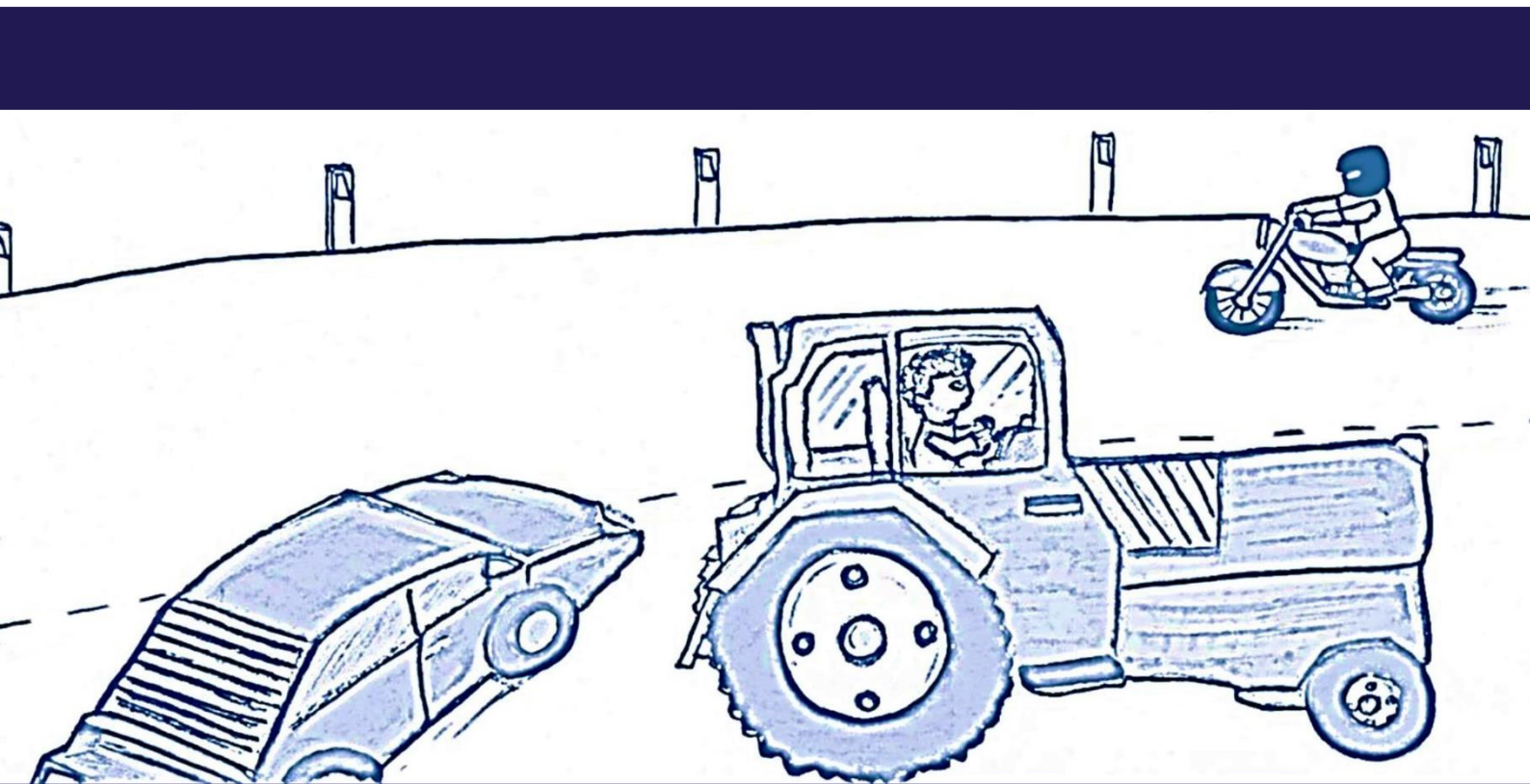




AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

Hastighedsvariation og trafiksikkerhed

- En undersøgelse af motorveje og veje i åbent land



Katrine Terp Nielsen – Veje og Trafik – Speciale – 2014

Hastighedsvariation og trafiksikkerhed

- En undersøgelse af motorveje og veje i åbent land

Katrine Terp Nielsen

Aalborg Universitet



AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

Titel:

Hastighedsvariation og trafiksikkerhed – En undersøgelse af motorveje og veje i åbent land

Title:

Speed dispersion and traffic safety – A study of motorways and rural ways.

Projekttype:

Kandidatspeciale

Forfatter:

Projektperiode:

10. semester, forårssemesteret 2014.

Katrine Terp Nielsen

Oplagstal: 3

Afleveret 10. juni 2014

Sidetæl: 117

Bilagstal: 6 trykte bilag samt vedlagt CD.

Omslag:

Illustration tegnet af Kasper Terp Nielsen.

Vejleder:

Lektor Niels Agerholm

Emneord:

- Trafiksikkerhed
- Hastighed
- Hastighedsvariation
- Matematisk modellering

Synopsis:

Hastigheden på en vejstrækning er afgørende for trafikanternes rejsetid, som igen er afgørende for en god fremkommelighed på strækningen og mobiliteten generelt. Høj hastighed har dog også utilsigtede konsekvenser, særligt i forhold til støj, forurening og trafiksikkerhed. Dette projekt sætter fokus på relationen til sidstnævnte, hvor hastigheden kvantificeres i termer af hastighedsvariation. En høj hastighedsvariation ventes nemlig at betyde uforudsigelighed af trafikken forårsaget af overhalinger, vognbaneskit og trafikstop. Et litteraturstudie viser, at en høj hastighedsvariation har en negativ trafiksikkerhedsmæssig effekt på et aggregeret niveau, mens det for den enkelte trafikant alene er risikoforøgende at færdes over gennemsnitshastigheden, ikke under.

Den empiriske del af undersøgelsen betragter hastighedsdata fra motorveje (maks. 110km/t) og veje i åbent land (maks. 80km/t). Det relative niveau for hastighedsvariationen kan ikke testes forskellig for de to vejtyper, hverken i lav- eller spidsbelastningsperioden, hvorfor en høj forekomst af dødsulykker på veje i åbent land ikke kan finde en medforklarende faktor heri. I spidsbelastningsperioden blev der på trængselsbelastede motorvejsstrækninger fundet en signifikant højere hastighedsvariation i det venstre overhalingsspor end i det højre, hvor det omvendte er konstateret for øvrige strækninger og for lavbelastningsperioden generelt. Variable hastighedstavler synes derfor at kunne have en gavnlig effekt på disse strækninger. For både motorveje og veje i åbent land viser modellering, at hastighedsvariationen kan minimeres, hvis gennemsnitshastigheden er lidt over (4km/t) skilte hastighed. Dette indikerer, at et komplekst samspil mellem vejgeometri, hastighedsgrænse og trafikkomposition/-situation er afgørende for størrelsen af hastighedsvariationen. Endeligt opstilles en matematisk ulykkesmodel med hastighedsvariation og gennemsnitshastighed som forklarende variable. En pålidelig model findes dog ikke grundet svagheder ved både hastighedsdata og særligt ulykkesdata.

FORORD

Dette kandidatspeciale er produktet af mit afgangsforløb på civilingeniøruddannelsen i Veje og Trafik ved Aalborg Universitet. Rapporten beskæftiger sig med trafiksikkerhed i relation til trafikens hastighed med særlig vægt på at undersøge variationen af hastigheder køretøjerne imellem. Grundet tidsmæssige begrænsninger bygger koblingen til trafiksikkerhed hovedsageligt på et litteraturstudie af foreliggende undersøgelser. Hastighedgrundlaget for projektet er tilvejebragt ad to kanaler, nemlig fra databaserne iMastra og ITS Platform. I forbindelse med formidling af adgang hertil vil jeg rette tak til civilingeniør Steen Lauritzen fra Vejdirektoratet samt til tidligere adjunkt ved Aalborg Universitet Darius Plausinaitis. Slutteligt vil jeg også rette en tak til min vejleder lektor Niels Agerholm.

Katrine Terp Nielsen

Aalborg, juni 2014

LÆSEVEJLEDNING

Dette projekt falder i tre dele. Den første introducerer en række begreber i relation til hastighed og trafiksikkerhed og redegør for de vigtigste forskningsresultater inden for delområdet af hastighedsvariation og trafiksikkerhed. Anden del af projektet udgør det empiriske grundlag - lige fra metodevalg til resultatfremstilling. Tredje og sidste del af projektet indeholder en diskussion af resultaternes betydning, pålidelighed og begrænsninger, hvilket leder frem til den endelige konklusion og perspektivering.

Litteraturhenvisninger er angivet efter Harvard-metoden, hvor kilderne angives med forfatterefternavn(e) og årstal for udgivelsen, eksempelvis (Elvik, 2009). Ved mere end tre forfattere medtages kun førstnævnte, eksempelvis (Elvik et al., 2004). Hvor kilderne inddrages aktivt i teksten, vil forfatternavne fremgå af teksten og årstal for udgivelsen vil forefindes i parentes. Detaljerede oplysninger om de benyttede kilder findes i projektets litteraturliste.

Figurer, tabeller og formler er nummereret fortløbende gennem projektet. Hvor engelske eller amerikanske undersøgelser er inddraget, er hastighedsangivelserne konverteret fra internationale mil pr. time (mil/t) til kilometer pr. time (km/t) med en omregningsfaktor på $1,609 \frac{\text{km/t}}{\text{mil/t}}$ for at sikre en højere læsevenlighed. Til de statistiske tests er valgt et signifikansniveau på 5%, som er det mest brugte signifikansniveau. Signifikansniveauet anvendes til at skelne mellem accept og forkastelse af undersøgte hypoteser.

Projektet undersøger veje i åbent land med en hastighedsgrænse på 80km/t. Disse vil i teksten også betegnes 80km/t-veje. Projektet anvender hastighedsbegreber i henhold til nyeste vejregel på området fra oktober 2012, se Vejdirektoratet (2012).

INDHOLDSFORTEGNELSE

Summary.....	7
1. Indledning.....	9
DEL 1: Et Litteraturstudie	11
2. Individuel hastighed og trafiksikkerhed.....	13
2.1 Alvorlighedsgraden af en ulykke.....	14
2.2 Risikoen for en ulykke	14
2.3 Potensmodellen.....	17
3. Lovgivning og Hastighedsfordelinger	19
3.1 Lovgivning og hastighedsvalg.....	19
3.2 Hastighedsfordelingen og mål for variation	20
4. Case-kontrol-studier	23
4.1 Solomons U-formede kurve.....	23
4.2 Australske resultater	27
5. Spredning som sammenligningsparameter	31
5.1 Hastighedsvariationen som eneste forklaring.....	31
5.2 Gennemsnitshastigheden med i spil	37
6. Afrunding af del 1	41
DEL 2: Metode og Resultater	43
7. Problemformulering.....	45
8. Metode	47
8.1 Metoder til hastighedsmålinger.....	47
8.2 Valg af vejstrækninger	52
8.3 Valg af tidsrum	55
8.4 Udtræk af ulykkesdata.....	57
9. Indledende resultatbehandling	59
9.1 Parametrisk eller ikke-parametrisk statistik.....	59

9.2	Hastighedsdata.....	60
9.3	Ulykkesdata	63
10.	Resultater af statistiske tests og Regressioner	65
10.1	Analyse af motorvejsdataene	65
10.2	Analyse af data fra 80km/t-vejene.....	68
10.3	En komparativ analyse af de to vejtyper	70
10.4	Resultaterne af ulykkesanalyserne.....	72
11.	Afrunding af del 2	77
11.1	Motorvejene	77
11.2	Vej i åbent land	77
11.3	Sammenligning af motor- og 80km/t-veje	78
11.4	Spredningen som funktion af gennemsnitshastigheden.....	78
11.5	Ulykkesanalyserne.....	79
DEL 3: Diskussion og afrunding		81
12.	Diskussion.....	83
12.1	Hastighedsdata.....	83
12.2	Ulykkesdata	88
13.	Konklusion.....	93
13.1	Perspektivering.....	95
Litteratur.....		97
Bilag A: Motorvejsstrækninger		103
Bilag B: Strækninger i åbent land		105
Bilag C: Et udtræk fra ITS Platform		109
Bilag D: Hastighedsopgørelser fra motorvejstrækningerne.....		113
Bilag E: Hastighedsopgørelser for 80km/t-veje vha. iMastra.....		115
Bilag F: Hastighedsopgørelser for 80km/t-veje vha. ITS Platform.....		117

SUMMARY

The relationship between traffic speed and road safety is a controversial topic and highly debated by politicians, scientists and road users. Traffic speed has in general other unintended consequences, especially regarding to traffic noise and pollution. On the other hand the traffic speed is determining for the travel time of a road section, which is important for the mobility in a society, which in the end effects the productivity and the amount of spare time for the road users. These opposite pointing factors need to be balanced to ensure a justifiable speed level.

Most research and literature reviews in this field focus on the relationship between the average speed and road safety and generally conclude, that higher speed results in more traffic crashes and worsened consequences of a crash. This master thesis centres on the relationship between speed dispersion and traffic safety. The logic is, that if a road has a high speed variance it results in less predictability, more overtaking maneuvers and more lane changes, which increases the probability of an intervehicle conflict. A conducted literature review supports this expected relationship at an aggregated level. At an individual level literature shows that it is only risk increasing for a vehicle to move faster than the other traffic, not to move slower.

An empirical study was conducted to compare parameters of the speed distribution of two types of roads – two-lane motorways (speed limit 110km/h) and rural roads (speed limit 80km/h). In Denmark most road casualties take place at rural roads and only a few percent at the motorways. The main explanation for this distribution should be found in difference of traffic composition, traffic complexity and road design. The average speed in general is obviously not an independent explanation. At a relative level the speed dispersion could not be tested significantly different for the two types of project roads, which means that speed dispersion does not give an additional explanation of the distribution of road casualties.

Since the traffic in Denmark is right-handed the left driving lane of two-lane motorways is the fast overtaking lane. That is why the Swedish power model prescribes a weaker traffic safety situation for the left lane versus the right lane, which in the light of the literature review was tested if this was also supported by a difference in their respective speed dispersion. The empirical study did only find a larger speed dispersion in the left fast lane in the rush hour for road sections highly affected by congestion. In such traffic

situations variable speed signs could seem to have a beneficial effect to reduce speed dispersion and frustration for the traffic situation in general. At the other road sections the speed dispersion was highest in the right lane, which is mainly caused by a larger amount of slow heavy vehicles.

The literature review revealed disagreement of the relationship between average speed and speed dispersion, though the studies agreed that the two parameters was correlated. The empirical study gave a second-order polynomial for the relationship concerning the standard deviation and the difference between average speed and the speed limit. The relationship was clearest for both types of roads together. The speed dispersion can be minimized for an average speed near the speed limit (4km/h above). This exposes a complex interplay between road geometry, speed limit, traffic composition/situation, for determining the size of the speed dispersion.

Finally a mathematical model for road crashes on rural roads is established, which has standard deviation and average speed as explanatory variables. A reliable model is however not found due to weakness in both speed data and specifically crash data. To accommodate the latter the project recommends future investigation to either use conflict techniques or use more sufficient crash data from Odense University Hospital, who keeps a unique crash database by Danish standards.

1. INDLEDNING

Trafikulykker på veje i åbent land resulterer årligt i næsten 60% af det samlede antal trafikdrab i Danmark. 6% er det tilsvarende tal for motorvejsnettet (Vejdirektoratet, 2014). Sammenholdes dette forholdstal med det faktum at den hyppigste ulykkesfaktor ved dødsulykker i Danmark er for høj hastighed,¹ fremkommer et fremtrædende indsatsområde til at sænke antallet af dødsulykker: *kørselshastigheden i landområder*. I Rådet for Sikker Trafiks aktuelle kampagne ”Sænk farten – En lille smule betyder en hel del” er fokus også netop rettet herimod. Kampagnen lægger sig i kølvandet på adskillige undersøgelser, der viser en mere eller mindre klar sammenhæng mellem hastighed og trafik-sikkerhed, både med hensyn til antallet af ulykker og alvorlighedsgraden heraf. Hvor sidste forhold i litteraturen fremstår som en nærmest uomtvistelig naturlov er det vigtigt at slå fast, at højere hastigheder isoleret set ikke per automatik øger risikoen for ulykker - andre faktorer spiller ind. Motorvejsnettets lave andel af dødsulykker trods de højeste hastigheder er et klart eksempel herpå.² En af disse medforklarende faktorer granskes i dette projekt. Mens hovedparten af foreliggende forskning tager udgangspunkt i den gennemsnitlige hastighed som parameter for hastighedsfordelingen, har dette projekt sit fokus på variationen af hastigheder på udvalgte dele af vejnettet.

Variationen i hastighederne på en strækning er i allerhøjeste grad determinerende for forudsigeligheden af trafikken og ensartetheden af trafikanternes kørsel, hvilket ses udtrykt ved eksempelvis antallet af overhalinger og vognbaneskift, hvis der er mulighed herfor (Aarts & Schagen, 2005). Sådanne manøvrer stiller større krav til trafikanter, og risikoen for fejl forøges som en naturlig konsekvens. Hastighedsvariation på en strækning synes derfor interessant at belyse i et trafiksikkerhedsmæssigt perspektiv.

For langt de fleste tilgængelige litteraturstudier af hastighed og trafiksikkerhed er hastighedsvariationens sikkerhedsmæssige betydning behandlet i begrænset omfang, mens den enkelte trafikants absolutte hastighed og den kollektive gennemsnitshastighed har været i fokus. Projektet indledes med et større litteraturstudie, hvor denne tilgang og vægtning er vendt på hovedet. Hastighedsvariationen belyses derfor i et trafiksikkerhedsmæssigt perspektiv ud fra tilgængelige internationale undersøgelser. Det samlede

¹ Opgørelsen bygger på 439 dødsulykker i 2010-11 (Færdselssikkerhedskommissionen, 2013).

² Der gøres opmærksom på, at andelen af dødsulykker ikke er korigeret for andele af trafikarbejdet på de to vejtyper.

litteraturstudie vil danne det teoretiske fundament for projektets undersøgelse af hastighedsvariationen på forskellige dele af det danske vejnet.

Ulykkesrisikoen er på motorveje mindre sensitiv over for absolutte hastighedsændringer end på andre vejtyper (Greibe, 2005). Dette skyldes først og fremmest, at vejgeometrien er mere entydig og selvforklarende, samt at den trafikale situation er mindre kompleks, som eksempelvis ses ved fraværet af traktorer og lette trafikanter. En supplerende forklaring hertil kan måske findes i generelle forskelle på hastighedsvariationens størrelse på forskellige vejtyper, således at en mere ensartet trafik på motorvejene foranlediger en bedre trafiksikkerhed. Denne potentielle forklaring vil i dette projekt blive belyst for motorveje og veje i åbent land.

Den danske færdselslov påbyder højrekørsel, hvorfor venstre kørespor på motorvejene udgør det *hurtige* overhalingsspor. Denne hastighedsforskel giver ifølge den anerkendte svenske potensmodel en større risiko for ulykker i det venstre kørespor (Elvik, 2009). I projektet underkastes tosporede motorveje en undersøgelse af, om og hvordan hastighedsvariationen differentierer sig mellem køresporerne, og om dette forhold ændrer sig i myldretiden. Det vides nemlig, at større trafikmængder foranlediger en højere ulykkesrisiko (Elvik et al., 2004).

Et ganske unikt redskab i det praktiske danske trafiksikkerhedsarbejde ville være en matematisk model, der ud fra karakteristika for hastighedsfordelingen på en bestemt vejstrækning kunne prognosticere den stedbundne ulykkesrisiko. Herved ville strækninger af trafiksikkerhedsmæssig interesse kunne udpeges og udbedres. En sådan model ville kunne imødekomme politiets faldende ulykkesregistreringsgrad, der i 2011 var blot lidt over 10%, svarende til et massivt mørketal, der besværliggør det stedbundne trafiksikkerhedsarbejde (Danmarks Statistik, 2014). Dette projekt vil ved hjælp af matematisk regression søge at opbygge en sådan model for veje i åbent land.

DEL 1: ET LITTERATURSTUDIE

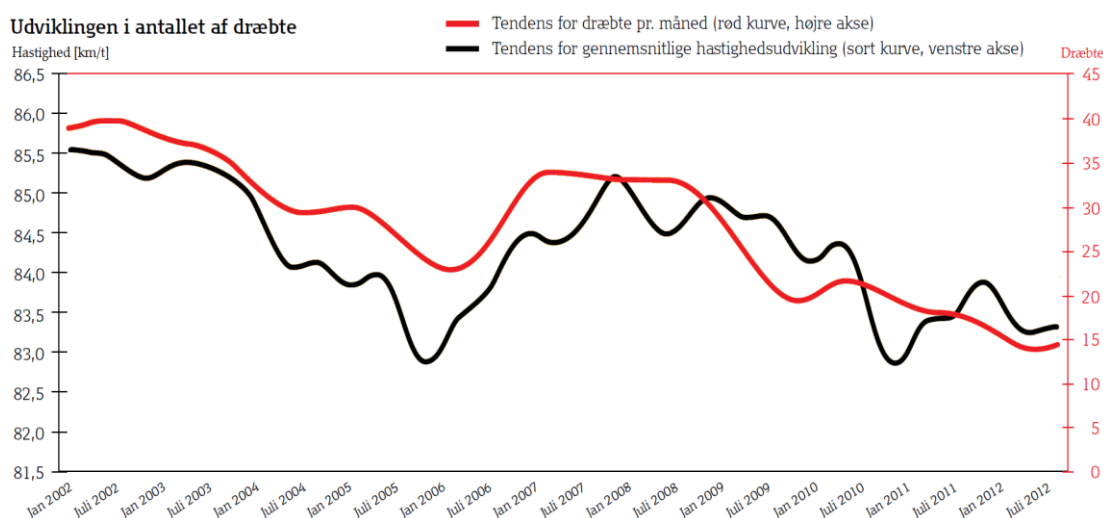
Første del af projektet danner det teoretiske fundament for resten af projektet og vil lede frem til projektets empiriske formål, der alle knytter sig til en eller flere af følgende forhold for en vejstrækning: *hastighedsvariation, gennemsnitshastighed og trafiksikkerhed*.

Del 1 udgør kapitlerne 2-6. Delen vil indlede med en bred indføring i fysiske og kørselsdynamiske faktorer, der knytter den enkelte trafikants hastighed op på risikoen for en ulykke og alvorlighedsgraden heraf. Kerneforståelsen for feltet af trafiksikkerhed og hastighedsvariation synes at være tæt forbundet hertil, selvom hastighedsvariation alene er meningsfuldt som begreb ved mere end et køretøj.

I de derpå følgende tre kapitler vil variationen af hastigheder blive undersøgt fra hver sin angrebsvinkel. Over 50 år som forskningsområde har ikke blot fordret mange forskningsresultater, men også megen kritik, som sammen med egne overvejelser vil fremføres for at forstå resultaternes betydning med henblik på at skabe et stærkt teoretisk fundament for projektet.

2. INDIVIDUEL HASTIGHED OG TRAFIKSIKKERHED

Flere steder i den engelsksprogede litteratur støder man på ordene "*speed kills*", og de er efterhånden så velunderbyggede, at de er blevet aksiomatiske for trafiksikkerhedsarbejdet. Figur 1 illustrerer dette ud fra udviklingen i antallet af trafikdræbte og gennemsnitshastigheden på månedsbasis i løbet af en 10 års periode.



Figur 1: Gennemsnitshastigheden på danske 80km/t-veje sammenholdt med de trafikdræbte opgjort på månedsbasis. (Færdselssikkerhedskommissionen, 2013)

Figuren viser en tydelig sammenhæng mellem udviklingen i gennemsnitshastigheden og antallet af dræbte. Selv et mindre fald i gennemsnitshastigheden tegner til at have stor betydning for den generelle trafiksikkerhed. Ud over den illustrerede sammenhæng mellem hastighed og risikoen for ulykker relaterer hastighed sig også til alvorlighedsgraden af den indtrufne ulykke (Elvik et al., 2004). Det første forhold er dog langt mere omdiskuteret end det sidste, hvor eksempelvis Hauer (2004) hævder, at mange samvirkende ulykkesfaktorer gør det næsten umuligt at tale om en specifik risiko alene knyttet til den enkelte trafikants hastighed.

2.1 Alvorlighedsgraden af en ulykke

Omfanget af konsekvenser, som en ulykke har på involverede køretøjer og trafikanter, er nært forbundet med køretøjernes kollisionshastigheder. Sidstnævnte parameter betegner den hastighed, et køretøj bevæger sig med i momentet, det støder sammen med en anden trafikant eller et fast objekt.

Sammenhængen beror på, at et objekt i bevægelse besidder en energimængde, hvis størrelse afhænger af objektets masse (m , [kg]) og dets aktuelle hastighed (v , [m/s]). Denne energimængde betegnes kinetisk energi (E_{kinetisk} , [J]), som ses af formel [1] og vil i forbindelse med en ulykke afsættes i køretøjet og i objektet, det kolliderer med.

$$E_{\text{kinetisk}} = \frac{1}{2}mv^2 \quad [1]$$

Som formelen foreskriver, er den kinetiske energi bestemt ud fra den kvadrerede kollisionshastighed og ikke blot af kollisionshastigheden, hvorfor en forholdsvis lille hastighedsoverskridelse vil have relativt større indflydelse på den kinetiske energimængde, som udløses ved en eventuel trafikulykke.

Køretøjer og lovgivning om indretningen og brugen af disse er gennem tiden forbedret i trafiksikkerhedsøjemed. Efter 1. maj 2009 blev det som eksempel herpå et lovkrav, at passagerer samt førere af privatbiler altid skal benytte sikkerhedsseler (Rådet for Sikker Trafik, 2009). Dette er et eksempel på sikkerhedsforanstaltninger, der for passagerer og fører i det enkelte køretøj søger at imødekomme afsætningen af kinetisk energi i ulykkesøjeblikket. Køretøjet i sig selv udgør også en mekanisk barriere, der yder passagererne beskyttelse. Bløde trafikanter er i sammenligning hermed helt uden afskærmning og har derfor en lavere tolerancetærskel i forbindelse med afsætning af kinetisk energi ved en trafikulykke. Energi som kan føre til frakturer på bevægeapparatet og skader på indre organer samt materielskade.

Kollisionshastigheden er således en yderst afgørende faktor for, hvor alvorlig en ulykke bliver for de implicerede.

2.2 Risikoen for en ulykke

Faktorerne, der hæfter den enkeltes hastighed op på risikoen for ulykke, relaterer sig hovedsageligt til simple modeller fra den klassiske fysik. Endvidere er hastigheden en helt afgørende udformningsparameter i vejprojekteringen, (Bolet, 2011), af hvilken

grund en for høj hastighed i forhold til vejgeometrien eksempelvis kan betyde, at køretøjet glider af kørebanen.

2.2.1 Standselængde

Risikoen, for at en ulykke opstår, er tæt forbundet med muligheden for at bringe et køretøj til standsning ved behov herfor. Før selve nedbremsningen skal behovet for en hastighedssænkning eller et totalt stop detekteres. Den tid, der går forud for bremsefasen, betegnes reaktionstiden (t_{reaktion} , [s]). I dette tidsinterval detekterer trafikanten en kritisk situation, fortolker denne, tager beslutning om reaktion og i gang sætter handlingen. Reaktionstiden er individuel for hver enkelt trafikant og i høj grad også situationsafhængig (Herrstedt, 2007). Er trafikanten eksempelvis træt, påvirket af stoffer eller distraheret af brug af mobiltelefon er reaktionstiden forlænget. Undersøgelser slår fast, at der ikke er nogen entydig signifikant forskel på reaktionstiden hos unge og ældre mennesker i en simpel situation, der skal reageres på. I mere komplekse situationer, hvor flere handlemuligheder er mulige, viser forskning en aldersbetinget forskel i de unges favør (Herrstedt, 2007). I løbet af reaktionstiden vil køretøjet fortsætte med samme hastighed (v , [m/s]), hvorfor reaktionstiden giver anledning til en reaktionslængde (L_{reaktion} , [m]):

$$L_{\text{reaktion}} = t_{\text{reaktion}} \cdot v \quad [2]$$

Da reaktionstiden er en rimelig konstant parameter, viser formelen, at hastighedens størrelse er altafgørende for reaktionslængden. Ligeledes er hastigheden vigtig i relation til selve nedbremsningen. Bremselængden (L_{bremse} , [m]) vil ved en total standsning på en lige vej være givet ved følgende formel:

$$L_{\text{bremse}} = \frac{v_{\text{initial}}^2}{2fg} \quad [3]$$

Bremselængden er i dette standardiserede tilfælde afhængig af gravitationskonstanten (g , [m/s²]), friktionskoefficienten (f , [-]) og initialhastigheden (v_{initial} , [m/s]), (Elvik et al., 2004) Ved opbremsning på en mere kompleks vej skal der også tages højde for længdegradient og/eller sideacceleration (Bolet, 2012).

Formel [3] udtrykker, at selv mindre hastighedsoverskridelser vil have relativ stor betydning for bremselængden. Formel [4] kvantificerer bremselængden for en procentvis hastighedsoverskridelse i termer af bremselængden ved hastighedsgrænsen ($v_{\text{grænse}}$, [m/s]), hvor leddet "%" udgør et decimaltal for den procentvise hastighedsoverskridelse:

$$L_{\text{bremse, \% over grænse}} = \frac{(v_{\text{grænse}} \cdot (1 + \%))^2}{2fg} = L_{\text{bremse, grænse}} \cdot (1 + \%)^2 \quad [4]$$

Senere i dette projekt betragtes køretøjer, der overskrider hastighedsgrænsen med 10% og 30%, hvorfor formel [4] vil blive beregnet herfor samt mindre overskridelser på 1, 2 og 5%. Resultatet heraf ses i Tabel 1.

Tabel 1: Procentvise hastighedsoverskridelser i relation til den tilsvarende forøgelse af bremselængden.	
Procentvis overskridelse af hastighedsgrænsen:	Procentvis forøgelse af bremselængden ved hastighedsgrænsen:
1	2
2	4
5	10
10	21
30	69

Det ses, at selv små overskridelser hurtigt fører til relativt store forøgelser af bremselængden. Overskrides hastighedsgrænsen eksempelvis med 10%, vil bremselængden være 21% længere end ved hastighedsgrænsen. Hertil kommer, at reaktionslængden også forøges ved en hastighedsoverskridelse.

Dette illustrerer, hvordan den samlede standselængde (reaktionslængde plus bremselængde) forøges ved en højere hastighed. I følge Elvik et al. (2004) er standselængden det tætteste, man kommer på en elementær fysisk lov, der sammenbinder hastighed med ulykkens opståen.

2.2.2 Vejgeometri, hastighed og trafiksikkerhed

Når vejnettet udformes er hastighed i relation til trafiksikkerhed et væsentligt forhold at tage i betragtning. Det såkaldte *hastighedsdilemma* knytter sig netop hertil. Det drejer sig om, at vejgeometrien bør afvejes, så vejen på den ene side ikke frister til hastighedsoverskridelser, men samtidig tager hensyn til trafiksikkerheden for en sagesløs trafikant i en situation, hvor en anden trafikant bryder hastighedsgrænsen eller andre færdselsregler. (Bolet, 2011)

Overtræder en trafikant hastighedsgrænsen markant, vil hastigheden altså nærme sig eller overskride hastigheden til grundlag for dimensioneringen. Derved mindskes sandsynligheden for, at nødvendig friktion mellem dæk og vejbelægning kan opnås.

Ved udformningen af en horisontal vejkurve med sidehældning tages der derfor eksempelvis højde for, at køretøjer ved den dimensionerende hastighed ikke kan vælte eller skride ud. Den sideacceleration, køretøjerne er udsat for ved gennemkørslen af kurven, er afgørende for opfattelsen af komfort. Det er i midlertidigt ikke ønskeligt at tage komforthensyn (alene sikkerhedshensyn) til trafikanter, der overskrider hastighedsgrænsen. Ved hjælp af klassisk geometri og ligevægtsbetragtninger om optrædende kræfter er det muligt at opskrive udtryk, der giver kørselsdynamiske minimumskrav til kurvens radius. Heri indgår, foruden tyngdeaccelerationen, sidehældningen og friktionen, hastighedskvadratet, hvorfor en overtrædelse af hastigheden i en kurve vil have stor betydning for risikoen for at miste kontrol over køretøjet og skride ud eller på anden vis blive impliceret i en trafikulykke. Sikker kørsel for den enkelte trafikant knytter sig derfor i høj grad op på at tilpasse sin hastighed efter givne forhold, både vejgeometriske og vejrbestemte. (Bolet, 2012)

2.3 Potensmodellen

Kapitel 2 runder af med at betragte en enkelt model, der sammenknytter gennemsnitshastigheden med trafiksikkerheden på en given strækning. En sådan gennemsnitshastighed opgøres for alle køretøjer, der passerer en givet tværprofil (vejsnit) i et givet tidsrum, og betegnes snithastigheden. Potensmodellen ligger i periferien af kerneområdet, men vil i forbindelse med formulering af empirisk formål finde sin berettigelse.

