighedstilpasning, hvor disse simuleres ud fra de empiriske hastighedsprofiler, hvilket gøres for at verificere den teoretiske model ift. praksis. Alle data udtræk fra *Simulink* kan findes i elektronisk bilag G.4

6.2.1 Simulinks egen fartpilot

I Simulink-modellen er der på nuværende tidspunkt ikke implementeret en energieffektiv fartpilot, som ud fra informationer omkring længdeprofil og den ønskede hastighed, selv kan simulere den optimale hastighed. Dog er der implementeret en Simulink-fartpilot, som forsøger at simulere en virkelig fartpilot. For at verificere, hvorledes Simulink-fartpiloten er i stand til at eftervise fartpilotens hastighedsprofil fra forsøgskørslen, vil hastighedsprofiler fra Simulink-fartpiloten sammenholdes med hastighedsprofilet fra forsøgskørslen, se figur 6.2.

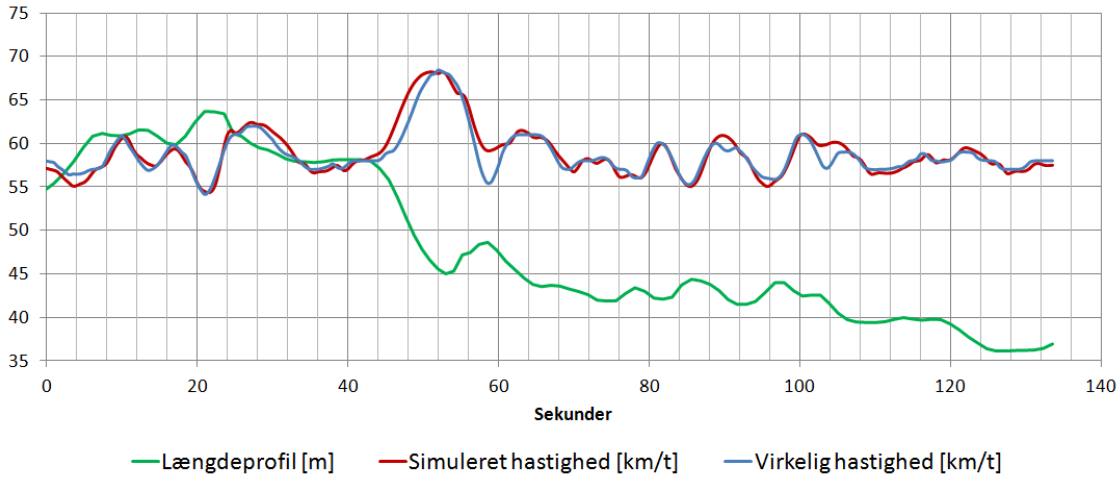


Figur 6.2. Sammenligning af Simulink-fartpiloten og den virkelige fartpilot

Simulink-fartpiloten er for ”aggressiv” - med det menes, at køretøjet reagerer for hurtigt, når det skal opretholde 58 km/t. Derfor kommer hastigheden ikke under 57 km/t, hvor den virkelige fartpilot bl.a. er nede på 54 km/t, se figur 6.2. Som nævnt i afsnit 4.2 er der en forsinkelse på den virkelige fartpilot, hvor Simulink-fartpiloten reagerer hurtigere, når der sker ændringer i hastigheden eller længdeprofilet, hvilket betyder, der ikke forekommer samme variationer i hastighedsprofilet. Det kan f.eks. ses mellem 80 og 100 sekunder, hvor simuleringsfartpiloten accelererer i samme punkt, som stigningen begynder, og hvor den virkelige fartpilot er forsinket.

6.2.2 Simulering af fartpiloten ud fra forsøgskørslens hastighedsprofil

Eftersom det er muligt at importere et hastighedsprofil i *Simulink*, vil det gennemsnitlige hastighedsprofil fra fartpiloten implementeret i modellen, hvilket gøres for at vurdere, om modellen er i stand til at simulere virkeligheden, hvis hastigheden kendes.



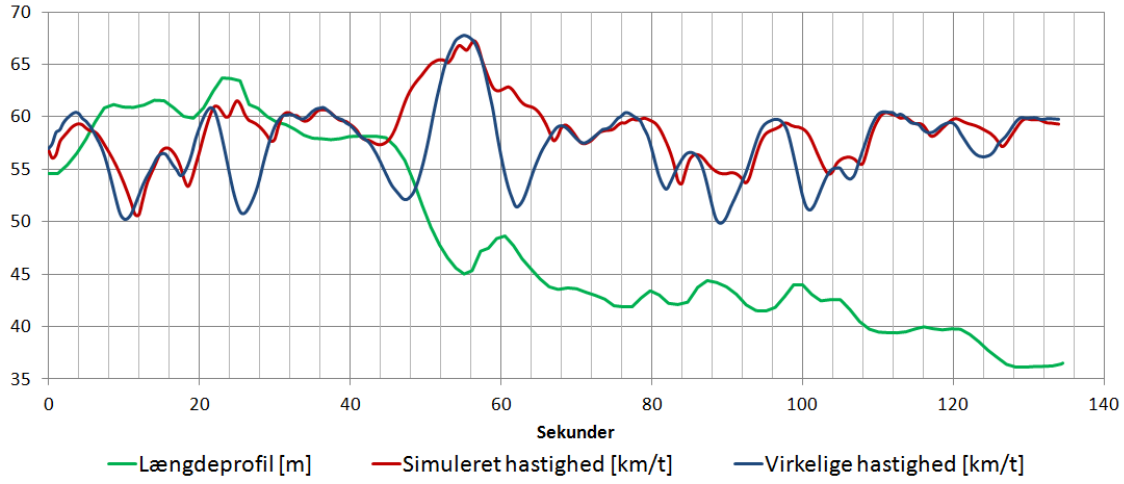
Figur 6.3. Sammenligning af den simulerede fartpilot og den virkelige fartpilot

Som det ses på figur 6.3 er det reelle hastighedsprofil og det simulerede hastighedsprofil tilnærmelsesvis ens, dog med enkelte afvigelser, der især er tydelig omkring den store nedkørsel mellem 40-60 sekunder. Her begynder den simulerede hastighed at stige før den virkelige hastighed, og ved efterfølgende stigning reduceres hastigheden ikke til virkelighedens niveau, hvilket indikerer, at den simulerede bil ikke motorbremser tilstrækkeligt og derved triller for let. Dette kan bl.a. skyldes, at bilens inerti er for høj, at der er indsat forkert dæktryk og rullemodstand eller at der er indsat forkert gear ratio[1]. Disse parametre har alle betydning for, hvor meget bilen motorbremser og bør optimeres, før at modellen kan eftervise virkeligheden. Selvom *Simulink* ikke kan eftervise den virkelige kørsel med fartpiloten, simuleres den energieffektive hastighedstilpasning dog stadig. Dette gøres for at vurdere, hvor stor betydning de manglende parametre har ift. simuleringen af energieffektiv hastighedstilpasning.

6.2.3 Simulering af energieffektiv hastighedstilpasning ud fra hastighedsprofilet

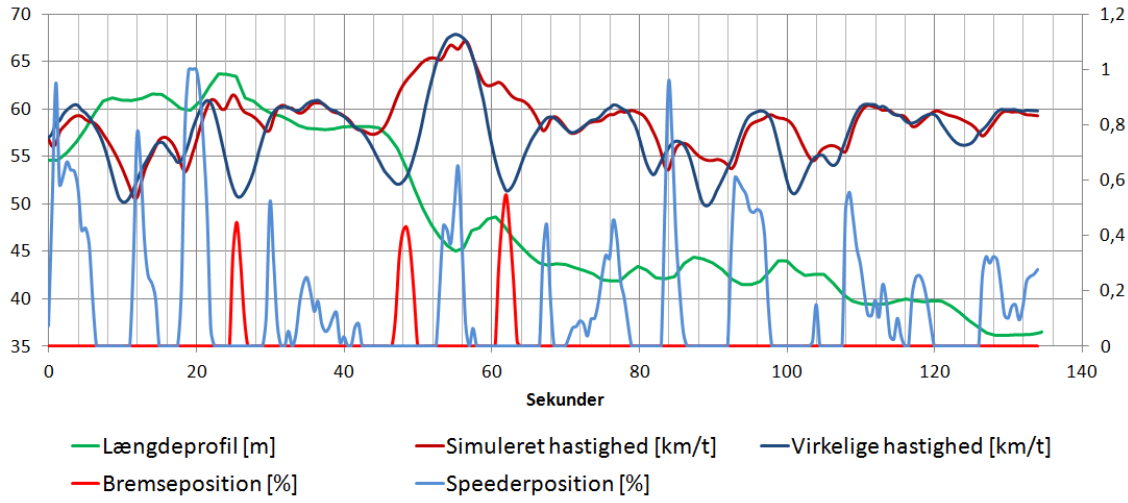
Det gennemsnitlige hastighedsprofil fra kørslen med energieffektiv hastighedstilpasning er ligeledes implementeret for et undersøge, om modellen tilnærmelsesvist kan eftervise kørslens hastighedsprofil, se figur 6.4

[1] Omdrejningsforholdet mellem krumtapakslen og drivakslen



Figur 6.4. Sammenligning af den simulerede energieffektive hastighedsprofil og den virkelige energieffektive hastighedsprofil

Det ses, at *Simulink* ikke er i stand til at simulere det angivne hastighedsprofil fra virkeligheden. Det skyldes, at bilens parametre ikke er optimeret ift. den virkelige bil. Dette kan f.eks. ses ved 20 sekunder, hvor det virkelige hastighedsprofil falder efter bakketoppen, mens simuleringens hastighedsprofil stiger - *Simulink* forsøger at ramme hastighedsprofilet, men idet speederpositionen ikke kendes, accelereres der for meget hen over bakken, hvor speederen i virkeligheden er sluppet. Samme fejlsimulering sker især ved den store bakke, hvor *Simulink* ikke er i stand til at efterligne hastighedsprofilet - i henhold til figur 6.5, benyttes bremserne endda, hvilket viser, at parametre omkring motorens inerti ikke er korrekte for modellen, da bilen triller for let.



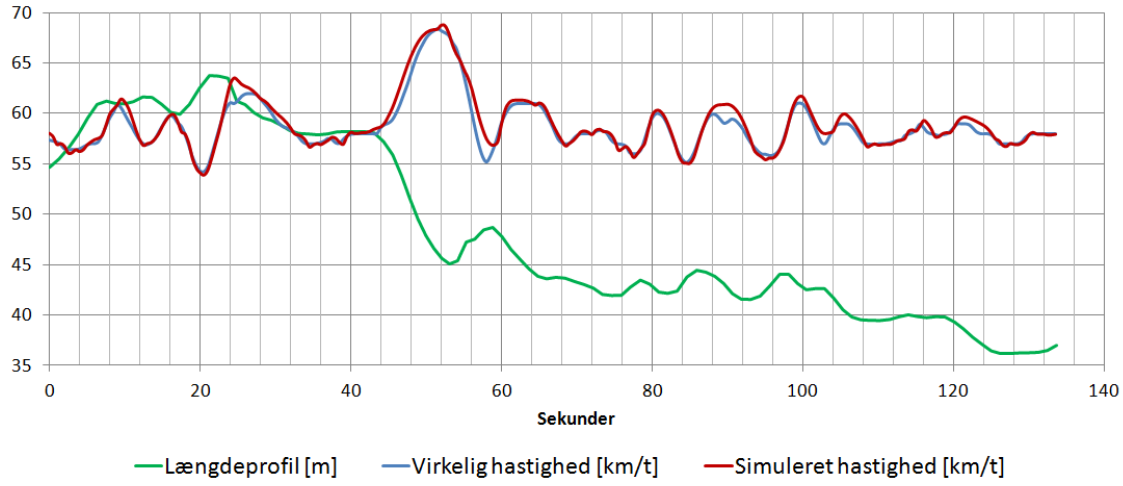
Figur 6.5. Den procentmæssige aktivering af speederen og bremsen - sekundæraksen vise bremse- og speederposition i procent

De matematiske modeller og parametre omkring motoren er ikke færdigudviklede, hvilket tydeligt ses på figur 6.5, hvor speederen i et enkelt tilfælde er 100%, dvs. trykket helt i bund. Dette stemmer ikke overens med den virkelige kørsel, idet der er kørt energieffektivt, og speederen var ikke i nærheden af at være trykket i bund.

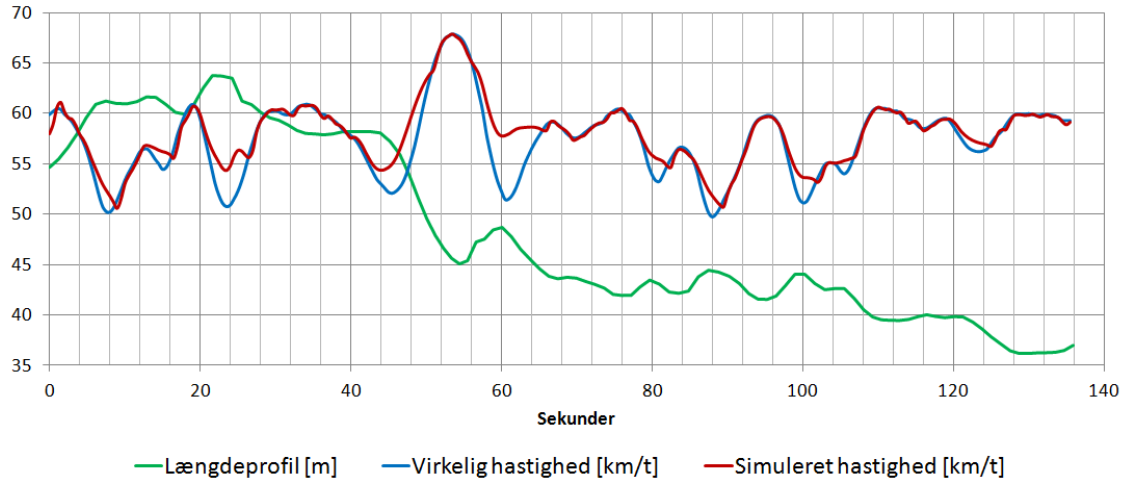
Bemærk at måling af speederpositionen ikke var kompatibel med Renault'en, men hvis speederpositonen sammenlignes med *kørselsmetode 4* fra 1. forsøgskørsel, jf. figur 4.15 på side 43, er det tydeligt, at speederen ikke trykkes i bund, hvortil speederposition kun er beregnet til maksimalt 33% - selvom speederpositionen, målt med OBD-linket, ikke er valideret, stemmer dette mere overens med den egentlige udførelse af forsøgskørslen.

