Anvendelse af Floating Car Data til fastlæggelse af hastighedskort

Lea Birch Nielsen
Nicolai Rimme

Kandidatspeciale i Veje og Trafik – 8. juni 2016

Det Teknisk–Naturvidenskabelige Fakultet – Aalborg Universitet

Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet
Institut for Byggeri og Anlæg
Sofiendalsvej 9-11
9200 Aalborg SV
Telefon: 99 40 84 84
http://www.byggeri.aau.dk

AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

Titel: Anvendelse af Floating Car Data til fastlæggelse af hastighedskort
Tema: Kandidatspeciale
Projektperiode: 1. feb. 2016 - 8. jun. 2016
Deltagere:

Lea Birch Nielsen

Nicolai Rimme

Denne rapport beskæftiger sig med brugen af Floating Car Data som datagrundlag til udformning af hastighedskort over vejnettet til selvkørende biler. Der tages udgangspunkt i trygge og komfortable hastigheder i 18 kurver på tre forskellige veje i åbent land. Vurderingen af disse trygge og komfortable hastigheder foretages primært ved testkørsel af kurverne, hvor hhv. bilfører og passager vurderer hastighederne. Ud fra indsamlede GPS-data kombineres dette med beregning af ryk i kurverne til kvantificering af komfort. Størrelsen af rykkene stemmer godt overens med vurderingerne, når rykkene vurderes acceptable ved værdier lavere end komfortkravet på $0{,}5\,\mathrm{m/s^3}$. Rykkene er forsøgt beregnet ud fra målte accelerationsdata, men kvaliteten af disse data er utilstrækkelige til formålet. Rapporten konkluderer overordnet, at det ikke er muligt at benytte Floating Car Data til dette formål. Hertil skal det nævnes, at kvaliteten af de konkrete data vurderes at være en så stor fejlkilde, at rapporten ikke kan udelukke, at Floating Car Data generelt set vil kunne benyttes til dette formål. Undersøgelserne har til gengæld vist sammenhæng mellem radius og hastigheder for Floating Car Data, som kan beskrives ved en logaritmisk funktion.

Vejleder: Erik Kjems
Oplagstal: 3
Sidetal: 63
Bilagsantal: 6
Afsluttet den: 7. jun. 2016

Abstract

This report deals with the use of Floating Car Data as a mean to determine acceptable speeds on the road network. This is perfomed to provide automated vehicles with better information about safe and comfortable speed choices. The report focuses on 18 curves on three different rural roads. The main purpose is to decide whether or not and in what way Floating Car Data can be used to determine safe and comfortable speeds.

To determine safe and comfortable speeds a series of test runs is performed. These were obtained with two Leica 1200GPS receivers and an iPhone that measures acceleration. Each test run was performed with a specific speed which was decreased by 5 km/h between each test run. During the test run the driver and a passenger assessed the safety and comfort. In addition to these, measurements of acceleration were used to calculate jerk as another way of determining comfort. Unfortunately, the acceleration data were not sufficiently precise for this purpose and therefore the calculation of jerk was derived from the GPS data. The calculated jerk supported the assessments of the driver and the passenger, which strengthens the validity of the determined safe and comfortable speeds. The determination of safe and comfortable speeds is compared to the available Floating Car Data.

The comparison between them did not show any clear correlation when using the median or quantiles to determine a speed level for the Floating Car Data. Further calculations show that using intervals of $\pm$ 10 km/h or $\pm$ 20 % around certain quantiles it is possible to describe close to 70 % of the measured curves. However, this result is not sufficient for this purpose. Contrary to this, a comparison between the safe and comfortable speed and the radius of the curves clearly indicate a correlation that can be described by the following logarithmic function where v is speed and R is radius of the horisontal curve.

$$v = 14 \cdot ln(R)$$

The main conclusion based on the available Floating Car Data in this report is that Floating Car Data cannot be used to determine safe and comfortable speeds when using the median or quantiles. However, the report also concludes that the quality of the data makes it impossible to conclude that Floating Car Data in general cannot be used for this purpose.

Forord

Dette kandidatspeciale er udarbejdet af to studerende på kandidatuddannelsen "Veje & Trafik" ved det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet på Aalborg Universitet. Rapporten er udarbejdet med henblik på at give viden om, hvordan Floating Car Data kan bruges i udviklingen af selvkørende biler og disses kørselsadfærd. Specialet er skrevet i perioden fra den 1. februar 2016 til den 8. juni 2016.

Læsevejledning

Rapporten er overordnet set inddelt i følgende fire dele.

- Introduktion
- Metode
- Udførelse
- Diskussion og konklusion

Introduktionen giver et indblik i den nuværende og forventede fremtidige teknologi mht. selvkørende biler. Derudover gives der en introduktion til Floating Car Data og motivationen for projektet. Metodekapitlet indeholder et litteraturstudie, som har til hensigt at give en indføring i området samt være basis for rapportens egne undersøgelser. Herefter vil metoderne, som vil blive anvendt til dataindsamling og -behandling, blive beskrevet. Udførelsesdelen vil beskrive, hvordan data helt praktisk er indsamlet. Derudover indeholder kapitlet databehandlingen med tilhørende resultater samt analyser. Til sidst bliver rapportens metoder diskuteret, og der bliver konkluderet på rapportens resultater.

Til referencer benyttes der i denne rapport Havardmetoden. Referencer er opstillet i en litteraturliste bagerst i rapporten i alfabetisk orden. Videnskabelige artikler angives med forfatter, årstal, titel og tidsskrift. Webadresser angives med forfatter, årstal, titel og URL-adresse. Figurer og tabeller er nummeret jævnfør kapitel, og hvis andet ikke er angivet, er disse udarbejdet af rapportens forfattere. Figurer og tabeller, som er redigeret af rapportens forfattere, er angivet med [forfatter, år]*. Figur- og tabelreferencer er angivet med sidetal, såfremt referencerne ikke er på samme dobbeltside som den pågældende figur eller tabel. Alle kort og ortofotos er orienteret med nord opad.

Appendiks og bilag placeres bagerst i rapporten. I appendiks E og bilag E er alle elektroniske appendiks og bilag listet op, og der refereres til elektroniske appendiks og bilag ved E.1, E.2 osv. Elektroniske appendiks og bilag er tilgængelige for eksaminator og censor via portalen http://digitaleksamen.aau.dk frem mod eksaminationen og er efterfølgende offentlig tilgængelige via http://projekter.aau.dk.

Der sendes en varm tak til Anders Otte og Karsten Jensen ved Institut for Planlægning på Aalborg Universitet for lån og introduktion til brug af Leica GPS1200, Morten Egekvist for lån af bil til målinger og Edward Courtnell og Dominik Sznajder for assistance til udtræk af data.

Indholdsfortegnelse

1 Introduktion **1**

1.1 Grader af automatisering . . . 1
1.2 Teknikken bag selvkørende biler . . . 2
1.3 Potentiale for Floating Car Data . . . 3
1.4 Motivation og rapportens vinkel . . . 3

2 Problemformulering **5**

2.1 Problemafgræsning . . . 5

3 Metode **7**

3.1 Litteraturstudie . . . 7
3.1.1 Floating Car Data . . . 7
3.1.2 Kørselsadfærd . . . 8
3.1.3 Kørselskomfort . . . 11
3.1.4 Hastighedsbegreber . . . 11
3.2 Dataindsamling . . . 12
3.2.1 Egne data . . . 12
3.2.2 Floating Car Data . . . 14
3.2.3 Accelerometerdata . . . 19
3.3 Databehandling . . . 20
3.3.1 Egne data . . . 20
3.3.2 Floating Car Data . . . 20
3.3.3 Accelerationsdata . . . 21

4 Udførelse **25**

4.1 Egne data . . . 25
4.2 Floating Car Data . . . 27
4.2.1 Udtræk af data . . . 27
4.2.2 Segmenter . . . 27
4.2.3 Databehandling . . . 28
4.2.4 Analyse . . . 29
4.2.5 Delkonklusion . . . 36
4.3 Accelerometerdata . . . 37
4.3.1 Databehandling . . . 37
4.3.2 Diskussion . . . 41
4.3.3 Delkonklusion . . . 44
4.4 Accelerationer og ryk beregnet ved brug af egne data . . . 45
4.4.1 Databehandling . . . 45
4.4.2 Analyse . . . 47
4.4.3 Delkonklusion . . . 49

5 Diskussion **51**
5.1 Trygheds- og komfortvurderinger 51
5.2 Floating Car Data 52
5.3 FCD eller geometri 53

6 Konklusion **55**

7 Perspektivering **57**

8 Referencer **61**

Bilag A Vejbeskrivelser **65**
A.1 Stokbrohedevej/Faurholtvej ved Grindsted 65
A.2 Kærvej/Støvringvej mellem Volstrup og Støvring 70
A.3 Jordemodervej ved Bislev 76

Bilag B Accelerometerdata **83**

Bilag C Ryk fra accelerometerdata **85**
C.1 Kærvej/Støvringvej 85
C.2 Jordemodervej 86

Bilag D Ryk ud fra egne data **87**

Bilag E Elektroniske bilag **93**
E.1 Potentielle vejstrækninger 93
E.2 Valg af vejstrækninger 93
E.3 Registreringer på udvalgte vejstrækninger 93
E.4 Trygheds- og komfortvurderinger 93
E.5 Segmentopdeling af vejstrækningerne 93
E.6 Floating Car Data 93
E.7 Sammenligning af Floating Car Data og egne data 93
E.8 Accelerometerdata 94
E.9 Beregning af sideaccelerationer og -ryk 94
E.10 Oversigt over beregnede sideaccelerationer og -ryk 94

Appendiks E Elektroniske appendiks **95**
E.1 Det nye hastighedsbegreb 95
E.2 Leica manual 95
E.3 Leica specifikationer 95

Kapitel 1
Introduktion

Selvkørende biler er ved at vinde ind i fremtidige planer for biltrafikken. Flere og flere bilproducenter og andre interesserede inden for emnet arbejder med at udvikle og teste teknologien til den selvkørende bil. Google har i de amerikanske byer Mountain View, Austin og Kirkland prøvekørt deres selvkørende biler på mere end 1,61 mio. km vej jf. Google [2016], og andre producenter som eksempelvis Tesla har ligeledes prøvekørt deres bil på amerikansk grund. Volvo har planer om, at der i 2017 vil køre 100 selvkørende Volvo'er på offentlige veje i Göteborg Kommune jf. Volvo [2016].

Teknologien er stadig under udvikling, og når den er på plads, er der stadig arbejde med lovgivning, som skal behandles og omformuleres. I Wienerkonventionen om trafiksikkerhed fra 1968 står der følgende.

> *Every driver shall at all times be able to control his vehicle or to guide his animals. [Klinke, 2015]*

Denne formulering skal ændres, før selvkørende biler kan komme ud på vejene og være en del af trafikken og på et tidspunkt blive selve trafikken. De etiske problemstillinger, som opstår i forbindelse med programmeringen af bilernes software, skal ligeledes være gennemarbejdet og accepteret af forskellige landes parlamenter. Udover lovgivning skal selvkørende biler også tilpasses bilparken og være i stand til at ændre sig i takt med, at bilparken ændrer sig. Samtidig med dette skal planlægningen af det fremtidige vejnet også tilpasses og evt. opgraderes, så bilerne kan "læse" forstå og færdes sikkert på vejene.

Med alle disse elementer, som skal udvikles, testes, planlægges og udformes, forbliver ideen om selvkørende biler et stykke ude i fremtiden. De forskellige fabrikanter og eksperter giver forskellige meldinger på få år til flere årtier om, hvornår de forventer de selvkørende biler i gadebilledet. Disse forskellige tidshorisonter varierer ligeledes ift. graden af automatisering.

1.1 Grader af automatisering

Society of Automotive Engineers, også kendt som SAE International, har kategoriseret udviklingen inden for selvkørende biler, hvor graden af automatisering fra ingen til fuld er delt op i seks kategorier jf. Klinke [2015]. De forskellige grader af automatisering er vist i tabel 1.1 (s. 2).

I tabellen kan det ses, at kontrollen over køretøjet løbende fjernes fra føreren jo højere grad af automatisering, der opnås. Ifølge Klinke [2015] befinder teknologien sig på grænsen til niveau tre, hvor det er muligt at sidde og foretage sig andet end at køre bil under kørslen men med mulighed for at overtage styringen, hvis bilen beder om det. Den nuværende teknik på niveau tre er bl.a. tilgængelig i selvkørende biler fra Google og Tesla men dog kun i betaversion jf. Djursing [2015].

Niveau 0	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Niveau 5
Ingen automatisering	Førerstøtte	Delvis automatisering	Betinget automatisering	Høj automatisering	Fuld automatisering Den førerløse bil
Fører har fuld og konstant kontrol med bilen	Førerstøttesystemer vognbaneassistent adaptiv fartpilot	Føreren kan slippe rat og pedaler på udvalgte strækninger	Føreren kan foretage sig andre ting under rejsen, men skal være klar til at gribe ind	Manuel kørsel kun påkrævet under særlige omstændigheder	Bilen kan køre førerløst under alle forhold

Tabel 1.1: Tabel over de seks niveauer af automatisering af selvkørende biler. [Klinke, 2015]*

1.2 Teknikken bag selvkørende biler

Hvordan en selvkørende bil fungerer på vejen varierer alt efter producenten af bilen. Langt de fleste selvkørende biler er udstyret med radar, som opfanger elementer i vejbilledet, hvilket bilen kan reagere ud fra. Tesla'en anvender vejkants- og kørebanestriber til placeringen af bilen jf. Autodrom [2014]. Teknikken i bilen bearbejder de løbende indkomne data og eksisterende data med algoritmer, hvormed bilen er i stand til at færdes på vejene. På figur 1.1 kan radarbilleder fra Googles selvkørende bil ses, hvor det bl.a. fremgår, at der skelnes mellem cyklister, som er markeret med lyseblå bokse, og biler, som er markeret med lilla bokse.

Figur 1.1: Radarbilleder fra Googles selvkørende bil. [Google, 2015]

En af de mange udfordringer, som findes i forbindelse med udviklingen af den selvkørende bil, er kortlægningen af vejnettet jf. Wulff [2015], som for bilen både kan optræde som eksisterende og løbende indkomne data. De løbende indkomne data kan eksempelvis være nyheder om trængsel eller ulykker på vejnettet, hvorudfra bilen kan finde en anden rute. De eksisterende data over vejnettet kan komme

til udtryk ved et hastighedskort. Et hastighedskort er et kort over et område med tilhørende data om hastigheden på vejnettet. Dataene over vejnettet kan bestå af forskellige typer af hastigheder, som er indsamlet på forskellige måder. Hastighedskortet kan eksempelvis angive tilladte hastigheder eller komfortable hastigheder på vejnettet. Data kan være nuværende og tidligere kørte hastigheder også kendt som realtids- og ikke-realtidsdata, som kan indsamles til udformning af et navigationskort med angivelse af hastigheder og trængsel på vejnettet. Eksempler på kort bestående af realtidsdata er Google Maps og TomTom.

Med et hastighedskort kan der skabes et kortgrundlag for selvkørende biler fra niveau to til fem, hvor bilen i niveau fem har overtaget føringen. En hastighedskortlægning af vejnettet kan bl.a. udføres ved brug af Floating Car Data (FCD). FCD er data, som er indsamlet med GPS eksempelvis fra navigationssystemer eller mobiltelefoner, som befinder sig i bevægende køretøjer. Denne metode anvender Google Maps og TomTom til indsamling af data. FCD kan indeholde informationer omkring lokalitet, hastighed, tidsafstand, rejsers retning mm. I forbindelse med udvikling og udformning af hastighedskort har Bosch og TomTom indgået et samarbejde om at kortlægge vejene i Tyskland, hvilket skal give et mere detaljeret overblik over de tyske veje end, der hidtil eksisterer jf. Wulff [2015].

1.3 Potentiale for Floating Car Data

FCD er som nævnt en mulig datakilde til generering af hastighedskort over vejnettet. Der er dog visse problemer forbundet med denne type af data. Eksempelvis kan data være påvirkede af, at bilisterne, som har indsamlet dataene, ikke er repræsentative for den generelle befolkning samt målingerne ikke altid viser free flow hastigheder. Til gengæld kan et hastighedskort bygget på et repræsentativt datasæt give den selvkørende bil informationer om, hvordan kørslen opleves bedst ift. tryghed og komfort for passagererne.

Udover at kunne benyttes som grundlag for de selvkørende bilers hastighedsvalg kan disse data ligeledes anvendes til at forbedre økonomien ved kørsel ift. brændstofforbrug. Planlægningen af ruter kan inddrage brændstofforbrug, hvor ruter med lav gennemsnitshastighed giver et mindre brændstofforbrug sammenlignet med ruter med højere gennemsnitshastighed. Et hastighedskort dannet af FCD kan ligeledes bruges til at vurdere, hvor overskridelse af tilladte hastigheder forekommer hyppigst, i hvilken grad og med hvilken vejgeometri og omgivelser.

1.4 Motivation og rapportens vinkel

Brugen af FCD er stadig forholdsvis nyt, men som tidligere nævnt har denne type data stort potentiale. Det er derfor særligt interessant at undersøge hvilke anvendelsesmuligheder, der er med FCD. Mere specifikt ønskes det at undersøge, hvordan FCD kan benyttes som input til hastighedsvalg for selvkørende biler. I forbindelse med dette kan det være interessant at fastlægge, i hvilken grad FCD er brugbart som grundlag for udformningen af et hastighedskort over vejnettet, som så kan benyttes af selvkørende biler med henblik på at opnå kørselskomfort og tryghed for passagererne. Helt konkret kunne det være interessant at undersøge steder på vejnettet, hvor der ikke er skiltet med nedsat eller anbefalet hastighed, og hvor det samtidigt ikke er muligt at køre med den generelle hastighedsbegrænsning på 80 km/t. Dette kunne eksempelvis være i kurver i åbent land, hvor kurveradius er

tilpas lille til at kørsel med den tilladte hastighed opfattes utrygt og ukomfortabelt for passagererne. Sammenhængen mellem hastighed, komfort og tryghed ved kørsel antages at være tydeligst de steder, hvor de største ændringer i hastigheden på vejnettet forekommer, hvilket vurderes at være i kurver frem for på lige strækninger.

Kapitel 2
Problemformulering

Med udgangspunkt i indsamlet viden vedrørende selvkørende biler og forfatternes egen motivation fastlægges problemformuleringen som værende følgende.

Hvordan kan Floating Car Data benyttes som grundlag for udformning af et hastighedskort?

- I hvor høj grad giver Floating Car Data et retvisende billede af komfortable hastigheder i kurver på veje i åbent land?
- Hvilken værdi (middel, 85 %-fraktil, maksimum) bør benyttes som input til et hastighedskort?
- Hvilke sammenhænge mellem FCD og andre parametre kan beskrive trygge og komfortable hastigheder i kurver på veje i åbent land?

2.1 Problemafgræsning

I forbindelse med indsamling af data vil der blive registreret informationer omkring vejenes omgivelser, men der afgrænses fra at se på forskellige elementers indvirkning på hastighedsvalg. Derudover bliver vertikalkurvers betydning for hastigheden heller ikke undersøgt nærmere. Det forudsættes, at hastighederne fra FCD er valgt ud fra en samlet vurdering af kurvernes forløb og omgivelser, og dermed er disse parametre også inkluderet, men deres individuelle indvirkning på hastighedsvalget undersøges ikke.

Rapporten afgrænser sig også til kun at se på mindre veje i åbent land, da et krav til rapportens undersøgelser er, at kurverne fordrer hastigheder, som er lavere end den tilladte hastighed på 80 km/t, hvilket sjældent forekommer på større veje i åbent land.

Kapitel 3
Metode

I dette kapitel præsenteres litteraturstudiet, hvilket giver et indblik i andre undersøgelser, der har anvendt lignende metoder og styper af data. Metoderne, som anvendes til rapportens undersøgelser ift. dataindsamling og databehandling, gennemgås ligeledes.

Rapporten undersøger, hvordan FCD kan benyttes til hastighedskortlægning af vejnettet. Dette gøres ved at lave et litteraturstudie, indsamling af egne data og brug af eksisterende FCD. I de følgende afsnit gennemgås tidligere litteratur på området samt rapportens metoder til dataindsamling og databehandling.

3.1 Litteraturstudie

Litteraturstudiet har til formål at kortlægge den eksisterende litteratur på området. Det vil blive undersøgt, hvordan GPS-data tidligere er blevet brugt og hvilke erfaringer, der er med brugen af dette. Herudover vil der blive set nærmere på kørselsadfærd, og hvordan det spiller ind ift. forskellige bilisters måder at køre på. Herefter vil det blive undersøgt, hvordan komfort og tryghed for bilister tidligere er blevet defineret, så det senere kan benyttes til at beskrive komfort i denne rapport.

3.1.1 Floating Car Data

FCD er som tidligere nævnt data indsamlet ved hjælp af GPS. Der er flere grunde til, at det kan være fordelagtigt at benytte denne type af data. Helt grundlæggende er der opfattelsen af, at virkeligheden er en bedre beskrivelse af sig selv, end nogen model eller simulering vil være. Dette må alt andet lige være korrekt og er også den opfattelse, som bliver understreget i Pérez-Zuriaga et al. [2012].

Derudover ligger der også en fordel i den måde, som dataene indsamles på. "Floating" er det centrale ord i denne sammenhæng og beskriver netop det, at data bliver indsamlet kontinuerligt over den strækning, som køretøjet bevæger sig over. Det står i kontrast til eksempelvis punktdata, der, som ordet antyder, er data opsamlet i et bestemt og geografisk fast punkt. Problemet med punktdata er, at det ikke vides, hvad der sker mellem målepunkterne. Derfor er det nødvendigt at antage eksempelvis lineære sammenhænge mht. hastighed. Dette vil sandsynligvis ikke være tilfældet, hvis målepunkterne er placeret hhv. før og efter en kurve. Ligeledes giver punktdata ikke mulighed for at undersøge acceleration og deceleration, hvilket er særligt relevant, når der arbejdes med kørselsadfærd i kurver. Disse nævnte problematikker kan FCD håndtere og dermed være med til at give et mere retvisende billede af virkeligheden. [Pérez-Zuriaga et al., 2012]

Der er forskellige måder, hvorpå FCD kan benyttes, hhv. turbaseret og punktbaseret beregning. Punktbaserede beregninger tager udgangspunkt i alle datapunkter uanset hvilket køretøj, der har indsamlet dataene. Disse data grupperes på segmenter, og gennemsnittet af dataene giver middelhastigheden for

segmentet. Turbaserede beregninger deler dataene op efter hvilket køretøj, som har indsamlet dem. For hvert segment beregnes middelhastigheden for hvert enkelt køretøj, og disse middelhastigheder benyttes derefter til at beregne et gennemsnit på tværs af alle køretøjer. Ved at beregne turbaseret undgås det, at langsomt kørende køretøjer vægter højere end hurtigere køretøjer. Langsomt kørende køretøjer får registreret flere datapunkter på en strækning, da dette er tidsbestemt, og derfor vægter disse højere ved punktbaseret beregning. Beregningsmetoderne er nærmere beskrevet i Andersen et al. [2011].

I Turner et al. [2015] er kørselsadfærd hos 40 bilister gennem 200 kurver blevet undersøgt. Dette blev gjort ved brug af biler, som var udstyret med enheder, som kunne måle hastighed, acceleration/deceleration, sidekræfter, GPS-position, kørebane position og afstand til forankørende biler. Derudover blev udsynet fra førersædet optaget på video. De 40 bilister var alle mænd hhv. 20 mænd med mindst 15 års erfaring med at køre og 20 mænd med maksimalt tre års erfaring. Selve testen var en 21,9 km lang forudbestemt rute plus 13 km forud for ruten, hvor bilisterne kunne lære bilen at kende. Resultaterne fra dette studie var, at der er sammenhæng mellem hastighed og kurveradius, men at det kun er ved kurveradier under 100 m, at hastigheden falder til under 55 km/t. Ved en radius på 20 m falder hastigheden til 30 km/t. Derudover blev kurverne klassificeret i hhv. høj og lav risiko. Forskellen herimellem var, at der blev kørt med lavere hastighed i høj risiko kurverne, og at disse har et klart minimum i hastighed, hvorimod lav risiko kurver har et mere jævnt hastighedsprofil gennem kurverne. Ovenstående virker rimelig logisk, men til gengæld viste studiet også, at der ikke er nogen klar forskel på hastighed mellem erfarne og uerfarne bilister, hvilket er modstridende med manges opfattelse af, at unge er mere fartglade. Hertil skal det dog nævnes, at bilisterne er bevidste om testen, og at de selv har valgt at deltage, hvilket kan være en betydelig fejlkilde, som også nævnes i Pérez-Zuriaga et al. [2012].

Et andet eksempel på brugen af FCD er det danske projekt "Pay as You Speed" (PAYS), hvor unge bilister blev tilbudt en rabat på 30 % af deres forsikringspræmie. Bilisterne blev så inddelt i fire grupper hhv. kontrolgruppe, informationsgruppe, incitamentsgruppe og kombinationsgruppe. Informationsgruppen blev verbalt informeret hver gang de overskred hastighedsgrænsen men uden nogen straf, incitamentsgruppen blev ikke informeret men fik strafpoint, som reducerede deres rabat på 30 %, når de kørte for hurtigt, kombinationsgruppen fik både information og strafpoint, mens kontrolgruppen kun kørte rundt med måleudstyret. Resultatet blev, at informationsgruppen sænkede hastigheden mest, men at dette kun blev opretholdt så længe, forsøget var i gang. Derudover blev det konkluderet, at rabatten på 30 % ikke var tilstrækkelig til at lokke unge bilister til. [Lahrmann et al., 2012]

3.1.2 Kørselsadfærd

Som forrige afsnit indikerer, er det muligt både at justere og undersøge kørselsadfærden hos bilister. Kørselsadfærd er bl.a. vigtig at forstå, da menneskelige fejl er den største uheldsfaktor jf. Kanellaidis et al. [2000], og ifølge Rådet for Sikker Trafik [2016] skyldes ni ud af ti ulykker i Danmark menneskelige fejl. Måden at færdes på i trafikken har med andre ord betydning for egen og andres sikkerhed. Det er derfor interessant at vide, hvordan bilister helt konkret vælger at benytte vejnettet. Selvom fokus for dette projekt ikke er at kortlægge, hvor bilisterne kører for hurtigt, så er det den samme viden, som er

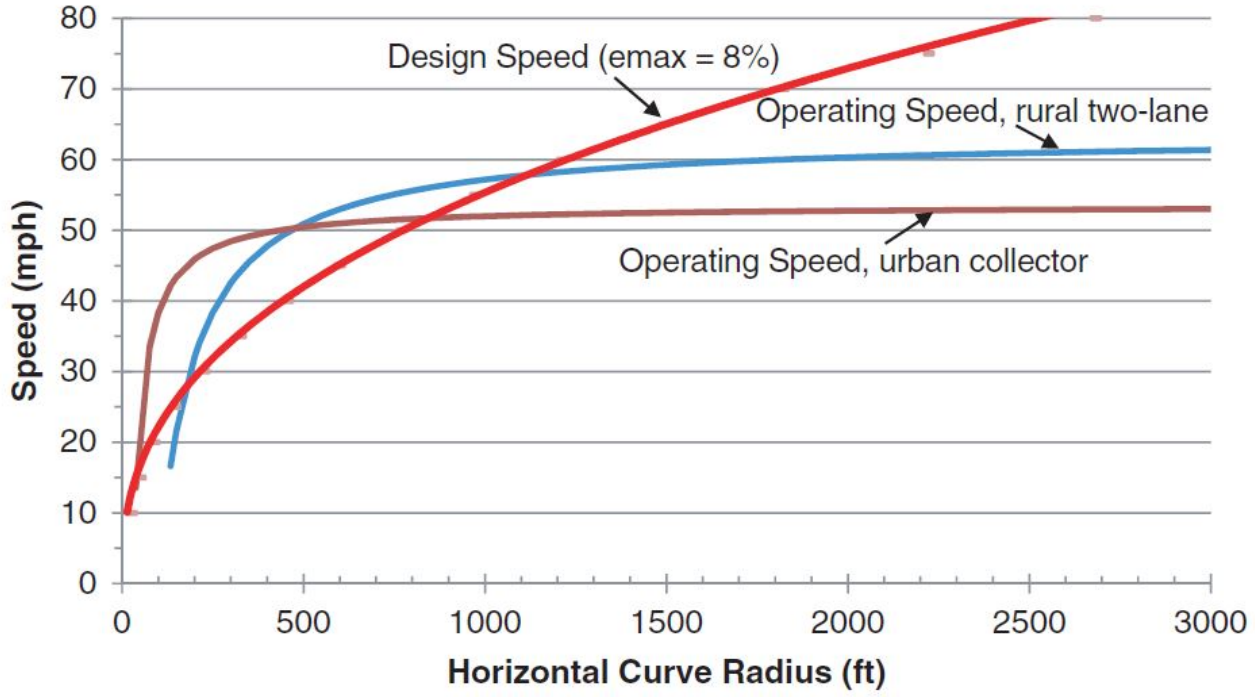
relevant ift. at forstå, hvad bilister føler sig trygge ved, og hvad de vurderer som værende komfortabel kørsel. Det er bl.a. interessant, at mange bilister ikke anser det for at være farligt at køre 30 km/t over den tilladte hastighed jf. Fildes et al. [1991]. Det er samtidigt vigtigt at vide, om dette gælder på både lige strækninger og i kurver, da det med selvkørende biler måske kan blive sikkerhedsmæssigt ansvarligt at højne hastigheden, hvis dette ikke går ud over trygheden og komforten hos passagererne.

Forståelsen for og ikke mindst den enkelte bilists vurdering af vejens risiko spiller ind ift. bilisten kørselsadfærd. Det fremgår af Turner et al. [2015], at meget tyder på, at fejlopfattelse af vejens krumning er relativt normalt. Dette kan bl.a. ske, når bilisten ikke kender vejen på forhånd. Ifølge Kanellaidis et al. [2000] resulterer manglende kendskab til vejen generelt til undervurdering af risikoen, hvilket kan føre til farlige situationer. Derudover er der forskel på den måde, vi vurderer vejen på. Ældre bilister er mere konservative i deres vurdering af vejen og vælger oftere en lavere hastighed end yngre bilister jf. Kanellaidis et al. [2000].

Kørselsadfærd kan også undersøges ved brug af en simulator. Dette er bl.a. blevet gjort i Bella [2008], hvor det blev undersøgt om kørselssimulatoren fra Inter-University Research Center for Road Safety (CRISS) kunne benyttes til hastighedsforskning på tosporede veje i åbent land. Konklusionen var, at simulatoren godt kunne benyttes som et værktøj til hastighedsforskning, dog blev det fundet, at i enkelte tilfælde gav simulatoren anderledes resultater, end hvad blev observeret i virkeligheden. Dette tilskrives forskellen i vurderingen af risikoen i hhv. simulatoren og virkeligheden.

Forskellige studier har undersøgt kørselsadfærden hos forskellige bilister, og derudfra kan der drages en række konklusioner. Det er bl.a blevet fundet jf. Pérez-Zuriaga et al. [2012], at bilister øger deres hastighed fra de får kørekort, og indtil de fylder 26 år, herefter sænkes hastigheden med alderen. Ligeledes kører mænd hurtigere end kvinder, og bilister med kendskab til vejen kører hurtigere end dem, som er ukendt med den konkrete vejstrækning. Bilister uden andre passagerer i bilen har også tendens til at køre hurtigere, end når der er passagerer tilstede. I Turner et al. [2015] er det, som tidligere nævnt, blevet fundet, at erfaring ikke har betydning for hastigheden i kurver. I samme rapport fremgår det, at for kurver med høj risiko er decelerationen ikke overstået ved kurveminimum, hvilket kan tyde på, at bilisterne bliver overraskede over kurvens forløb, og derfor ikke når at bremse tilstrækkeligt ned før kurvens minimum.