Den svenske potensmodel, publiceret i starten af firserne, angiver den relative ulykkesrisiko på en vej i termer af dennes gennemsnitshastighed og en referencehastighed. Potensmodellen er i vid udstrækning blevet brugt til at forudsige, hvilken indflydelse en positiv eller negativ hastighedsændring vil have på trafiksikkerheden. I sammenhæng med dette projekt betragtes modellen som en risikomodell givet ud fra en aktuel gennemsnitshastighed (v_{aktuel} , [km/t]) i forhold til en referencehastighed ($v_{\text{reference}}$, [km/t]):

$$\frac{U_{\text{referencehastighed}}}{U_{\text{aktuel}}} = \left(\frac{v_{\text{reference}}}{v_{\text{aktuel}}} \right)^{\alpha} \quad [5]$$

Parameteren α [-] afgør, hvilken ulykkestype der modelleres. Dette er både mht. alvorlighedsgrad samt om, det er antallet af ulykker eller tilskadekomne og/eller dræbte, der undersøges. Parameteren er positiv og afhængig af vejmiljøet (Elvik, 2009).

U_{aktuel} og $U_{\text{referencehastighed}}$ har samme enhed for den givne modellering og dækker enten over antal ulykker eller antal tilskadekomne ved den hastighed, indekseringen angiver.

Venstre side af formelen giver altså det relative ulykkestal ved en aktuel hastighed i forhold til ved en referencehastighed. Denne referencehastighed kunne eksempelvis være den gældende hastighedsgrænse. I det tilfælde prædikerer modellen en relativ risiko på over 1, hvis gennemsnitshastigheden ligger over hastighedsgrænsen, hvilket svarer til en forøget ulykkesrisiko, og vice versa ved en gennemsnitshastighed under hastighedsgrænsen.

Potensmodellen har inspiratorisk baggrund i elementære fysiske love, mens selve parameterverdierne for α baserer sig på matematisk regression af tilgængelig ulykkesdata i forbindelse med en hastighedsændring (Nilson, 2004).

3. LOVGIVNING OG HASTIGHEDSFORDELINGER

De næste tre kapitler omhandler alle sammenhænge mellem hastighedsvariation og trafikssikkerhed. Forskning på området benytter sig af et udvalg af forskellige parametre til at kvantificere hastighedsvariationen, hvorfor dette kapitel vil relatere disse mål til hinanden og til fordelingen af hastigheder.

Kapitlerne viser, at det er muligt at påvirke hastighedsvariationens størrelse, men det er vigtigt at notere sig, at hastighedsvariationen i sidste ende afgøres af trafikanternes individuelle hastighedsvalg. Færdselsloven udstikker differentierede hastighedsgrænser for forskellige køretøjsarter, hvilket i sig selv fordrer en hastighedsvariation. Den nuværende sanktionsstruktur i Danmark medvirker til et overlap imellem disse to faktorer. Kapitlet vil indlede med en kort redegørelse herfor.

3.1 Lovgivning og hastighedsvalg

Den danske færdselslov angiver gældende generelle (øvre) hastighedsgrænser, mens ingen nedre grænser er angivet. Lave hastigheder er dog behandlet og særligt udspecificeret for motor- og motortrafikveje. På disse vejtyper må køretøjer kun færdes, hvis de på vandret vej kan (og må) fremføres ved minimum 50km/t. Dette betyder bl.a., at diverse knallerttyper og landbrugsmaskiner ikke må færdes på sådanne veje under normale forhold (§44 og §48 i Færdselsloven). Færdselslovens §41 indledes med sætningen:

"Et køretøjs hastighed skal til enhver tid være afpasset
efter forholdene med særligt hensyn til andres sikkerhed."

Paragraffen udstikker en række forhold, bl.a. i relation til sigte og vejrforhold, som det enkelte køretøj skal fastsætte denne afpassende hastighed efter. Nedkøgt vil dette for hver enkelt bilist lede til et skøn over influerende faktorer, som vægtet med bilistens risikovillighed fører til et hastighedsvalg.

"Kørende må ikke hindre andre kørendes normale kørsel ved uden rimelig grund at køre med overdreven lav hastighed" angiver paragraffen ligeledes. Denne nedre hastighedsbegrænsning beror igen på et skøn fra den enkelte bilist og er således ikke direkte med til at fastsætte et interval af tilladte hastigheder. En sådant interval vil også være uden

nytte i situationer med kødannelse og ville i nogle situationer blive en u hensigtsmæssig opfordring til at køre efter en højere hastighed end den til forholdene afpassede.

De generelle hastighedsgrænser er i færdselsloven differentieret for lette og tunge køretøjer. Således fordrer køretøjssammensætningen på en vej alene en variation i hastighederne. Som eksempel herpå er den generelle hastighedsgrænse for køretøjer på over 3,5 ton 80km/t på motorvejene, hvilket er op til 50km/t lavere end de øvrige køretøjers (§43, Færdselsloven).

3.1.1 Sanktionsstruktur

Variationen i hastigheder på de danske veje har også rod i sanktionsstrukturen, der er knyttet op på lovgivningen på området. Dette skyldes, at forskellige procentvis overskridelser af den generelle hastighedsgrænse har forskellige retslige konsekvenser. Grundet usikkerhed ved måleudstyr uddeles en fartbøde først ved en overskridelse på 10 procent eller mere, mens et såkaldt klip i kørekortet sker ved en overtrædelse på 30 procent eller mere (Midt- og Vestsjællandspoliti, 2014). Dette bevirker ifølge lektor Niels Agerholm, at trafikanterne opererer efter forskellige hastighedsgrænser (Jyllands-Posten, 2014). Således vil nogle køretøjer holde sig under grænsen, andre under denne plus 10 procent og andre igen plus 30 procent. Sanktionsstrukturen sammenholdt med individuel risikovillighed medvirker derfor også til variationen af hastighederne. Denne betragtning stemmer overens med, at hovedparten af køretøjerne i åbent land overskrider hastighedsgrænserne. Færdselssikkerhedskommissionen (2013) estimerer andelen til at være over 60%, mens Eksler et al. (2009) angiver, at 74% kører hurtigere end tilladt på de danske veje i åbent land – andelen er under alle omstændigheder meget høj.

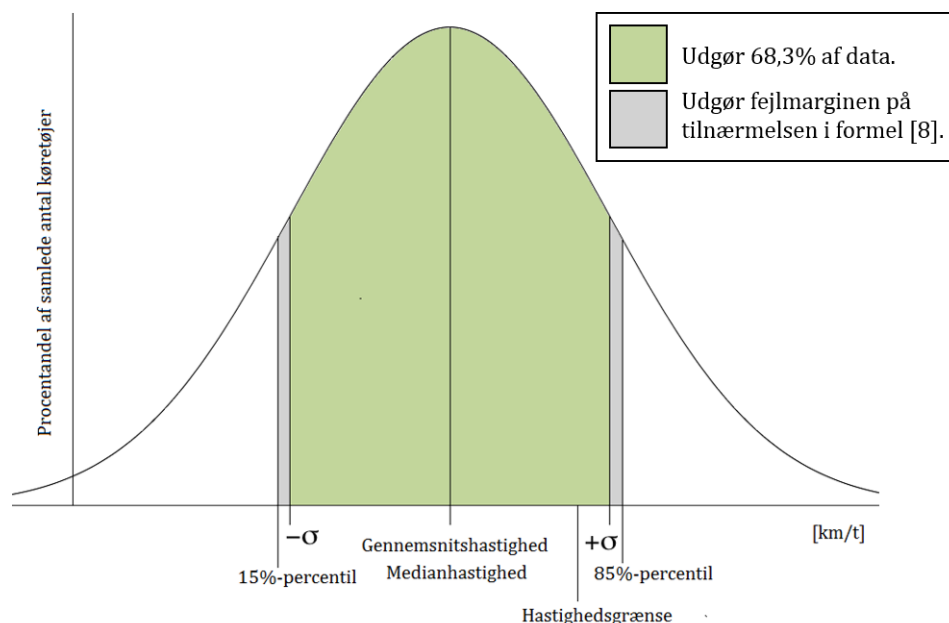
3.2 Hastighedsfordelingen og mål for variation

Som fremført ovenfor ligger en række lovgivningsmæssige faktorer til grundlag for, at hastighederne i en måling i et vejtværprofil vil variere i et løbet af et tidsinterval. Mange andre faktorer spiller ind på den enkeltes hastighedsvalg - ofte i et kompliceret sammen spil trafikant, køretøj og trafiksystem/-situation imellem.

Hastighederne målt i et tværprofil udgør tilsammen en fordeling, når disse rangeres efter størrelse. Denne hastighedsfordeling vil ofte være en normalfordeling, som har median og middelværdi (sammenfaldende for en normalfordeling) et stykke under eller over den generelle hastighedsgrænse på lokaliteten, se Figur 2 (Taylor et al., 2000). Størrelsen på

dette "stykke" afhænger af, hvor mange procent, der overskrider hastighedsgrænsen på den pågældende vej. Figuren antyder, at godt 20% i dette fiktive tilfælde kører hurtigere end tilladt.

Fokus i dette projekt hviler på, hvorledes hastighederne varierer rundt om middelhastigheden/gennemsnitshastigheden ($v_{\text{gnst.}}$, [km/t]). Til mål herfor er variansen eller spredningen primært brugt. Disse to parametre er entydigt forbundet og er i princippet mål for det samme, men da spredningen i praksis er lettere at fortolke, vil fokus i den empiriske del af opgaven være rettet herpå. Et meget svagere alternativ til at måle variationen i en fordeling er ved at betragte forskellen på fordelingens mindste og største værdi. Denne metode benytter sig alene af to målinger for stikprøven, hvor spredningen og variansen tager samtlige i betragtning.



Figur 2: En typisk hastighedsfordeling med brugte parametre

Variansen i en datamængde er nemlig en størrelse, der vægter alle målingers afvigelser i forhold til middelværdien, altså forskellene ($v_{\text{gnst.}} - v_i$), hvor v_i er i 'te hastighedsmåling i stikprøven. Da disse enkelte afvigelser kan antage både positive og negative værdier, kvadreres de for at undgå, at de ved summering udligner hinanden. Afstandene vil være små, hvis målingerne er koncentreret tæt omkring middelværdien, mens det omvendte vil være gældende, hvis målingerne er spredt ud over et større interval. Variansen (σ^2 , [km²/t²]) udgør et slags gennemsnit over disse kvadrerede afvigelser:

$$\text{Varians} = \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (v_{\text{gnst.}} - v_i)^2}{n-1} \quad [6]$$

Til Formel [6] skal der knyttes to bemærkninger. At divisoren i udtrykket er $(n-1)$ frem for n skyldes, at det matematisk kan vises, at dette giver et bedre estimat for variansen for populationen til grundlag for stikprøven, som jo er den varians, der ønskes belyst (Kirkwood & Sterne, 2003). For det andet er en ulempe ved variansen, at den ikke har samme enhed, som observationerne (i dette tilfælde $[km/t]$). Fortolkningsmæssigt har det derfor sine fordele at betragte kvadratroden af variansen, som benævnes som standardafvigelsen eller spredningen (σ , $[km/t]$), som er betegnelsen, der vil bruges i det følgende.

$$\text{Spredning} = \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_{\text{gnst.}} - v_i)^2}{n-1}} \quad [7]$$

Symmetrien i en normalfordelingen giver anledning til en brugbar fortolkning af spredningen. Dette fordrer nemlig, at cirka 70% af data ligger inden for en afstand af middelværdien på 1 gange spredningen, og cirka 95% af data inden for en afstand på 2 gange spredningen. Dette ses let ved at standardisere data. Som surrogat for spredningen i en normalfordeling anvendes ofte forskellen i 15%-fraktilen og 85%-fraktilen, da forskellen herpå netop er de 70% af data, som er centreret om middelværdien:

$$\sigma \approx \frac{v_{85\%} - v_{15\%}}{2} \quad [8]$$

Det bølgede lighedstegn følger, da det ikke er præcist 70% af data, der ligger i en afstand af 1 spredning fra middelværdien, men reelt 68,26% i en perfekt symmetrisk normalfordeling (Kirkwood & Sterne, 2003). Udtrykket i formel [8] er anvendt enkelte steder i den litteratur, der er gennemgået i litteraturstudiet, og vil i det følgende ses brugt i en canadisk undersøgelse.

Endeligt bliver variationskoefficienten i et enkelt studie også brugt som parameter for variationen og er givet således:

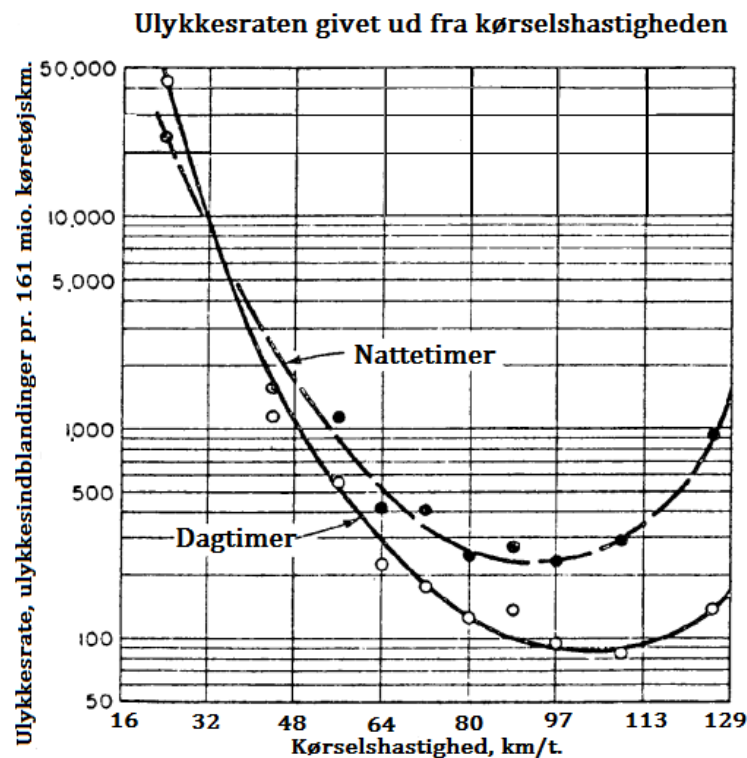
$$k_{\text{var}} = \frac{\sigma}{v_{\text{gnst}}} \quad [9]$$

Denne dimensionsløse parameter udgør en normaliseret spredning og angiver spredningen i procenter af gennemsnitshastigheden.

4. CASE-KONTROL-STUDIER

4.1 Solomons U-formede kurve

Der findes generelt to typer studier til at kortlægge den sikkerhedsmæssige betydning af hastighedsforskelle imellem køretøjer (SWOV, 2012). Den ene koncentrerer sig om at sammenligne ulykkesrater for vejstrækninger med meget høj spredning med tilsvarende med meget lav hastighedsspredning. Disse konkluderer i hovedreglen, at en høj spredning leder til dårligere trafiksikkerhed (Aarts & Schagen, 2005). Den anden type dækker såkaldte case-kontrol-studier, hvor hastighedsforskelle mellem køretøjer impliceret i en ulykke og de øvrige køretøjer studeres (SWOV, 2012).



Figur 3: (Solomon, 1964)

Et selvskrevet eksempel på den sidste type er David Solomons amerikanske studie fra 1964. Studiet regnes blandt forskere som det første studie, der sammenknytter hastighed og den enkeltes risiko for at blive indblandet i en trafikulykke og er medtaget for denne pionerende rolle (Kloeden et al., 1997; Shinar, 1998, DGT 2011).

Studiet tog udgangspunkt i næsten 10.000 testpersoner, som med deres køretøj havde været involveret i politirapporterede trafikulykker fra 1954-1958 på vejstrækninger, der

tilsammen udgjorde 1000 km i åbent land. Vejstrækningerne blev inddelt i 35 segmenter, hvor der i perioden 1957-1958 blev foretaget hastighedsmålinger.

De 10.000 trafikanters kørselshastighed forud for ulykkerne var registreret i ulykkesrapporterne og var primært baseret på førerens egen vurdering. Dette giver selvsagt en stor usikkerhed på disse estimater (Shinar, 1998).

En ulykkesindblanding er i rapporten givet ved en førers indblanding i en ulykke, hvorfor den samme ulykke reelt kan være repræsenteret flere gange i ulykkesraten, som er givet ved antallet af ulykkesindblandinger per 161 mio. køretøjskilometre (svarende til 100 mio. amerikanske mil).

Princippet i Solomons studie er at inddele samtlige hastigheder i på hinanden følgende intervaller, indekseret $i = 1, \dots, n$. Hvert interval bliver derpå relateret til en tilhørende ulykkesrate. Denne bestemmes ud fra formel [10]:

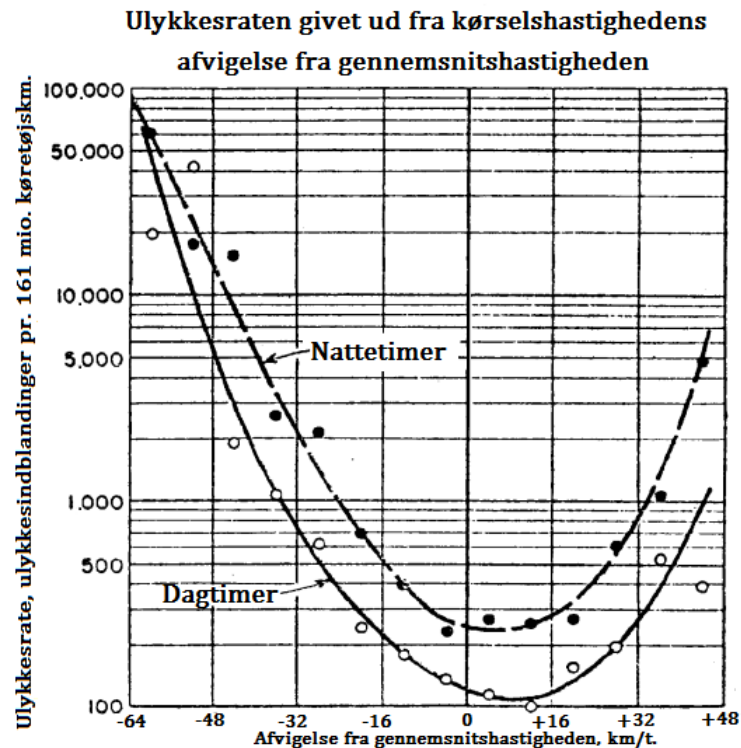
$$\text{Ulykkesrate}(i) = \frac{U_{\text{samlet}} \cdot U_{\text{andel},i}}{TA_{\text{samlet}} \cdot TA_{\text{andel},i}} \quad (\text{Hauer, 2008}) \quad [10]$$

Hvor:

- U_{samlet} er det samlede antal ulykkesindblandinger for de cirka 10.000 testpersoner.
- $U_{\text{andel},i}$ er andelen af U_{samlet} , hvor testpersonen kort før ulykken har haft en kørselshastighed i interval i .
- TA_{samlet} udgør det samlede trafikarbejde på de 1000km teststrækning, hvilket er det samlede antal køretøjer pr. segment (inden for en tidsperiode) ganget med længden af segmentet og summeret for samtlige 35 segmenter.
- $TA_{\text{andel},i}$ er andelen af det samlede trafikarbejde på de 35 segmenter, hvor køretøjerne havde en hastighed inden for interval i .

Resultaterne opgjort på baggrund af formel [10] ses på Figur 3 med henholdsvis data fra dag- og nattetimer. Det særligt påfaldende ved den frembragte U-kurve er, at for hastigheder under cirka 80km/t er ulykkesraten faldende med en stigende hastighed. Dette er i modstrid med den sammenhæng, der eksempelvis foreskrives af standselængdeteorien. For kurvens højre gren stemmer resultaterne overens med det forventede. De 35 udvalgte vejsegmenter havde ikke ens hastighedsgrænser, men mellem 73 og 113km/t, hvilket er i omegnen af, hvor de to kurver har minimum for ulykkesraten. For at præcisere sin pointe betragtede Solomon også hastighederne brugt i formel [10] ud fra forskellene til deres respektive gennemsnitshastighed, se Figur 4. Figuren giver igen en U-formet

kurve for både dag- og nattetimer, som har minimum for hastigheder ved eller lidt over gennemsnitshastigheden.



Figur 4: (Solomon, 1964)

For begge figurer gælder, at kurven for nattetimerne ligger over dagtimerne, hvilket indikerer, at det har størst effekt at holde sig til gennemsnitshastigheden (eller lidt over) om natten.

Studiet konkluderer, at det for den enkelte bilist er sikrest at færdes ved en hastighed, som ligger tæt på gennemsnitshastigheden. Dette giver også de mindste bidrag til den samlede hastighedsspredning, hvilket leder Solomon frem til at konkludere, at en lille spredning er sikrere end en høj i det aggregerede hastighedsbillede (Solomon, 1964).

Hauer (1971) illustrerede på matematisk vis, at antallet af overhalinger (aktive og passive) antager en U-formet kurve på tosporede veje, som har minimum ved køretøjer, der færdes ved medianhastigheden. Hvor køretøjer, der fremføres langsommere end medianhastigheden, afstedkommer flere passive overhalinger og køretøjer hurtigere flere aktive overhalinger. Dette giver en teoretiske baggrund for Solomons kurve, idet risikoen for kollision stiger med antallet af overhalinger - passive som aktive (Shinar, 1998). I Solomons studie stammer hovedparten (27 af 35 segmenter) af data netop fra tosporede hovedveje i åbent land, hvor overhaling var tilladt. Hvis hastighedsfordelingen antages at

være en ikke-symmetrisk venstreskævfordeling, vil medianhastigheden være højere end gennemsnitshastigheden. Dette kunne forklare forskellen på Hauers teoretiske resultater og kurven på Figur 4.

Solomons undersøgelse er gennem årene blevet underlagt kritik på en række punkter, som belyses i nedenstående.

4.1.1 Kritik

Et tilbagevendende forhold i litteraturen omhandlende hastighed og trafiksikkerhed er politiets dækningsgrad, altså andelen af det samlede antal ulykker, som bliver indrapporteret og derfor fremgår af politiets opgørelser. Den komplementære andel udgør således et *mørketal* i ulykkesstatistikken, der ikke bliver afdækket. Politiets dækningsgrad er stigende med alvorlighedsgraden af ulykkerne, hvor samtlige dødsulykker (svarende til de alvorligste ulykker) fremgår af statistikken³ (Ulykkes Analyse Gruppen, 2002). Sammenholdes dette med, at alvorlighedsgraden er stigende med hastigheden, jævnfør afsnittet om kinetisk energi samt diverse undersøgelser fås baggrunden for indvendingerne. Disse omhandler, at en del af stigningen i antallet af ulykker for stigende hastigheder skyldes en *øget dækningsgrad* af ulykkerne – ergo bliver flere ulykker alvorlige ”nok” til at blive rapporteret (Shinar, 1998; Hauer, 2009). Dækningsgradens stigning med alvorlighedsgraden giver i relation til Solomons kurve alene mening for højre gren, og i hvilket omfang det har betydning, synes kun muligt at afgøre, hvis det fulde og sande ulykkesbillede også var tilgængeligt.

Forløbet af venstre gren af kurven er også blevet kritiseret for at skyldes bias fra flere mangelfuldheder. Først og fremmest skyldes en stor del af ulykkerne ved lav hastighed i Solomons data, at køretøjet var i færd med en svingmanøvre. En del af den høje rate for ulykkesindblanding, som kurven forklarer med lave hastigheder, vil derfor skyldes manøvrer, der foranledigede den lave hastighed. Dermed fås en højere rate for ulykkesindblanding end, hvad der skyldes den enkeltes valg af lav kørselshastighed (Hauer, 2009). Næsten 45% af alle ulykker blev ved et lignende studie få år efter fjernet fra datagrundlaget, da disses lave hastighed skyldtes en svingmanøvre. Rationalet var altså, at denne andel af køretøjer ikke skulle regnes for langsomt kørende. Resultaterne var igen en U-

³ Opgjort på baggrund af tal fra Odense Skadestue, der registrerer alle trafikulykker, som de behandler tilskadekomne fra. Hospitalet har et optageområde, der svarer til cirka 5% af Danmarks befolkning.

formet kurve, men hvor grenene var mere udfladede og dermed tillagde mindre sikkerhedsmæssig indflydelse af at færdes nær gennemsnitshastigheden (Shinar, 1998).

Hastighedsgrundlaget for analysen er endnu et kritikpunkt. For det først var hastighedsdataene til sammenligning med ulykkerne ikke samtidige med ulykkerne, men forskudt et par år, hvorfor hastighedsfordelingen kunne have ændret sig. For det andet var hastighedsdataene fra ulykkerne behæftede med større usikkerhed end hastighedsgrundlaget til sammenligning. Dette skyldes, at hastighedsestimaterne, som gav kørselshastighederne kort før ulykkerne, i vidt omfang byggede på menneskelige vurderinger, mens det øvrige hastighedsdata var fremkommet ud fra 290.000 testkørers registreringer samt med måleinstrumenter (Solomon, 1964) Dette introducerer et bias, som i sig selv vil betyde en U-formet kurve, også hvis sandsynligheden for ulykker var ens for alle hastigheder (her vil en horisontal linje være forventelig). I dette hypotetiske tilfælde burde hastighedsfordelingerne for de ulykkesimplicerede og kontrolgruppen være ens, men den højere usikkerhed på hvert estimat for førstnævnte betyder konkret, at spredningen for denne fordeling bliver større. Monte Carlo-simuleringer har bl.a. vist, at dette fordrer en U-kurve i sig selv. (Hauer, 2004; Hauer; 2009)

Endeligt er rapporten også blevet kritiseret for at udtale sig om hastighedsspredningens betydning for trafiksikkerheden, idet dette forhold ikke er betragtet per se, men alene indirekte. (Shinar, 1998)

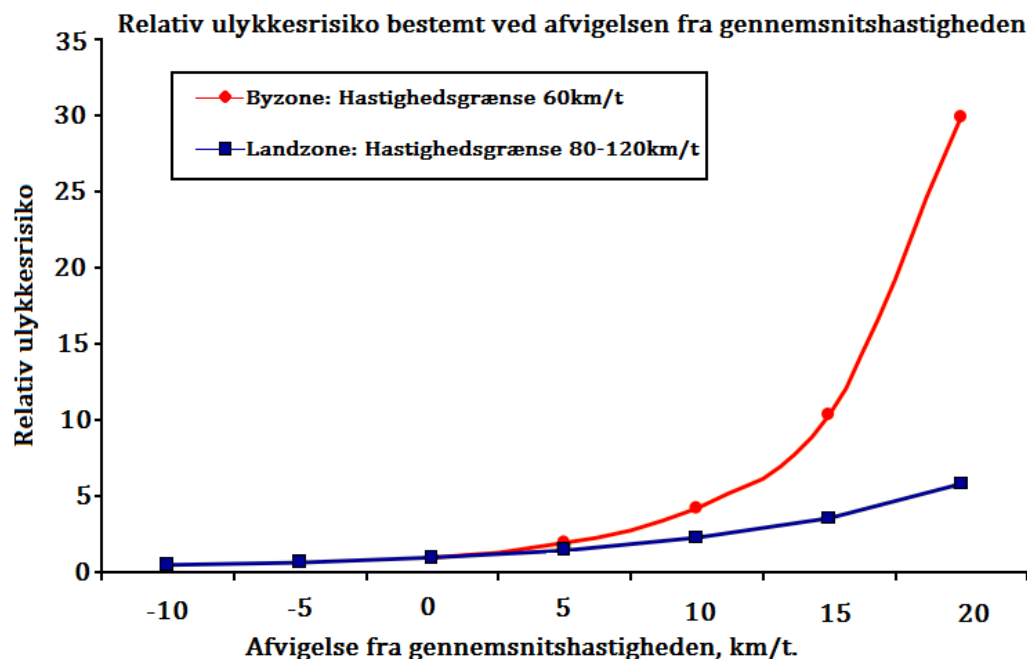
Solomons studie er til stadighed flittigt citeret i publikationer og anvendes, trods de nævnte indvendinger mod anvendt metodik, fortsat som argument mod differentierede hastighedsgrænser for forskellige køretøjsklasser. (Hauer, 2009; DGT, 2011)

4.2 Australske resultater

Solomons studie har spillet en afgørende rolle for efterfølgende studier af samme karakter. Tre australske case-kontrol-studier udført omkring årtusindeskiftet er et eksempel herpå. Et hold forskere ved Adelaide Universitet undersøgte relationen mellem et køretøjs hastighed og sandsynligheden for at blive involveret i en ulykke med mindst en krævede hospitalsbehandling eller et dødsoffer på henholdsvis veje i by- og landzoner. (Kloeden et al., 1997; Kloeden et al., 2001; Kloeden et al., 2002)

Hvor Solomons studie betragtede rater for ulykkesindblandinger ved en given kørselshastighed, betragter de australske studier relative ulykkesrisici givet i forhold til risikoen for kørsel ved gennemsnitshastigheden i henholdsvis by- og landzoner. Kloeden et al.

(1997) undersøger for byzoner også denne relation i forhold til hastighedsgrænsen med omtrent samme resultater.



Figur 5: Kloeden et al.'s resultater for veje i by- og landzoner. (SWOV, 2012)

Hastighederne for de ulykkesimplicerede køretøjer (case-gruppen) blev matchet specifikt til data fra en kontrolgruppe, som korresponderede på lokalitet, retning af trafik, dag på ugen, tidspunkt og årstid. (Kloeden et al., 1997; Kloeden et al., 2001) Dermed tager studiet højde for mange faktorer, der også kunne have medindflydelse på trafiksikkerhedsspørgsmålet. Case- og kontrolgrupperne blev dog ikke matchet på eksempelvis alder og køn, hvilket må regnes som en svaghed ved studierne (Hauer, 2004). Hastighederne for de ulykkesimplicerede case-biler blev rekonstrueret vha. et særligt computerprogram ud fra fysiske parametre i politiets rapporter, mens hastighederne for kontrolgruppen blev bestemt vha. laserpistoler.

Kloeden et al. fandt eksponentielle sammenhænge mellem den enkeltes relative risiko for ulykke ved en given hastighedsafvigelse fra gennemsnitshastigheden. Som det ses af Figur 5, stiger den relative ulykkesrisiko hurtigere for veje i byzoner end landzoner. Forskerne konkluderede ligesom Solomon, at køretøjer der færdes hurtigere end gennemsnitshastigheden har en højere risiko for at blive involveret i ulykker, dette særligt tydeligt for byveje, men Kloeden et al. kunne ikke detektere en signifikant forskel i relativ risiko for hastigheder under gennemsnitshastigheden.

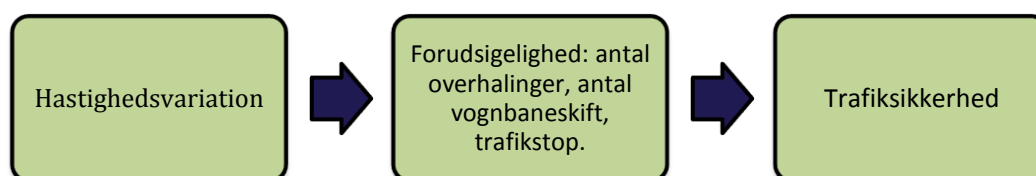
4.2.1 Kritik

Trods de langt mere moderne og nøjagtige målemetoder fremfører Hauer (2004), at større usikkerhed ved case-gruppens målinger stadig vil betyde et bias mod at få en U-formet kurve, som beskrevet for Solomon (1964). Men som det ses af Figur 5, giver de australske resultater ikke ophav til en konveks kurve. Under gennemsnitshastigheden nærmer de to kurver sig vandrette linjer som den største forskel. Denne usikkerhed på bestemmelsen af præulykkeshastigheden synes først mulig helt at eliminere i takt med, at dataindsamlingsudstyr i køretøjer bliver en mere almindelig bestanddel (i stil med projekt ITS Platform, som senere i projektet belyses).

Kloeden et al.'s projekter regnes på nuværende tidspunkt for at give den bedste beskrivelse af forholdet mellem den enkeltes hastighedsafvigelse fra gennemsnitshastigheden og den relative risiko for ulykke (Aarts & Schagen, 2005). Projekterne påviser ikke samme indirekte betydning af hastighedsvariation som Solomon (1964), hvilket formentlig skyldes fremførte punkter, såsom eliminering af svingmanøvrerende køretøjer, flere præmisser som grundlag for udvælgelse af kontrolgruppe og mere præcist hastighedsdata. Et forhold litteraturen synes at overse er, at Kloeden et al.'s ulykkesdata alene stammer fra meget alvorlige personskadeulykker, hvor Solomon medtog samtlige ulykker på de 35 vejsegmenter. Qua afsnittet om hastighed og alvorlighedsgrad synes dette som en oplagt indvirkende faktor, da få alvorlige ulykker vil indtræffe ved lave hastigheder.