Den nyeste model

Eftersom Simulink-modellen løbende opdateres, er der i den nyeste model fra d. 24. maj, ændret i de matematiske beregninger omkring bilens inerti, således den simulerede hastighed bedre følger de angivne hastighedsprofiler, se figur 6.6 og 6.7 for hastighedsprofilerne for hhv. fartpilot og energieffektiv hastighedstilpasning



Figur 6.6. Sammenligning af hastigheden fra den simulerede og den virkelige fartpilot i den nyeste model



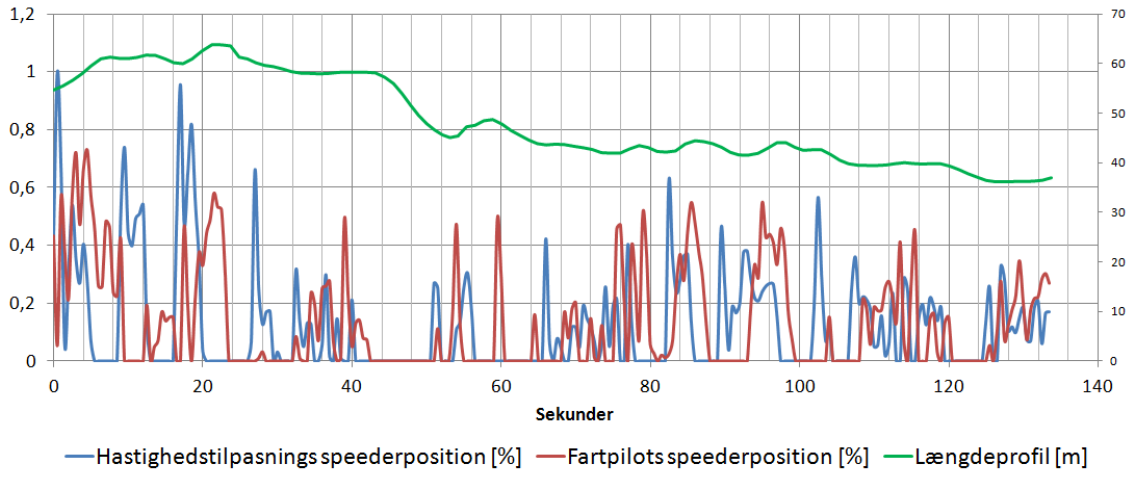
Figur 6.7. Sammenligning af hastigheden fra den simulerede og det virkelige energieffektive hastighedsprofil i den nyeste model

Sammenhængen mellem den simulerede og virkelige hastighed bedre, efter beregningerne af bilens kørselsdynamik er optimeret, dog har modellen stadig besvær med at komme ned i hastighed, hvilket især ses efter nedkørslen ved den store bakke. Derudover ses det, at modellen stadig ikke er i stand til at simulere det virkelige hastighedsprofil fra hastighedstilpasningen, eftersom den simulerede hastighed sjældent kommer ned på niveau med virkeligheden. Selvom den simulerede og virkelige hastighed ikke stemmer overens, undersøges det, om *Simulink* er i stand til at eftervise en energibesparelse ved at køre med energieffektiv hastighedstilpasning frem for en fartpilot.

Simulering	Forbrug	Besparelse
Fartpilot	0,27 kWh	
Hastighedstilpasning	0,26 kWh	2%

Tabel 6.2. Energibesparelsen i procent ved simuleringerne

Som det ses i tabel 6.2 er den simulerede besparelse på 2%, hvilket er langt fra besparelsen mellem 15,3 og 27,7 %, som er udledt af empirien. Denne forskel kan skyldes, at modellen ikke følger de virkelige hastighedsprofiler, hvorfor samme energiforbrug ikke burde forekomme, dog kan dette alene ikke være skyld i forskellen i besparelsen. Selvom modelparametrene er optimeret ift. at følge hastighedsprofilet, er det fortsat tydeligt, at speedertrykket er for stort ift. den egentlige udførelse af energieffektiv hastighedstilpasning, se figur 6.8 der viser de simulerede speederpositioner.



Figur 6.8. Sammenligning af speederpositionen ved simulering af hastighedstilpasning og fartpilot

Den forkerte procentmæssige besparelse kan endvidere skyldes, at den simulerede hastighedstilpasning ikke udføres energieffektivt og derfor peaker speederpositionen lige så højt som ved fartpiloten. Hastighedstilpasningen tilpasser således ikke speederpositionen ift. bakkerne, men forsøger kun at efterligne hastighedsprofilet.

Hvis dette sammenlignes med den videodokumenterede brændstofmåling på figur 5.9, ses det, at energieffektiv hastighedstilpasning sparer brændstof ved bakkerne, som følge af tilpasningen af speederen.

Det anbefales, at der bør udføres simple forsøg til at måle bl.a. speederpositionen og brændstofforbruget, f.eks. ved at køre på en lige strækning og måle brændstofforbruget ved forskellige hastigheder, for at kunne validere, om modellens energiberegning er i overensstemmelse med virkeligheden.

Yderligere er modellen ikke i stand til at simulere det rigtig energiforbrug ved den energieffektive hastighedstilpasning ved blot at kende hastighedsprofilet - modellen har ikke kendskab til, hvor på strækning speederen slippes, eller hvor hårdt speedertrykket er ved accelerationerne i forsøgskørslen, men prøver blot at følge hastigheden. Før der er grundlag for at verificere, om modellen er i stand til at simulere energibesparelsen, bør der indsamles data omkring motoren og speederpositionen, som kan implementeres i modellen, for derved at eftervise om hastighedsprofilet og brændstofforbruget er virkelighedstro.

6.3 Diskussion

Selvom Simulink-modellen løbende er kaliberet ift. forsøgskørslerne, er det dog ikke ensbetydende med, at modellen er i stand til at simulere en energieffektiv hastighedstilpasning eller fartpilot. Dette skyldes, at modellen er kaliberet ift. hastighedsprofilerne fra virkeligheden, hvilket betyder, at parametrene i modellen er tilpasset, således køretøjet vil følge de angivne hastighedsprofiler. Problemstilling er især, at modellens egen fartpilot ikke kan gengive et realistisk hastighedsprofil pga. manglende speederinformation og køretøjsparametre. Mange parametre omkring køretøjet er vanskelige at udlede, hvortil nogle af parametrene omkring bilen er dannet på baggrund af kørselsmonitoreringen. For at udvikle en mere virkelighedstro model kunne der være indsamlet flere data omkring selve forsøgsbilen, hvor især data omkring motorbremsen og accelerationen i et bestemt gear har en stor indflydelse på, hvordan den simulerede bilen reagerer i modellen.

Flere data fra forskellige biler og forskellige lokaliteter, vil gøre det nemmere at udvikle en model, som kan eftervise effekten af energieffektiv hastighedstilpasning. Dette skyldes, at der er mange parametre, som varierer ift. køretøjet og længeprofilet, hvor flere data vil medføre en model, som bedre kan simulere virkeligheden uafhængigt af, hvilket køretøj og længdeprofil der benyttes.

Det kan diskuteres, hvor stor en betydning de negligerede parametre i modellen har haft på det beregnede resultat, eftersom bl.a. vind, bilens inerti og rullemodstand kan variere betydeligt. Selvom det ikke blæste kraftig på forsøgsdagen, kan enkelte vindstød dog have en effekt på energibesparelsen. Dette vurderes dog ikke til at være tilfældet, eftersom hovedparten af forsøgsstrækningen er dækket af skov og er derfor mindre udsat for vind - ligeledes var der på forsøgsdagen kun en vestenvind, og har derfor ikke påvirket i forsøgsstrækningens nord- og sydgående retning.

Bilens inerti og rullemodstand kan have stor betydning på den beregnede energibesparelse - hvis disse er for lille, vil den beregnede energi være mindre end den virkelige, eftersom bilen vil trille nemmere og derved bruge mindre brændstof. Det bør dog ikke alene skyldes en energibesparelse på kun 2%, hvor der i virkeligheden opnås en besparelse mellem 15,3 – 27,7 %, hvorfor forskellen i energibesparelsen må være pga. enten måden, hvorpå *Simulink* simulerer de to kørsler eller at energiforbruget ikke beregnes korrekt.

Metoden ved at indsætte hastighedsprofilet fra forsøgskørslerne for at eftervise modellen, er ikke

den mest hensigtsmæssige metode til at verificere modellen. Hvis speederpositionen havde været kendt fra forsøgskørslerne, havde det været muligt at importere disse i *Simulink*, og således undersøge om hastighedsprofilerne og energibesparelsen kunne sammenholdes. Denne metode havde medført et bedre grundlag for modelverificeringen ift. virkeligheden, eftersom modellen derved selv skal beregne hastighedsprofilet.

På trods af, at Simulink-modellen ikke gengiver et realistisk hastighedsprofil og kun viser en besparelse på 2%, kan der have været fejl i de indsamlede data. Resultaterne, som modellen skal eftervise, er kun baseret på empiri fra 1x15 kørsler, hvis der f.eks. havde været 10x15 forsøgskørsler ville datagrundlaget og den statistiske sikkerhed have været større. Ved et større datagrundlag ville det ligeledes være muligt at præcisere nogle af modellens parametre og derved minimere usikkerhederne i modellen.

Det vurderes, at den primære fejl i simuleringen og beregningen af energibesparelsen ligger i metoden, hvorpå modellen og virkeligheden er sammenlignet. Kørselsmonitoreringen ved 2. forsøgskørsel burde have inkluderet speederposition, da det er den eneste måde, hvorpå det kan eftervises, hvordan der er kørt i praksis. Hastighedsprofilet er i sig selv ikke nok for *Simulink* til at lave en simulering, der kan eftervise brændstofforbruget.

Konklusion 7

Udgangspunktet for dette projekt har været at opstille en forsøgsmodel til eftervisning af den potentielle brændstofbesparelse ved kørsel med hastighedstilpasning frem for fartpilot - den empiriske dataindsamling er efterfølgende benyttet til at sammenholde Trafikforskningsgruppens simuleringsmodel med de udførte forsøgskørsler.

Det essentielle ved projektet har været at udvikle en metode, hvorpå den energieffektive hastighedstilpasning tilpasses efter længdeprofilet, og derved opnå en potentiel brændstofbesparelse ved at udnytte den potentielle energi.

Lokaliseringen af en passende forsøgsstrækning har været udgangspunktet for opstillingen af forsøgsmodellen, hvortil de vigtigste forudsætninger har været en lang og lige strækning med mange bakker og korte afstande imellem dem. Efter gennemkørsel i områder afgrænset til Nordjylland, blev en lille lokalvej på Thoruphedegårdsvej udvalgt som forsøgsstrækning. Forsøgsstrækningen var dog en forholdsvis kort strækning på 2,2 kilometer, men imødekom især de vigtigste parametre omkring mange korte bakker på en strækning med kun en enkelt horisontalkurve, hvortil der var gode muligheder for udnyttelse af den potentielle energi ved nedkørslerne. De mange korte bakker medførte dog dårlige oversigtsforhold, hvorfor forsøgshastigheden måtte nedsættes fra 80 km/t til 60 km/t.

For at eftervise, hvor stor en brændstofbesparelse der kan forventes ved energieffektiv hastighedstilpasning, var det væsentlig at udlede mulighederne for den empiriske dataindsamling. Empirien var indledningsvist baseret på kørselsmonitorering med et OBD-link, som blev tilsluttet bilen for at logge realtidsinformationer omkring bl.a. brændstofforbrug, hastighed og tid. Fordelen ved brug af OBD-linket var bl.a. dens realtidsinformationer, der blev logget med en høj frekvens. Det viste sig dog, at OBD-linkets logning af brændstofforbruget ikke kunne valideres, hvilket formentligt skyldes, at enheden benytter algoritmer til beregning frem for at aflæse selve bilens CAN-bus - derfor måtte der udledes en alternativ metode til eftervisning af brændstofforbruget.

For at indsamle det reelle brændstofforbrug måtte manuel tankning, ved nærmeste tankstation, benyttes efter endt forsøgskørsel. Dette medførte således problemer ift. måling af forbruget, idet det først kunne aflæses efter endt kørsel og ikke direkte for den konkrete strækning. Dette stillede således også krav til, at der var et vist brændstofforbrug, for at besparelsen ikke skyldtes unøjagtigheder ved optankning.

Forsøgsbilen havde dertil en kørecomputer, som viste bilens realtidsforbrug, hvor fordelen ift. OBD-linket var, at informationerne ikke blev beregnet gennem en ekstern enhed. Kørecomputeren kunne således sammenholdes med den manuelle tankning og gav endvidere mulighed for at indikere brændstofforbruget på forsøgsstrækningen - det var dog ligeledes en forudsætning, at der var et højere brændstofforbrug, idet kørecomputeren kun viste forbruget med et decimal. Manuel tankning og aflæsning af kørecomputeren var de benyttede metoder til at eftervise brændstofbesparelsen og samtidig sammenlignelige, idet de begge byggede på kvantitative data.

I henhold til udførte testkørsler og eksisterende forskningsprojekter spares der intuitiv brændstof ved at køre langsommere, hvorfor hastighed og rejsetiden også var et vigtigt aspekt ved forsøgskørslen. OBD-linket kunne i dette tilfælde benyttes til at logge disse parametre, og hastigheden blev i den forbindelse verificeret ift. en GPS-navigationsenhed.

Forsøgskørslerne blev udført efter en iterativ proces for at udlede en metode for energieffektiv hastighedstilpasning - derfor blev der både udført testkørsler og initierende forsøgskørsler forud for den egentlige forsøgskørsel. Det var således gennem analyse af de første forsøgskørsler, at OBD-linkets fejl blev belyst, men kørslerne dannede samtidig baggrunden for udledningen af den endelige kørselsmetode med energieffektiv hastighedstilpasning.

Den egentlige forsøgskørsel blev udført med bilens konventionelle fartpilot og efterfølgende den udledte energieffektive hastighedstilpasning, hvor brændstofmålingen blev baseret på 15 kørsler på forsøgsstrækningen med hver kørselsmetode - som følge af brændstofmålemetoden forudsatte dette, at der skulle køres ens retur efter gennemkørsel af forsøgsstrækningen.