Netop geometrien af vejen har indflydelse på hastigheden jf. Porter et al. [2012]. Dette bliver bl.a. illustreret på figur 3.1 (s. 10), som viser sammenhængen mellem kurveradius og hastighed. Her kan det ses, at hastigheden på veje i åbent land stiger stejlt i takt med kurveradius, indtil radius på ca. 750 ft (ca. 250 m), hvorefter grafen flader ud. Ifølge Kanellaidis et al. [2000] er det krumningen af kurven, som er den vigtige parameter. Ligeledes konkluderes det i Porter et al. [2012], at hastigheden vil gå fra ca. 85 km/t til ca. 96 km/t ved en ændring i kørebanebredde fra 2,7 m til 3,7 m. Betydningen af kørebanebredde og rabat bliver også fremhævet som vigtig for hastigheden i Melo et al. [2012].



Figur 3.1: Sammenhæng mellem planlægningshastighed, horisontal kurve radius og benyttet hastighed. [Porter et al., 2012]

I U.S. Department of Transportation [2015] bliver der sat tal på ændringen af hastigheden ved én enheds ændring i geometrien jf. tabel 3.1.

Geometric Feature	**Change in Operating Speed per Unit Change in Geometric Feature [mph]**
Lane width (ft)	0.032 – 2.08
Paved shoulder width (ft)	0.015 – 0.17
Length of horizontal curve approach tangent (ft)	-0.005 – 0.008
Grade of horizontal curve approach tangent (%)	-1.47 – 3.11
Length of horizontal curve departure tangent (ft)	-0.002 – 0.023
Grade of horizontal curve departure tangent (%)	-1.45 – -0.224
Length of horizontal curve (ft)	-0.009 – 0.001
Horizontal curve deflection angle (degrees)	-0.21 – -0.08
Radius of horizontal curve (ft)	0.001 – 0.026
Degree of horizontal curve	-0.481 – -0.189
Rate of vertical curvature (ft/ft)	0.011

Tabel 3.1: Sammenhæng mellem hastighed og geometrisk design på tosporede veje i åbent land. [U.S. Department of Transportation, 2015]*

Ifølge tabel 3.1 fremgår det, at den største ændring kan forventes, hvis kørebanebredden justeres. Her forventes en maksimal ændring i hastighed på 2,08 mph (3,35 km/t) ved en ændring på 1 ft (0,3 m). Samtidigt fremgår det også, at denne ændring i hastighed kan være helt ned til 0,032 mph (0,05 km/t), hvilket tydeligt viser, at der er store usikkerheder forbundet med disse tal. Ændringen i hastigheden

ved ændring af horisontalkurveradius vil ud fra tabellen ikke være betydelig. Samlet set kan det konkluderes, at det kan være svært at ændre ved hastigheden ved at ændre i vejens geometri, hvilket også bliver understreget i Porter et al. [2012].

3.1.3 Kørselskomfort

Som det fremgår af de tidligere beskrevne studier, så er der forskel på, hvordan bilister vælger at køre. Det skyldes bl.a. forskellige opfattelser af sikker kørsel og dermed bilistens tryghedsfølelse, men dette hænger også sammen med bilistens komfortkriterier. Det kan dog være svært at præcisere komfort, men der findes enkelte studier, som har forsøgt dette.

Når en selvkørende bil skal vælge kørestil, ligger der matematiske formler til grund for dens valg. Sådanne formler vil ifølge Dovgan et al. [2012] normalt være baseret på to krav hhv. optimering af rejsetid og brændstofsforbrug. Dovgan et al. [2012] forsøger at tilføje endnu et krav - optimering af komfort. For at kunne inkludere dette krav i formlerne er det nødvendigt at kvantificere begrebet komfort. Her vælges det at beskrive komforten ved det modsatte nemlig ubehag. Ubehaget beskrives ved at måle størrelsen af ryk, som er ændringen i acceleration per tidsenhed. Ifølge Vejdirektoratet [2012c] bør størrelsen af ryk ikke overstige $0{,}5\,\mathrm{m/s^3}$. Denne måde at kvantificere komfort på er blevet brugt i flere forskellige studier jf. Dovgan et al. [2012]. En anden måde at beskrive komfort på kan være ved at se på frekvensen af ændringer i kontrolaktioner, med andre ord hvor ofte kørslen ændres. [Dovgan et al., 2012]

Helt overordnet bliver det i Xu et al. [2015] beskrevet, at det, som har betydning for bilisternes følelse af komfort, er afstanden til forankørende og hastigheden, hvormed de bevæger sig. Dermed bliver FCD særligt relevant, da det netop kortligger den hastighed, som bilisterne selv vælger at køre med, såfremt der ikke er forankørende, der begrænser bilistens hastighedsvalg.

3.1.4 Hastighedsbegreber

Da dette projekt omhandler hastigheder er det relevant at klarlægge forskellige hastighedsbegreber. I 2012 blev nye hastighedsbegreber og -definitioner fastlagt jf. Vejdirektoratet [2012a], hvor disse kan deles op i tre grupper relateret til hhv. planlægning/projektering, færdselslov/afmærkningsbekendtgørelse og beregningsmæssige definitioner. Under begreber til "Planlægning og projektering" hører den dimensionerende hastighed, som tidligere var fastlagt med øvre grænse svarende til 85 %-fraktilhastighed, men nu fastlægges denne ud fra vejens funktion. Hastigheder bestemt ud fra 85 %-fraktilen hører under gruppen "Beregningsmæssige definitioner" som "85 %-fraktilhastigheden". Tre ud af fire definitioner under færdselslov og afmærkningsbekendtgørelser er citeret nedenfor, da disse er relevante for rapporten.

> *Den generelle hastighedsbegrænsning (V_g) er den i Færdselsloven fastsatte hastighedsgrænse i byområder (50 km/t), åbent land (80 km/t) og på motorveje (130 km/t). Vejdirektoratet [2012a]*

> *Den skiltede hastighed (V_{sk}) er den hastighed, som vejmyndigheden ønsker, at trafikanterne ikke må overskride. Vejdirektoratet [2012a]*

> *Tilladt hastighed (V_{till}) er enten lig den generelle hastighedsbegrænsning (V_g) eller den skiltede hastighed (V_{sk}), hvis hastighedsgrænsen afviger fra den generelle hastighedsbegrænsning. Vejdirektoratet [2012a]*

Gældende vejregel med nærmere forklaringer af hastigheder kan findes i appendiks E.1 (s. 95).

3.2 Dataindsamling

I dette afsnit beskrives de forudgående undersøgelser lavet i forbindelse med dataindsamlingen, som består af en forklaring af forløbet med udvælgelsen af strækninger til testkørsel. Herefter introduceres FCD og disses indhold, som efterfølges af, hvordan data er anvendt i forbindelse med valg af strækninger. Sidst introduceres metoden til indsamling af accelerationsdata.

3.2.1 Egne data

For at kunne vurdere brugbarheden af FCD til udarbejdelse af et hastighedskort er det nødvendigt at foretage målinger, som kan beskrive tryghed og komfort, der senere kan sammenlignes med FCD.

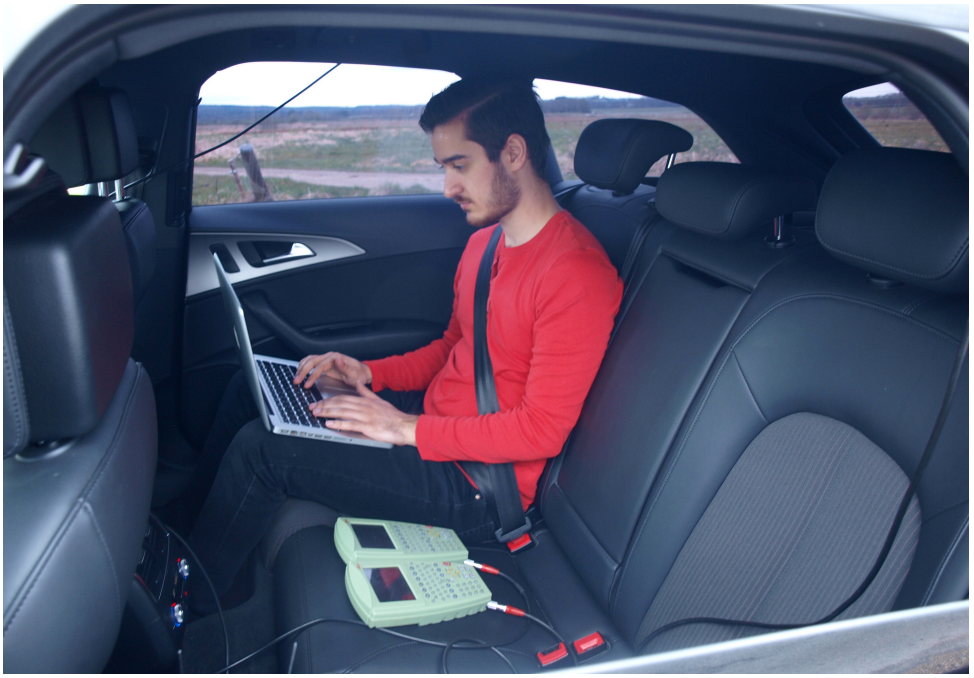
Egne hastighedsmålinger

Hastighedsmålingerne foretages vha. af GPS-måleren Leica GPS1200, som fastmonteres på en bils tagbøjler. Målingerne foretages med 1 Hz. GPS-målingerne eksporteres efterfølgende til ASCII format, således det kan importeres til Excel, hvormed det bliver muligt at beregne hastigheder ud fra positioner og tidsstempel. Positionerne beskrives ved E- og N-koordinater for hhv. længdegrad og breddegrad. Opsætning og indstilling af Leica GPS1200 kan findes i appendiks E.2 (s. 95) og GPS'en specifikationer kan findes i appendiks E.3 (s. 95).

På figur 3.2 kan den anvendte bil med GPS-modtagernes antenner ses. Bilen er en Audi A6 allroad quattro fra 2012 med automatgear og fartpilot.

Figur 3.2: Forsøgsbilen med GPS-modtagerens antenner monteret på tagbøjlen.

I bilen er der føreren samt en passager, som sidder på de bagerste passagersæder, hvilket kan ses på figur 3.3. Målingerne starter ved samme punkt på strækningen, hvorefter kurverne på strækningen forsøges gennemkørt med forskellige hastigheder fra 80 km/t og ned til, at hastigheden bliver unaturlig langsom for fører og passager. Passagerens vurderinger er centrale for projektet, da denne person kommer nærmest oplevelsen som passager i en selvkørende bil. Denne oplevelse kombineres under kørslen med, at passageren sidder med en computer og noterer vurderinger af tryghed og komfort efter testkørsel af hver kurve på strækningen. Opsætning med passageren arbejdende på en computer og med opmærksomhed rettet væk fra vejens forløb er ligeledes i stil med, hvad der kan forventes i en selvkørende bil.



Figur 3.3: Passagerens opstilling på bilens bagerste sæder.

Trygheds- og komfortvurderinger

Trygheds- og komfortvurderingerne foretages løbende under alle kørslerne. Der vurderes ud fra en skala fra 1-4, hvor 1 er mest utrygt/ukomfortabelt. Tabel 3.2 viser opbygningen af vurderingsskema, hvor skalaen også er beskrevet nærmere.

Kørsel nr.	**1**	**Sving 1**		**Sving 2**		**Sving ...**	
Forsøgt kørt hastighed		85		...		...	
Vurdering		Fører	Passager	Fører	Passager	Fører	Passager
Unaturlig langsomt	4						
Trygt/Komfortabelt	3						
	2						
Utrygt/Ukomfortabelt	1						

Tabel 3.2: Udsnit af tabel til trygheds- og komfortvurderinger.

I tabellen kan det ses, at trygheds- og komfortvurderingerne differentieres mellem føreren af bilen og passageren. Passageren kommer primært til at vurdere på komforten, mens der "arbejdes" på en computer. Passageren har ikke noget udsyn fremad, hvilket betyder, at oversigtsforhold ikke får nogen betydning for passagerens vurdering. Føreren har derimod god mulighed for at vurdere oversigtsforholdene, som er centrale ift. tryghedsfølelsen. Derfor bliver førerens vurderinger primært tryghedsbaseret.

Skalaen, som kan ses i tabel 3.2 (s. 13), viser forskellen mellem det, der føles som utryg og ukomfortabel kørsel (kategori 1) og det, der føles som tryg og komfortabel kørsel (kategori 3). Der er yderligere en kategori i skalaen, der hedder "Unaturlig langsomt" (kategori 4), som anvendes i tilfælde, hvor hastigheden bliver for lav og kan være til irritation for føreren eller passageren. Kategori 2 er medtaget i tilfælde, hvor kørsel hverken føles utrygt/ukomfortabelt eller trygt/komfortabelt. Denne kategori er forholdsvis bred, hvilket skyldes, at dette projekt ikke er interesseret i at belyse graden af tryghed/komfort men kun hastigheden, hvorved tryghed/komfort er opnået.

Registrering af vejen og omgivelser

I forbindelse med hastighedsmålingerne foretages registreringer af vejstrækningerne for efterfølgende at kunne dokumentere, hvilke typer af veje, der er blevet behandlet, og hvilke elementer på og omkring vejen, som kan have indflydelse på både egne data og FCD.

Registreringerne foretages før, under og efter hver kurve på en strækning, hvor emner som vejbredde, længdefald, sidegradient, oversigtsforhold, rabat, afstande til faste genstande, afmærkning, belægningskvalitet og skiltning registreres. Ud over disse emner vurderes der ligeledes på, hvad der ved og omkring vejen ellers har en hastighedsdæmpende effekt, hvilket eksempelvis kan være bygninger og lignende. Oversigtsforhold vurderes bl.a. også mht. årstidernes variation. Da disse registreringer foretages ift. hver kurve, nummereres kurverne for overblikkets skyld. Registreringerne for de udvalgte veje kan findes i bilag E.3 (s. 93)

Da vind og vejr har betydning for kørslen i kurverne noteres dette også ift. kørsel ved hver strækning samt en notering om, hvornår på døgnet målingerne er foretaget. Her noteres der bl.a. lufttemperaturer, regn, sol, frost, vind, tåge mm.

Eventuel trafik på strækningen registreres ligeledes, da store mængder trafik, langsomtkørende trafik eller lign. kan have påvirket hastigheden ved GPS-målingerne, da det i så fald ikke har været muligt køre med free flow hastighed. Ligeledes kan FCD være påvirket af dette.

Ud over at måle bredder og notere strækningens omgivelser, så videooptages en gennemkørsel af hver strækning, hvilket primært kan benyttes til efterregistreringer af forholdene på og omkring vejene.

3.2.2 Floating Car Data

Det FCD, som benyttes i dette projekt, er indsamlet i forbindelse med et tidligere forskningsprojekt kaldet ”Spar på Farten” lavet af Trafikforskningsgruppen på Aalborg Universitet jf. Lahrmann et al. [2012].

Projektet "Spar på Farten" (SPF) gik ud på at undersøge effekten af Intelligent Farttilpasning også kendt som Intelligent Speed Adaptation eller ISA, hvor bilers geografiske positioner registreres og samtidig sammenholdes med et digitalt hastighedskort. Under kørslen er det for bilisten ligeledes muligt at se den aktuelle hastighedsgrænse på et display i bilen, så der ikke er tvivl om den tilladte hastighed. Ved hjælp af denne type system blev et forsøg gennemført i Nordjylland i perioden 2007-2009, hvor deltagerne blev tilbudt en forsikringsrabat på op til 30 % på deres bilforsikring. Denne rabat blev for nogle af deltagerne reduceret, hvis hastighedsgrænsen ikke blev overholdt. [Agerholm et al., 2007]

Forsøget var rettet imod unge bilister, som i forbindelse med projektet ville kunne opleve en lærende effekt ved kørsel med lavere hastigheder og dermed en vedvarende ændring i deres køreadfærd. Den ønskede gruppe af forsøgspersoner var på 300 unge bilister, men dette viste sig umuligt at opnå, hvormed forsøget nåede op på 153 deltagere i alle aldre. Forsøget gik ud på, at forsøgsdeltagerne fik en "On Board Unit" (OBU) installeret i deres biler, og denne enheds opgave var at måle forsøgsdeltagernes hastighed vha. GPS. Ved en hastighed på +5 km/t af hastighedsgrænsen blev nogle af deltagerne gjort opmærksom på deres overtrædelse hver 6. sekund. De deltagere, som fik rabatten reduceret, havde indtil anden advarsel til at komme under +5 km/t af hastighedsgrænsen igen, hvis dette ikke blev gjort fik deltagerne tildelt strafpoint, som blev anvendt til at reducere forsikringsrabatten. Nogle deltagere blev tildelt strafpoint uden at blive gjort opmærksom på hastighedsoverskridelsen. [Agerholm et al., 2007]

Udover at forsøget ikke nåede op på de ønskede 300 deltagere, måtte den ønskede forsøgsperiode på tre år forkortes, da flere af deltagerne meldte sig ud af projektet. FCD fra forsøget strækker sig fra maj 2006 til oktober 2008, hvor de første seks måneder i 2006 blev brugt til at teste udstyret i bilerne. På trods af kun halvt så mange ønskede deltagere og tidlig afslutning af projektet blev der ikke desto mindre opbygget en database med 383 mio. observationer jf. Lahrmann et al. [2012], som kan anvendes i dette projekt. I disse observationer er det muligt, at der er fejl i dataene, da projektet ligeledes oplevede tekniske problemer med udstyret.

Data fra projektet er månedsvis inddelt fra maj 2006 til oktober 2008, hvor de største mængder af data er i perioden fra juni til november 2007, og de mindste mængder af data findes i 2006.

Dataene indeholder følgende informationer.

- ID-nummer for OBU
- Tidsstempel
- E-koordinat
- N-koordinat
- Antal kørte kilometer
- Hastighed i km/t baseret på elektriske impulser fra bilen
- Hastighed i km/t baseret på GPS-målinger
- Retning (0-360°)
- Antal forbundne satellitter
- HDOP (kvalitet af signaler)
- GPS'ens afvigelse fra kortet ift. E-koordinat
- GPS'ens afvigelse fra kortet ift. N-koordinat
- Vejnummer
- Hastighedsgrænse i km/t
- Pålidelighed af data

Diskussion vedrørende brug af FCD fra Spar på Farten

Da dette projekt skal anvende FCD, som viser bilisters naturlige hastighed igennem kurver, kan det diskuteres, hvorvidt data fra SPF projektet kan anvendes, da de kørte hastigheder ikke er bilisternes naturligt valgte hastigheder. Dermed giver dataene ikke nødvendigvis et reelt billede af, hvad bilisterne finder komfortabelt og trygt, hvilket er hvad, der i sidste endnu bliver konkluderet på.

Det vurderes dog, at dette FCD stadig kan anvendes til dette formål, da hastighedsmålingerne i dette projekt skal foretages i kurver i åbent land, hvor det ikke er muligt at opretholde en hastighed på 80 km/t tilsvarende den generelle hastighedsbegrænsning. Dog skal det ift. registrering af kurvernes omgivelser noteres, hvorvidt der er skiltet med nedsat hastighed, da forsøgspersonerne dermed kan have valgt at nedsætte farten. Ideelt for dette projekt vil være, at valgte strækninger er uden skiltet nedsat hastighed, da forsøgspersonerne fra SPF dermed vil have gennemkørt kurverne med deres egen valgte hastighed.

Ud over, at disse data kan være påvirket af elementer fra SPF projektet, kan de målte hastigheder ligeledes være påvirket af vejret som eksempelvis frost, hvilket kan have haft en hastighedsnedsættende effekt. Da egne data er indsamlet i april vælges det derfor at frasortere FCD, som er indsamlet i måneder med middeltemperatur under frysepunktet. Dette gøres både for at sikre, at data er sammenlignelige, men ligeledes for at sikre at FCD hastighederne ikke er påvirket af glatte veje.

Udvælgelse af vejstrækninger

Vejstrækningerne er i første omgang valgt ud fra en visuel gennemgang af veje i Nordjylland på Google Maps og Krak. Efter at have udvalgt de forskellige strækninger blev en gennemkørsel af strækningerne foretaget med henblik på at forkaste eventuelle strækninger, som blev vurderet uanvendelige i dette projekt. Her blev strækningerne valgt ud fra følgende kriterier.

- Længde af strækning ca. 5 km
- Vejen skal være placeret uden for byzone
- Vejens forløb skal være forholdsvist kurvet

De mulige strækninger fremgår af figur 3.4, og en nærmere beskrivelse af de enkelte vejstrækninger og kort over vejene er vedlagt i bilag E.1 (s. 93).

Figur 3.4: Oversigt over udvalgte vejstrækninger ud fra visuel gennemgang af veje på Google Maps. [Krak, 2016]*

Strækningerne er følgende.

1. Uldstedvej
2. Nørlangvej
3. Stokbrohedevej/Faurholtvej
4. Gammel Aalborgvej/Thistedvej
5. Vasen/Aggersundvej/Kirkedalsvej
6. Lundby Mosevej
7. Refnæsvej
8. Flamstedvej
9. Volsted Skolevej
10. Kærvej/Støvringvej
11. Volstrupvej
12. Harrildhusvej
13. Grydstedsvej
14. Oustrupvej
15. Graverhusevej/Porsgårdsvej/Ryebrovej
16. Skudshalevej/Poulstrupvej
17. Binderupvej
18. Keldbakgårdsvej/Moldbjergvej
19. Klæstruplundvej
20. Tostrupvej
21. Buderupholmvej
22. Jordemodervej
23. Nibevej/Hobrovej
24. Luneborgvej

Herefter blev FCD fra forskningsprojektet "Spar på Farten" jf. Lahrmann et al. [2012] anvendt til en yderligere sortering og udelukkelse af mulige strækninger. I denne forbindelse blev et pointsystem anvendt til at bestemme, hvorvidt og i så fald i hvilken mængde der var tilgængeligt FCD for strækningerne.

Pointsystemet er opbygget således, at hver strækning gennemgås for hver måned, hvor en strækning får 1 point, hvis der er FCD tilgængelig for hele strækningen, 0,5 point, hvis FCD er delvist tilgængeligt på strækningen i relevante kurver og 0 point, hvis der ikke er tilgængelig FCD. I tabel 3.3 kan et udsnit af en tabel med anvendelse af pointsystemet ses.

Vejnr.	**2006-05**	**2006-06**	**...**	**...**	**...**	**2008-08**	**2008-09**	**2008-10**	**Sum**
1	0	0	...	...	...	1	0,5	0,5	**15,5**
2	0	0	...	...	...	1	0	1	**8**
3	0	1	...	...	...	1	1	1	**29**
4	0	0	...	...	...	0	0,5	1	**22,5**
5	–	–	...	...	...	–	–	–	**0**
...	...	...	...	...	...	...	...	...	**...**
...	...	...	...	...	...	...	...	...	**...**
...	...	...	...	...	...	...	...	...	**...**
22	0	0,5	...	...	...	1	0,5	1	**15,5**
23	1	0	...	...	...	0	1	0	**25,5**
24	0,5	0,5	...	...	...	1	0,5	1	**24**

Tabel 3.3: Udsnit af tabel med pointsystem til udvælgelse af strækninger.

I tabellen fremgår "–" ved enkelte strækninger. Disse streger symboliserer strækninger, som i løbet af gennemgangen af datasættene blev frasorteret grundet fuldstændig mangel på FCD.

I alt er 30 datasæt gennemgået fra maj 2006 til oktober 2008 for de 24 først udvalgte strækninger. De strækninger med en score over 20 blev udvalgt til videre vurdering af anvendelighed, hvor gennemkørsel af strækningerne blev foretaget endnu engang. Det viste sig, at kravet på en score over 20 gav for få strækninger, da gennemkørslen førte til en yderligere frasortering af nogle strækninger. Derfor blev kravet til scoren sænket til 15, hvormed flere strækninger blev vurderet til at kunne anvendes i projektet. Ud over en høj score i pointsystemet var det tænkt, at strækningerne ligeledes skulle vurderes på antallet af forskellige forsøgsdeltagere, som har gennemkørt strækningen, da dette vil give et bedre statistisk grundlag for kørte hastigheder. Dog viste det sig generelt for dataene, at der på enkelte strækninger, som havde opnået tilstrækkelig høj score ift. mængden af data, kun havde gennemkørsler foretaget af to forskellige personer.

Grundet muligheden for usikkerheder med dataene blev yderligere tre vejstrækninger fundet til projektet, undersøgt for tilstrækkelig FCD, antal forsøgsdeltagere og herefter gennemkørt. To af strækningerne viste sig anvendelige i projektet og blev nummereret med 26 og 27. En total oversigt over strækningerne og deres score er vedlagt i bilag E.2 (s. 93).

De udvalgte strækninger er følgende, hvor de fremhævede strækninger er de valgte, mens de resterende er backups.

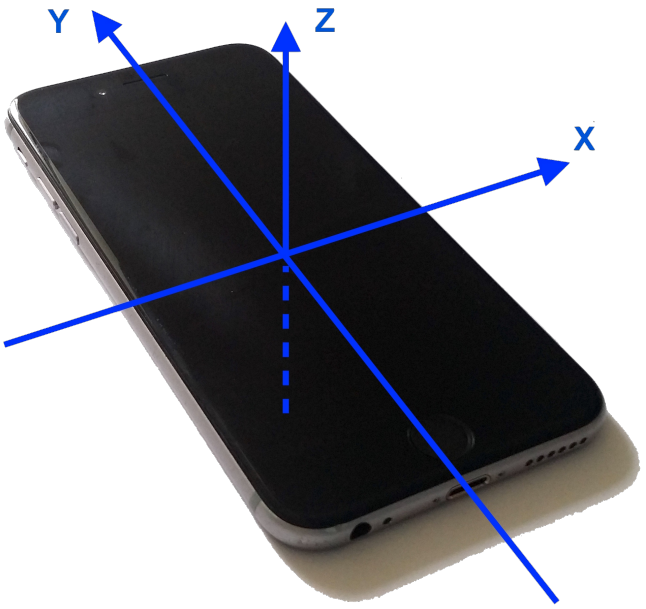
3. **Stokbrohedevej/Faurholtvej**
10. Kærvej/Støvringvej
14. Oustrupvej
16. **Skudshalevej/Poulstrupvej**
21. **Buderupholmvej**
22. Jordemodervej
26. Bonderupvej
27. Estrupvej

I forbindelse med udførslen af målingerne med GPS blev det nødvendigt at anvende nogle af backup vejene i stedet, da GPS'erne var mere følsomme overfor høje træer og bygninger end først antaget. Dermed er det de følgende tre veje som endeligt blev valgt til projektet.

- Stokbrohedevej/Faurholtvej
- Kærvej/Støvringvej
- Jordemodervej

3.2.3 Accelerometerdata

Som en supplering til trygheds- og komfortvurderingerne vil der ligeledes blive foretaget målinger af sideaccelerationer under kørslerne med henblik på at kvantificere komfortbegrebet. Målingerne af accelerationsdataene foretages med anvendelse af iPhone-appen "Power Sense: Motion Sensor Data Logging" udviklet af Shiyan Xu. Appen logger forskellige sensordata fra den anvendte iPhone, hvilket herefter kan eksporteres som csv filer. Disse sensorer inkluderer bl.a. accelerometer, gyroskop, magnetometer mv., som kan give informationer om accelerationer, rotationer, tyngdekraft, magnetisk felt. Disse anvendes i en iPhone og andre smartphones til eksempelvis rotation af skærmen. Målinger kan foretages i tre akser, som er X-, Y- og Z-retning jf. figur 3.5. Accelerationer målt med iPhonen omtales herefter som accelerometerdata. Frekvensen for log af data sættes til 20 Hz. Appen sættes i gang med at logge ved start af hver testkørsel.



Figur 3.5: Akser på iPhone.

Accelerometerdataene skal efterfølgende benyttes til at beregne ryk ift. komfortable hastigheder i kurverne. Ryk betegnes som den hastighed, hvormed sideaccelerationen vokser. De beregnede ryk vurderes herefter ud fra gældende retningslinjer for ryk på $0{,}5\,\mathrm{m/s^3}$, som er beskrevet i afsnit 3.1.3 (s. 11). Yderligere vil rykkene sammenholdes med de i forrige afsnit beskrevne trygheds- og komfortvurderinger.

3.3 Databehandling

I de følgende afsnit beskrives det, hvorledes de tre typer af data behandles. Først beskrives det, hvordan den trygge og komfortable hastighed fastlægges ud fra egne data. Herefter forklares det, hvordan hastighederne for FCD beregnes og benyttes i rapporten. Til sidst gennemgås teorien bag rapportens beregninger af acceleration og ryk.

3.3.1 Egne data

De GPS-data, som indsamles, giver først og fremmest position samt tidsstempler, hvorudfra der kan beregnes hastigheder. De beregnede hastigheder udregnes ud fra afstand mellem målepunkter og tidsafstand med antagelse af konstant acceleration. Det antages ligeledes, at afstanden mellem målepunkterne er fugleflugtslinjen. Dette er en simplificering, når der beregnes hastigheder for kurver, men det antages, at forskellen mellem de faktiske og beregnede hastigheder er minimal grundet den relative korte afstand mellem målepunkterne. Det betyder dog, at hastighedsberegningerne vil være til den lave side. Med udgangspunkt i de beregnede hastigheder mellem punkterne omregnes hastighederne til punkthastigheder ved at tage middelværdien af hastigheden før og efter et punkt. Dette gøres for at lette sammenligningen mellem egne data og FCD, da FCD er angivet som punkthastigheder. Dermed kan der foretages en sammenligning af de to datasæt.

For hver kørsel i hver kurve vil der blive fundet en minimumshastighed. Denne sammenholdes med trygheds- og komfortvurderingerne, således minimumshastigheden for den trygge og komfortable kørsel i hver kurve findes. Disse trygge og komfortable minimumshastigheder vil senere blive sammenlignet med FCD.

Radierne for de enkelte kurver bestemmes ved brug af ortofoto, hvorpå der påtegnes cirkelbuer vha. AutoCAD[1]. Radius af en kurve bestemmes dermed som radius af cirkelbuen. Da det kan være svært at påtegne cirkelbuen helt præcist, må det forventes, at de bestemte radier kan afvige fra virkeligheden.

3.3.2 Floating Car Data

FCD giver punkthastigheder direkte, men da forskellige ture meget sjældent har målepunkter præcis de samme steder er det nødvendigt at benytte segmenter. De pågældende veje opdeles i segmenter, således det bliver muligt at beregne segmenthastigheder. Segmenthastighederne findes ved beregning af middelværdien for alle punkter i et segment eller ved at finde en bestemt fraktil. Før segmenthastighederne beregnes, sorteres data ift. retning, da retningen kan have betydning for valget af hastighed. For hver kurve i hver retning kan der således findes en minimumssegmenthastighed, som kan sammenlignes med den fundne minimumshastighed fra egne data. Ud fra denne sammenligning af forskellige minimumssegmenthastigheder fra FCD med minimumshastigheder fra egne data kan eventuelle sammenhænge fastlægges.

Som alternativ til at fastlægge et hastighedskort ud fra en bestemt fraktil eller middelværdi vil data også blive benyttet til at undersøge muligheden for sammenhæng mellem radius og hastighed.

[1] AutoCAD er et softwarepakke til to- og tredimensionel tegning og modellering.