5. SPREDNING SOM SAMMENLIGNINGSPARAMETER

Blikket rettes nu imod den anden type studier af hastighedsvariation og trafiksikkerhed. Disse betragter risici for aggregerede data og altså ikke for det enkelte køretøj som hos Solomon og Kloeden et al. Figur 6 viser den logiske slutningsrække, der ligger til grundlag for undersøgelserne. Logikken er, at hvis en vej har høj hastighedsspredning, vil det have betydning for forudsigeligheden af trafikken bestemt ud fra antallet af overhalinger og vognbaneskit (og dermed mulige konfliktsituationer) samt antallet af trafikstop ledsaget af megen deceleration og acceleration (ERSO, 2007).



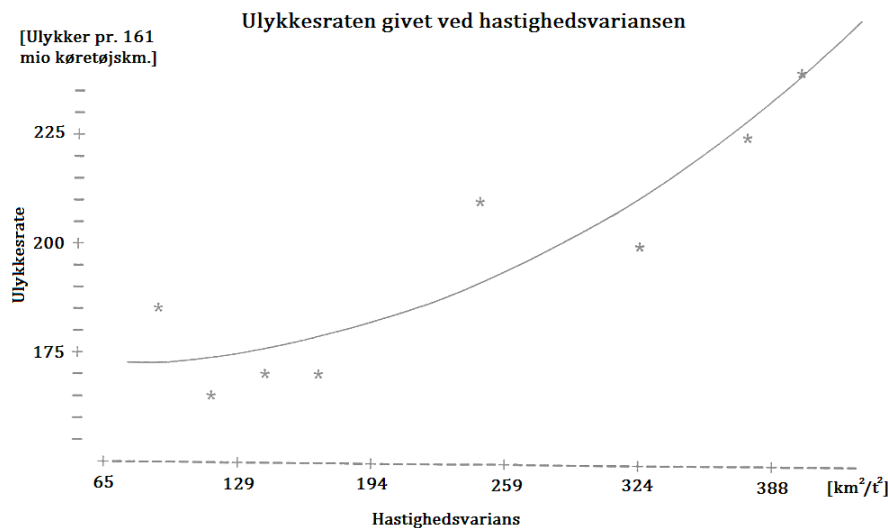
Figur 6: Logikdiagram for sammenhængen mellem hastighedsspredning og trafiksikkerhed.

Dette er selvfølgelig kun meningsfyldt, hvis muligheden for overhaling eller vognbaneskit er tilstede. En vej uden disse muligheder vil i teorien have en lav spredning, da et langsomt køretøj kan begrænse andres hastighed og dermed også mobiliteten givet ud fra rejsetiden. Undersøgelserne af forholdet skitseret i figuren benytter ikke samme parameter for hastighedsvariationen (som anført i afsnit 3.2), ej heller samme mål for trafiksikkerheden.

5.1 Hastighedsvariationen som eneste forklaring

I den amerikanske stat Virginia blev der i firserne udført en større undersøgelse med to formål i relation til dette projekt. For det første ønskede undersøgelsen at bestemme, hvordan hastighedsvariansen (σ^2 , [km^2/t^2]) afhænger af en række faktorer og for det andet, hvordan hastighedsvariansen påvirker ulykkesraten. Undersøgelsen tog udgangspunkt i tre højhastighedsvejtyper med samme skilte hastighed (89km/t), hvor 36 lokaliteter blev udgangspunktet for snitmålinger foretaget over en fireårsperiode (1983-

1986). Hastigheds- og trafikmålinger blev udført tirsdag-fredag på døgnbasis. Ulykkesraten er i projektet sat til at være antal ulykker pr. 161 mio. køretøjskilometre (svarende til 100 mio. amerikanske mil).



Figur 7: Resultatet for hovedfærdselsårer. (Garber & Gadirau, 1988)

Hastighedsvariensens indflydelse på ulykkesraten blev studeret ved matematisk regression. Af rapporten fremgår sådanne modelleringer for to af tre vejtyper. Begge modeller viser, at ulykkesraten stiger, når hastighedsvariensen stiger, stærkest er regressionen for hovedfærdselsårer (*arterial roads*) med en kvadreret korrelationskoefficient (R^2) på 0,82, se Figur 7. Figuren viser tydeligt, at en reduktion i hastighedsvariensen bevirker et forventet fald i ulykkesraten med størst effekt for relativt høje varianser, da ulykkesraten stiger med den kvadrerede hastighedsvarians. Formel [11] giver sammenhængen for hovedfærdselsårer:

$$\text{Ulykkesrate} = 168 + 0,00273 \cdot (\sigma^2)^2 \quad [11]$$

Forskernes, Garber og Gadiraus, undersøgelse peger således kraftigt på, at en ulykkesreduktion vil kunne opnås ved en harmonisering af hastighederne, altså ved en reduktion af variansen.

Et finsk studie fra 1981 studerede sikkerhedsmæssige effekter af indførelsen af hastighedsgrænser i landet. Salusjärvi (1981) betragtede hertil bl.a., hvilken effekt et fald i hastighedsspredningen (kvadratroden af hastighedsvariensen) vil foranledige. To modeller for henholdsvis effekt på det samlede antal trafikulykker og på antal døds- og personska- deulykker blev estimeret. For begge modeller var den kvadrerede korrelationskoefficient

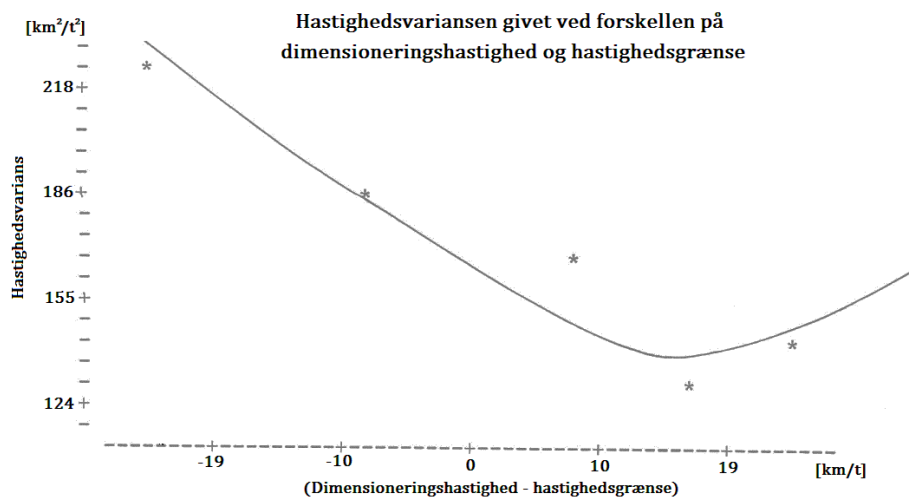
ikke så høj, omkring 0,5, men angav en sammenhæng i overensstemmelse med Figur 7, hvor et fald i hastighedsspredningen vil lede til et fald i ulykkestallet. På det vejsegment, hvor man formår at sænke spredningen med værdien $\Delta\sigma$ ([km/t]), forudsiger den finske model følgende procentvise fald i alle ulykker (ΔU_{alle} , [-]):

$$\Delta U_{\text{alle}} = 0,71(\Delta\sigma)^2 - 3,1 \quad [12]$$

Det er værd at bemærke, at formelen først er meningsfyldt for spredningsfald større end $\sqrt{\frac{3,1}{0,71}} \approx 2,1$ km/t, da ændringen ellers vil lede til et *negativt fald* (svarende til en stigning) i antallet af ulykker. Dette forhold er ikke kommenteret i den finske undersøgelse, og tilhørende figur viser det ej heller, hvilket måske kunne indikere, at den dårligste tilpasning til data var for små ændringer af σ . Trods dette forhold og trods de forholdsvist lave R^2 -værdier giver undersøgelsen et billede af, at hastighedsspredningen i sig selv har betydning for antallet af ulykker, og en reduktion af parameteren synes forbundet med et fald i ulykkestallet.

5.1.1 Hastighedsvariation og vejgeometri

For at indfri det andet hovedformål med rapporten undersøgte Garber og Gadirau (1988) også et par faktorer med formodet indflydelse på variationen af hastigheder. Figur 8 viser hovedresultat af denne undersøgelse.



Figur 8: (Garber & Gadirau, 1988)

Af figuren ses det, at hastighedsvariansen kan minimeres, hvis forskellen på dimensioneringshastigheden og den skilte hastighedsgrænse er mellem 10 og 20 km/t, hvor dimensioneringshastigheden er et surrogat for vejgeometrien. Bliver forskellen større eller

mindre (sågar negativ), vil hastighedsvariansen stige. Finch et al. (1994) angiver, at dette kan forklares med den enkelte trafikants opfattelse af, om den stedspecifikke hastighedsgrænse er *fornuftig* eller ej. Ved et misforhold mellem gældende maksimale hastighed og afkodede vejgeometriske standard vil den enkelte opfatte grænsen som uvæsenlig og følgelig ignorere den. Er misforholdet så stort, at hastighedsgrænsen helt ignoreres, vurderer forskerne i dette tilfælde, at en højere hastighedsgrænse vil medføre et fald i gennemsnitshastigheden, hvilket under "normale" betingelser vil have modsatte effekt (Finch et al., 1994). Dette forhold er på linje med hastighedsdilemmaet beskrevet i afsnit 2.2.2. Kurvens minima stemmer endvidere overens med gældende danske vejregler, hvor dimensionerende hastighed anbefales at være 20km/t højere end planlægningshastigheden ved vejstrækninger i åbent land ved eksempelvis vejprojektering af oversigtsforhold i vej-kryds⁴ (Vejregelrådet, 2012).

Det omtalte finske studie fandt også en stærk sammenhæng mellem indførte hastighedsgrænse og hastighedsvariation (Salusjärvi, 1981). Indførslen af hastighedsgrænser havde primært en reducerende effekt på 85%-fraktilen (udtryk for de hurtigt kørende) resulterende i en betragteligt lavere hastighedsspredning. Hastighedsgrænsens fastsættelse var dog afgørende for denne effekt. Vejgeometrien samt hastighedsfordelingen inden grænserne fandt forskeren vigtige herfor (Salusjärvi, 1981).

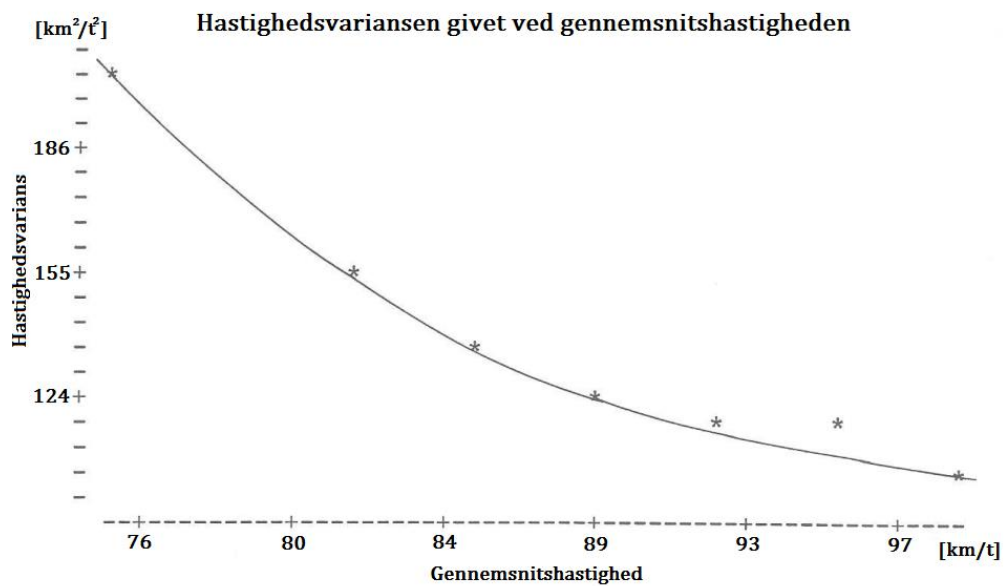
Sammenspillet mellem hastighedsgrænse, vejgeometri/dimensioneringshastighed og hastighedsvariation dukker op flere steder i litteraturen, hvilket understreger vigtigheden af planlægnings- og anlægsfasen for en vej mht. at kontrollere hastighedsvariationen.

5.1.2 Hastighedsvariation og gennemsnitshastighed

Mange projekter har søgt at bestemme en sammenhæng mellem gennemsnitshastigheden og hastighedsspredningen på en vej. Resultaterne heraf peger mildest talt i modstridende retninger. Hvis spredningen falder med gennemsnitshastigheden (som nogle undersøgelser viser), og en lavere spredning forbedrer trafiksikkerheden, som set hos Salusjärvi (1981) samt Garber og Gadirau (1988), må logikken være, at en højere gennemsnitshastighed vil betyde færre ulykker, hvilket er i modstrid med adskillige undersøgelser, herunder den gennemtestede potensmodel beskrevet tidligere. Dette afspejler den kompleksitet, der ligger i forholdet mellem hastighed og trafiksikkerhed.

⁴ Om den amerikanske betydning af *design speed* er nøjagtigt overensstemmende med den danske *dimensioneringsgivende hastighed* er tvivlsomt, men en vis lighed må formodes gældende.

Garber og Gadirau bestemte for de tre vejtyper med hastighedsgrænse på 89km/t en negativ korrelation mellem hastighedsvariansen og gennemsnitshastigheden, hvor en højere gennemsnitshastighed betød en lavere varians. Resultatet ses på Figur 9. Et lignende amerikansk studie fra 1985 opnåede samme resultat, hvor der som forklaring herpå fremføres, at det kan skyldes, at hastighedsgrænsen afspejler vejgeometrien bedre på vejene med høj gennemsnitshastighed (Shinar, 1998), mens eksempelvis Elvik et al. (2004) angiver, at den modsatte sammenhæng ofte er detekteret.



Figur 9: (Garber & Gadirau, 1988)

Et canadisk studie, Liu (1998) fandt også en tendens til en negativ korrelation (dog lineær) mellem parametrene, når data stammede fra veje med høj hastighedsgrænse (100km/t). Tendensen var den modsatte for data fra veje med grænser mellem 40-90km/t - her steg spredningen med gennemsnitshastigheden. Liu begrundede dette med, at hastigheden på veje med de allerlaveste hastighedsgrænser er influeret af mange faktorer, såsom høje trafikmængder, hyppige vejkryds og hensyn til bløde trafikanter, som holder hastighederne på nogenlunde ens niveau. For 100km/t-vejene fremfører Liu, at hastighedsniveauet er tæt på den maksimale grænse for, hvad køretøjer og trafikanter kan præstere, hvorfor spredningen også er lille. I det mellemliggende lag af hastighedsgrænser er det kendetegnende, at vejgeometrien er dårligere og den trafikale situation mere kompleks end for "motorvejene", hvorfor den enkeltes hastighedsvalg i højere grad bygger på en individuel vurdering, hvilket bidrager til en høj hastighedsspredning.

Rock (1995) beskriver en række amerikanske undersøgelser, som har studeret hastighed og trafiksikkerhed i forbindelse med indførelsen af en national hastighedsgrænse på 89km/t i forbindelse med oliekrisen i 1970'erne. Her tegner sig også et broget billede af undersøgelseerne imellem af gennemsnitshastighedens betydning for hastighedsvariationen.

En endegyldig sammenhæng mellem gennemsnitshastigheden og hastighedsvariationen er ikke påvist hidtil, men undersøgelserne viser alle en svagere eller stærkere korrelation for de to parametre, hvor en stærk korrelation betyder, at den ene variabel kan forudsige størrelsen på den anden, uden der nødvendigvis er en direkte kausalitet. Afslutningsvis i dette kapitel betragtes modeller, der tager højde for denne sammenhæng.

5.1.3 Hastighedsvariationen og køretøjssammensætningen

Blot en enkelt af de studerede undersøgelser inddrager aktivt køretøjssammensætningen, som en udslagsgivende parameter for størrelsen på hastighedsvariationen. Shinar (1998) påpeger også, at dette meget vel kunne være en underliggende faktor, som ikke er ordentligt belyst af data. Indflydelsen på hastighedsvariationen opstår ikke blot ved differentierede hastighedsgrænser, som der eksempelvis er på motorvejene i Danmark, også køretøjsegenskaber såsom formåen i forhold til acceleration har betydning herfor. Lu og Chen (2009) sammenligner to motorvejsstrækninger i henholdsvis Holland og Kina. Deres tilgang til at sammenligne hastighedsvariation og trafiksikkerhed afviger væsentligt fra de øvrige ved at basere sig på tre timers videooptagelser fra begge strækninger, svarende til den lokale morgenspidstime plus to efterfølgende timer. Videooptagelserne er derpå blevet analyseret ud fra teorien om konfliktstudier, som antager at sandsynligheden for en ulykke er relateret til antallet af konflikter. Dette udgjorde det trafiksikkerhedsmæssige mål, mens hastighedsvariationen blev opgjort som den gennemsnitlige absolutte hastighedsforskel på to på hinanden følgende køretøjer. Studiet viste, at hastighedsforskellene på nabokøretøjer på den kinesiske vej generelt var langt højere end den hollandske vej. På den hollandske vej var hovedparten (ca. 80%) af hastighedsforskellene mellem 2-6km/t, mens dette tal for den kinesiske vej cirka var mellem 9-20km/t. Som forklaring herpå betragtedes andelen af tunge køretøjer på de to veje som parameter for køretøjssammensætningen. Herved fremkom en klar forskel. I det inderste spor på den kinesiske vej udgjorde tunge køretøjer cirka 30%, hvilket svarede til det dobbelte for den hollandske vej. Dette leder forskerne frem til at konkludere, at forskellen i

køretøjssammensætningen er en medvirkende faktor til den markante forskel i hastighedsvariationen på de undersøgte veje i de to lande.

5.1.4 Kritik

Aarts og Schagen (2005) sætter spørgsmålstegn ved at indsamle hastighedsdata på døgnbasis, som der blev gjort hos Garber og Gadirau (1988). Hastighedsfordelingen vil ændre sig mellem lav- og spidsbelastningsperioder i løbet af et døgn, hvorfor en døgnbetragtning synes svær at give en teoretisk fundering for en sammenhæng mellem ulykker og hastighedsvariation. Et døgn observationer kan derfor give et stort spænd af hastigheder, hvor den *momentane* hastighedsfordeling på tidspunktet for en ulykke ikke nødvendigvis har været i overensstemmelse hermed (Shinar, 1998). Observationer over et døgn afspejler ikke den logiske sammenhæng mellem overhalinger, trafikstop, vognbaneskift og potentielle konflikter som angivet på Figur 6. I meget tæt myldretidstrafik vil spredningen praktisk talt været lav, da køretøjerne begrænser hinandens fremfærd og derved determinerer hinandens hastigheder. Peak-perioderne synes derfor oplagte at behandle særskilt.

Garber og Gadiraus resultater fra Virginia er blevet kritiseret for at anskue flere korrelerede parametre parvis i stedet for samlet. En sådan parvis anskuelse ses på Figur 9 for sammenhængen mellem gennemsnitshastighed og hastighedsvarians. Foruden blev der nemlig fundet statistisk stærke korrelationer mellem hastighedsvarians og henholdsvis vejtype og dimensioneringshastighed. Det samme gør sig gældende for gennemsnitshastigheden. Korrelationerne viser altså et komplekst samspil mellem hastighed og ulykker, hvorfor Finch et al. (1994) efterspørger multiregressionsanalyser, der kan belyse interaktionen og tage højde for den indbyrdes afhængighed.

5.2 Gennemsnitshastigheden med i spil

I det følgende gennemgås to projekter, som har taget konsekvensen af afhængigheden mellem gennemsnitshastigheden og hastighedsvariationen. Projekterne har med multipel regressionsanalyse estimeret en fælles indflydelse på ulykkestallet. Flere projekter end de to projekter har samme fokus, eksempelvis Rodriguez (1990).

I det ene projekt indsamlede Taylor et al. (2000) data i engelske byområder fra 100 vejsegmenter, som udgjorde vejstrækninger afgrænset af to større kryds, hvor trafikken mistede prioritering. Segmenterne havde en længde mellem 0,4 og 1,8 km og var udvalgt

tilfældigt fra et ældre studie, men hvor trafikmængder og vejudformning blev fundet uændret siden det ældre studies udtræk af ulykkesdata. Dataene bestod af personskadeulykker fra 1983-1988, som var suppleret med information, som ikke var tilgængelig via normale registre. Hastighedsmålinger blev for hvert segment udført i tidsrummet fra 09:30-16:30 på en hverdag, hvor vejarbejde og vejr ikke påvirkede målingerne. Tidsrummet var valgt til at være imellem morgen- og aftenmyldretid, hvorved data ikke giver samme forklaringsvanskeligheder som Garber og Gardiraus døgnobservationer. Variationskoefficienten (k_{var} , [-]) blev brugt som parameter for variationen af hastigheder, og sammen med gennemsnitshastigheden ($v_{gnst.}$, [km/t]) gav de ved multipel regression ophav til følgende formel for ulykkesfrekvensen:

$$\text{Ulykkesfrekvens} = a \cdot v_{gnst.}^{\alpha} \cdot e^{\beta k_{var}} \quad [13]$$

Hvor ulykkesfrekvensen er antal personskadeulykker pr. vejsegment pr. år og α og β positive konstanter. De 100 vejsegmenter blev vha. en cluster-analyse inddelt i fire grupper med forskellige vejkarakteristika (fx var en præget af trængsel), som hver foranledigede en værdi af parameteren a (Taylor et al., 2000).

Da variationskoefficienten er givet ved forholdet mellem hastighedsspredningen og gennemsnitshastigheden, er denne indbyrdes relation vigtig at holde sig for øje ved tolkning af hastighedsvariablenes betydning i formel [13]. Betragtes de to variable, gennemsnitshastighed og hastighedsspredning, separat, hvor den anden holdes konstant, er det dog klart, at en stigning af dem enkeltvist vil have en forøgende effekt på ulykkesfrekvensen. Sidste led viser, at ulykkesfrekvensen stiger eksponentielt ved en stigning af spredningen, hvilket viser en høj sensitivitet herfor. De parvise korrelationer blev også bestemt særskilt, men forskerne konkluderede, at sammenspiillet mellem parametrene bedst forklarede deres effekt.

Ud fra formelen er det desuden muligt at forklare, hvorfor en reduktion af gennemsnitshastigheden ikke altid leder til et fald i ulykkesfrekvensen, idet en modsvarende stigning i hastighedsspredningen kan udligne dette. Dette kan også, som i Greibe (2005), lede til at en strækning med en gennemsnitshastighed på 50km/t kan have samme ulykkesrisiko som en strækning med en gennemsnitshastighed på 60km/t.

Forskerne undersøgte desuden veje i åbent land, for hvilke en fælles sammenhæng mellem hastighedsvariation, gennemsnitshastighed og ulykkesfrekvens ikke blev fundet. Men deres individuelle betydning blev fundet i overensstemmelse med data fra byområderne (Taylor et al., 2000).

Det andet projekt, som inddrog gennemsnitshastigheden i en søgen efter en fælles model, beskæftiger sig med data fra en række højhastighedsveje i Canada (Liu, 1998). Ulykkes- og hastighedsdata stammede fra ni projekter gennemført mellem 1969 og 1995. Forskerne brugte forskellen på 15%- og 85%-fraktilen (henholdsvis v_{15} og v_{85} , begge [km/t]) som mål for hastighedsvariationen og altså det omtalte surrogat for 2 gange spredningen. Ulykkesraten blev bestemt ved multipel regression og er givet ved antal personskadeulykker pr. 100. mio. køretøjskilometre. Følgende udtryk blev estimeret med en høj kvadreret korrelationskoefficient ($R^2 = 0,94$):

$$\text{Ulykkesrate} = 0,0298 \cdot v_{\text{gnst.}} + 0,0405 \cdot (v_{85} - v_{15}) - 3,366 \quad [14]$$

Da faktoren foran gennemsnitshastigheden er lavere end faktoren foran forskellen på de to fraktiler, viser formel [14], at ulykkesraten er mere sensitiv for udsving i hastigheds-spredningen end i gennemsnitshastigheden. Begge parametre for hastighedsfordelingen medfører en stigning i ulykkesraten ved en stigning i dem enkeltvis, hvilket stemmer overens med relationen for bydata i England.

5.2.1 Kritik

Det er nærliggende at stille spørgsmålstejn ved, om hastighedsfordelinger og trafik-sikkerhed har forholdt sig uændret fra 1983 og frem til hastighedsregistreringer i slutningen af halvfemserne, som antaget i Taylor et al. (2000). Trafikmængderne blev dog fundet nogenlunde konstante i tidsrummet, men det synes lidet sandsynligt, at forbedringer af køretøjspark og køreuddannelse eksempelvis ikke skulle have fundet sted i løbet af de 15-20 år, hvorfra data blev sammenlignet.

Det nærmest historiske spænd af data (1969-1995) til det canadiske projekt synes også at undervurdere, at parametre mht. vejudformning, trafikanter og køretøjer har ændret sig over tid og influeret på betydningen af hastigheden. Sikkerhedsudstyr såsom airbags og sikkerhedsseler kunne have en sådan effekt, ligesom bedre køreuddannelse og generel oplysning. Ingen af projekterne tager endvidere højde for køretøjssammensætningen og mangler altså dette aspekt i deres begrundelse for hastighedsvariationen.

6. AFRUNDING AF DEL 1

De foregående tre kapitler omhandlede hastighedsvariation og trafiksikkerhed skulle gerne afspejle det forhold, som man ofte støder på i litteraturen - nemlig at der er bred enighed om, at hastighedsvariationen påvirker sikkerhedsniveauet, mens der er mindre konsensus om, hvordan effekten skal kvantificeres (Aarts & Schagen, 2005; Greibe, 2005; ERSO, 2007). Endvidere gør projekternes forskelligartede angrebsvinkler det svært direkte at sammenligne de resulterende modeller, hvortil der skal lægges, at samtlige projekter har forskellige mangler og svagheder, som til en vist niveau er uundgåelige, når et ikke-lukket system betragtes. Eksempler viste, at der opnås en bedre beskrivelse af forholdet mellem hastighedsvariation og ulykkesantal, når gennemsnitshastigheden også blev taget i betragtning. De gennemgåede undersøgelser viser alle, at en stigning i hastighedsvariationen vil forandre en større ulykkesrisiko; nogle detekterede sammenhængen for veje i byområder - andre for højhastighedsveje. Skønt litteraturstudiet tager sit udgangspunkt i projekter, der kvantificer sammenhængen mellem hastighedsspredning og trafiksikkerhed, eksisterer der også en stort antal undersøgelser, der (oftest) finder en signifikant højere spredning på ulykkesbelastede strækninger, men hvor disse sammenhænge ikke kvantificeres (Garber & Gadirau, 1988; Shinar 1998).

Hastighedsvariation har indflydelse på et aggregeret niveau. Da resultaterne af Solomons og lignende undersøgelser i høj grad er dementerende, findes der ikke belæg for, at det på det individuelle niveau er risikoforøgende at køre under middelhastigheden. En stor nyere undersøgelse viste dog, at det er risikoforøgende at færdes ved en hastighed over det gennemsnitlige niveau, som understreger, at en højere kørselshastighed er risikoforøgende på det individuelle niveau. (Kloeden et al., 1997; Kloeden et al., 2001; Kloeden et al., 2002)

Undersøgelser, der søger at fastslå faktorer, som indvirker på størrelsen af hastighedsvariationen, er også blevet belyst. Garber og Gadirau (1988) påviste, at hastighedsvariansen antog sit minimum, når forskellen på dimensioneringshastigheden og skilte hastighed var i intervallet 10-20km/t. Dette reflekterer delvist også resultaterne af den finske undersøgelse, der fandt, at indførelsen af hastighedsgrænser havde en afmattende effekt på hastighedsvariationen, når grænsen ikke blev sat højere end forekommende 85%-fraktilen, som i bredt omfang har været brugt som udformningsparameter. Gennemsnitshastighedens indflydelse på størrelsen af variationen er også belyst, dog uden at en entydig

sammenhæng er detekteret. Trods modstrid imellem resultaterne herfor er der dog enighed om, at parametrene er korrelerede, hvorfor de multiple regressionsmodeller synes at have de bedste forudsætninger for et plausibelt resultat. Endeligt er sammensætningen af køretøjer, udtrykt ved eksempelvis andelen af tunge køretøjer, fundet vigtig for størrelsen af hastighedsspredningen, hvorfor en homogenisering af køretøjstyperne på en strækning vil betyde en forventet smallere hastighedsfordeling.

DEL 2: METODE OG RESULTATER

Et halvt århundredes hovedresultater inden for forskningsfeltet af trafiksikkerhed og hastighedsvariation leder projektet videre til sin empiriske fase. Anden del af projektet består af kapitel 7-11 og afdækker det komplette forløb fra problemformulering til resultatfremstilling. Datagrundlaget for en empirisk feltundersøgelse er essentiel for styrken af resultaterne i den sidste ende, hvorfor anden del af projektet også vil redegøre for fordele og ulemper ved anvendte datakilder. Hermed giver anden del af projektet den optimale basis for den afsluttende del, som vil diskutere resultaternes kvalitet og betydning.

7. PROBLEMFORMULERING

Hastighed er den største trafikale risikofaktor. Både når det gælder antallet af ulykker og alvorlighedsgraden heraf (Elvik et al., 2004). En så bred forståelse for området som muligt synes derfor afgørende for at være i stand til at kontrollere denne risikofaktor mest optimalt. Dette projekt ønsker at bidrage hertil ved at undersøge størrelsen af forskellige parametre fra hastighedsfordelingen samt deres indbyrdes relation for to vejtyper, nemlig motorveje (hastighedsgrænse 110km/t) og 80km/t-veje i åbent land. Flere overvejelser ligger til grund for valget af disse vejtyper til undersøgelsen. Først og fremmest er byveje fravalgt, da trafikens kompleksitet her er så høj, at et meget stort antal projektlokaliteter vil være nødvendigt for at tegne et plausibelt generelt billede. For et byområde er det forventeligt, at hastighederne i et givet snit i stort omfang er påvirket af trafikens komposition, særligt omfanget af blød trafik, og vejgeometriske faktorer, herunder hastighedsdæmpende foranstaltninger, som eksempelvis afstanden til et vejbump.

Vej i åbent land tegner sig for næsten to tredjedele af det samlede antal trafikdræbte på det danske vejnet – motorveje for blot cirka seks procent⁵ (Vejdirektoratet, 2014). International forskning viser, at det per kørt kilometer generelt er cirka tre gange mere risikofyldt at køre på en vej i åbent land kontra på en motorvej (DGT, 2011). Da gennemsnitshastigheden på motorveje er langt højere end for veje i åbent land, kan ulykkesfordelingen selvsagt ikke forklares med standselængdeteorien alene. Vejgeometrien og køretøjssammensætningen har givetvis et stort ansvar herfor. Motorveje har generelt et letforståeligt og entydigt vejmiljø, hvor der eksempelvis ikke skal tages højde for modkørende trafik eller bløde trafikanter - motorveje er altså i højere grad tilgivende og selvforklarende. Projektet søger at detektere om forskellig hastighedsvariation kan være en supplerende forklaring for den ulige trafiksikkerhedsmæssige situation. Derfor vil projektet undersøge om, hastighedsvariationen på 80km/t-veje er signifikant højere end hastighedsvariationen på motorveje. Dette vil i lyset af projektets første del kunne identificere en medvirkende faktor for den store andel af ulykker på veje i åbent land.

⁵ Det skal igen understreges, at den procentvise fordeling ikke er korrigeret for mængderne af trafikarbejde på de to vejtyper.

(1) Er hastighedsvariationen signifikant højere på 80km/t-veje i åbent land end på motorveje?

Dansk højrekørsel bevirker, at det venstre spor på tosporede motorveje fungerer som overhalingsspor, hvorfor hastighederne generelt er højere her. Dette fordrer ifølge potensmodellen, at der i forhold til gældende generelle hastighedsgrænse er størst ulykkesrisiko i det venstre kontra i det højre kørespor. Ved kørsel på motorvejen i myldretiden synes det også som om, at der er flere og hurtigere trafikstop i venstre spor, mens trafikken i høje spor glider mindre påvirket. Tilsammen giver det en formodning om, at hastighedsvariationen i det venstre spor er større end i det højre.

(2) Er der forskel på hastighedsvariationen i motorvejens kørespor på tosporede motorveje?