Analysen af forsøgskørslen viser en besparelse på 27,7% ved kørsel med energieffektiv hastighedstilpasning frem for fartpilot, hvortil besparelsen er dannet på baggrund af beregninger ud fra målingerne ved den manuelle tankning. Besparelsen indsamlet fra bilens kørecomputer er derimod beregnet til 15,3%. Forskellen vurderes til at skyldes forsøgsudførelsen og usikkerheder omkring empirien, hvor den forbrugte brændstofmængde har stor indflydelse på den procentuelle forskel mellem før og efter målingerne. Hvis der havde været udført flere forsøgskørsler eller længere ture, ville usikkerhederne omkring brændstofmålingerne været reduceret. Videodokumentation og analyse af kørecomputerens realtidsinformationer viste en besparelse på 17,2% for selve forsøgsstrækningen. På trods af måleusikkerheder ved empirien vurderes det fortsat, at brændstofbesparelse ligger mellem 15,3 - 27,6 % ved samme forsøgsstrækning og kørselsforudsætninger. Desuden medførte hastighedstilpasningen kun en rejsetid der var 1,5% længere end for fartpiloten.

Forsøgskørslens resultater og indsamlede data er efterfølgende overført til Trafikforskningsgruppens simuleringsmodel for at undersøge, hvor præcis modellen er samt om den kan verificeres ift. kørslerne i praksis. Trafikforskningsgruppens simuleringsmodel er fortsat under udvikling og er derfor løbende blevet opdateret og kalibreret ift. de empiriske data fra dette konkrete projekt.

Det er forsøgt at eftervise modellen ift. virkeligheden, ved at implementere data fra forsøgskørslerne og efterfølgende vurdere simuleringens brændstofbesparelse. Det skal bemærkes, at modellen er en forenklet repræsentation af virkeligheden, og formålet er at eftervise den formodede brændstofbesparelse. Efter den seneste version af modellen, viste simuleringen en brændstofbesparelse på 2% ved energieffektiv hastighedstilpasningen, hvilket ikke svarer til den signifikante brændstofbesparelse, som forsøgskørslerne medførte. Desuden er modellen ikke i stand til at eftervise hastighedsprofilet for en fartpilot, hvorfor det er vanskeligt at sammenligne modellen med forsøgskørslerne.

Modellen kan ikke verificeres ift. kørslerne i praksis, hvilket bl.a. skyldes, at nøjagtige datainput er afgørende for det resultat der kommer ud, hvorfor der kræves flere forsøgskørsler for at opnå et større datagrundlag og bedre kalibreringsmuligheder. Vigtigst er dog, at modellen ikke har kendskab til andet end hastighedsprofilet ved især hastighedstilpasningen, og kan derfor ikke præcist simulere speederpositionen og brændstoftilførslen - der kræves således en kørselsmonitorering med høj reliabilitet af både speederposition og brændstofforbruget, for at

modellen har det rette datagrundlag for at verificere forsøgskørslerne. Det anbefales at udføre simple forsøgskørsler, således præcise informationer omkring bl.a. inerti, speederposition og brændstofforbrug kan implementeres i modellen.

7.1 Perspektivering

Grundlaget for projektet var at eftervise, at hastighedstilpasning kunne frembringe en signifikant brændstofbesparelse ift. en konventionel fartpilot, hvis strækningen bestod af et varierende vertikalkurveforløb med mange mindre bakker - gennem forsøgskørsler viste det sig, at strækningens største nedkørsel medførte hovedparten af brændstofbesparelsen, hvilket således viser, at energieffektiv hastighedstilpasning ikke kun afhænger af en strækning med mange små bakker, blot der forekommer enkelte store bakker, hvor den potentielle energi kan udnyttes. Dette kan også sammenholdes med eksisterende forskningsprojekter, hvor brændstofbesparelsen er eftervist, på større hovedveje, til 3% for lastbiler [Hellström et al., 2008] og andre forsøg med personbiler viser op til 12% [Ahn et al., 2011] - dette er mindre end den besparelse projektets forsøgskørsler viste, men det skal tages in mente, at forsøgsstrækning blev udvalgt mht. at opnå størst mulig besparelse, hvortil de sidste 75% af strækningen havde en kote højdeforskel på omtrent -30 meter.

Til fremtidigforskning bør der foretages yderligere undersøgelser ved flere forskellige terræn for at verificere, om kørselsmetoden kan bruges generelt, hvortil det er vigtigt at have et forsøgskøretøj, hvor kørselsmonitoreringen viser realtidsinformationer, der både er valideret og med en høj reliabilitet. Endvidere bør gearene inddrages i forsøgskørslerne, da der potentielt ligger en besparelse ved optimere gearvalget ift. terrænet. Det større datagrundlag og empiri, vil således også kunne indgå i Trafikforskningsgruppens simuleringsmodel, for at udvikle modellen og på sigt kunne verificere den.

Selvom der er en potentiel brændstofbesparelse ved hastighedstilpasning, er der fortsat en række uafklarede aspekter, der har en indflydelse på det endelige produkt. Det oprindelige grundlag for dette projekt og Trafikforskningsgruppens var, at udvikle en energieffektiv fartpilot til godstransport med lastbiler [Trafikforskningsgruppen, 2011] - derfor har en potentiel brændstofbesparelse en stor økonomisk effekt, men samtidig er rejsetiden også essentiel, og derfor bør de to parametre vægtes ift. hinanden. Det bør endvidere undersøges, hvordan kørsel med energieffektiv hastighedstilpasning både påvirker og påvirkes af den øvrige trafik, og hvilken indvirkning det har på brændstofbesparelsen.

Hvis en energieffektiv fartpilot kan udvikles bl.a. ud fra forrige overvejelser, vil det være muligt på sigt at implementere flere af Trafikforskningsgruppens idéer om en energieffektiv fartpilot, som udover vertikal geometrien også indeholder andre geoinformationer omkring bl.a. horisontal geometri, skilte og trafikforhold [Trafikforskningsgruppen, 2013a].

Litteratur

Ahn, Moran, og Rakha, **2011**. Kyoungho Ahn, Kevin Moran, og Hesham A. Rakha. *Eco-Cruise control: Freasibility and Initial testing*. The 90th. Transportation Research Board Annual Meeting, page 16, 2011.

Audi, **April 2013**. *Audi*, 2013. URL `http://www.audi.dk/dk/brand/da/models/a8_new/a8/equipment/assistance_systems/audi_adaptive_cruise.html`.

Lars Bolet, Darius Plausinaitis, og Erik Kjems. Energieffektiv hastighedstilpasningsstrategi Teoretiske betragtninger. 2013.

Bootsma og Dekker, **2007**. Gerben Bootsma og Lex Dekker. *The Assisted Driver - System that support driving*. Ministeriet for transport, offentlige arbejder og vandforvaltning. I Holland, 2007.

Cars Talk, **april 2013**. Cars Talk. *Mercedes-Benz Cruise Control System Makes Use of GPS to Save Fuel*, 2013. URL `http://cars-talk.com/mercedes-benz-cruise-control-system-makes-use-of-gps-to-save-fuel.html`.

carspector, **Maj 2013**. *carspector*, 2013. URL `www.http://carspector.com/`.

Commison, **2012**. European Commison. *Reducing CO2 emmisions from passenger cars*, 2012.

DR 1, **5. maj 2013**. DR 1. *21 søndag*, 2013. URL `http://www.dr.dk/DR1/soendag`.

DTL, **April 2013**. DTL. *Kør energirigtigt og spar diesel*, 2013. URL `http://www.dtl.eu/Miljoe/Ugens%20miljorad/Kor%20energirigtigt.aspx`.

Energistyrelsen, **2011**. Energistyrelsen. *Danmarks Energifremskrivning*. Energistyrelsen, 2011.

European parliament, **1998**. European parliament. *DIRECTIVE 98/69/EC*. European parliament, 1998.

FDM, **April 2013**. FDM. *Stop-start i bilen kan spare brændstof*, 2013. URL `http://www.fdm.dk/vedligeholdelse/stop-start-bilen-kan-spare-braendstof`.

Hellström, Ivarsson, Åslund, og Nielsen, **2008**. Erik Hellström, Maria Ivarsson, Jan Åslund, og Lars Nielsen. *Look-ahead control for heavy trucks to minimize trip time and fuel consumption*, 2008.

Hellström, Åslund, og Nielsen, **2009**. Erik Hellström, Jan Åslund, og Lars Nielsen. *Design of an efficient algorithm for fuel-optimal look-ahead control*, 2009.

Mekonomen, **maj 2013**. *Mekonomen*, 2013. URL `www.mekonomen.dk`.

Forskning, **4 2013**. Inoovation og Videregående Uddannelser Ministeriet for Forskning. *DSF - Transport og infrastruktur*, 2013. URL `http://fivu.dk/forskning-og-innovation/tilskud-til-forskning-og-innovation/find-danske-tilskudsprogrammer/dsf-transport-og-infrastruktur`.

Motor Trend, **April 2013**. Motor Trend. *New Mercedes-Benz Cruise Control System Uses GPS to Shift Gears, Save Fuel*, 2013. URL http://motortrend.floost.com/Miscellaneous/post-new-mercedesbenz-cruise-control-system-uses-gps-to-shift-gears-save-fuel-344046.

Renault, **Juli 2005**. Renault. *New 2.0 dCi diesel engine*. 2005.

Scania, *2011*. Scania. Scania Active Prediction. 2011.

Schwarzkopf og Leipnik, **1977**. Schwarzkopf og Leipnik. *Control of highway cehicles for minimum fuel consumption over varying terrain*, 1977.

Svendsen, **1994**. Torben Svendsen. *Modelbygning - om matematiske modeller*. Gyldendal, 1994.

Trafikforskningsgruppen. Energieffektiv fartpilot. Projektmøde på Aalborg Universitet, 2. april 2013, 2013a.

Trafikforskningsgruppen, **2011**. Trafikforskningsgruppen. *Ansøgning: Energieffektiv fartpilot*. Elektronisk, 2011.

Trafikforskningsgruppen, **2013b**. Trafikforskningsgruppen. *Fartpilot 10 - Podio*. Portal, 2013.

Trafikstyrelsen, **2 2013a**. Trafikstyrelsen. *Intelligent fartpilot til tunge køretøjer*, 2013. URL http://www.trafikstyrelsen.dk/DA/Groen-Transport/Forsogspuljen/Fors%C3%B8gsprojekter/Teknologi/Fartpilot.aspx.

Trafikstyrelsen, **5 2013b**. Trafikstyrelsen. *KørGrønt*, 2013. URL http://www.trafikstyrelsen.dk/DA/Groen-Transport/korgront.aspx.

Trafikstyrelsen, **2013c**. Trafikstyrelsen. *Nye bilers brændstofforbrug*, 2013. URL http://www.trafikstyrelsen.dk/DA/Groen-Transport/Forsogspuljen/Fors%C3%B8gsprojekter/Teknologi/Fartpilot.aspx.

Transport & Environment, **Maj 2013**. Transport & Environment. *How clean are Europe's cars 2012*, 2013. URL http://www.transportenvironment.org/publications/how-clean-are-europes-cars-2012.

Transportministeriet, **2009**. Transportministeriet. *En grøn transportpolitik*, Transportministeriet, 2009.

BILAG

Energieffektiv ITS A

A.1 Eksisterende teknologier

Start - stop
Start-stop systemet er udviklet til at slukke og tænde motoren automatisk, når der holdes i tomgang ved et lyskryds, kø osv, for derved at spare på brændstofforbruget og udledningen af emissioner. Denne teknologi har sine fordele ved bykørsel, hvor der forekommer mange stop ift. landkørsel - ved meget bykørsel kan opnås en brændstofbesparelse på 10% [FDM, 2013].

Fartpilot
Fartpiloten er et system, som automatisk kontrollerer, at køretøjets hastighed opretholdes, ud fra hvilken hastighed chaufføren har angivet - fartpilot opretholde den angivne hastighed ved at accelererer regelmæssigt. Fartpiloten har især sine fordele, når der køres på hovedveje eller på motorveje, hvor det er muligt at opretholde en jævn hastighed, hvilket er hensigtsmæssigt ift. brændstoffet [DTL, 2013].

Adaptive Cruise Control
Adaptive Cruise Control (ACC) er et intelligent system, som opretholder en konstant hastighed, ligeledes som en almindelig fartpilot, samtidig med den overvåger det forankørende køretøj og opretholder en valgt afstand fra dette.

Figur A.1. Principskitse af ACC målemetode[Audi, 2013]

Udover, at sikkerheden forøges, ved at bilen automatisk holder en sikker afstand, bliver brændstoføkonomien også forbedret, da de accelerationer og decelerationer, som ofte forekommer pga. menneskelig "fejl", mindskes. Undersøgelser viser, at der kan spares op til 3% af brændstofforbruget ved at køre med ACC [Bootsma og Dekker, 2007].

Forsøgslokaliteter B

B.1 Alternative forsøgsstrækninger

Strækningsforslag 1
Vejstrækningen på Tiendemarken er tre kilometer lang og lokaliseret lige nord for Gudum by. Lokaliteten egner sig godt ift. vurderingskriterierne, eftersom det er en lige vej med enkelte store bakker og lidt trafik.

Strækningen er dog forholdsvis kort og flere korte bakker ville være at foretrække. Vejoverfladen er generelt jævn, hvortil belægningsstandarden må anses som middel, idet der forekommer flere steder med krakeleret asfalt og flere asfaltreparationer, se nederste billede på figur B.1.

Figur B.1. Tiendemarken mellem Hadsund og Terndrup

Der er spredt bebyggelse med landbrug langs vejen, som kan have indflydelse på forsøgskørslernes hastighed, da der skal tages hensyn til indkørsler og langsomtgående køretøjer. Selvom strækningen er på en landevej med en hastighedsgrænse på 80 km/t, skal det af sikkerhedsmæssige årsager vurderes, om hastigheden skal reduceres ved forsøg på denne strækning.

I tabel B.1 er vurdering af strækning 1 opstillet.