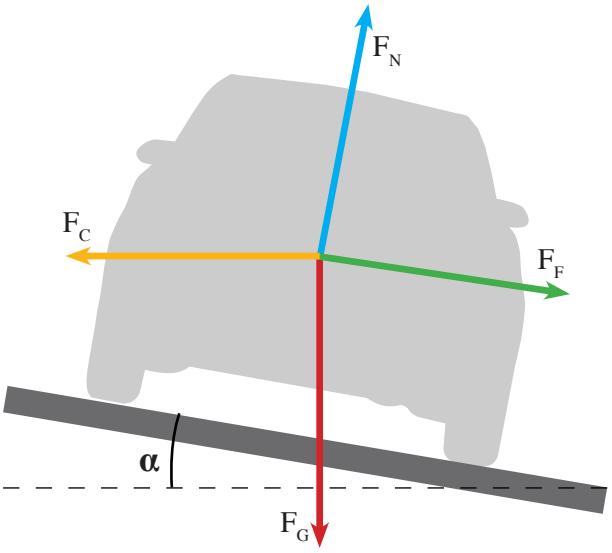
3.3.3 Accelerationsdata

I Bolet [2015] er krav vedrørende kurvekørsel beskrevet med følgende forklaring.

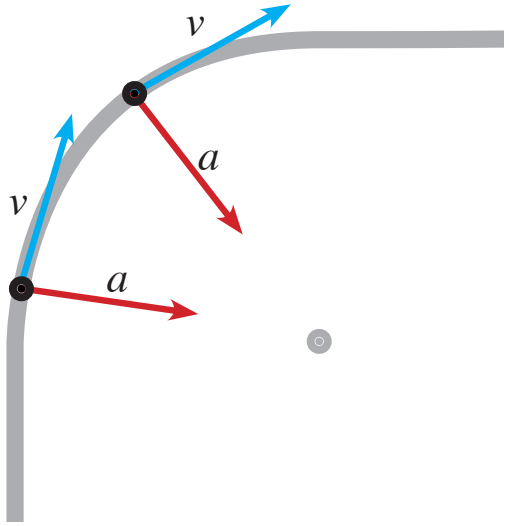
> *Det dynamiske krav er, at et køretøj med konstant hastighed skal kunne gennemkøre vejen uden at komme i fare for at vælte eller skride ud. Herudover er det et krav, at trafikanten skal opfatte kørslen som komfortabel. [Bolet, 2015]*

I denne forbindelse omtales de kræfter, som påvirker en bil, imens den kører igennem en kurve. Her ses der på tyngdekraften F_G, friktionskraft F_F, vejens resulterende reaktionskraft F_N og den vandret virkende centripetalkraft F_C jf. figur 3.6. [Bolet, 2015]

På figur 3.7 ses et forsimplet eksempel på kurvekørsel med konstant fart i retningen mod højre. Figuren viser to punkter (sorte prikker), hastighederne (v) står vinkelret på kurven, og de tilhørende sideaccelerationer (a) har retning mod midten af kurven, som er angivet med en grå prik.



Figur 3.6: Kraftpåvirkning på et køretøj igennem en horisontal kurve. [Bolet, 2015]*



Figur 3.7: Kurvekørsel med angivelse af hastighed og sideacceleration.

Centripetalkraftens modkraft F_C påvirker trafikanterne i bilerne med en sideacceleration, som kan kompenseres ved vejbanens sidegradient. Den samlede resulterende sideacceleration g_r, som virker på trafikanten beregnes ved følgende formel.

$$g_r = \frac{v^2}{R_h} - g \cdot i_r \tag{3.1}$$

I formlen er v hastigheden i m/s^2, R_h er radius af horisontalkurve i meter, g er størrelsen af tyngdeaccelerationen på 9,8 m/s^2 og i_r er sidegradienten i promille. I tilfælde uden betydelig størrelse af sidegradienten på vejbanen vil det sidste led af formlen blive nul, hvormed situationen på figur 3.7 (s. 21) er beskrevet. Her beregnes accelerationen i punkterne ved følgende formel.

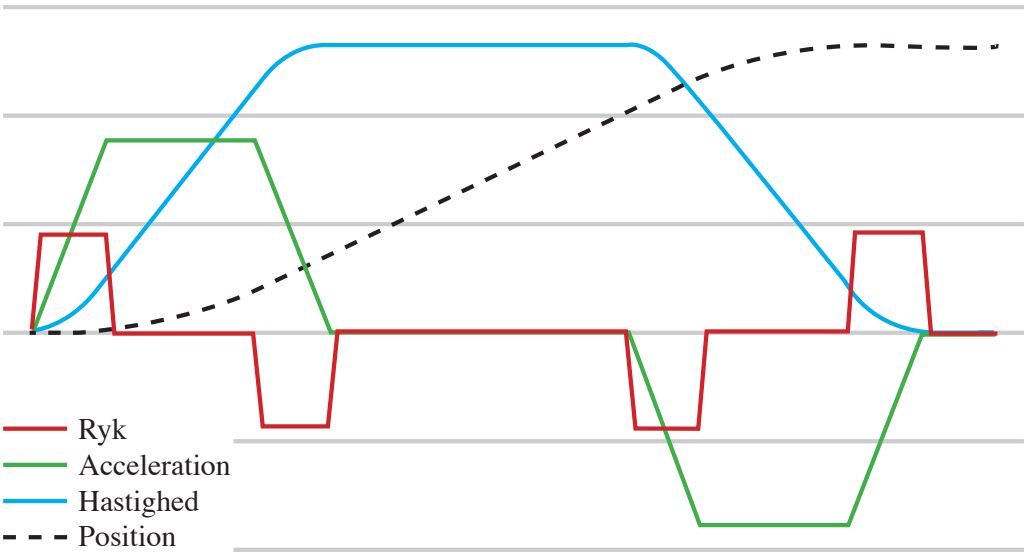
$$a = \frac{v^2}{R} \tag{3.2}$$

Tilfælde med negligerbar sidegradient forekommer ved størstedelen af kurverne i dette projekt. Sideacceleration er beregnet med udgangspunkt i kurveradier for dette projekt og vist i tabel 3.4.

v / R_h	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**35**	**40**	**45**	**50**	**55**	**60**	**65**	**70**	**75**	**80**	**85**
20	0,1	0,4	0,9	1,5	2,4	3,5	4,7	6,2	7,8	9,6	11,7	13,9	16,3	18,9	21,7	24,7	27,9
30	0,1	0,3	0,6	1,0	1,6	2,3	3,2	4,1	5,2	6,4	7,8	9,3	10,9	12,6	14,5	16,5	18,6
35	0,1	0,2	0,5	0,9	1,4	2,0	2,7	3,5	4,5	5,5	6,7	7,9	9,3	10,8	12,4	14,1	15,9
40	0,0	0,2	0,4	0,8	1,2	1,7	2,4	3,1	3,9	4,8	5,8	6,9	8,2	9,5	10,9	12,3	13,9
45	0,0	0,2	0,4	0,7	1,1	1,5	2,1	2,7	3,5	4,3	5,2	6,2	7,2	8,4	9,6	11,0	12,4
50	0,0	0,2	0,3	0,6	1,0	1,4	1,9	2,5	3,1	3,9	4,7	5,6	6,5	7,6	8,7	9,9	11,1
60	0,0	0,1	0,3	0,5	0,8	1,2	1,6	2,1	2,6	3,2	3,9	4,6	5,4	6,3	7,2	8,2	9,3
120	0,0	0,1	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,3	1,6	1,9	2,3	2,7	3,2	3,6	4,1	4,6
130	0,0	0,1	0,1	0,2	0,4	0,5	0,7	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,5	2,9	3,3	3,8	4,3
150	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,3	1,6	1,9	2,2	2,5	2,9	3,3	3,7
180	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,1
200	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,9	2,2	2,5	2,8
230	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,9	2,1	2,4
275	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
300	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3	1,4	1,6	1,9
325	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,2	1,3	1,5	1,7

Tabel 3.4: Sideaccelerationsværdier med enheden m/s^2 regnet ud fra forskellige kurver og hastigheder med udgangspunkt i formel 3.2 (s. 22).

Sideaccelerationerne i tabellen er beregnet ud fra, at der køres med konstant fart. Er dette ikke tilfældet vil accelerationen i hvert punkt ændre sig løbende, hvilket er illustreret på figur 3.8, hvor ændring i position, hastighed, acceleration og ryk kan det ses.



Figur 3.8: Graf over hastighed, acceleration og ryk. [Newport, 2016]*

Flytningen mellem positionerne foretages med en hastighed, som i starten af kurven stiger, bliver konstant og aftagende til sidst. Ændringen i hastigheden kommer til udtryk ved accelerationen, som bliver positiv ved en positiv stigning af hastigheden. Ved konstant hastighed får accelerationen værdien nul, og ved aftagende hastighed bliver accelerationen negativ. Accelerationen beregnes som ændringen af hastigheden Δv ift. ændringen af tiden Δt. Dette er vist ved nedenstående formel.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \tag{3.3}$$

Rykket er ligeledes illustreret på figur 3.8, hvor det ses, at rykket får en værdi, når der er en ændringen i accelerationen. Rykket r beregnes på samme måde som accelerationen jf. formel nedenfor.

$$r = \frac{\Delta a}{\Delta t} = \frac{a_2 - a_1}{t_2 - t_1} \tag{3.4}$$

Beregning af ryk kan hermed foretages ud fra accelerometerdataene.

Accelerometerdata

Første del af behandlingen af accelerometerdataene består i en omregning af enheder, da accelerometeret logger accelerationerne med enheden g, som står for tyngdekraften på 9,8 $\mathrm{m/s^2}$. Det vil sige, at et udsving i appen, som eksempelvis har en værdi på 0,2, har en acceleration på 1,96 $\mathrm{m/s^2}$.

Sideaccelerationsdataene måles i X-retningen jf. figur 3.5 (s. 19) og vil logges som negative og positive værdier, hvor de negative værdier viser målinger foretaget i et venstresving og positive værdier i et højresving. Omregning af accelerometerdata til ryk gøres ved beregning af hældningen af grafen mellem to målte punkter jf. formel 3.4. Dette vil resultere i ryk med positive og negative værdier, som skyldes hældningen på grafen for sideaccelerationen.

Med en logfrekvens på 20 Hz vil ændringen i tiden (Δt) altid være 0,05 sekunder. Enheden for accelerometerdataene er m/s^2, hvorfor rykkets enhed bliver m/s^3.

Glidende gennemsnit

Logfrekvensen på 20 Hz vil medføre, at alle rystelser under kørslerne bliver registreret, hvormed det kan forventes, at de beregnede ryk vil fremstå som urealistiske værdier. Dermed er næste skridt at udjævne mængden af data for at kunne give et bedre estimat af ryk i bilen under kørslen. Dette gøres ved en udjævning af data vha. beregning af et glidende gennemsnit. Det glidende gennemsnit udjævner svingninger i data og filtrerer støj fra, så eventuelle mønstre eller tendenser fremstår tydeligere. Metoden anvendes typisk inden for tidsrækkeanalyser. Det glidende gennemsnit (F_t) kan beskrives ved følgende formel.

$$F_t = \frac{A_t + A_{t-1} + ... + A_{t-n+1}}{n} \tag{3.5}$$

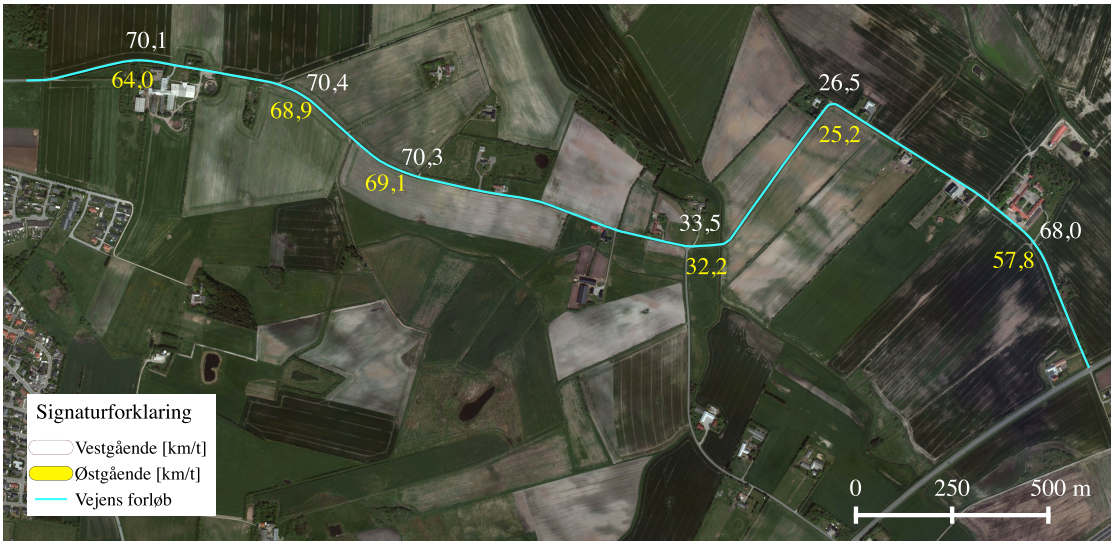
A_t angiver accelerationsværdien til tiden t. Der anvendes et bestemt antal datapunkter til at regne gennemsnittet af de omkringliggende datapunkter, hvilket indgår i formlen som n. I dette projekt anvendes et centralt glidende gennemsnit baseret på 20 datapunkter for at udjævne frekvensen på 20 Hz. Dette betyder, at der efter 0,5 sekunder er foretaget 10 målinger af sideaccelerationen, hvormed det centrale glidende gennemsnit kan beregnes som middelværdien af de 10 foregående og 10 efterfølgende målinger ved 0,5 sekunder.

Kapitel 4
Udførelse

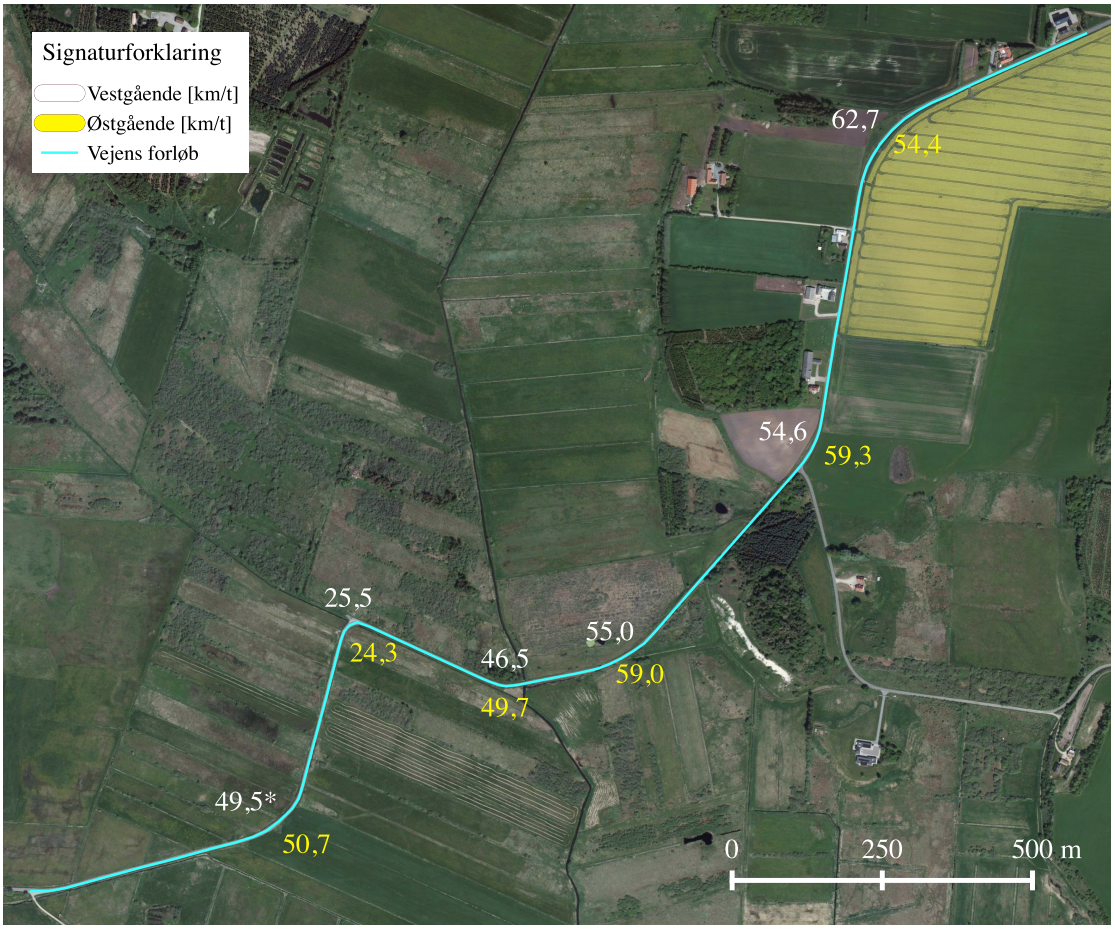
I dette kapitel bliver selve undersøgelsen udført. Dette inkluderer databehandling af de tre datasæt samt tilhørende analyser og delkonklusioner.

4.1 Egne data

Det primære formål med de indsamlede data er at bestemme den trygge og komfortable hastighed i kurverne på de udvalgte strækninger. I bilag E.4 (s. 93) kan trygheds- og komfortvurderingerne findes, hvor registreringerne er indtastet jf. tabel 3.2 (s. 13). Heri fremgår den forsøgte kørte hastighed samt den fra GPS-målingerne beregnede hastighed i målepunkterne jf. afsnit 3.3.1 (s. 20). For hver kørsel i hver kurve angives ligeledes minimumshastighederne i kurverne. Under hver kurve er den kørsel og dermed den hastighed, som er blevet vurderet tryg og komfortabel, blevet markeret med grøn. Den beregnede hastighed ved den trygge og komfortable kørsel bliver dermed den hastighed, som ud fra de indsamlede data benyttes. På figur 4.1 (s. 25), 4.2 (s. 26) og 4.3 (s. 26) er de trygge og komfortable hastigheder for hver kurve angivet.



Figur 4.1: Oversigt over trygge og komfortable hastigheder angivet i km/t for på Stokbrohedevej/Faurholtvej. [Bing, 2016]*



Figur 4.2: Oversigt over trygge og komfortable hastigheder angivet i km/t for kurverne på Kærvej/Støvringvej. *Ingen data tilgængeligt for den pågældende kørsel. Hastighed er antaget ud fra forrige kørsel, som blev kørt med 5 km/t mere. [Bing, 2016]*

Figur 4.3: Oversigt over trygge og komfortable hastigheder angivet i km/t for kurverne på Jordemodervej. *Ingen data tilgængeligt for de pågældende kørsler. Hastighed er antaget ud fra forrige kørsler, som blev kørt med 5 km/t mindre. [Bing, 2016]*

4.2 Floating Car Data

Som tidligere nævnt er databasen med FCD stor, hvorfor det ikke er muligt at arbejde med alle data. Derudover består FCD af en masse punktdata fra en række forskellige ture. For at kunne behandle disse data opdeles vejstrækningerne i segmenter, hvor der for hvert segment beregnes en gennemsnitshastighed ud fra punktdataene.

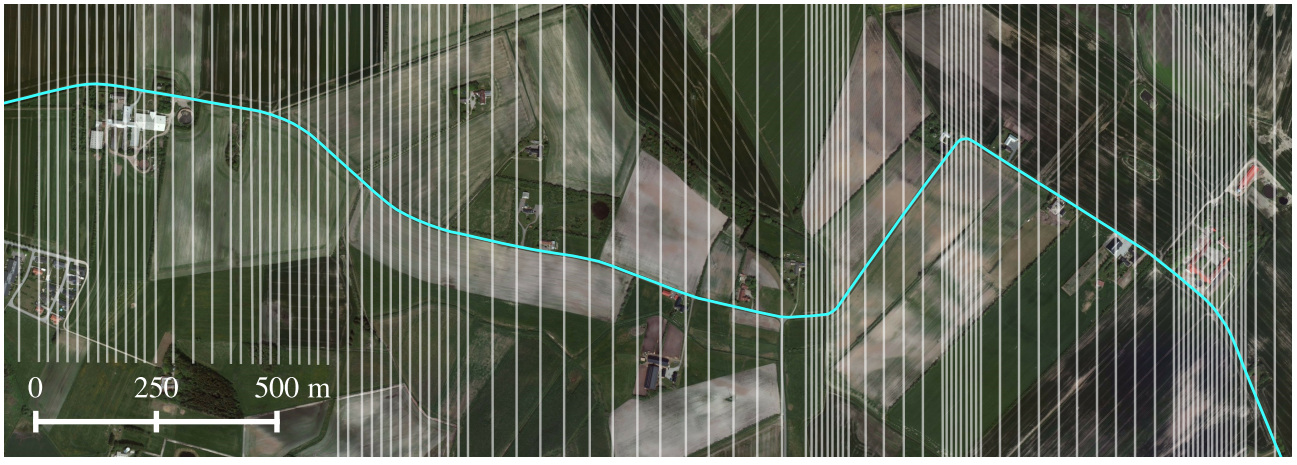
4.2.1 Udtræk af data

Det er først nødvendigt at trække data ud af databasen for de udvalgte veje. Dette gøres ved brug af QGIS[2], hvor det er muligt at få vist data visuelt på et kort, hvorefter strækningerne kan markeres, og data kan udtrækkes. Dette er gjort for alle vejstrækninger og alle måneder. Som det nævnes i afsnit 3.2.2 (s. 16) vælges det, at vintermåneder med middeltemperaturer under frysepunktet frasorteres. Dette gøres ved brug af "DMI Klimaoversigter" fra 2003-2010 jf. Danmarks Meteorologiske Institut [2012], hvor middel- og absoluttemperaturer opgives for hver uge og måned for mellemstore og større byer i Danmark. Temperaturer for Aalborg medfører, at der i 2007 fravælges data for januar, februar og december, og i 2008 fravælges data for februar og marts.

Det tilbageværende data er dermed det datagrundlag, som rapportens undersøgelser bygger på.

4.2.2 Segmenter

Strækningerne bliver opdelt i segmenter ud fra E-koordinaterne. Størrelsen af segmenterne vurderes ud fra kurvernes radius og den maksimale hastighed, hvormed kurven kan gennemkøres. Formålet med dette er at sikre, at der minimum er ét datapunkt fra hver tur i hvert segment. En oversigt over segmenternes opdeling kan findes i bilag E.5 (s. 93). På figur 4.4 er vist et eksempel på, hvordan vejene er blevet opdelt i segmenter.



Figur 4.4: Opdeling af Stokbrohedevej/Faurholtvej i segmenter, hvor den blå streg angiver vejens linjeføring, og de hvide streger angiver segmenternes opdeling. [Bing, 2016]*

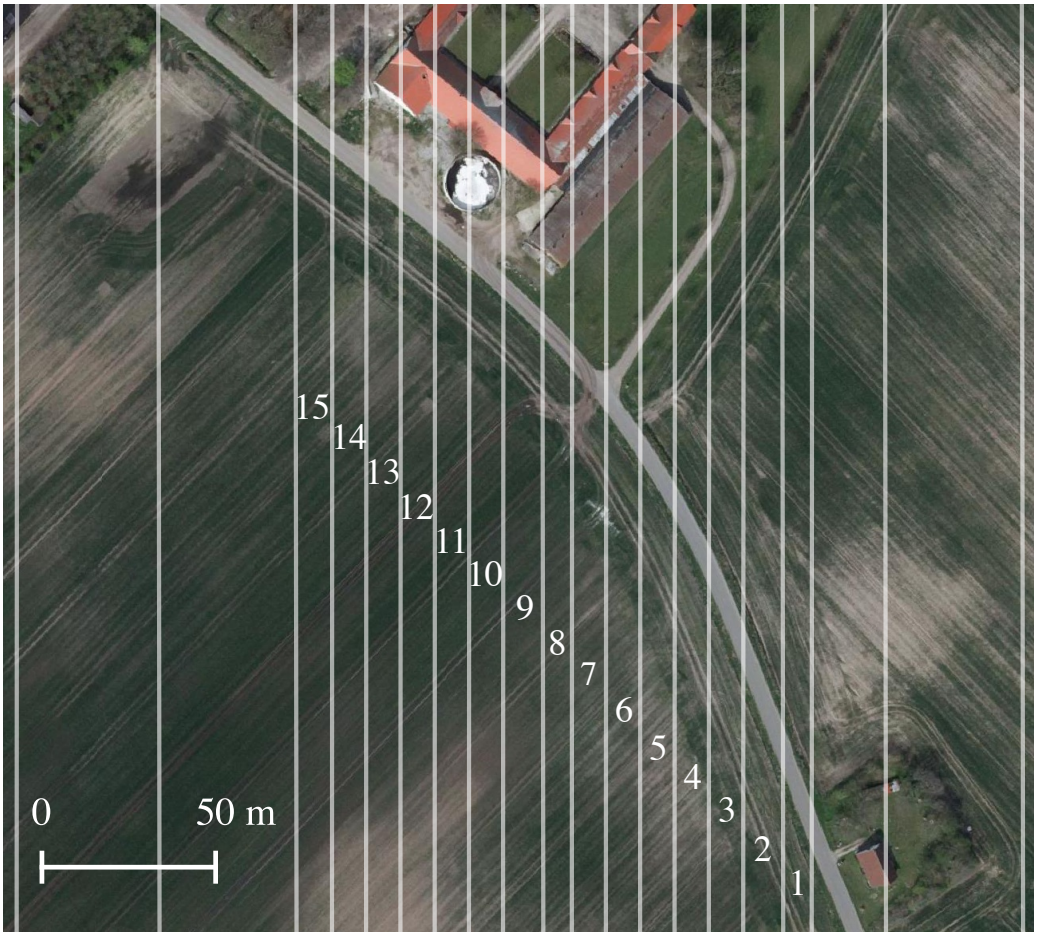
[2]QGIS er en softwarepakke til arbejde med geografiske informationer.

4.2.3 Databehandling

Efter at have udvalgt data og bestemt segmenterne skal data sorteres. Da data ikke er opdelt efter kørselsretning gøres dette som det første. Dette gøres ved brug af retningsinformationen, hvor der for veje, som går øst-vest, gælder, at 0°–180° er vestlig kørselsretning og 180°–360° er østlig kørselsretning. Dette resulterer i, at data er opdelt i to exceldokumenter for hver af de tre veje, hvor hvert exceldokument er opdelt månedsvis i ark. Da data ønskes opdelt ift. segmenter og ikke måneder, skal der for hver måned trækkes data ud for hvert segment på alle strækningerne, og dataene for hvert segment samles således i separate ark i et exceldokument. Da dette er en langsommelig proces vælges det, at dette kun gøres for de segmenter, som tilhører en kurve. Derudover er MATLAB[3] anvendt til sorteringen, hvilket ligeledes letter processen.

Resultatet er i alt 36 exceldokumenter – en for hver af de i alt 18 kurver i hver retning. Exceldokumenterne er vedlagt i bilag E.6 (s. 93).

Ud fra disse data bliver der beregnet fraktiler og middelværdi for alle segmenter. I tabel 4.1 er vist et eksempel på dette med den tilhørende kurve, som er vist på figur 4.5.



Figur 4.5: Segmentopdeling af kurve 1 på Stokbrohedevej/Faurholtvej. [COWI, 2016]*

[3]MATLAB er en softwarepakke som er udviklet til visualisering af data samt numeriske beregninger.

Fraktil	Segment 1	Segment 2	...	...	...	Segment 14	Segment 15	Minimum
100 %	83,0	82,0	...	...	...	83,0	85,0	**82,0**
95 %	76,0	76,0	...	...	...	78,0	77,1	**75,0**
90 %	74,0	74,0	...	...	...	77,0	77,0	**74,0**
85 %	73,0	74,0	...	...	...	76,0	76,0	**73,0**
...	...	...	...	...	...	...	...	**...**
...	...	...	...	...	...	...	...	**...**
...	...	...	...	...	...	...	...	**...**
10 %	61,3	61,0	...	...	...	61,3	62,0	**60,0**
5 %	59,0	59,2	...	...	...	59,2	59,9	**57,8**
0 %	47,0	46,0	...	...	...	46,0	46,0	**32,0**
Middel	68,4	68,4	...	...	...	70,0	69,6	**67,4**

Tabel 4.1: Koncept for opstilling af fraktiler og middelværdi for alle segmenter i en kurve. Eksemplet svarer til kurve 1 på Stokbrohedevej/Faurholtvej.

Tabel 4.1 skal læses, således den beregnede hastighed ved 85 %-fraktilen under segment 2 svarer til, at 85 % af turene på segment 2 er kørt med 74 km/t eller mindre. Det betyder, at der for hvert fraktil er beregnet en hastighed for alle segmenter gennem kurven. For hver af disse fraktiler er der i den sidste kolonne angivet den laveste hastighed, som er beregnet for den pågældende fraktil. For 85 %-fraktilen gælder det, at den laveste hastighed, som er beregnet, er 73 km/t. Det er således denne hastighed, som det vurderes, at 85 % af bilisterne vil vælge at decelerere til for den pågældende kurve. Disse minimumshastigheder sammenlignes i analysen med de minimumshastigheder, som blev vurderet ift. tryghed og komfort.

Nederst i tabel 4.1 (s. 29) er middelhastigheden for hvert segment blevet beregnet, og den laveste middelhastighed er ligeledes angivet. Denne hastighed bliver også sammenlignet med trygheds- og komfortvurderingerne.

4.2.4 Analyse

I følgende afsnit vil det blive undersøgt, om der er nogen sammenhæng mellem de vurderede trygge og komfortable hastigheder og FCD. Der vil blive set på forskellige fraktiler i datasættet samt intervaller omkring disse fraktiler. Derudover vil der blive vurderet på middelværdien for FCD. Sidst vil der blive set på mulige sammenhænge mellem hastigheder og radius både for egne indsamlede data og FCD.

Fraktiler

For alle kurver er hvert femte fraktil for FCD hastighederne blevet beregnet jf. tabel 4.1. Det vil sige, at 100 %-fraktilen, 95 %-fraktilen, 90 %-fraktilen osv. er blevet beregnet ned til 0 %-fraktilen. I tabel 4.2 (s. 30) er alle kurverne listet med angivelse af den vurderede trygge og komfortable hastighed samt angivelse af den fraktil for FCD og tilhørende hastighed, som ligger tættest på den trygge og komfortable hastighed. Stokbrohedevej/Faurholtvej angives med S/F, Støvringvej/Kærvej med S/K og Jordemodervej med J.

Vej	Kurvenr.	Retning	Radius [m]	Egne data [km/t]	FCD [km/t]	Fraktil [%]
S/F	1	Øst	300	57,8	57,8	5
S/F	1	Vest	300	68,0	67,0	90
S/F	2	Øst	20	25,2	27,0	5
S/F	2	Vest	20	26,5	27,0	5
S/F	3	Øst	40	32,2	36,0	5
S/F	3	Vest	40	33,5	37,9	5
S/F	4	Øst	325	69,1	72,0	95
S/F	4	Vest	325	70,3	69,0	95
S/F	5	Øst	275	68,9	69,0	80
S/F	5	Vest	275	70,4	69,0	90
S/F	6	Øst	200	64,0	64,0	35
S/F	6	Vest	200	70,1	70,0	65
S/K	1	Øst	200	54,4	54,0	50
S/K	1	Vest	200	62,7	62,0	45
S/K	2	Øst	180	59,3	59,4	85
S/K	2	Vest	180	54,6	56,6	40
S/K	3	Øst	150	59,0	57,0	100
S/K	3	Vest	150	55,0	54,2	45
S/K	4	Øst	50	49,7	48,5	95
S/K	4	Vest	50	46,5	46,6	40
S/K	5	Øst	30	24,3	24,0	10
S/K	5	Vest	30	25,5	25,4	20
S/K	6	Øst	130	50,7	50,6	60
S/K	6	Vest	130	49,5	49,4	40
J	1	Øst	120	49,9	50,2	15
J	1	Vest	120	49,4	48,8	20
J	2	Øst	230	59,1	61,0	55
J	2	Vest	230	64,6	65,0	75
J	3	Øst	150	59,3	60,0	75
J	3	Vest	150	56,1	57,0	75
J	4	Øst	35	49,4	48,5	75
J	4	Vest	35	35,0	36,0	0
J	5	Øst	45	54,9	53,5	95
J	5	Vest	45	31,6	31,6	15
J	6	Øst	60	49,4	49,1	55
J	6	Vest	60	46,6	47,2	20

Tabel 4.2: Oversigt over sammenhæng mellem egne data og FCD mht. fraktiler.