Som det er fremført, har tidligere forskningsresultater i høj grad været uklare om, hvilken sammenhæng, der er mellem hastighedsvariation og gennemsnitshastighed.

(3) Er der korrelation mellem hastighedsvariationen og gennemsnitshastigheden for de to vejtyper enkeltvis? Og kan der skabes et mønster for dem samlet?

Mere end 60% af trafikanterne bryder hastighedsgrænsen på veje i åbent land, som også er, hvor hovedparten af de trafikdræbte ender livet (Færdselssikkerhedskommissionen, 2013). Ved multipel regression ønsker projektet at afdække, om det er muligt at kvantificere sammenhængen mellem ulykkesdata og hastighedsdata for 80km/t-vejene.

(4) Kan der for 80km/t-veje i åbent land skabes en matematisk sammenhæng mellem ulykkesraten og hastighedsvariationen og/eller middelhastigheden?

Første del af projektet redegjorde for, at et tidsinterval til opgørelse af hastighedsvariationen, der både dækker over lav- og spidsbelastningsperioder, ikke er meningsfyldt i perspektiv af den logiske sammenhæng mellem hastighedsvariation, overhalinger og trafik-sikkerhed. Projektet ønsker derfor at vurdere punkt (1) – (4) særskilt for lav- og spidsbelastningsperioder, og dette også for at undersøge om der er forskel på hastighedsparametrene for de to vejtyper tidsperioderne imellem.

8. METODE

Metodevalg og forsøgsdesign er i sidste ende afgørende for styrken af de resultater, som formål ønskes indfriet med. Dette kapitel vil redegøre for projektets overvejelser og endelige valg i forbindelse med begge forhold.

8.1 Metoder til hastighedsmålinger

En traditionel hastighedsfordeling udgør rangerede hastigheder for køretøjer, der passerer et givet vejsnit inden for et tidsrum. Dette projekt tager udgangspunkt i at sammenligne parametre fra forskellige hastighedsfordelinger, hvorfor det umiddelbart synes mest fornuftigt alene at betragte metoder til at registrere snithastigheder i projektet. Indeværende projekt er udarbejdet ved Aalborg Universitet, der har adgang til store mængder *Floating Car Data* via et forskningsprojekt. Grundet den høje tilgængelighed til denne væsentligt anderledes datakilde, har projektet valgt at kombinere to fundamentalt forskellige indsamlingsmuligheder.

8.1.1 Floating Car Data og projekt ITS Platform

Floating Car Data (FCD) adskiller sig væsentligt fra klassiske metoder til hastighedsmålinger, da måleudstyret er placeret i køretøjet frem for i forbindelse med vejen. Mens de klassiske metoder giver fuld forståelse for hastighederne i ét snit på en strækning, giver FCD-metoden for et udvalg af køretøjer viden om, hvordan hastighedsbilledet er på den samlede strækning og altså både før og efter et givet snit.

Metoden kræver, at der i samtlige dataindsamlende køretøjer monteres en såkaldt On Board Unit (OBU), som ses på Figur 10, til monitorering af data. Når køretøjet sættes i bevægelse, begynder OBU'en at logge information om position (GPS-data), hastighed, acceleration, retning mv. De registrerede data sendes til en server, hvor informationerne organiseres i en databasestruktur. Herfra kan data udtrækkes og analyseres. Logningen sker typisk med en frekvens på 1Hz.



Figur 10: En On Board Unit, (fra itsplatform.dk)

En klar fordel ved metoden er, at den giver detaljeret information om et køretøjs manøvrering på en tur. Dette kan eksempelvis munde ud i en hastighedsprofil for en strækning, hvor effekten af hastighedsreducerende tiltag ønskes vurderet.

Aalborg Universitet har sammen med en række samarbejdspartnere opbygget en stor mængde FCD i projekt ITS Platform, der startede op i april 2010 og stadig har aktive køretøjer, der monitorerer data. Lidt over 400 personbiler er i projektet blevet udstyret med en OBU, som logger samtlige køreture, som bilerne foretager sig. Via mobilnettet sendes data til en central server. Hovedparten af testbilisterne har bopæl i Nordjylland, hvorfor datakoncentrationen er størst for nordjyske veje.

Projekt ITS Platform fordrer for dette projekt en fleksibel og let tilgængelig datakilde, som ikke kræver yderligere installationer, hverken for projektstrækninger eller køretøjer. Disse praktiske og økonomiske fordele har været det springende punkt, der har ledt frem til at vælge FCD-metoden for 80km/t-vejene. Med problemformuleringen in mente ligger der dog nogle begrænsninger med hensyn til metoden. De hviler hovedsageligt på, at data blot opnås fra et udsnit af køretøjerne. Det er derfor afgørende at overveje, i hvilket omfang deltagende bilister er repræsentative for den samlede køretøjsflåde, der passerer en strækning. Svagheden for dette projekt er primært, at testkøretøjerne udelukkende er personbiler, og altså ikke en blanding af forskellige køretøjsgrupper, som snitmetoder vil foranledige. Det må formodes, at have størst indflydelse i lavbelastningsperioder, hvor et køretøjs hastighed i lavere grad end i myldretiden påvirkes af et forankørende køretøj.

Ud over køretøjssammensætningen beror repræsentativiteten af data også på kørselsadfærden hos deltagende bilister kontra øvrige trafikanter. For selve projekt ITS Platform er repræsentativiteten af testflåden ikke direkte undersøgt. Testbilerne skiller sig dog ud ved at have et højt årligt kilometertal, da det var et udvælgelseskriterie.

Et andet forskningsprojekt udført af Aalborg Universitet, Spar på Farten, har bl.a. af to omgange beskæftiget sig med repræsentativitet af deres testgrupper. Projektet undersøgte overordnet om, Intelligent Speed Adaption (ISA) i kombination med et økonomisk incitament kan reducere hastigheder. Ved en overskridelse af hastighedsgrænsen informerede ISA-udstyret trafikanten herom.

Et delprojekt omhandlede unge uerfarne bilister. På baggrund af en spørgeskemaundersøgelse for deltagerne og for en tilsvarende kontrolgruppe, som afslog at være med i det egentlige forsøg, blev der ikke fundet signifikant forskel på de to gruppers holdninger til at køre for hurtigt eller på deres selvrapporterede kørselsadfærd, omend data viste tendenser til, at deltagende bilister havde en sikrere selvrapporteret kørselsadfærd og en

mindre risikobetonet indstilling til trafikken generelt. Alene forskellen på deres holdning til ISA blev dog fundet statistisk signifikant (Harms et al., 2008). Dette kan forklares med at begge grupper søgte at retfærdiggøre eget valg om at deltage i projektet eller ej. Projekt Spar på Farten indikerer derfor tendenser til, at det er mindre risikovillige deltagere, som indvilliger i at deltage i forskningsprojekter. Desuden var det jo blot et udsnit af ikke-forsøgsdeltagerne, der indgik i sammenligningsgruppen, hvorfor de kunne tænkes at være mere "moderate" end den samlede ikke-deltagende gruppe, hvor hovedparten ikke responderede på udsendte spørgeskema. Det synes derfor utænkeligt, at de allermest ekstreme bilister melder sig som frivillige til sådanne projekter af eksempelvis frygt for mangel på anonymitet.

Et andet forskningsprojekt tog udgangspunkt i 26 firmabiler udstyret med ISA. Bilerne blev på skift brugt af 51 chauffører, som inden hver køretur skulle logge ind med et personligt ID. Projektet fandt blandt chaufførerne en statistisk signifikant forskel på to grupperingers indstilling over for det at køre for hurtigt. Den ene gruppe valgte praktisk talt aldrig at identificere sig inden en ny køretur og blev på baggrund af en spørgeskemaundersøgelse fundet mere positivt indstillet over for hastighedsoverskridelser end den anden gruppe, som altid identificerede sig (Agerholm et al., 2012). Dette indikerer, at bilister, som er mere tilbøjelige til hastighedsoverskridelser, er mindre villige til at deltage i forskningsprojekter. Det synes dog rimeligt at antage, at effekten er mindre i projekt ITS Platform, da udstyret ikke direkte påvirker chaufføren under kørslen som med ISA.

Endeligt kan testbilisternes bevidsthed om installeret udstyr være ændrende for deres kørselsadfærd - resulterende i lavere hastigheder end normalt. I relation til dette projekt må denne risiko vurderes som minimal, da ITS Platform havde været i gang i over tre år, inden data blev rekvireret, og udstyret følgelig må formodes at være en naturlig integreret del af testbilerne, hvilket også stemmer overens med Jørgensen (2010).

Ved en implementering af GPS-baserede kørselsafgifter på det danske vejnet, såkaldt *road pricing*, ville samtlige køretøjer kunne monitoreres. Alle indvendinger fremført i det ovenstående ville i det tilfælde blive imødekommet og en uvurderlig kilde til data tilgængeliggjort.

8.1.2 Manuel opgørelse: Radarpistol

En anden metode til at opgøre hastigheder med er ved hjælp af en radarpistol. Metoden adskiller sig fra resten af metoderne ved at være manuel og kræver derfor en observatør i marken. Metoden giver meget præcise hastighedsmålinger, men køretøjerne vil ikke

blive monitoreret i nøjagtigt samme snit, da køretøjerne ikke vil blive målt i præcis samme afstand fra observatøren. Metoden er meget fleksibel, da den ikke kræver fysiske installationer på lokaliteten. En ulempe er, at trafikanterne kan blive opmærksomme på observatøren og følgelig nedsætte hastigheden, hvorfor hastighedsniveauet kan blive undervurderet (Vejdirektoratet, 2006). Da metoden kræver en observatør i vejsiden er den vurderet for risikokabel for dette projekt, som undersøger veje med høje hastighedsgrænser (80 og 110km/t).

8.1.3 Spoledata

Med en fejlmargen under 1% er hastighedsmålinger med induktionsspoler meget præcise. Hastighedsregistreringer kræver to spoler i et tværsnit, hvor hver spole består af elektriske wirer, der er fræset ned i vejbanen vinkelret på kørselsretningen og påført en svag spænding. Når et køretøj passerer spolen, induceres en strøm, som registreres og omsættes til en hastighed. Metoden udmærker sig ved at registrere samtlige køretøjer i et snit og gerne i store tidsrum, mens den er dyr at implementere og vedligeholde og desuden en yderst stationær løsning (Vejdirektoratet, 2006).

Dette projekt udnytter, at Vejdirektoratet har et stort antal spoler nedfræset i det danske vejnet. Det gælder også for motorvejsnettet, hvor spoler er fræset ned særskilt for køresporene. Flere af disse målestationer er permanent i brug og samler data på enkeltkøretøjsniveau. Spoledataet opgøres i Vejdirektoratets database, iMastra, som undertegnede har fået adgang til i projektperioden. For FCD er det ikke muligt at opgøre pr. kørespor, da GPS-nøjagtigheden ikke er tilstrækkelig hertil, hvorfor FCD var udelukket til at opgøre hastighedsfordelinger for motorvejenes spor. I iMastra findes også hastighedsmålinger, opgjort over kortere eller længere tid fra lokaliteter på det øvrige vejnet. Til at undersøge 80km/t-vejene vil projektet foruden FCD-opgørelserne inddrage data fra iMastra, hvor en stor begrænsning dog er, at sidstnævnte ikke er tilgængeligt på enkeltkøretøjsniveau.

8.1.4 Plader og gummislanger

Ligesom spolemetoden kan snitmålinger registreres ved hjælp af tælleplade og gummislanger. De to alternative metoder fungerer således:

- Plademetoden udgøres af en tælleplade med indbygget censor og registreringsenhed, som boltres til vejbanen. Når et køretøj passerer pladen ændres magnetfeltet over det, og hastighed samt længde af køretøjet lagres i enheden.

- Ved den anden metode spændes to gummislanger henover kørebanen for at registrere hastigheder. Når et køretøj passerer slangerne ændres trykket heri, hvilket fører til en hastighedsregistrering i en enhed i vejsiden.

Begge metoder er mindre nøjagtige end spolemetoden, men de besidder til gengæld fleksibilitet. Metoderne egner sig ikke til målinger over længere tid, maksimalt en uges tid (Vejdirektoratet, 2006). Til dette projekt er både slange- og plademetoden gode alternativer til de valgte metoder for 80km/t-vejene, og de er hovedsageligt fravalgt til fordel for metoder, som ikke kræver maskinel, men også delvist pga. risiko ved op- og nedtagning af udstyr på veje med så høje hastigheder.

8.1.5 Alternative metoder: Bluetooth og forfølgelsesmetode

Der skal slutteligt fremføres to alternative metoder til hastighedsmålinger, som ikke er fundet egnede til projektet.

Den første er et forholdsvist nyt alternativ, som benytter sig af bluetooth-teknologi. Metoden bygger på, at en andel af alle køretøjer indeholder enheder (eksempelvis mobiltelefoner) med aktivt bluetooth-signal⁶. Når sådanne køretøjer passerer en opstillet censor i vejsiden, registreres et ikke-persondatabehæftet ID (en såkaldt MAC-adresse) for enheden sammen med et tidsstempel. To censorer i en kendt afstand ved en vejstrækning kan således give ophav til en rejsehastighed disse imellem. Da flere bluetooth-enheder kan være aktive i det samme køretøj, giver metoden risiko for, at et enkelt køretøj bliver overrepræsenteret i det aggregerede billede, eksempelvis i en bus. Metodens fleksibilitet er begrænset af, hvor detektorer er placeret, og er afstanden mellem to detektorer endvidere stor, er det uklart, hvilken rolle hastighedsvariationen har i lyset af den formodede sammenhæng mellem hastighedsvariation og trafiksikkerhed (Lahrmann et al., 2010). De sidste to betragtninger har gjort, at metoden er fundet uegnet til dette projekt.

Forfølgelsesmetoden bygger på samme princip som FCD-metoden, men hvor det kun er nødvendigt at udstyre et enkelt testkøretøj med en OBU-enhed. Metoden benævnes også "den jagende bil", da princippet er, at testbilisten bedst muligt skal forfølge og efterligne kørslen af et forankørende køretøj for at monitorere dennes kørsel. For at målingerne bedst afspejler den jagede bil, er det vigtigt, at den jagende bil enten holder konstant afstand eller konstant tidsforskydning, hvor særligt den sidste måde kræver stor øvelse

⁶ Denne andel er i et studie estimeret til 20%, som er vurderet høj nok til at bestemme en strækningshastighed. (Lahrmann et al., 2010)

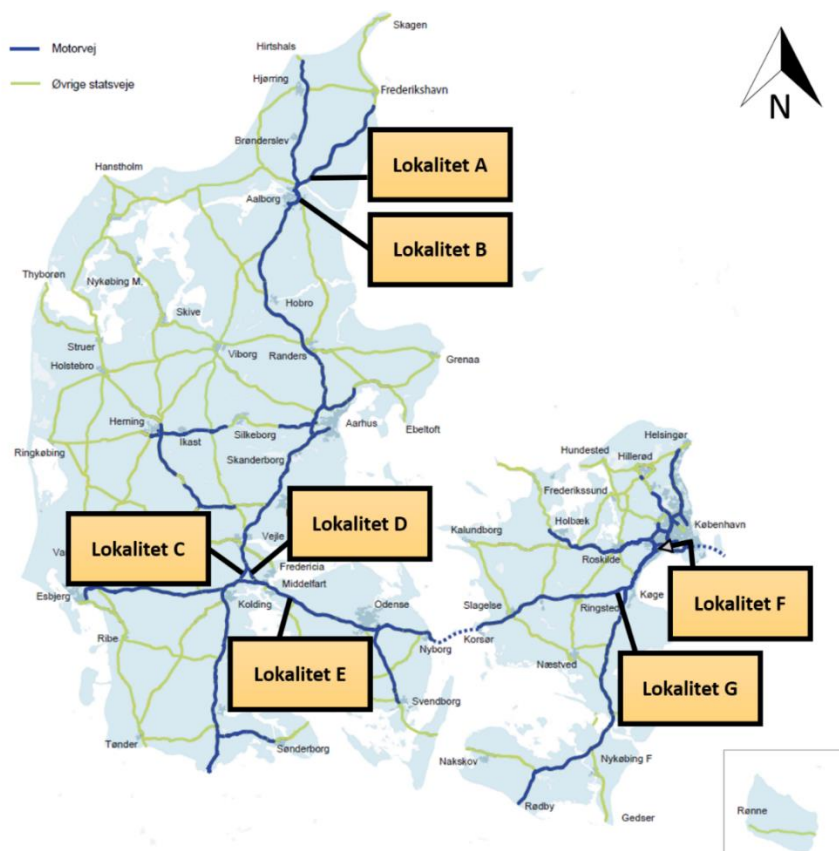
(Dixit et al., 2011). Fokus kan med denne metode rettes mod udvalgte forsøgsstrækninger, hvor FCD-projekter ikke er tilgængelige, eller FCD-data blot er begrænsede. Den jagende bilist skal af etiske årsager overholde hastighedsgrænserne. Dette gør metoden uegnet til dette projekt, da det er stærkt usandsynligt at opnå samme hastighedsvariation for en fordeling, hvor tophastighederne er skåret fra.

8.2 Valg af vejstrækninger

Metoderne valgt til indsamling af hastighedsdata har haft stor betydning for udvælgelsen af projektstrækninger.

8.2.1 Motorveje

Valget af motorvejsstrækninger er overordnet bestemt af induktionsspolernes placering i vejnettet og efterfølgende bestemt af, hvilke af spolerne enkeltkøretøjsdata kan udtrækkes for i iMastra. Dette projekt har pga. tidsmæssige begrænsninger valgt udelukkende at fokusere på motorveje med to spor i hver retning, omend hastighedsmønstre fra veje med flere spor også findes interessant at undersøge.



Figur 11: De syv motorvejslokaliteter. Grundkort fra Vejdirektoratet (2013).

Syv motorvejslokaliteter blev valgt til projektet, hvor tre havde data i begge retninger. Dette betød, at data blev udtrukket for ti retninger, som i det følgende benævnes projektets motorvejsstrækninger. De syv lokaliteter ses af Figur 11, og Tabel 2 angiver karakteristika for disse.

Tabel 2: Karakteristika for motorvejslokaliteterne.			
Alle har en hastighedsgrænse på 110km/t. ÅDT = Årsdøgntrafik.			
Lokalitet	Retninger med spole data	ÅDT	Trafikalt knudepunkt
A	Begge	23.200	Nær Aalborg
B	Begge	36.000	
C	Nord	32.900	Nær Trekantsområdet
D	Nord	32.200	
E	Vest	56.300	
F	Begge	50.200	Nær København
G	Vest	38.400	

Et par mulige motorvejslokaliteter blev fravalgt, da de lå i kort afstand til andre lokaliteter, hvorfor data her blot ville afspejle de nøjagtigt samme køretøjer forskudt nogle få 100 meter fra en anden lokalitet. Det er værd at bemærke, at Vejdirektoratets spoler med enkeltkøretøjdata er placeret på strækninger med særlig interesse for trafikafviklingen, hvorfor også samtlige strækninger har en hastighedsgrænse på 110km/t og ikke 130km/t. Dette bør holdes for øje ved tolkning af resultaterne for motorvejsnettet, da lokaliteterne kan betragtes som trafikale knudepunkter eller nær ved.

I Bilag A ses kortudsnit for projektlokaliteterne.



Figur 12: De seks lokaliteter i åbent land samt de to fravalgte lokaliteter.

8.2.1 80km/t-veje

Projekt ITS Platform blev udvalgt som primærkilde til data fra 80km/t-vejene, og da deltagende bilister hovedsageligt er bosat i Nordjylland, er datakoncentrationen størst på de nordjyske veje, hvilket blev styrende for valget af projektstrækninger. Aalborg er et knudepunkt for megen bolig-arbejde-trafik i Nordjylland, hvorfor vejnettet her omkring naturligt fattede interesse. To trafikerede veje i åbent land nær Aalborg blev fravalgt, da de ikke er direkte sammenlignelige med de øvrige veje i åbent land. Den ene, Høvejen, har nemlig en lokal hastighedsbegrænsning på 60km/t og den anden, Ny Nibevej, er stykvis motortrafikvej med en hastighedsgrænse på 90km/t. En sammenligning af 80km/t-vejene med en eller flere motortrafikveje, som har den gennerelle hastighedsgrænse (80km/t), havde dog også været interessant for at undersøge, om fraværet af langsomme køretøjer har den forventelige effekt på hastighedsvariationen.

Seks 80km/t-veje blev udvalgt som datagrundlag for analyserne. En af de seks 80km/t-strækninger ligger et stykke fra Aalborg, Bygholmvejlevej. Strækningen er valgt, da den er kendt for at være præget af meget høje hastigheder - den perifere beliggenhed giver dog risiko for et spinklere datagrundlag. Med undtagelse af Hjørring Landevej var data også tilgængeligt fra iMastra i større eller mindre omfang. Der redegøres nærmere herfor under *Valg af tidsrum*. Lokalteterne for de seks vejudsnit i åbent land er samlet i Figur 12, mens kortudsnit for hver enkelt lokalitet kan ses i Bilag B. Tabel 3 angiver karakteristika for lokaliteterne.

Tabel 3: Karakteristika for projektstrækningerne i åbent land.				
Alle lokaliteter har en hastighedsgrænse på 80km/t.				
Lokalitet: (Svarende til Figur 12)	Vejnavn:	ÅDT: (Årstal for opgørelse i parentes)	Bemærkninger:	Vejbestyrer:
1	Bygholmvejlevej	4.900 (2014)		Vejdirektoratet
2	Thisted Landevej	12.600 (2010)		Vejdirektoratet
3	Hjørring Landevej	4.800 (2014)	Intet spoledata tilgængeligt	Aalborg Kommune
4	Omfartsvejen	9.100 (2006)		Aalborg Kommune
5	Egensevej	8.300 (2012)		Aalborg Kommune
6	Hadsund Landevej	7.900 (2014)		Vejdirektoratet

Da hastighedsmålinger bliver logget én gang i sekundet for aktive biler i ITS Platform, er det for strækningerne ikke tilstrækkeligt at fastsætte et enkelt tværsnit for udtræk af data, da biler ved hastighedsgrænsen vil flytte sig over 22 meter i sekundet. Derfor blev der for hver projektstrækning udvalgt et rektangel, hvorindenfor data kunne udtrækkes på baggrund af deres GPS-koordinater.

For hver projektstrækning faldt valget på et udsnit, hvor vejen ikke krummede (uendelig krumningsradius), da sammenligning af hastighedsprofiler for strækningerne ellers ville være umulig. I Bilag C er proceduren for en enkelt projektstrækning gennemgået, og samtlige strækningsudsnits GPS-koordinater og SQL-koder fremgår af vedlagte CD-bilag i undermappen 'ITS Platform' i mappen 'Veje i åbent land'.

8.3 Valg af tidsrum

Valget af tidsrum for udtræk af data bygger både på overvejelser om, hvornår på døgnet data skal aggregeres for og for hvilke dage, dette skal gøres.

Udtrækningsdagene er valgt på baggrund af Vejdirektoratets anbefalinger om valg af tælle dage til opregning af trafik under antagelse af, at dette også giver det bedste billede af den *normale* hastighedsfordeling med mindst mulig påvirkning fra eksempelvis ekstreme vejrforhold og ferietrafik (Vejdirektoratet, 2006). Denne usikkerhed minimeres ifølge anbefalingerne ved at måle i ugerne 39 og 40, og da hverdagene tirsdag til torsdag generelt giver den mindste påvirkning fra weekendtrafikken, blev disse seks hverdage i 2013 valgt som udgangspunkt for dataudtrækkene.

Tabel 4: De anvendte tidsrum til udtræk i de to databaser.			
Standard tidsrum: Lavbelastning 9-14 og spidsbelastning 7-8 + 15-17.			
Database	Vejtyper	Tælle dage	Tidsrum
iMastra	Motorveje	For motorvejslokalitet G: tirsdag- torsdag i uge 47-48 2013	Standard
		For øvrige: tirsdag – torsdag i uge 39-40 2013	Standard, Men for lokalitet C, E og F manglede data for mellem 1½-3 timer af de i alt 48 timers data.
	Veje i åbent land (Enkeltkøretøjs- data ikke tilgængeligt)	Bygholmvejlevej: 356 dage i 2013	Standard
		Egensevej: 33 dage i 2005	
		Hadsund Landevej: 7 dage i 2014	
ITS Platform	Veje i åbent land	Omfartsvejen: 34 dage i 2006	
		Thisted Landevej: 138 dage i 2010	Standard
		tirsdag-torsdag i uge 35-40 og 44-50	
ITS Platform	Veje i åbent land	tirsdag-onsdag i uge 41	
		onsdag-torsdag i uge 43	

Med afsæt i litteraturstudiet blev det valgt at separere data fra lav- og spidsbelastningsperioder for at respektere det teoretiske forhold mellem hastighedsvariation, overhalinger/vognbaneskit og trafiksikkerhed, som forklaret i problemformuleringen. Tidsrummet 9-14 blev valgt til perioden med lavbelastning, mens tidsrummene 7-8 og 15-17 tilsammen udgjorde perioden med spidsbelastning. Ofte anvendes data fra 20-06 til at bestemme den såkaldte "free flow"-situation, hvor de enkelte trafikants adfærd ikke påvirkes af andre trafikanter. Den teoretiske sammenhæng mellem hastighedsvariation og trafiksikkerhed beror på interaktion mellem køretøjer, hvorfor en komplet free-flow-situation ikke er ønskelig, ligeså vel som at en meget sparsom mængde data er forventelig fra ITS Platform i nattetimerne.

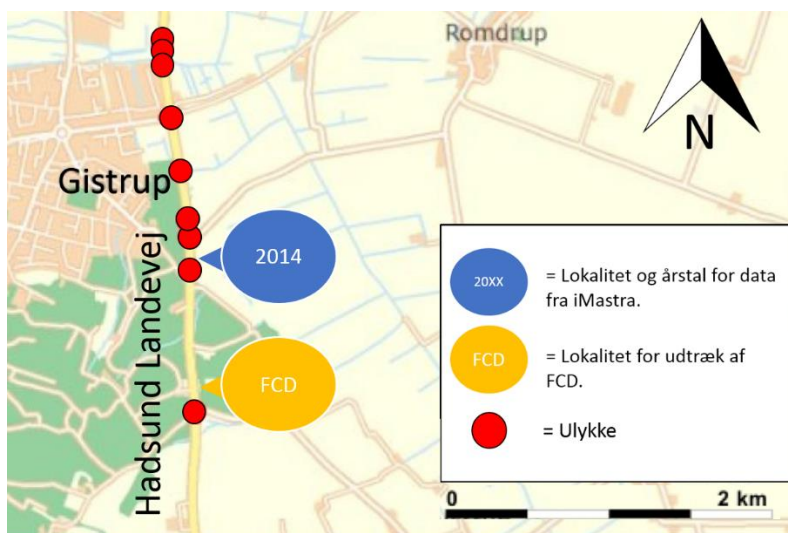
Det havde været mest optimalt at gennemføre ovenstående helt ens for samtlige projekstrækninger; af et par årsager har dette desværre ikke være muligt. Nedenfor er der redegjort for grundene hertil.

For data fra ITS Platform var det nødvendigt at vælge et højere antal tælle dage, da datagrundlaget ellers blev meget sparsomt i forhold til at bestemme hastighedsfordelinger. De supplerende dage blev valgt efter samme princip som de øvrige seks. November og december 2013 var uden frost og sne, hvorfor disse måneder ikke var udelukkede til udvælgelse af flere tælle dage. Skoleferien i uge 42 blev fravalgt ligesom torsdagen forinden og tirsdagen efter. I alt 43 dage blev valgt, se Tabel 4.

For data fra Vejdirektoratets database, iMastra, var der flere begrænsninger. Størst var disse for vejene i åbent land, hvor enkeltkøretøjsdata ikke var tilgængeligt. Kun aggregerede data var tilgængelige for udtræk for selvvalgte tidsrum i løbet af dagen. Dette er en klar svaghed ved dataene. Endvidere var der slet ingen spoledata fra Hjørring Landevej. Antallet af tælle dage samt årstallet for målingerne ses af Tabel 4, det er en svaghed at årstallene og tælle dagene ikke er sammenfaldende. For motorvejene gjorde tre tekniske udfald i spolerne, at data ikke var opsamlet i tidsrum med en varighed på mellem 1½ og 3 timer. På trods af udfaldene var der gennemsnitligt 17.000 hastighedsmålinger pr. spor for de berørte strækninger, hvorfor udfaldene er vurderet til at have en minimal betydning for det samlede resultat. For motorvejslokalitet G var data endvidere ikke tilgængelige for ugerne 39 og 40, hvorfor et tilsvarende antal dage blev udvalgt under samme betingelser som de øvrige.

8.4 Udtræk af ulykkesdata

Til at indfri problemformuleringens fjerde spørgsmål er der udtrukket ulykkesdata for de seks projektlokaliteter i åbent land. Vejdirektoratet har formidlet adgang til deres ulykkesdatabase Vejman.dk (efterfølgeren til VIS), hvor der via vejoplysninger er udtrukket ulykkesdata. Fra Vejdirektoratets centrale vejfortegnelse (cvf.vd.dk) blev afgrænsende kilometreringer bestemt for hver lokalitet. Kilometreringerne blev fastsat, så vejudsnittet stemte bedst muligt overens med det mindre vejsegment, hvortil FCD blev udtrukket fra ITS Platform. På Figur 13 ses Hadsund Landevej som eksempel herpå. Kort og specifik ulykkesdata for samtlige lokaliteter findes på vedlagte CD-bilag i undermappen 'Ulykkesudtræk' i mappen 'Ulykker – veje i åbent land'.



Figur 13: Ulykkesudtræk for lokaliteten Hadsund Landevej fra 2009-2013.

Ulykkesdataene er behandlet under et; data er altså ikke blevet opdelt på alvorlighedsgrad, antal tilskadekomne osv. Ulykkesdata er udtrukket for en 5-årig periode. Længere tidshorisonter er vurderet til at give for stor usikkerhed ift. om, der er sket ændringer af vejgeometri, bilpark mv., som kan være influerende på udseendet af hastighedsfordelingen, som antages konstant ved koblingen til ulykkesdata.

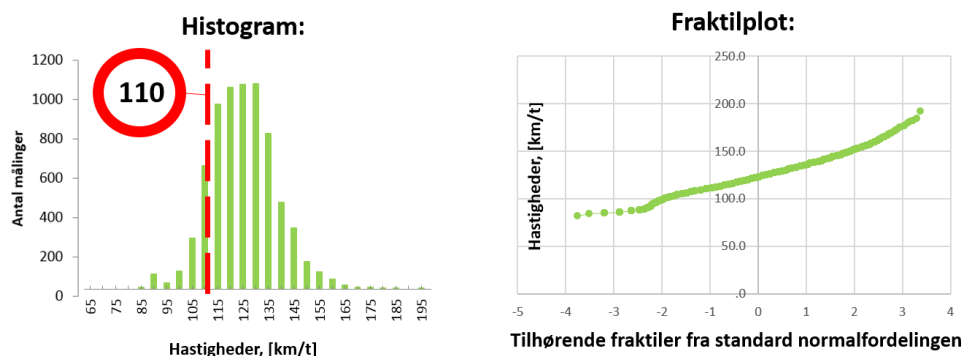
For iMastra-dataene er der udtrukket en tilpasset 5-årig periode for lokaliteter, hvor hastighedsmålingerne er ældre end eller fra 2012. For nyere spoledata og fra data rekvireret fra ITS Databasen er ulykkesdata udtrukket fra 2009-2013.

9. INDLEDENDE RESULTATBEHANDLING

Dette kapitel indeholder en redegørelse for, hvordan data fra de tre kilder, ITS Platform, iMastra og vejman.dk, er behandlet for at besvare problemformuleringens spørgsmål.

9.1 Parametrisk eller ikke-parametrisk statistik

Til at afgøre hvorvidt der er statistisk signifikant forskel på eksempelvis hastighedsspredningen i højre og venstre motorvejskørespør, er det nødvendigt at tage statistiske tests i brug. I statistikken sondres mellem parametrisk og ikke-parametriske metoder. Hvor førstnævnte beror på specifikke antagelser, er sidstnævnte mindre "følsom". Hastighedsdata er kontinuerte målinger, dvs. at data ikke er begrænset til at antage et udvalg af værdier som en diskret variabel. Snithastigheder over et tidsrum udgør ofte en normalfordeling, som fremført i afsnit 3.2. Det er i midlertidigt vigtigt at undersøge dette, da det er afgørende for valget af middelværditest.



Figur 14: Histogram og fraktilplot fra venstre spor i lavbelastningsperioden, 9-14, på motorvejslokalitet D.