Kriterie	*Vurdering*
Kuperet terræn	+
Strækningslængde	-
Horisontalkurvatur	++
Trafik	++
Belægning	-
Kryds og bebyggelse	+

Tabel B.1. Vurdering af strækning 1 - Tiendemarken

Strækningsforslag 2

Hadsundvej er den længste af de syv forslag med en længde på 9,5 kilometer med god og jævn belægning, hvortil strækningen hovedsageligt forløber med bløde sving igennem et kuperet terræn, se figur B.2. Der eksisterer flere større og mindre bakker, men strækningen er samtidigt kendetegnet ved lange stigninger og store vertikalkurveradiusser. Dermed reduceres muligheden for udnyttelsen af den potentielle energi.

Figur B.2. Hadsundvej mellem Hadsund og Terndrup

Hastighedsgrænsen er på 80 km/t, men undervejs skiltes der kortvarigt med 70 km/t ved et T-kryds, se figur B.3.

Figur B.3. T-kryds på Hadsundvej med skiltet hastighed på 70 km/t

I selve modelkørslen ville det dog være muligt at indlægge 70 km/t zonen, hvorfor zonen ligeledes kan indgå i forsøgskørslen - dette medfører imidlertig en række parametre omkring håndtering af hastighedsnedsættelsen ved model og kørsel, hvilket dog ikke omtales nærmere i dette bilag.

Idet strækningen er en hovedvej, forekommer der meget trafik, som kan have indvirkning på forudsætningen omkring fri trafikafvikling - dog kan testkørslen i marken foretages om aftenen, hvor trafikintensiteten er lavere, og derved minimere risikoen for, at den enkelte forsøgskørslen påvirkes af øvrig trafik.

I tabel B.2 er vurdering af strækning 2 opstillet.

Kriterie	*Vurdering*
Kuperet terræn	-
Strækningslængde	++
Horisontalkurvatur	+
Trafik	-
Belægning	++
Kryds og bebyggelse	+

Tabel B.2. Vurdering af strækning 2 - Hadsundvej

Strækningsforslag 3

Thoruphedegårdsvej nord for Astrup er en forholdsvis kort strækning på ca. 2,4 kilometer, men til gengæld forløber vejen i et kuperet terræn med flere korte bakker, se figur B.4. Strækningsforløbet imødekommer således det ønskelige længdeprofil og egner sig derfor godt som forsøgslokalitet. Vejbelægning er jævn og i godkendt stand, hvortil sandet nederst på figuren kun forekommer over få meter og kan fejes væk.

Figur B.4. Thoruphedegårdsvej nord for Astrup

Der forekommer ikke meget trafik på strækningen, men pga. vejens smalle bredde og dårlige oversigtsforhold vil især modgående trafik bevirke, at det enkelte forsøg højst sandsynligt skal forkastes. Grundet dårlige oversigtsforhold ved flere af de konkave vertikalkurver samt den enkelte horisontalkurve, vil det desuden ikke være forsvarligt at opretholde en hastighed på 80 km/t under forsøgskørslen, hvorfor hastigheden bør reduceres ved denne testlokalitet. Der er spredt bebyggelse og enkelte kryds langs strækningen, men eftersom hastigheden skal reduceres, vurderes disse parametre som acceptable.

I tabel B.3 er vurderingen af strækning 3 opstillet.

Kriterium	*Vurdering*
Kuperet terræn	++
Strækningslængde	-
Horisontalkurvatur	+
Trafik	++
Belægning	+
Kryds og bebyggelse	+

Tabel B.3. Vurdering af strækning 3 - Thoruphedegårdsvej

Strækningsforslag 4

Hornumvej nord for Farsø er en strækning på omtrent fem kilometer, men det få antal af bakker og længden imellem dem gør, at strækningen ikke vurderes relevant for forsøgskørslen. På figur B.5 er Hornumvej dog vist, hvortil vurderingen er opstillet i tabel B.4

Figur B.5. Hornumvej nord for Farsø

Kriterium	*Vurdering*
Kuperet terræn	- -
Strækningslængde	+
Horisontalkurvatur	-
Trafik	+
Belægning	++
Kryds og bebyggelse	++

Tabel B.4. Vurdering af strækning 4 - Hornumvej

Strækningsforslag 5

Flejsborgvej nord for Vester Hornum er en forholdsvis kort strækning på to kilometer med få, men kuperede bakker, se figur B.6. Desuden er der gode muligheder for fri kørsel, da der kun er lidt trafik og få tilkørsler på strækningen.

Figur B.6. Flejsborgvej mellem Vester Hornum og Flejsborg

Et større antal af korte bakker over en længere strækning havde dog været at foretrække ved denne lokalitet.

I tabel B.5 er vurderingen af strækning 5 opstillet.

Kriterium	*Vurdering*
Kuperet terræn	+
Strækningslængde	-
Horisontalkurvatur	+
Trafik	++
Belægning	++
Kryds og bebyggelse	++

Tabel B.5. Vurdering af strækning 5 - Flejsborgvej

Strækningsforslag 6

Aalborgvej strækningen øst for Fjerritslev er godt fire kilometer lang med enkelte store bakker, se figur B.7. Bakkerne er dog forholdsvis lange og dermed reduceres potentialet ved den energieffektive fartpilot.

Figur B.7. Aalborgvej mellem Brovst og Fjerritslev

Dertil er der meget trafik på strækningen, hvorfor det lig strækningsforslag 2 vil være formålstjenligt at køre på tidspunkter af døgnet, hvor trafikintensiteten er lavere. Dog er vejbelægningen både jævn og i god stand, og der forekommer ingen bebyggelse langs vejen.

I tabel B.6 er vurderingen af strækning 6 opstillet.

Kriterium	*Vurdering*
Kuperet terræn	-
Strækningslængde	+
Horisontalkurvatur	++
Trafik	-
Belægning	++
Kryds og bebyggelse	++

Tabel B.6. Vurdering af strækning 6 - Aalborgvej

Strækningsforslag 7

Det sidste strækningsforslag er Storeskovvej nord for Dronninglund, hvor der forekommer flere bakker over en længde på ca. fem kilometer, se figur B.8.

Figur B.8. Storeskovvej mellem Dronninglund og Dorf Kirkeby

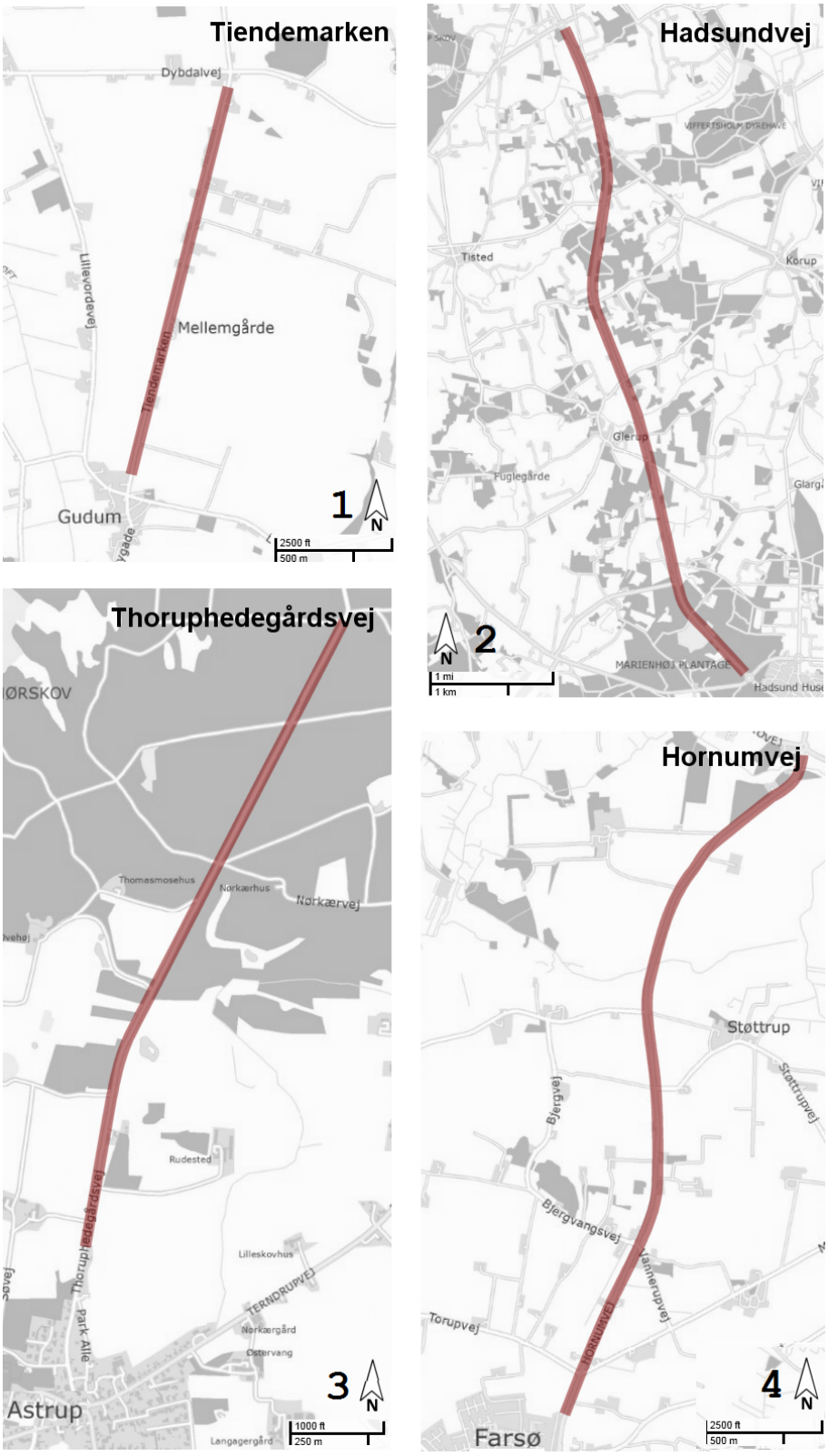
Strækningen indebærer dog flere skarpe sving, hvilket gør den mindre egnet som forsøgsstrækning, selv om vejbelægningen er god, samt at trafikmængden er lille.

I tabel B.7 er vurderingen af strækning 7 opstillet.

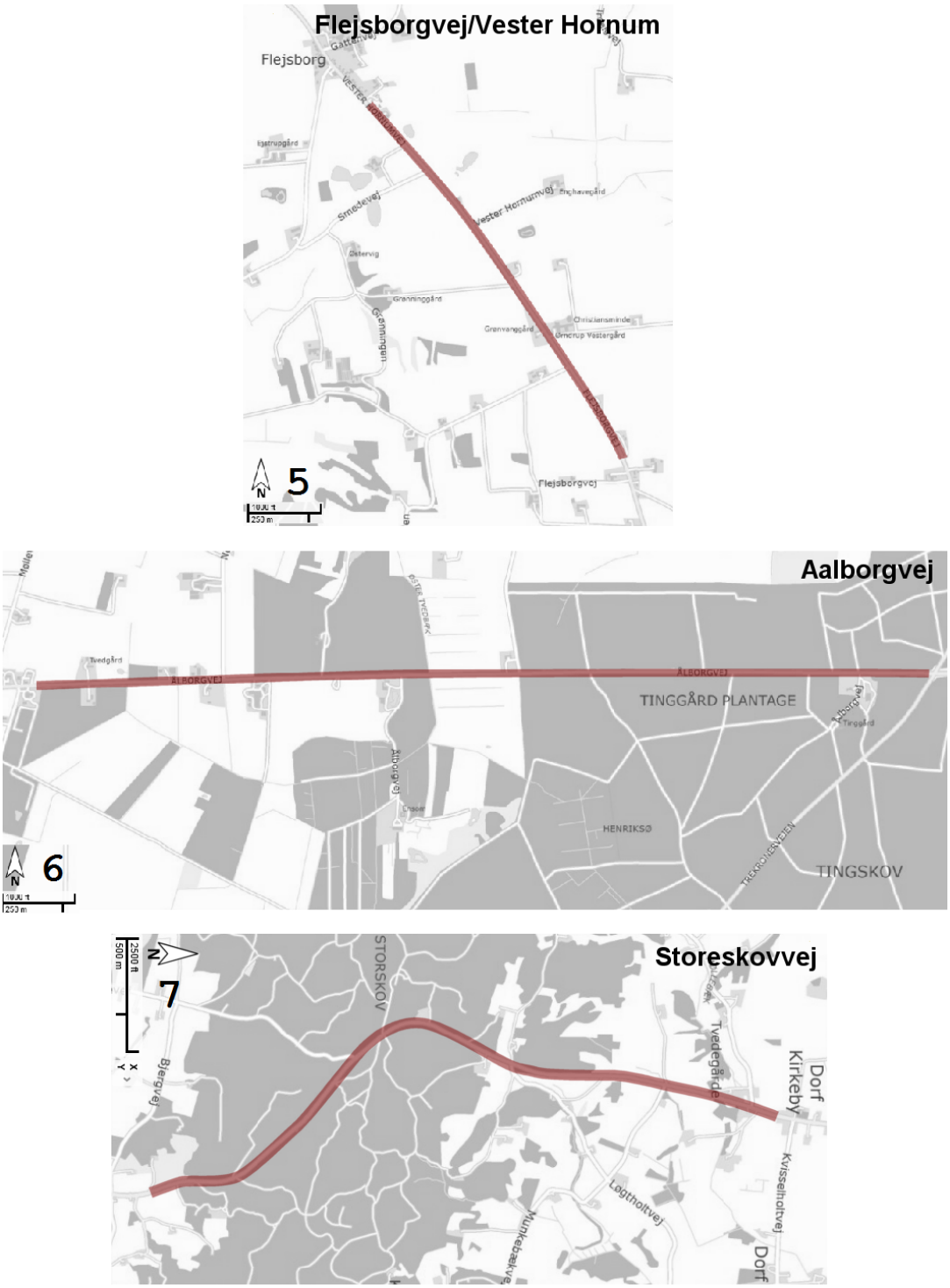
Kriterium	*Vurdering*
Kuperet terræn	+
Strækningslængde	+
Horisontalkurvatur	- -
Trafik	+
Belægning	++
Kryds og bebyggelse	++

Tabel B.7. Vurdering af strækning 7 - Storeskovvej

B.1.1 Strækningsoversigter



Figur B.9. Øverst venstre: Tiendemarken. Øverst højre: Hadsundvej. Nederst venstre: Thoruphedegårdsvej. Nederst højre: Hornumvej



Figur B.10. Øverst: Flejsborgvej/Vester Hornum. Midten: Aalborgvej. Nederst: Storeskovvej