Tabel 4.2 (s. 30) skal læses således, at når trygheds- og komfortvurderingerne for kurve 1 i vestgående retning på Stokbrohedevej/Fauholtvej giver, at hastigheden bør være 68,0 km/t, så er den beregnede fraktil, som ligger tættest på, 90 %-fraktilen, der svarer til en hastighed på 67,0 km/t. Det er med andre ord 90 %-fraktilen, som bedst beskriver den trygge og komfortable hastighed i den pågældende kurve i den pågældende retning.

Tabel 4.2 viser, at der ikke umiddelbart er nogen klar tendens i FCD ift. hvilken fraktil, der kan benyttes til at bestemme en komfortabel og tryg hastighed ud fra FCD. Derudover er tabel 4.2 også blevet sorteret på anden vis, så det har været muligt at tjekke for andre tendenser. På denne vis er det blevet undersøgt, om fraktilen ændrer sig alt efter størrelsen på kurven, og om det af denne grund vil være muligt at fastlægge to fraktiler for hhv. store og små kurver. Her kan der findes en lille tendens til, at fraktilerne er lavere for kurver med radius under 100 m end for kurver med radius større end 100 m. Dette er dog kun en overordnet tendens, hvor flere af kurverne afviger markant fra denne tendens. Derfor vurderes det ikke muligt at fastlægge brugbare fraktiler ud fra størrelsen af kurverne. Det er også blevet undersøgt, om der er forskel på, om kurven svinger til højre eller venstre, da en kurve mod venstre ofte vil give bedre oversigt og en større radius. Her er resultatet ligeledes, at der ikke er nogen sammenhæng mellem dette og fraktiler. Det kan dog vises, at hastigheden generelt er lidt lavere i højresvingende kurver end i venstresvingende kurver jf. bilag E.7 (s. 93).

I et forsøg på at finde en sammenhæng er det blevet undersøgt, om det er muligt at lave intervaller omkring fraktilerne og derudfra finde en sammenhæng. Der er blevet set på intervallerne ± 10 km/t, ± 10 %, ± 15 % og ± 20 %. Alle beregninger kan findes i bilag E.7 (s. 93). I tabel 4.3 (s. 31) er de maksimale dækningsgrader for de forskellige intervaller angivet. Dækningsgraden er procentdelen af kurverne, hvor den trygge og komfortable hastighed er indeholdt i intervallet. Dette er gældende for de angivede fraktiler. Eksempelvis gælder det for intervallet ± 10 %, at der opnås en dækningsgrad på 39 % ved 70 %-fraktilen og 65 %-fraktilen, mens de resterende fraktiler for dette interval har lavere dækningsgrader.

Interval	Dækningsgrad	Fraktiler
± 10 km/t	69 %	75, 70, 40, 35
± 10 %	39 %	70, 65
± 15 %	56 %	45, 40
± 20 %	67 %	45, 40, 30

Tabel 4.3: Oversigt over den maksimale dækningsgrad ved forskellige intervaller samt angivelse af, hvilke intervaller dette gælder for.

Ud fra tabel 4.3 kan det konkluderes, at det med intervallerne ± 10 km/t og ± 20 % er muligt at beskrive ca. 70 % af kurverne. Det gælder dog for intervallet ± 20 %, at dette kun er muligt for fraktilerne lavere end 50 %, hvilket betyder, at der er tale om hastigheder, som er blevet benyttet på under halvdelen af turene. Dette vil være et konservativt valg af hastighed. Til gengæld gør det sig gældende for intervallet ± 10 km/t, at dette giver høje dækningsgrader for både høje og lave fraktiler. I bilag E.7 (s. 93) kan det desuden ses, at alle fraktiler mellem 30 og 80 giver dækningsgrader over 60 % for intervallet på ± 10 km/t.

Middel

Som for fraktilerne er der blevet lavet lignende beregninger for middelværdien jf. tabel 4.1 (s. 29). Her er der umiddelbart ingen sammenhæng mellem middelværdien og den trygge og komfortable hastighed, men det undersøges, om det med intervaller er muligt at påvise en sammenhæng. Beregningerne kan findes i bilag E.7 (s. 93), og i tabel 4.4 fremgår dækningsgraden for de forskellige intervaller. Her gælder det, at dækningsgraden svarer til den procentdel af kurverne, hvis beregnede middelhastigheder er indeholdt i intervallet.

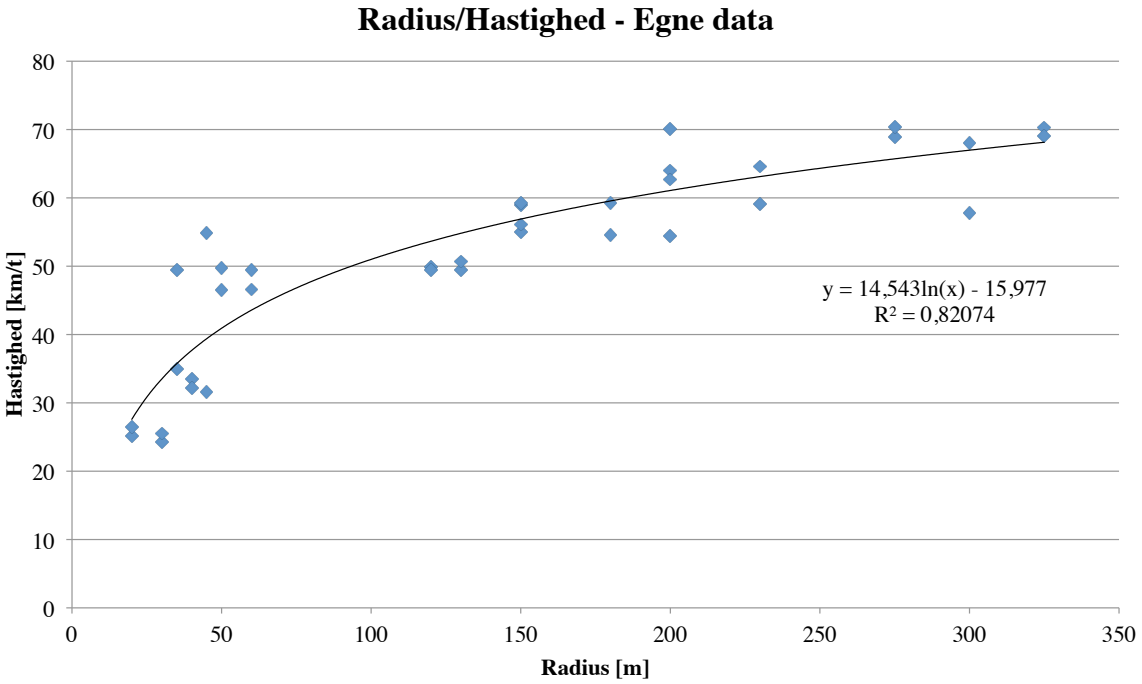
Interval	Dækningsgrad
± 10 km/t	64 %
± 5 %	25 %
± 10 %	33 %
± 15 %	50 %
± 20 %	56 %
± 25 %	72 %

Tabel 4.4: Oversigt over dækningsgraden for intervaller omkring middelværdien.

Ud fra tabel 4.4 fremgår det, at intervallerne ± 10 km/t og ± 25 % giver dækningsgrader, som er sammenlignelige med beregningerne for intervaller ved brug af fraktiler. Intervallet ± 20 % giver dog en mindre dækningsgrad end det tilsvarende interval for fraktiler. Det må derfor konkluderes, at intervallerne omkring fraktilerne er bedre end intervallerne omkring middelværdien.

Sammenhæng mellem radius og hastighed

Som et alternativ til at fastlægge hastighederne direkte ud fra FCD, undersøges det, om det er muligt at konkludere noget generelt om hastigheden ud fra radius på kurven. Dette vil være en forsimplet måde at fastlægge hastighederne i kurverne på uden, at det er nødvendigt at indsamle data for alle veje. Sammenhængen er først undersøgt for de vurderede trygge og komfortable hastigheder, hvor især vurdering af komforten bør betyde, at der er en sammenhæng mellem radius og hastighed. På figur 4.6 er sammenhængen vist.



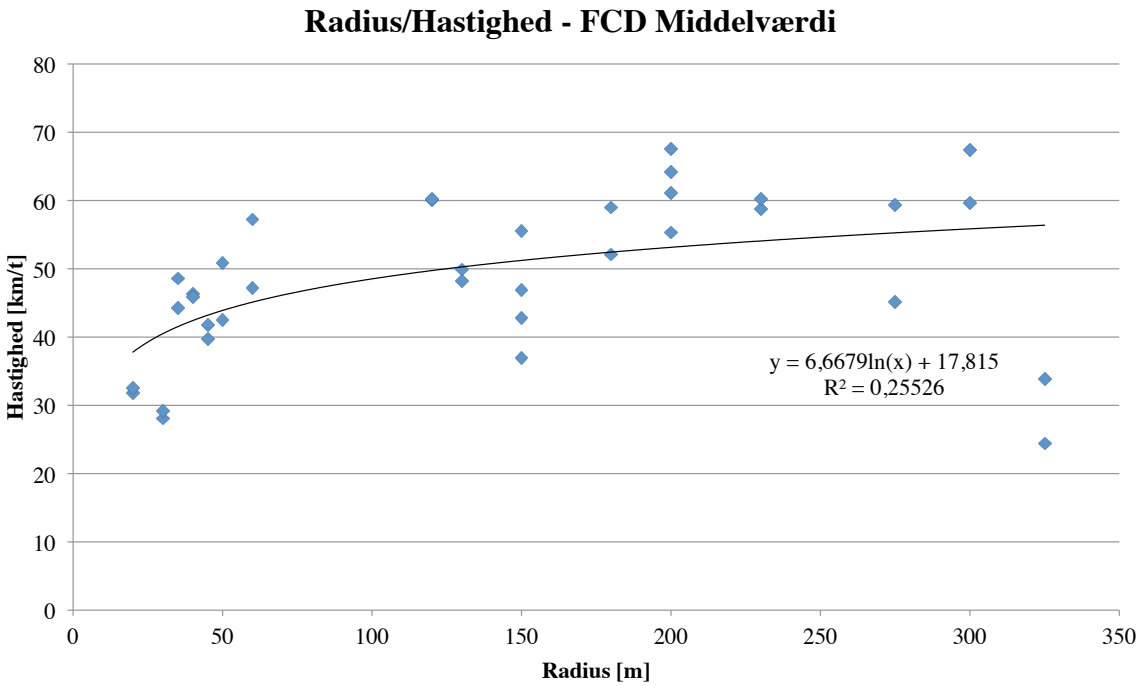
Figur 4.6: Sammenhæng mellem egne indsamlede data om trygge og komfortable hastigheder og radius.

Ud fra figur 4.6 kan der påvises en klar sammenhæng mellem hastighed og radius. Sammenhængen kan beskrives ved følgende logaritmiske funktion, hvor konstanten -16 er hastigheden v for radius R lig med 1, mens 15 har betydning for, hvor stejl funktionen er. Konstanterne er blevet afrundet ift. hvad der fremgår af figur 4.6.

$$v = 15 \cdot ln(R) - 16 \tag{4.1}$$

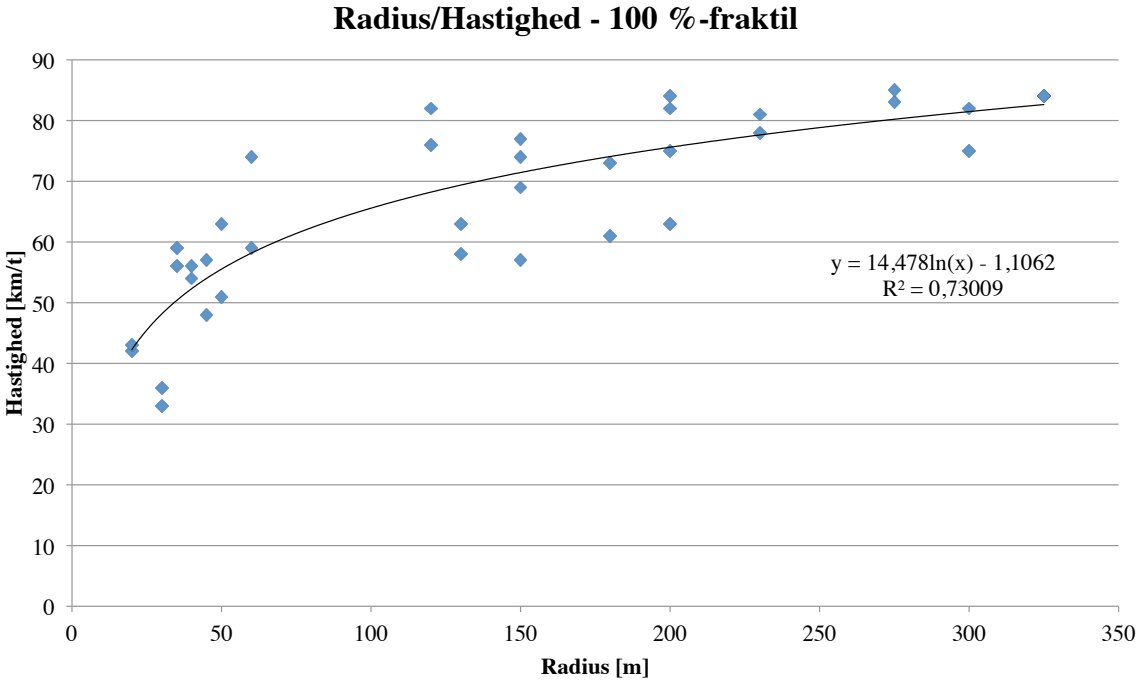
Den logaritmiske funktion er valgt frem for lineær-, eksponentiel- og potensfunktioner, da den logaritmiske funktion gav den højeste R^2-værdi. En polynomisk funktion kunne i nogle tilfælde give en højere R^2-værdi, men denne funktion giver, at hastigheden i starten ganske rigtigt vil stige, når radius bliver større, men at hastigheden ender med at falde igen, når radius fortsætter med at blive større.

Sammenhængen undersøges ligeledes ved brug af FCD, hvor både middelværdien og fraktiler benyttes. Figur 4.7 (s. 34) viser sammenhængen mellem hastigheden for middelværdierne og radius.

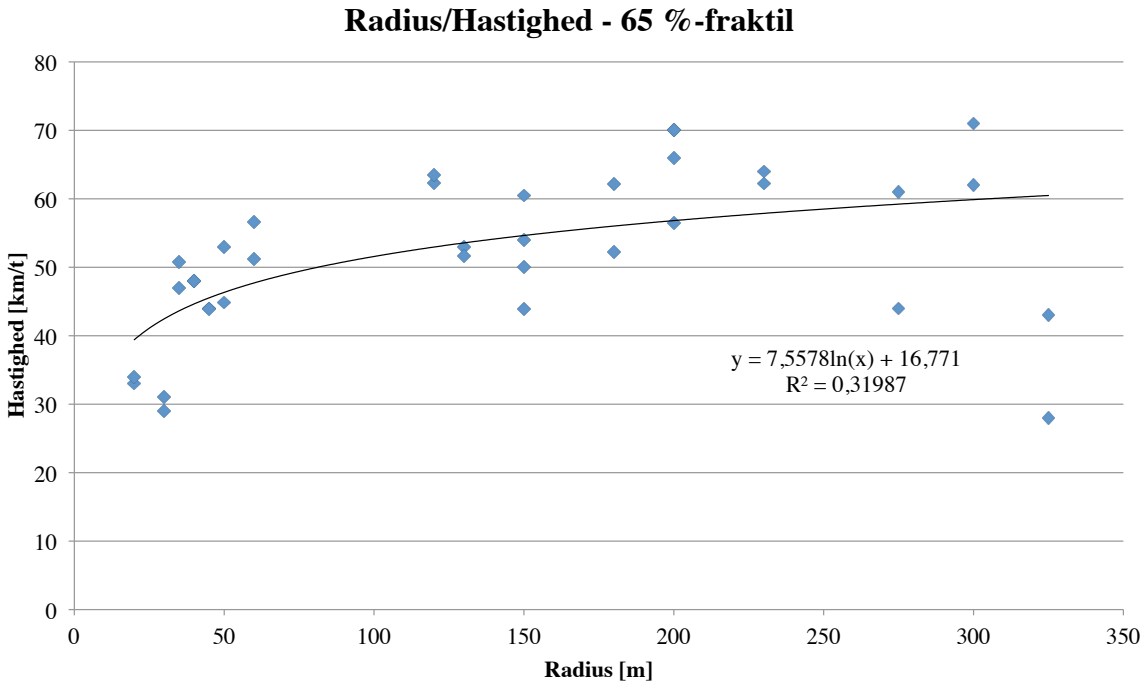


Figur 4.7: Sammenhæng mellem hastighed for middelværdi beregnet ud fra FCD og radius.

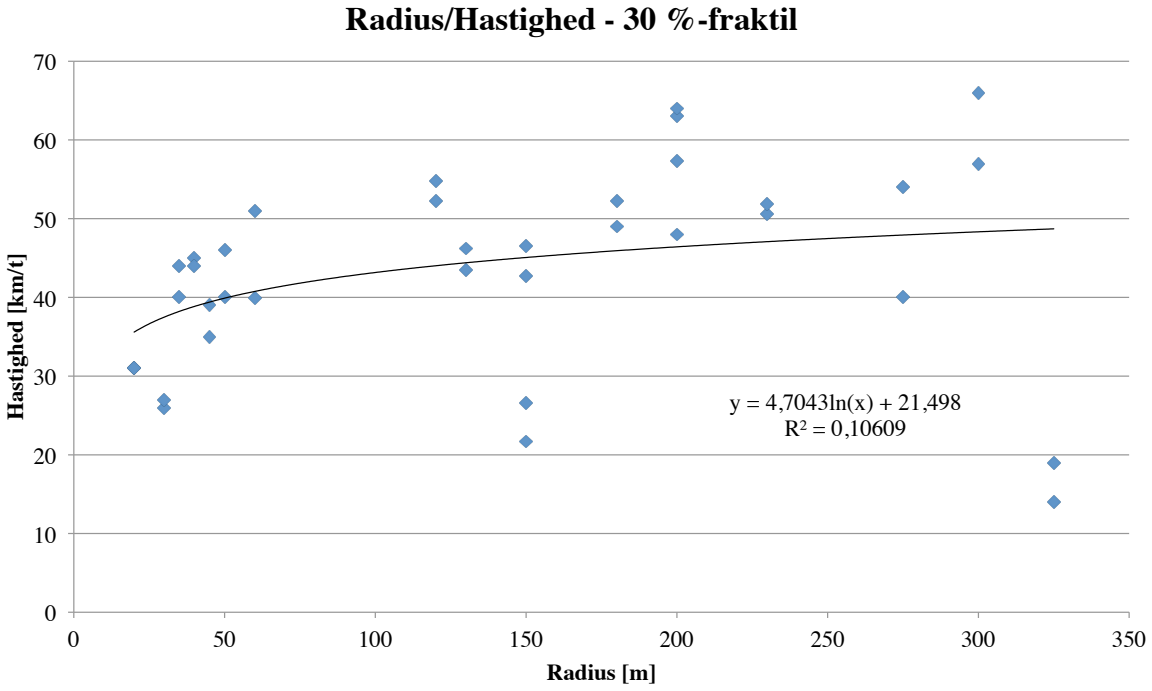
Som det fremgår af figur 4.7 er værdien for R^2 lav, og der er dermed ikke nogen god sammenhæng mellem radius og middelværdi. Sammenhængen er ligeledes beregnet for alle fraktiler. Figur 4.8, 4.9 og 4.10 viser graferne for hhv. 100 %-fraktilen, 65 %-fraktilen og 30 %-fraktilen.



Figur 4.8: Sammenhæng mellem hastighed for 100 %-fraktil beregnet ud fra FCD og radius.



Figur 4.9: Sammenhæng mellem hastighed for 65 %-fraktil beregnet ud fra FCD og radius.



Figur 4.10: Sammenhæng mellem hastighed for 30 %-fraktil beregnet ud fra FCD og radius.

De resterende grafer kan findes i bilag E.7 (s. 93). Heraf fremgår det tydeligt, at værdien for R^2 er lavere for lave fraktiler end for høje, som det også kan ses ud fra figur 4.8 (s. 34), 4.9 (s. 35) og 4.10 (s. 35). Sammenhængen mellem hastighed og radius er dermed bedst for 100 %-fraktilen, hvor sammenhængen kan beskrives ved følgende logaritmiske formel. Konstanterne er hhv. blevet afrundet og udeladt grundet dataenes usikkerheder.

$$v = 14 \cdot ln(R) \tag{4.2}$$

Sammenlignes udtrykkene for hhv. egne indsamlede data og 100 %-fraktilen fra FCD kan det ses, at sammenhængen mellem hastighed og radius er næsten den samme jf. formel 4.1 og formel 4.2. Det vurderes derfor, at denne sammenhæng er en god beskrivelse af forholdet mellem hastighed og radius.

Resultater fra et tidligere beskrevet studie jf. Turner et al. [2015] viser, at der er sammenhæng mellem hastighed og kurveradius. I Turner et al. [2015] blev det vist, at der under kurveradier på 100 m forekommer en hastighed på under 55 km/t, og en radius på 20 m medfører en hastighed på 30 km/t. Samme sammenhæng kan findes i dette projekt, hvor der dog ikke foretaget kørsler i kurver med radius på 100 m, men hastigheder på under 55 km/t opleves for egne data ved radier på omkring 50 m jf. figur 4.6 (s. 33) og ved endnu mindre radier for FCD jf. figur 4.8 (s. 34). Forskellen mellem undersøgelserne i dette projekt og Turner et al. [2015] kan skyldes, at undersøgelserne, som ligger til grund for resultaterne i Turner et al. [2015] har været under andre forudsætninger end i dette projekt.

Som det er beskrevet, viser bearbejdning af egne data og FCD en logaritmisk sammenhæng mellem kurveradius og kørt hastighed jf. figur 4.6 (s. 33) og figur 4.8 (s. 34). Denne sammenhæng er også fundet af Porter et al. [2012] og kan ses på figur 3.1 (s. 10), hvor kørt hastighed på tosporede veje i åbent land (Operating Speed, rural two-lane) er vist med blå streg. Grafen er vist for kurver med radius op til 1000 m (3000 ft), hvormed det kun er første del (0-1000 ft) af denne graf, som er interessant at sammenligne figur 4.6 (s. 33) og figur 4.8 (s. 34) med. Sammenligning viser, at hastighederne kan beskrives med en logaritmisk linje, dog er hastighederne på figur 3.1 (s. 10) højere end på figur 4.6 (s. 33) og figur 4.8 (s. 34). Dette kan igen skyldes, at undersøgelserne, som ligger til grund for denne graf, har været under andre forudsætninger end i dette projekt.

4.2.5 Delkonklusion

Samlet set konkluderes det, at FCD ikke kan benyttes direkte ved brug af fraktiler eller middelværdi fra datasættet til en hastighedskortlægning af vejnettet ift. passagerer i selvkørende biler. Det er dog muligt at beskrive op mod 70 % af kurverne, hvis intervallet ± 10 km/t benyttes. Intervallet vurderes dog at være så stort, at det vil være svært at lave et hastighedskort ud fra dette. Til gengæld er der en tydelig sammenhæng mellem hastighed og radius, som vil kunne benyttes til at fastlægge hastigheder i kurver, hvor det vælges, at benytte udtrykket for 100 %-fraktilen for FCD jf. formel 4.2, da FCD vurderes at være mere korrekt end egne indsamlede data. Her bliver der dog kun taget højde for radius, hvorimod en direkte brug af FCD vil give en vurdering af både vej og omgivelser. Sammenlignes denne rapports udtryk for sammenhængen mellem radius og hastighed med figur 3.1 (s. 10), kan det ses, at der er en sammenhæng, men at værdierne er højere på figur 3.1 (s. 10). Rapportens udtryk giver, at

ved en radius på 457 meter bør hastigheden være 86 km/t, mens figur 3.1 (s. 10) giver en hastighed på 96 km/t ved samme radius. Ligeledes giver en radius på 152 meter hastigheder på hhv. 70 km/t og 80 km/t. Der er dog visse forbehold, som bør diskuteres ift. disse resultater herunder kvaliteten af data. Dette vil blive diskuteret i kapitel 5 (s. 51).

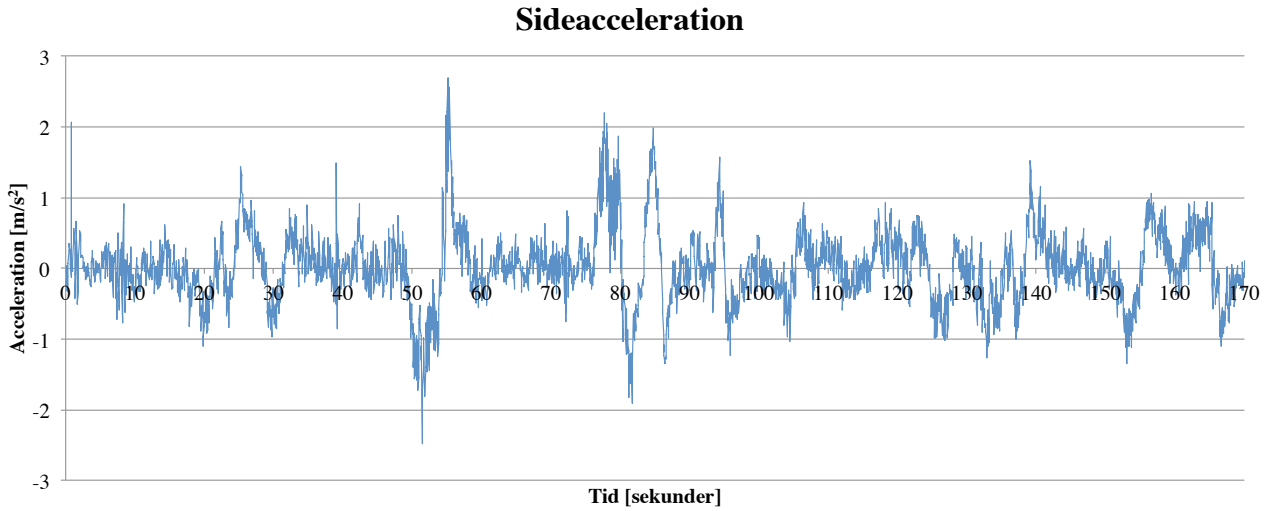
4.3 Accelerometerdata

Som tidligere nævnt anvendes appen "Power Sense" til registreringer af accelerationsdata. Under kørslen blev iPhonen tilsluttet strømforsyning og placeret fastspændt i bilen, hvor den lå vandret med bunden af telefonen i kørselsretningen. Data er vedlagt i bilag E.8 (s. 94).

4.3.1 Databehandling

I dette afsnit er gennemgangen og behandlingen af accelerometerdataene for første testkørsel ved Stokbrohedevej/Faurholtvej vist. Metoden hertil er benyttet for alle veje. Bilag B (s. 83) består af fire grafer for første testkørsel ved Stokbrohedevej/Faurholtvej, hvor de første tre grafer viser hhv. sideaccelerationer, accelerationer i kørselsretningen og lodret acceleration.

Målinger af sideaccelerationer foretaget med appen ved testkørsel af Stokbrohedevej/Faurholtvej med forsøgt hastighed på 80 km/t er vist på figur 4.11. Figuren viser sideaccelerationer for hele testkørslen, hvor målingernes udsving indikerer skarpe sving omkring 50-60 sekunder og 75-90 sekunder inde i kørslen, hvilket må konkluderes at være sideaccelerationer for kurve 2 og kurve 3. Andre kurver på vejen kan ligeledes anes omkring 20-30 sekunder og 155-165 sekunder inde i kørslen.

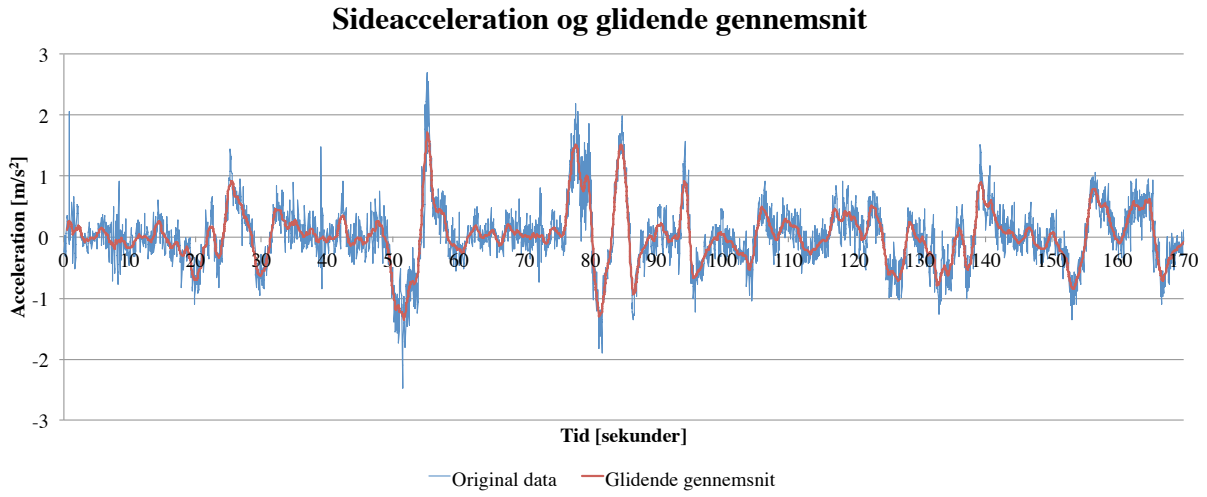


Figur 4.11: Sideaccelerationsdata for første testkørsel på Stokbrohedevej/Faurholtvej.

Som grafen viser, er der store udsving i målingerne, og dette billede går igen for målinger foretaget med andre hastigheder og på andre veje. Nogle af udsvingene skyldes kurver, hvilket er forventet, mens andre udsving kan skyldes ujævnheder på vejen, modkørende biler og fejl grundet appens følsomhed. Eventuelle modkørende biler har ingen betydning for målinger på figur 4.11 (s. 37), da der ved hver

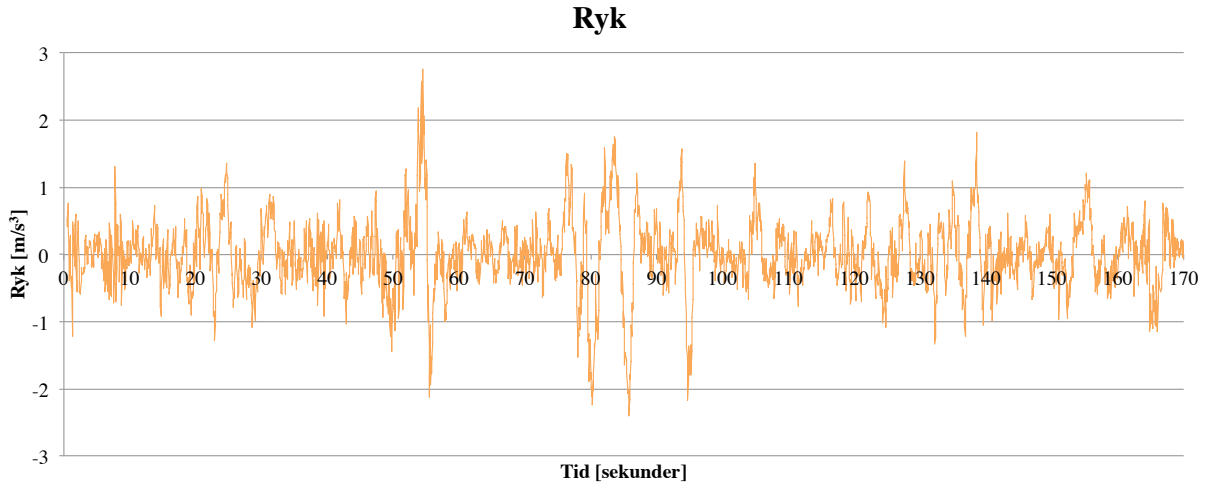
kørsel er noteret de tilfælde, hvor der har været modkørende biler, hvilket der ikke blev ved første testkørsel. Stokbrohedevej/Faurholtvej er i god stand jf. bilag A (s. 65), hvormed udsving i sideaccelerationerne ikke alene skyldes vejens ujævnheder, hvilket også kan ses på grafer for lodret acceleration, som er vedlagt i bilag B (s. 83).