9.1.1 Test af normalitet

I dette projekt er data tjekket for normalitet ad to veje; ved at bestemme dataenes histogram og ved at bestemme deres normale fraktilplot (QQ-plot). I et fraktilplot plottes det opnåede data i rangeret rækkefølge (eksempelvis hastigheder) mod de tilsvarende fraktiler fra standardnormalfordelingen, givet ud fra antallet af målinger i det empiriske data. Normalfordelingstesten er udført i Excel, som beskrevet i Walpole et al. (2007). På Figur

14 ses histogram og fraktilplot for venstre spor på motorvejslokalitet D i lavbelastningsperioden fra 9-14. For at data er normalfordelt, skal histogrammet være nogenlunde symmetrisk, og punkterne i fraktilplottet skal udgøre en tilnærmelsesvis ret linje. For eksemplet er begge krav opfyldt, og data antages normalfordelt. Resultaterne af normalfordelingenstestene er angivet ud fra opgørelserne af hastighedsdata for henholdsvis motor- og 80km/t-veje i de næste afsnit, mens histogrammer og fraktilplot findes på vedlagte CD-bilag i mapperne 'Veje i åbent land' og 'Motorveje'. Da dataene fra iMastra for 80km/t-vejene er aggregerede, har det ikke været muligt at lave normalitetstest herfor.

9.2 Hastighedsdata

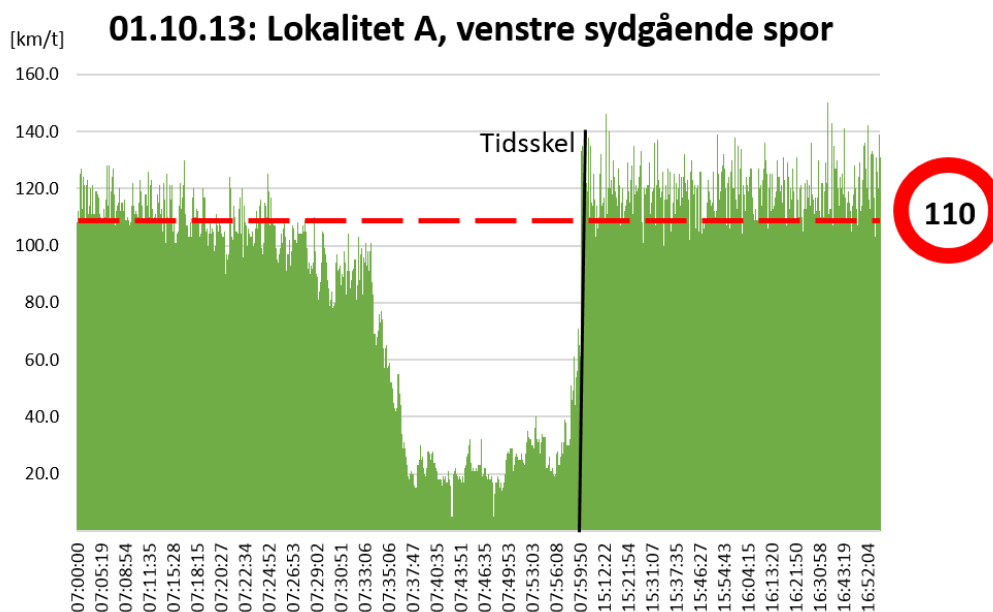
Forud for testene af diverse parametre fra hastighedsfordelingerne vil dette afsnit give et overblik over de opnåede hastighedsdata.

9.2.1 Motorvejsdata

For hver af projektets ti motorvejsstrækninger blev det udtrukne data fra iMastra bearbejdet separat for de to kørespor og for begge spor under et. Endvidere var data separeret for lav- og spidsbelastningsperioder. Databehandlingen blev udført i Excel og mandede ud i 60 normalitetstests, gennemsnitshastigheder, hastighedsspredninger mv. for de opdelte motorvejsdata. Disse er opsummeret i Tabel 12, som findes i Bilag D. Hvad der allerede på nuværende tidspunkt synes væsentligt at bemærke er, at hastighedsspredningen (det anvendte mål for hastighedsvariationen) skiller sig markant ud for tre strækninger, hvor data ikke er normalfordelte i spidsbelastningsperioden. I Tabel 5 herunder er data for de tre strækninger gengivet.

Tabel 5: Oversigt over hastighedsdata fra de tre motorvejsstrækninger, hvor data ikke er normalfordelt i spidsbelastningsperioden. n = antal hastighedsmålinger til grundlag for estimater.									
Motorvejsstrækning	Spor	Tidsrum	n	V_{gnst} [km/t]	σ [km/t]	V_{15} [km/t]	V_{50} [km/t]	V_{85} [km/t]	Normalfordelt
A – sydgående	Begge	7-8 + 15-17	25.993	86,3	32,1	34	97	112	Nej
A – nordgående	Begge	7-8 + 15-17	26.055	91,3	28,7	68	100	114	Nej
F – sydgående	Begge	7-8 + 15-17	30.820	74,5	36,0	30	92	112	Nej

Disse tre strækninger har samlet set over spidsbelastningsperioden en hastighedsspredning, som er omtrent det dobbelte af de resterende syv strækninger, der har en hastighedsspredning opgjort for begge spor på mellem 13,0 og 15,8 km/t.



Figur 15: Hastighedsmålinger indikerende en flaskehals fra cirka 7:45 og frem.

Til at forklare de høje hastighedsspredninger blev hastighedsmålinger plottet som en tidsserie. Dette tydeliggjorde, at der for de tre strækninger forekommer trafikale overbelastninger dagligt, som nærmest stopper trafikafviklingen i et kortere eller længere tidsrum. På Figur 15 ses en trafikale flaskehals for den sydgående trafik på lokalitet A i tidsrummet op imod klokken 8:00 (og formentligt også efter). Lignende mønstre er gældende for de to øvrige motorvejsstrækninger, hvor lokalitet A nordgående også er belastet i morgenmyldretiden og lokalitet F sydgående i eftermiddagsmyldretiden. De tre motorvejsudsnit vil i det følgende betegnes de *trængselsbelastede strækninger*.

Lokalitet A er placeret nær Limfjordstunnelen, hvilket foranlediger en trafikale flaskehals i tidsrum med store trafikmængder. Lokalitet F er beliggende på Motorring 4 nær sammenfletningen med motorvejen, der forbinder Danmark med Sverige. Denne fordelingsfunktion for pendlertrafikken kan forklare trængselstilstandene om eftermiddagen, hvor hastighedsmålingerne indikerer, at hastigheden bølger op og ned.

9.2.2 Data fra 80km/t-vejene

I metodeafsnittet blev det beskrevet, at data fra 80km/t-vejene blev valgt til at stamme fra to fundamentalt forskellige datakilder, nemlig spoledata og FCD. De opnåede hastighedskaraktéristika fra de to kilder, beskrives i den nævnte rækkefølge nedenfor.

Seks veje i det åbne land er valgt ud som datagrundlag for undersøgelserne. For lokalitet 3, Hjørring Landevej, var det beklageligvis ikke muligt at udtrække hastighedsdata fra iMastra. For de resterende fem var data udelukkende tilgængeligt på et aggregeret niveau (ikke enkeltkøretøjsdata). Til at bestemme hastighedsparametrene i spidsbelastningsperioden, som ikke var mulig at udtrække samlet, blev gennemsnitshastigheder, 15%-fraktiler og 85%-fraktiler for tidsperioderne 7-8 og 15-17 vægtet til fælles hastighedsparametre, mens en samlet hastighedsspredning blev til ud fra Formel [15]. Formlen kræver, at hastighedsvariationen er nogenlunde ens i de to grupper, hvilket de enkelte estimater er vurderet til at være. Formlen for sammenvejet spredning er:

$$\sigma_{\text{fælles}} = \sqrt{\frac{(n_1-1)\sigma_1^2 + (n_2-1)\sigma_2^2}{n_1+n_2-2}} \quad [15]$$

Hvor n_1 antal målinger er til grund for estimatet af σ_1 (spredningen for morgenmyldretiden) og n_2 antal målinger til grund for estimatet af σ_2 (spredningen i eftermiddagsmyldretiden). Da det egentlige antal målinger (n_1 og n_2) ikke var tilgængelige, blev andelen af hverdagsdøgntrafik i de to tidsrum brugt til vægtningen. Tabel 13 i Bilag E giver et overblik over hastighedskaraktéristikaene opnået fra iMastra fra 80km/t-vejene. Spændet af hastighedsspredninger er i lavbelastningsperioden fra 9,4-17,3 og i spidsbelastningsperioden mellem 8,7-17,4, som tyder på et lidt lavere niveau end motorvejsdataene.

Hastighedsdataene rekvireret fra ITS Platform blev i Excel behandlet, så hver køretur, der havde passeret vejudsnittet i de valgte tidsrum, blev repræsenteret af en enkelt hastighedsmåling trods flere logninger inden for vejsegmentet. Hastighedsmålingerne blev efterfølgende opsplittet på retninger og analyseret separat herfor og under et - ligesom for motorvejsstrækningerne fra iMastra. Tabel 14 i Bilag F opsummerer hastighedsparametrene bestemt på baggrund af data fra ITS Platform. Opgørelserne gjort for begge retninger samlet skal i dette projekt bruges til matematisk regression af ulykkesdata, da ulykkesdata ikke opdeles på retninger, grundet en gråzone af ulykker, der synes svære at placere, særligt mødeulykker, hvor kollisionen sker i modsatte side af vejen end, hvor hastighedsvariationen eksempelvis foranlediger en overhaling.

Hastighedsdataene fra projekt ITS Platform indikerer et lavere niveau af hastighedsspredninger med et spænd fra 4,3-12,3 km/t i lavbelastningsperioden opgjort pr. retning.

9.3 Ulykkesdata

Dette projekt har for 80km/t-vejene til formål at søge en matematisk sammenhæng mellem udtrukne ulykkesdata, hastighedsspredning og gennemsnitshastighed. Til denne sammenkørsel af data fra forskellige lokaliteter er det vigtigt bedst muligt at kontrollere andre parametre med indflydelse på trafiksikkerheden, der kan variere lokaliteterne imellem. Derfor blev ulykkesfrekvensen (UHF) anvendt som udtryk for trafiksikkerheden og blev beregnet som givet i Vejdirektoratet (2001). UHF-parameteren vægter ulykkes-tallet ud fra længden af den undersøgte strækning og årsdøgntrafikken (ÅDT) på lokaliteten, altså det årlige trafikarbejde. Disse to parametre vurderes til at have størst trafik-sikkerhedsmæssig betydning af forudsætninger, der varierer for de forskellige lokaliteter. Antallet af sideveje og trafikmængderne herpå kunne dog også være interessante at tage med i betragtning. UHF-værdien er givet ved:

$$UHF = \frac{\#Ulykker}{\text{ÅDT} \cdot 365 \cdot \#År \cdot L} \cdot 10^6 \quad [16]$$

L angiver længden af vejsegmentet [km], hvor ulykkesdata er udtrukket for en tidsperiode af et antal år (#År).

Tabel 6: Beregnede ulykkesfrekvenser for de seks lokaliteter i åbent land.					
Ulykkesdata er udtrukket for en femårsperiode fra 2009-2013 (standard) med mindre andet er angivet.					
Lokalitet	Tidsrum	Antal ulykker	L [km]	ÅDT (årstal i parentes, de grønne tal er fremskrevet)	UHF
1	Standard	2	7,9	4.883 (2014)	$2,9 \cdot 10^{-6}$
2	Standard	3	5,0	13.391 (2014)	0,025
	2006-2010	3		12.617 (2010)	0,026
3	Standard	0	2,8	4.846 (2014)	0
4	Standard	12	4,0	10.294 (2014)	0,161
	2002-2006	12		9.138 (2006)	0,181
5	Standard	7	5,0	8.513 (2014)	0,090
	2001-2005	15		7.440 (2005)	0,221
6	Standard	9	3,5	7.902 (2014)	0,178

Hastighedsdata udtrukket fra iMastra var ledsaget af en ÅDT-værdi, der svarede til året, hvor hastighedsdata var monitoreret, og formentligt er data opgjort samtidigt. Hastighedsdataene fra ITS Platform var selvsagt ikke ledsaget af en ÅDT-værdi, hvorfor det

blev fundet nødvendigt at fremskrive de tilgængelige ÅDT-værdier til et sammenligneligt 2014-niveau. Til at bestemme en gennemsnitlig årlig vækstrate for trafikken blev to ÅDT-opgørelser i samme snit på Egensevej fra henholdsvis 2005 og 2012 sammenlignet. De gav ophav til en årlig vækstrate på 1,5% - en værdi, der er vurderet til at harmonere med nuværende praksis på området og derfor synes rimelig at benytte for strækningerne. Tabel 6 angiver de beregnede UHF-værdier for de seks lokaliteter.

10. RESULTATER AF STATISTISKE TESTS OG REGRESSIONER

Med den indledende resultatbehandling på plads begiver projektet sig nu over til udfaldene af de statistiske tests og regressioner, der søger at besvare problemformuleringens fire spørgsmål. Databehandling er foretaget i MS Office Excel 2013, hvor andet ikke er anført. De statistiske sammenligninger er udført med den parametriske t-test, hvor datamængder var fundet normalfordelte og varianshomogenitet opfyldt. Testsandsynlighederne er angivet i parentes ved de anførte resultater. Hvor data ikke imødekom disse krav er ikke-parametriske tests brugt, hvilket vil fremgå af teksten, når det er aktuelt.

10.1 Analyse af motorvejsdataene

Analyserne og hastighedsdata kan findes på vedlagte CD-bilag i mappen 'Motorveje'.

10.1.1 Motorveje opgjort pr. retning

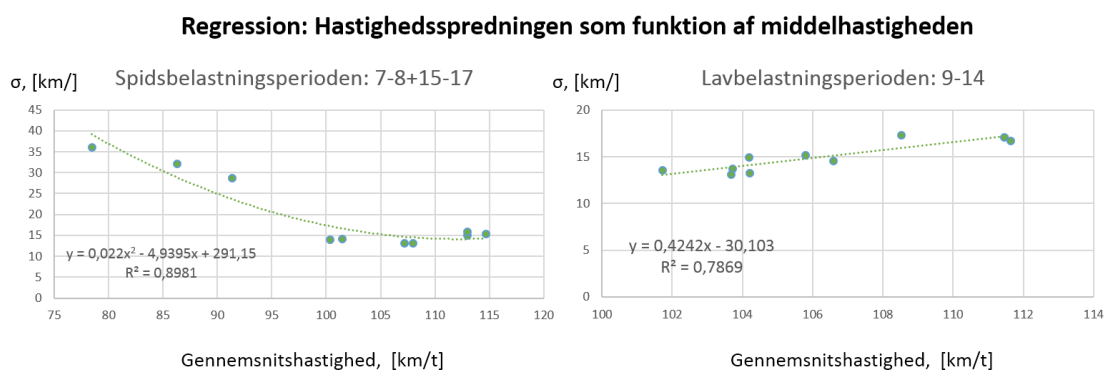
Hastighedsdata for de ti projektstrækninger er i det følgende betragtet pr. kørselsretning. Tre af disse skiller sig ud ved at være trængselsbelastede i spidsbelastningsperioden, som beskrevet i Kapitel 9. For de ti strækninger blev gennemsnitshastigheden mellem lav- og spidsbelastningsperioden sammenlignet statistisk, og det samme gjorde hastigheds-spredningen. Tabel 7 opsummerer hastighedsdataene for de to tidsperioder, lav- og spidsbelastningsperioden. For sidstnævnte er de tre trængselsbelastede strækninger behandlet separat.

Tabel 7: Resume af hastighedsdata fra motorvejene.					
95%-KI = 95%-Konfidensinterval					
Lavbelastningsperiode		Spidsbelastningsperiode			
		Syv normalfordelte strækninger		Tre trængselsbelastede strækninger	
$V_{\text{gns.}}$ [km/t]	σ [km/t]	$V_{\text{gns.}}$ [km/t]	σ [km/t]	$V_{\text{gns.}}$ [km/t]	σ [km/t]
(95%-KI, [km/t])	(95%-KI, [km/t])	(95%-KI, [km/t])	(95%-KI, [km/t])	(95%-KI, [km/t])	(95%-KI, [km/t])
106,2	14,9	108,2	14,3	85,4	32,3
(103,7-108,6)	(13,8-16,1)	(103,0-113,5)	(13,3-15,3)	(69,3-101,5)	(23,3-41,2)

Gennemsnitshastigheden kunne ikke testes signifikant forskellig mellem de to tidsperioder, hverken når samtlige ti strækninger blev undersøgt sammen ($p=0,16$) eller hvor de tre trængselsretninger blev valgt fra ($p=0,56$). Betragtedes de tre trængselsretninger

alene, var der derimod signifikant forskel på middelhastigheden i de to tidsrum ($p=0,046$). På de tre strækninger var gennemsnitshastigheden 17% højere i lavbelastningsperioden end i spidsbelastningsperioden (95%-konfidensinterval (KI): 1-34%), hvilket tydeliggør den kritiske trafikale situation i spidsbelastningsperioden.

For disse tre motorvejsretninger blev hastighedsspredningen testet signifikant større i spidsbelastningsperioden ($p=0,016$). Hastighedsspredningen er på de tre trængselsbelastede strækninger 140% højere i myldretiden (95%-KI: 63-217%). For de øvrige syv strækninger var hastighedsspredningen 7% højere i lavbelastningsperioden end i spidsbelastningsperioden ($p=0,023$, og 95%-KI: 1-13%). Dermed tyder det på, at den trafikale situation er afgørende for, hvordan forholdet er mellem hastighedsspredning i lav-og spidsbelastningsperioder på motorvejene opgjort pr. retning.



Figur 16: Hastighedsdata opgjort på kørselsretninger for motorvejene.

Første del af projektet fremførte, at tidligere forskning havde fundet en stærk, omend ikke entydig, sammenhæng mellem gennemsnitshastigheden og hastighedsspredningen. Figur 16 viser resultaterne af regression af samme forhold. I lavbelastningsperioden er der en tendens til, at spredningen stiger med gennemsnitshastigheden. I spidsbelastningsperioden skiller de tre trængselsbelastede strækninger sig ud ved at have en meget høj spredning og en lav gennemsnitshastighed (punkterne længst til venstre). Bedste regression giver et andengradspolynomium med minimum ved en gennemsnitshastighed på 112km/t (fundet ud fra toppunktsformlen). For gennemsnitshastigheder over denne værdi er der en tendens til, at spredningen begynder at stige, omend få punkter støtter op herom. Regressionen har en høj kvadreret korrelationskoefficient, $R^2=0,90$. Fravælges de tre yderste punkter og lægges fokus på de syv normalfordelte retninger opnås dog også et andengradspolynomium ved bedste tilpasning til data.

For de trængselsbelastede strækninger falder middelhastigheden altså markant i spidsbelastningsperioden (17% lavere end lavbelastningsperioden), og hastighedsspredningen stiger væsentligt (140% højere end i lavbelastningsperioden). For de øvrige strækninger er der ikke testet signifikant forskel på middelhastigheden i de to tidsrum, og spredningen er modsat de trængselsbelastede højest i lavbelastningsperioden (7% højere).

10.1.2 Motorveje opgjort pr. spor

Hastighedsdata vil i det næste blive betragtet opgjort pr. kørselsspor for motorvejene. Formålet hermed var, at undersøge forskelle på det venstre og det højre spor i de to tidsrum. Da de relative forhold mellem middelhastighederne i de to spor ikke kunne testes normalfordelte for hverken lavbelastnings- eller spidsbelastningsperioden, er den ikke-parametriske Wilcoxon signed-rank test taget i brug og udført som beskrevet i Walpole et al. (2007). Testen viste for begge tidsrum, at middelhastigheden i venstre spor er højere end i højre spor – i spidsbelastningsperioden 13% højere og i lavbelastningsperioden 16% højere, hvilket stemmer helt overens med, at venstre spor qua den danske højrekørsel er overhalingsspor. Betragtes de tre trængselsbelastede strækninger alene var der ingen signifikant forskel på gennemsnitshastigheden i de to kørselsspor i spidsbelastningsperioden ($p=0,16$).

T-testen viste, at hastighedsspredningen i lavbelastningsperioden er 20% (95%-KI: 16-23%) lavere i det hurtige venstre spor end i det højre kørselsspor ($p=0,00$). For spidsbelastningsperioden fandtes alene en statistik signifikant forskel på hastighedsspredningen, hvis spordataene blev opdelt på normalfordelte og ikke-normalfordelte (trængselsbelastede) strækninger. Denne opdeling fordrer to forskellige resultater for hastighedsspredningen i motorvejens spor i perioder med spidbelastning. For de syv strækninger med normalfordelt hastighedsdata viste data samme resultat som i lavbelastningen, nemlig en 20% lavere spredning i venstre spor ($p=0,00$ og 95%-KI: 11-30%). For de tre trængselsbelastede strækninger var situationen det modsatte. Her var spredningen i det venstre spor højest ($p=0,00$), nemlig 25% højere end i det højre spor (95%-KI: 4-47%).

Resultaterne viser altså, at den trafikale situation er afgørende for forholdet mellem de to kørselsspor både med hensyn til gennemsnitshastighed og hastighedsspredning. En flaskehalssituation betyder altså, at hastighedsspredningen ændrer sig fra at være højest i højre kørselsspor til at være det i venstre kørselsspor, og at gennemsnitshastigheden går fra at være højest i venstre spor til at være ens for begge spor.

10.2 Analyse af data fra 80km/t-vejene

Data til analyserne for vejene i åbent land blev som redegjort for rekvireret ad to kanaler, iMastra og ITS Platform. Data fra de to kilder vil i det følgende blive sammenlignet, og hastighedsdataene fra de to databaser vil blive analyseret enkeltvis. Analyserne og hastighedsdata kan findes i mappen 'Veje i åbent land' på vedlagte CD-bilag.

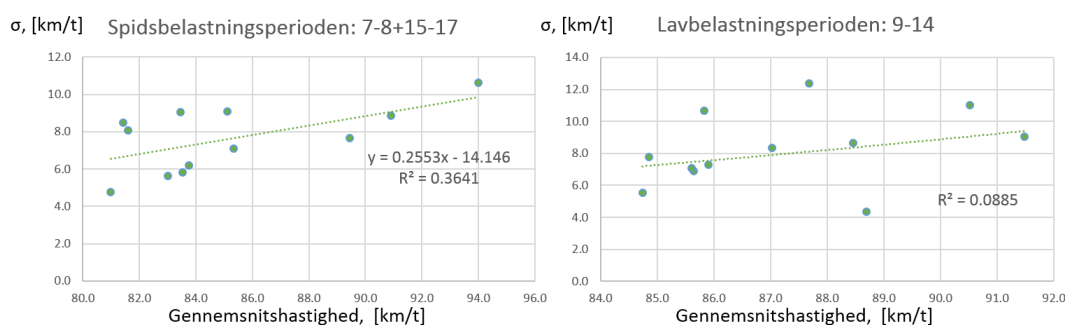
10.2.1 Analyser af data fra ITS Platform

Middelhastigheden blev fundet statistisk signifikant højere i lavbelastningsperioden end i spidsbelastningsperioden ($p=0,02$), forskellen var 2,3% (95%-KI: 0,5-4,2%). Gennemsnitshastigheden falder på projektstrækningerne gennemsnitligt fra 87,2km/t til 85,2km/t fra lav- til spidsbelastning. Der kunne ikke detekteres en signifikant forskel på hastighedsspredningen i de to tidsrum ($p=0,90$). Tabel 8 giver et overblik over de estimerede værdier og deres 95%-konfidensintervaller.

Lavbelastningsperiode		Spidsbelastningsperiode	
$V_{\text{gns.}}$ [km/t]	σ [km/t]	$V_{\text{gns.}}$ [km/t]	σ [km/t]
(95%-KI, [km/t])	(95%-KI, [km/t])	(95%-KI, [km/t])	(95%-KI, [km/t])
87,2	8,3	85,2	7,6
(85,8-88,6)	(6,8-9,7)	(82,6-87,8)	(6,5-8,7)

Data fra lavbelastningsperioden gav ingen specifik sammenhæng mellem hastighedsspredning og gennemsnitshastighed. Data i spidsbelastningsperioden antydede en positiv lineær sammenhæng, men med en lav forklaringsgrad ($R^2 = 0,36$), se Figur 17.

Regression: Hastighedsspredningen som funktion af middelhastigheden



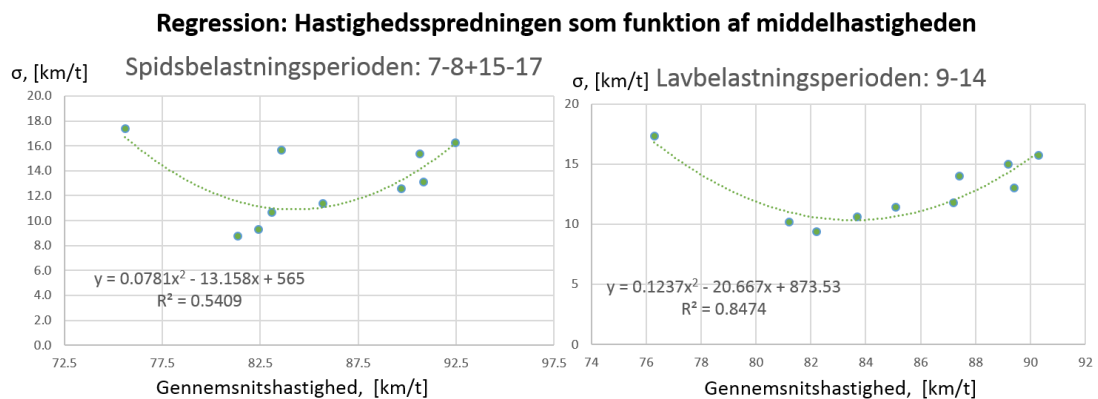
Figur 17: Hastighedsdata fra ITS Platform opgjort på kørselsretninger for veje i åbent land.

10.2.2 Analyser af data fra iMastra

Hastighedsdata fra iMastra gav ingen statistisk signifikant forskel på hverken gennemsnitshastigheden ($p=0,60$) eller hastighedsspredningen ($p=0,64$) mellem de to tidsrum. I Tabel 9 ses resumestatistik for de to undersøgte hastighedsparametre.

Tabel 9: Resume af hastighedsdata fra iMastra for veje i åbent land.			
Lavbelastningsperiode		Spidsbelastningsperiode	
$V_{\text{gnst.}}$ [km/t]	σ [km/t]	$V_{\text{gnst.}}$ [km/t]	σ [km/t]
(95%-KI, [km/t])	(95%-KI, [km/t])	(95%-KI, [km/t])	(95%-KI, [km/t])
85,2	12,8	85,5	13,0
(82,0-88,4)	(11,0-14,7)	(81,7-89,4)	(10,9-15,2)

Regression af sammenhængen mellem hastighedsspredning og gennemsnitshastigheden gav det bedste resultat for data stammende fra lavbelastningsperioden. Figur 18 viser resultaterne af begge regressioner. Begge datamængder giver ophav til andengradspolynomier med minimum for en gennemsnitshastighed på omkring 84km/t. For begge grafer er det gældende, at punktet længst til venstre med lav gennemsnitshastighed og høj hastighedsspredning skiller sig ud. Punktet stammer fra lokalitet 5, Egensevej, i retning mod Aalborg. Da enkeltkøretøjsdata ikke var tilgængeligt fra iMastra, kan årsagen hertil ikke detekteres ved at betragte hastighedernes fordeling over tid.



Figur 18: Hastighedsdata fra iMastra opgjort på kørselsretninger for veje i åbent land.

10.2.3 En komparativ analyse af de to datakilder

Dette afsnit rundes af med en statistisk sammenligning af hastighedsdataene fra iMastra og ITS Platform. Grundlæggende vil det sige at teste dataene til grund for de sammenhørende værdier i Tabel 8 og 9 for at være forskellige.

For både middelhastigheden i lav- og spidsbelastningsperioden blev der ikke fundet en statistisk signifikant forskel for data fra de to datakilder. For sidstnævnte tidsrum var testsandsynligheden 0,87 og for førstnævnte 0,21. Da den brugte t-test forudsætter ens varians i begge grupper, hvilket ikke kunne indfries for data i lavbelastningsperioden, blev der for en sikkerheds skyld taget højde herfor ved at supplere med en ikke-parametrisk Wilcoxon rang-sum test udført som i Walpole et al. (2007). Resultatet heraf var det samme ($p=0,36$). Der er altså ikke statistisk signifikant forskel på gennemsnitshastigheden givet ud fra iMastra og ITS Platform.

Sammenligningen af hastighedsspredninger fra de to datakilder gav det modsatte resultat. For begge tidsrum blev hypotesen om ens hastighedsspredning forkastet med testsandsynligheder under 0,00. For spidsbelastningsdata kunne antagelsen om ens varians i datamængderne af hastighedsspredninger ikke indfris, hvorfor Wilcoxon rang-sum testen igen blev udført med samme resultat. For begge tidsrum giver data fra ITS Platform en lavere hastighedsspredning end fra iMastra, hvor iMastra giver en 42% højere spredning i spidsbelastningsperioden og 36% højere i lavbelastningsperioden. Dette er væsentligt at holde sig for øje ved fortolkning af data - forklaringen skal nok findes i dataindsamlingsmetoderne. Sidste del af projektet vender tilbage hertil.

10.3 En komparativ analyse af de to vejtyper

I dette afsnit angives resultaterne for den statistiske sammenligning af hastighedsspredningen på de to vejtyper, motorveje og 80km/t-veje. Til sammenligningen er brugt hastighedsdata opgjort pr. kørselsretning for begge vejtyper. Hastighedsdata for 80km/t-vejene fra de to datakilder blev sammenlignet selvstændigt med motorvejsdataene. Gennemsnitshastigheden er grundet den store forskel i hastighedsgrænserne ikke interessant at sammenligne for de to vejtyper. Både den absolutte hastighedsspredning og den relative hastighedsspredning i forhold til gennemsnitshastigheden blev sammenlignet imellem de to vejtyper.

Sammenligningen af hastighedsspredningen mellem motorveje og 80km/t-veje i lavbelastningsperioden gav samme resultat for begge 80km/t-vejsdatakilder. Begge tests gav en signifikant lavere hastighedsspredning på vejene i åbent land end på motorvejene (iMastra-data: $p=0,045$ og ITS Platform-data: $p=0,00$). ITS Platform-data angav hastighedsspredningen til at være 45% lavere på 80km/t-vejene i lavbelastningsperioden, mens iMastra-dataene gav en 14% lavere spredning på denne vejtype end på motorvejene.

For spidsbelastningsperioden er sammenhængen imidlertid mindre klar. Data fra ITS Platform giver en langt lavere spredning for vejene i åbent land end motorvejene, uanset om de tre trængselsbelastede strækninger medtages eller ej. Hastighedsspredningen er 47% lavere på denne vejtype, når der alene sammenlignes med de syv motorvejsstrækninger uden flaskehals-symptomer, mens den var 76% lavere end på de tre omtalte strækninger. En markant forskel blev altså konstateret i begge situationer med data fra ITS Platform.

Data fra iMastra gav et andet billede. Ligesom med data fra ITS Platform var spredningen på veje i åbent land markant lavere end de tre trængselsbelastede motorvejsstrækninger, hele 61% lavere. Men for de øvrige syv motorvejstrækninger accepteredes hypotesen om ens absolut hastighedsspredning på de to vejtyper ($p=0,23$). Dette blev testet med både parametrisk og ikke-parametrisk statistik, da antagelsen om ens varians i de to mængder af hastighedsspredninger ikke kunne indfries.

I tillæg til at sammenligne de absolutte værdier af hastighedsspredning på de to vejtyper, blev variationskoefficienterne også underlagt en sammenligning. Variationskoefficienten vægter hastighedsspredningen i forhold til den tilhørende gennemsnitshastighed og angiver spredningen i procenter af gennemsnitsværdien. De to vejtyper har grundet markant forskellige hastighedsgrænser meget forskellige gennemsnitshastigheder, hvorfor en sammenligning af variationskoefficienter synes at give et mere retvisende sammenligningsgrundlag end ved at betragte absolutte værdier.

Sammenligningen mellem iMastra-data fra 80km/t-veje og motorveje viste via den ikke-parametriske Wilcoxon rang-sum test ikke signifikant forskel på variationskoefficienten i hverken lav- eller spidsbelastningsperiode for de to vejtyper. For spidsbelastningsperioden var det gældende både med ($p=0,82$) og uden ($p=0,24$) de tre trængselsbelastede motorvejsstrækninger. Dette resultat stemmer ikke overens med resultaterne af testene af de absolutte hastighedsspredninger som forklaret ovenfor. Herfor fandtes nemlig en signifikant lavere hastighedsspredning på 80km/t-vejene i lavbelastningsperioden, hvilket altså udligner sig, når man tager det relative niveau af hastigheder i betragtning.