Initierende testkørsel C

C.1 Forudsætninger ift. kørsel på lokaliteten

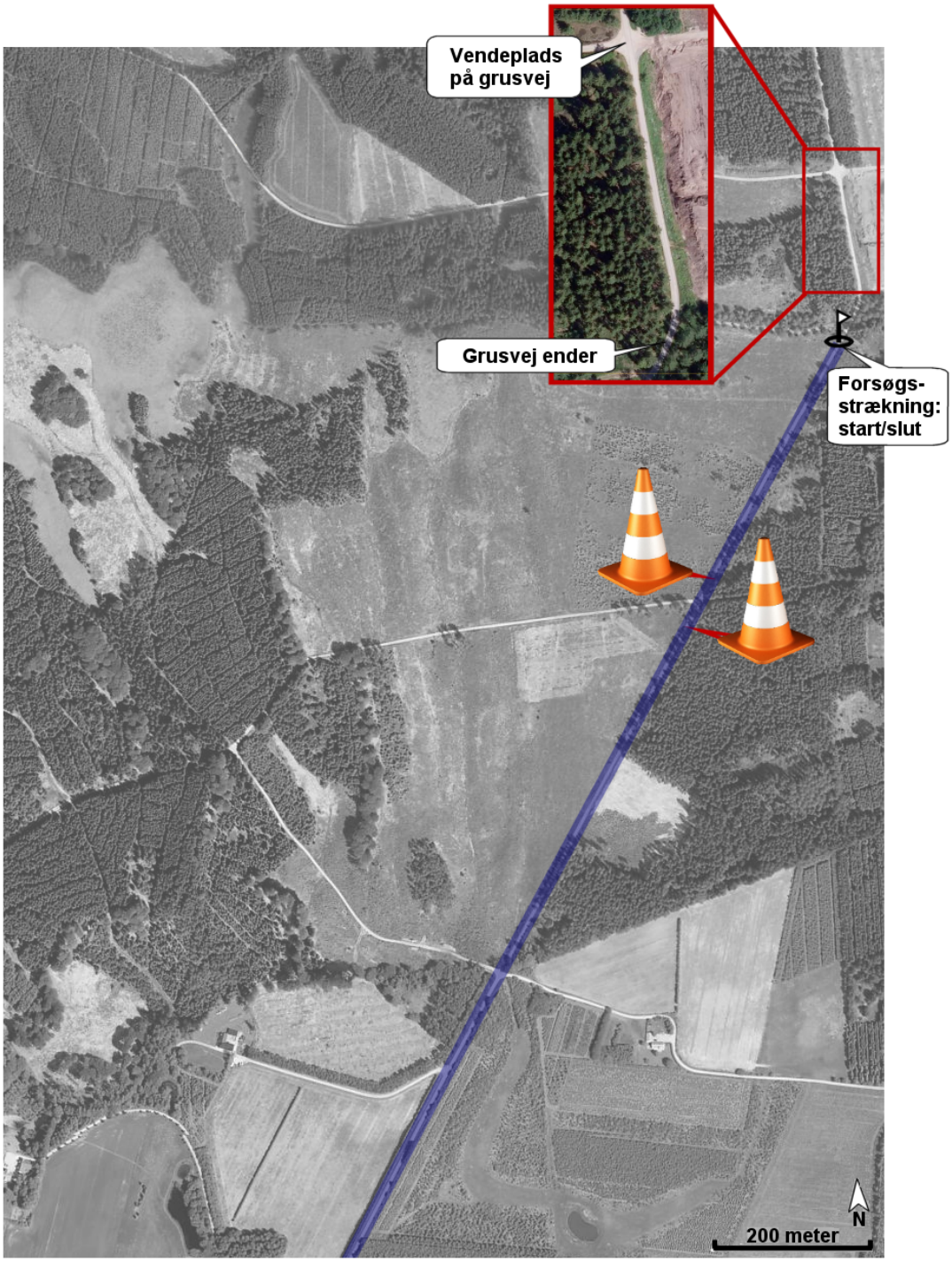
Sikkerhedsforhold

Figur C.1. Billedserie der illustrerer de dårlige oversigtsforhold på strækningen

C.1.1 Oversigtstegning

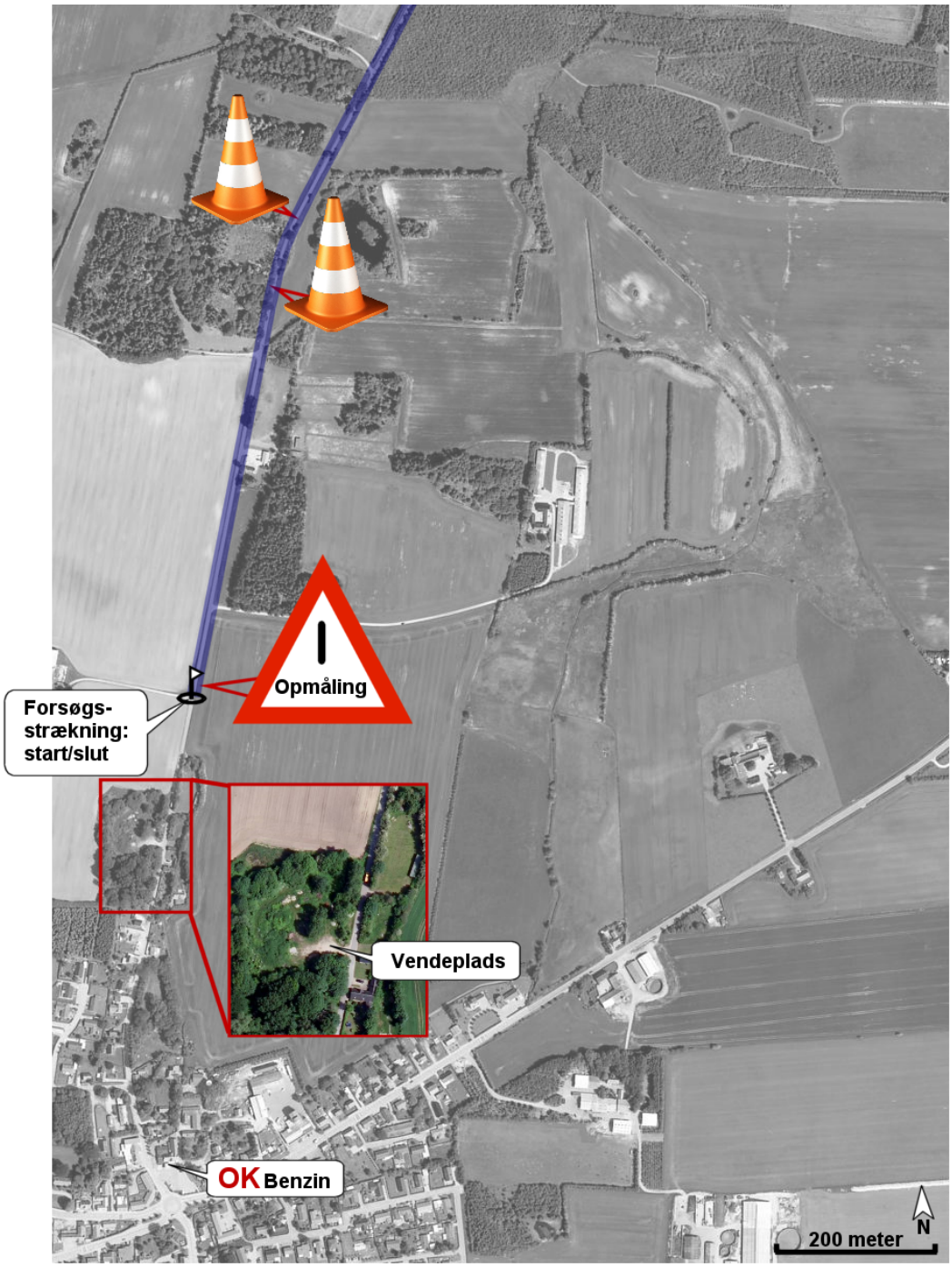
En samlet version af de to oversigtstegninger, ses i elektronisk bilag G.2.1.

Oversigtstegning del 1 af 2 (Nordlige del



Figur C.2. Oversigtstegning for strækning med placering af kegler, start-/slutpunkter og vendemuligheder, for den nordlige del af strækningen

Oversigtstegning del 2 af 2 (Sydlige del)



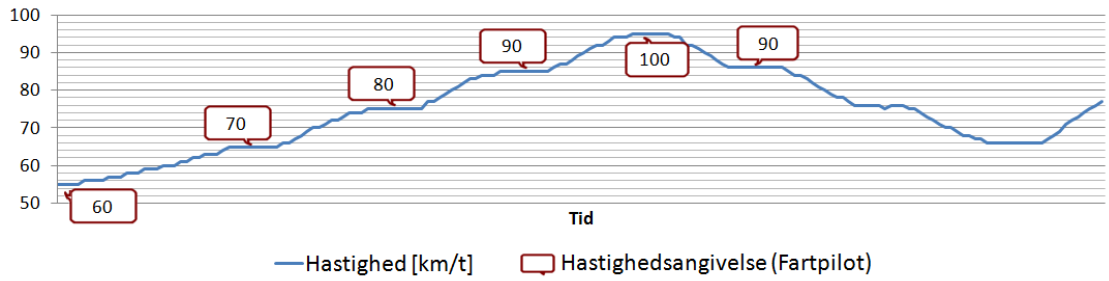
Figur C.3. Oversigtstegning for strækning med placering af kegler, tavler, start-/slutpunkter og vendemuligheder, for den sydlige del af strækningen

C.1.2 Andre forhold

Figur C.4. Forsøgskørsel d. 20. marts kunne ikke fuldføres pga. snevejret

C.2 Målemetode

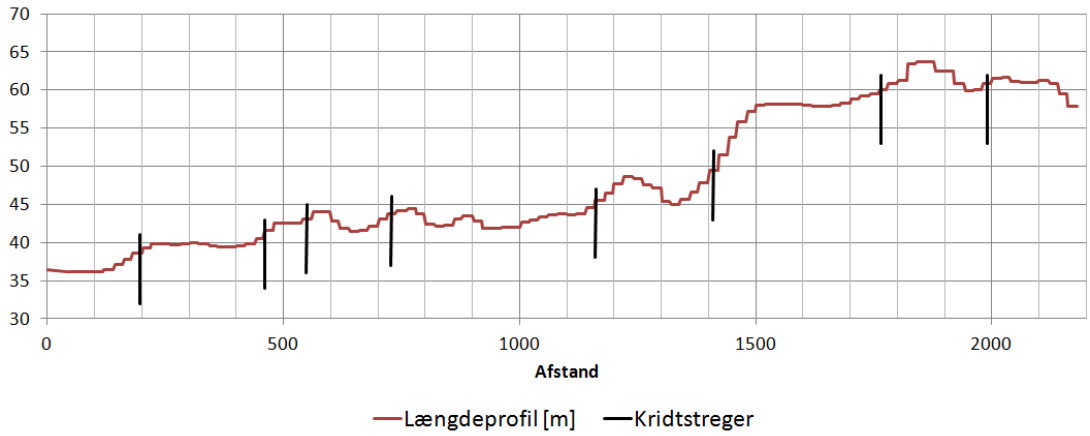
Test af hastighedsvisning



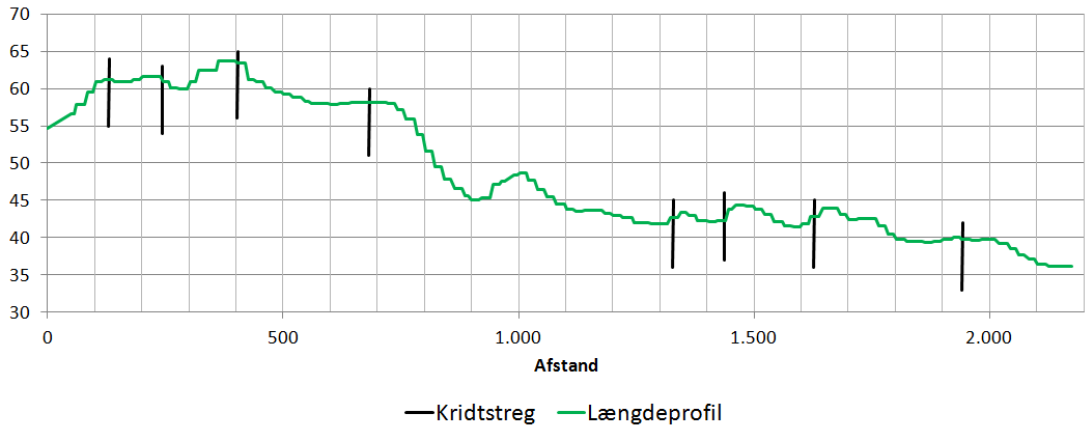
Figur C.5. Test af af den loggede hastighed ved fartpilotangivelse på 70, 80, 90 og 100 km/t

1. Forsøgskørsel D

D.1 Placering af kridtstreger



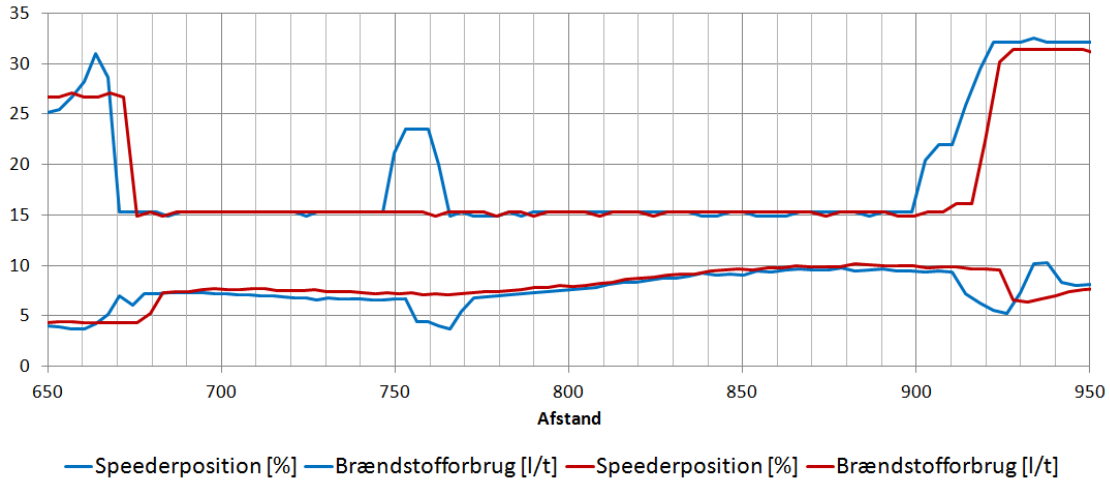
Figur D.1. Markering af positionerne for sluk af fartpilot eller slip af speeder i nordgående retning



Figur D.2. Markering af positionerne for sluk af fartpilot eller slip af speeder i sydgående retning

D.2 Behandling af data

D.2.1 Fejl i OBD-link

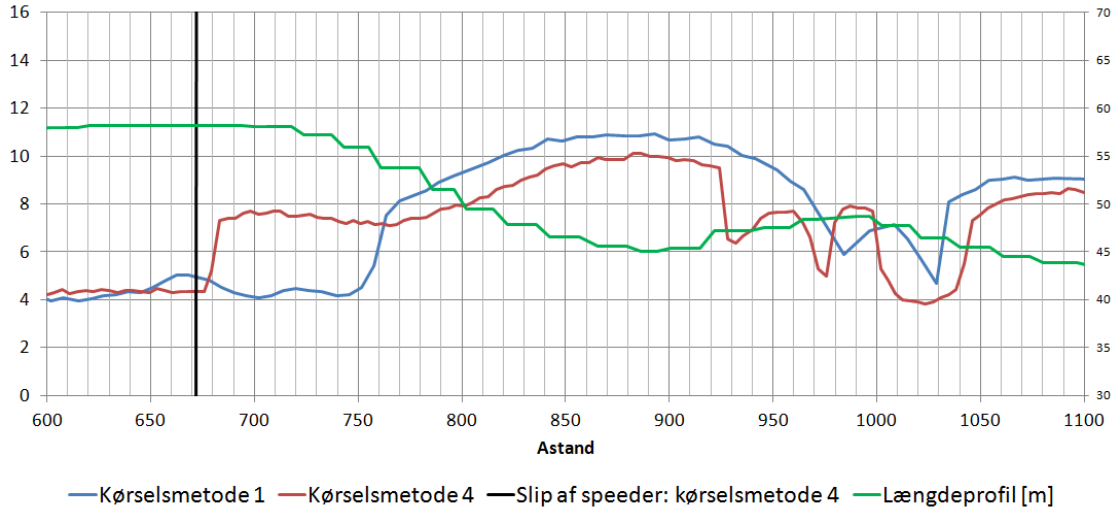


Figur D.3. Fejl: Brændstofforbruget falder ved let tryk på speederen, ift. når der motorbremses

D.2.2 Kørselsmetode 1 - fartpilot

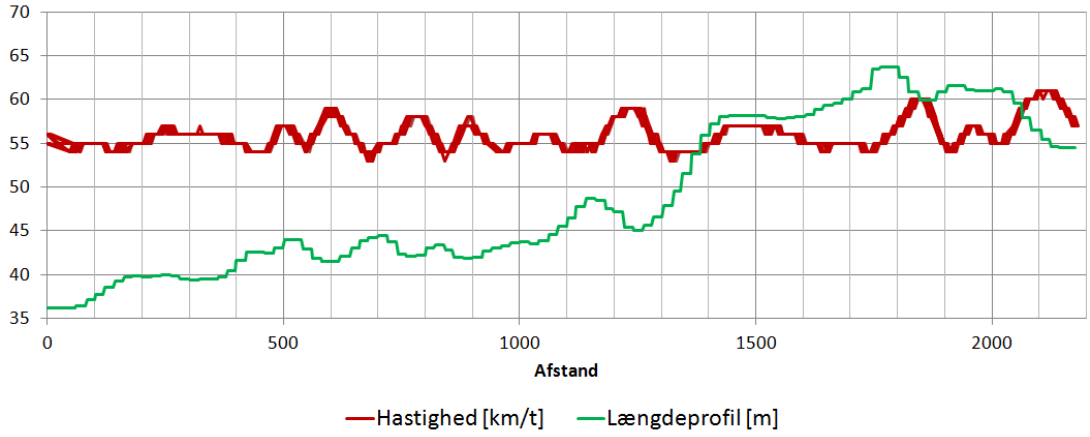
Eftervisning af motorbremsning ved fartpilot

For at eftervise, at fartpiloten benytter motorbremse når hastigheden er større en den angivne, benyttes kørselsmetode 1 og 4. Selvom OBD-linkets angivelse af brændstofforbruget er forkert, kan grafen fortsat benyttes, idet den tydeligt viser når speederen slippes ved kørselsmetode 4. Derved kan de to kørselsmetoder sammenlignes og eftervise, at fartpiloten også benytter motorbremsning.

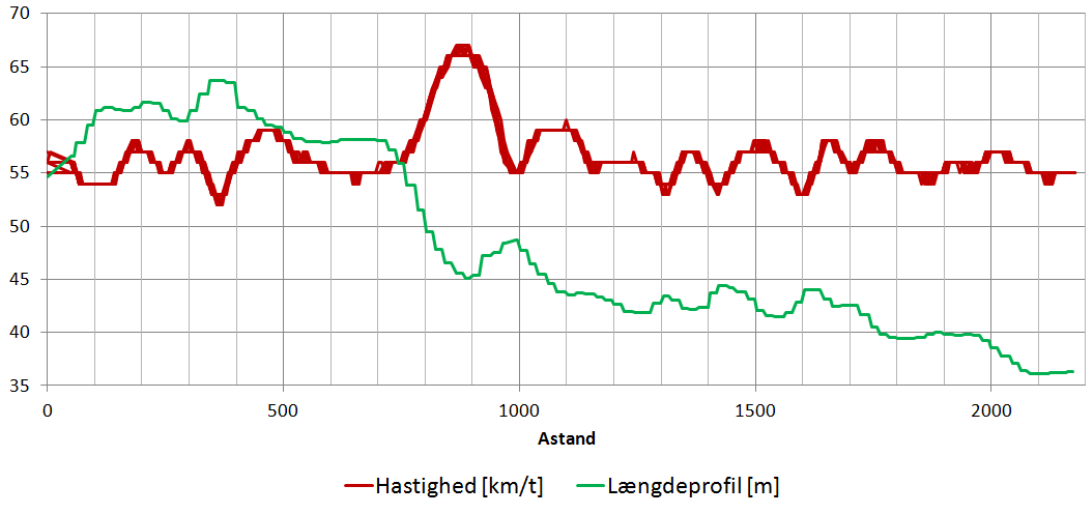


Figur D.4. Når speederen slippes sker der et spring i brændstofforbruget, hvilket også sker når fartpiloten registrere for høj fart

Hastighedsprofilerne for hhv. nord- og sydgående retning ved fartpilot



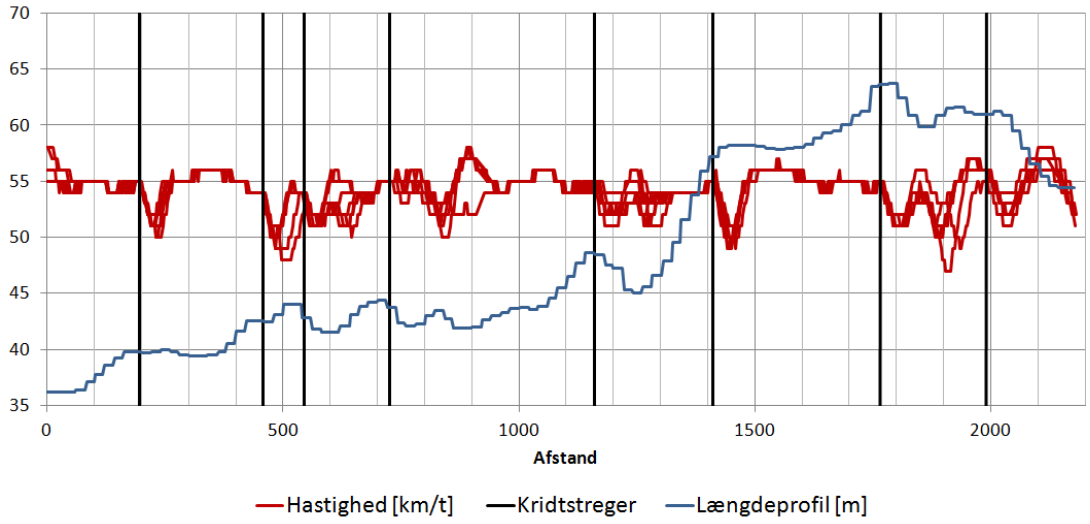
Figur D.5. Samlede hastighedsprofiler for nordgående retning for fartpiloten



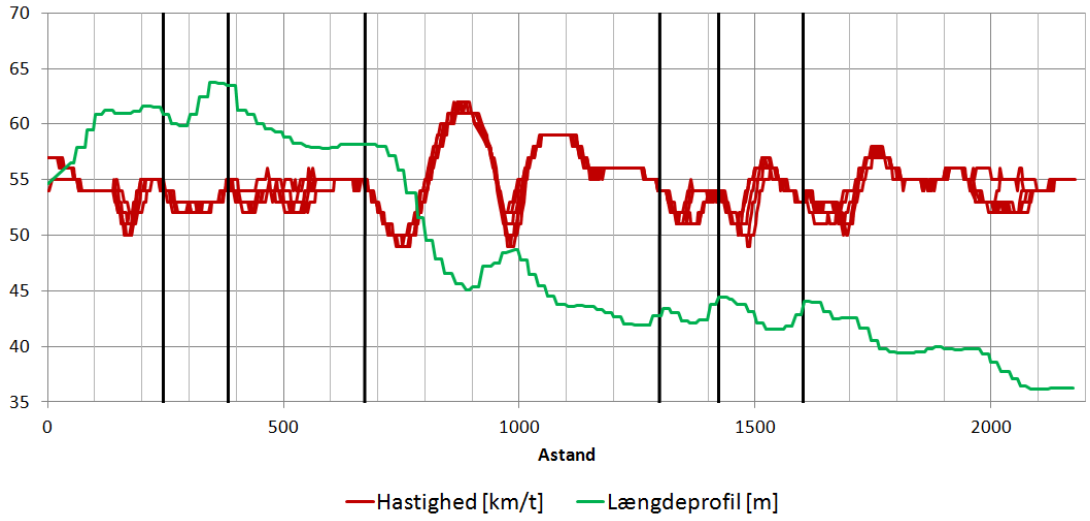
Figur D.6. Illustration af hastighedsprofilerne for 11 kørsler i sydgående retning med fartpilot

D.2.3 Kørselsmetode 2 - On/off fartpilot

Hastighedsprofilerne for hhv. nord- og sygående retning ved on/off fartpilot
Kørselsmetode 2 medfører også høj repeterbarhed, idet kridtstregerne markerer stederne, hvor fartpiloten skal deaktiveres. Dog ses det, at der forekommer lidt variation i, hvornår fartpiloten aktiveres.



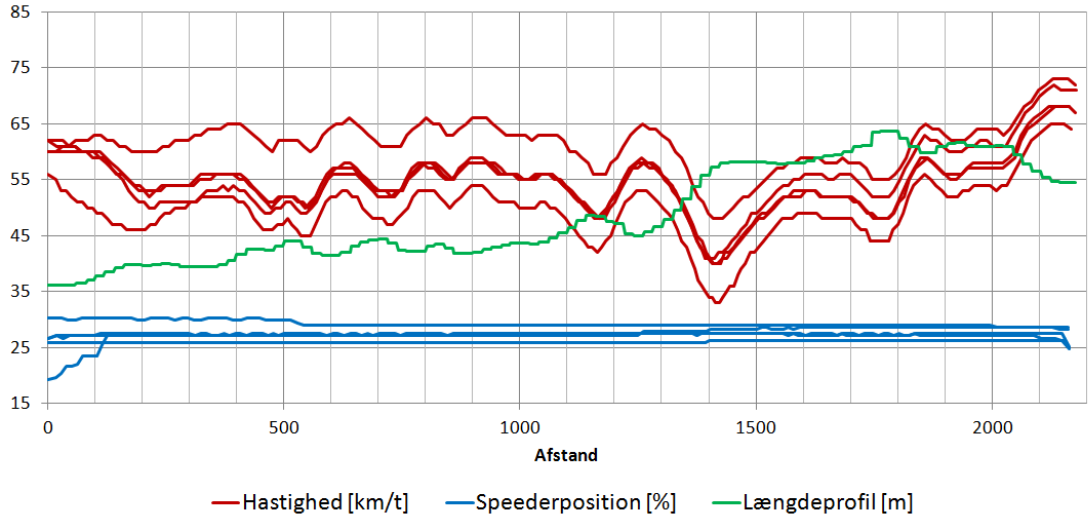
Figur D.7. Illustration af hastighedsprofilerne i nordgående retning med on/off fartpilot



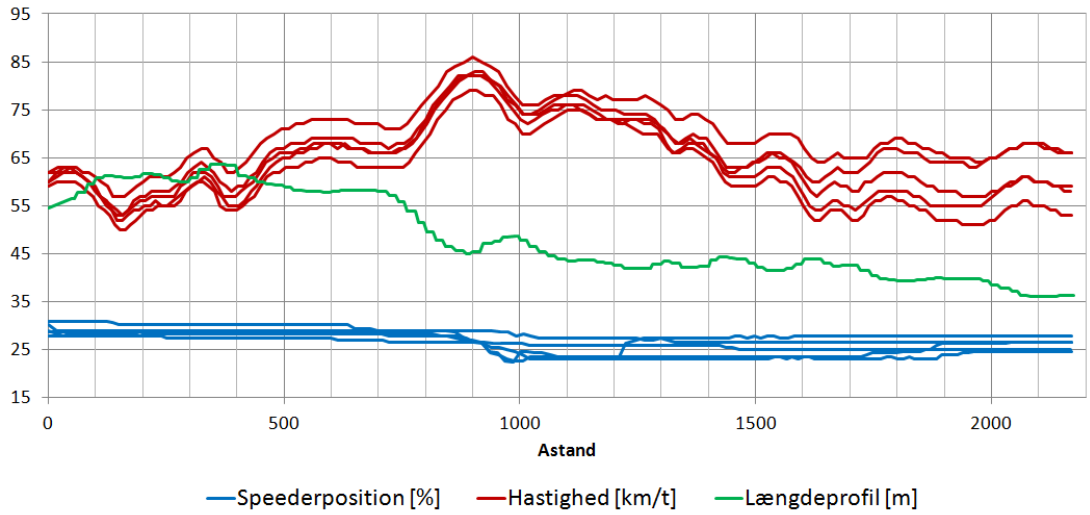
Figur D.8. Illustration af hastighedsprofilerne i sydgående retning med on/off fartpilot

D.2.4 Kørselsmetode 3 - Fast speederposition

Det ses, at de forskellige ture varierer en del i hastighed, hvilket skyldes vanskeligheder ved at gentage ens speederpositioner.

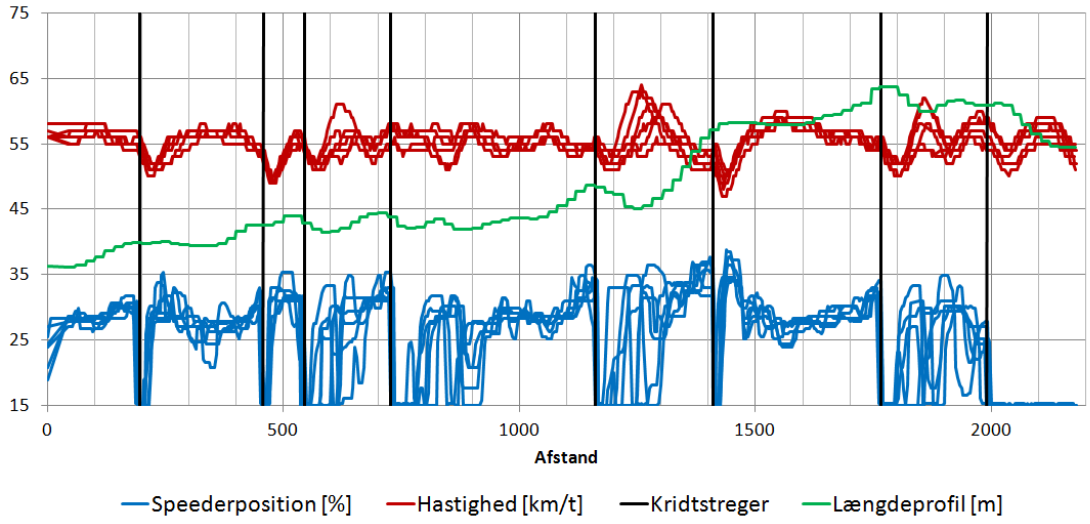


Figur D.9. Illustration af hastighedsprofilerne og speederpositionen i nordgående retning med fast speederposition

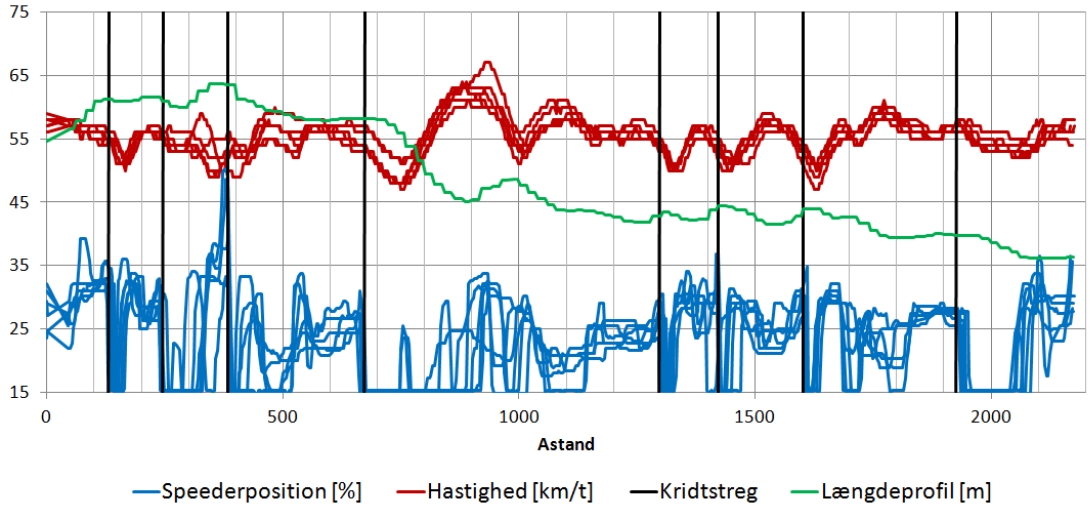


Figur D.10. Illustration af hastighedsprofilerne og speederpositionen i sydgående retning med fast speederposition

D.2.5 Kørselsmetode 4 - Energieffektiv fartpilot (manuel)

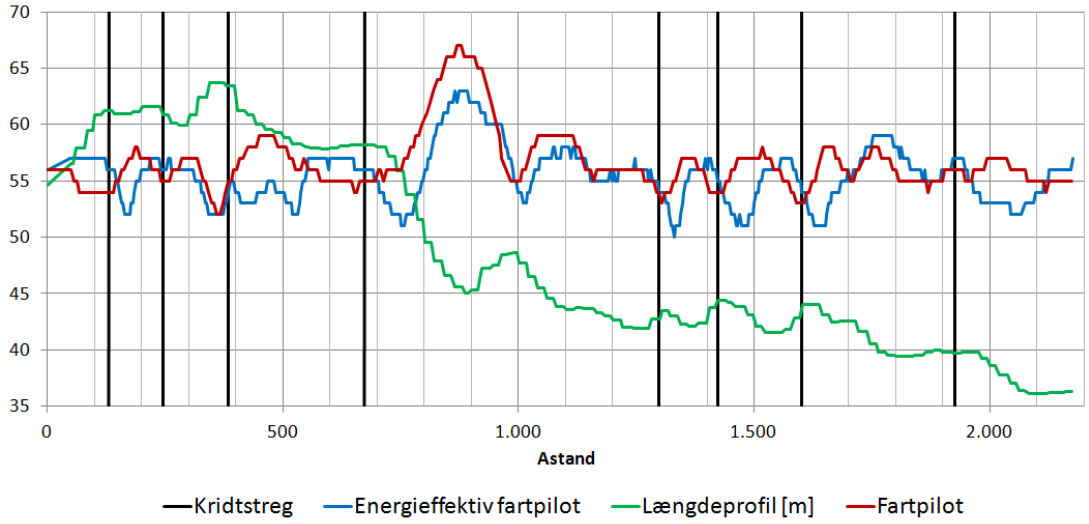


Figur D.11. Illustration af hastighedsprofilerne og speederpositionen i nordgående retning ved kørselsmetode 4



Figur D.12. Illustration af hastighedsprofilerne og speederpositionen i sydgående retning ved kørselsmetode 4

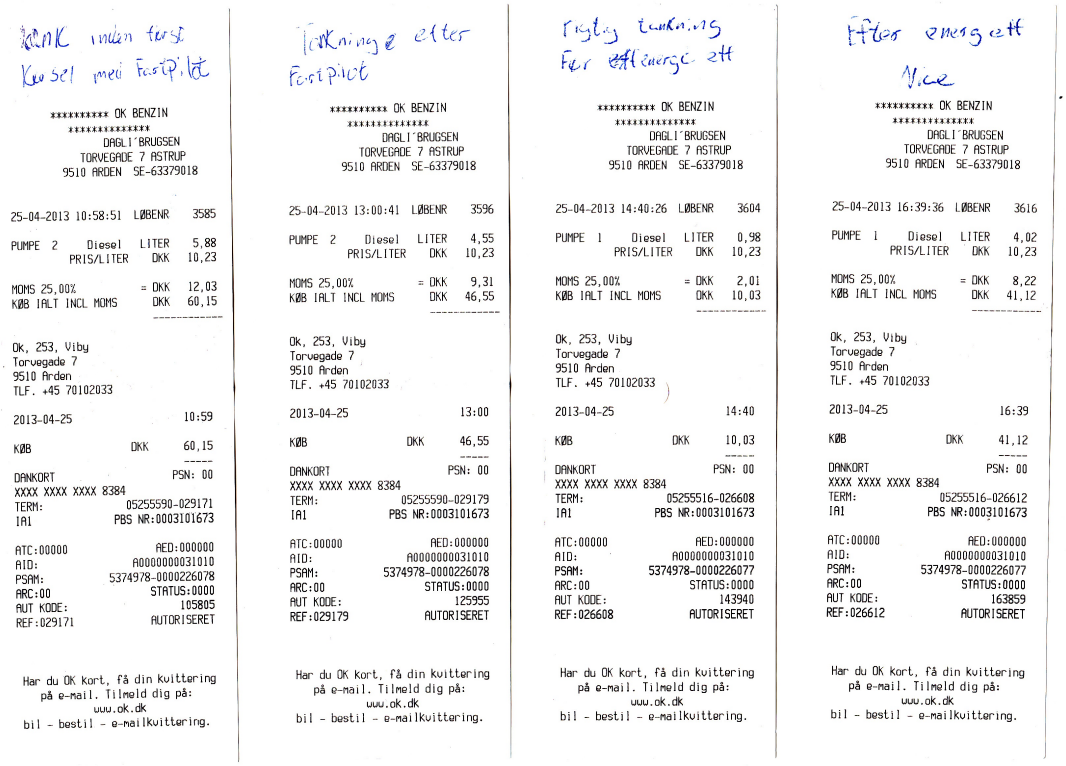
D.2.5.1 Sammenligning af kørselsmetode 1 og kørselsmetode 4



Figur D.13. Illustration af hastighedsprofilerne i sydgående retning ved kørselsmetode 1 og 4

2. Forsøgskørsel E

E.1 Dataanalyse



OK BENZIN
DAGLI´BRUGSEN
TORVEGADE 7 ASTRUP
9510 ARDEN SE-63379018

25-04-2013 10:58:51 LØBENR 3585
PUMPE 2 Diesel LITER 5,88
PRIS/LITER DKK 10,23
MOMS 25,00% = DKK 12,03
KØB IALT INCL MOMS DKK 60,15

Ok, 253, Viby
Torvegade 7
9510 Arden
TLF. +45 70102033

2013-04-25 10:59
KØB DKK 60,15
DANKORT PSN: 00
XXXX XXXX XXXX 8384
TERM: 05255590-029171
IA1 PBS NR:0003101673

ATC:00000 AED:000000
AID: A0000000031010
PSAM: 5374978-0000226078
ARC:00 STATUS:0000
AUT KODE: 105805
REF:029171 AUTORISERET

Har du OK kort, få din kvittering
på e-mail. Tilmeld dig på:
uuu.ok.dk
bil - bestil - e-mailkvittering.

OK BENZIN
DAGLI´BRUGSEN
TORVEGADE 7 ASTRUP
9510 ARDEN SE-63379018

25-04-2013 13:00:41 LØBENR 3596
PUMPE 2 Diesel LITER 4,55
PRIS/LITER DKK 10,23
MOMS 25,00% = DKK 9,31
KØB IALT INCL MOMS DKK 46,55

Ok, 253, Viby
Torvegade 7
9510 Arden
TLF. +45 70102033

2013-04-25 13:00
KØB DKK 46,55
DANKORT PSN: 00
XXXX XXXX XXXX 8384
TERM: 05255590-029179
IA1 PBS NR:0003101673

ATC:00000 AED:000000
AID: A0000000031010
PSAM: 5374978-0000226078
ARC:00 STATUS:0000
AUT KODE: 125955
REF:029179 AUTORISERET

Har du OK kort, få din kvittering
på e-mail. Tilmeld dig på:
uuu.ok.dk
bil - bestil - e-mailkvittering.

OK BENZIN
DAGLI´BRUGSEN
TORVEGADE 7 ASTRUP
9510 ARDEN SE-63379018

25-04-2013 14:40:26 LØBENR 3604
PUMPE 1 Diesel LITER 0,98
PRIS/LITER DKK 10,23
MOMS 25,00% = DKK 2,01
KØB IALT INCL MOMS DKK 10,03

Ok, 253, Viby
Torvegade 7
9510 Arden
TLF. +45 70102033

2013-04-25 14:40
KØB DKK 10,03
DANKORT PSN: 00
XXXX XXXX XXXX 8384
TERM: 05255516-026608
IA1 PBS NR:0003101673

ATC:00000 AED:000000
AID: A0000000031010
PSAM: 5374978-0000226077
ARC:00 STATUS:0000
AUT KODE: 143940
REF:026608 AUTORISERET

Har du OK kort, få din kvittering
på e-mail. Tilmeld dig på:
uuu.ok.dk
bil - bestil - e-mailkvittering.

OK BENZIN
DAGLI´BRUGSEN
TORVEGADE 7 ASTRUP
9510 ARDEN SE-63379018

25-04-2013 16:39:36 LØBENR 3616
PUMPE 1 Diesel LITER 4,02
PRIS/LITER DKK 10,23
MOMS 25,00% = DKK 8,22
KØB IALT INCL MOMS DKK 41,12

Ok, 253, Viby
Torvegade 7
9510 Arden
TLF. +45 70102033

2013-04-25 16:39
KØB DKK 41,12
DANKORT PSN: 00
XXXX XXXX XXXX 8384
TERM: 05255516-026612
IA1 PBS NR:0003101673

ATC:00000 AED:000000
AID: A0000000031010
PSAM: 5374978-0000226077
ARC:00 STATUS:0000
AUT KODE: 163859
REF:026612 AUTORISERET

Har du OK kort, få din kvittering
på e-mail. Tilmeld dig på:
uuu.ok.dk
bil - bestil - e-mailkvittering.

Figur E.1. Indscannede kvitteringer fra tankningerne

E.1.1 Beregning af procentmæssig strækningslængde

Antal ture i sydgående retning = 15

Strækningslængde med kørselsmetode = 2,2

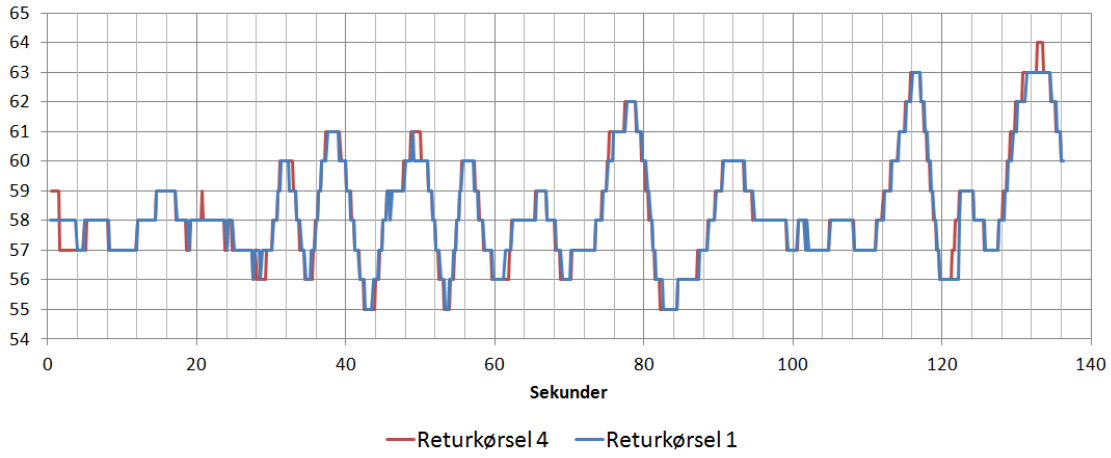
Samlede længde kørt = 80 km

$$2{,}2 \cdot 15 = 33$$

$$\frac{(80-33)}{80} \cdot 100 = 58.75\%$$

Den procentmæssige strækningslængde er derved 41,25 procent af 80 km.

E.1.2 Hastighedsprofil for returkørsel fra syd til nord



Figur E.2. Hastighedsprofil for returkørslen med fartpilot

E.1.3 Noteringer under kørsel

Udgangspunktet for alle kørsler er at vente 30 sekunder på vendepladsen i nord og syd. Således er der en buffertid, hvis der kommer øvrig trafik.

Kørselsmetode 1 - udført først

Tur	BF*	Bemærkning
1	0,5	Mødte rendegraver og hastighed ned på 55 km/t (speedometer); ventet 1:30 min. på vend.nord; ventet 1:00 min. på traktor på vend.syd
2	0,8	
3	1,2	Ventet 2:00 min på vend.nord; kørte i 3. i stedet for 4. ved en fejl; filmet kørecomputer under kørsel
4	1,5	
5	1,8	
6	2,1	Satte computer 2 sek. for sent til, men redigeret i databehandling
7	2,4	Filmet kørecomputer under kørsel
8	2,7	
9	3,0	Filmet kørecomputer under kørsel
10	3,3	
11	3,6	
12	3,9	
13	4,2	Holdte 1:00 min på vend.nord; kørte med fartpilot på 62 km/t mod syd
14	4,5	
15	4,7	Brændstofnotering er fra benzintank og skiftede fra 4,6 til 4,7, da bilen kørte ind på tanken; triptæller på bilen viste 80,0 km

Tabel E.1. Noteringer ved kørselsmetode 1 - (* Brændstofforbrug noteret ud fra bilens kørecomputer)

Kørselsmetode 4 - udført efterfølgende

Tur	BF*	Bemærkning
1	0,4	Modkørende; ventet 1:30 min. på vend. nord
2	0,7	Ventet 1:00 min. på vend.nord; kørte fra vend.syd med det samme
3	1,0	Kørte fra vend.nord med det samme; bil gik i stå
4	1,3	
5	1,6	Filmet kørecomputer under kørsel; gav plads til bus på vend.nord
6	1,9	Satte computer 2 sek. for sent til, men redigeret i databehandling
7	2,2	
8	2,5	Filmet kørecomputer under kørsel
9	2,8	
10	3,0	
11	3,3	
12	3,6	Ventet 1:00 min på lastbil ved vend.syd; mødte lastbil og var nede på 30-40 km/t mod nord (denne modsvarer rendegraveren ved tur 1 for KM 1**)
13	3,9	Modkørende
14	4,2	Kørte mod nord med fartpilot på 62 km/t for at udligne tur 13 fra KM 1
15	4,4	Ventet 3:00 min for at have samme tomgangstid som KM 1; brændstofnotering er fra benzintank og skiftede fra 4,3 til 4,4, da bilen holdte ved tanken; triptæller på bilen viste 80,0 km

Tabel E.2. Noteringer ved kørselsmetode 4 - (* Brændstofforbrug noteret ud fra bilens kørecomputer; ** Kørselsmetode 1)

Modelsimulering F

F.1 Indslag fra 21 søndag

Kompleksiteten i beregningen af vindmodstanden kommer til udtryk i et indslag fra 21 søndag [DR 1, 2013], omkring hvordan BMW sender deres tunge computerberegninger af crash test og vindmodstand op til server på Island. Dette gøres fordi, det kræver meget computerkraft og nedkøling af disse for at lave beregningerne, hvor elregning alene vil løbe op i 6 mio. hvis beregningerne foretages i Tyskland, men pga. de sendes til Island spare BMW 80% af udgifterne.

Indslaget viser således, at bl.a. vindmodstandens påvirkning på køretøjet kræver meget komplekse og store computerberegninger, hvorfor *Simulink* anses som værende simpel i forhold til.

F.2 Ændrede parametre

De ændrede parametre er markeret med gul.

```
% Settings for a personal car (rear drive) simulation
```

VEHICLE AUTOPILOT PARAMETERS

```
CESSettings.Autopilot.SetSpeed = 60;   % km/hr
```

ENVIRONMENT PARAMETERS

```
CESSettings.Environment.WindSpeed = 0;    % +/- m/s

% The values below are only used in case the fixed incline angle block is used
CESSettings.Environment.ConstRoadIncline = 0;    % degrees
CESSettings.Environment.RoadLength       = 600;  % m
```

VEHICLE PARAMETERS

```
CESSettings.Vehicle.Mass            = 1502 + 90 + 90;   % kg (the car and passengers)
CESSettings.Vehicle.InitialVelocity = 58;     % km/hr

% Laguna Wheelbase is 2758 mm, we make a guess of GC related numbers
% The old laguna model had the weight distribution of 65.70% / 34.30%, but
% such ratios must be for an empty car.
CESSettings.Vehicle.DistanceCGFrontAxle = 1.11;  % m
CESSettings.Vehicle.DistanceCGRearAxle  = 1.67;  % m
CESSettings.Vehicle.DistanceCGGround    = 0.57;   % m, Experimental value!

% Laguna CDa (AeroDragCoeff*FrontalArea) is 0.66m^2 so we guess the
% original numbers:
CESSettings.Vehicle.FrontalArea   = 2.0;    % m^2
CESSettings.Vehicle.AeroDragCoeff = 0.33;
    % 0.3 - 0.5 for personal cars and 0.6 - 1.0 for truks and vans

CESSettings.Tire.Inertia            = 0.6;   % kg*m^2
CESSettings.Tire.RatedVerticalLoad  = 6500; % N % An experimental value!
CESSettings.Tire.RatedPeakLongForce = 7000; % N % An experimental value!
CESSettings.Tire.SlipAtPeakForce    = 10;    % Percent
%CESSettings.Tire.RelaxationLength   = 0.02;
CESSettings.Tire.Radius             = 0.306; % m

CESSettings.Tire.Preasure = 241e3;  % Pa
CESSettings.Tire.Alfa     = 0;  % set to 0 if the preasure is to be ignored
CESSettings.Tire.Beta     = 1;  % set to 1 if the preasure is to be ignored
CESSettings.Tire.A        = 0.013;
CESSettings.Tire.B        = 0;
CESSettings.Tire.C        = 6.5e-6;

CESSettings.Vehicle.WheelsPerAxle     = 2;
CESSettings.Vehicle.DifferentialRatio = 64/19; % 58/21; % This one is an estimate! Should be 64/19?

CESSettings.Tire.InitialVelocity   = 30 * ...
    (CESSettings.Vehicle.InitialVelocity / 3.6) / ...
```

```
    (pi * CESSettings.Tire.Radius); % RPM
CESSettings.Vehicle.DriveShaftInitialVelocity = ...
    CESSettings.Tire.InitialVelocity * ...
    CESSettings.Vehicle.DifferentialRatio; % RPM
CESSettings.Vehicle.DefaultViscousLosses    = 0;
```

GEARBOX PARAMETERS

Laguna gear box ratios: 11/43, 14/40, 31/43, 43/44, 43/35, 46/31 Note that Simulink blocks seem to use inverted ratios...

```
CESSettings.Gearbox.FixedRatio = 44/43;
% In our model the rest of the gearbox parameters account for the total
% transmission effects
CESSettings.Gearbox.Inertia    = 0.07;   % kg*m^2
CESSettings.Gearbox.Efficiency = 0.91;
% Clutch effective torque radius originally was set to 300mm
```

ENGINE PARAMETERS

```
CESSettings.Engine.MaxPower             = 110e3;    % W (kW = hp / 1.36)
CESSettings.Engine.SpeedAtMaxPower      = 4e3;      % RPM
CESSettings.Engine.StallSpeed           = 200;      % RPM
CESSettings.Engine.MaxSpeed             = 6e3;      % RPM
CESSettings.Engine.Inertia              = 0.19;     % kg*m^2
CESSettings.Engine.InitialVelocity      = max( 800, ...
    CESSettings.Vehicle.DriveShaftInitialVelocity * ...
    CESSettings.Gearbox.FixedRatio ); % RPM (the max stuff is for the case when the car starts from
a 0km/h)
CESSettings.Engine.InitialThrottle      = CESSettings.Engine.InitialVelocity / ...
                                          CESSettings.Engine.SpeedAtMaxPower; % 0..1
```

BRAKES PARAMETERS (Experimental)

```
CESSettings.Brakes.ForceScale           = 1500;    % N
CESSettings.Brakes.EffTorqueRadius      = 179;      % mm
CESSettings.Brakes.KineticFrictionCoeff = 0.3;
CESSettings.Brakes.StaticFrictionCoeff  = 0.35;
```

Published with MATLAB® R2013a

F.3 Opdaterede versioner af Simulink-modellen

Februar
Den første Simulink-model uploades.

13. marts
Mulighed for at indsætte GPS-koordinater med varierende afstand mellem målepunkterne.

12. april
Mulighed for at simulere en fartpilot og energieffektiv fartpilot i samme vindue, med dual run.

Det er muligt at indsætte speederpositionen over strækningen, hvor den energieffektive fartpilot vil gennemkøre strækning efter den angivne speederposition.

Ændring i beregning af energiforbrug, således den ikke længere er reversible.

Bilparametrene som f.eks. hastighed og vægt er blevet ændret, og den fiktive vej er ændret ud fra GPS-koordinaterne fra forsøgslokaliteten.

19. april
Nye Matlab scripts er blevet tilføjet: simpleParamSweep.m, hvilket gør det mulig at bytte en parameter ud efter hver beregning og plotte, f.eks. hvordan energi er afhængig af den givne parameter.

10. maj
Der kan importeres et hastighedsprofil, hvor *Simulink* vil forsøge at følge profilet. Dette gøres ved at programmet søger ca. 80 m frem og prøver at tilpasse hastigheden herefter. Basic autopilot er mere aggressiv for at holde den fastsatte hastighed.

24. maj
Simulink-modellen er kaliberet og optimeret, således den bedre kan følge de angivende hastighedsprofiler.

Elektronisk bilag G

G.1 Fase 1 - Initierende testkørsel

G.1.1 Målemetode

Testkørsel af Ford Mondeo - OBD-dataudtræk
Se filen *Ford Mondeo test OBD.xlsx* på DVD'en under stien *Initierende*.

Testkørsel af Peugeot 206+ - OBD-dataudtræk
Se filen *Peugeot 206+ test OBD.xlsx*på DVD'en under stien *Initierende*.

Køretøjsspecifikationer: Ford C-max
Se filen *Specs Ford C-max.PNG* på DVD'en under stien *Initierende*.

G.1.1.1 Test af OBD-link på ford C-max

Test af kompabilitet
Se filen *Ford C-max test obd.xlsx* på DVD'en under stien *Initierende*.

Test af fartpilot og hastighedsvisning
Se filen *Test af speedometer og hastighed 60 70 80 90 100 med fartpilot.xlsx* i elektronisk bilag under stien *Initierende*.

G.2 Fase 2 - Forsøgskørsel

G.2.1 Første forsøgskørsel

Oversigtstegning af strækningen
Se filen *Strækningen.png* på DVD'en under stien *Forsøgskørsel*.

GPS-koordinater for kridtstreger
Se filen *GPS koordinater.xlsx* på DVD'en under stien *Forsøgskørsel*.

Beregning af kridtstregernes placering
Se filen *Placering af kridtstreger.xlsx* på DVD'en under stien *Forsøgskørsel*.

G.2.2 Data til 1. forsøgskørsel

Alle behandlede data findes på DVD'en under stien *Forsøgskørsel/Data* og er opdelt i nedenstående mapper.

Kørselsmetode 1 - Fartpilot
Indeholder rådata og samlede data fra hhv. nord- og sydgående retning

Kørselsmetode 2 - On/off fartpilot
Indeholder rådata og samlede data fra hhv. nord- og sydgående retning

Kørselsmetode 3 - Fast speederposition
Indeholder rådata og samlede data fra hhv. nord- og sydgående retning

Kørselsmetode 4 - Energieffektiv hastighedstilpasning
Indeholder sorterede rådata og samlede data fra hhv. nord- og sydgående retning

G.3 Fase 2 - 2. Forsøgskørsel

Køretøjsspecifikationer: Renault Laguna
Se filen *Specs Renault Laguna.PNG* på DVD'en under stien *2. Forsøgskørsel*.

G.3.1 Test af hastighedsvisning

Se filen *Loggede hastighed ved fartpilot på 60 kmt.xlsx* på DVD'en under stien *2. Forsøgskørsel*.

G.3.2 Data

Alle behandlede data findes på DVD'en under stien *2. Forsøgskørsel/Data* og er opdelt i nedenstående mapper.

Fartpilot
Indeholder rådata og samlede data fra sydgående retning

Energieffektiv hastighedstilpasning
Indeholder rådata og samlede data fra sydgående retning

G.3.3 Videoer fra forsøgskørslen

De filmede forsøgskørsler findes i MP4-video format på DVD'en under stien *2. Forsøgskørsel/Videoer* og kan åbnes med Windows Media Player.

G.3.4 Data til videoanalyse

Se filen *Videoanalyse.xlsx* på DVD'en under stien *2. Forsøgskørsel/Data fra video*.

G.4 Teori kontra praksis

Alle data udtræk fra *Simulink* findes på DVD'en under stien *Simulink*

Verificering af Simulink
Indeholder rådata fra Simulink-modellen fra d. 10 maj

Verificering af Simulink - ny model
Indeholder rådata fra Simulink-modellen fra d. 24 maj