Beregning af ryk med udgangspunkt i originaldata giver værdier fra $-46{,}6\,\mathrm{m/s^3}$ til $43{,}3\,\mathrm{m/s^3}$, hvilket som forventet er urealistiske store værdier, hvorfor det vælges at udjævne data vha. glidende gennemsnit, som blev gennemgået i afsnit 3.3.3 (s. 21). Grafen på figur 4.11 (s. 37) er gengivet på figur 4.12, hvor den røde linje angiver det glidende gennemsnit.



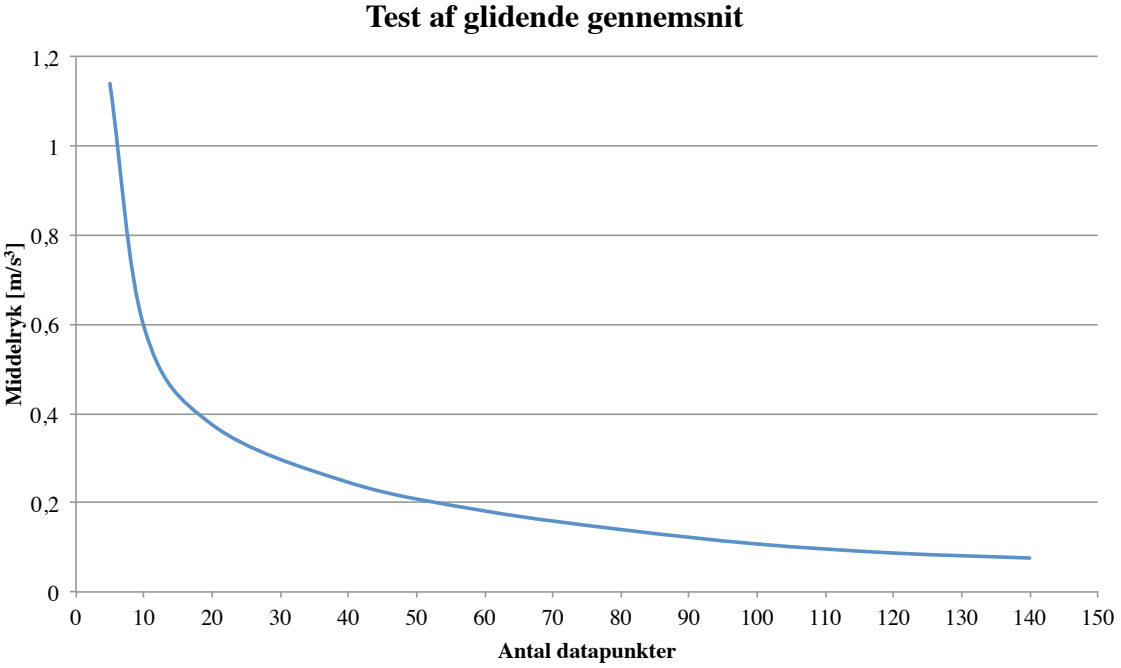
Figur 4.12: Originale sideaccelerationsdata og glidende gennemsnit for første testkørsel på Stokbrohedevej/Faurholtvej.

Det glidende gennemsnit på grafen viser, at uforklarlige udsving i data er udjævnet, hvormed beregningen af ryk kan foretages igen på baggrund af det glidende gennemsnit og ikke af originale data. De beregnede ryk for Stokbrohedevej/Faurholtvej for første testkørsel er vist på figur 4.13.



Figur 4.13: Ryk beregnet på glidende gennemsnit for første testkørsel på Stokbrohedevej/Faurholtvej.

Rykkene for denne kørsel ligger i intervallet $-2{,}4\,\mathrm{m/s^3}$ til $2{,}8\,\mathrm{m/s^3}$, hvilket virker mere realistisk end de tidligere beregnede værdier på $-46{,}6\,\mathrm{m/s^3}$ til $43{,}3\,\mathrm{m/s^3}$. Dermed kan der ses tydelig effekt ved brugen af glidende gennemsnit til at rydde ud i data. Det glidende gennemsnit bliver beregnet ud fra 20 datapunkter, men foretages beregningen med et færre antal datapunkter, forekommer der større værdier for ryk, og hvis der regnes glidende gennemsnit for flere datapunkter, forekommer der lavere værdier for ryk. Dette er vist på figur 4.14, hvor betegnelsen middelryk beskriver middelværdien af de numeriske værdier for alle ryk beregnet for en enkelt kørsel. Dette er gjort ved først at beregne ryk med udgangspunkt i accelerationsdata beregnet med glidende gennemsnit med forskellige antal datapunkter. Herefter er den numeriske værdi af rykkene brugt til at beregne middelværdien for denne kørsel. På grafen sættes middelrykket for hver kørsel ift. antallet af anvendte datapunkter.



Figur 4.14: Middelryk ift. antal datapunkter for første testkørsel på Stokbrohedevej/Faurholtvej.

Middelrykket er beregnet med forskelligt antal datapunkter fra 5 til 140. Grafen viser, at antallet af datapunkter påvirker det glidende gennemsnit i forskellig grad, og at sammenhængen kan beskrives med en potenslinje. Linjen viser, at værdien af middelrykket aftager meget omkring 10 datapunkter, og at omkring 100 datapunkter og op efter er der ikke stor forskel i middelrykket. Ved brug af et stort antal datapunkter er det vigtigt at huske, at denne oprydning af det originale datasæt medfører en ændring af data og dermed en ændring af resultater beregnet på disse data. For at opnå acceptable ryk, som svarer til anbefalingen på $0{,}5\,\mathrm{m/s^3}$, kan det kræve op til 150 datapunkter, hvilket indikerer, at kvaliteten af data er for dårlig til at kunne benyttes.

Figur 4.13 viser, at der omkring 50-60 sekunder og 75-90 sekunder inde i kørslen forekommer forholdsvis store værdier af ryk. Disse områder er identificeret til at være der, hvor kurve 2 og kurve 3 gennemkøres. Disse kurver har de mindste radier på vejen på hhv. 20 m og 40 m sammenlignet med de resterende kurver, hvor den mindste har en radius på 200 m. Dette billede med tydelige ryk omkring kurve 2 og

kurve 3 og knap så tydelige ryk ved de andre kurver er gennemgående for målingerne foretaget på alle testkørslerne på Stokbrohedevej/Faurholtvej. Dermed er det svært at skelne kurver med store og lige strækninger fra hinanden, da der ved de lige strækninger også er målt sideaccelerationer, som når grænseværdien for ryk på 0,5 m/s^3. Dette kan bl.a. ses 60-75 sekunder inde i kørslen på figur 4.13. Dermed bør vurderinger af komfort ift. radius og hastighed kun foretages i kurve 2 og kurve 3, da det kan tænkes, at eventuelle rystelser i bilen har fået betydning for målingerne.

Rykkene er beregnet med udgangspunkt det glidende gennemsnit jf. formel 3.4 (s. 23) med 20 datapunkter, hvor rykket får enheden m/s^3. De kørte hastigheder er angivet i km/t. Der er opgivet minimums- og maksimumsværdier for ryk ved hver testkørsel i hver retning. For kurve 2 er tryg og komfortabel kørsel opnået ved kørsel 13 i retning mod vest og kørsel 14 i retning mod øst jf. tabel 4.5 og tabel 4.6. For kurve 3 er tryg og komfortabel kørsel opnået ved kørsel 9 i retning mod vest og kørsel 10 i retning mod øst jf. tabel 4.7 og tabel 4.8.

Kørsel	Minimum	Maksimum	Kørt hastighed
1	-2,1	2,8	31,2
3	-1,8	2,3	27,7
5	-2,6	4,7	29,4
7	-2,1	4,2	32,3
9	-3,6	4,5	33,7
11	-2,2	3,0	29,8
13	-1,3	1,4	26,5

Tabel 4.5: Minimums- og maksimumsværdier for ryk med enheden m/s^3 i kurve 2 i retningen mod vest.

Kørsel	Minimum	Maksimum	Kørt hastighed
2	-3,6	2,8	29,0
4	-3,5	3,0	27,0
6	-3,8	2,9	29,4
8	-4,6	4,1	28,0
10	-5,7	4,7	33,0
12	-3,6	2,6	29,4
14	-2,4	1,1	25,2

Tabel 4.6: Minimums- og maksimumsværdier for ryk med enheden m/s^3 i kurve 2 i retningen mod øst.

Kørsel	Minimum	Maksimum	Kørt hastighed
1	-2,4	1,8	38,9
3	-1,8	1,7	39,0
5	-2,7	2,4	39,8
7	-3,0	3,0	36,0
9	-4,1	3,3	33,5
11			
13			

Tabel 4.7: Minimums- og maksimumsværdier for ryk med enheden m/s^3 i kurve 3 i retningen mod vest.

Kørsel	Minimum	Maksimum	Kørt hastighed
2	-1,8	2,2	36,8
4	-2,1	3,1	37,7
6	-3,4	3,8	36,0
8	-1,5	2,1	37,7
10	-5,8	2,5	32,2
12			
14			

Tabel 4.8: Minimums- og maksimumsværdier for ryk med enheden m/s^3 i kurve 3 i retningen mod øst.

I tabel 4.7 og tabel 4.8 er der enkelte tomme celler, hvilket skyldes, at der ikke er målt accelerationer for denne kurve, da den trygge og komfortable hastighed var opnået ved tidligere målinger. Teoretisk forventes det, at der med højere hastighed er målt højere værdier af ryk sammenlignet med lav hastighed jf. tabel 3.4 (s. 22). Derfor rangeres rykkene ud fra højest kørte hastighed, hvilket kan ses i tabel 4.9, 4.10, 4.11 og 4.12.

Kørsel	Minimum	Maksimum	Kørt hastighed
9	-3,6	4,5	33,7
7	-2,1	4,2	32,3
1	-2,1	2,8	31,2
11	-2,2	3,0	29,8
5	-2,6	4,7	29,4
3	-1,8	2,3	27,7
13	-1,3	1,4	26,5

Tabel 4.9: Minimums- og maksimumsværdier for ryk med enheden m/s^3 i kurve 2 i retningen mod vest.

Kørsel	Minimum	Maksimum	Kørt hastighed
10	-5,7	4,7	33,0
6	-3,8	2,9	29,4
12	-3,6	2,6	29,4
2	-3,6	2,8	29,0
8	-4,6	4,1	28,0
4	-3,5	3,0	27,0
14	-2,4	1,1	25,2

Tabel 4.10: Minimums- og maksimumsværdier for ryk med enheden m/s^3 i kurve 2 i retningen mod øst.

Kørsel	Minimum	Maksimum	Kørt hastighed
5	-2,7	2,4	39,8
3	-1,8	1,7	39,0
1	-2,4	1,8	38,9
7	-3,0	3,0	36,0
9	-4,1	3,3	33,5
11			
13			

Tabel 4.11: Minimums- og maksimumsværdier for ryk med enheden m/s^3 i kurve 3 i retningen mod vest.

Kørsel	Minimum	Maksimum	Kørt hastighed
8	-2,1	3,1	37,7
4	-1,5	2,1	37,7
2	-1,8	2,2	36,8
6	-3,4	3,8	36,0
10	-5,8	2,5	32,2
12			
14			

Tabel 4.12: Minimums- og maksimumsværdier for ryk med enheden m/s^3 i kurve 3 i retningen mod øst.

Sorteringen efter hastighed viser, at der for kørslerne i kurve 2 generelt er en tendens til, at den højeste hastighed medfører det største ryk. Dog er der enkelte tilfælde som eksempelvis ved kørsel 5 i retningen mod vest, hvor det største ryk er målt ved den anden laveste hastighed, hvilket ikke er forventet. Det samme kan ses for kørsel 8 i retningen mod øst, hvor der ved den tredjelaveste hastighed er målt forholdsvist store ryk ift. kørsler med højere hastighed. Disse uregelmæssigheder kan eksempelvis skyldes en ændring i måden at gennemkøre kurverne på. For kørslerne i kurve 3 er billedet dog ikke det samme. Her ses der ingen klare tendenser til at høje hastigheder medfører store ryk, hvilket især kan ses for de to laveste hastigheder målt for begge retninger ved hhv. kørsel 9 og kørsel 10. Disse to kørsler er begge vurderet til at være komfortable og trygge kørsler for føreren og passageren, hvilket ikke hænger sammen med, at de har nogle af de største værdier i ryk. Samme tabeller for Kærvej/Støvringvej og Jordemodervej kan ses i bilag C (s. 85). Resultaterne viser også, at målingerne foretaget med accelerometeret er meget varierende alt efter hvilke kurver, der gennemkøres. Samtidig viser resultaterne, at selv ved komfortabel og tryg kørsel forekommer der ryk, som overskrider grænseværdien på $0{,}5\,m/s^3$. Dette understreger, at på trods af en større oprydning af målingerne opnås der stadig ikke den forventede sammenhæng mellem hastighed og ryk.

4.3.2 Diskussion

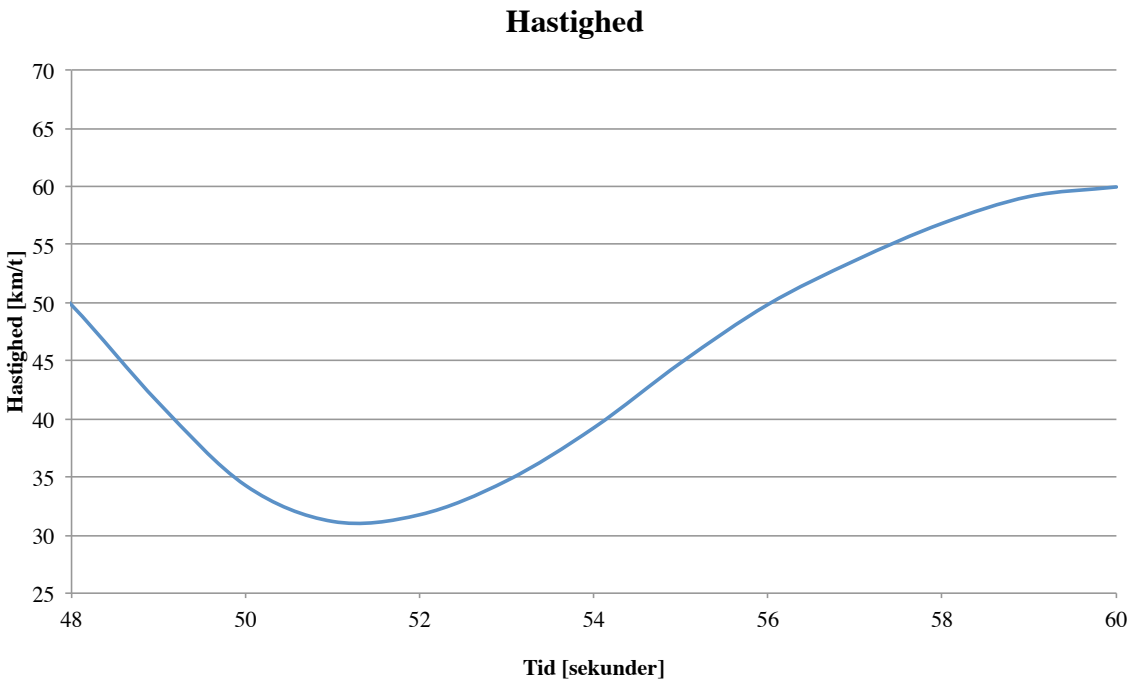
Som det løbende i dette afsnit er beskrevet, er accelerometerdata til fastlæggelse af ryk ikke af høj nok kvalitet til at beregne forekomne ryk under kørslen. Dette skyldes støj, som giver store usikkerheder

i data. Anvendelse af forskelligt antal datapunkter til forbedring af data er undersøgt jf. figur 4.12 (s. 38), hvor det vises, at jo flere datapunkter, der anvendes til forbedring, jo lavere bliver de beregnede ryk. På denne måde kan der opnås ønskede værdier for ryk, men der kan ikke beregnes de faktiske oplevede ryk under kørslerne, da det glidende gennemsnit til forbedring af data ændrer i størrelsen på rykkene. Dermed opstår der uvished om det bedste antal af datapunkter til forbedring af data, da der ikke er konkrete værdier for ryk at gå ud fra. Det er muligt at bestemme størrelsen på ryk vha. en InnBox jf. ITS Platform [2016], som kan måle ryk under kørslen, men sådan en enhed var ikke til rådighed.

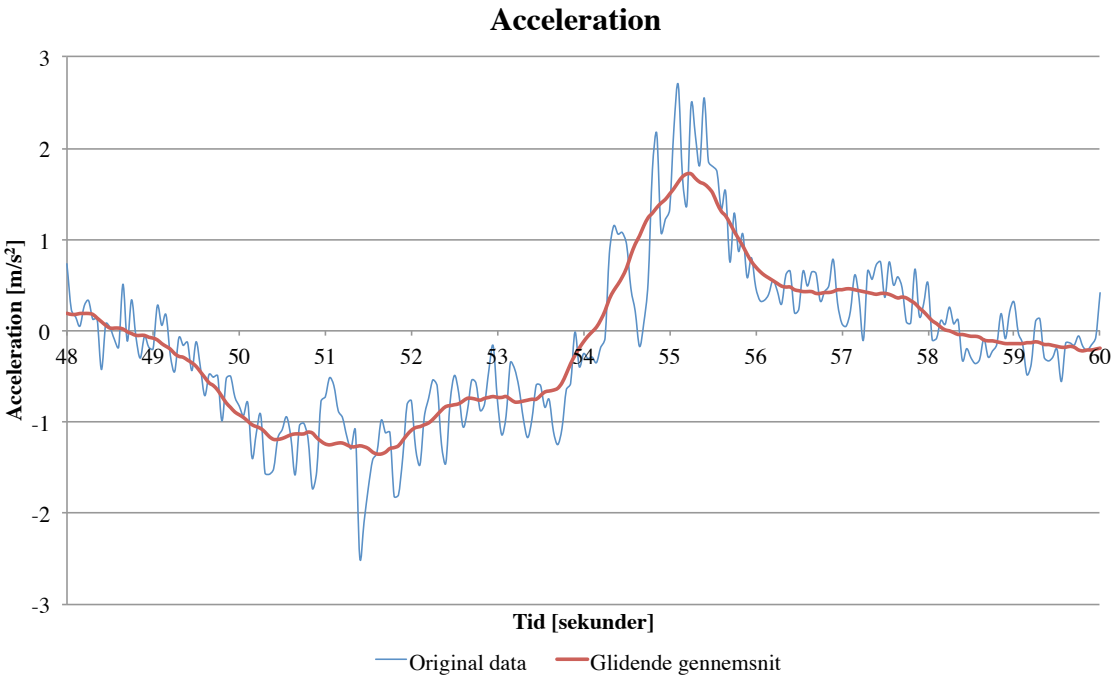
Samtidig er det forventet, at kørselsretningen vil påvirke størrelsen på rykkene, da størrelsen af kurvernes radier varierer alt efter om, der køres mod øst eller vest. Dette er ikke entydigt for alle målingerne, hvilket kan skyldes, at ændringen af radius i nogle af kurverne er minimal. Det kan dog ses, at kørslerne i kurve 2 i retningen mod øst har både de største og mindste værdier af ryk ift. retningen mod vest på trods af, at der i den anden retning køres i en større radius.

Sammenhæng mellem hastighed, acceleration og ryk

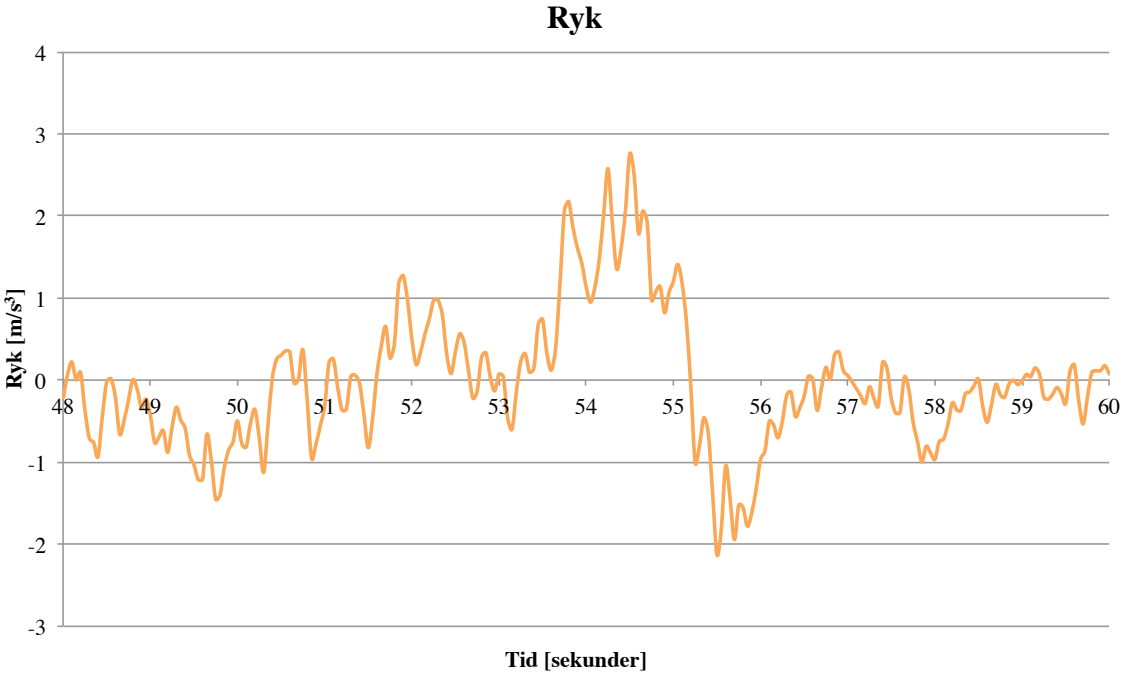
Hastigheder, accelerationer og ryk for kurve 2 ved kørsel 1 på Stokbrohedevej/Faurholtvej er vist på hhv. figur 4.15, 4.16 og 4.17. På figur 4.15 ses hastigheden i kurve 2 for kørsel 1, hvor den laveste hastighed i kurven er 31,2 km/t beregnet ud fra egne data. Figur 4.16 viser sideaccelerationer i form af originaldata og data beregnet vha. glidende gennemsnit, og figur 4.17 viser ryk beregnet med udgangspunkt i glidende gennemsnit data. Sammenhængen mellem figurerne forventes at se ud som på figur 3.8 (s. 23), men dette er ikke tilfældet.



Figur 4.15: Hastighed i kurve 2 ved kørsel 1 på Stokbrohedevej/Faurholtvej.



Figur 4.16: Sideacceleration i kurve 2 ved kørsel 1 på Stokbrohedevej/Faurholtvej.



Figur 4.17: Ryk i kurve 2 ved kørsel 1 på Stokbrohedevej/Faurholtvej.

Figur 4.16 viser, at accelerationsdataene for kurven forekommer som to toppe med negative og positive værdier. Som tidligere nævnt er det fortegnet på accelerationsdataene, som fortæller om det er en højresvingende eller venstresvingende kurve. Her gælder det, at negative værdier er målingerne foretaget i venstresving, mens positive værdier er foretaget i højresving. Formen på grafen fortæller

dermed, at der i denne kurve også forekommer et højresving, selvom kurven er et venstresving. Den første negative top skyldes hiv i rattet som en del af kørslen ind i kurven, hvorefter der rettes modsat op på vej ud af kurven, hvilket dermed resulterer i sideaccelerationer med positive værdier.

Det uforventede ved figur 4.16 (s. 43) er formen på grafen i selve kurven. Her viser grafen, at der i kørslen er blevet hevet mere og mere i rattet for så direkte at dreje den anden vej. Dette har ikke været den planlagte eller forsøgte kørestil, hvilket igen kan tyde på, at accelerometeret er meget følsomt. Det er forventet, at sideaccelerationen vil stige ved overgangen mellem lige strækning og kurve, være konstant i kurven og falde igen ved overgangen mellem kurve og lige strækning. Dette kan dog ikke ses på figur 4.16 (s. 43).

Rykket på figur 4.17 (s. 43) er meget ujævnt, hvilket skyldes måden, hvorpå rykket er beregnet. Det er forventet, at grafen vil være mere jævn med start i nul ved kørsel på lige strækninger. Et ryk vil opleves ved overgangen mellem den lige strækning og kurvens begyndelse, herefter vil rykket være nul, indtil kurven overgår til lige strækning igen. Dette er ikke tilfældet, hvorfor værdien af rykket ikke vurderes brugbar.

4.3.3 Delkonklusion

Som forrige afsnit viser, er det forsøgt at behandle og arbejde med accelerometerdata men uden held med at opnå troværdige værdier for ryk under kørslerne.

Accelerationsdataene er som udgangspunkt fyldt med en del forstyrrelser og støj, hvilket kræver en oprydning i dataene vha. glidende gennemsnit. Dog kan denne oprydning ikke hjælpe på at forbedre datakvaliteten tilstrækkelig uanset hvor mange datapunkter, der bliver medtaget i det glidende gennemsnit. Datakvaliteten medfører også, at store radier ikke er blevet undersøgt, da data for disse er meget lig data for lige strækninger. Derfor er kun små kurver blevet undersøgt. På trods af brugen af det glidende gennemsnit giver sammenhængen mellem hastighed og ryk for kurverne ikke teoretisk mening, da det er forventet, at der med høj hastighed også vil være store ryk. Dette er ikke altid tilfældet.

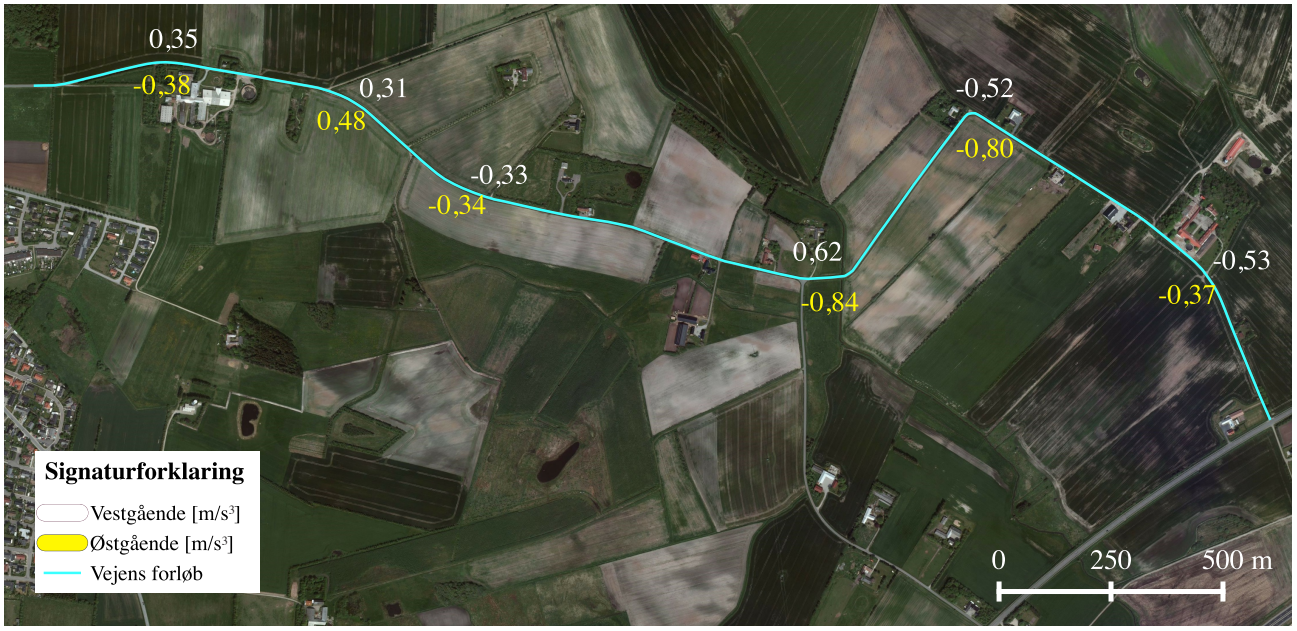
Som gennemgangen af databehandlingen viser, er der mange usikkerheder ved at anvende "Power Sense" til log af accelerationsdata, hvilket også er konkluderet af Agerholm et al. [2011]. Her blev appen "Axelerom" anvendt til log af acceleration og ligeledes uden held. Data er ikke som forventet, hvilket det er forsøgt at rette op på vha. statistiske analysemetoder. Dataenes kvalitet kan skyldes, at accelerometeret er meget følsomt, hvormed selv de mindste rystelser i bilen vil have haft betydning for målingerne. Der forekommer data, som er uventede ift. den oplevede kørestil, hvilket kan tillægges, at føreren af bilen er har holdt den sammen kørestil igennem hele testen. Dog kan det ikke forklare alle dataene. Usikkerheden ved brugen af denne app gør, at det vælges, at der i resten af rapporten ses bort fra accelerationsdataene målt med "Power Sense".

4.4 Accelerationer og ryk beregnet ved brug af egne data

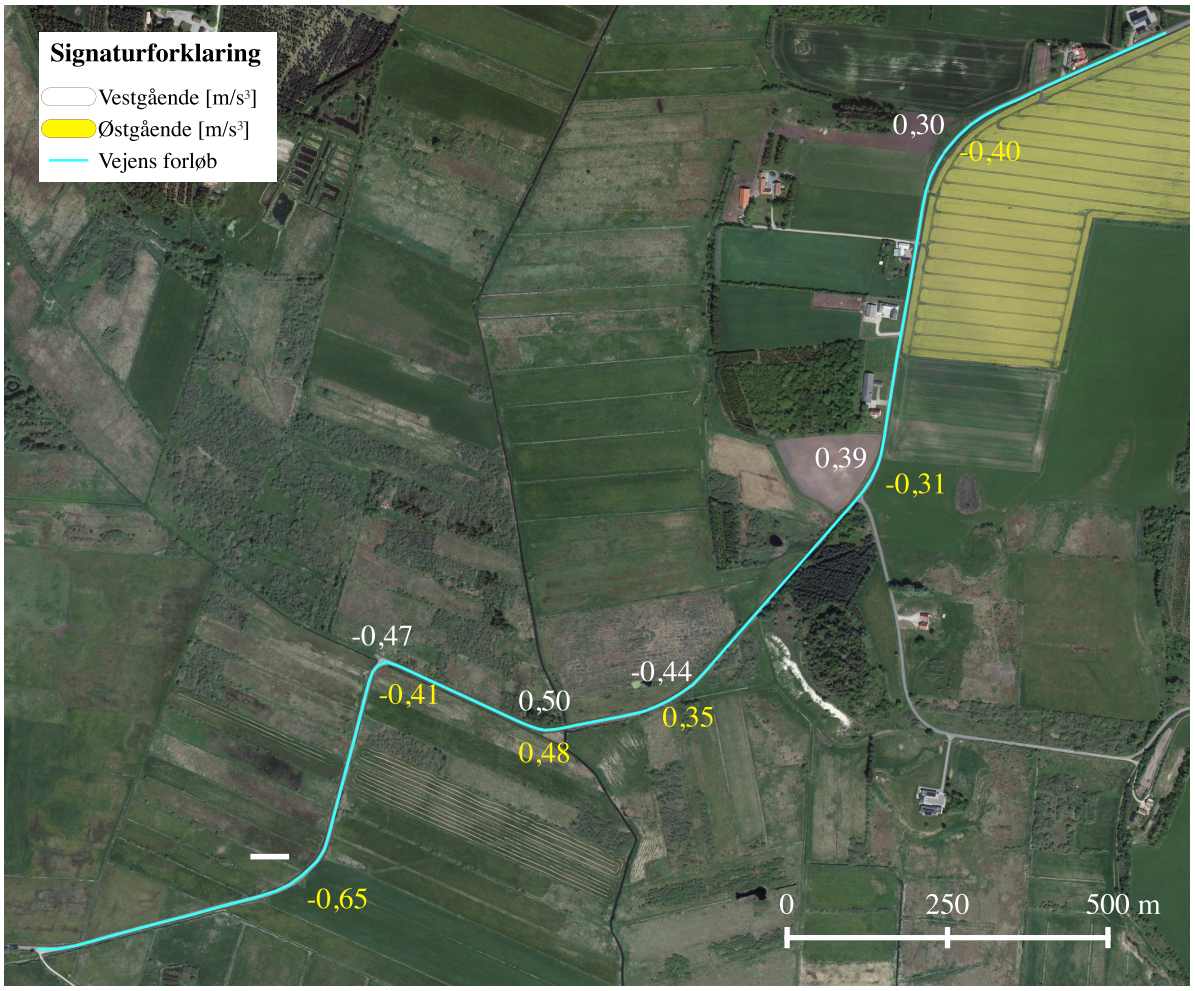
I dette afsnit præsenteres resultater af acceleration og ryk beregnet ved brug af egne data. Resultaterne analyseres og konkluderes på. Yderligere foretages en sammenligning af hastighed, acceleration og ryk.

4.4.1 Databehandling

GPS-data giver en række punkter med dertilhørende koordinater. Dvs. at mellem to punkter kan der tegnes en vektor, hvor længden af vektoren delt med tiden mellem punkterne svarer til hastighed. For at kunne bruge disse vektorer til at bestemme sideaccelerationer og derudfra også ryk er det nødvendigt at finde den del af bevægelsen mellem to punkter, som står vinkelret på kørselsretningen. Dette kan gøres ved hjælp af vektorregning, hvilket er beskrevet i detaljer i bilag D (s. 87). Som det også fremgår af bilag D (s. 87) resulterer dette i en række vektorer, som fra hvert punkt peger ind mod centrum af den kurve, der regnes på. Længden af disse vektorer delt med tiden giver hastigheden ind mod centrum af kurverne. Den første afledte af disse hastigheder er dermed sideacceleration og den anden afledte er rykkene. Beregning af sideacceleration og ryk kan findes i bilag E.9 (s. 94). Resultaterne for disse ryk er præsenteret på figur 4.18 (s. 45), 4.19 (s. 46) og 4.20 (s. 46).



Figur 4.18: Beregnede ryk angivet i m/s^3 ved de trygge og komfortable kørsler i begge retninger for Stokbrohedevej/Faurholtvej. [Bing, 2016]*



Figur 4.19: Beregnede ryk angivet i m/s^3 ved de trygge og komfortable kørsler i begge retninger for Støvringvej/Kærvej. Stregen (—) angiver manglende målinger. [Bing, 2016]*

Figur 4.20: Beregnede ryk angivet i m/s^3 ved de trygge og komfortable kørsler i begge retninger for Jordemodervej. Stregerne (—) angiver manglende målinger. [Bing, 2016]*

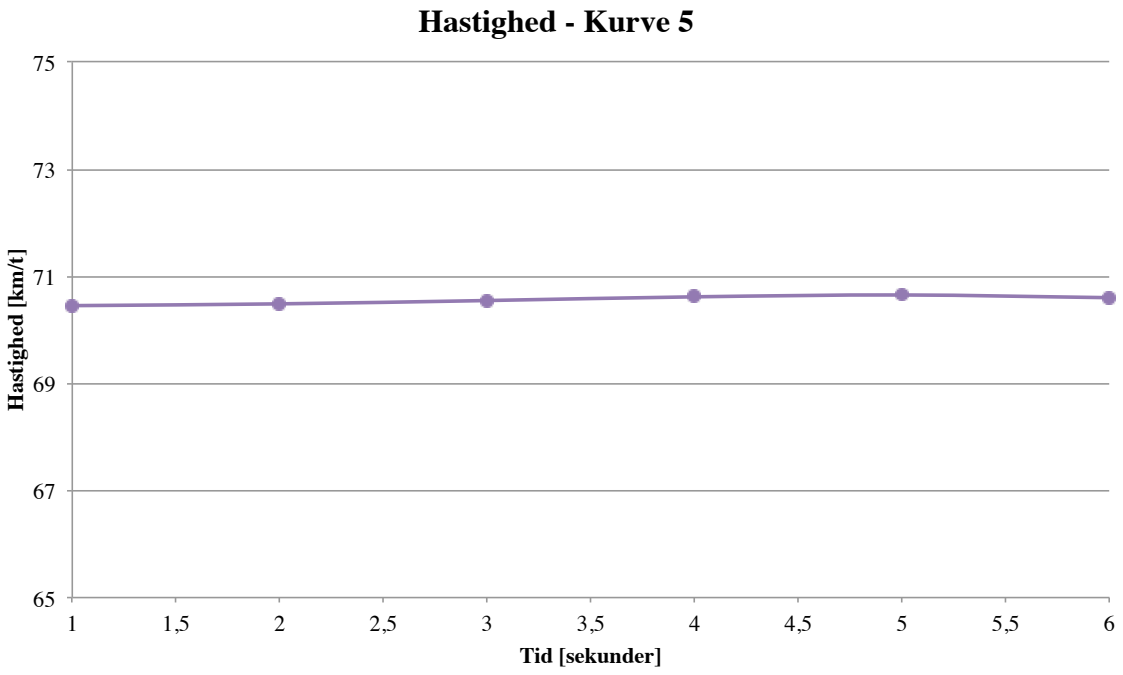
4.4.2 Analyse

Hvis figur 4.18 (s. 45), figur 4.19 og figur 4.20 sammenlignes med komfortkravet på $0{,}5\,\mathrm{m/s^3}$ ligger størstedelen af værdierne under kravet. For Stokbrohedevej/Faurholtvej er det kurve 2 og 3, som har høje værdier på hhv. $-0{,}80\,\mathrm{m/s^3}$ og $-0{,}84\,\mathrm{m/s^3}$ for retningen mod øst og $-0{,}52\,\mathrm{m/s^3}$ og $0{,}62\,\mathrm{m/s^3}$ for retningen mod vest. Beregningerne for ryk vurderes dog ikke at være mere præcise end, at en værdi på $-0{,}52\,\mathrm{m/s^3}$ accepteres ift. komfortkravet. På Støvringvej/Kærvej er det kun kurve 6, som ligger over komfortkravet med en værdi på $-0{,}65\,\mathrm{m/s^3}$ for retningen mod øst. Data for retningen mod vest var desværre så fejlbehæftede, at dette ikke kunne bruges. For Jordemodervej i retningen mod øst er komfortkravet ikke overholdt i kurve 2 og 6 med værdier på hhv. $0{,}71\,\mathrm{m/s^3}$ og $0{,}64\,\mathrm{m/s^3}$, mens kravet i retningen mod vest ikke er overholdt i kurve 2, 4 og 6 med værdierne $0{,}78\,\mathrm{m/s^3}$, $0{,}69\,\mathrm{m/s^3}$ og $0{,}91\,\mathrm{m/s^3}$. De værdier, som ikke overholder komfortkravet, ligger alle sammen under $1{,}0\,\mathrm{m/s^3}$.

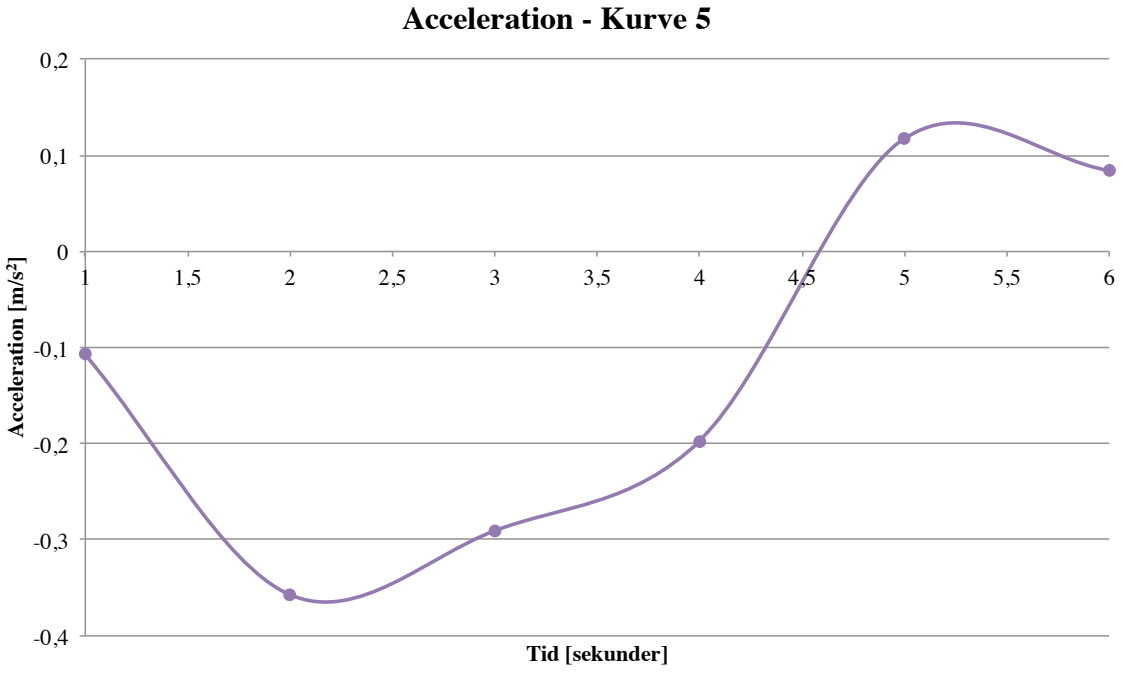
Ovenstående viser dermed, at komfortkravet på $0{,}5\,\mathrm{m/s^3}$ stemmer godt overens med størstedelen af denne rapports vurderinger af komfort. Der viser sig også en tendens til, at trygheds- og komfortvurderingerne af kurver med radier under 100 m har været mindre kritiske end for kurver med større radier. Dette kan evt. skyldes, at forventningen til en skarp kurve gør, at passageren accepterer større ryk for disse kurver end for andre. Det er derfor ikke nødvendigvis et udtryk for, at værdien på $0{,}5\,\mathrm{m/s^3}$ er for lav, men at passagerer er villige til at acceptere større ryk i kurver med radier under 100 m.

Bliver de beregnede accelerationsværdier jf. bilag E.10 (s. 94) sammenlignet med tabel 3.4 (s. 22) kan det ses, at de beregnede værdier er konsekvent lavere end de teoretiske værdier i tabellen. Teorien benytter en bestemt hastighed i et punkt, hvorimod vektorberegningerne benytter sig af ændringer i hastigheden. Dette kan evt. være årsagen til forskellen.

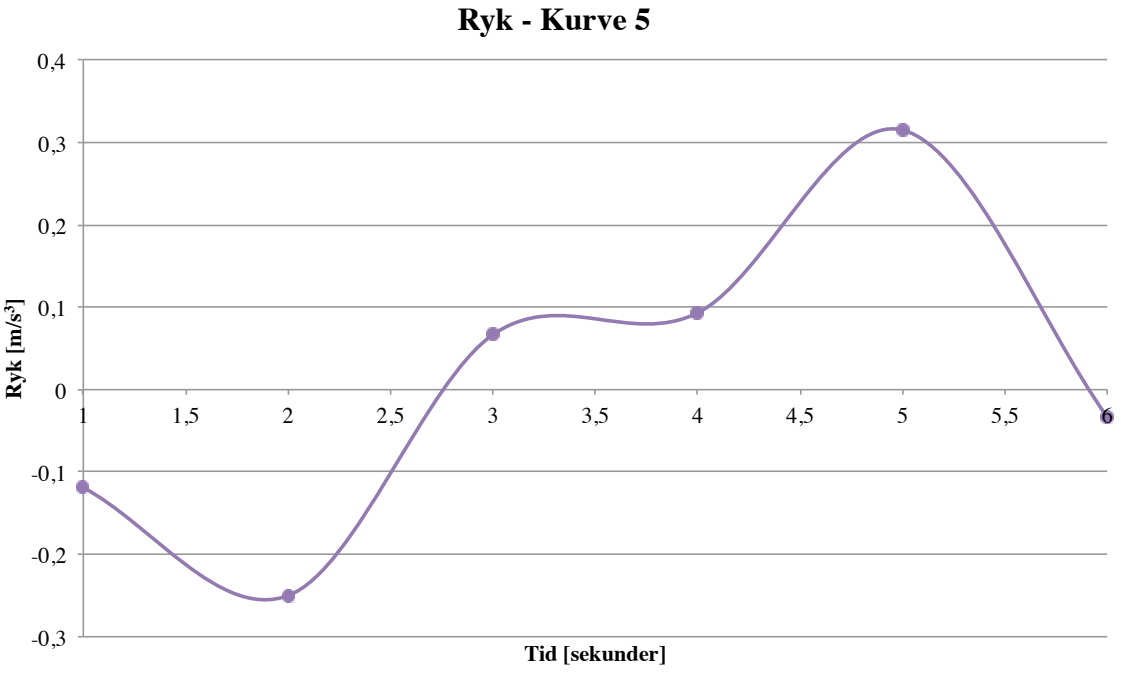
Figur 3.8 (s. 23) viser den teoretiske sammenhæng mellem hastighed, acceleration og ryk. Denne sammenhæng kan også findes i disse data. Figur 4.21 (s. 48), 4.22 (s. 48) og 4.23 (s. 49) viser hhv. hastighed, acceleration og ryk gennem kurve 5 på Stokbrohedevej/Faurholtvej ved den første testkørsel.



Figur 4.21: Graf over hastigheden gennem kurve 5 på Stokbrohedevej/Faurholtvej på første testkørsel.



Figur 4.22: Graf over acceleration gennem kurve 5 på Stokbrohedevej/Faurholtvej på første testkørsel.



Figur 4.23: Graf over ryk gennem kurve 5 på Stokbrohedevej/Faurholtvej på første gennemkørsel.

Da hastigheden næsten er konstant gennem kurven bør sideaccelerationen ligeledes være konstant, såfremt radius ikke ændrer sig gennem kurven. Figur 4.22 viser ikke en helt konstant sideacceleration, men det kan ses, at sideaccelerationen falder til et niveau mellem $-0{,}2\,\mathrm{m/s^2}$ og $-0{,}35\,\mathrm{m/s^2}$. Figur 4.23 viser rykket, som bør optræde ved overgangen mellem de forskellige accelerationsniveauer. Dermed bør der opstå et ryk på vej ind i kurven og ligeledes et ryk på vej ud af kurven. Dette er også tilfældet på figur 4.23, hvor der ved hhv. to sekunder og fem sekunder kan ses et ryk. Havde accelerationen været helt konstant gennem kurven, havde grafen for rykket også vist, at rykket var nul mellem de to ryk, som teorien forklarer. Ikke alle kurver og alle kørsler giver et lige så pænt resultat som dette, men da der ikke er tale om et laboratorieforsøg må dette forventes. For at opnå resultater, som passer på teorien, kræver det bl.a. at både radius og hastighed er konstante, hvilket ikke nødvendigvis er tilfældet ved alle kurver og alle kørsler.

4.4.3 Delkonklusion

Samlet set er konklusionen, at de vurderede trygge og komfortable kørsler stemmer godt overens med komfortkravet på $0{,}5\,\mathrm{m/s^3}$. Det er dog usikkert, hvordan komfortkravet på $0{,}5\,\mathrm{m/s^3}$ er fremkommet, og denne rapports undersøgelser er ikke tilstrækkelige til at underbygge værdien. Det er derfor svært at konkludere, hvorvidt dette komfortkrav er det rigtige at sammenligne rapportens beregninger med.

Som verificering af rapportens beregninger sammenlignes resultaterne med teorien, hvor det konkluderes, at accelerationsværdiernes størrelse ikke stemmer overens med teorien. De beregnede værdier er konsekvent lavere end de teoretiske værdier. Til gengæld viser grafer over hastighed, acceleration og ryk, at disse hænger godt sammen, og at formen på disse grafer er som forventet. Overordnet set vurderes det, at disse data godt kan anvendes til at beregne accelerationer og ryk, og at afvigelserne fra teorien primært skyldes, at andre faktorer som vejgeometri og kørestil.

Kapitel 5
Diskussion

I dette kapitel vil rapportens resultater og især rapportens metode blive diskuteret. Dette gøres med henblik på at danne ramme for eventuelle efterfølgende undersøgelser ved brugen af FCD og udviklingen af hastighedskort til selvkørende biler.

Rapporten bygger hovedsagligt på to dele hhv. brug af FCD og trygheds- og komfortvurderinger. Derfor bliver validiteten af netop disse to dele helt centralt ift. de endelige konklusioner. Det er derfor vigtigt at få diskuteret nogle af de problemstillinger, der vedrører hhv. trygheds- og komfortvurderingerne og FCD.

5.1 Trygheds- og komfortvurderinger

Den største svaghed for metoden anvendt til trygheds- og komfortvurderingerne er deres manglende objektivitet. Især tryghed er en meget subjektiv størrelse, som er svær at kvantificere. Denne rapport har kun præsenteret vurderinger, som bygger på to personers subjektive opfattelser af dette, hvilket er et tyndt grundlag at bygge undersøgelsen på, da resultaterne antages at være repræsentative for størstedelen af bilister og bilpassagerer. Skal denne undersøgelse laves igen anbefales det, at trygheds- og komfortvurderingerne laves af en langt større og mere repræsentativ gruppe af bilister. Det er dog muligt at splitte trygheds- og komfortvurderingerne op i to. Dette kan især anbefales, da det er muligt at kvantificere komfortaspektet, hvilket er at foretrække frem for subjektive vurderinger. Rapporten har forsøgt at benytte accelerationsmålinger, der er blevet omregnet til ryk, som dermed kan holdes op imod det nuværende komfortkrav på $0{,}5\,\mathrm{m/s^3}$. Desværre har kvaliteten af disse data ikke være tilstrækkelig god til, at det har været muligt at droppe den subjektive vurdering af komforten. Det er dog fortsat vurderingen, at accelerationsmålinger er en bedre metode til at foretage komfortvurderinger.

Samtidig bør det overvejes, om der skal laves en undersøgelse af komfortkravet på $0{,}5\,\mathrm{m/s^3}$. Denne værdi er som tidligere nævnt angivet i Vejdirektoratet [2012c] uden videre forklaring af værdiens størrelse og oprindelse, og denne vil muligvis ændre sig, når det i fremtiden er komforten for passagerer i selvkørende biler, der skal vurderes. Her er det uvist, hvordan værdien evt. vil ændre sig. Det kan ske, at der med bedre komfort i biler kan forekomme højere tolerance over for ryk skabt under kørsel, hvormed værdien muligvis kan være højere. Samtidig kan det også ske, at tolerancen for ryk bliver lavere, da passagererne i de selvkørende biler vil have fokus på andet end vejens forløb. Dermed kan det i et andet studie være relevant at undersøge dette komfortkrav for bilpassagerer og fastlægge, hvordan kørsel med ryk, der ligger over og under komfortkravet, føles.

Helt konkret har metoden den svaghed, at den forsøger at generalisere en subjektiv parameter som komfort. Det er ikke muligt at ramme et niveau, som passer på alles forståelse af komfort. Såfremt der opnås et passende niveau, som nogenlunde kan beskrive størstedelen af en befolkning eller en

nationalitet, så giver det ikke nødvendigvis mening at generalisere dette for andre befolkningsgrupper og nationaliteter med andre kulturer. Den forventede forskel i komfortkrav skyldes, at forskellig lande har forskellig kørselsadfærd og normer, hvilket der bl.a. er givet et eksempel på i Sinclair [2013], hvor kørselsadfærd og holdninger til trafiksikkerhed i Sverige og Sydafrika sammenlignes. Dermed kan det blive omfattende at skulle finde specifikke komfortkrav for hvert enkelt land. Derudover vil dette kunne give nogle uheldige situationer, når borgere fra et land kører ind i at andet land, hvor hastighedsgrænsen er sat ud fra et lavere komfortniveau, hvormed kørslen kan opleves som værende ubehagelig.

I denne rapport er der anvendt en Audi A6, som er en stor og komfortabel bil med fartpilot, som i nogle tilfælde er blevet benyttet. Dette må antages at have betydning for resultatet af trygheds- og komfortvurderingerne. Derfor bør det undersøges og overvejes, hvordan fremtidens selvkørende biler kommer til at se ud, og derudfra finde den mest passende testbil til undersøgelsen. Den pågældende bil, som blev benyttet i denne rapport, havde automatgear, hvilket er en af de ting, som bør være et krav til en testbil. Kørsel i biler med manuelt gearskifte giver nogle ryk i kørselsretningen, som ikke kommer i biler med automatgear.

Rapporten fokuserer primært på selve kurverne på vejstrækningerne. Af den grund blev det valgt, at testkørslerne til trygheds- og komfortvurderingerne tildels blev lavet ved brug af fartpilot, således hastigheden, hvormed kørslen blev udført, var så konstant som mulig. Dette giver føreren af bilen mulighed for at fokusere mere på vurderingen af tryghed og komfort. Dette er dog ikke helt virkelighedstro, da det må forventes, at de selvkørende biler om muligt vil køre op mod 80 km/t på strækningerne mellem kurverne. Det betyder, at de forud for alle mindre kurver vil decelererer, hvilket kan få betydning for trygheden og komforten i selve kurven. Det er derfor interessant at undersøge, hvordan den selvkørende bil bør opføre sig i overgangen fra normal hastighed til anbefalet kurvehastighed, således det ikke får en negativ betydning for trygheden og komforten i kurverne. Her vil det være relevant med en undersøgelse af komforten ved deceleration i kørselsretningen. Dermed kan der fastsættes en værdi for deceleration, hvorudfra bilen kan beregne, hvor langt tid før kurven den skal starte med at sænke hastigheden. Dette bør naturligvis også undersøges for accelerationer.

5.2 Floating Car Data

Den anden del, som er central for rapportens metode, er brugen af FCD. Det konkrete FCD, som er blevet benyttet i denne rapport, har vist sig at have nogle væsentlige mangler ift. den konkrete undersøgelse. Som det fremgår af afsnit 4.2.4 (s. 29), har det ikke været muligt at finde en måde, hvorpå dataene vil kunne bruges til at lave et hastighedskort med. Det kan der være flere grunde til. Det er selvfølgelig en mulighed, at FCD ganske simpelt ikke egner sig til dette formål. Dette kan eksempelvis skyldes, at FCD bygger på vurderinger lavet af føreren af bilen, hvorimod dette hastighedskort bør være mht. bilpassagerer. Rapportens egne undersøgelser af komfort bygger dog delvist også på førerens vurderinger, og det har ikke været muligt at finde en bedre sammenhæng mellem FCD og vurderingerne lavet af undersøgelsens egen bilfører. Der er andre mulige fejlkilder, som bør tages med i overvejelserne. Datamængden har muligvis ikke været stor nok, hvilket kan betyde, at resultaterne for de forskellige vejstrækninger bliver påvirket for meget af de enkelte ture. Styrken i denne metode bør netop bestå i,

at kvantiteten af data gør, at resultaterne bliver repræsentative. Dette leder hen imod den nok største mangel ved det konkrete datasæt nemlig antallet af forskellige biler. En af de undersøgte strækninger er næsten kun blevet kørt af én bil, mens de andre strækninger er blevet kørt af op til tre forskellige biler, hvilket stadigvæk er lavt. Dette har stor betydning for, hvor repræsentative dataene er. Det er med andre ord ikke bare vigtigt hvor mange ture, som er tilgængelige, men også hvor mange forskellige personer, der har kørt på strækningen. Når en strækning kun har haft ture fortaget af én bil, så er resultaterne fra denne undersøgelse blot en sammenligning af to personers valg af hastighed.

I projektet er der foretaget kørsler i kurver med forskellige radier, hvor hastigheden steg i sammenhæng med størrelsen på kurveradius, hvilket gjaldt både for egne kørsler og FCD. Denne betragtning kan give grund til at overveje, hvorvidt den generelle hastighedsbegrænsning på 80 km/t i åbent land skal gøres variabel. Dette bør ikke udføres før, at bilparken primært består af selvkørende biler, da det vil være forvirrende for bilister at skulle forholde sig til forskellige hastigheder for hver kurve. Til gengæld vil det nemt kunne implementeres som en del af et hastighedskort til selvkørende biler.

Allerede i dag inddrages vejens tracering ved fastlæggelse af hastighedsgrænser. Her benyttes bl.a. bilisternes reaktionstid, som er fastsat til 2 sekunder jf. Vejdirektoratet [2012b]. Selvkørende bilers reaktionstid vil sandsynligvis være kortere end menneskers, og dermed vil reaktionstiden være en del lavere, hvorfor stopsigte kan gøres mindre. Ud fra dette kan det overvejes at justere den tilladte hastighed. Dette vil dog kun være muligt, såfremt det kun er tilladt at køre i selvkørende biler på vejene, da mennesker fortsat må antages at have en reaktionstid på 2 sekunder. Dette kan muligvis blive problematisk ift. motorcykler og veteranbiler, som for mange er en hobby, da disse i så fald forbydes.

5.3 FCD eller geometri

Helt grundlæggende bør det overvejes, om metoden med brug af FCD til udformning af et hastighedskort er en gangbar metode at benytte. Som det fremgår af denne rapport, vurderes mængden af den benyttede data at være for lille. På trods af at det allerede med den benyttede mængde data har været svært at håndtere datamængden, så vurderes det, at denne mængde skal øges. Dertil skal det pointeres, at dette kun er den nødvendige datamængde til tre veje. Såfremt et hastighedskort skal laves på baggrund af FCD, skal der være en stor mængde data for alle veje, som det ønskes at hastighedsfastlægge, hvilket i sidste ende bør være det fulde vejnet. Dette vil sætte store krav til computer og software for at kunne arbejde med disse mængder af data. Derudover må det konkluderes, at selv med hurtige computere og gode softwarepakker vil det forsat være en meget tidskrævende opgave at udforme det fulde hastighedskort. Dette kan virke svært for et lille land som Danmark, men hvis der skal udformes et hastighedskort for store lande med et stort vejnet som eksempelvis Frankrig, så kan metoden blive for omfattende.

Et alternativ til denne metode er at fastlægge hastighederne udelukkende ud fra geometrien. Dette kan bl.a. gøres ved vurdering af radius, sidehældning, længdefald, bredde af vejen og evt. tilstedeværelse af andre elementer som eksempelvis cykelsti eller -bane. Det vil kræve en stor undersøgelse af, hvordan forskellige parametre påvirker hastigheden, hvilket eksempelvis kan gøres ved brug af FCD, som det er blevet gjort for sammenhængen mellem radius og hastighed i denne rapport. Alternativt kan der

opstilles et forsøg med testpersoner, som skal give deres vurderinger af komfort ved forskellige hastigheder. Sidstnævnte metode bliver påvirket meget af de testpersoner, der benyttes, hvilket sætter store krav til udvælgelsen af testpersoner. Til gengæld betyder det, at fastlæggelsen af hastighederne kan gøres ved brug af en væsentlig mindre datamængde end, hvis FCD benyttes. Såfremt FCD benyttes, er det dog værd at nævne, at det trods alt stadig er en mindre datamængde, der skal benyttes ift. den direkte brug af FCD i ovenstående metode. Denne metode vil kræve, at der udvælges veje, hvor der er forskel på de parametre, som det ønskes at fastlægge hastigheden ud fra. Data for disse veje skal dermed give mulighed for at fastlægge en generel sammenhæng mellem parametrene og hastighedsvalg. Dette kan derefter generaliseres for alle veje.

Kapitel 6
Konklusion

I dette kapitel bliver der samlet op på rapportens resultater, og der vil blive givet en konklusion på rapportens problemstilling.

Rapportens formål er at fastlægge, hvordan FCD kan benyttes som grundlag for udformning af et hastighedskort. Overordnet set er konklusionen, at det for rapportens tilgængelige FCD ikke kan benyttes som grundlag for udformning af hastighedskort. Det har ikke været muligt at finde en klar tendens i dataene ift. hvilket hastighedsniveau, som vil resultere i trygge og komfortable kørselshastigheder. Det er forsøgt at fastlægge disse niveauer ud fra fraktiler og medianer, hvilket ikke har givet nogle klare resultater. Herefter er det forsøgt at benytte intervaller omkring fraktilerne og middelværdierne for at undersøge om en bredere definition af hastighedsniveauet vil kunne benyttes. Dette gør det muligt at beskrive op mod 70 % af kurverne, såfremt intervallet på $\pm 10\,\mathrm{km/t}$ benyttes. Dette vurderes dog ikke brugbart ift. udviklingen af et hastighedskort, da intervallet er forholdsvist stort, samtidig med at det fortsat ikke er muligt at beskrive alle kurverne. Det konkluderes derfor, at der på baggrund af det for rapportens tilgængelige data ikke er muligt at fastlægge en værdi, der kan benyttes som input til et hastighedskort.

I forlængelse af ovenstående konklusion er det dog væsentligt, at nævne at datagrundlaget har været tyndt. Det tilgængelige FCD har ikke indeholdt nok ture, og der har været for få forskellige biler, som har kørt på strækningerne. Derfor vurderes det pågældende FCD ikke at give et retvisende og repræsentativt billede af bilisters generelle hastighedsvalg i åbent land. Det er dog ikke muligt ud fra rapportens undersøgelser at afvise, at andet FCD vil kunne give et bedre og mere retvisende billede af bilisters hastighedsvalg.

Rapporten har også set på andre mulige sammenhænge. Her kan det konkluderes, at der er en sammenhæng mellem hastighed og radius. Denne sammenhæng kan beskrives ved følgende logaritmiske funktion, hvor hastigheden beskrives ved v og radius ved R.

$$v = 14 \cdot ln(R)$$

Dette vil kunne benyttes til at fastlægge hastigheder i kurver, men denne hastighedsfastlæggelse sker kun på baggrund af radius, og dermed inkluderes andre parametre som sidegradient, længdefald, omgivelser mm. ikke. Det er derfor en forsimplet måde at fastlægge hastighederne på ift. en direkte brug af FCD.

Det blev i rapporten forsøgt at arbejde med accelerometerdata, som vil kunne benyttes som grundlag for beregning af ryk og dermed være et supplement eller stå i stedet for rapportens komfortvurderinger. Desværre konkluderes det, at disse data, som er indsamlet af en iPhone, ikke er brugbart, da der er for

meget støj i data, som det ikke har været muligt at fjerne på en acceptabel måde. Til gengæld er der beregnet sideaccelerationer og ryk ved brug af det indsamlede GPS-data. De beregnede ryk stemmer godt overens med trygheds- og komfortvurderingerne. Størstedelen af de beregnede ryk på de trygge og komfortable kørsler er lavere end komfortkravet på $0{,}5\,\mathrm{m/s^3}$. Dette støtter dermed op om trygheds- og komfortvurderinger, der i sig selv udelukkende bygger på subjektive vurderinger.

Kapitel 7
Perspektivering

I dette kapitel bliver det gennemgået, hvorledes en fremtidig undersøgelse af brugen af FCD bør udføres med udgangspunkt i de erfaringer, der er opnået i forbindelse med arbejdet i denne rapport.

Med resultaterne fra denne rapport står det klart, at der skal arbejdes yderligere med dette emne hvis brugen af FCD til udformningen af hastighedskort skal blive en realitet. Dette kan bl.a. gøres ved at forbedre den metode, der er blevet arbejdet med i denne rapport. Derfor vil der i det følgende blive givet forslag til forbedringer, som kan benyttes i fremtidige lignende undersøgelser med udgangspunkt i de erfaringer, der er opnået ved arbejdet med denne rapport.

Udvælgelse af veje

Ved udvælgelse af forsøgsstrækninger kan det godt betale sig at kigge en del på det tilgængelige FCD, som anbefales at være mere omfattende end det, der er anvendt i denne rapport. Dette er især vigtigt, da strækninger med få ture eller få ID'er, har stor risiko for ikke at give et repræsentativt og retvisende billede af en generel bilist. Samtidig anbefales det, at der arbejdes med flere veje end i denne rapport, da det også vil være med til at gøre resultaterne mere repræsentative. Derudover vil det give god mening at udføre prøvekørsler med GPS'erne på mulige teststrækninger for at sikre, at der ikke er problemer med forbindelsen til satellitterne. Dette har bl.a. været et problem i denne rapport. Såfremt det ønskes at lave undersøgelser på strækninger, som har træer og bygninger langs vejkanten, er konklusionen desværre, at der skal findes en ny metode til dataindsamling, eller at GPS'erne skal være bedre end de anvendte Leica GPS1200.

Indsamling af egne data

Til indsamling af data anbefales det, at der indsamles data med to GPS'er. Dette har vist sig meget hjælpsomt i denne rapport, da GPS'erne af og til mistede forbindelse til satellitterne men ikke altid samtidigt. For at kende radierne i kurverne mere præcist kan det anbefales, at GPS'erne også benyttes til måling af dette. Dette kan gøres ved punktopmåling af vejmidte eller vejkant. Derudfra vil det være muligt at fastlægge en mere præcis radius og evt. også fastlægge radius i begge retninger.

Selve testkørslerne bør ske med fartpilot for at sikre en så konstant hastighed gennem kurverne som muligt. Derudover vil brugen af en bil, der har samme komfort, som det forventes at kommende selvkørende biler har, være fordelagtigt. Yderligere kan det anbefales, at strækningerne gennemkøres flere gange med de samme hastigheder, da GPS'ens udfald kan resultere i datamangel. Derudover kan det være svært for bilføreren at køre gennem kurverne på præcis den samme måde, hvilket kan betyde, at det ikke er hastigheden men kørestilen, som gør en tur mere eller mindre tryg og komfortabel.

I denne rapport blev det valgt, at når en kurve var vurderet tryg og komfortabel, så blev der ikke nødvendigvis foretaget flere kørsler i den pågældende kurve. Dette bør ikke gøres, såfremt det ønskes at benytte ryk som komfortkrav, da dette krav ikke nødvendigvis er opfyldt samtidig med testpersonernes vurdering af tryghed og komfort. Hvis der indsamles både GPS- og accelerationsdata samtidigt, er det en stor fordel, hvis disse kan igangsættes samtidig, da databehandlingen af accelerationsdataene dermed lettes, da tidsstempler fra GPS-data og accelerationsdata dermed passer sammen.

Vurdering af tryghed og komfort

Til vurdering af tryghed og komfort fremsættes her to forskellige muligheder. Den første mulighed er at benyttes samme metode som i denne rapport. Her kan det dog anbefales, at der benyttes flere personer til vurderinger, og at det kun er passagererne, der laver vurderingerne, da oplevelsen som bilfører ikke er relevant ift. selvkørende biler. Den anden mulighed er at benytte accelerationsdata frem for subjektive vurderinger. Anden mulighed er at foretrække, da disse resultater er objektive og vurderer kørslerne ud fra de kræfter, som påvirker bilen. Metoden har dog nogle svagheder såsom komfortkravet og tryghedsvurderinger. Komfortkravet på $0{,}5\,\mathrm{m/s^3}$ bør undersøges nærmere, såfremt ryk skal benyttes til vurdering af komfort. Det har ikke umiddelbart været muligt at finde en forklaring eller beregning for, hvorfor værdien er fastsat til $0{,}5\,\mathrm{m/s^3}$. Derfor er det nødvendigt med en nærmere undersøgelse af værdien, såfremt den skal tillægges en central rolle i komfortvurderingerne. Denne metoden tillader desuden ikke, at tryghed har betydning for vurderingerne. Det, der i denne rapport hovedsageligt har haft betydning for tryghedsvurderingerne, er det visuelle, der ses ud af vinduerne. Der kan argumenteres for at udsynet fremadrettet ikke får så stor betydning, da meget tyder på, at passagerer i selvkørende biler ikke kommer til at orientere sig i kørselsretning. Dette kan bl.a. skyldes passagerernes fysiske placering i bilen, hvor sæderne evt. kan være placeret i en rundkreds eller ganske simpelt, at passagererne benytter transporttiden til at arbejde eller på anden vis holder sig beskæftigede. Dette er dog fortsat kun gætterier, og derfor bør det overvejes inden tryghedsvurderingerne evt. helt fjernes fra kommende undersøgelser.

Vejens omgivelser

Vejens omgivelser er i denne rapport kun medtaget som en del af den tryghedsvurdering bilføreren har foretaget, og det er klart, at hastighederne i FCD ligeledes er påvirket af vejens omgivelser. Set ift. forrige afsnits diskussion af tryghedsvurderinger kan vejens omgivelser meget vel være irrelevante for passagererne fremadrettet. Dette betyder dog ikke, at vejens omgivelser kommer til at være mindre relevante at inddrage. Det skyldes, at selvkørende biler ofte benytter visuel detektering til at navigere efter, og dermed bliver visuelle forhindringer også vigtige fremadrettet. Grundet forventet kortere reaktionstid hos selvkørende biler end hos mennesker er behovet for oversigt naturligvis mindre, men i skarpe kurver kan hastighedsbegrænsningen evt. skulle fastsættes ift. oversigtsforholdene.

Undersøgelse af deceleration og acceleration

Kørestilen frem mod og efter en kurve har også betydning for, hvordan kurven opleves af passagererne. Derfor kan det være relevant at undersøge, hvordan deceleration og acceleration i kørselsretningen

opleves. Det kan derfor anbefales, at der findes komfortkrav til deceleration og acceleration i kørselsretning, som en selvkørende bil kan benytte til at beregne, hvor langt før en kurve nedbremsningen skal starte, og hvor hurtigt bilen må accelerere tilbage til normal hastighed. En større undersøgelse kunne også inkludere en kombination af kurvekørsel og deceleration, da det evt. vil være muligt at opnå komfortabel kørsel, selvom nedbremsningen ikke er færdig før kurvens start. Ligeledes vil det måske være muligt at accelerere ud af kurven.

Floating Car Data

Det nok mest væsentlige i forbindelse med denne type undersøgelse er kvaliteten og kvantiteten af det tilgængelige FCD. Med udgangspunkt i denne rapport vurderes det at for, at FCD kan benyttes, bør der minimum være 10 forskellige biler, som har kørt de strækninger, der undersøges. Ligeledes bør antallet af ture også være større, end det har været tilfældet i denne rapport. Dette skyldes, at det er vigtigt, at dataene er repræsentative for bilisterne. Ovenstående kan ikke sikre, at data er repræsentative, men det vil sikre, at resultaterne ikke kommer til at bygge på enkelte personers subjektive kørestil. Forhåbentligt vil dette resultere i mere ensartede resultater ift. bestemmelse af eksempelvis fraktil for hastighedsniveauet.

Inddragelse af vejrforhold

I denne rapport er der i det store hele set bort fra vejrforhold, med undtagelse af måneder med middeltemperaturer under frysepunktet, som er fjernet fra data. Dette er dog en forsimpling, som producenter af selvkørende biler ikke kan se bort fra. En mulighed er, at dette ansvar placeres udelukkende på producenterne, og at det forventes, at bilerne selv kan afgøre om hastigheden evt. skal sænkes pga. eksempelvis regn eller sne. Dette kan evt. være en sikkerhedsparameter, som hastigheden multipliceres med, hvis bilen registrerer farlige vejrforhold.

Såfremt det ikke ønskes at placere dette ansvar hos producenterne, vil det i hastighedskortet være muligt at inkludere forskellige hastigheder, som skal benyttes ved forskellige vejrforhold. Hastighedskortet indeholder forskellige hastigheder, som bilen skal vælge imellem med udgangspunkt i de registrerede vejrforhold. Der er allerede i dag lande, som har hastighedsskilte, der sænker hastigheden ved eksempelvis regnvejr.

Internationalt perspektiv

Denne rapport har taget udgangspunkt i tre danske veje og FCD fra danske bilister. Som det tidligere er blevet beskrevet, er der forskel på kultur og kørselsadfærd, og dermed forventes det også, at udviklingen af hastighedskort ikke kan gøres ud fra en fast algoritme på tværs af landegrænser. Dermed vil det for kommende undersøgelser være interessant at inkludere data samt vurderinger af komfort fra forskellige lande, således det kan fastslås, hvilke forskelle der er landene imellem, og om metoden overhovedet kan benyttes i alle lande.

Kapitel 8

Referencer

Litteratur

Agerholm, N., Rasmussen, N. K. H., Hansen, R. L. og Lahrmann, H. (2011). Udviklingen af algoritmer til at beskrive sikker kørsel på basis af data fra kørende biler. *Præsenteret ved Trafikdage 2011*.

Agerholm, N., Tradisauskas, N., Klarborg, B., Harms, L. og Lahrmann, H. (2007). Spar på Farten: de første resultater af et Intelligent Farttilpasnings-projekt i Nordjylland baseret på incitament (forsikringsrabat). *Præsenteret ved Trafikdage 2007*.

Andersen, O., Lahrmann, H. og Torp, K. (2011). Hastighedskort for Danmark vha. GPS. *Artikler fra Trafikdage*, side 1-19.

Autodrom (2014). *Så kom Tesla D, og den er endnu vildere end du tror*. `http://autodrom.dk/saa-kom-tesla-d-og-den-er-endnu-vildere-end-du-tror/`. Besøgt: 24-02-2016.

Bella, F. (2008). Driving simulator for speed research on two-lane rural roads. *Accident Analysis and Prevention*, 40:1078-1087.

Bing (2016). *Bing Maps*. `http://www.bing.com/maps/`. Besøgt: 03-06-2016.

Bolet, L. (2015). Vejstrækningers geometri.

COWI (2016). WMS Ortofoto.

Danmarks Meteorologiske Institut (2012). DMI Klimaoversigter 2003-2010 - Ugeberetning januar 2004 - december 2010.

Djursing, T. (2015). *Misbrug af Teslas autopilot: Ejerne sætter sig på bagsædet og læser avis*. `http://ing.dk/artikel/misbrug-af-teslas-autopilot-ejerne-saetter-sig-paa-bagsaedet-og-laeser-avis-179757`. Besøgt: 24-02-2016.

Dovgan, E., Tušar, T., Javorski, M. og Filipic, B. (2012). Discovering Comfortable Driving Strategies Using Simulation-Based Multiobjective Optimization. *Informatica*, 36:319-326.

Fildes, B., Rumbold, G. og Leening, A. (1991). Speed Behaviour and Drivers' Attitude to Speeding.

Google (2015). *Ted Talks: Chris Urmson: How a driverless car sees the road*. `https://www.youtube.com/watch?v=tiwVMrTLUWg`. Besøgt: 24-02-2016.

Google (2016). *Google Self-Driving Car Project*. `https://www.google.com/selfdrivingcar/`. Besøgt: 24-02-2016.

ITS Platform (2016). *About the ITS platform.* http://www.itsplatform.dk/index.php/en/about-its-platform.html. Besøgt: 26-05-2016.

Kanellaidis, G., Zervas, A. og Karagioules, V. (2000). Drivers' Risk Perception of Road Design Elements. *Transportation Human Factors*, 2.1:39-48.

Klinke, L. (2015). *Danske veje gøres klar til selvkørende biler.* http://ing.dk/artikel/danske-veje-gores-klar-til-selvkorende-biler-180830. Besøgt: 24-02-2016.

Krak (2016). *Krak.* http://map.krak.dk/. Besøgt: 09-03-2016.

Lahrmann, H., Agerholm, N., Tradisauskas, N., Berthelsen, K. K. og Harms, L. (2012). Pay as You Speed, ISA with incentives for not speeding: Results and interpretation of speed data. *Accident Analysis and Prevention*, 48:17-28.

Melo, P., Lobo, A., Couto, A. og Rodrigues, C. M. (2012). Road Cross-Section Width and Free-Flow Speed on Two-Lane Rural Highways. *Transportation Research Record*, 2301:28-35.

Newport (2016). *Ask an Expert.* http://www.newport.com/What-is-Jerk-and-how-is-it-impacting-motion-perfo/1029556/1033/content.aspx. Besøgt: 12-05-2016.

Porter, R. J., Donnell, E. T. og Mason, J. M. (2012). Geometric Design, Speed, and Safety. *Transportation Research Record*, 2309:39-47.

Pérez-Zuriaga, A. M., Camacho-Torregrosa, F. J., Campoy-Ungría, J. M. og García, A. (2012). Application of GPS and Questionnaires Data for the Study of Driver Behaviour on Two-Lane Rural Roads. *IET Intelligent Transport Systems*, 7.2:182-189.

Rådet for Sikker Trafik (2016). *Tal der taler.* http://sites.sikkertrafik.dk/Skole/F\T1\aerdselskontaktl\T1\aerer/Tal-der-taler.aspx. Besøgt: 29-02-2016.

Sinclair, M. (2013). Attitudes, norms and driving behaviour: A comparison of young drivers in South Africa and Sweden. *Transportation Research.*

Turner, B., Woolley, J. og Cairney, P. (2015). An analysis of driver behaviour through rural curves: exploratory results on driver speed. *Journal of the Australasian College of Road Safety*, 26.4:31-37.

U.S. Department of Transportation (2015). Factors Influencing Operating Speeds and Safety on Rural and Suburban Roads.

Vejdirektoratet (2012a). Det Nye Hastighedsbegreb.

Vejdirektoratet (2012b). Planlægning af veje og stier i åbent land.

Vejdirektoratet (2012c). Tracering i åbent land.

Volvo (2016). *IntelliSafe Autopilot.* http://www.volvocars.com/dk/about/our-innovation-brands/intellisafe/autopilot. Besøgt: 24-02-2016.

Wulff, T. (2015). *Se mor - uden hænder*. http://jyllands-posten.dk/livsstil/biler/ECE8094315/Se-mor-\T1\textendash-uden-h\T1\aender/. Besøgt: 24-02-2016.

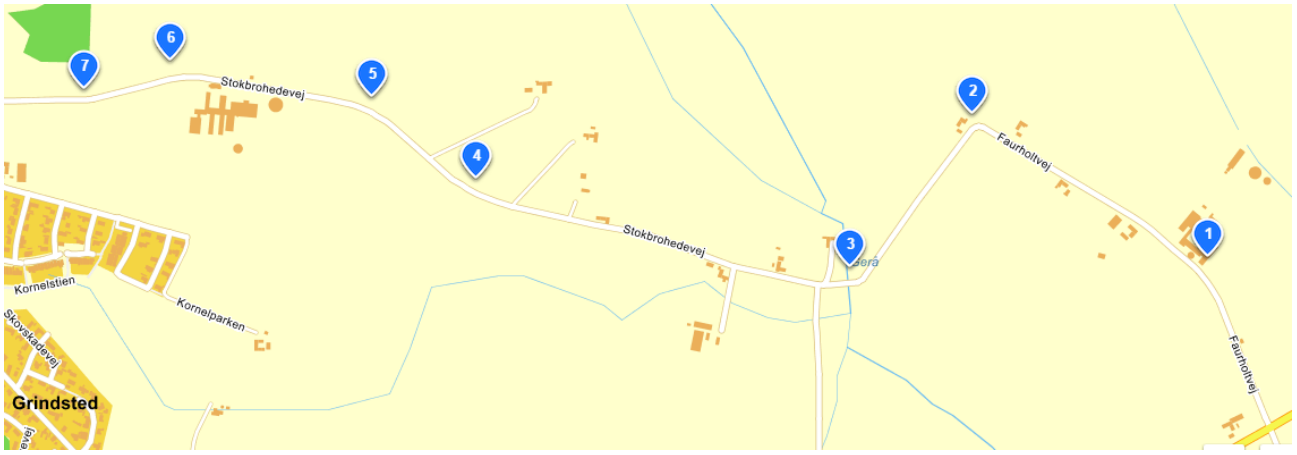
Xu, D.-J., Mao, B.-H., Chen, S.-K. og Bai, Y. (2015). Improved Generalized Force Model considering the Comfortable Driving Behavior. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015.

Bilag A
Vejbeskrivelser

I dette appendiks vil de i projektet benyttede veje blive beskrevet. Relevante bredder og vejens omgivelser vil indgå i denne beskrivelse.

A.1 Stokbrohedevej/Faurholtvej ved Grindsted

Stokbrohedevej starter ved Grindsted i Nordjylland og bliver til Faurholtvej på det sidste stykke af vejen inden den stopper i et T-kryds med Sæbyvej (rute 180). Vejen er 3,5 km lang og er vest-øst gående. Belægningen er på hele strækningen god og bør derfor ikke påvirke bilisters valg af hastighed. Der er hverken midterlinje eller kantlinjer på vejen. Der er seks kurver på strækningen, som er relevante at undersøge i denne sammenhæng. Disse beskrives individuelt i de efterfølgende afsnit. Kurverne er nummeret fra øst mod vest og kan ses på figur A.1. Vejsiderne benævnes hhv. højre og venstre, hvor det forudsættes, at der undersøges vestlig retning. I mange af kurverne er der marker omkring, som alt efter årstiden kan påvirke oversigten. I de efterfølgende afsnit er oversigten beskrevet ud fra den aktuelle oversigt i marts/april, hvor markerne ikke har afgrøder, som kan give dårlig oversigt.



Figur A.1: Oversigt over kurver på Stokbrohedevej/Faurholtvej. [Krak, 2016]*

A.1.1 Kurve 1

Figur A.2: Kurve 1 set fra øst mod vest.

Figur A.3: Kurve 1 set fra vest mod øst.

- Radius: 300 m
- Vejbredde: 5,0 m
- Længdegradient: Nej
- Sidegradient: Ja
- Oversigtsforhold: Gode
- Rabat: Rabatterne forsætter ud i marken uden nogen højdeforskel.
- Skilte: Nej
- Faste genstande:
  - Højre vejside: Træer 1,5 m fra vejkant
  - Venstre vejside: Pæl 1,2 m fra vejkant

Der ligger enkelte bygninger ved kurven, som kan have en hastighedsdæmpende effekt.

A.1.2 Kurve 2

Figur A.4: Kurve 2 set fra øst mod vest.

Figur A.5: Kurve 2 set fra vest mod øst.

- Radius: 20 m
- Vejbredde: 4,9 m
- Længdegradient: Nej
- Sidegradient: Ja
- Oversigtsforhold: Gode
- Rabat:
  - Højre vejside: Mellem 1,8 m og 6,5 m
  - Venstre vejside: Rabatten forsætter ud i marken uden nogen højdeforskel.
- Skilte:
  - Mod vest: Højresving A41.1 og retningspile O41.3
  - Mod øst: Venstresving A41.2 og retningspile O41.2
- Faste genstande: Nej

Der ligger enkelte bygninger ved kurven, som kan have en hastighedsdæmpende effekt.

A.1.3 Kurve 3

Figur A.6: Kurve 3 set fra øst mod vest.

Figur A.7: Kurve 3 set fra vest mod øst.

- Radius: 40 m
- Vejbredde: 4,7 m
- Længdegradient: Ja, lille fald mod vest.
- Sidegradient: Ja
- Oversigtsforhold: Gode
- Rabat: Grøft på begge sider af vejen.
- Skilte:
  - Mod vest: Én retningspil O41.1
  - Mod øst: Én retningspil O41.1
- Faste genstande: Autoværn 0,7 m fra vejkant på begge sider af vejen.

Autoværnet kan være hastighedsdæmpende.

A.1.4 Kurve 4

Figur A.8: Kurve 4 set fra øst mod vest.

Figur A.9: Kurve 4 set fra vest mod øst.

- Radius: 325 m
- Vejbredde: 5,0 m
- Længdegradient: Nej
- Sidegradient: Nej
- Oversigtsforhold:
  - Mod vest: Før kurven bliver vejens forløb skærmet af træer.
  - Mod øst: Gode
- Rabat: Rabatterne forsætter ud i marken uden nogen højdeforskel.
- Skilte: Nej
- Faste genstande: Træer umidddelbart før kurvens start.

Træerne før kurvens start kan være hastighedsdæmpende for bilister kørende i vestgående retning.

A.1.5 Kurve 5

Figur A.10: Kurve 5 set fra øst mod vest.

Figur A.11: Kurve 5 set fra vest mod øst.

- Radius: 275 m
- Vejbredde: 5,1 m
- Længdegradient: Nej
- Sidegradient: Ja
- Oversigtsforhold: Gode
- Rabat: Rabatterne forsætter ud i marken uden nogen højdeforskel. Dog er der en kort del af kurven, hvor der i venstre vejside er en lille grøft.
- Skilte: Nej
- Faste genstande: Nej

A.1.6 Kurve 6

Figur A.12: Kurve 6 set fra øst mod vest.

Figur A.13: Kurve 6 set fra vest mod øst.

- Radius: 200 m
- Vejbredde: 5,1 m
- Længdegradient: Nej
- Sidegradient: Ja
- Oversigtsforhold: Dårlige grundet hus og træer.
- Rabat:
  - Højre vejside: Rabatten forsætter ud i marken uden nogen højdeforskel.
  - Venstre vejside: 3,7 m
- Skilte: Nej
- Faste genstande: Træer 3,7 m fra venstre vejkant ved slutning af kurve.

Der ligger enkelte bygninger før kurven, som kan have en hastighedsdæmpende effekt.

A.2 Kærvej/Støvringvej mellem Volstrup og Støvring

Der registreres på Kærvej/Støvringvej fra byskiltet ved Volsted til et stykke før Støvring. Kurven i forbindelse med byskiltet medtages ikke. Strækningen er 3,1 km lang og er øst-vest gående. Belægningen er acceptabel i den forstand, at der ikke er huller, men store dele af strækningen bærer præg af lapper og revner i belægningen. Det vurderes dog, at dette ikke har betydelig indflydelse på bilisters valg af hastighed. Der er hverken midterlinje eller kantlinjer på vejen. Der er ni kurver på strækningen, som er relevante at kigge på i denne sammenhæng. Dette er dog blevet reduceret til seks kurver, da der grundet omgivelserne var dårligt signal til GPS'erne i tre af kurverne. De seks resterende kurver beskrives individuelt i de efterfølgende afsnit. Kurverne er nummeret fra øst mod vest og kan ses på figur A.14. Vejsiderne benævnes hhv. højre og venstre, hvor det forudsættes, at der kigges i vestlig retning.

Figur A.14: Oversigt over kurver på Poulstrupvej. [Krak, 2016]*

A.2.1 Kurve 1

Figur A.15: Kurve 1 set fra øst mod vest.

Figur A.16: Kurve 1 set fra vest mod øst.

- Radius: 200 m
- Vejbredde: 4,9 m
- Afmærkning: To kantpæle N41 i højre vejside.
- Længdegradient: Ja, svagt længdefald mod Volsted.
- Sidegradient: Ja
- Oversigtsforhold: Gode
- Rabat:
  - Højre vejside: 1,1 m mellem vejkant og grøft.
  - Venstre vejside: 1,5 m mellem vejkant og grøft.
- Skilte: Nej
- Faste genstande: Nej

A.2.2 Kurve 2

Figur A.17: Kurve 2 set fra øst mod vest.

Figur A.18: Kurve 2 set fra vest mod øst.

- Radius: 180 m
- Vejbredde: 5,1 m
- Afmærkning: Kantpæle N41
- Længdegradient: Nej
- Sidegradient: Ja
- Oversigtsforhold: Dårlige
- Rabat:
  - Højre vejside: Ja, bred rabat ved kurvens start. Ved kurvens slutning er der en grøft 1 m fra vejkanten.
  - Venstre vejside: Ja, rabat går over i mark ved kurvens start. Midt på kurven er der dog højdeforskel mellem marken og vejen.
- Skilte: Nej
- Faste genstande: Nej

Sidevej midt på kurven kan virke hastighedsdæmpende.

A.2.3 Kurve 3

Figur A.19: Kurve 3 set fra øst mod vest.

Figur A.20: Kurve 3 set fra vest mod øst.

- Radius: 150 m
- Vejbredde: 5,2 m
- Afmærkning: Kantpæle N41
- Længdegradient: Nej
- Sidegradient: Ja
- Oversigtsforhold: Gode, men lidt beplantning til højre for vejen kan skærme en smule.
- Rabat:
  - Højre vejside: 1,5 m
  - Venstre vejside: 2,0 m mellem vejkant og dyb grøft.
- Skilte: Nej
- Faste genstande: Nej

A.2.4 Kurve 4

Figur A.21: Kurve 4 set fra øst mod vest.

Figur A.22: Kurve 4 set fra vest mod øst.

- Radius: 50 m
- Vejbredde: 5,3 m
- Afmærkning: To kantpæle N41 hhv. i højre og venstre side af vejen.
- Længdegradient: Nej
- Sidegradient: Ja
- Oversigtsforhold: Dårlige
- Rabat:
  - Højre vejside: 1,0 m mellem vejkant og grøft. Autoværn umiddelbart før kurve står 0,9 m fra vejkant.
  - Venstre vejside: Nej, grøft starter ved vejkant. Autoværn umiddelbart før kurve står 0,4 m fra vejkant.
- Skilte: Nej
- Faste genstande: Autoværn umiddelbart inden kurven.

Autoværnet kan virke hastighedsdæmpende.

A.2.5 Kurve 5

Figur A.23: Kurve 5 set fra øst mod vest.

Figur A.24: Kurve 5 set fra vest mod øst.

- Radius: 30 m
- Vejbredde: 5,4 m
- Afmærkning: Kantpæle N41
- Længdegradient: Nej
- Sidegradient: Ja, stor sidegradient.
- Oversigtsforhold: Gode
- Rabat:
  - Højre vejside: 1,0 m mellem vejkant og grøft.
  - Venstre vejside: Nej, skråning ned til å starter ved vejkant.
- Skilte: Ja
  - Mod vest: Ja, venstresving A41.2
  - Mod øst: Ja, højresving A41.1
- Faste genstande: Autoværn 0,6 m fra vejkant midt i kurven.

Sidevej midt i kurven og autoværnet kan virke hastighedsnedsættende.

A.2.6 Kurve 6

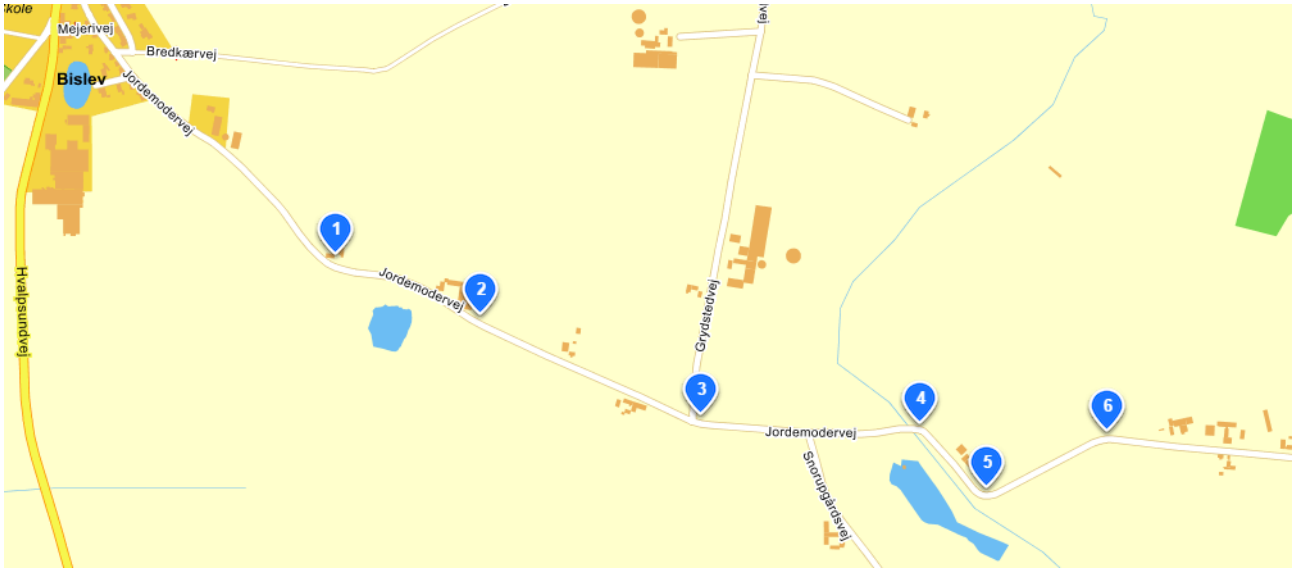
Figur A.25: Kurve 6 set fra øst mod vest.

Figur A.26: Kurve 6 set fra vest mod øst.

- Radius: 130 m
- Vejbredde: 5,3 m
- Afmærkning: Kantpæle N41
- Længdegradient: Nej
- Sidegradient: Ja
- Oversigtsforhold: Gode
- Rabat:
  - Højre vejside: 1,3 m mellem vejkant og grøft.
  - Venstre vejside: Ja, rabatten går over i mark uden højdeforskel.
- Skilte: Nej
- Faste genstande:

A.3 Jordemodervej ved Bislev

Jordemodervej starter ved Bislev i Nordjylland og slutter halvvejs mod Øster Hornum. Vejen er 5,1 km lang, men der laves kun registreringer for en strækning på 2,3 km startende ved byskiltet ved Bislev. Belægningen er på hele strækningen præget af lapper til kantopretning, men dette vurderes ikke at have nogen indvirkning på bilisters valg af hastighed. Der er hverken midterlinje eller kantlinjer på vejen. Der er seks kurver på strækningen, som er relevante at kigge på i denne sammenhæng. Disse beskrives individuelt i de efterfølgende afsnit. Kurverne er nummeret fra vest mod øst og kan ses på figur A.27. Vejsiderne benævnes hhv. højre og venstre, hvor det forudsættes, at der kigges i østlig retning.



Figur A.27: Oversigt over kurver på Jordemodervej. [Krak, 2016]*

A.3.1 Kurve 1

Figur A.28: Kurve 1 set fra vest mod øst.

Figur A.29: Kurve 1 set fra øst mod vest.

- Radius: 120 m
- Vejbredde: 4,6 m
- Afmærkning: Nej
- Længdegradient: Nej
- Sidegradient: Nej
- Oversigtsforhold: Dårlige
- Rabat:
  - Højre vejside: 1 m mellem vejkant og mark. Der er en lille højdeforskel mellem mark og rabat.
  - Venstre vejside: 2,1 m mellem vejkant og træer.
- Skilte: Ja, venstresving A41.2
- Faste genstande: Træer på venstre side af vejen 2,1 m fra vejkant.

Indkørsel til gård midt på kurven kan virke hastighedsdæmpende.

A.3.2 Kurve 2

Figur A.30: Kurve 2 set fra vest mod øst.

Figur A.31: Kurve 2 set fra øst mod vest.

- Radius: 230 m
- Vejbredde: 4,5 m
- Afmærkning: Nej
- Længdegradient: Ja, stigning før kurven og fald efter kurven.
- Sidegradient: Ja
- Oversigtsforhold: Dårlige
- Rabat:
  - Højre vejside: 1,8 m
  - Venstre vejside: 0,3 m
- Skilte: Nej
- Faste genstande: Nej

Gården til venstre for vejen kan virke hastighedsdæmpende.

A.3.3 Kurve 3

Figur A.32: Kurve 3 set fra vest mod øst.

Figur A.33: Kurve 3 set fra øst mod vest.

- Radius: 150 m
- Vejbredde: 4,7 m
- Afmærkning: Nej
- Længdegradient: Nej
- Sidegradient: Nej
- Oversigtsforhold: Middel
- Rabat:
  - Højre vejside: Rabatten forsætter ud i marken uden nogen højdeforskel.
  - Venstre vejside: Rabatten forsætter ud i marken uden nogen højdeforskel, dog er der placeret en jordhøj, som på en lille del af kurven reducere rabatten til 1,7 m.
- Skilte: Ja, totalvægt af vogntog C32 og totalvægt C31. Disse skilte er dog irrelevante ift. denne undersøgelse.
- Faste genstande: Nej

A.3.4 Kurve 4

Figur A.34: Kurve 4 set fra vest mod øst.

Figur A.35: Kurve 4 set fra øst mod vest.

- Radius: 35 m
- Vejbredde: 4,4 m
- Afmærkning: Ja, to kantafmærkningsplade N42.2 og to kantafmærkningsplade N42.3 i begge retninger samt retningspile O43.1 i østlig retning.
- Længdegradient: Ja, længdefald hen mod kurven i østlig retning.
- Sidegradient: Ja
- Oversigtsforhold: Gode
- Rabat:
  - Højre vejside: 0,6 m mellem vejkant og rækværk på bro.
  - Venstre vejside: 0,45 m mellem vejkant og autoværn.
- Skilte: Ja mod øst, flere sving, det første til højre A42.1, totalvægt af vogntog C32 og totalvægt C31.
- Faste genstande: Nej

Lille bro samt ujævn belægning kan virke hastighedsdæmpende.

A.3.5 Kurve 5

Figur A.36: Kurve 5 set fra vest mod øst.

Figur A.37: Kurve 5 set fra øst mod vest.

- Radius: 45 m
- Vejbredde: 5,1 m
- Afmærkning: Ja, autoværn tydeliggjort med røde og hvide striber.
- Længdegradient: Længdefald mod vest
- Sidegradient: Ja
- Oversigtsforhold: Dårlige
- Rabat:
  - Højre vejside: 1,4 m mellem vejkant og autoværn.
  - Venstre vejside: 2,0 m mellem vejkant og træer.
- Skilte: Ja mod vest, flere sving, det første til højre A42.1.
- Faste genstande: Træer 2,0 m fra vejkant.

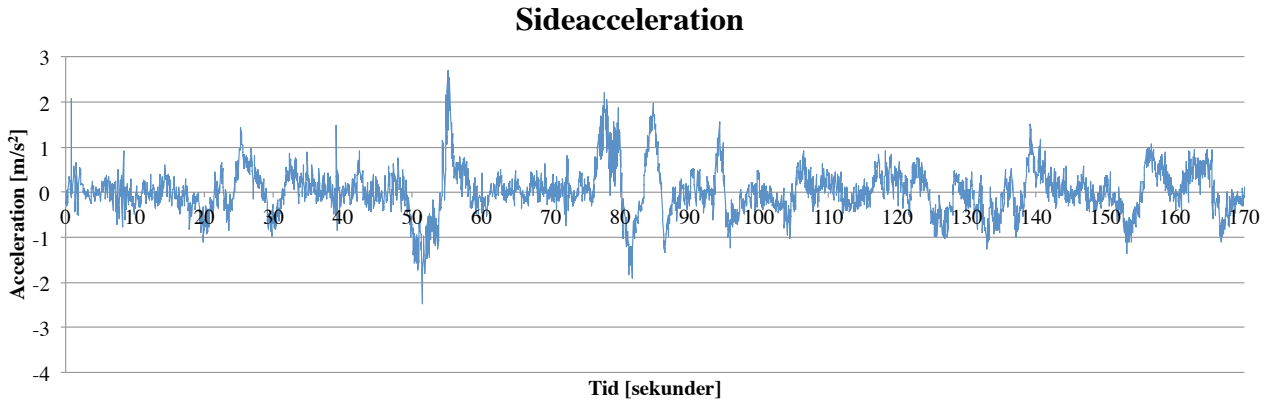
A.3.6 Kurve 6

Figur A.38: Kurve 6 set fra vest mod øst.

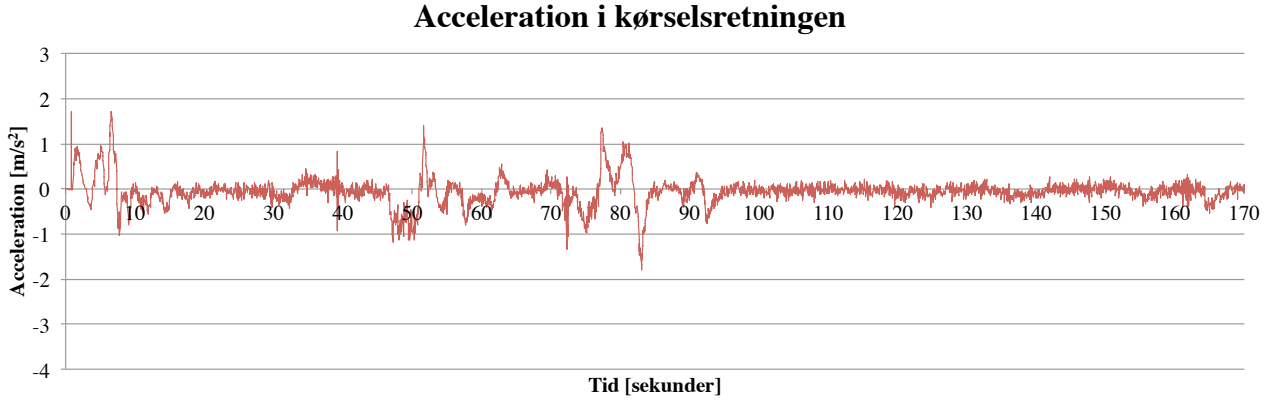
Figur A.39: Kurve 6 set fra øst mod vest.

- Radius: 60 m
- Vejbredde: 4,9 m
- Afmærkning: Ja, to retningspile O41.1
- Længdegradient: Længdefald mod vest
- Sidegradient: Ja
- Oversigtsforhold: Middel, kan blive påvirket af afgrøder på mark.
- Rabat:
  - Højre vejside: 0,5 m
  - Venstre vejside: 1,5 m
- Skilte: Nej
- Faste genstande: Nej

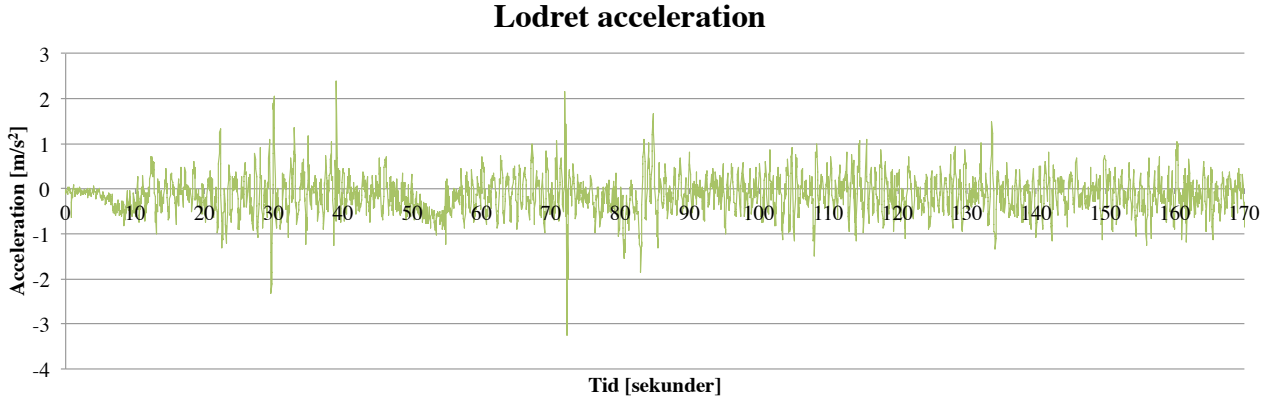
Bilag B
Accelerometerdata



Figur B.1: Sideaccelerationsdata for første testkørsel på Stokbrohedevej/Faurholtvej.



Figur B.2: Accelerationsdata i kørselsretningen for første testkørsel på Stokbrohedevej/Faurholtvej.



Figur B.3: Lodret accelerationsdata for første testkørsel på Stokbrohedevej/Faurholtvej.

Bilag C

Ryk fra accelerometerdata

C.1 Kærvej/Støvringvej

Ryk beregnet ud fra accelerometerdata for Kærvej/Støvringvej er vist i nedenstående tabeller. Rykkene er beregnet med udgangspunk i formel 3.4 (s. 23) og har enheden m/s^3. De kørte hastigheder er angivet i km/t. Der er opgivet minimums- og maksimumsværdier af ryk for hver kørsel i hver retningerne mod vest og øst. Ryk for kurve 4 og 5 er vist, hvor tryg og komfortabel kørsel for kurve 4 er opnået ved kørsel 7 i retning mod øst og kørsel 12 i retning mod vest. For kurve 5 er tryg og komfortabel kørsel opnået ved kørsel 15 i retning mod øst og kørsel 16 i retning mod vest. Ved kurve 4 er der enkelte tomme celler, hvilket skyldes, at der ikke er målt accelerationer for denne kurve, da den trygge og komfortable hastighed var opnået ved tidligere målinger. Ufrivillig nedlukning af accelerometeret for kørsel 10 ved kurve 5 medførte, at der ikke blev foretaget målinger for denne kørsel.

Kørsel	Minimum	Maksimum	Kørt hastighed
1	-1,8	2,1	53,2
3	-1,6	3,2	52,9
5	-1,5	2,2	51
7	-1,4	2,2	49,7
9	-1,7	1,3	45,9
11			
13			
15			

Tabel C.1: Minimums- og maksimumsværdier for ryk med enheden m/s^3 i kurve 4 i retningen mod vest.

Kørsel	Minimum	Maksimum	Kørt hastighed
4	-5,3	3,0	54,9
2	-2,9	3,0	54,5
6	-3,0	1,6	52,4
8	-2,0	1,7	50,9
12	-1,5	1,6	46,5
10			
14			
16			

Tabel C.2: Minimums- og maksimumsværdier for ryk med enheden m/s^3 i kurve 4 i retningen mod øst.

Kørsel	Minimum	Maksimum	Kørt hastighed
11	-2,2	2,0	32,5
3	-5,4	3,4	31,3
5	-4,1	3,3	29,8
1	-3,3	2,3	29,3
9	-3,8	2,9	29,2
7	-2,2	4,0	29,0
13	-3,4	2,6	28,2
15	-1,58	1,13	24,3

Tabel C.3: Minimums- og maksimumsværdier for ryk med enheden m/s^3 i kurve 5 i retningen mod vest.

Kørsel	Minimum	Maksimum	Kørt hastighed
12	-3,4	1,9	33,5
2	-3,0	2,6	31,0
4	-2,6	1,9	30,5
8	-1,2	2,0	29,9
14	-1,9	1,6	29,7
6	-2,2	1,6	28,7
16	-1,22	1,27	25,5
10			

Tabel C.4: Minimums- og maksimumsværdier for ryk med enheden m/s^3 i kurve 5 i retningen mod øst.

C.2 Jordemodervej

Ryk beregnet ud fra accelerometerdata for Jordemodervej er vist i nedenstående tabeller. Rykkene er beregnet med udgangspunk i formel 3.4 (s. 23) og har enheden m/s^3. De kørte hastigheder er angivet i km/t. Der er opgivet minimums- og maksimumsværdier af ryk for hver kørsel i hver retningerne mod vest og øst. Ryk for kurve 4 og 5 er vist, hvor tryg og komfortabel kørsel for kurve 4 er opnået ved kørsel 11 i retning mod øst og kørsel 12 i retning mod vest. For kurve 5 er tryg og komfortabel kørsel opnået ved kørsel 13 i retning mod øst og kørsel 14 i retning mod vest. Ufrivillig nedlukning af accelerometeret for kørsel 13 ved kurve 5 medførte, at der ikke blev foretaget målinger for denne kørsel.

Kørsel	Minimum	Maksimum	Kørt hastighed
11	-2,8	4,1	49,4
3	-3,0	4,0	46,7
1	-4,0	4,2	45,9
5	-3,5	3,6	45,3
7	-2,3	2,3	43,1
9	-3,0	3,4	41,4
13			

Tabel C.5: Minimums- og maksimumsværdier for ryk med enheden m/s^3 i kurve 4 i retningen mod øst.

Kørsel	Minimum	Maksimum	Kørt hastighed
14	-1,5	3,2	45,1
8	-2,2	2,0	40,0
2	-2,1	1,8	39,9
4	-2,3	3,7	39,0
6	-2,3	2,7	38,8
12	-2,6	2,5	35,0
10	-2,3	3,2	34,3

Tabel C.6: Minimums- og maksimumsværdier for ryk med enheden m/s^3 i kurve 4 i retningen mod vest.

Kørsel	Minimum	Maksimum	Kørt hastighed
11	-2,8	3,0	51,8
3	-4,1	1,9	42,2
1	-3,1	3,6	40,2
9	-2,0	1,8	37,5
5	-3,7	2,8	37,4
7	-3,8	3,1	37,3
13			

Tabel C.7: Minimums- og maksimumsværdier for ryk med enheden m/s^3 i kurve 5 i retningen mod øst.

Kørsel	Minimum	Maksimum	Kørt hastighed
2	-3,9	2,6	45,3
8	-3,4	3,5	44,0
4	-3,6	2,9	43,5
6	-2,4	2,7	42,0
10	-2,6	2,1	41,6
12	-2,3	2,7	36,7
14	-4,27	4,44	31,7

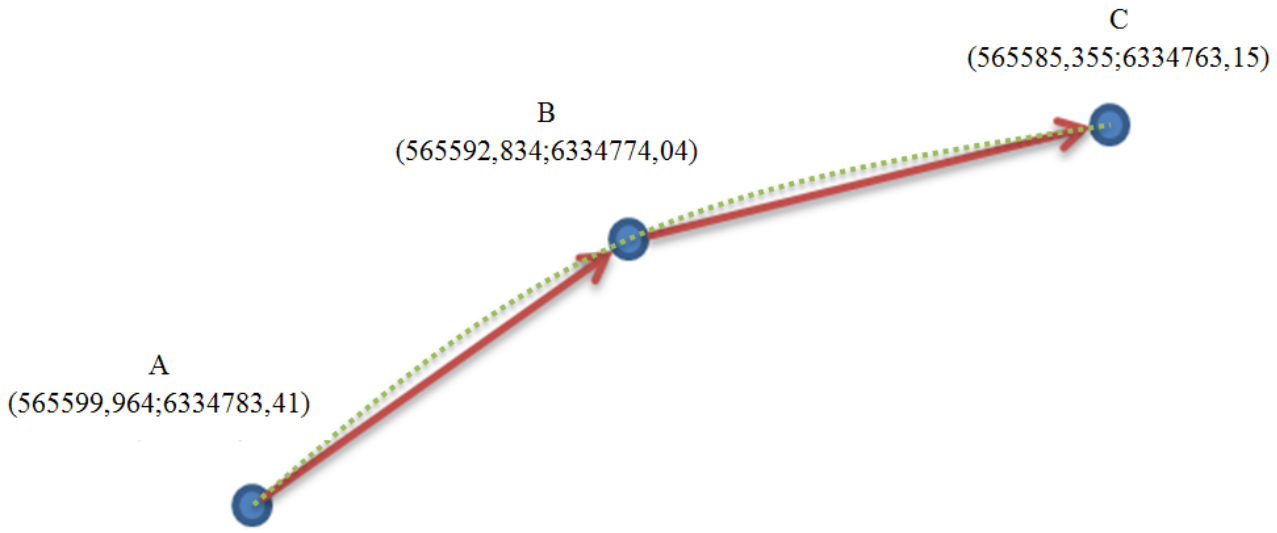
Tabel C.8: Minimums- og maksimumsværdier for ryk med enheden m/s^3 i kurve 5 i retningen mod vest.

Bilag D

Ryk ud fra egne data

I dette appendiks vil det blive gennemgået, hvordan sideaccelerationer og ryk er blevet beregnet ud fra egne indsamlede GPS-data. Dette gøres ved brug af et simplificeret eksempel.

Formålet med disse beregninger er at finde den del af kørslen, som giver anledning til en sideflytning ift. kørselsretningen. I en kurve vil det svare til den del af bilens bevægelse, som peger ind mod centrum af kurven. Figur D.1 viser et tænkt eksempel, som der vil blive beregnet på i dette kapitel. Ingen af figurerne i dette kapitel er målfaste.

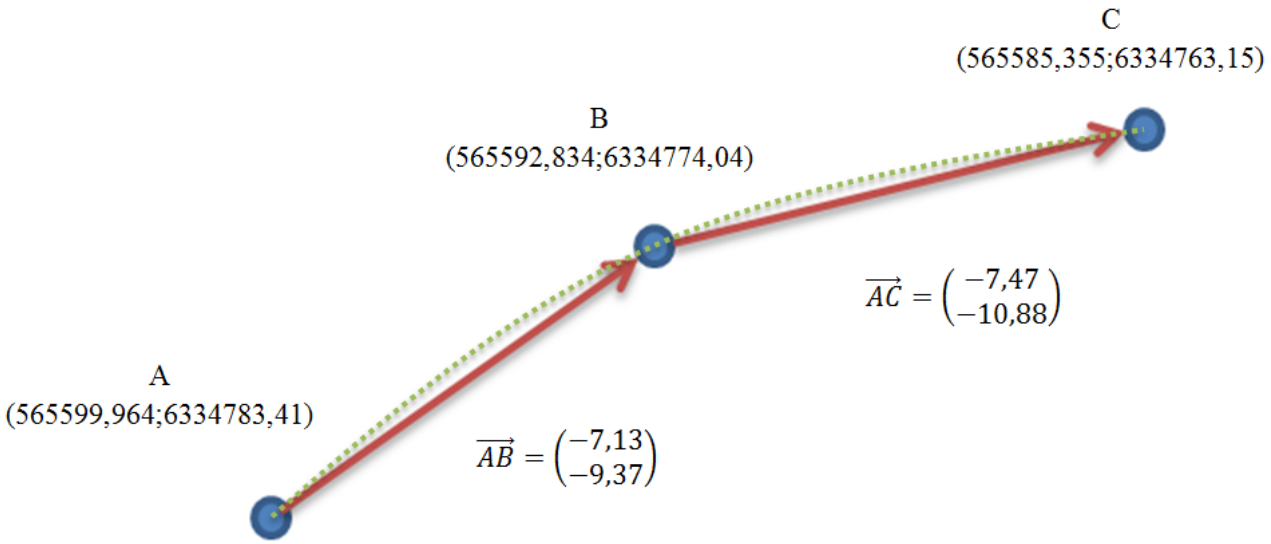


Figur D.1: Skitse af et tænkt eksempel til beregning af sideacceleration og ryk.

Første skridt i beregningen er at finde vektorerne mellem punkterne ud fra koordinaterne. Dette gøres ved følgende formel.

$$\vec{AB} = \begin{pmatrix} x_B - x_A \\ y_B - y_A \end{pmatrix}$$

Figur D.2 (s. 88) viser resultatet af dette.



Figur D.2: Beregning af vektorerne mellem målepunkterne.

Næste skridt er at finde vinklen mellem de to vektorer. Dette kan gøres ved følgende formel.

$$u = cos^{-1}\left(\frac{\vec{AB} \cdot \vec{BC}}{|\vec{AB}| \cdot |\vec{AB}|}\right)$$

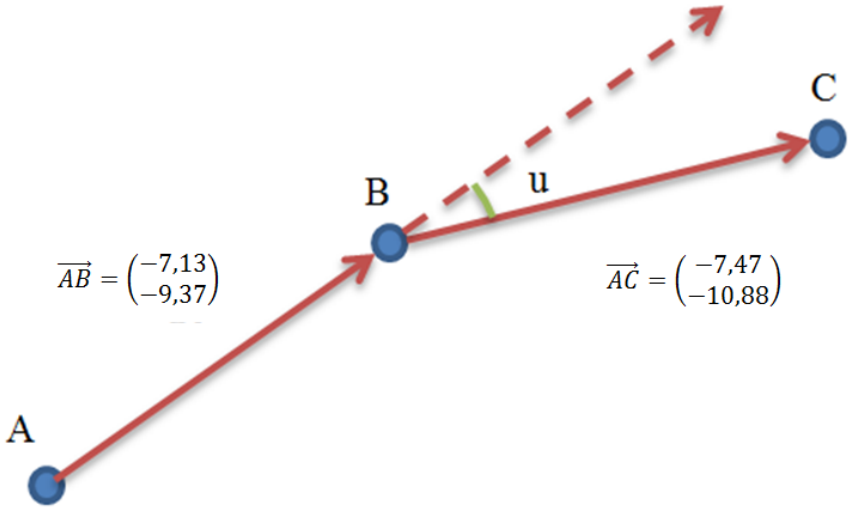
hvor

$$\vec{AB} \cdot \vec{BC} = AB_1 \cdot BC_1 + AB_2 \cdot BC_2$$

og

$$|\vec{AB}| \cdot |\vec{AB}| = \sqrt{AB_1^2 + AB_2^2} \cdot \sqrt{BC_1^2 + BC_2^2}$$

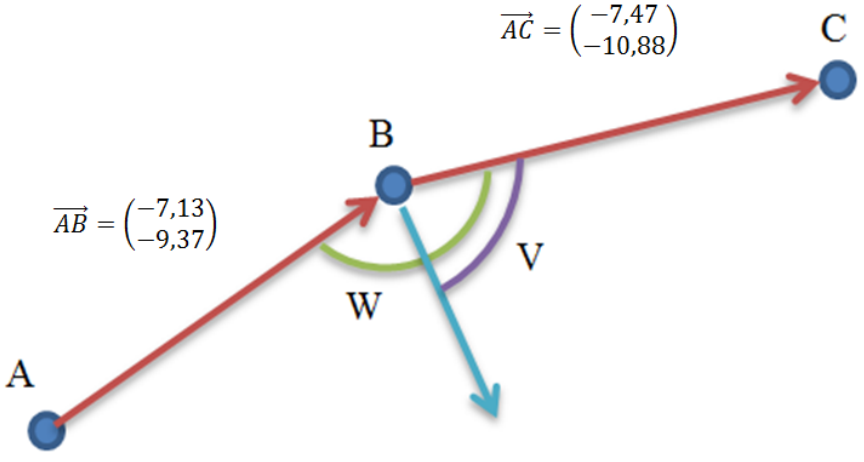
Den beregnede vinkel kan ses på Figur D.3 (s. 89) og i dette eksempel er denne vinkel beregnet til 2,76°.



Figur D.3: Placeringen af vinklen u mellem de to vektorer.

Det er dog ikke den vinkel, som er interessant. Derfor beregnes vinklerne w og v, som fremgår af figur D.4, ved følgende formler.

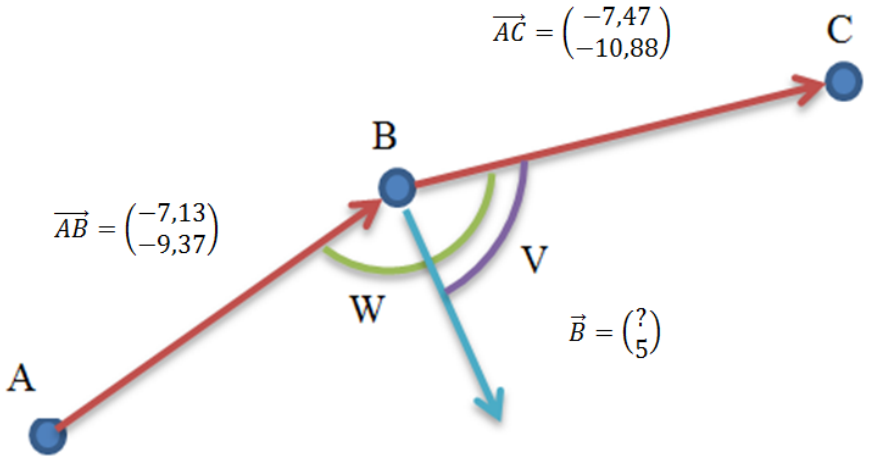
$$w = 180° - u$$
$$v = \frac{w}{2}$$



Figur D.4: Placeringen af vinklerne w og v mellem de to vektorer.

Vinklerne w og v beregnes i dette eksempel til hhv. 177,24° og 88,95°.

Vinklen v benyttes til at beregne koordinatorne til vektoren $\vec{B}$, som fremgår af figur D.5. Da vektoren har to ubekendte koordinator, og der kun er en ligning til rådighed, er det nødvendigt at fastsætte det ene koordinat. Værdien for dette koordinat får dog ingen betydning for de videre beregninger, da det kun er vektorens retning og ikke størrelse, der er relevant i denne sammenhæng. Koordinatet sættes til 5.



Figur D.5: Vektoren $\vec{B}$'s placering.

Med disse forudsætninger kan det manglende koordinat B_1 for $\vec{B}$ beregnes ud fra samme ligning som blev benyttet til at beregne u.

$$v = cos^{-1}\left(\frac{\vec{BC} \cdot \vec{B}}{|\vec{BC}| \cdot |\vec{B}|}\right)$$

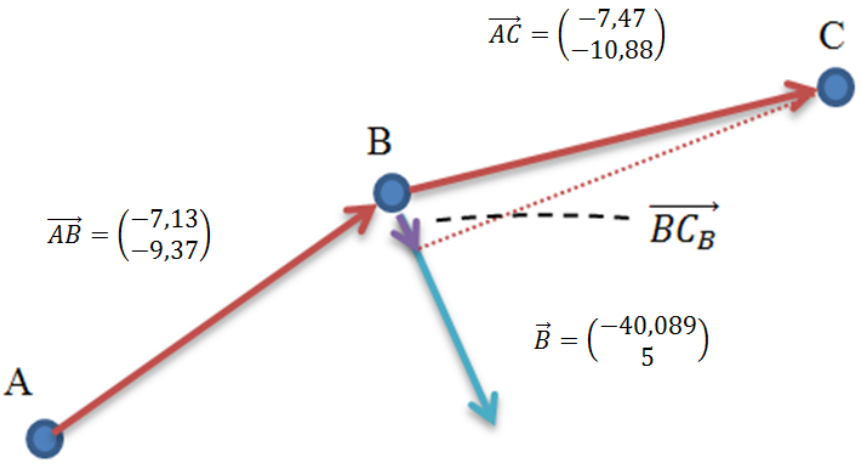
hvor

$$\vec{BC} \cdot \vec{B} = BC_1 \cdot B_1 + BC_2 \cdot B_2$$

og

$$|\vec{BC}| \cdot |\vec{B}| = \sqrt{BC_1^2 + BC_2^2} \cdot \sqrt{B_1^2 + B_2^2}$$

Beregning af dette giver os at $B_1 = -40{,}09$. Koordinaterne til vektoren $\vec{B}$, som peger ind mod centrum af kurven kendes nu, og det er derfor muligt at finde den del af vektoren $\vec{BC}$, der ligeledes peger ind mod centrum af kurven. Dette gøres ved at projektere vektoren $\vec{BC}$ ned på vektoren $\vec{B}$, hvilket er vist på figur D.6.



Figur D.6: Projektionen af vektoren $\vec{BC}$ ned på vektoren $\vec{B}$.

Beregningen for størrelsen af projektionen af vektoren $\vec{BC}$ ned på vektoren $\vec{B}$ er følgende.

$$\vec{BC}_B = \frac{\vec{BC} \cdot \vec{B}}{|\vec{BC}|}$$

Resultatet af dette bliver, at størrelsen af vektoren $\vec{BC}_B$ er -0,32, hvilket svarer til, at hastigheden ind mod centrum af kurven i punktet B. Disse hastigheder beregnes for alle punkter og kan benyttes til at beregne sideaccelerationerne, som er ændringen af hastighed over tid. Dermed kan dette beregnes ved følgende formel.

$$a(t) = v'(t) = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Dette kan dernæst benyttes til at beregne ryk, som er ændringen af acceleration over tid.

$$r(t) = a'(t) = \frac{\Delta a}{\Delta t}$$

Bilag E

Elektroniske bilag

E.1 Potentielle vejstrækninger

Liste over potentielle vejstrækninger til brug i rapporten.
Filtype: Worddokument

E.2 Valg af vejstrækninger

Tabel hvor alle potentielle vejstrækninger er blevet vurderet ud fra mængden af tilgængelig data.
Filtype: Exceldokument

E.3 Registreringer på udvalgte vejstrækninger

Registreringer af vejforhold og omgivelser for de udvalgte vejstrækninger.
Filtype: Exceldokument

E.4 Trygheds- og komfortvurderinger

Oversigt over trygheds- og komfortvurderinger.
Filtype: Exceldokument

E.5 Segmentopdeling af vejstrækningerne

Oversigt over koordinaterne for opdelingen af vejstrækningerne i segmenter.
Filtype: Exceldokument

E.6 Floating Car Data

Mappe som indeholder det benyttede data. Data er opdelt i tre undermapper for hver af de tre veje. Under hver vej er der 12 filer med data for hver af de 6 kurver i begge retninger. Hver datafil består af en række ark for hvert segment i den pågældende kurve samt et resultatark.
Filtype: Exceldokumenter

E.7 Sammenligning af Floating Car Data og egne data

Sammenligning af FCD og egne data samt undersøgelse af mulig sammenhæng mellem radius og hastighed.
Filtype: Exceldokument

E.8 Accelerometerdata

Mappe som indeholder de målte accelerometerdata. I mappen findes et exceldokument med sammenligning af maksimums- og minimumsværdier af ryk. Yderligere er data opdelt i tre undermapper for de tre veje. Under hver vej er der opdelt i kørselsretninger mod vest og øst, herunder er filerne navngivet ud fra nummer testkørsel.
Filtype: Exceldokumenter

E.9 Beregning af sideaccelerationer og -ryk

Vektorberegninger for sideaccelerationer og -ryk. Filerne er opdelt efter vej og retning.
Filtype: Exceldokumenter

E.10 Oversigt over beregnede sideaccelerationer og -ryk

Oversigt over alle kurver og deres tilhørende beregnede maksimums og minimumsværdier for sideaccelerationer og -ryk. Filerne er opdelt efter vej.
Filtype: Exceldokumenter

Appendiks E

Elektroniske appendiks

E.1 Det nye hastighedsbegreb

Vejregel omhandlende "Det nye hastighedsbegreb" hentet fra http://vejregler.lovportaler.dk
Filtype: PDF-dokument

E.2 Leica manual

Vejledning til anvendelse af Leica GPS1200 udarbejdet af Institut for Planlægning på Aalborg Universitet.
Filtype: PDF-dokument

E.3 Leica specifikationer

Oversigt over tekniske specifikationer og system funktioner af Leica GPS1200.
Filtype: PDF-dokument