Sammenligningen med ITS Platform-data gav i både lav- og spidsbelastningsperioden en statistisk signifikant lavere variationskoefficient på 80km/t-vejene end motorvejene ved brug af den ikke-parametriske Wilcoxon rang-sum test. Dette stemmer overens med sammenligningen af de absolutte værdier af hastighedsspredningen på de to vejtyper ud fra ITS Platform-data.

10.4 Resultaterne af ulykkesanalyserne

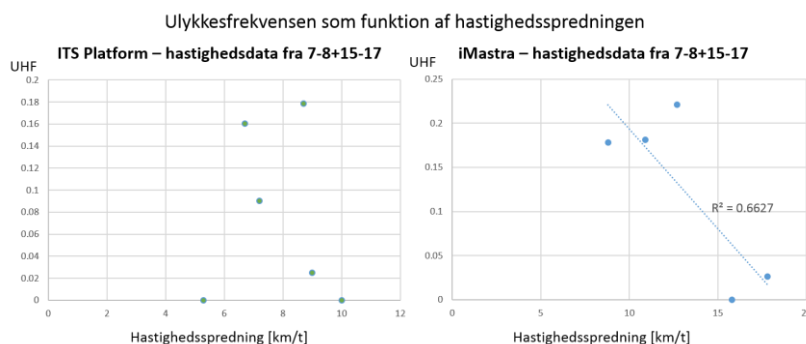
Dette afsnit rummer resultaterne af ulykkesmodelleringerne. En matematisk sammenhæng mellem ulykkesfrekvensen og hastighedsparametrene søgtes skabt. Ulykkesdata er som tidligere beskrevet opgjort på en samlet vejstrækning og ikke retningsopdelt, hvorfor hastighedsmålingerne brugt i det følgende heller ikke er det (svarende til hastighedsmålingerne for *begge retninger* givet i Bilag E og F).

10.4.1 Regression med én forklarende variabel

Ulykkesanalyserne med en forklarende variabel blev ligesom analyserne af hastighedsdataene foretaget i Excel. Hastighedsdata blev brugt separat fra de to databaser, iMastra og ITS Platform, og separat for de to tidsrum, lav- og spidsbelastningsperioden.

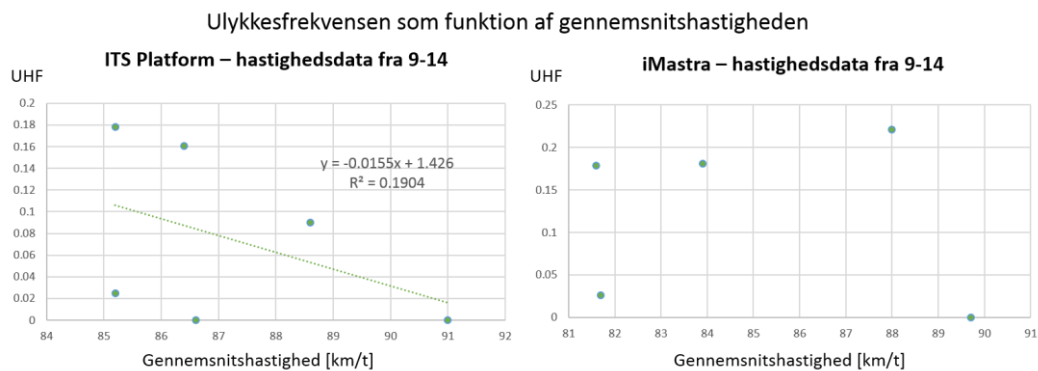
Ulykkesfrekvensen blev for hver af de fire datamængder sammenstillet med henholdsvis hastighedsspredningen, gennemsnitshastigheden og variationskoefficienten, hvor sidstnævnte udgør forholdet mellem hastighedsspredningen og gennemsnitshastigheden og dermed udtrykker spredningens relative niveau.

Data indikerer, at ulykkesfrekvensen falder med en højere hastighedsspredning, hvilket taler imod den sammenhæng, der er beskrevet i første del af projektet. Tendensen var tydeligst for data fra iMastra, hvor en lineær aftagende sammenhæng blev fundet både for lav- og spidsbelastningsperioden med R^2 -værdier på henholdsvis 0,72 og 0,66. For ITS Platform var det alene en tendens for data fra lavbelastningsperioden - ingen sammenhæng imellem spredning og UHF kunne spottes for spidsbelastningsdata. Figur 19 viser UHF-værdierne plottet ud for deres tilhørende hastighedsspredninger opgjort for spidsbelastningsmålinger fra de to databaser.



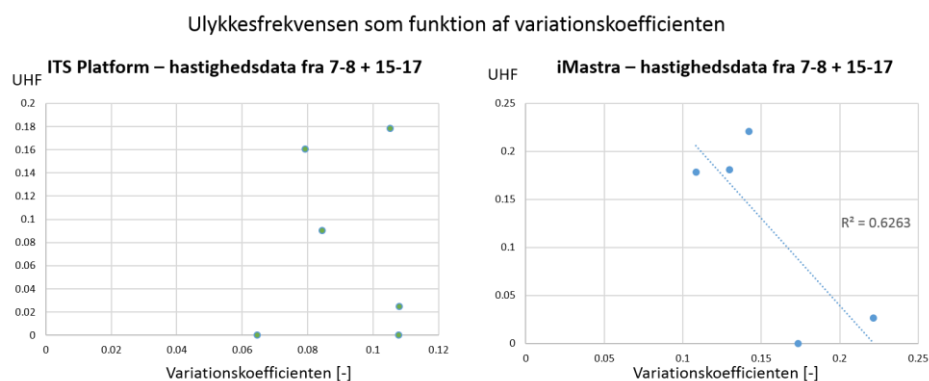
Figur 19: UHF plottet imod hastighedsspredningen for veje i åbent land.

En klar sammenhæng mellem gennemsnitshastigheden og ulykkesfrekvensen var heller ikke fundet. Dataene fra iMastra fordelte sig i en tilfældig skylignende struktur, hvor en matematisk sammenhæng ikke kunne bestemmes. For dataene fra ITS Platform viste data en svag tendens til, at ulykkesfrekvensen faldt med middelhastigheden, hvilket heller ikke stemmer overens med det ventede. De kvadrerede korrelationskoefficienter var for begge tidsrum dog meget lave, højest for lavbelastningsperioden, hvor $R^2 = 0,19$. Figur 20 viser sammenhængen for lavbelastningsperioden (9-14) fra de to databaser.



Figur 20: UHF plottet imod gennemsnitshastigheden for veje i åbent land.

Den sidste model, der blev opstillet med en enkelt forklarende variabel, var ulykkesfrekvensen givet ud fra variationskoefficienten. Her indikerer resultaterne med iMastra-data, at ulykkesfrekvensen falder, når variationskoefficienten stiger, se Figur 21 for spidsbelastningsperioden. Da variationskoefficienten er givet ved $\frac{\sigma}{v_{\text{gnst.}}}$, kan en stigning tolkes



Figur 21: UHF plottet imod variationskoefficienten for veje i åbent land.

som en stigning i spredningen ved en given gennemsnitshastighed eller et fald i gennemsnitshastigheden ved en given spredning eller en kombination heraf. I Mastra-data-

ene indikerer derfor samme resultat som vist i Figur 19 for spredning kontra ulykkesfrekvens (kun med iMastra-data). ITS Platform-data giver også anledning til en negativ korrelation i lavbelastningsperioden, mens ingen tendens findes for spidsbelastningsperioden, hvilket ses af figuren.

10.4.2 Multiple regressionsmodeller

I tillæg til at betragte gennemsnitshastigheden og hastighedsspredningen enkeltvist som regressionsvariable blev data i statistikprogrammet SPSS 22 undersøgt ved multipel regression. Ved hjælp af denne metode kan flere forklarende variable betragtes samtidigt. Den bedste multiple regression blev opnået ved en lineær model for ulykkesfrekvensen givet ud fra hastighedsspredningen og gennemsnitshastigheden på formen:

$$\text{UHF} = a \cdot \sigma + b \cdot v_{\text{gnst.}} + c \quad [17]$$

Hvor a og b er enhedsløse regressionsparametre, og c en konstant. Som det fremgår af Tabel 10 er de kvadrede korrelationskoefficienter højest fra data udtrukket fra iMastra, og herunder særligt for lavbelastningsperioden. Herfor forklarer gennemsnitshastigheden og hastighedsspredningen 73% af variationen i ulykkesfrekvenserne.

Tabel 10: Resultater af multipel lineær regression for ulykkesfrekvensen (UHF) givet ved hastighedsspredningen (σ , [km/t]) og gennemsnitshastigheden ($v_{\text{gnst.}}$, [km/t]). Ingen af konstanterne eller parametrene er signifikant forskellige fra nul ved et signifikansniveau på 5%. De kvadrede korrelationskoefficienter er for de fire regressioner markeret med grøn skriftfarve.				
Datakilde	Tidsrum	UHF = $a \cdot \sigma + b \cdot v_{\text{gnst.}} + c$		p-værdi for t-test
iMastra	Lavbelastning	a	-0,300	0,152
		b	0,002	0,875
		c	0,355	0,720
		R^2	0,725	
	Spidsbelastning	a	-0,023	0,185
		b	0,010	0,894
		c	0,312	0,710
		R^2	0,667	
ITS Platform	Lavbelastning	a	-0,026	0,193
		b	-0,008	0,616
		c	0,966	0,476
		R^2	0,581	
	Spidsbelastning	a	0,100	0,760
		b	-0,100	0,526
		c	0,823	0,482
		R^2	0,150	

Hastighedsdata blev også forsøgt transformeret med henholdsvis eksponentialfunktionen og den naturlige logaritme forud for den multiple regression, ligesom variationskoefficienten også blev forsøgt medtaget som regressionsvariabel. Disse regressioner resulterede alle i meget lave kvadrerede korrelationskoefficienterne omkring 0,2, hvorfor

disse modeller blev afvist som alt for statistisk svage. På trods af, at den multiple regressionsmodel for data fra iMastra giver et acceptabelt samlet resultat (høje R^2 -værdier), er det værd at bemærke, at ingen af regressionsparametrene (a- og b-værdierne) eller regressionskonstanterne (c-værdierne) er statistisk signifikant forskellige fra nul givet ud fra p-værdierne i yderste højre kolonne.

For de to stærkeste modeller (de to baseret på iMastra-data) er regressionsparameteren for hastighedsspredningen negativ og regressionsparameteren for gennemsnitshastigheden positiv. Dette betyder for modellerne, at en højere hastighedsspredning vil betyde en lavere ulykkesfrekvens, mens en højere gennemsnitshastighed vil betyde en højere ulykkesfrekvens. Det sidste er i tråd med potensmodellen, mens det første er i modstrid med den forventede sammenhæng mellem hastighedsvariation og trafiksikkerhed. Det bør dog understreges, at ingen af regressionsparametrene er fundet statistisk signifikant forskellige fra nul.

11. AFRUNDING AF DEL 2

Anden del af projektet rummer et stort antal enkeltresultater, som i det næste vil blive opsummeret og sammenkoblet.

11.1 Motorvejene

På de ti motorvejsstrækninger er gennemsnitshastigheden ikke signifikant forskellig i de to tidsperioder, ej heller hvis de tre trængselsbelastede strækninger frasorteres. De trængselsbelastede projektstrækninger skiller sig ud ved at have en meget (17%) lavere gennemsnitshastighed samt en markant højere spredning (140%) i spidsbelastningsperioden end i lavbelastningsperioden. For de øvrige strækninger er spredningen modsat højere i lavbelastningsperioden, omend forskellen er i en helt anden størrelsesorden, nemlig 7%.

De tre trængselsbelastede strækninger skiller sig også ud, når hastighedsdata opgøres per kørespor. I spidsbelastningsperioden er hastighedsspredningen 25% højere i det venstre spor end i det højre, mens der ikke er signifikant forskel på gennemsnitshastighederne. Dette er modsat for de øvrige strækninger i samme tidsperiode og for alle strækninger i lavbelastningsperioden. Derfor er hastighedsspredningen højest i det højre spor (hhv. 20 og 26 % højere), som endvidere har en signifikant lavere gennemsnitshastighed (hhv. 14 og 16 % lavere).

11.2 Veje i åbent land

Hastighedsspredningen ændrer sig ikke mellem lav- og spidsbelastningsperioden på 80km/t-vejene, viste begge datakilder. Dataene fra ITS Platform angav en lidt højere gennemsnitshastighed (2%) i lavbelastningsperioden end i spidsbelastningsperioden, mens iMastra-data ikke viste nogen forskel på de to tidsperioder. Dette betyder altså, at overordnet set er de to parametre (næsten) konstante de to perioder imellem på 80km/t-vejene.

Sammenligningen af hastighedsdata fra de to datakilder angav, at der ikke var signifikant forskel på deres estimering af middelhastigheden i hverken lav- eller spidsbelastnings-

perioden. En markant forskel var fundet signifikant for dataene af hastighedsspredninger. iMastra giver gennemsnitligt 56% højere hastighedsspredninger i lavbelastningsperioden end ITS Platform og i spidsbelastningsperioden 71% højere.

11.3 Sammenligning af motor- og 80km/t-veje

Sammenligningen af de to vejtyper byggede på to sammenligninger af henholdsvis hastighedsspredninger og variationskoefficienter. Sidstnævnte sammenligningsgrundlag synes at give et mere retvisende billede, da det tager det relative hastighedsniveau i betragtning, hvor eksempelvis en hastighedsspredning på 20 km/t synes at have en større sikkerhedsmæssig betydning, jo lavere gennemsnitshastigheden er.

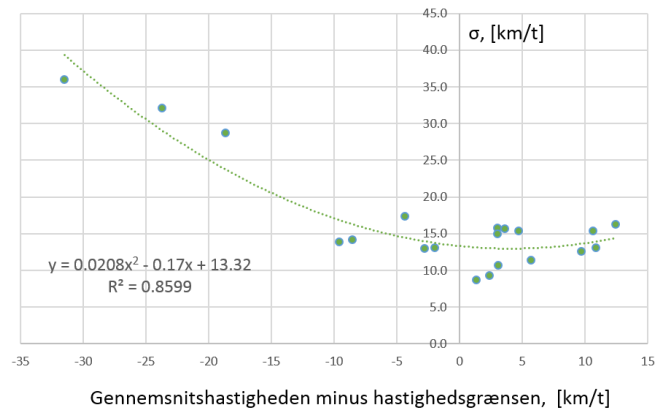
Variationskoefficienterne kunne ikke testes forskellige for hverken lav- eller spidsbelastningsperioden med iMastra-data for 80km/t-vejene. Dette indikerer samme relative niveau af hastighedsvariation. Med ITS Platform-data blev variationskoefficienten for begge tidsperioder fundet lavere på 80km/t-vejene, hvilket harmonerer med resultaterne for det absolutte niveau af hastighedsvariation.

Hastighedsspredningen blev med absolutte værdier fundet 14% lavere på 80km/t-vejene med iMastra-data i lavbelastningsperioden, men dette udlignedes ved at betragte det relative niveau givet ved variationskoefficienterne. Data fra spidsbelastningsperioden viste ingen forskel på hastighedsspredningen, hvor de tre trængselsbelastede motorvejsstrækninger var frasorteret.

11.1 Spredningen som funktion af gennemsnitshastigheden

En matematisk sammenhæng mellem hastighedsspredningen og gennemsnitshastigheden forsøgte skabt ved hjælp af regression. Resultatet heraf var ikke fuldstændigt entydigt. For begge vejtyper synes der dog at være en tilbøjelighed til, at for gennemsnitshastigheder under hastighedsgrænsen er spredningen faldende med en højere gennemsnitshastighed, mens spredningen er stigende for gennemsnitshastigheder over hastighedsgrænsen. Figur 22 viser spredningen plottet som funktion af gennemsnitshastigheden fratrasket hastighedsgrænsen for hastighedsdata stammende fra iMastra for begge vejtyper sammen i spidsbelastningsperioden. Figuren har omtrent toppunkt ved 0km/t, hvilket indikerer den beskrevne tendens.

Regression: Hastighedsspredningen som funktion af gennemsnitshastigheden fratrasket hastighedsgrænsen
Spidsbelastning: 7-8 + 15-17



Figur 22: Hastighedsdata fra spidsbelastningsperioden fra iMasta for begge vejtyper.

11.2 Ulykkesanalyserne

Generelt viste modelleringerne af ulykkesdata ikke den sammenhæng, som var ventet. Både for ulykkesmodelleringen af parametrene enkeltvis og sammen gav hastighedsdataene fra iMastra den bedste tilpasningsgrad. iMastra-dataene angav, at UHF'en er fallende med hastighedsspredningen og det samme med variationskoefficienten. Det sidste indikerer også, at UHF'en falder med en højere spredning, men en stigende variationskoefficient kan også tolkes som en lavere gennemsnitshastighed. Resultatet antyder derfor, at gennemsnitshastigheden også har betydning for UHF'en, selvom en selvstændig sammenhæng var meget svag (R^2 lavere end 0,20).

Det bedste resultat blev for den multiple regression opnået med en lineær model med hastighedsspredningen og gennemsnitshastigheden som forklarende variable. iMastra-dataene gav i lavbelastningsperioden den højeste forklaringsgrad ($R^2=0,73$), men regressionskoefficienter og -konstanter kunne dog ikke testes forskellige fra nul, hvilket indikerer en svag model.

DEL 3: DISKUSSION OG AFRUNDING

Projektets tredje og afsluttende del har først og fremmest til formål at diskutere, hvorvidt den empiriske undersøgelse besvarer de i problemformuleringen opstillede spørgsmål. Projektets resultater vil blive sammenholdt med de svagheder, som datakilder og metodedesign foranlediger, og med de internationale resultater og erfaringer, der er givet af projektets første del.

Afslutningsvis rummer rapporten refleksioner over, hvilke faktorer, der fremadrettet har potentiale til at mindske hastighedsvariationen.

12. DISKUSSION

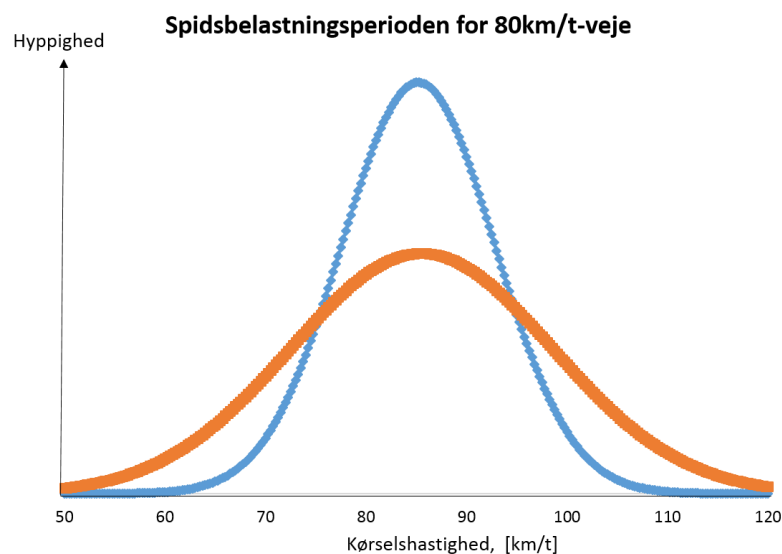
Diskussionen i dette kapitel vil være todelt. Først behandles hastighedsresultaterne for sig selv og efterfølgende koblingen til ulykkesdata.

12.1 Hastighedsdata

Der ligger overordnet to diskussioner i dette afsnit - en diskussion af, hvad de empiriske undersøgelser viser – *besvares problemformuleringens spørgsmål ?*, og en diskussion af hvilke svagheder hastighedsdata rummer, og hvordan de ved videre forskning kan imødekommes.

12.1.1 Sammenlignelighed og datakvalitet

Figur 23 viser to hastighedsfordelinger skabt ud fra de gennemsnitlige parameterverdier for spidsbelastningsperioden for henholdsvis data fra ITS Platform og iMastra. Figuren viser tydeligt de forhold, som også blev testet signifikant – databaserne giver samme gennemsnitshastighed, kurverne topper ved cirka samme værdi på x-aksen, og databaserne giver forskellig spredning. Den blå kurve for ITS Platform-data er langt smallere end den rødlige kurve for iMastra- data.



Figur 23: Den blå kurve viser en gennemsnitlig hastighedsfordeling for ITS Platform-data i spidsbelastningsperioden og den rødlige tilsvarende for iMastra-data.

I lyset af projektets første del fordrer ITS Platform-dataene en mere trafiksikker hastighedsfordeling end iMastra. Der er imidlertid svagheder ved begge kilder, som betvivler særligt ITS Platforms estimering af hastighedsspredningen.

For iMastra-data udgør den væsentligste udfordring, at hastighedsdata ikke var tilgængeligt på enkeltkøretøjsdataniveau for 80km/t-vejene, men alene på et aggregeret niveau og blev derfor udtrukket for et antal tælledag i et årstal mellem 2005-2014 for projekts-trækningerne. Der knytter sig to betragtninger hertil. Den første beror på, at hastigheds-målingerne ikke er opgjort for et udvalg af repræsentative dage, hvor hastighedsfordelingen er mindst mulig påvirket af ferie- eller weekendtrafik og mulige udsving i vejret, som ITS Platform-dataene, samt at antallet af dage til grundlag for parameterestimeringerne svinger fra 7 til 356. Disse influerende faktorer har derfor ikke samme indflydelse lokaliteterne imellem. Den anden betragtning baserer sig på, at data fra iMastra ikke er opgjort i det samme årstal for 80km/t-vejene, hvor samtlige målinger fra ITS Platform stammer fra 2013. Figur 1 på side 13 viser en tendens til, at gennemsnitshastigheden har været faldende igennem de senere år på de danske veje i åbent land. Dette er der ikke taget højde for ved sammenligning med ITS Platform. Hvordan hastighedsspredningen udvikler sig over tid er intet sted i den studerede litteratur beskrevet, men det er væsentligt at notere sig, at hastighedsvariationen ikke kan formodes konstant i tid pga. korrelationen med gennemsnitshastigheden.

For ITS Platform-data eksisterer to væsentlige udfordringer; én relateret til målingernes uafhængighed og én til repræsentativiteten af deltagerne i projektet. Udfordringerne er overlappende, idet repræsentativiteten er faldende i takt med at færre ITS Platform-bilister (repræsenteret ved et boksID) er til grund for hastighedsopgørelserne.

Uafhængigheden af data betragtes ved at anskue antallet af ture pr. boksID. Antallet af ture og antallet af boksID fremgår for hver enkelt opgørelse i Bilag F. Gennemsnitligt baserer hvert boksID sig på 3,9 ture pr. kørselsretning. Umiddelbart kan det synes acceptabelt, men da strækningerne er valgt ud fra at være vigtige vejårer for bolig-arbejde-trafik, står nogle få boksID gennemgående for en høj andel af alle ture. Eksempelvis foranlediger blot to forskellige boksID 84% af hastighedsmålingerne på lokalitet 5 i spidsbelastningsperioden mod vest. Dette fordrer selvsagt ikke en høj uafhængighed af hastighedsmålingerne. Dette forhold var ventet til at have mindst betydning i spidsbelastningsperioden, da højere trafikmængder vil betyde, at et køretøjs hastighed i højere grad begrænses af forankørendes hastighed, men samlet set er der faktisk størst forskel på estimerterne fra iMastra og ITS Platform for hastighedsvariationen i spidsbelastningsperioden.

Repræsentativiteten af ITS Platform-data er tidligere behandlet i projektets metodeafsnit og beror som sagt på to forhold, køretøjssammensætningen og kørselsadfærden. OBU-enheder i ITS Platform er alene installeret i personbiler, hvorfor de selvsagt ikke er repræsentative for den samlede køretøjssammensætning. Langsomme køretøjer såsom landbrugsmaskiner og lastbiler er således ikke medtaget som i spoledataet fra iMastra og hurtige motorcykler ej heller. ITS Platform kan derfor siges at udgøre en *dårligt fungerende spole*, der kun monitorerer en vis andel af personbilerne, og dette ikke engang tilfældigt.

Hvorvidt kørselsadfærden hos projektdeltagerne i ITS Platform er repræsentativ for den samlede køretøjsflåde er belyst tidligere i projektet. To adfærdsundersøgelser fra projekter udført på Aalborg Universitet viste samme tendens, mens blot det ene kunne teste signifikant forskel på kørselsadfærden hos frivillige deltagere og henholdsvis ufrivillige deltagere og ikke-deltagere. Tendensen var for begge, at frivillige i ISA-projekter har en lavere risikovillighed end øvrige. ISA-udstyret i de beskrevne projekter fungerede ved at påvirke chaufførerne visuelt og med talemæddelelser om hastighedsoverskridelser - udstyret virker altså indgribende. I projekt ITS Platform fungerer OBU'en automatisk og lyd-løst (den skal end ikke aktiveres), hvorfor det synes forventeligt, at denne tendens vil være mindre for dette projekt, omend det dog heller ikke er plausibelt, at projektdeltagelse appellerer til de mest ekstreme trafikantgrupper, hvilket nok primært eliminerer de mest risikovillige hurtigt kørende bilister.

Som vist i Figur 23 og undersøgt med statistik giver ITS Platform tilfredsstillende estimater for gennemsnitshastigheden i sammenligning med iMastra, som grundet ovenstående forbehold dog ikke skal ses som den endegyldige sandhed, men som den mest repræsentative datamængde. ITS Platform-data viser sig ikke anvendelige til at estimere hastighedsspredningen, hvorfor iMastra-dataene vil udgøre fundamentet for sammenligningen af spredningen på motor- og 80km/t-veje.

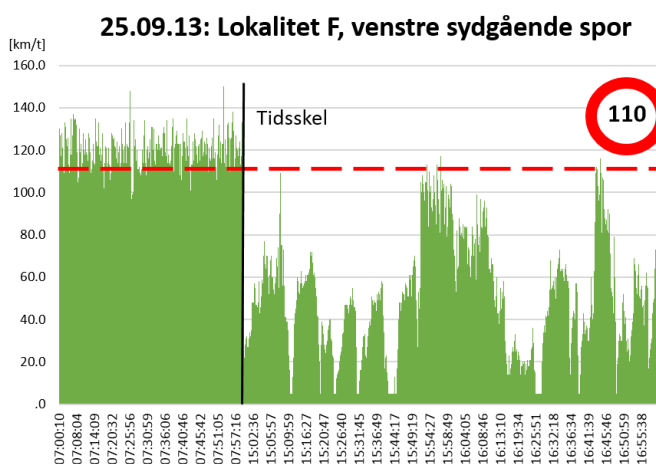
En optimering af sammenligneligheden af hastighedsdataene synes derfor at bero på, at tælleplader eller gummislanges tages i brug for vejene i åbent land (begge beskrevet i metodeafsnittet). Herved opnås enkeltkøretøjsdata fra samtlige køretøjstyper, og samtidigt er det muligt at indsamle data i et repræsentativt og direkte sammenligneligt tidsrum. En yderligere fordel herved er, at det bliver muligt at fastsætte en lokal spidsbelastningsperiode, da den ikke nødvendigvis er sammenfaldende, som antaget i dette projekt.

12.1.2 Betydning af hastighedsanalyser og regressioner

I dette afsnit vil resultaterne tilknyttet problemformuleringens tre hastighedsrelaterede spørgsmål blive diskuteret.

Projektet søgte at analysere, hvordan hastighedsvariationen og gennemsnitshastigheden varierede mellem lav- og spidsbelastningsperioden på motorvejene generelt og specielt for køresporerne imellem. I lavbelastningsperioden og i spidsperioden for de syv normalfordelte strækninger var hastighedsspredningen højest i det højre spor. Igen må det pointeres, at de syv motorvejslokaliteter alle er nær trafikale knudepunkter, hvorfor det er højest sandsynligt, at overhaling ikke er tilladt for tunge køretøjer i specielt spidsbelastningsperioden. Dette betyder, at næsten alle tunge køretøjer med en hastighedsgrænse 30km/t under personbilernes må formodes samlet i højre spor. Køretøjssammensætningen i højre spor foranlediger derfor en højere hastighedsspredning, da også mange personbiler vil flette ind og ud af de to spor.

For de tre trængselsbelastede strækninger er billedet et andet. Herfor er spredningen højest i det venstre spor i spidsbelastningsperioden. Strækningerne skiller sig ud ved at have en markant højere hastighedsspredning henover hele spidsbelastningsperioden. Figur 24 viser en tidsserie af bølgende hastigheder i det venstre spor på en af de tre trængselsbelastede strækninger. Et sådant hastighedsbillede kan tyde på, at der er potentiale for at harmonisere hastighederne med eksempelvis variable hastighedstavler. Dette vil ifølge projektets litteraturstudie give en bedre trafiksikkerhed på vejene og formentligt også en mindre frustrerende kørselsoplevelse.



Figur 24: Hastighedsmålinger indikerende en dårlig trafikafvikling om eftermiddagen.

En høj andel af samtlige dødsulykker på de danske veje finder sted i åbent land kontra på motorvejene. Gennemsnitshastigheder kan ikke alene forklare dette - trafikkomposition og vejgeometri spiller ind. Hastighedsspredningen (absolut og i forhold til gennemsnitshastigheden) blev for de to vejtyper sammenlignet som mulig supplerende forklaring herpå. Jævnfør ovenstående diskussion af repræsentativiteten og uafhængigheden af dataene anses iMastra-dataene for mere valide og vil derfor danne grundlag for konklusionerne for sammenligningen af hastighedsspredninger og af variationskoefficienter. Sidstnævnte anses for at fordre et bedre sammenligningsgrundlag, da variationskoefficienter tager hastighedernes relative niveauer i betragtning, hvilket synes rimeligt grundet markant forskellige hastighedsgrænser og deraf meget forskellige gennemsnitshastigheder. I hverken lav- eller spidsbelastningsperioden fandtes en signifikant forskel på variationskoefficienten for de to vejtyper, hvilket altså ikke lægger op til en supplerende forklaring på dødsulykkernes fordeling.

Betragtedes de absolutte værdier for hastighedsspredningen blev der i lavbelastningsperioden fundet en lavere hastighedsspredning på vejene i åbent land. En stor andel tung trafik kunne foranledige en mere uensartet køretøjssammensætning på motorvejene end på 80km/t-vejene. Tunge køretøjer over 3,5 ton har en hastighedsgrænse 10km/t under den skilte hastighedsgrænse på vejene i åbent land, mens den er hele 30km/t under på motorvejene undersøgt i dette projekt, hvilket medvirker til lavere hastighedsvariation på veje i åbent land. I spidsbelastningsperioden fandtes ingen signifikant forskel på den absolutte hastighedsspredning på de to vejtyper, når de tre trængselsbelastede strækninger frasorteres. Dette skyldes, at hastighedsspredningen falder 7% fra lavbelastningsperioden til spidsbelastningsperioden på motorvejene, hvilket kan forklares med, at større trafikale belastning på motorvejene i morgen- og eftermiddagsmyldretiden virker harmoniserende, da køretøjerne i højere grad begrænses af hinanden.

Problemformuleringens sidste spørgsmål, som alene knytter sig til hastighedsdata, drejer sig om at skabe sammenhæng mellem gennemsnitshastigheden og hastighedsspredningen. Resultaterne føjer sig til en række af foreliggende undersøgelser, som primært er enige om, at de to parametre er korellerede, hvilket vil sige, at den ene variabel kan forudsiges ud fra størrelsen af den anden, uden der dog nødvendigvis er kausalitet mellem de to variable.

Samledes resultaterne fra iMastra for motor- og 80km/t-veje i spidsbelastningsperioden, blev der opnået en stærk korrelation for hastighedsspredningen givet ved forskellen mel-

lem gennemsnitshastigheden og hastighedsgrænsen, se Figur 22 side 79 ($R^2 = 0,86$). Kurven er et andengradspolynomium, der minimerer hastighedsspredning ved en gennemsnitshastighed, der er 4 km/t højere end hastighedsgrænsen. Figuren viser, at hvor gennemsnitshastigheden er lavere end hastighedsgrænsen, (herunder de tre trængselsbelastede motorvejsstrækninger) er hastighedsspredningen stigende med en større negativ forskel mellem hastighedsgrænse og gennemsnitshastighed. Dette indikerer, at en dårlig trafikafvikling medfører en høj hastighedsvariation. For forskelle højere end 4km/t er hastighedsspredningen svagt stigende. Dette kunne indikere, at hvis vejgeometrien indbyder til en højere gennemsnitshastighed end skiltet, stiger hastighedsspredningen. Dette hænger sandsynligvis sammen med, at tunge køretøjer på motorvejene grundet hastighedsdæmpere ikke kan overskride deres specifikke hastighedsgrænse væsentligt. En forklaring som harmonerer med Garber & Gadirau (1988), der angiver, at hastighedsvariansen kan minimeres, hvis hastighedsgrænsen tilpasses vejgeometrien, se Figur 8 side 33.

12.2 Ulykkesdata

Første del af projektet skildrede, hvordan hastighedsvariation i tidligere studier er bestemt til at have en negativ indflydelse på trafiksikkerheden, omend denne sammenhæng i langt de færreste tilfælde ikke er kvantificeret på matematisk vis. Problemformulerings sidste spørgsmål kan i lyset heraf anses for at være en smule optimistisk. En sammenhæng søgtes dog skabt mellem hastighedskarakteristikaene på vejene i åbent land og sammenhørende ulykkesdata. Overordnet set gav den matematiske regression ikke resultater, der harmonerer med projektets første del. Både med simpel lineær regression og med multiple regression viste data en tendens til, at hastighedsvariationen har en positiv trafiksikkerhedsmæssig indflydelse på ulykkesraten, mens en højere gennemsnitshastighed dog viste tilbøjelighed til at øge ulykkesfrekvensen som ventet. iMastra-dataene gav generelt en bedre modellering end ITS Platform-data, hvilket indikerer, at det er vigtigt at have samtlige køretøjstyper repræsenteret i en sådan undersøgelse. Det skal dog understreges, at dataene blot viser tendenser, da ingen af modellerne har en fuldt ud acceptabel tilpasningsgrad til data.

Overordnet kan to grunde forklare, at data viser en modsat sikkerhedsmæssig effekt af hastighedsvariationen end beskrevet i første del af projektet. Den første og mindst plau-

sible grund drager tvivl om, hvorvidt de internationale resultater kan konverteres til danske forhold, mens den anden betvivler styrken af metodedesign og kvaliteten af de to sammenkoblede datamængder (hastighedsdata og ulykkesdata).

12.2.1 Kan de internationale resultater konverteres til danske forhold?

Undersøgelserne behandlet i projektets første del er ligesom øvrig forskning i åbne systemer ikke fejlfrie, en række kritikpunkter blev fremført, men undersøgelserne synes dog at indikere en samstemmende negativ trafiksikkerhedsmæssig effekt af hastighedsvariationen, omend denne enighed ophører ved, hvordan effekten kvantificeres. Tendensen i dette projekt peger modsat på, at en højere hastighedsvariation har en positiv indvirkning på trafiksikkerheden. Det er derfor nærliggende at betvivle om, de internationale resultater kan konverteres til danske forhold. En sådan manglende konvertibilitet vil kunne bero på enten en meget anderledes dansk kørselsadfærd eller en markant anderledes vejgeometri. Begge forhold synes urealistiske. Det er svært at redegøre for, hvorfor den danske bilist skulle agere anderledes end en tilsvarende amerikansk eller finsk bilist, når denne eksempelvis kører bag et langsomt køretøj, hvor det er muligt at overhale. Skulle den danske kørselsadfærd være mere eftergivende og indpassende og dermed ikke fordre en U-formet sammenhæng mellem individuel kørselshastighed og antallet af passive og aktive overhalinger med et minimum ved medianhastigheden som fremført i Hauer (1971). Dette synes lidet sandsynligt.

Vejgeometrien er givetvis ikke fuldt overensstemmende imellem nationerne for undersøgelserne, men mange af resultaterne stammer fra højhastighedsveje som projektstrækningerne, hvilket kræver en vis vejgeometrisk standard. I hvilket omfang de danske veje er mere tilgivende for bilisternes fejl, kunne udgøre en sådan forskel. Men det synes ikke, at kunne forklare en direkte modsat tendens for det danske vejnet.

12.2.2 Svagheder ved projektets ulykkesmodelleringer

En trafikulykke er en stokastisk begivenhed, hvilket umuliggør en fuldstændig forudsigelse af hvor, hvornår og ved hvilken alvorlighedsgrad, den vil indtræffe. En del af den tilfældige variation kan dog forklares, hvilket dette projekt netop har forsøgt med hastighedsvariation og gennemsnitshastighed som forklarende variable for veje i åbent land. Med ulykkernes tilfældige natur in mente synes det dog plausibelt, at de 5-6 forsøgsstrækninger til ulykkesmodelleringen ganske enkelt udgjorde et for spinkelt data-

grundlag til en succesfuld regression. Kombineret med en række ufuldstændigheder diskuteret i det nedenstående, synes det sandsynligt, at den udeblevne negative trafikssikkerhedsmæssige betydning af en højere hastighedsvariation hovedsageligt skal tilskrives disse forhold og ikke så meget mangler ved og dårlig kompatibilitet af internationale resultater. Betragtes alene de fire punkter længst til venstre på Figur 7 på side 32, indikerer disse også, at ulykkesraten er faldende med en højere hastighedsvarians, mens den samlede figur giver det modsatte indtryk. Tendensen opnået i anden del af projektet kan derfor måske ligeså vel udlignes ved at betragte et højere antal strækninger. Det kan altså tyde på, at antallet af modelleringspunkter er for få, omend en større datamængde altid er ønskelig.

Validiteten af de få datapunkter, der er brugt til ulykkesmodelleringen er også diskutabel. Hastighedsdataenes validitet er diskuteret i det foregående, som betyder en større tiltro til data fra iMastra. Ulykkesdataene er efter gældende danske normer forsøgt gjort sammenlignelige ved at betænke det årlige trafikarbejde og dermed anvende ulykkesfrekvensen, men ulykkesdataene er ikke korrigeret for øvrige faktorer, som kan have indflydelse, eksempelvis antallet af tilstødende sideveje på vejsegmentet. Til at bestemme ulykkesfrekvenserne benyttedes for hastighedsdataene fra ITS Platform fremskrevne ÅDT-værdier for at bringe dem på årsniveau med hastighedsmålingerne. Selve denne fremskrivning i sig selv introducerer en vis usikkerhed, da fremskrivningsfaktoren er estimeret på baggrund af en enkelt strækning (1,5% p. a.).

Antallet af ulykker til modelleringerne er selv på femårsbasis ikke ret høje, hvorfor ulykkesfrekvenserne er meget sensitive for utilstrækkeligt ulykkesdata. Politiets registrerer reelt kun en brøkdel af de indtrufne ulykker. Dette skyldes, at politiet ikke får kendskab til dem, nok bl.a. fordi implicerede vurderer, at ulykken ikke har juridiske aspekter. Et sådant tilfælde kunne være en eneulykke for en cyklist, men selv for ulykker med implicerede personbiler er mørketallet stort, alene 14,0% blev politiregistreret i 2011 (Danmarks Statistik, 2014). Politiets registreringsgrad har igennem de senere år været faldende fra 18,5% i 2001 til 10,1% i 2011, hvorfor mørketallet altså er stigende (Danmarks Statistik, 2014). Var dækningsgraden en konstant størrelse (og kun varierende i tid), kunne der argumenteres for, at projektstrækningerne til sammenligning er underlagt samme grundvilkår, men dette er i midlertidigt ikke tilfældet. Registreringsgraden er nemlig stigende med alvorlighedsgraden af ulykkerne og afhængig af, hvilke køretøjstyper, der er impliceret (Ulykkes Analyse Gruppen, 2002). Dækningsgraden kunne måske også forventes højere nær større byer med egen politistation. Disse forhold gør, at det

ikke er muligt at korrigere de udtrukne ulykkesdata for dækningsgraden uden at opnå et tilsvarende usikkert resultat. Ulykkes Analyse Gruppen på Odense Universitetshospital registrerer samtlige trafikulykker, som Odense Skadestue kommer i kontakt med, på et efter danske forhold enestående højt detaljeniveau, hvor ulykkestype og stedfæstelse eksempelvis indgår. Disse giver et værdifuldt supplement til den officielle færdselsulykkesstatistik ved næsten at udrydde mørketallet. Et videre arbejde med hastighedsvariationens betydning kunne derfor tage sit udgangspunkt i det fynske vejnet i åbent land, her ved kunne et mindre usikkert fundament blive brugt til ulykkesmodelleringerne ved at benytte data fra Ulykkes Analyse Gruppen i kombination med den officielle ulykkesstatistik.

Trafiksikkerhedsarbejdet i Danmark har i de senere år ifølge de officielle færdselsulykkesstatistikker haft succes med blandt andet at reducere antallet af personskader med 61% fra 2000-2012 (Færdselssikkerhedskommissionen, 2013). Dette udlignes dog næsten ved at sammenholde med den faldende registreringsgrad (Danmarks Statistik, 2014). Dette betyder konkret, at ulykkesgrundlaget samlet er blevet meget spinkelt, hvilket understreger, at en tilgang som i dette projekt kræver et stort antal strækninger.

Et par yderligere betragtninger knytter sig til ulykkesdata og den matematiske sammenknytning med hastighedsdata. For det første kunne det være interessant alene at betragte de ulykker, der foranlediges af hastighedsforskelle mellem køretøjer. Her tænkes specielt på mødeulykker ved overhalinger, bagendekollisioner, men også registrerede eneulykker, der reelt kan tilskrives en bilists forsøg på at undgå en mulig kollision ved eksempelvis en overhaling. Dybest set er det jo disse ulykker, hastighedsvariationen søger at forklare alene. Hvor stor en andel sådanne ulykker udgør af det samlede ulykkesbillede i Danmark, kunne være interessant at afdække. Det vil kunne give et indtryk af, i hvilket omfang hastighedsvariationen er en ulykkesskabende faktor.

En anden betragtning baserer sig på tidsrummene til grundlag for ulykkesmodelleringen. I første del af projektet fremførtes det, at hastighedsvariationen på døgnbasis synes svær at forsvare som grundlag for hastighedsopgørelserne. Hastighedsfordelingen kan i løbet af døgnet ændre sig markant alt efter den aktuelle trafikale situation. En døgnbetragtning kan derfor demonstrere en høj hastighedsvariation, selvom en hastighedsfordeling med lav spredning blot har skiftet middelniveau flere gange i løbet af dagen. Dette forklarer selv sagt ikke det forhold mellem hastighedsvariation og trafiksikkerhed, der søgtes kvantificeret. Hastighedsdata er til ulykkesmodelleringerne anvendt på strækningsbasis og ikke på baggrund af den enkelte kørselsretning for at undgå en gråzone af ulykker, der

kan være uklare at inddele. Men denne strækingsbaserede tilgang synes at have nogle af de samme forklaringsmæssige vanskeligheder, som hastighedsudtræk på døgnbasis. Det er jo muligt, at hastighedsfordelingen langt fra er overensstemmende for de to kørselsretninger, selvom spidsbelastningsperioden er valgt til at dække over både morgen- og eftermiddagsmyldretid, og dermed søger at indkapsle bolig-arbejde-trafik i begge retninger. Det er dog ikke selvfølgelig, at disse har samme omfang og berettiger en betragtning under ét.

Ulykkesdataene er udtrukket på døgnbasis, hvilket igen kan forekomme i uoverensstemmelse med den forventede risikoforøgende effekt af hastighedsvariationen, for hvilken betydning har hastighedsvariationen (og for hvilket tidsrum er det rimeligt at opgøre denne), når en solobilist en mørk nat kører af vejen? I dette projekt er ulykkerne på døgnbasis modelleret med hastighedsdata fra de to udvalgte tidsperioder i løbet af dagen. Det er altså ikke fuldstændig klart, hvorfor der skulle være en kvantificerbar sammenhæng herimellem. Flere undersøgelser undgår at kvantificere sammenhængen og konstaterer blot, at ulykkesbelastede strækninger har en tendens til at have en højere hastighedsvariation. En grund hertil kunne også være den ikke helt intuitive sammenhæng, der i dette og mange andre projekter søges skabt.

Et meget bekostelig alternativ til at betragte ulykkesdata er at opsætte videokameraer ved en række strækninger og analysere disse ud fra konflikttekniske metoder. Metoden kræver efterfølgende meget manuelt analysearbejde, hvor konflikter identificeres. Teknikken er brugt i Lu og Chen (2009), som betragter to strækninger i to vidt forskellige lande (Kina og Holland) og konstaterer et meget højere antal konflikter i kombination med en meget højere hastighedsvariation på strækningen i Kina. Det må formodes, at mange timers videooptagelser skal gennemses og helst af samme observatør (for at mindske risikoen for variationen i udpegningen af konflikter) for at konfliktstudieteknikken kan give et kvantificerbart resultat. Observeres et fåtal af strækninger, synes det igen svært at opnå resultater, der kan bære en generalisering.

13. KONKLUSION

Hastighed er i dette projekt skildret i et trafiksikkerhedsmæssigt perspektiv. Hastighed har dog også andre negative aspekter, eksempelvis knyttet til støj og forurening. Hastigheden for et køretøj er dog også bestemmende for den samlede rejsetid, som er tæt koblet til en høj mobilitet, der kan sikre en høj produktivitet i et samfund samt efterlade tid til familie og fritidsaktiviteter. En fornuftig afvejning mellem disse faktorer er derfor en nødvendighed.

Til en sådan afvejning er viden essentiel. Dette projekt har gennem et litteraturstudie søgt at samle og sammenholde tidligere forskning med fokus på hastighedsvariation og trafiksikkerhed – både på et individuelt og et aggregeret niveau. For de tilgængelige litteraturstudier blev det konstateret, at gennemsnitshastigheden i relation til trafiksikkerhed på en vejstrækning gennemgående spiller en hovedrolle, mens hastighedsvariationen spiller en langt mere sekundær rolle, hvorfor det har været formålstjeneligt i sig selv at sammenfatte forskningsresultater for feltet af trafiksikkerhed og hastighedsvariation. Litteraturstudiet viste samstemmende, at hastighedsvariation på et aggregeret niveau har en negativ indflydelse på trafiksikkerheden. En mere optimal beskrivelse kan dog opnås ved at inddrage gennemsnitshastigheden på strækningerne til grundlag for modelleringerne grundet korrelation parametrene imellem.

På det individuelle niveau viste nyeste og mest troværdige case-kontrol-studier, at hastighedsrisikoen forøges eksponentielt, hvis den enkelte vælger en kørselshastighed højere end gennemsnitshastigheden, mens det ikke viste sig at være risikoforøgende at færdes under gennemsnitshastigheden, som tidligere undersøgelser har vist. Litteraturstudiet angav, at forholdet mellem vejgeometri og hastighedsgrænse samt køretøjssammensætningen har stor indflydelse på størrelsen af hastighedsvariationen.

Hovedparten af de danske trafikdrab finder sted på veje i åbent land (over 60%), mens blot 6% finder sted på motorveje. Med afsæt i litteraturstudiet blev det undersøgt, om denne ulykkesfordeling⁷ kan forklares med en lavere hastighedsvariation på motorvejene. Variationskoefficienten angiver hastighedsspredningen i procenter af gennemsnitshastigheden. Grundet markant forskellige hastighedsgrænser på de to vejtyper, er forskellen på sidstnævnte også stor. Da en given hastighedsspredning synes at have størst

⁷ Bemærk, procentsatserne er ikke korrigeret for trafikarbejdet på de to typer.

sikkerhedsmæssig betydning jo lavere gennemsnitshastigheden er, baserer konklusionerne sig på resultaterne af sammenligningen af variationskoefficienterne for de to typer, omend hastighedsspredningens absolutte niveau også er sammenlignet i rapporten.

I hverken lav- eller spidsbelastningsperioden blev der fundet en statistisk signifikant forskel på hastighedsspredningens relative niveau. Dette betyder, at dette projekt ikke finder en supplerende forklaring på den høje andel af ulykker på vejene i åbent land i relationen mellem hastighedsvariation og trafiksikkerhed. Den trafiksikkerhedsmæssige forskel på de to vejtyper synes derfor at bero på særligt vejgeometri og kompleksitet af den trafikale situation.

Det venstre spor på motorvejene i Danmark er overhalingsspor – *det hurtige spor*. Jævnfør potensmodellen er det forventeligt, at de fleste trafikulykker på motorvejene vil opstå i dette spor, omend dette ikke er endeligt dokumenteret. Ud fra denne hypotese og litteraturstudiets resultater blev det derfor undersøgt om, hastighedsvariationen ligesom gennemsnitshastigheden er højere i det venstre spor. For de udvalgte projektstrækninger viste det sig kun at være gældende i spidsbelastningsperioden for tre strækninger, hvor hastighederne i tidsintervaller faldt kraftigt og indikerede en trafikal flaskehals. For de øvrige projektstrækninger og for samtlige projektstrækninger i lavbelastningsperioden var hastighedsvariationen højest i det højre spor, hvilket nok primært skal finde sin forklaring i køretøjssammensætningen grundet differentierede hastighedsgrænser og muligt overhalingsforbud. Der synes således at ligge et stort potentiale i at harmonisere hastighederne på trafikalt belastede strækninger. Herved er det, qua første del af projektet, muligt at reducere risikoen for ulykker, som igen også er årsag til megen trængsel.

Tidligere forskning har ikke fundet en entydig sammenhæng mellem hastighedsvariation og gennemsnitshastighed. Faktisk er resultaterne i flere tilfælde modstridende. Korrelationen blev også i dette projekt undersøgt. Samles resultaterne fra motorvejene og vejene i åbent land (iMastra-data) fås en pålidelig sammenhæng i spidsbelastningsperioden. Resultatet viser, at forskellen mellem gennemsnitshastigheden og hastighedsgrænsen er afgørende for denne relation. For gennemsnitshastigheder over hastighedsgrænsen stiger spredningen med gennemsnitshastigheden, mens det modsatte er gældende for gennemsnitshastigheder under hastighedsgrænsen, se Figur 22 side 79. Dette betyder generelt, at overbelastede strækninger har en høj hastighedsvariation, og at veje, der indbyder til en højere gennemsnitshastighed end skiltet, også har en forhøjet hastighedsvariation. Undersøgelsen viser, at hastighedsvariationen minimeres, hvis gennemsnitshastigheden er 4km/t over hastighedsgrænsen.

Hastighedsdataene blev for vejene i åbent land søgt koblet til ulykkesdata fra den officielle ulykkesstatistik. Den bedste modellering blev opnået med multipel regression med hastighedsspredning og gennemsnitshastighed som forklarende variable for ulykkesfrekvensen. Regressionskoefficienter og -konstanter kunne dog ikke testes signifikant forskellige fra nul, hvorfor den multiple lineære model primært tolkes til at vise en afhængighed af de tre parametre. Overordnet viser data en tendens til, at ulykkesrisikoen er faldende for en højere hastighedsspredning. Flere forhold, særligt politiets registreringsgrad og ikke samtidige hastighedsmålinger (for iMastra-data), betvivler dog denne tendens. Fremtidige undersøgelser af forholdet mellem hastighedsvariation og trafiksikkerhed på veje i åbent land anbefales at tage udgangspunkt i det fynske vejnet, da det gennem Odense Universitetshospital er muligt at få adgang til fyldestgørende ulykkesdata, ligesom det anbefales at indsamle hastighedsdata ved hjælp af enten tælleplader eller gumislanger for at sikre høj sammenlignelighed af data fra veje i åbent land.

Slutteligt viser statistiske analyser, at hastighedsdata fra ITS Platform giver gennemsnitshastigheder svarende til iMastra, mens hastighedsspredningen er langt lavere for førstnævnte. Det sidste beror på køretøjssammensætning og repræsentativitet af projektdeltagerne i ITS Platform. Det anbefales derfor ikke at benytte FCD-data til undersøgelser af hastighedsvariation fremadrettet, med mindre en GPS-baseret kørselsafgift indføres nationalt - dette vil give en helt unik datamængde.

13.1 Perspektivering

Dette projekt skulle gerne efterlade indtryk af, at sammenhængen mellem hastighed og trafiksikkerhed er mere kompleks end, hvad standselængdeteorien alene foreskriver. Området har bevågenhed fra mange sider, ikke mindst de politiske. Kan der skaffes omfattende belæg for, at en højere hastighedsgrænse og følgelig en højere gennemsnitshastighed ikke nødvendigvis resulterer i dårligere trafiksikkerhed, hvis hastighedsvariationen samtidig mindskes, vil der kunne skabes mulighed for bedre mobilitet på udvalgte lige vejstrækninger.

En række faktorer påvirker størrelsen af hastighedsvariationen på en vej. Særligt to parametre er behandlet i projektet - køretøjssammensætningen og hastighedsgrænsens relation til vejgeometrien. Moderne ITS-baserede løsninger kan også influere herpå. Eksempelvis viser studier, at hastighedsspredningen falder på strækninger med automatisk trafikkontrol (ATK) (DTU, 2010), og at ISA-systemer har samme effekt på den enkeltes hastighedsvariation og på hele testgruppen (Harms et al., 2008). Fartpiloter i køretøjer

har også til formål at sænke den enkeltes hastighedsvariation. Der ligger derfor perspektiver i at udbrede ISA-udstyr så vidt muligt for at harmonisere hastigheder. Ved en indførelse af GPS-baserede kørselsafgifter i Danmark ligger der muligheder i at sammenknytte hastighedsgrænser på den enkelte lokalitet (givet ud fra GPS-position) med en hastighedsdæmper i hver enkelt køretøj, som er indstillet x-antal km/t højere end gældende hastighedsgrænse, eksempelvis ved dimensioneringshastigheden, såkaldt indgribende ISA-udstyr. Dette ville formentligt betyde lavere hastighedsvariation og færre overhalinger, da de højeste hastigheder vil blive skubbet ned i midtergruppen. Faren er dog, at overhalinger vil ske meget langsomt, svarende til de såkaldte *"elefantvæddeløb"* på motorvejene, og derved forøge risikoen for mødeulykker. Et værktøj til at imødekomme dette, er de såkaldte 2+1-veje, hvor der skiftevis er en eller to kørespor i hver retning, hvilket giver mulighed for sikre overhalinger.

De beskrevne systemer griber ind i den personlige frihed og råderum, hvorfor en implementering kan have svære betingelser for at vinde politisk og befolkningsmæssig støtte, omend lastbiler eksempelvis allerede skal være forsynet med hastighedsbegrænser, der indskrænker deres hastighedsvalg. Heri ligger der nok en holdningsmæssig sontring mellem, hvorledes privat- og erhvervskørsel kan reguleres og kontrolleres. ITS-systemerne giver muligheder for at kontrollere hastighederne som aldrig før. ISA-løsninger, herunder hastighedsbegrænsere, griber ind i, hvad der nok generelt opfattes som den personlige frihed, men hvordan vægtes denne indskrænkning i forhold til at højne trafik-sikkerheden generelt?

LITTERATUR

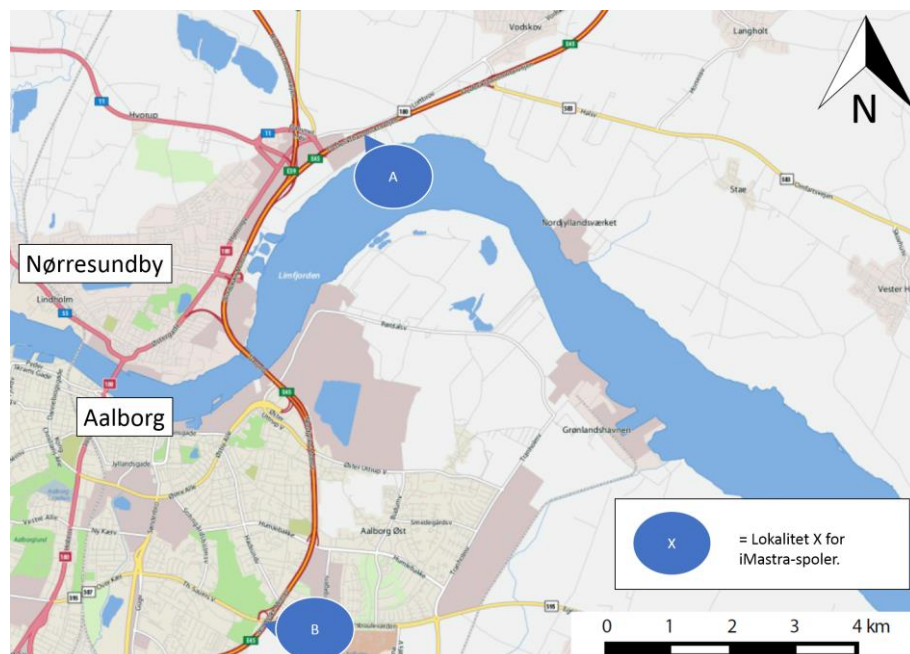
- Aarts, L. & Schagen, I. van (2005) Driving speed and the risk of road crashes; A review. I: *Accident Analysis and Prevention*, vol. 38, nr. 2, s. 215-224.
- Agerholm, N., Tradisauskas, N., Juhl, J., Berthelsen, K. & Lahrmann, H. (2012): *Intelligent Speed Adaptation for involuntary drivers – Final results*. 19th ITS Congress 2012, Wien, Østrig.
- Bolet, L. (2011): *Introduktion til vejgeometri*. Aalborg Universitet, Institut for Planlægning, Trafikforskningsgruppen.
- Bolet, L. (2012): *Kørselsdynamik*. Notat til kurset Vej- og Trafikteknik 2012. Aalborg Universitet, Institut for Planlægning, Trafikforskningsgruppen.
- Danmarks Statistik 2014, Daily updates-last update, *StatBank Denmark* [Homepage of Statistics Denmark], Tabellen MOERKE [Online]. Tilgængelig: <http://www.statbank.dk/statbank5a/default.asp?w=1280> [2014, 19/5]. Findes på vedlagte CD-bilag som Excel-filen: 'Danmarks Statistik – mørketal'.
- Dirección General de Tráfico (DGT) (2011): Current state of knowledge on the relationship between speed and road safety. Evolution of traffic speeds in Spain. I: *In depth*, 26.
- Dixit, V. V., Pande, A., Abdel-Aty, M., Das, A., and Radwan, E. (2011): *Quality of traffic flow on urban arterial streets and its relationship with safety*. Accident Analysis and Prevention. 2011, 43, (5), s. 1610-1616
- DTU Transport (2010): *Automatisk hastighedskontrol – vurdering af trafiksikkerhed og samfundsøkonomi*.
- Eksler, V., Popolizio, M. & Allsop (2009): *How far from zero? Benchmarking of safety performance in the Nordic countries*. European Transport Safety Council.
- Elvik, R.; Christensen, P.; Amundsen, A. (2004): Speed and road accidents – An evaluation of the Power Model. TØI Rapport 740. Institute of Transport Economics, Oslo.
- Elvik, R. (2009): The Power Model of the relationship between speed and road safety. Update and new analyses. TØI Rapport 1034. Institute of Transport Economics, Oslo.
- European Road Safety Observatory (ERSO) (2006): *Speeding*. På: http://erso.swov.nl/knowledge/Fixed/20_speed/Speeding.pdf (downloadet: 10. februar 2014)
- Finch, D., Kompfner, P., Lockwood, C. & Maycock G. (1994): *Speed, Speed limits and accidents*. Rapport 58. Transport Research Laboratory
- Færdselssikkerhedskommissionen (2013): *Hver ulykke er én for meget - et fælles ansvar. Færdselssikkerhedskommissionens nationale handlingsplan 2013-2020*.
- Garber, N.J. & Gadirau, R. (1988): *Speed variance and its influence on accidents*. School of Engineering and Applied Science, Department of Civil Engineering, University of Virginia, Charlottesville, VA.
- Greibe, P. (Trafitec) (2005): Hastighedens betydning for trafiksikkerheden – danske og udenlandske studier. I: *Dansk Vejtidskrift*, september 2005, s. 46-49.

- Harms, L., Klarborg, B., Lahrmann, H., Agerholm, N., Jensen, E. & Tradisaukas, N. (2008): Controlled study of ISA effects: comparing speed attitudes between young volunteers and external controls, and the effect of different ISA treatments on the speeding of volunteers. I: *IET Intelligent Transport System*, 2008, vol. 8 s. 154-160
- Hauer, E. (1971): Accidents, overtaking and speed control. I: *Accident Analysis and Prevention*, vol. 3, s. 1-11.
- Hauer, E. (2004): *Speed and Crash Risk: An opinion*. Report 04/02. Public Policy Department, Royale Automobile Club of Victoria.
- Hauer, E. (2008): *Galton's quincunx and road safety*.
- Hauer, E. (2009): Speed and Safety. I: *Transportation Research Record*, 2103, s. 10-17.
- Herrstedt, L. (2007): *Dimensionsgivende Trafikant, Reaktionsid, Bremsereaktionsid og beslutningsreaktionsid, Litteraturstudium – sammenfatning*. Trafitec.
- Jyllands-Posten (2014): Små fartsynder koster liv på landevejene. 8. april 2014. På: <http://jyllands-posten.dk/indland/ECE6624418/sma-fartsynder-koster-liv-pa-landevejene/> (downloadet: 15. april 2014).
- Jørgensen, Anette J. (2010): *Bilisters handlinger - mellem retsnorm og praksis*. Aalborg Universitet.
- Kirkwood, B. & Sterne J. (2003): *Essential Medical Statistics*. 2. udgave. Blackwell Science.
- Kloeden, C. N., McLean, A. J., Moore, V. M. & Ponte, G. (1997): *Travelling speed and the risk of crash involvement. Volume 1: findings*. Report C2 172. Federal Office of Road Safety (FORS), Canberra.
- Kloeden, C. N., Ponte, G. & McLean, A. J. (2001): *Travelling speed and the risk of crash involvement on rural roads*. Report CR 204. Australian Transport Safety Bureau, Civic Square, ACT.
- Kloeden, C.N., McLean, A. J. & Glonek, G. (2002): *Reanalysis of travelling speed and the risk of crash involvement in Adelaide South Australia*. Report CR 207. Australian Transport Safety Bureau, Civic Square, ACT.
- Lahrmann, H., Pedersen, K. S., og Christensen, L. T. (2010): *Bluetooth detektorer som ny cost-effektiv sensor i vejtrafikken*. Ved konferencen Trafikdage 2010.
- Liu, G.X. (1998): *Travel speed & speed differential and their effects on traffic safety*. Faculty of Engineering, University of Regina, Regina, Sask. S4S 0A2.
- Lu, F.; Chen, X. (2009): *Analyzing the Speed Dispersion Influence on Traffic Safety*. International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation 2009. Zhangjiajie, Hunan, Kina.
- Midt- og Vestsjællands Politi (2014): *Ofte stillede spørgsmål om ATK*. På: https://www.politi.dk/Midtvestsjaelland/da/servicemenu/FAQ/ATK/faq_atk.htm?WBCMODE=presentationu#SubHeader11 (downloadet: 10. april 2014)
- Nilsson, G. (2004): *Traffic Safety Dimensions and the Power Model to Describe the Effect of Speed on Safety*. Lund Institute of Technology, Lund.
- Rock, S. M. (1994): *Impact of the 65 mph speed limit on accidents, deaths, and injuries in Illinois*. Department of Economics, Western Illinois University, Macomb, IL 61455, U.S.A.

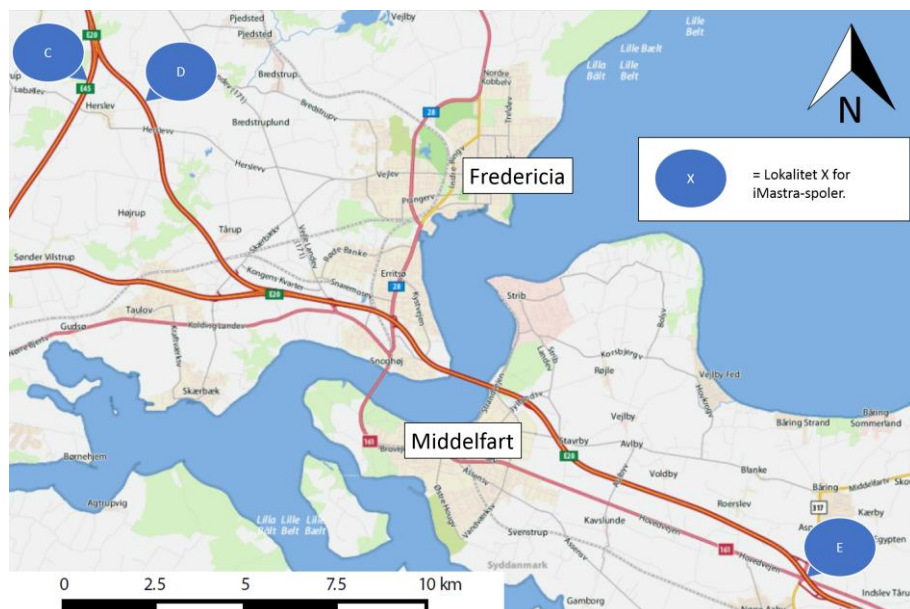
- Rodriguez, R.J. (1990): *Speed, Speed Dispersion and the Highway Fatality Rate*. University of Miami, Coral Gables, Florida.
- Rådet for Sikker Trafik (2009): *Seler til alle i bilen*. På: <https://www.sikkertrafik.dk/Aktuelt/Nyheder/Seler-til-alle-i-bilen.aspx> (downloadet: 2. april 2014)
- Salusjärvi, Markku (1981): *The speed limit experiments on public roads in Finland*. Technical Research Centre of Finland.
- Shinar, D. (1998): Speed and crashes: A Controversial Topic and an Elusive Relationship. Appendix B. I: *Special Report 254: Managing Speed*, s. 221-276. TRB, National Research Council, Washington D.C.
- Solomon, D. (1964): *Accidents on main rural highways related to speed, driver and vehicle*. Bureau of Public Roads, U.S. Department of Commerce, Washington D.C.
- SWOV (2012): *SWOV Fact sheet: The relation between speed and crashes*. SWOV – Institute for Road Research, Leidschendam, Holland.
- Taylor, M., Lynam, D. & Baruja, A. (2000): *The effects of drivers' speed on the frequency of road accidents*. Rapport 421. Transport Research Laboratory, Road Safety Division, Department of the Environment, Transport and the Regions.
- Ulykkes Analyse Gruppen (2002): *Ulykker 2002, Tilskadekomne registreret på skadestuen, Odense Universitetshospital*.
- Vejdirektoratet (2001): *Håndbog i trafiksikkerhedsberegninger – Brug af modeller og andre vurderingsmetoder. Rapport 220*.
- Vejdirektoratet (2006): *Trafiktællinger - Planlægning, udførelse og efterbehandling. Rapport 315*.
- Vejreglerådet (2012): *Håndbog – Grundlag for udformning af trafikarealer – Anlæg og planlægning*.
- Vejdirektoratet (2013): *Statsvejnettet 2013 – Oversigt over tilstand og udvikling. Rapport 437*.
- Vejdirektoratet (2014): *Årsrapport. Dødsulykker 2012. Rapport 466*.
- Walpole, R., Myers, R., Myers, S. & Keying, Y. (2007): *Probability & Statistics for Engineers & Scientists*. Eight Edition. Pearson, Prentice Hall.

BILAG A-F

BILAG A: MOTORVEJSSTRÆKNINGER



Figur 25: Lokalteter nær Aalborg

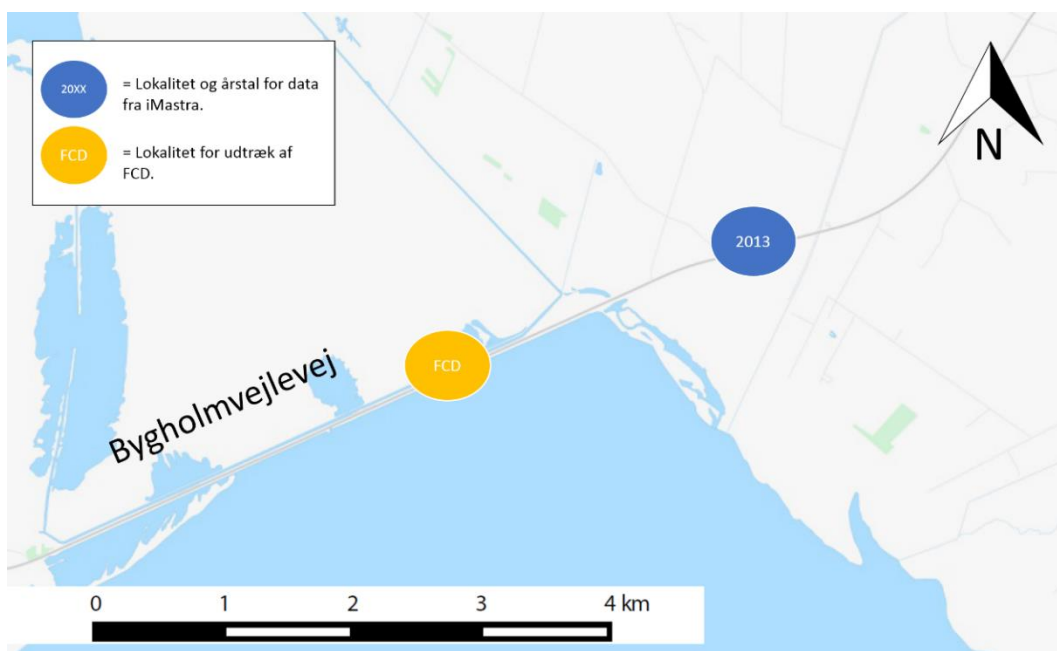


Figur 26: Lokalteter nær Trekantsområdet

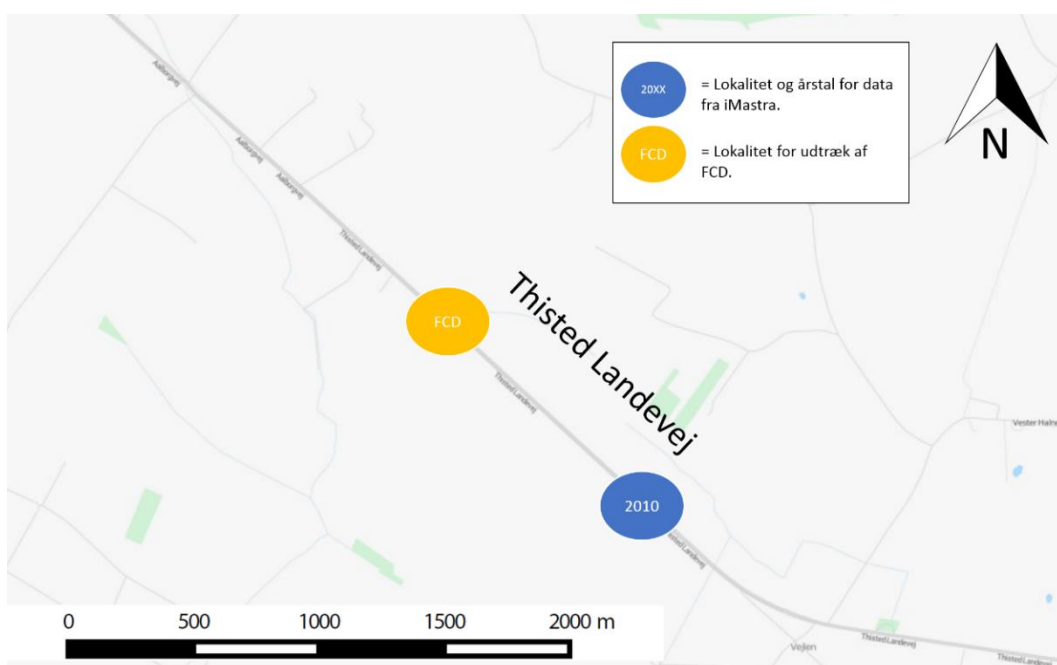


Figur 27: Lokalteter nær København

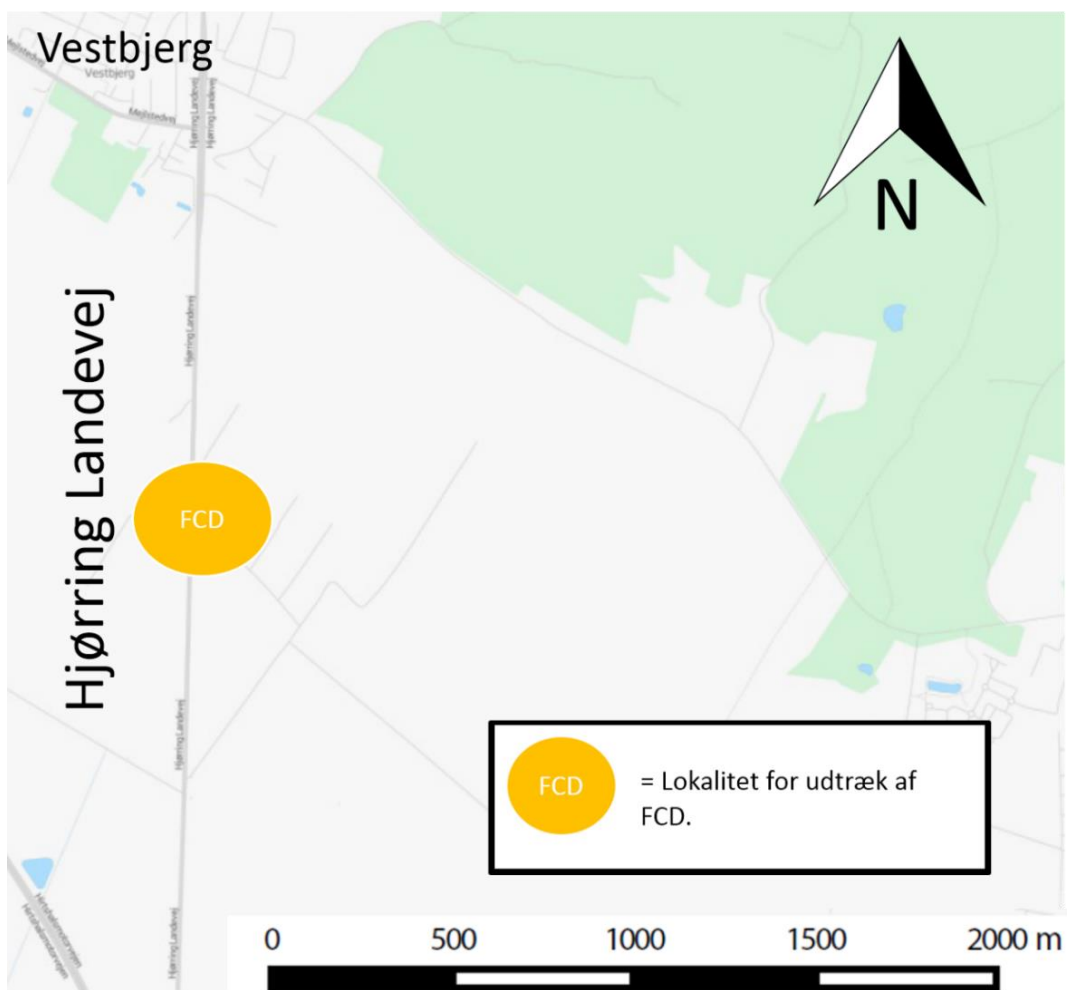
BILAG B: STRÆKNINGER I ÅBENT LAND



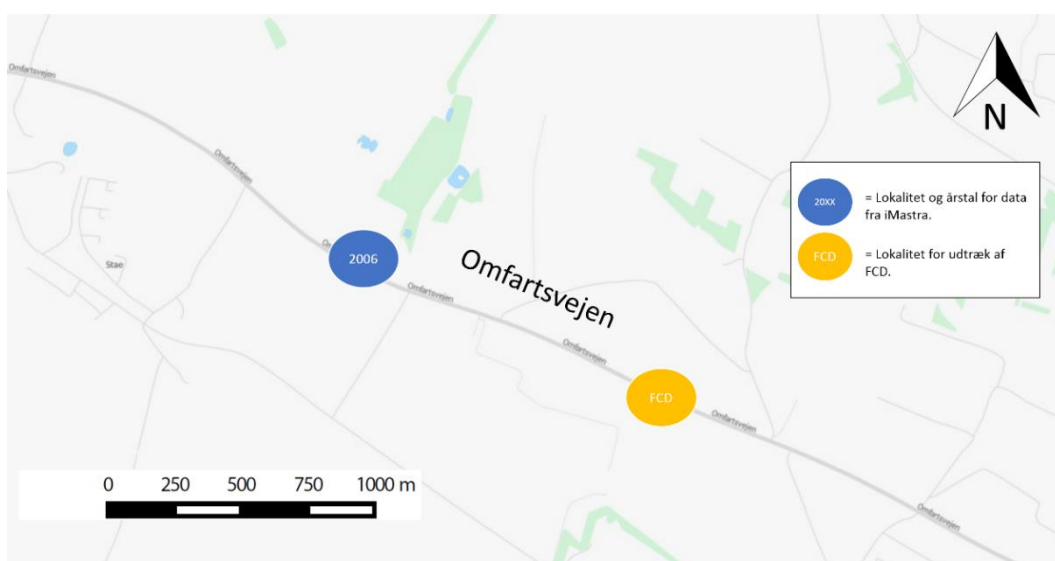
Figur 28: Lokalitet 1.



Figur 29: Lokalitet 2.



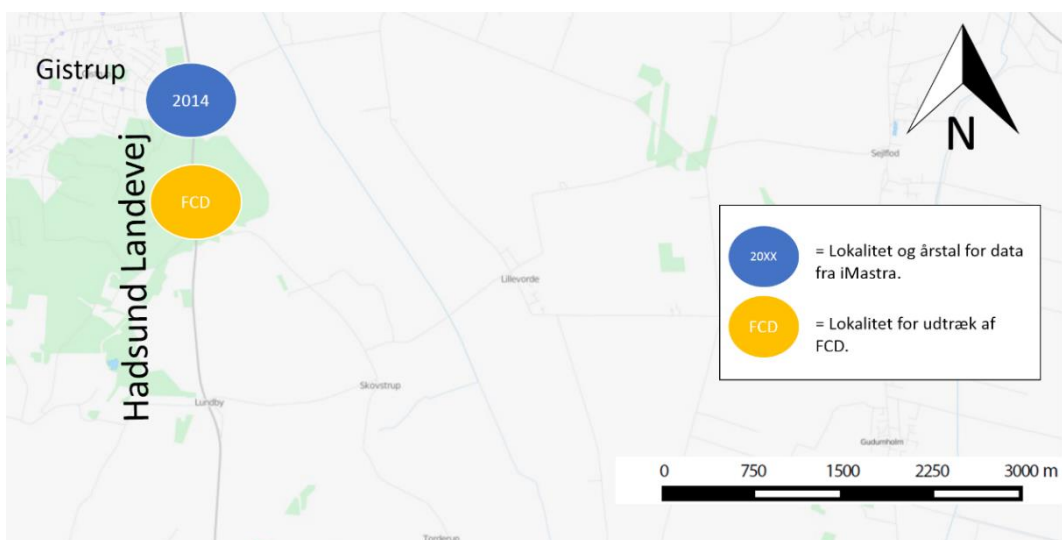
Figur 30: Lokalitet 3. Bemærk intet spoledata tilgængeligt.



Figur 31: Lokalitet 4.



Figur 32: Lokalitet 5.

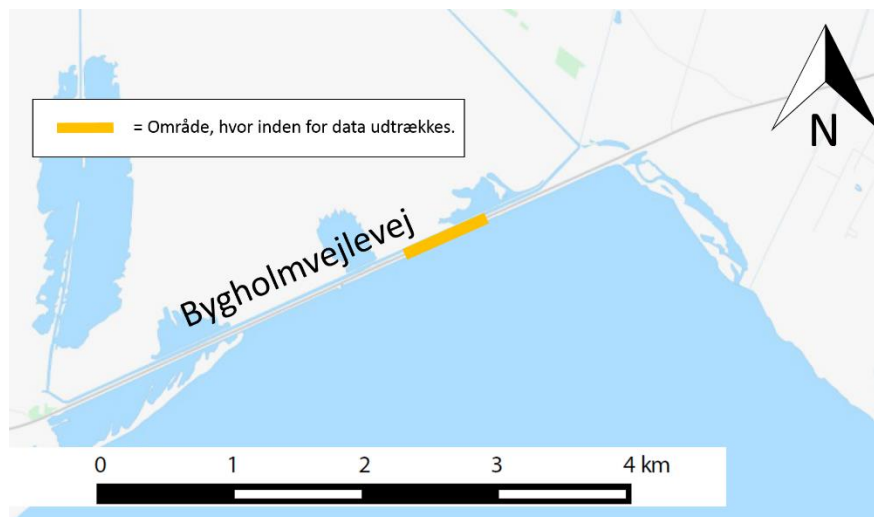


Figur 33: Lokalitet 6.

BILAG C: ET UDTRÆK FRA ITS PLATFORM

Proceduren for at trække data ud af ITS Platform er identisk for alle seks vejstrækninger i åbent land. I det næste betragtes situationen for eksemplet Bygholmvejlevej.

ITS Platforms data er samlet i en relationel database, som kræver tilladelse at få adgang til. Data er til dette projekt udtrukket via værktøjet pgAdmin III, hvortil databasen kan forbindes. For at udtrække data fra en relationel database er det nødvendigt med kendskab til programmeringssproget Structured Query Language (SQL), da det kræver kommandoer formuleret heri for at tilgå data.



Figur 34: Et vejsegment udvælges som grundlag for udtræk af GPS-data.

Bemærk, at vejsegmentet er fortegnet stort for illustrationens skyld.

Kriterierne for udvælgelse af data til dette projekt beror på tid og sted. Der er redegjort for udvælgelsen af begge punkter i anden del af rapporten. Data er udtrukket separat for lav- og spidsbelastning.

Hastighedsdata logges én gang i sekundet i projekt ITS Platform. En personbil, som kører med 80km/t, flytter sig over 22meter i sekundet. Derfor er det nødvendigt at definere et rektangel (udsnit af vejen), hvor data skal have UTM-koordinater inden for, for at sikre, at samtlige målinger medtages. For at overføre dette til SQL-kommandoer, blev hver vejsegment opfattet som et linjesegment beliggende i vejens midte. Det geografiske kriterie

udgjorde så, at data skulle have en vis maksimal afstand til linjesegmentet. Dette resulterer i, at data udtrækkes inden for et rektangel, som illustreret på Figur 34. Vejsegmenterne blev valgt til at udgøre et stykke af en længere tilnærmelsesvis lige linjeføring.

To UTM-koordinater udspændte hvert linjesegment, som blev valgt til at have en længde på 100 meter. På baggrund af kriterierne blev der for hver logning udtrukket dato, klokkeslæt, kompasretning, hastighed og ID for OBU'en (BoksID), som blev eksporteret til MS Office Excel 2013, hvor den efterfølgende databehandling blev foretaget. Koden for lavbelastningsperioden (9-14) for Bygholmvejlevej ses af Tabel 11.

Tabel 11: SQL-kode for lavbelastningsperioden for Bygholmvejlevej.	
<pre> SELECT "BoksId", "LokalTid", "LokalDato", "Hastighed", "Retning" FROM its."PosRap" WHERE ("LokalDato"::date = '2013-08-27' OR "LokalDato"::date = '2013-08-28' OR "LokalDato"::date = '2013-08-29' OR "LokalDato"::date = '2013-09-03' OR "LokalDato"::date = '2013-09-04' OR "LokalDato"::date = '2013-09-05' OR "LokalDato"::date = '2013-09-10' OR "LokalDato"::date = '2013-09-11' OR "LokalDato"::date = '2013-09-12' OR "LokalDato"::date = '2013-09-17' OR "LokalDato"::date = '2013-09-18' OR "LokalDato"::date = '2013-09-19' OR "LokalDato"::date = '2013-09-24' OR "LokalDato"::date = '2013-09-25' OR "LokalDato"::date = '2013-09-26' OR "LokalDato"::date = '2013-10-01' OR "LokalDato"::date = '2013-10-02' OR "LokalDato"::date = '2013-10-03' OR "LokalDato"::date = '2013-10-08' OR "LokalDato"::date = '2013-10-09' OR "LokalDato"::date = '2013-10-23' OR "LokalDato"::date = '2013-10-24' OR "LokalDato"::date = '2013-10-29' OR "LokalDato"::date = '2013-10-30' OR "LokalDato"::date = '2013-10-31' OR "LokalDato"::date = '2013-11-05' OR "LokalDato"::date = '2013-11-06' OR "LokalDato"::date = '2013-11-07' OR "LokalDato"::date = '2013-11-12' OR "LokalDato"::date = '2013-11-13' OR "LokalDato"::date = '2013-11-14' OR "LokalDato"::date = '2013-11-19' OR "LokalDato"::date = '2013-11-20' OR "LokalDato"::date = '2013-11-21' OR "LokalDato"::date = '2013-11-26' OR "LokalDato"::date = '2013-11-27' OR "LokalDato"::date = '2013-11-28' OR "LokalDato"::date = '2013-12-03' OR "LokalDato"::date = '2013-12-04' OR "LokalDato"::date = '2013-12-05' OR "LokalDato"::date = '2013-12-10' OR "LokalDato"::date = '2013-12-11' OR "LokalDato"::date = '2013-12-12') AND ("LokalTid"::time >= '09:00' AND "LokalTid"::time <= '14:00') AND ST_DWithin(ST_Makeline(ST_GeometryFromText('POINT(507094.759 6321469.293)', 32632), ST_GeometryFromText('POINT(507011.255 6321429.706)', 32632)), "GPSPosUTM", 10); </pre>	Angiver hvilke data, der udtrækkes. Begrænser data til de ønskede datoer. Begrænser data til det ønskede tidsrum. Begrænser data til at være i en afstand af linjesegmentet på 10 meter.

I Excel blev data behandlet, så samme tur på vejsegmentet resulterede i en gennemsnitsmåling (ellers ville langsomme biler vægtes højere grundet flere logninger inden for segmentet), og vha. kompasretningen blev data opdelt efter kørselsretninger, i øst- og vestgående trafik i eksemplet fra Bygholmvejlevej. På vedlagte CD-bilag findes der i undermappen 'ITS Platform' (i mappen 'Veje i åbent land') for hver af de seks projektlokaliteter en Excel-fil, som indeholder SQL-koden for lokaliteten samt dataene opgjort per retning for henholdsvis morgen- og eftermiddagsmyldretid.

BILAG D: HASTIGHEDSOPGØRELSE FRA MOTORVEJSTRÆKNINGERNE

Tabel 12: Oversigt over hastighedsdata fra de ti motorvejsstrækninger									
n = antal hastighedsmålinger.									
Motorvejsstrækning	Spor	Tidsrum	n	V _{gns} [km/t]	σ [km/t]	V ₁₅ [km/t]	V ₅₀ [km/t]	V ₈₅ [km/t]	Normalfordelt
A – sydgående	Begge	7-8 + 15-17	25.993	86,3	32,1	34	97	112	Nej
		9-14	20.557	101,7	13,5	86	103	115	Ja
	Venstre	7-8 + 15-17	12.905	88,0	35,2	27	103	116	Nej
		9-14	7.469	111,8	10,6	102	110	122	Ja
	Højre	7-8 + 15-17	13.088	84,6	28,7	66	92	107	Nej
		9-14	15.625	96,9	12,1	83	98	109	Ja
A – nordgående	Begge	7-8 + 15-17	26.055	91,3	28,7	68	100	114	Nej
		9-14	23.021	103,7	13,7	87	104	117	Ja
	Venstre	7-8 + 15-17	11.916	92,2	33,5	38	104	117	Nej
		9-14	6.272	114,7	10,8	105	113	125	Ja
	Højre	7-8 + 15-17	14.139	90,6	24,0	75	97	110	Nej
		9-14	16.749	99,6	13,3	86	101	111	Ja
B – sydgående	Begge	7-8 + 15-17	29.733	107,2	13,0	91	109	120	Ja
		9-14	27.936	104,2	14,9	86	106	119	Ja
	Venstre	7-8 + 15-17	15.657	114,5	8,5	106	114	123	Ja
		9-14	9.807	115,5	10,4	106	115	123	Ja
	Højre	7-8 + 15-17	14.076	99,1	12,4	85	100	112	Ja
		9-14	18.129	98,1	13,3	84	99	112	Ja
B – nordgående	Begge	7-8 + 15-17	28.925	108,0	13,1	93	110	120	Ja
		9-14	24.760	106,6	14,6	88	109	121	Ja
	Venstre	7-8 + 15-17	15.589	114,2	9,3	105	114	123	Ja
		9-14	8.343	116,7	10,3	107	116	127	Ja
	Højre	7-8 + 15-17	13.336	100,8	13,2	87	102	114	Ja
		9-14	16.417	101,5	13,7	87	103	115	Ja
C	Begge	7-8 + 15-17	23.660	113,0	15,8	92	115	128	Ja
		9-14	22.226	108,5	17,3	87	110	126	Ja
	Venstre	7-8 + 15-17	10.877	121,0	12,1	110	121	133	Ja
		9-14	7.657	120,1	13,3	108	120	133	Ja
	Højre	7-8 + 15-17	12.783	106,1	15,3	86	109	121	Ja
		9-14	14.569	102,4	16,1	85	105	119	Ja

Tabel 12 - fortsat: Oversigt over hastighedsdata fra de ti motorvejsstrækninger n = antal hastighedsmålinger.									
Motorvejs- strækning	Spor	Tidsrum	n	V _{gns} [km/t]	σ [km/t]	V ₁₅ [km/t]	V ₅₀ [km/t]	V ₈₅ [km/t]	Normal- fordelt
D	Begge	7-8 + 15-17	25.110	114,7	15,3	100	116	129	Ja
		9-14	24.315	111,5	17,1	88	113	128	Ja
	Venstre	7-8 + 15-17	10.531	123,0	11,6	112	123	134	Ja
		9-14	7.342	123,1	13,1	110	123	136	Ja
	Højre	7-8 + 15-17	14.579	108,7	14,9	88	111	123	Ja
		9-14	16.973	106,4	16,1	86	109	123	Ja
E	Begge	7-8 + 15-17	47.378	101,5	14,2	84	102	116	Ja
		9-14	44.357	105,8	15,6	87	107	121	Ja
	Venstre	7-8 + 15-17	26.655	106,8	12,2	95	106	119	Ja
		9-14	19.456	114,8	11,3	105	114	126	Ja
	Højre	7-8 + 15-17	20.723	94,6	13,6	80	93	110	Ja
		9-14	24.901	98,8	14,0	84	100	114	Ja
F – sydgående	Begge	7-8 + 15-17	30.820	74,5	36,0	30	92	112	Nej
		9-14	35.011	104,2	13,2	87	106	117	Ja
	Venstre	7-8 + 15-17	16.579	81,2	37,7	31	99	116	Nej
		9-14	15.118	112,6	9,4	104	112	122	Ja
	Højre	7-8 + 15-17	14.241	74,7	33,4	29	86	106	Nej
		9-14	19.893	97,9	12,1	84	99	110	Ja
F – nordgående	Begge	7-8 + 15-17	37.520	100,4	13,9	86	101	114	Ja
		9-14	36.231	103,7	13,1	87	105	116	Ja
	Venstre	7-8 + 15-17	17.967	107,0	12,3	96	107	118	Ja
		9-14	15.239	112,5	9,2	104	112	121	Ja
	Højre	7-8 + 15-17	19.553	94,3	12,6	82	94	107	Ja
		9-14	20.910	97,2	11,7	84	98	109	Ja
G	Begge	7-8 + 15-17	35.265	113,0	15,0	96	115	128	Ja
		9-14	34.308	111,6	16,7	88	114	129	Ja
	Venstre	7-8 + 15-17	19.876	119,3	11,7	108	120	130	Ja
		9-14	14.305	121,4	12,0	109	122	133	Ja
	Højre	7-8 + 15-17	15.389	104,8	15,0	87	106	121	Ja
		9-14	20.006	104,7	16,2	86	106	123	Ja

BILAG E: HASTIGHEDSOPGØRELSE FOR 80KM/T-VEJE VHA. iMASTRA

Tabel 13: Oversigt over hastighedsdata udtrukket fra iMastra for 80km/t-vejene. En bindestreg betyder, at parameteren ikke var tilgængelig ved udtræk.								
Lokalitet	Retning	Tidsrum	V _{gnst.} [km/t]	σ [km/t]	V ₁₅ [km/t]	V ₈₅ [km/t]	Årstal	Antal opgjorte dage
1	Begge	7-8 + 15-17	91,1	15,8	80,6	106,2	2013	356
		9-14	89,7	15,4	80,0	103,0		
	Øst	7-8 + 15-17	90,7	15,3	80,3	104,5		
		9-14	89,2	15,0	79,2	102,0		
	Vest	7-8 + 15-17	92,5	16,2	81,0	107,6		
		9-14	90,3	15,7	80,2	104,6		
2	Begge	7-8 + 15-17	80,4	17,8	-	94,8	2010	132
		9-14	81,7	16,7	67,3	94,8		
	Øst	7-8 + 15-17	83,6	15,6	71,6	99,2		138
		9-14	87,4	14,0	76,8	99,0		
	Vest	7-8 + 15-17	75,6	17,4	-	91,6		132
		9-14	76,3	17,3	-	92,1		
3	Data ikke tilgængeligt.							
4	Begge	7-8 + 15-17	83,9	10,9	73,4	94,4	2006	34
		9-14	83,9	11,0	73,6	95,1		
	Øst	7-8 + 15-17	85,7	11,4	74,4	96,4		
		9-14	85,1	11,4	74,1	96,2		
	Vest	7-8 + 15-17	83,1	10,7	73,0	92,4		
		9-14	83,7	10,6	73,2	93,7		
5	Begge	7-8 + 15-17	89,4	12,7	-	-	2005	33
		9-14	88,0	12,5	-	-		
	Øst	7-8 + 15-17	89,7	12,6	-	-		
		9-14	87,2	11,8	-	-		
	Vest	7-8 + 15-17	90,6	13,1	-	-		
		9-14	89,4	13,0	-	-		
6	Begge	7-8 + 15-17	81,5	8,8	7,5	89,3	2014	7
		9-14	81,6	9,8	73,2	89,9		
	Nord	7-8 + 15-17	81,4	8,7	73,7	88,9		
		9-14	82,2	9,4	74,2	89,9		
	Syd	7-8 + 15-17	82,4	9,3	74,5	91,0		
		9-14	81,2	10,2	72,3	89,9		

BILAG F: HASTIGHEDSOPGØRELSE FOR 80KM/T-VEJE VHA. ITS PLATFORM

Tabel 14: Oversigt over hastighedsdata udtrukket fra ITS Platform for 80km/t-vejene.									
Lokali- tet	Retning	Tidsrum	V _{gnst.} [km/t]	σ [km/t]	V ₁₅ [km/t]	V ₈₅ [km/t]	Antal ture	Antal Forskellige boksID	Normal- fordelt
1	Begge	7-8 + 15-17	92,8	10,0	81,9	101,8	66	16	Ja
		9-14	91,0	9,9	82,1	102,0	42	18	Ja
	Øst	7-8 + 15-17	94,0	10,6	84,8	107,6	40	12	Ja
		9-14	91,5	9,1	83,4	101,0	23	10	Ja
	Vest	7-8 + 15-17	90,9	8,6	81,7	100,0	26	8	Ja
		9-14	90,5	11,0	81,7	104,0	19	12	Ja
2	Begge	7-8 + 15-17	83,3	9,0	76,8	90,7	907	64	Ja
		9-14	85,2	7,5	78,9	92,0	246	58	Ja
	Øst	7-8 + 15-17	85,1	9,1	78,0	93,9	471	46	Ja
		9-14	85,6	7,1	79,0	92,4	104	39	Ja
	Vest	7-8 + 15-17	81,4	8,5	75,5	89,2	436	54	Ja
		9-14	84,9	7,8	78,8	91,7	142	46	Ja
3	Begge	7-8 + 15-17	82,0	5,3	78,5	86,8	85	20	Ja
		9-14	86,6	11,3	79,5	96,2	43	12	Ja
	Nord	7-8 + 15-17	83,0	5,6	79,4	88,3	41	13	Ja
		9-14	87,7	12,4	79,6	95,5	18	8	Nej
	Syd	7-8 + 15-17	81,0	4,7	77,0	84,6	44	11	Ja
		9-14	85,8	10,7	77,8	96,8	25	11	Ja
4	Begge	7-8 + 15-17	84,6	6,7	79,4	90,0	195	27	Ja
		9-14	86,4	7,7	79,3	95,3	131	25	Ja
	Øst	7-8 + 15-17	85,3	7,1	79,3	91,2	100	24	Ja
		9-14	85,6	6,9	79,0	93,1	59	21	Ja
	Vest	7-8 + 15-17	83,7	6,2	79,6	89,1	95	18	Ja
		9-14	87,0	8,3	80,0	96,6	72	20	Ja
5	Begge	7-8 + 15-17	85,8	7,2	79,3	93,1	122	11	Ja
		9-14	88,6	6,2	83,7	95,0	44	11	Ja
	Øst	7-8 + 15-17	89,5	7,7	81,4	97,7	47	8	Ja
		9-14	88,7	4,3	86,1	93,4	28	10	Ja
	Vest	7-8 + 15-17	83,5	5,8	78,4	88,9	75	7	Ja
		9-14	88,5	8,6	80,0	95,2	16	8	Ja
6	Begge	7-8 + 15-17	82,7	8,7	77,1	87,9	126	30	Ja
		9-14	85,2	6,2	78,5	92,7	37	16	Ja
	Nord	7-8 + 15-17	81,6	8,1	75,8	87,5	50	17	Ja
		9-14	85,9	7,3	79,7	93,2	14	10	Ja
	Syd	7-8 + 15-17	83,5	9,0	77,9	88,5	76	20	Ja
		9-14	84,7	5,6	78,3	88,5	23	12	Ja



AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT