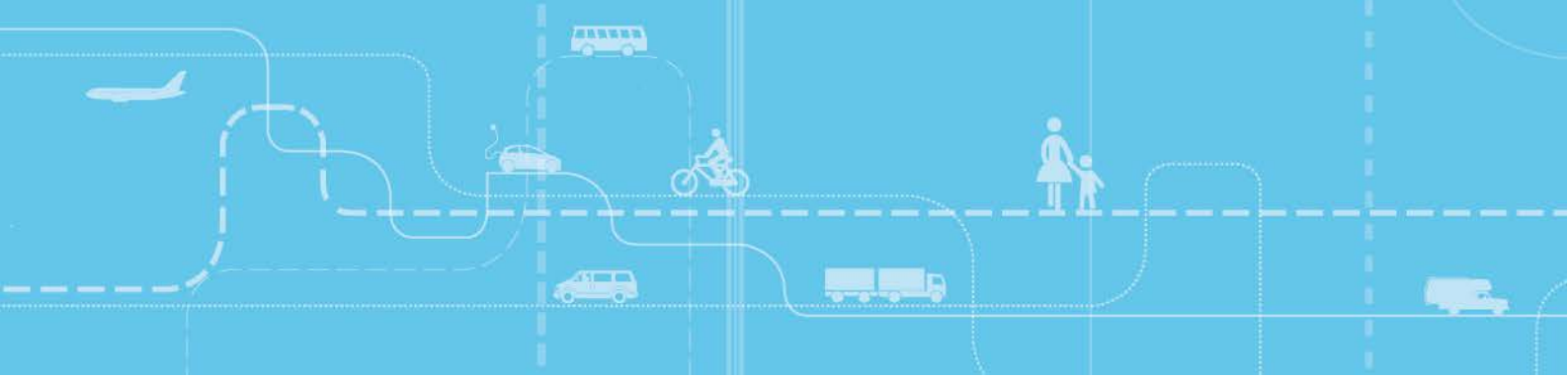


Fart og trafikksikkerhet

Nye modeller



Fart og trafikksikkerhet

Nye modeller

Rune Elvik

Transportøkonomisk institutt (TØI) har opphavsrett til hele rapporten og dens enkelte deler. Innholdet kan brukes som underlagsmateriale. Når rapporten siteres eller omtales, skal TØI oppgis som kilde med navn og rapportnummer. Rapporten kan ikke endres. Ved eventuell annen bruk må forhåndssamtykke fra TØI innhentes. For øvrig gjelder [åndsverklovens](#) bestemmelser.

ISSN 0808-1190

ISBN 978-82-480-1492-8 Papirversjon

ISBN 978-82-480-1491-1 Elektronisk versjon

Oslo, januar 2014

Tittel: Fart og trafikksikkerhet - nye modeller

Title: Speed and road safety - new models

Forfattere: Rune Elvik

Author(s): Rune Elvik

Dato: 01.2014

Date: 01.2014

TØI rapport: 1296/2014

TØI report: 1296/2014

Sider 39

Pages 39

ISBN Papir: 978-82-480-1492-8

ISBN Paper: 978-82-480-1492-8

ISBN Elektronisk: 978-82-480-1491-1

ISBN Electronic: 978-82-480-1491-1

ISSN 0808-1190

ISSN 0808-1190

Finansieringskilde: Statens vegvesen

Financed by: The Norwegian Public Roads Administration

Prosjekt: 3967 - Fart og risiko

Project: 3967 - Fart og risiko

Prosjektleder: Rune Elvik

Project manager: Rune Elvik

Kvalitetsansvarlig: Michael Wøhlk Jæger Sørensen

Quality manager: Michael Wøhlk Jæger Sørensen

Emneord: fart
trafikksikkerhet
variabilitet

Key words: dispersion
road safety
speed

Sammendrag:

Tidligere utviklede modeller av sammenhengen mellom trafikkenes gjennomsnittsfart og trafikksikkerhet er oppdatert. Det finnes to hovedmodeller: Potensmodellen og eksponentialmodellen. Begge kan benyttes. Studier av sammenhengen mellom fartsvariasjon og trafikksikkerhet er gjennomgått. Disse studiene tyder på at økt fartsvariasjon øker risikoen for ulykker. Det er foeløpig ikke mulig å tallfeste denne sammenhengen særlig presist.

Summary:

Existing models of the relationship between the speed of traffic and road safety have been updated. There are two main models: The Power Model and an exponential model. Both models are well-supported and can be used. Studies of the relationship between speed dispersion and road safety have been reviewed. The studies indicate that increased speed dispersion is associated with an increased risk of accidents. It is, however, still not possible to model the relationship mathematically.

Language of report: Norwegian

Forord

Sammenhengen mellom fart og trafikksikkerhet er meget grundig undersøkt. Sammenhengen har ofte vært beskrevet ved hjelp av den såkalte Potensmodellen, som er utviklet av den svenske trafikksikkerhetsforskeren Göran Nilsson.

De siste årene er man blitt oppmerksom på et par viktige begrensninger ved Potensmodellen. For å unngå disse, er andre modeller av sammenhengen mellom fart og trafikksikkerhet søkt utviklet. Den mest lovende av disse modellene er eksponentialmodellen, der sammenhengen mellom fart og trafikksikkerhet beskrives i form av et sett av eksponentialfunksjoner.

Denne rapporten presenterer oppdaterte versjoner både av Potensmodellen og eksponentialmodellen. Begge modeller føyer seg godt til data og begge modeller kan benyttes til å beskrive sammenhengen mellom fart og trafikksikkerhet. I tillegg gjennomgår rapporten undersøkelser om sammenhengen mellom fartsvariasjon og trafikksikkerhet. Her finnes det færre undersøkelser og resultatene spriker en del. Det er likevel hevet over enhver rimelig tvil at økt variasjon i fart øker ulykkesrisikoen.

Rapporten er dokumentasjon av to prosjekter. Det første av disse, re-estimering av Potensmodellen (TØI-prosjektnummer 3913), ble i første omgang dokumentert i form av et arbeidsdokument. Det andre prosjektet, som er en del av Statens vegvesens etatsprogram BEST (Bedre sikkerhet i trafikken), omfattet både oppdatering av modeller av sammenhengen mellom trafikkenes gjennomsnittsfart og trafikksikkerhet og en gjennomgang og oppsummering av studier om sammenhengen mellom fartsvariasjon og trafikksikkerhet.

Rapporten er skrevet på oppdrag fra Statens vegvesen, Vegdirektoratet. Sjefsingeniør Arild Ragnøy har vært oppdragsgivers kontaktperson. Vi takker ham og Finn Harald Amundsen, Vegdirektoratet, for nyttige kommentarer til rapporten. Forskningsleder Rune Elvik har vært prosjektleder og har skrevet rapporten. Avdelingsleder Michael W. J. Sørensen har kvalitetssikret rapporten. Sekretær Unni Wettergreen har tilrettelagt rapporten for trykking og elektronisk utgivelse.

Oslo, Februar 2014
Transportøkonomisk institutt

Kjell Werner Johansen
assisterende direktør

Michael W. J. Sørensen
avdelingsleder

Innhold

Sammendrag

Summary

1	Bakgrunn og problemstilling	1
2	Tidligere forskning.....	3
3	Data og metode	4
4	Trafikkens gjennomsnittsfart – nye modeller.....	5
4.1	Modeller presentert i 2013	5
4.2	Utvidelse og oppdatering av eksponentialmodellen.....	7
4.3	Korrigerte eksponentialmodeller.....	11
5	Spredning i fart – teori og modeller	14
5.1	Noen begreper som beskriver spredning i fart	14
5.2	Valg av mål på fartsspredning i empiriske undersøkelser.....	18
5.3	Datagrunnlag og tilnæringsmåte i nyere studier av sammenhengen mellom fartsvariasjon og ulykkesrisiko	22
5.4	Gjennomgang av studier av sammenhengen mellom fartsvariasjon og ulykker.....	26
5.5	Et forsøk på en syntese av undersøkelsene	30
6	Diskusjon	33
7	Konklusjoner	36
8	Referanser.....	37

Sammendrag:

Fart og trafikksikkerhet – nye modeller

TØI rapport 1296/2014

Forfatter: Rune Elvik

Oslo 2014 39sider

Det er nyttig å ha modeller som kan beskrive sammenhengen mellom fart og trafikksikkerhet. Slike modeller gjør det mulig å beregne hvor store endringer i antall ulykker og antall skadde eller drept man kan vente seg ved en gitt endring i fart. Denne rapporten presenterer to slike modeller: Potensmodellen, som har lange tradisjoner og eksponentialmodellen, som er av nyere dato. Begge modeller beskriver sammenhengen mellom fart og trafikksikkerhet godt. Rapporten drøfter også undersøkelser om sammenhengen mellom fartsvariasjon og trafikksikkerhet. Disse undersøkelsene tyder på at økt variasjon i fart medfører flere trafikkulykker.

Fart har stor betydning for trafikksikkerheten. Dette er ingen ny erkjennelse. Denne rapporten oppdaterer kunnskapene om sammenhengen mellom fart og trafikksikkerhet. To aspekter ved fart er studert: Trafikkens gjennomsnittsfart og variasjon i fart.

Det foreligger omkring 120 undersøkelser med til sammen omkring 550 resultater som viser hvordan endringer i trafikkens gjennomsnittsfart påvirker antall ulykker, skadde og drept. Sammenhengen mellom fart og trafikksikkerhet har lenge vært beskrevet ved hjelp av den såkalte Potensmodellen. I tillegg til denne modellen er det nylig utviklet en eksponentialmodell av sammenhengen mellom fart og trafikksikkerhet. Begge disse modellene bygger på omfattende data.

Både Potensmodellen og eksponentialmodellen beskriver sammenhengen mellom fart og trafikksikkerhet godt. Begge modeller er presise nok til at de kan benyttes til å beregne virkninger for trafikksikkerheten av endringer i fart. Eksponentialmodellen har visse matematiske egenskaper som kan gjøre den bedre egnet enn Potensmodellen i noen sammenhenger, spesielt dersom man ønsker å beregne virkninger av at en viss andel av førere, for eksempel de som kjører fortest, endrer sin fart.

Det har lenge vært antatt at også spredning i fart har betydning for trafikksikkerheten. Mulighetene for å studere sammenhengen mellom spredning i fart og trafikksikkerhet er blitt vesentlig bedre de siste 15 årene ved at man har benyttet data fra kontinuerlige tellepunkter på vegnettet. Data fra slike tellepunkter kan, om de er lagret i en dertil egnet form, benyttes til å lage en meget detaljert rekonstruksjon av trafikkforholdene.

Studier som bygger på slike rekonstruksjoner av trafikkforholdene viser at økt spredning i fart, særlig køtrafikk som går i rykk og napp, øker risikoen for trafikkulykker. Det er imidlertid grunn til å tro at det særlig er risikoen for materiellskadeulykker som øker under slike trafikkforhold.

Summary:

Speed and road safety – new models

TØI Report 1296/2014

Author: Rune Elvik

Oslo 2014, 39 pages Norwegian language

Speed is of major importance for road safety. It is therefore very useful to develop mathematical models of the relationship between speed and road safety. One of the best known of these models, the Power Model, has been used for a long time. Recently, however, an exponential model has also been developed for describing the relationship between speed and road safety. Both these models have been found to fit the data very well and both of them are sufficiently precise to be used for estimating the road safety effects of changes in the speed of traffic. The current report also reviews studies of the relationship between speed variance and road safety. These studies indicate that increased speed variance is associated with an increased risk of accidents.

Speed has major importance for road safety. This knowledge was established many years ago. This report updates knowledge about the relationship between speed and road safety. The report covers two characteristics of speed: the mean speed of traffic and speed variance.

The relationship between changes in the mean speed of traffic and changes in road safety has been studied in at least 120 studies containing in total at least 550 estimates of the relationship. The relationship between the speed of traffic and road safety has for a long time been modelled by means of the so called Power Model. Recently, however, an exponential model has also been proposed to describe the relationship between the mean speed of traffic and road safety. Both these models are based on extensive data.

Both models provide fairly precise descriptions of the relationship between mean speed and road safety. The models can therefore be applied to predict the effects of changes in mean speed on the number of accidents and on the number of killed or injured road users. The exponential model has certain mathematical properties that makes it better suited than the Power Model for estimating the effects of changes in speed that apply only to a certain share of the entire speed distribution, for example the effects on safety if the ten percent fastest drivers slow down.

It has long been believed that speed variance is also related to safety. Older studies of this relationship were not entirely conclusive. In the recent 15 years, however, the use of loop detector data from freeways has made it possible to study the effects of speed variance in a much more rigorous and well-controlled manner than before. Data from loop detector may, if stored in suitable format, be used to reconstruct traffic in great detail. It then becomes possible to determine if the period immediately before an accident occurred was characterized by a larger speed variance than other periods.

Increased speed variance has been found to increase the risk of accidents. It should be added, however, that most of these accidents are probably property-damage-only accidents. Dense traffic characterized by frequent and sudden changes in speed is associated with a particularly high risk of accidents.

1 Bakgrunn og problemstilling

Fart er en av de viktigste faktorene som påvirker trafikksikkerheten. Det er derfor viktig å utvikle presis kunnskap om sammenhengen mellom fart og trafikksikkerhet og holde denne kunnskapen oppdatert. Transportøkonomisk institutt har i en årrekke drevet forskning om sammenhengen mellom fart og trafikksikkerhet. Denne forskningen er dokumentert i to TØI-rapporter (Elvik, Christensen og Amundsen 2004, Elvik 2009) og fire vitenskapelige artikler (Elvik 2005, 2012, 2013, Cameron og Elvik 2010). I den nyeste av de vitenskapelige artiklene lanseres en ny modell av sammenhengen mellom endringer i fart og endringer i antall ulykker, drepte og skadde. Denne sammenhengen har hittil vært beskrevet ved hjelp av den såkalte Potensmodellen (Nilsson 2004), der eksponentene varierer etter ulykkers og skaders alvorlighetsgrad og trafikkmiljø. Potensmodellen kan formuleres slik:

$$Ulykker_{etter} = ulykker_{før} \cdot \left(\frac{\text{Trafikkens gjennomsnittsfart}_{etter}}{\text{Trafikkens gjennomsnittsfart}_{før}} \right)^{\text{Eksponent}}$$

Modellen har samme utforming for ulykker og skadde personer, det er kun verdien av eksponenten som varierer. Potensmodellen viser virkninger av endringer i trafikkens gjennomsnittsfart, ikke spredning i fart eller andre egenskaper ved en fartsfordeling.

Ved siste revisjon av Potensmodellen (Elvik 2009) ble det klart at eksponentene ikke er uavhengige av farten før endring. I sin klassiske versjon forutsatte Potensmodellen konstante eksponenter. Denne forutsetningen innebærer, for eksempel, at modellen beregnet en like stor prosentvis virkning på antall drepte av en fartsnedgang fra 100 til 80 km/t som av en fartsnedgang fra 10 til 8 km/t. Dette er ikke en rimelig antakelse, da ytterst få, om noen, omkommer i trafikkulykker ved en fart på 10 km/t. Det vil følgelig være null drepte både før og etter endringen i fart (det ses her bort fra helt spesielle ulykker som at spedbarn blir rygget over på gårdsplasser eller lignende).

Nylig er det på denne bakgrunn foreslått en ny modell av sammenhengen mellom fart og trafikksikkerhet (Elvik 2013). Den nye modellen beskriver sammenhengen mellom fart og trafikksikkerhet ved hjelp av et sett av eksponentialfunksjoner:

$$\text{Relativt antall ulykker} = \alpha \cdot e^{\beta \cdot x}$$

Her er x trafikkens gjennomsnittsfart og α og β er koeffisienter som estimeres. Eksponentialmodellen passet klart bedre enn Potensmodellen for personskadeulykker. For dødsulykker passet Potensmodellen og eksponentialmodellen omtrent like bra; muligens var Potensmodellen litt bedre. For materiellskadeulykker passet eksponentialmodellen bedre enn Potensmodellen. Disse

resultatene tyder på at sammenhengen mellom fart og trafikksikkerhet muligens beskrives bedre med en eksponentialmodell enn med Potensmodellen. De to modellene ble imidlertid kun sammenlignet med hensyn til antall ulykker, ikke med hensyn til antall skadde eller drepte.

Formålet med denne rapporten er å oppdatere og utdype kunnskapene om sammenhengen mellom fart og trafikksikkerhet. Hovedproblemstillingene som behandles i rapporten er:

1. Hvilken modell er best egnet til å beskrive sammenhengen mellom fart og trafikksikkerhet – Potensmodellen eller eksponentialmodellen?
2. Kan eksponentialmodellen utvikles både for ulykker og skadde eller drepte?
3. Har andre kjennetegn ved fartsfordelingen enn gjennomsnittsfart, særlig spredning i fart, noen sammenheng med trafikksikkerhet?
4. Kan sammenhengen mellom spredning i fart og trafikksikkerhet beskrives ved hjelp av en matematisk modell?

Som grunnlag for å svare på disse spørsmålene er det gjort nye litteraturstudier om fart og trafikksikkerhet. Tidligere meta-analyser er oppdatert og en ny analyse er gjort der sammenhengen mellom fartsspredning og trafikksikkerhet er studert.

2 Tidligere forskning

Siste oppdatering av kunnskap om sammenhengen mellom fart og trafikksikkerhet var basert på 115 studier med til sammen 526 resultater (Elvik 2009). Ved den oppdateringen som presenteres i denne rapporten er det lagt mest vekt på å finne undersøkelser der sammenhengen mellom fartsvariasjon og trafikksikkerhet er studert. Det er to hovedgrunner til dette. Den ene er at tidligere forskning om sammenhengen mellom fartsspredning og trafikksikkerhet til dels har vært av tvilsom kvalitet og til dels har gitt resultater som er vanskelige å tolke. Den andre er at det de siste 15 år har vært mulig å gjøre metodisk langt bedre studier av sammenhengen mellom fartsspredning og trafikksikkerhet enn tidligere. Dette kommer både av at tilgangen til gode data er blitt bedre og at mer avanserte statistiske metoder er utviklet for å studere sammenhengen mellom fartsspredning og trafikksikkerhet. Man kan nesten si at forskningen om fartsspredning og trafikksikkerhet er fullstendig revolusjonert de siste 15 år. Det er knapt noen overdrivelse å si at all eldre forskning om dette temaet, basert på enklere data og metoder, i dag kan betraktes som foreldet og ses helt bort fra.

På denne bakgrunn vil derfor eldre studier av sammenhengen mellom fartsspredning og trafikksikkerhet ikke bli gjennomgått i denne rapporten. Heller ikke eldre studier av sammenhengen mellom trafikkenes gjennomsnittsfart og trafikksikkerhet vil bli drøftet i detalj. Det tas utgangspunkt i de rapporter og artikler som ble nevnt i kapittel 1. Hovedvekten er lagt på å presentere nye resultater og oppdaterte modeller som bygger på disse resultatene.

3 Data og metode

Det er gjennomført litteratursøk i to bibliografiske databaser. Ved begge søk ble «speed variance», «speed dispersion» og «speed differences» brukt som søkeord sammen «accident» eller «crash». Søkeordene for fart ble valgt spesielt med tanke på å finne nye studier om spredning i fart, da dette temaet ikke har vært behandlet i tidligere oppsummeringer av sammenhengen mellom fart og trafikksikkerhet.

Ved søk i Transport databasen levert av Ovid ga søket 94 treff. Ni av disse ble vurdert som interessante og gjennomgått i detalj. Ved søk i Web of Science databasen ga søket 49 treff. Åtte av disse ble vurdert som relevante og gjennomgått i detalj.

De undersøkelser som ble gjennomgått i detalj ble vurdert spesielt med tanke på å kunne inkluderes i meta-analyser. Oppdatering av tidligere meta-analyser om sammenhengen mellom trafikkens gjennomsnittsfart og trafikksikkerhet er gjort ved å tilføye nye undersøkelser på regneark som allerede er utviklet.

Det er laget et nytt regneark for studier av sammenhengen mellom fartsvariasjon og trafikksikkerhet. Relevante undersøkelser er gjennomgått i kapittel 5 av rapporten.

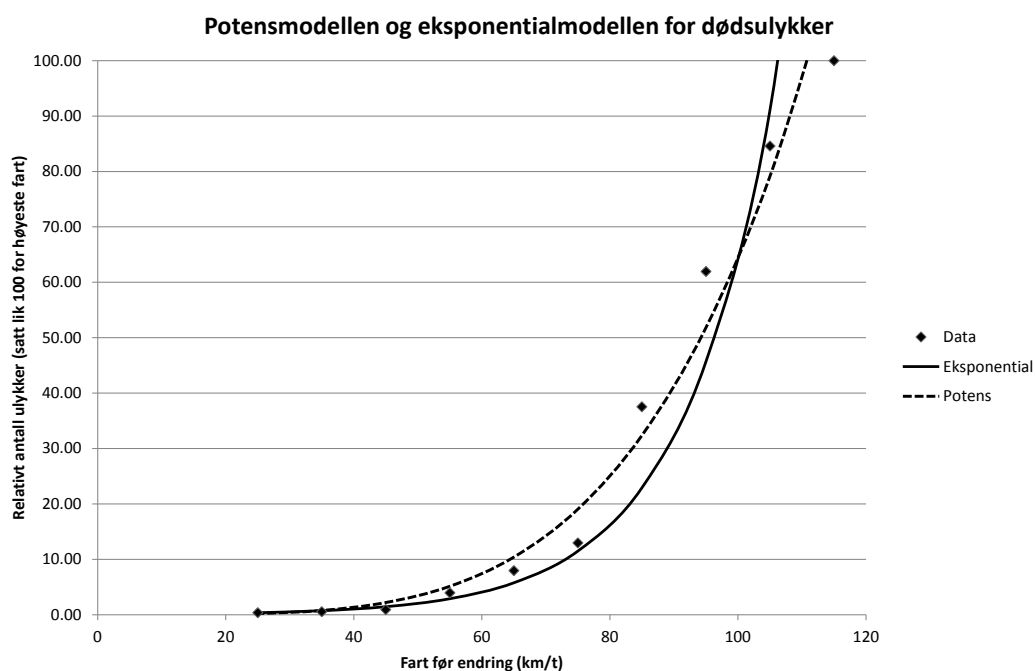
4 Trafikkens gjennomsnittsfart – nye modeller

4.1 Modeller presentert i 2013

Den første beskrivelsen av de nye eksponentialmodellene for sammenhengen mellom fart og ulykker presenterte modeller for dødsulykker, personskadeulykker og materiellskadeulykker. For å gi en samlet fremstilling av de modeller som er utviklet, gjentas presentasjonen av modellene her.

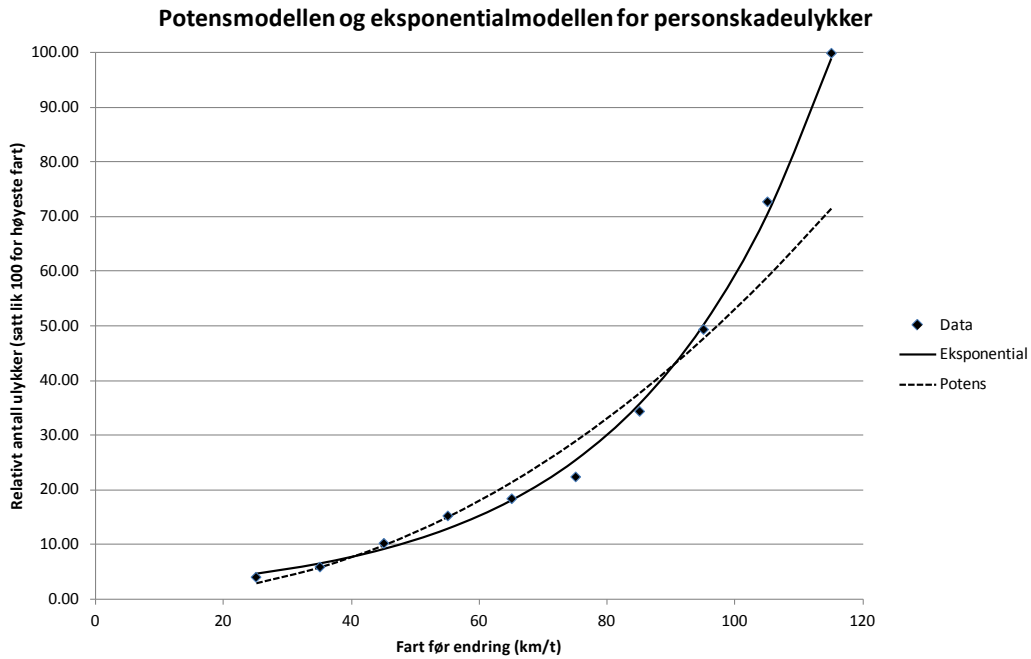
Figur 4.1 viser eksponentialmodellen føyd til antall dødsulykker, figur 4.2 viser modellen føyd til antall personskadeulykker og figur 4.3 viser modellen føyd til antall materiellskadeulykker.

I alle disse figurene er antall ulykker ved den høyeste farten satt lik 100, slik at endringene i ulykkestall kan tolkes som prosentvise endringer.

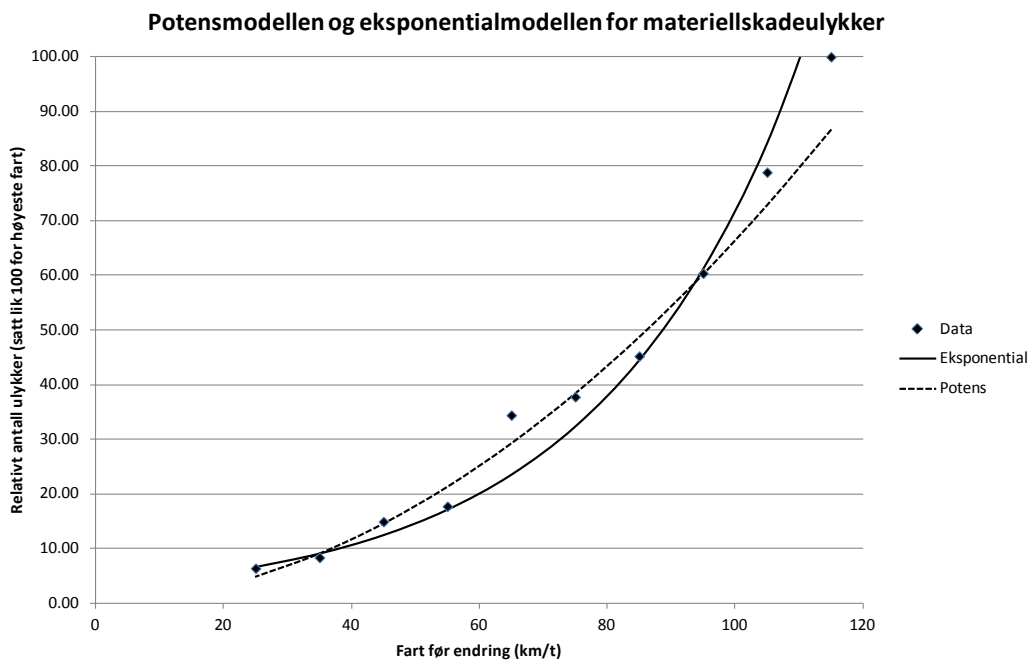


Figur 4.1: Potensmodellen og eksponentialmodellen for dødsulykker.

Eksponentialmodellen beskrives av to parametre: Konstantleddet (α) og fartsleddet (β). Av disse er fartsleddet av primær interesse. Konstantleddet bestemmer kun kurvens beliggenhet i diagrammet. Fartsleddet bestemmer kurvens krumning, det vil si hvor fort den stiger med økende fart.



Figur 4.2: Potensmodellen og eksponentialmodellen for personskadeulykker.



Figur 4.3: Potensmodellen og eksponentialmodellen for materiellskadeulykker.

Modellen ble føyd både til vektete og uvektete datapunkter. I begge tilfeller var fartsleddet for dødsulykker 0,069. For personskadeulykker var fartsleddet 0,034 (både for vektete og uvektete data). For materiellskadeulykker var fartsleddet 0,031 med uvektete data og 0,032 med vektete data.

4.2 Utvidelse og oppdatering av eksponentialmodellen

Det er ønskelig å utvikle eksponentialmodellen slik at den ikke bare omfatter ulykker, men også skadde personer fordelt på skadegradene drept, hardt skadd og lettere skadd. Når eksponentialmodellen skal utvides til drepte eller skadde trafikanter, er det viktig å legge visse logiske konsistenskrav til grunn. Disse kravene bygger i hovedsak på Potensmodellen og mønsteret i de eksponenter som er beregnet i Potensmodellen. I Potensmodellen er eksponentene for skadde eller drepte trafikanter gjennomgående høyere enn for ulykker. Forklaringen på dette er at det i gjennomsnitt er mer enn en skadet person per personskadeulykke og mer enn en drept person per dødsulykke. Endringer i fart påvirker ikke bare antallet ulykker, men også antallet skadde eller drepte per ulykke.

Samtidig kan ikke koeffisientene for skadde eller drepte personer være så mye høyere enn koeffisientene for ulykker at de impliserer mindre enn en skadet person per ulykke. Eksempelvis var det i perioden 2002-2011 i gjennomsnitt 1,11 drepte per dødsulykke. En koeffisient som innebærer at antallet drepte ved en gitt reduksjon i fart reduseres mer 1,11 ganger reduksjonen i antall dødsulykker impliserer at man kommer ned i mindre enn en drept per dødsulykke, noe som per definisjon er umulig.

Ved litteraturgjennomgangen som ble gjort for å oppdatere eksponentialmodellen ble det kun funnet et fåtall relevante undersøkelser. To svenske undersøkelser (Vägverket 2009; Larsson og Brüde 2010) undersøkte virkninger på fart, ulykker og skadde av automatisk trafikkontroll. En studie undersøkte virkninger på fart, ulykker og skadde av nye fartsgrenser i Sverige (Vadeby et al. 2012). En fransk undersøkelse (Carnis og Blais 2013) tok for seg virkningene av automatisk fartskontroll. En norsk undersøkelse (Elvik 2013) studerte virkninger av miljøfartsgrense om vinteren på hovedveger i Oslo. Endelig ble det funnet en belgisk undersøkelse (De Pauw et al. 2014) av virkninger av å redusere fartsgrensen fra 90 til 70 km/t. Fra disse undersøkelsene var det mulig å innhente 10 nye resultater for drepte og 15 nye resultater for skadde. De fleste nye resultater for skadde gjaldt hardt skadde personer.

For drepte økte antall brukbare resultater fra 40 til 50. For hardt skadde økte antall brukbare resultater fra 20 til 29. Det er gjort nye analyser for drepte og hardt skadde der Potensmodellen og eksponentialmodellen er sammenlignet. Resultatene av analysene fremgår av tabell 4.1. For å gi en fullstendig oversikt over resultater viser tabellen også resultatene av analysene presentert av Elvik (2013). For skadde personer der skadegrad ikke er oppgitt (alle skadde), foreligger det for få resultater til at det er mulig å føye modeller til dataene.

Tabell 4.1 viser at de fleste modeller føyer seg meget godt til data. Det er stort sett små forskjeller mellom Potensmodellen og eksponentialmodellen med hensyn til hvilken modell som passer best. Man kan imidlertid ikke bedømme hvor gode modellene er ved bare å sammenligne føyningsmålet (kvadrert korrelasjonskoeffisient). Det er også nødvendig å vurdere helheten i resultatene og om modellene, særlig eksponentialmodellen, i visse tilfeller gir urimelige anslag på antall ulykker eller skadde eller drepte.

Tabell 4.1: Resultater av analyser der Potensmodellen og eksponentialmodellen er sammenlignet. Koeffisienter – standardfeil i parentes.

Avhengig variabel	Type analyse	Potensmodellen			Eksponentialmodellen			
		Konstantledd	Eksponent	Føyningsgrad	Type analyse	Konstantledd	Fartsledd	Føyningsgrad
Dødsulykker	Uvektet	2,473 ⁻⁷ (0,000)	4,177 (0,293)	0,981	Uvektet	0,065 (0,021)	0,069 (0,004)	0,985
	Vektet	2,192 ⁻⁷ (0,000)	4,234 (0,587)	0,987	Vektet	0,072 (0,072)	0,069 (0,012)	0,981
Personskadeulykker	Uvektet	0,004 (0,002)	2,059 (0,140)	0,982	Uvektet	1,916 (0,165)	0,034 (0,001)	0,996
	Vektet	0,003 (0,001)	2,124 (0,062)	0,986	Vektet	1,983 (0,083)	0,034 (0,001)	0,994
Materiellskadeulykker	Uvektet	0,013 (0,005)	1,856 (0,097)	0,989	Uvektet	3,397 (0,450)	0,031 (0,002)	0,987
	Vektet	0,010 (0,003)	1,911 (0,070)	0,989	Vektet	2,928 (0,162)	0,032 (0,001)	0,992
Drepte	Uvektet	9,733 ⁻⁷ (0,000)	3,697 (0,475)	0,871	Uvektet	0,064 (0,027)	0,060 (0,005)	0,934
	Vektet	4,439 ⁻⁸ (0,000)	4,446 (0,403)	0,932	Vektet	0,055 (0,029)	0,065 (0,006)	0,932
Hardt skadde	Uvektet	1,151 ⁻⁶ (0,000)	3,802 (0,279)	0,959	Uvektet	0,098 (0,030)	0,063 (0,004)	0,969
	Vektet	1,224 ⁻⁶ (0,000)	3,795 (0,530)	0,960	Vektet	0,089 (0,048)	0,065 (0,008)	0,971
Lettere skadde	Uvektet	0,002 (0,002)	2,367 (0,218)	0,951	Uvektet	2,240 (0,688)	0,044 (0,005)	0,934
	Vektet	0,003 (0,000)	2,320 (0,018)	0,994	Vektet	2,617 (0,058)	0,039 (0,000)	0,988

Tabell 4.2 viser datagrunnlaget for dødsulykker og beregnet antall ulykker med Potensmodellen og eksponentialmodellen.

Tabell 4.2: Relativt antall dødsulykker ved ulik fart (100 ved høyeste fart) og beregnet antall ulykker med Potensmodellen og eksponentialmodellen.

Fart (km/t)	Relativt ulykkestall (data)	Føyde ulykkestall - Potensmodellen	Føyde ulykkestall - eksponentialmodellen
115	100,0	116,4	181,6
105	84,6	79,2	91,1
95	62,0	51,8	45,7
85	37,5	32,4	22,9
75	13,0	19,1	11,5
65	8,0	10,4	5,8
55	4,0	5,1	2,9
45	0,9	2,2	1,5
35	0,6	0,8	0,7
25	0,4	0,2	0,4
Sum ulykker	310,8	317,4	363,9
Føyningsgrad		0,987	0,985

Tabell 4.2 viser at de to modellene har omtrent samme verdi for føyningsgrad. Likevel er det åpenbart at eksponentialmodellen i dette tilfellet passer dårligere enn Potensmodellen. Den predikerer et altfor høyt ulykkestall (17 prosent høyere enn data). Videre er prediksjonen langt unna den riktige verdien for enkelte datapunkter. Ved fart 115 km/t overpredikeres ulykkestallet med nesten 82 prosent.

For å vurdere hvor godt eksponentialmodellen predikerer antall ulykker, er derfor fire egenskaper ved prediksjonene undersøkt nærmere:

1. Totalt predikert ulykkestall. Dette bør ikke avvike mye fra faktisk ulykkestall.
2. Absolutt prediksjonsfeil. For farten 105 km/t er den absolutte prediksjonsfeilen for eksponentialmodellen i tabell 4.2 $|84,6 - 91,1| = 6,5$. Alle avvik er regnet som positive for å unngå at positive og negative avvik utligner hverandre.
3. Relativ prediksjonsfeil. For farten 115 km/t er relativ prediksjonsfeil for eksponentialmodellen i tabell 4.2 81,6 prosent. Feilen regnes i prosent av datapunktets verdi (100). Alle relative prediksjonsfeil er regnet med positivt fortegn og gjennomsnittet av dem regnet ut.
4. Total føyningsgrad. Dette er den kvadrerte korrelasjonskoeffisienten, i tabell 4.2 oppgitt til 0,985 for eksponentialmodellen.

Modellkoeffisientene i eksponentialmodellen er vurdert på bakgrunn av disse kriteriene og forsøksvis justert dersom dette kan bedre prediksjonene ifølge minst to av de fire kriteriene uten å forverre dem betydelig ifølge de to andre. Resultatene av justeringene fremgår av tabell 4.3. Tabellen inneholder også koeffisienter for personskadeulykker. Disse er ikke justert.

Tabell 4.3: Justering av koeffisienter i eksponentialmodellen ut fra kriterier for hvor gode prediksjoner modellen gir

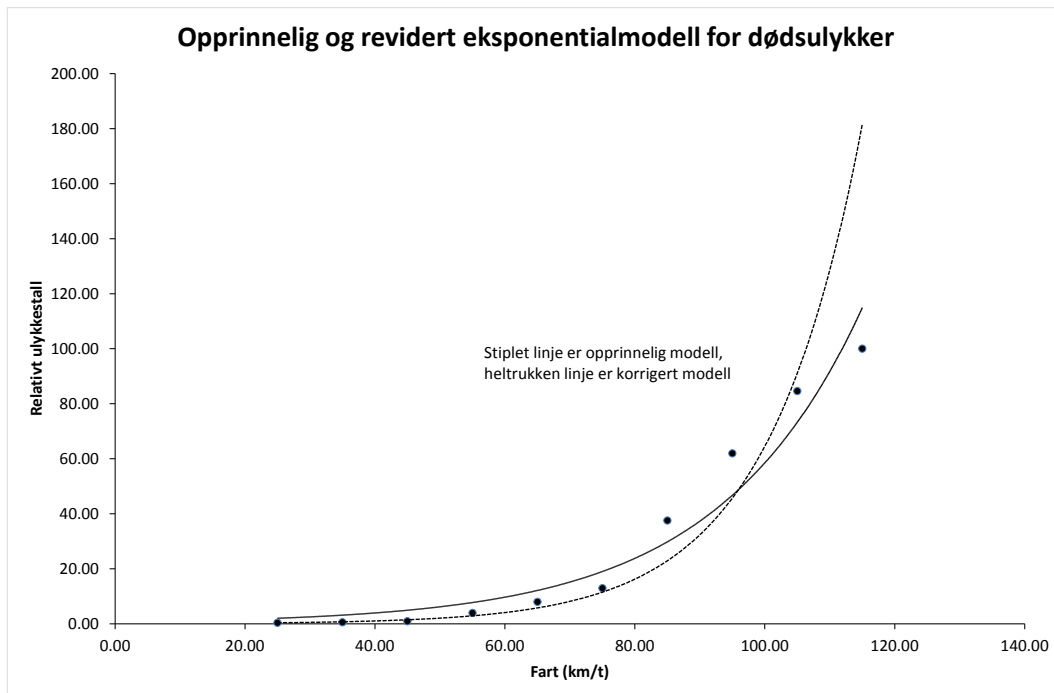
Gruppe	Opprinnelig eksponentialmodell		Revidert eksponentialmodell	
	Koeffisienter	Modellkvalitet	Koeffisienter	Modellkvalitet
Dødsulykker (#)	Konstant: 0,065 Fartsledd: 0,069	Føyningsgrad = 0,985 Totalt predikert ulykkestall = +17,1 % Absolutt prediksjonsfeil (sum) = 124,4 Gjennomsnittlig relativ prediksjonsfeil = 31,1 %	Konstant: 0,650 Fartsledd: 0,045	Føyningsgrad = 0,943 Totalt predikert ulykkestall = +0,9 % Absolutt prediksjonsfeil (sum) = 71,4 Gjennomsnittlig relativ prediksjonsfeil = 162,8 %
Personskadeulykker (§)	Konstant: 1,983 Fartsledd: 0,034	Føyningsgrad = 0,994 Totalt predikert ulykkestall = -0,4 % Absolutt prediksjonsfeil (sum) = 13,4 Gjennomsnittlig relativ prediksjonsfeil = 7,5 %	Konstant: 1,983 Fartsledd: 0,034	Føyningsgrad = 0,994 Totalt predikert ulykkestall = -0,4 % Absolutt prediksjonsfeil (sum) = 13,4 Gjennomsnittlig relativ prediksjonsfeil = 7,5 %
Drepte	Konstant: 0,064 Fartsledd: 0,060	Føyningsgrad = 0,934 Totalt predikert ulykkestall = +8,9 % Absolutt prediksjonsfeil (sum) = 73,4 Gjennomsnittlig relativ prediksjonsfeil = 48,6 %	Konstant: 0,0333 Fartsledd: 0,065	Føyningsgrad = 0,904 Totalt predikert ulykkestall = -0,0 % Absolutt prediksjonsfeil (sum) = 78,9 Gjennomsnittlig relativ prediksjonsfeil = 41,6 %
Hardt skadde	Konstant: 0,089 Fartsledd: 0,065	Føyningsgrad = 0,971 Totalt predikert ulykkestall = +26,6 % Absolutt prediksjonsfeil (sum) = 113,0 Gjennomsnittlig relativ prediksjonsfeil = 28,9 %	Konstant: 0,106 Fartsledd: 0,061	Føyningsgrad = 0,947 Totalt predikert ulykkestall = -0,4 % Absolutt prediksjonsfeil (sum) = 69,3 Gjennomsnittlig relativ prediksjonsfeil = 26,0 %
Lettere skadde	Konstant: 2,617 Fartsledd: 0,039	Føyningsgrad = 0,988 Totalt predikert ulykkestall = -19,2 % Absolutt prediksjonsfeil (sum) = 93,4 Gjennomsnittlig relativ prediksjonsfeil = 19,7 %	Konstant: 7,400 Fartsledd: 0,028	Føyningsgrad = 0,878 Totalt predikert ulykkestall = -0,7 % Absolutt prediksjonsfeil (sum) = 95,1 Gjennomsnittlig relativ prediksjonsfeil = 56,2 %

(#) Den justerte modellen for dødsulykker kan predikere mindre enn 1 drept per dødsulykke. Modellen vil ikke bli benyttet. Kun modellen for drepte vil bli benyttet. Dødsulykker har det mest sammensatte skadebildet av alle ulykker i trafikken, siden de i tillegg til drepte kan ha en eller flere hardt skadde og en eller flere lettere skadde. Sammenhengen mellom fart og antall dødsulykker kan derfor være mer uryddig enn sammenhengen mellom fart og antall drepte.

(§) Modellen for personskadeulykker er ikke justert, men er inkludert i tabellen for fullstendighetens skyld.

4.3 Korrigerte eksponentialmodeller

Tabell 4.3 viser at fire av eksponentialmodellene er justert. Den justerte modellen for dødsulykker predikerer totalt antall ulykker bedre enn den opprinnelige modellen. Den har også mindre absolutte prediksjonsfeil. Føyningsgrad og gjennomsnittlig prosentvis prediksjonsfeil er derimot dårligere enn i den opprinnelige modellen. Figur 4.4 viser den opprinnelige og korrigerte modellen føyd til datapunktene.



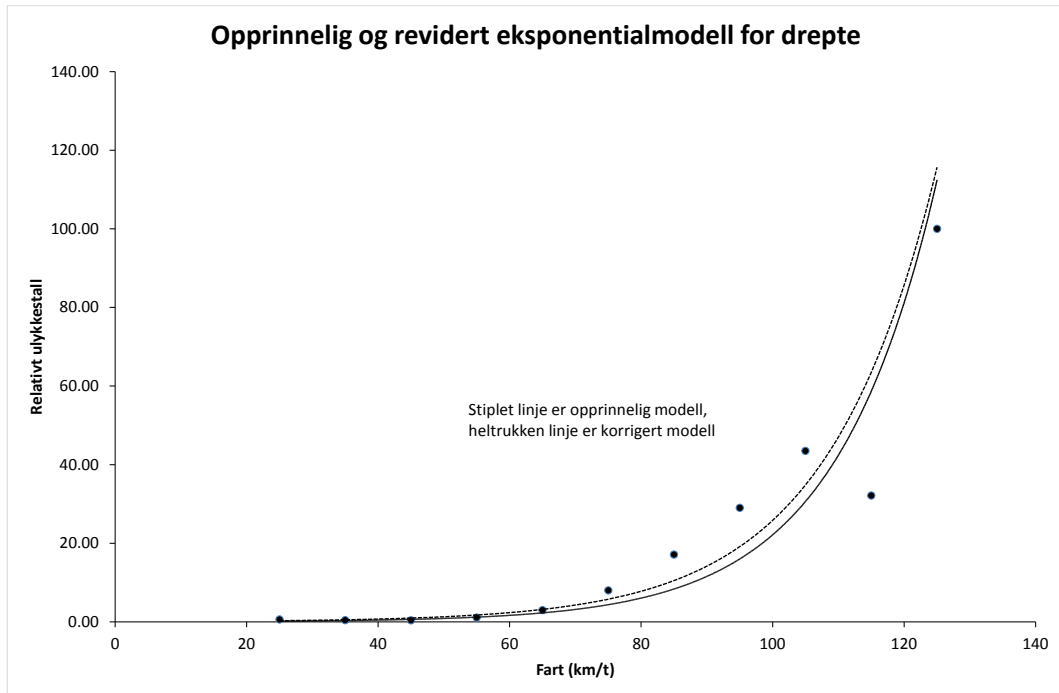
Figur 4.4: Opprinnelig og korrigert eksponentialmodell for dødsulykker.

Den korrigerte eksponentialfunksjonen er flatere enn den opprinnelige. De største prosentvise feilprediksjonene forekommer ved lav fart og lave ulykkestall.

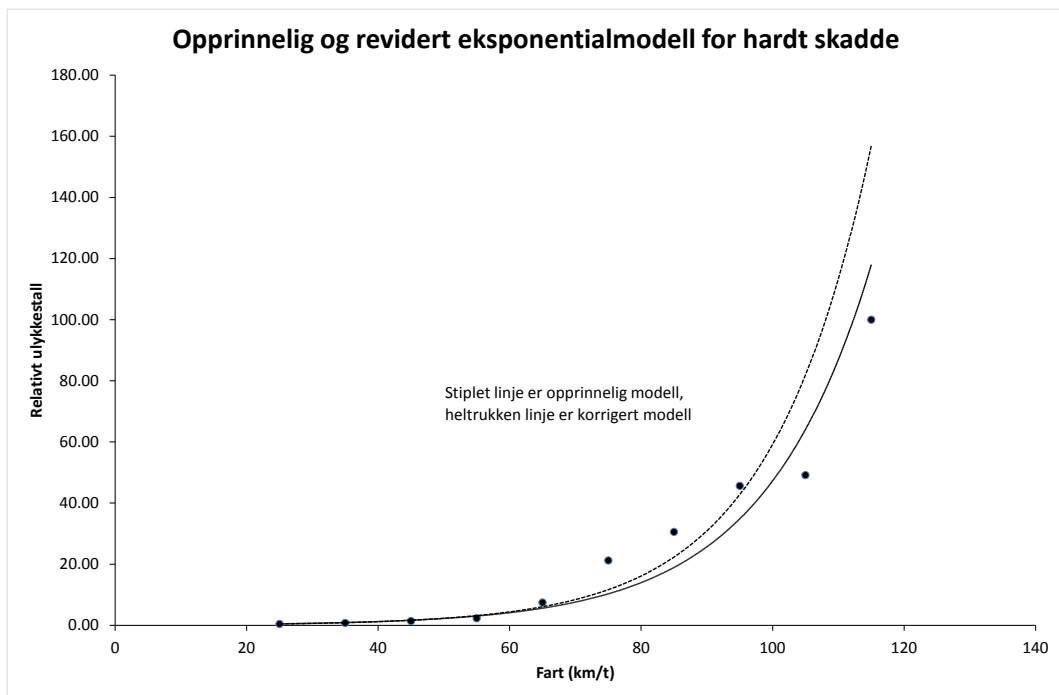
Figur 4.5 viser den opprinnelige og korrigerte modellen for antall drepte. De to modellene ligger ganske nær hverandre, men den korrigerte modellen er bedre enn den opprinnelige med hensyn på totalt predikert antall drepte og gjennomsnittlig prosent feilprediksjon.

Figur 4.6 viser den opprinnelige og korrigerte modellen for hardt skadde. Den korrigerte modellen viser noe mindre stigning enn den opprinnelige og er bedre med hensyn til totalt predikert antall skadde, summen av absolutte avvik og gjennomsnittlig prosentvis prediksjonsfeil. Den korrigerte modellen er med andre ord bedre enn den opprinnelige med hensyn til tre av de fire egenskaper som vurderes.

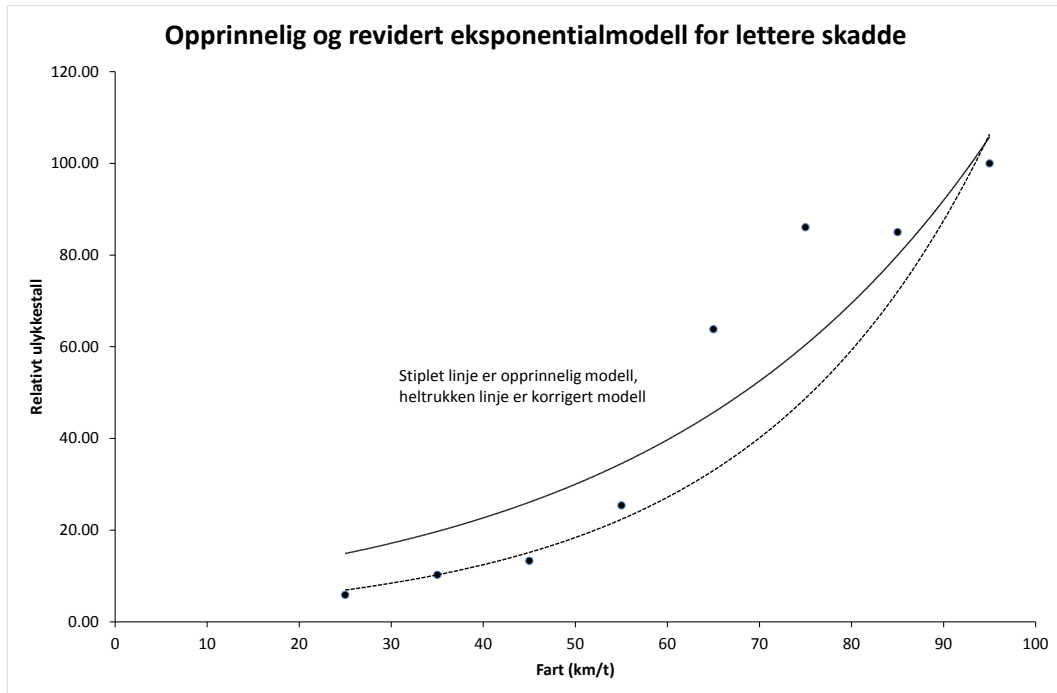
Figur 4.7 viser den opprinnelige og korrigerte modellen for lettere skadde. Datapunktene viser her stor spredning og et noe uregelmessig mønster. Den korrigerte modellen viser en flatere kurve enn den opprinnelige. Dette er logisk, da det må antas at virkningen av endringer i fart på antall lettere skadde er mindre enn på personskadeulykker totalt (fartsledd 0,028 mot 0,034).



Figur 4.5: Opprinnelig og korrigert eksponentialmodell for drepte.



Figur 4.6: Opprinnelig og korrigert eksponentialmodell for hardt skadde.



Figur 4.7: opprinnelig og korrigert eksponentialmodell for lettere skadde.

5 Spredning i fart – teori og modeller

Dette kapitlet gjennomgår undersøkelser om sammenhengen mellom variasjon i fart og trafikksikkerhet. Innledningsvis vil det bli skilt mellom tre måter variasjon i fart kan oppstå på. I litteraturgjennomgangen vil litteraturen bli sortert etter kilde til fartsvariasjon. Før litteraturgjennomgangen vil noen begreper som beskriver variasjon i fart bli drøftet.

5.1 Hvordan oppstår spredning i fart?

Spredning i fart kan oppstå på tre hovedmåter. Den første er gjennom føreres frie valg av fart. På en veg der trafikken tillater førerne å velge fart fritt, vil man finne at ulike førere velger ulik fart. Når man måler farten på kjøretøy som passerer et snitt av vegen i løpet av en viss periode, vil man derfor se at farten på de passerte kjøretøyene varierer fra kjøretøy til kjøretøy.

Fritt valg av fart er per definisjon upåvirket av annen trafikk. Når ulike førere fritt velger ulik fart, fører dette derfor ikke nødvendigvis til konflikter mellom kjøretøy som holder ulik fart. Først når en fører som har valgt en høyere fart enn en annen fører innhenter den føreren som holder lavere fart, kan det oppstå en konfliktsituasjon. Variasjon i fritt valgt fart er ikke undersøkt i denne rapporten.

Den andre måten spredning i fart kan oppstå på, er ved at ulike typer kjøretøy har ulike fartsressurser. Det vil ofte være slik at tunge kjøretøy ikke kan holde samme fart som lette kjøretøy, spesielt ikke i stigninger. Dette fører til forskjell i fart mellom lette og tunge kjøretøy. I gjennomgangen av begreper som beskriver spredning i fart nedenfor omtales forskjell i fart mellom lette og tunge kjøretøy som fartsforskjell.

Den tredje måten spredning i fart kan oppstå på, er gjennom samspill mellom kjøretøy i en trafikkstrøm. Jo tettere trafikken blir, desto lavere blir som regel farten. I køer kan trafikken gå i rykk og napp, noe som innebærer at farten varierer mye og at førere som vil holde følge med køen ofte må endre fart. Denne typen fartsvariasjon kan beskrives på flere måter, men i gjennomgangen av begreper i neste avsnitt konkluderes det med at variasjonskoeffisienten, det vil si standardavviket i fartsfordelingen dividert med gjennomsnittsfarten trolig er det best egnede målet.

5.2 Noen begreper som beskriver spredning i fart

Det kan innledningsvis være nyttig å gjennomgå en del begreper som brukes til å beskrive spredning i fart og presisere hvilke former for spredning i fart denne rapporten konsentrerer seg om. Følgende begrep har vært brukt i litteraturen om spredning i fart:

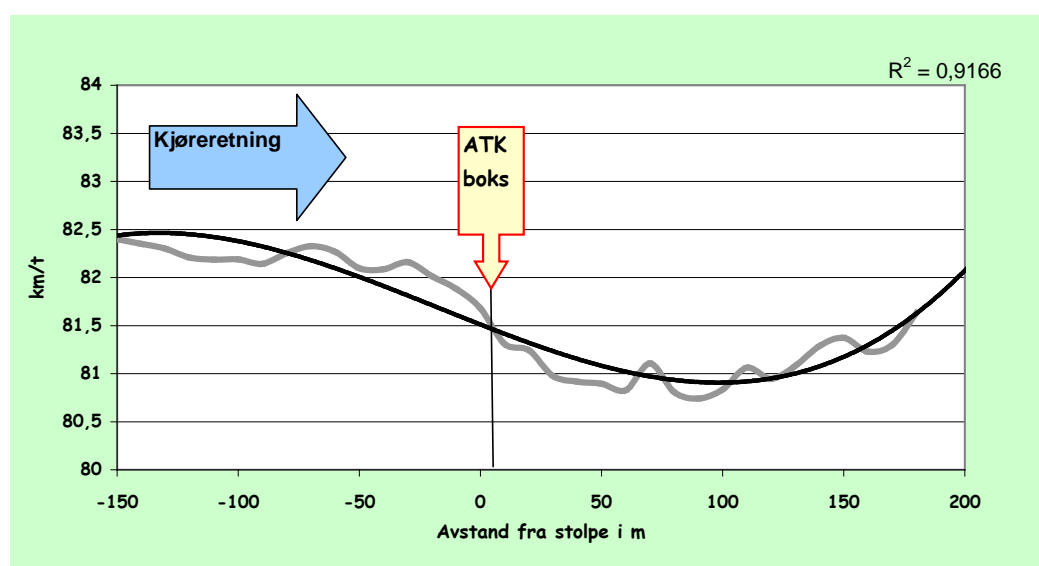
- Fartsavvik
- Fartsprofil
- Variasjon i fartsprofil

- Fartsforskjell
- Standardavvik i fartsfordeling
- Variasjonskoeffisient

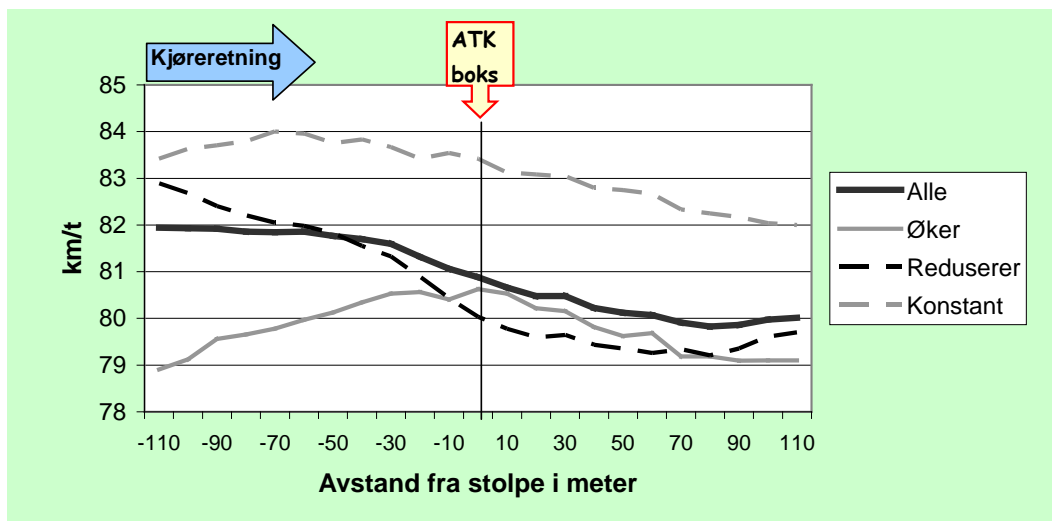
Fartsavvik betegner forskjell i fart mellom kjøretøy som er innblandet i ulykker og kjøretøy som ikke er innblandet i ulykker. Fartsavvik ble første gang studert av Solomon (1964), som fant at kjøretøy innblandet i ulykker hadde en tendens til både å holde lavere fart og høyere fart enn kjøretøy som ikke var innblandet i ulykker. En rekke tilsvarende undersøkelser ble senere gjort, senest to australske undersøkelser (Kloeden et al. 1997, 2001). Bortsett fra de australske undersøkelsene, fant alle undersøkelser en U-kurve som lignet den Solomon hadde funnet. Undersøkelsene i denne tradisjonen hadde alle betydelige metodeproblemer. Det kan vises at undersøkelsene ikke har noen implikasjoner for sammenhengen mellom spredning i en fartsfordeling og ulykkesrisiko, slik mange feilaktig har trodd (Davis 2002). Forskningstradisjonen som ble startet av Solomon er i dag forlatt. De siste undersøkelser som benyttet denne tilnærmingen er de australske undersøkelsene fra rundt år 2000.

Fartsprofil betegner endringer i et kjøretøys fart over en gitt vegstrekning. Figur 5.1 viser et eksempel på at fartsprofil, hentet fra en undersøkelse om virkninger av automatisk trafikkontroll (ATK) på fart (Ragnøy 2002). Kjøretøyet begynner å senke farten cirka 100-50 meter før ATK-boksen. Farten når et minimum cirka 100 meter etter passering av ATK-boksen og øker deretter igjen.

Ulike kjøretøy kan ha ulike fartsprofiler. *Variasjon i fartsprofiler* fremkommer ved å sammenligne fartsprofilene til ulike kjøretøy på en gitt strekning på samme veg. I studien av virkninger av ATK på fart ble 117 fartsprofiler analysert og tre typiske profiler ble identifisert blant disse 117. Disse tre profilene er vist i figur 5.2. Det øverste av de tre profilene viser kjøretøy som holdt tilnærmet jevn fart. Det midterste (stiplet linje) viser kjøretøy som senket farten og fortsatte med lavere fart. Nederste profil viser kjøretøy som økte farten inn mot ATK-boksen. Den tykke heltrukne streken er gjennomsnittet av de tre fartsprofilene.



Figur 5.1: Eksempel på et fartsprofil nær en ATK-boks. Profil beskrevet ved glattet kurve. Kilde: Ragnøy 2002, figur 12.

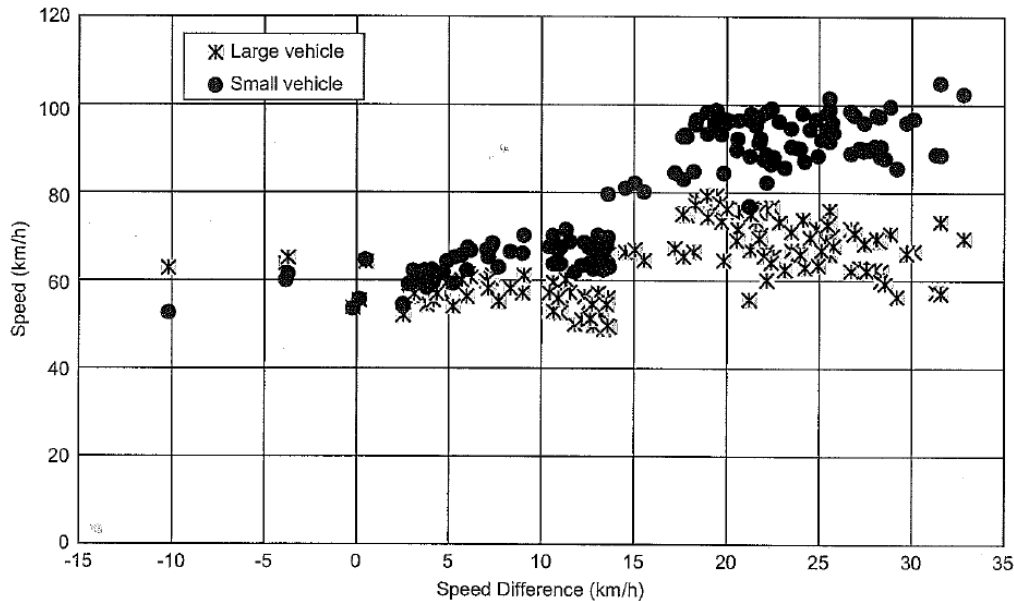


Figur 5.2: Tre hovedgrupper av fartsprofiler ved passering av en ATK-boks. Kilde: Ragnøy 2002, figur 13.

Kjøretøy som har ulike fartsprofiler kan passere vegstrekningen profilene gjelder for på ulike tidspunkt og kommer derfor ikke nødvendigvis i konflikt med hverandre selv om de holder ulik fart. Det er krevende å samle inn data for å konstruere fartsprofiler. Dette gjøres derfor relativt sjelden og man finner få studier av fartsprofiler og variasjon i fartsprofiler i litteraturen. Av denne grunn vil fartsprofiler og variasjon i disse ikke bli nærmere studert i denne rapporten.

Fartsforskjell betegner forskjell i fart mellom ulike typer kjøretøy eller mellom trafikkstrømmer i ulike kjørefelt. Det er, for eksempel, ikke uvanlig at trafikk i venstre felt på flerfeltsveger holder høyere fart enn trafikk i høyre felt. Så lenge trafikkstrømmene som holder ulik fart ikke blandes, representerer fartsforskjeller ikke nødvendigvis en kilde til økt risiko. Men kjøretøy med ulik fart vil ofte ferdes på samme veg og da kan fartsforskjellene føre til konflikter som ellers ikke ville ha oppstått.

Figur 5.3 viser et eksempel på fartsforskjeller på en motorveg nær Beijing i Kina (Chen et al. 2007). De svarte prikkene viser farten til lette kjøretøy, de grå stjernene viser farten til tunge kjøretøy. Fartsforskjellen mellom lette og tunge kjøretøy er avsatt på den vannrette akse



Figur 5.3: Eksempel på fartsforskjell mellom lette og tunge kjøretøy, Jingjintang Expressway, Kina. Kilde: Chen et al. 2007.

Når lette kjøretøy (øverst i figuren) oppnår en fart på 80 km/t eller mer, øker fartsforskjellene til mer enn 20 km/t. Dette skyldes at de tunge kjøretøyene ikke oppnår en høyere fart enn cirka 80 km/t. I studien anbefales et påbud om at tunge kjøretøy benytter høyre felt, slik at venstre felt ikke blokkeres av tunge kjøretøy som prøver å kjøre forbi andre tunge kjøretøy.

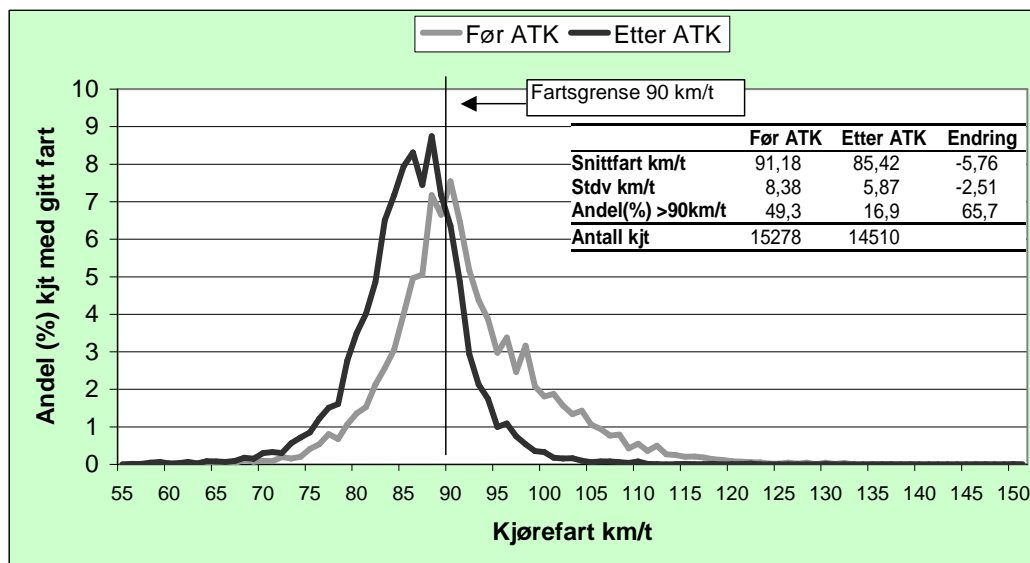
Standardavviket i en fartsfordeling er det vanligste målet på spredning i fart.

Standardavviket beregnes vanligvis på grunnlag av variasjonen i fart på kjøretøy som passerer et målepunkt på en veg. Figur 5.4 viser eksempler på to fartsfordelinger der standardavviket er beregnet. De to fordelingene gjelder fart før og etter at ATK ble innført. Gjennomsnittsfarten ble redusert fra 91,18 til 85,42 km/t. Standardavviket ble redusert fra 8,38 til 5,87 km/t. Farten etter at ATK ble satt opp er tilnærmet normalfordelt. Fartsfordelingen før ATK ble satt opp var litt skjev, med en hale mot høye farter. De høyeste fartene er mest redusert etter at ATK ble satt opp. Dette er hovedgrunnen til at standardavviket i fartsfordelingen er redusert.

Variasjonskoeffisienten er forholdstallet mellom standardavvik og gjennomsnitt:

$$\text{Variasjonskoeffisient} = \frac{\text{Standardavvik}}{\text{Gjennomsnitt}}$$

I perioden før ATK var variasjonskoeffisienten $8,38/91,18 = 0,092$. I perioden etter ATK var variasjonskoeffisienten $5,87/85,42 = 0,069$. I gjennomgangen av litteratur om fartsvariasjon i en trafikkstrøm i avsnitt 5.5 brukes variasjonskoeffisienten som mål på fartsvariasjon.



Figur 5.4: Gjennomsnitt og standardavvik i to fartsfordelinger. Kilde: Ragnøy 2002, figur 7.

5.3 Valg av mål på fartsspredning i empiriske undersøkelser

Når man skal studere sammenhengen mellom fartsspredning og trafikksikkerhet, er variasjonskoeffisienten det best egnede mål på fartsspredning. Det er også det mest benyttede mål i nyere forskning om fartsspredning. Hvorfor variasjonskoeffisienten normalt egner seg bedre enn standardavviket vil bli forklart ved hjelp av data fra en kinesisk undersøkelse (Hou et al. 2010).

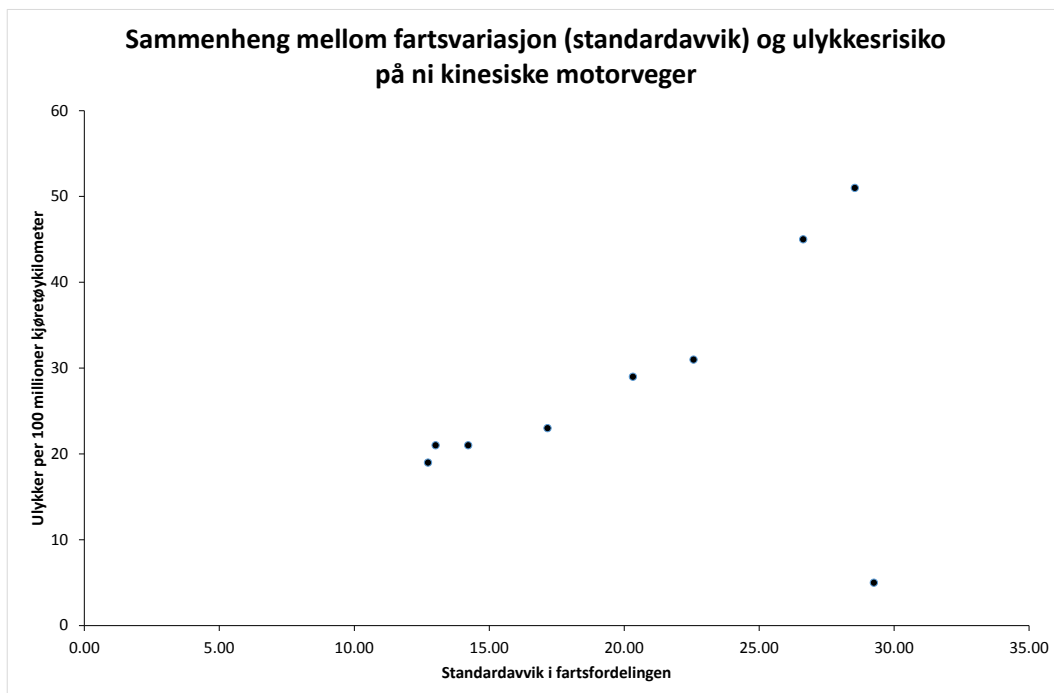
Tabell 5.1 viser data om gjennomsnittsfart, standardavvik i fartsfordelingen, variasjonskoeffisient og antall ulykker per 100 millioner kjøretøykilometer for ni motorveger i Kina (Hou et al. 2010). Tabellen viser stor variasjon både i gjennomsnittsfart og standardavvik i fartsfordelingen. Figur 5.5 viser sammenhengen mellom standardavvik i fartsfordelingen og ulykkesrisiko på de ni vegene. Figur 5.5 viser at det, bortsett fra et åpenbart avvikende datapunkt nederst til høyre i figuren, er en klar positiv sammenheng mellom standardavviket i fartsfordelingen og ulykkesrisiko: Jo høyere standardavvik, desto høyere ulykkesrisiko.

Figur 5.6 viser den samme sammenhengen, men denne gangen mellom trafikkenes gjennomsnittsfart og ulykkesrisiko. Figur 5.6 viser praktisk talt det samme mønster som figur 5.5. Jo høyere gjennomsnittsfart, desto høyere ulykkesrisiko. Ulykkesrisikoen ser med andre ord ut til å ha en positiv sammenheng både med fartsspredning og gjennomsnittsfart.

Problemet med figurene 5.5 og 5.6 er at gjennomsnittsfart og spredning i fart er høyt korrelert. Når ulykkesrisikoen øker med økende standardavvik i fartsfordelingen, skyldes dette derfor delvis av standardavviket er høyt når gjennomsnittsfarten er høy. På samme måte er det slik at når ulykkesrisikoen øker med økende gjennomsnittsfart, øker også standardavviket i fartsfordelingen.

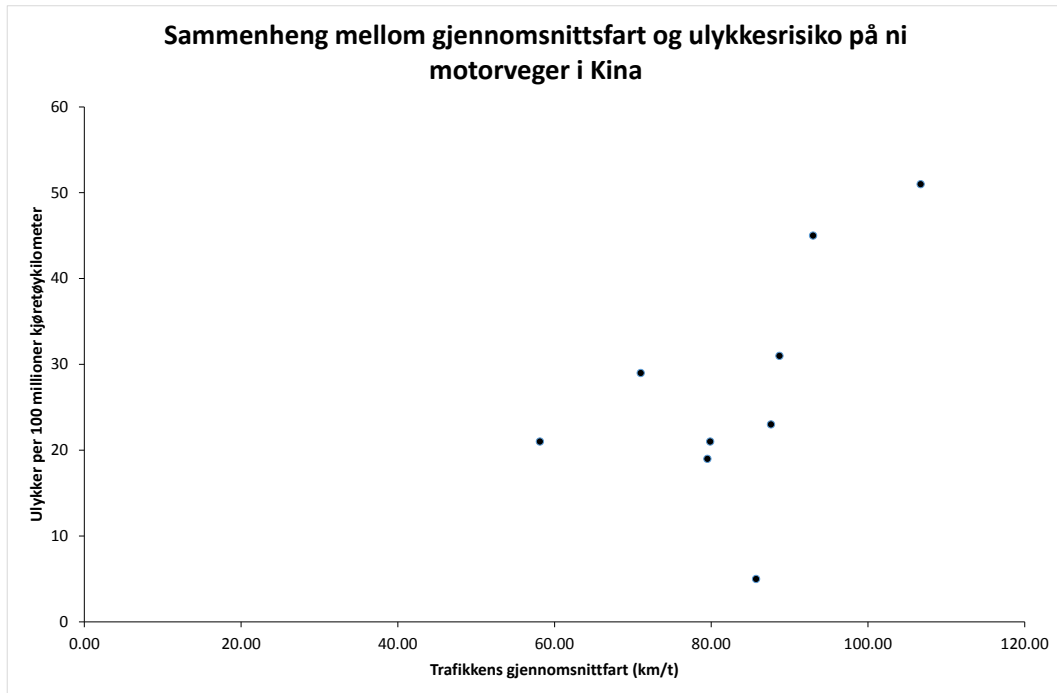
Tabell 5.1: Gjennomsnittsfart, standardavvik i fartsfordeling og ulykker per 100 millioner kjøretøykilometer på ni motorveger i Kina. Kilde: Hou et al. 2010.

Vegnummer	Gjennomsnitt (km/t)	Standardavvik (km/t)	Variasjonskoeffisient	Ulykker per 100 millioner kjøretøykilometer
1	87,61	17,16	0,196	23
2	71,00	20,32	0,286	29
3	58,13	13,01	0,224	21
4	93,00	26,63	0,286	45
5	79,86	14,22	0,178	21
6	79,50	12,73	0,160	19
7	88,70	22,57	0,254	31
8	85,71	29,25	0,341	5
9	106,72	28,54	0,267	51



Figur 5.5: Sammenheng mellom standardavvik i fartsfordeling og ulykkesrisiko på ni motorveger i Kina. Kilde: Hou et al. 2010.

Korrelasjonen mellom gjennomsnittsfart og standardavvik kan beregnes til 0,699. Det betyr at i enkle bivariate analyser som vist i figurene 5.5 og 5.6 er det umulig å skille effektene av fartsnivå og fartsspredning fra hverandre. Figur 5.5 viser virkninger både av gjennomsnittsfart og spredning i fart. Det samme gjelder figur 5.6.



Figur 5.6: Sammenheng mellom trafikkens gjennomsnittsfart og ulykkesrisiko på ni motorveger i Kina. Kilde: Hou et al. 2010.

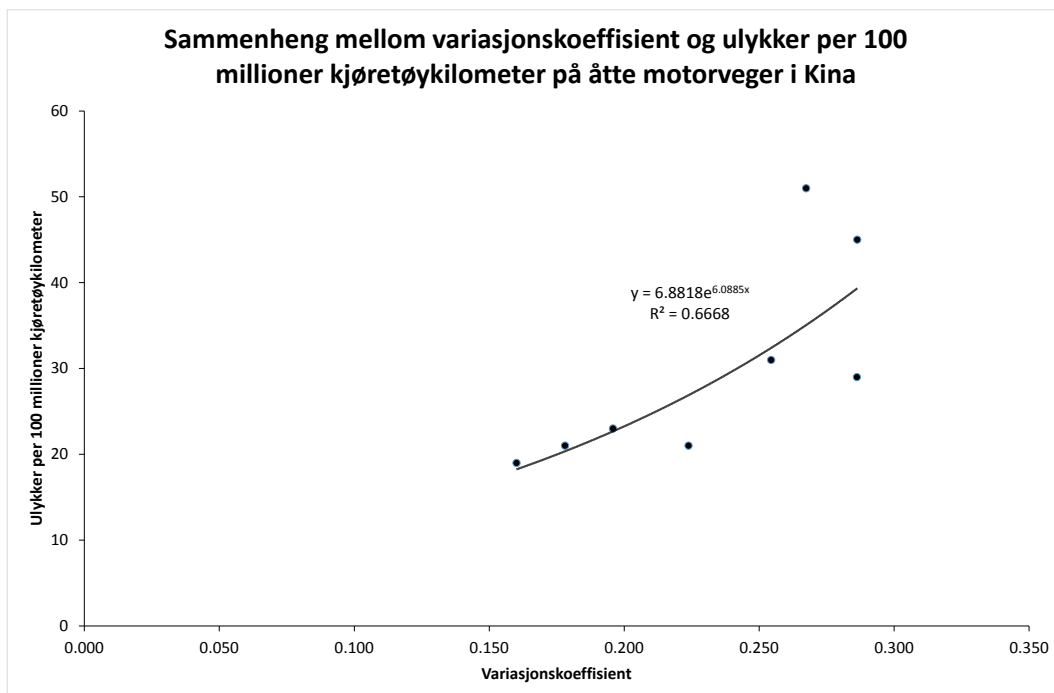
Ved å beregne variasjonskoeffisienten kan korrelasjonen mellom gjennomsnittsfart og spredning i fart langt på veg elimineres. Man normaliserer på denne måten spredningen i fart ved å beregne den som andel av gjennomsnittsfarten. Selv om det er en perfekt korrelasjon mellom gjennomsnittsfart og spredning i fart, vil det være null korrelasjon mellom gjennomsnittsfart og variasjonskoeffisient. Betrakt for eksempel tallrekkene nedenfor:

Gjennomsnittsfart (km/t)	Standardavvik (km/t)	Variasjonskoeffisient
10	1	0,1
20	2	0,1
30	3	0,1
40	4	0,1
50	5	0,1
60	6	0,1
70	7	0,1
80	8	0,1
90	9	0,1
100	10	0,1

Her er korrelasjonen mellom gjennomsnittsfart og standardavvik lik 1. Korrelasjonen mellom gjennomsnittsfart og variasjonskoeffisient er lik 0. I talleksemplet er variasjonskoeffisienten konstant. Da er det ikke mulig å påvise en sammenheng mellom den og ulykkestall. I praksis vil imidlertid variasjonskoeffisienten variere. Når

det gjelder de ni motorvegene i Kina, se tabell 5.1, varierte variasjonskoeffisienten mellom 0,16 og 0,34. Standardavviket varierte mellom 12,7 og 29,5. Korrelasjonen mellom variasjonskoeffisienten og gjennomsnittsfart for de ni kinesiske motorvegene var 0,244, som er mye lavere enn korrelasjonen mellom gjennomsnittsfart og standardavvik som var 0,699.

Figur 5.7 viser sammenhengen mellom variasjonskoeffisient og antall ulykker per 100 millioner kjøretøykilometer for de kinesiske motorvegene. Det avvikende datapunktet (nederst til høyre i figurene 5.5 og 5.6) er utelatt. Kun åtte motorveger inngår derfor.



Figur 5.7: Sammenheng mellom variasjonskoeffisient og ulykker per 100 millioner kjøretøykilometer på åtte kinesiske motorveger. Kilde: Hou et al.2010.

Figur 5.7 viser en klar sammenheng mellom variasjonskoeffisient og ulykkesrisiko. Det er likevel neppe riktig å konkludere med at denne sammenhengen i sin helhet forklares av fartsvariasjonen. Veger der farten varierer mye kan ha andre egenskaper som påvirker ulykkesrisikoen enn veger der farten varierer lite. Det kan for eksempel tenkes at det er krappere kurver på veger der farten varierer mye. Krappe kurver kan bidra til økt ulykkesrisiko. Det er derfor i det hele tatt tvilsomt om man kan komme fram til holdbare resultater ved å sammenligne ulykkesrisiko på ulike veger. Ideelt sett bør man da kontrollere for alt som påvirker ulykkesrisikoen på de vegene man sammenligner. I praksis er det ikke mulig. Omtrent alle nyere undersøkelser om sammenhengen mellom fartsvariasjon og trafikkssikkerhet begrenser seg derfor til å studere en bestemt veg. Da har man full kontroll over vegens egenskaper og unngår problemet med å sammenligne veger som er ulike med hensyn til faktorer som kan påvirke antall ulykker.

For å gi en innføring i logikken i nyere undersøkelser om sammenhengen mellom fartsvariasjon og ulykkesrisiko, vil et datasett fra et nivå 1 tellepunkt på E6 ved Manglerud i Oslo bli brukt som eksempel. Det understrekes at dette kun er et

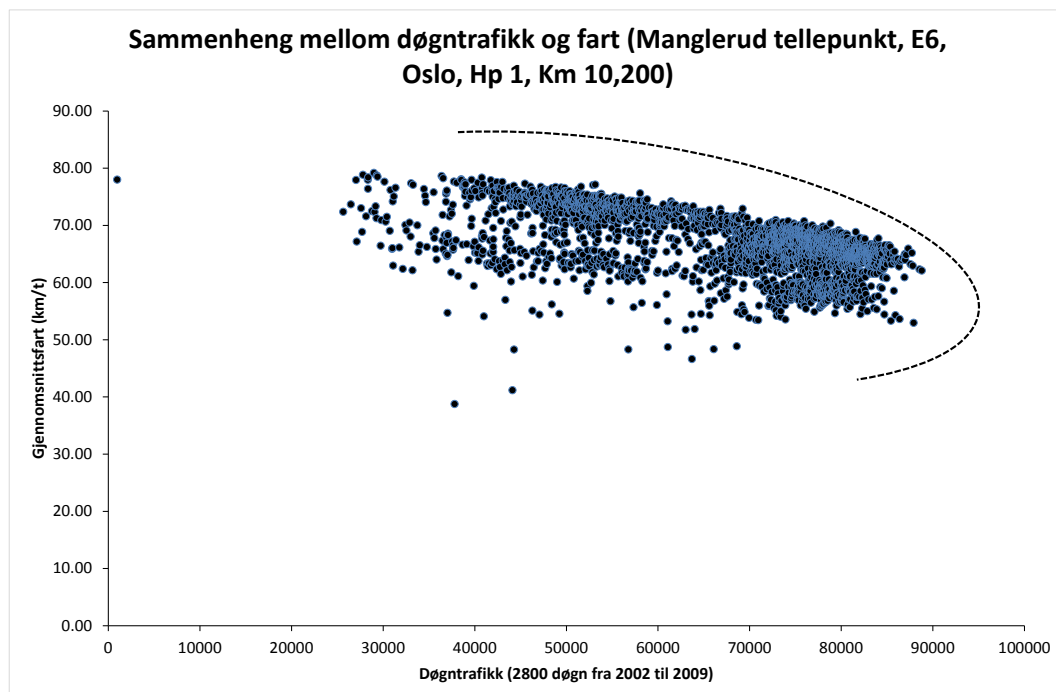
eksempel og ikke er ment som en analyse av sammenhengen mellom fartsvariasjon og trafikksikkerhet. Det er bare ment å illustrere logikken i slike analyser og den type data de bygger på.

5.4 Datagrunnlag og tilnæringsmåte i nyere studier av fartsvariasjon og trafikksikkerhet

Hovedvegene er i de fleste land utstyrt med induktive sløyfer plassert på visse steder. Disse sløyfene registrerer alle kjøretøypasseringer. Data fra sløyfene gjør det mulig å beregne det enkelte kjøretøys fart, hvilket kjørefelt kjøretøyet benyttet, kjøretøyets lengde, og avstanden (i tid og/eller meter) mellom kjøretøy som kjører etter hverandre i en trafikkstrøm. Dersom slike sløyfer er utplassert med kort avstand, og data fra dem lagres med høyt oppløsningsnivå, gjør data fra sløyfene det i prinsippet mulig å rekonstruere trafikken minutt-for-minutt, kjørefelt-for-kjørefelt, hele døgnet, hele året. Man kan da få en meget detaljert beskrivelse av trafikktilstanden i en kortere eller lengre periode før det skjedde en ulykke.

De data som her brukes som eksempel har et mye grovere oppløsningsnivå enn det som i prinsippet er mulig. Det er likevel egnet til å vise en del grunnleggende poenger.

Figur 5.8 viser sammenhengen mellom døgntrafikk og gjennomsnittsfart over døgnet for 2.800 døgn fra 2002 til 2009 ved Manglerud tellepunkt på E6 i Oslo. Dataene ble samlet inn som ledd i en undersøkelse om virkninger på ulykkene av redusert bruk av piggdekk i de største byene i Norge (Elvik og Kaminska 2011).



Figur 5.8: Sammenhengen mellom døgntrafikk og gjennomsnittsfart over døgnet i 2800 døgn ved Manglerud tellepunkt på E6 i Oslo.

Man kan øyne en tendens til at gjennomsnittsfarten synker når døgntrafikken øker. Det er tegnet en stiptet konturlinje rundt datapunktene som indikerer denne tendensen. For hvert døgn er det kun registrert en verdi for trafikkmengde og en verdi for gjennomsnittsfart. Man kan likevel se av figur 5.8 at det er variasjon i fart mellom ulike døgn som hadde tilnærmet samme trafikkmengde. Ved en døgntrafikk på, for eksempel, cirka 60.000, varierte farten mellom cirka 48 km/t og cirka 74 km/t.

For å kunne studere om det er noen sammenheng mellom disse fartsvariasjonene og ulykker, er det gjort en antakelse om at trafikforholdene ved tellepunktet er representative for trafikken inntil 500 meter i hver retning fra tellepunktet, det vil si for strekningen fra kilometer 9,7 til kilometer 10,7 på hovedparsell 1 av E6 i Oslo. Ulykker fra 2002 til 2009 innenfor denne strekningen ble identifisert ved å gå manuelt gjennom en utskrift av ulykkesregisteret for Oslo, innhentet i forbindelse med piggdekkundersøkelsen som ble nevnt over. I alt 19 ulykker ble registrert på den aktuelle strekningen i perioden fra 1.1.2002 til 31.8.2009. For hver ulykke var tidspunkt oppgitt. Det var derfor klart hvilket døgn ulykken hadde skjedd.

Ved kontinuerlige trafikktellinger vil to påfølgende døgn sjelden ha nøyaktig samme trafikkmengde. Variasjonen i trafikkmengde fra døgn til døgn kan til en viss grad være tilfeldig. For å få et bedre grunnlag for å undersøke en eventuell sammenheng mellom trafikkmengde, gjennomsnittsfart og fartsvariasjon på den ene siden og ulykker på den andre, ble derfor data for døgn med tilnærmet samme trafikkmengde gruppert. Døgn med trafikkmengde innenfor samme tusen (30.000-30.999, 31.000-31.999, osv) ble slått sammen dersom gruppen bestod av minst fem døgn. For hver slik gruppe ble gjennomsnittlig trafikkmengde og gjennomsnittsfart beregnet. Standardavviket i fartsfordelingen mellom de døgnene som utgjorde en gruppe ble også beregnet. Det ble på denne måten dannet 61 datalinjer, der hver datalinje bestod av følgende elementer (verdiene er et eksempel):

Gjennomsnittlig døgntrafikk:	67.630
Gjennomsnittsfart:	64,98 km/t
Standardavvik i fart i døgngruppen:	3,96 km/t
Variasjonskoeffisient:	0,061
Ulykker:	0

Det forekom som nevnt 19 ulykker. Gjennomsnittlig antall ulykker per gruppe av døgn med tilnærmet samme trafikk (det var i alt 61 grupper, fra 27.000 til 87.000) var 0,311. Variansen i antall ulykker var 0,585. Siden variansen er større enn gjennomsnittet forekom det systematisk variasjon i antall ulykker mellom grupper av døgn med samme trafikkmengde (trafikkmengden var den samme i hver gruppe, men forskjellig mellom gruppene).

Det ble kjørt en negativ binomial regresjon med ulykker som avhengig variabel og trafikkmengde, gjennomsnittsfart og variasjonskoeffisient som uavhengige variabler. Standardavviket i fartsfordelingen (mellom døgn med tilnærmet samme trafikkmengde) ble utelatt, da det var meget høyt korrelert med variasjonskoeffisienten (0,987). Modellen ga en positiv koeffisient for trafikkmengde og gjennomsnittsfart. Koeffisienten for variasjonskoeffisienten var negativ. Ingen av koeffisientene var i nærheten av å være statistisk signifikante. Det gir følgelig liten mening å kommentere resultatene nærmere. Eksemplet illustrerer likevel

hovedpunktene i moderne studier av sammenhengen mellom fartsvariasjon og trafikksikkerhet:

1. Undersøkelsene bygger på detaljerte data om trafikk registrert ved tellepunkter som er i kontinuerlig drift.
2. Trafikkdata blir vanligvis aggregert til en egnet tidsenhet for å glatte ut tilfeldig variasjon i data som gjelder en kort periode. På motorveger i Nord-Amerika der trafikkdata registreres ved mange punkter er korteste tidsenhet data foreligger for ofte 30 sekunder. Det er nokså vanlig å aggregere dette til perioder på 5 minutter.
3. Ved hjelp av trafikkdata registrert i tellepunkter kan man for hver periode man benytter i analysene finne: (a) Antall passerte kjøretøy per kjørefelt og totalt; (b) Gjennomsnittsfarten for passerte kjøretøy; (c) Standardavviket til farten for passerte kjøretøy; (d) Variasjonskoeffisienten for fart for passerte kjøretøy; (e) Gjennomsnittlig tidsluke mellom passerte kjøretøy; (f) Variasjon i tidsluker mellom passerte kjøretøy; (g) Beleggstid (occupancy rate), det vil si tiden et kjøretøy står stille over et par av induktive sløyfer, noe som indikerer stillestående kø; (h) Endringer i alle variablene fra a til g fra en periode til neste periode.
4. Studiene begrenses til en veg. Man får da kontrollert for alle egenskaper ved vegen som kan påvirke antall ulykker.
5. I noen studier benytter man også værdata til å kontrollere for værforholdene.
6. Det defineres et influensområde der trafikkforholdene antas å påvirke sannsynligheten for at det skal skje ulykker. I eksemplet fra Manglerud ble influensområdet antatt å være 1 kilometer (500 meter i hver retning fra tellepunktet). I noen undersøkelser er influensområdet bestemt av avstanden mellom de induktive sløyfene. På de mest avanserte elektronisk styrte motorveger i Nord-Amerika kan denne avstanden være nede i noen få hundre meter.
7. Data om trafikkforholdene i en periode før det er registrert en ulykke – ofte 30 minutter inndelt i seks perioder på 5 minutter hver – benyttes for å identifisere faktorer (trafikkmengde, gjennomsnittsfart, variasjonskoeffisient, osv) som har sammenheng med forekomst av ulykker.
8. Det benyttes multivariate analyseteknikker. Dette innebærer at når man, for eksempel, finner en sammenheng mellom fartsvariasjon og ulykker, så er det kontrollert for trafikkmengde, trafikk tetthet, gjennomsnittsfart og vegens egenskaper. Dette er trolig det nærmeste man kan komme til en beregning av den rendyrkede virkningen av variasjon i fart på antall ulykker.

Figur 5.9 viser et eksempel på data som kan innhentes fra elektronisk styrte motorveger (Lee, Saccomanno og Hellinga 2002). Figuren viser en studert strekning av en motorveg i Kanada. Hver av boksene som er merket med en kombinasjon av tall og bokstaver er et tellepunkt (induktive sløyfer). Tallene som står under og mellom boksene viser avstanden mellom tellepunktene. Denne avstanden varierer mellom 300 meter og 790 meter, men er i de fleste tilfeller mindre enn 500 meter. Over hver boks står antall kjørefelt (i en retning). Det varierer mellom 2 og 4, med 3 som det vanligste. Piler som peker inn mot vegen indikerer påkjøringsramper. Piler som peker bort fra vegen indikerer avkjøringsramper. Tallene med fete typer som står på selve vegen viser antall ulykker i løpet av en periode på 13 måneder.

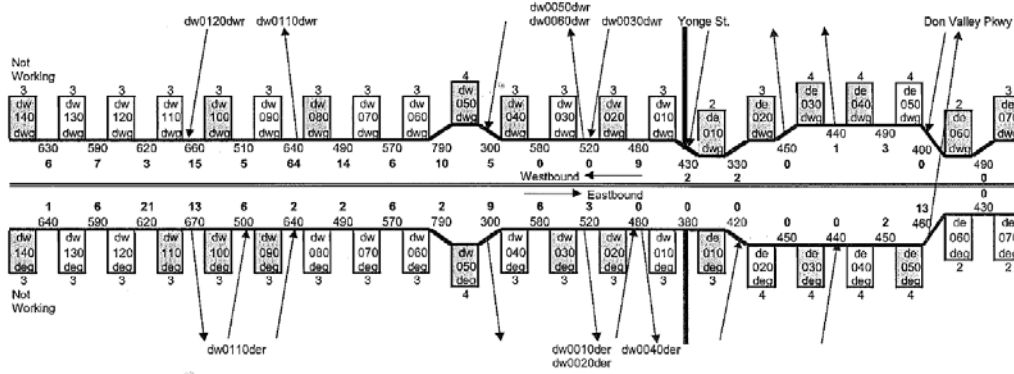
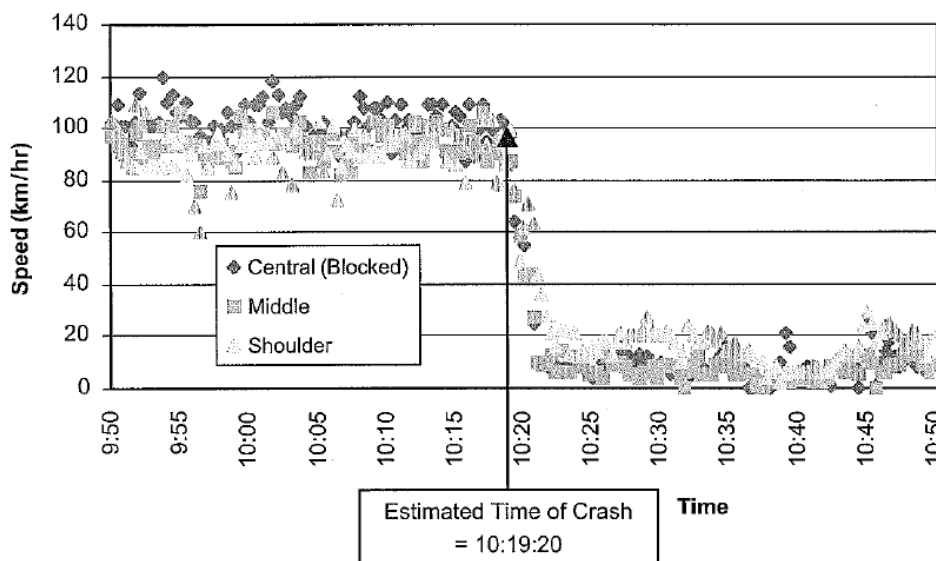


FIGURE 1 Schematic drawing of Gardiner Expressway and number of crashes. Arrows pointing outward = off-ramps; arrows pointing inward = on-ramps; letters inside squares = detector station IDs; numbers above or below station IDs = number of lanes; numbers between two successive detectors = distance (m); shaded detector stations = where traffic influenced by merging or diverging vehicles; bold numbers above or below distance numbers = total number of crashes in 13 months.

Figur 5.9: Eksempel på data hentet fra tellepunkter på motorveg. Kilde: Lee et al. 2002.

Med kontinuerlig overvåking av trafikken på en veg, er det lett å tidfeste ulykker presist. Når det skjer en ulykke merkes dette øyeblikkelig i form av en brå og stor endring i fart. Et eksempel på dette er vist i figur 5.10, som også er hentet fra undersøkelsen til Lee et al. (2002).



Figur 5.10: Eksempel på endring i fart når det skjer en ulykke. Kilde: Lee et al. 2002.

Figur 5.10 viser at farten momentant sank fra omkring 100 km/t til cirka 10 km/t da ulykken skjedde. Dette skapte en sjokkbølge i trafikken som forplanter seg bakover (upstream) fra ulykkesstedet og medfører brå endringer i fart på strekningen oppstrøms (før) fra ulykkesstedet. I neste avsnitt gjennomgås resultatene av studier som bygger på data fra motorveger som forklart i dette avsnittet.

5.5 Gjennomgang av studier av sammenhengen mellom fartsvariasjon og ulykker

5.5.1 Fartsvariasjon i en trafikkstrøm (køtrafikk)

Den første studien som benyttet data fra induktive sløyfer til å studere sammenhengen mellom endringer i fart og ulykker ble utført av Hughes og Council (1998). Studien benyttet en enkel analyseteknikk sammenlignet med senere studier, men viste likevel de muligheter som lå i data fra tellepunktene. Studien sammenlignet risikoen for ulykker i 5-minutters perioder der trafikkenes gjennomsnittsfart endret seg med mer enn 10 miles per time (cirka 16 km/t) med tilsvarende 5-minutters perioder med mindre endringer i fart. Ulykkesrisikoen økte med en faktor på 2,85 ved en kraftig nedgang i fart og med en faktor på 2,27 ved en kraftig økning i fart. Gjennomsnittet for økning og reduksjon var en relativ risiko på 2,59. Studien viser at raske endringer i trafikkenes gjennomsnittsfart øker ulykkesrisikoen betydelig.

De første studiene som benyttet multivariate analyser ble utført av Lee, Saccomanno og Hellinga (2002, 2003). De utførte to studier, men studiene bygger på samme datagrunnlag. Det er bare en mindre forskjell i de statistiske analysene som skiller studiene. Derfor siteres kun den siste av de to studiene. En rekke modeller ble utviklet; her siteres bare den modellen som passet best til data. Modellen hadde samme form som de fleste moderne ulykkesmodeller, det vil si at ulykkestallet beskrives som en eksponentialfunksjon:

$$\text{Antall ulykker} = e^{(\sum(\text{koefisienter} \cdot \text{variabler}))}$$

Der e er grunntallet for naturlige logaritmer (2,71828). Modellen delte inn variasjonskoeffisienten for fart i tre nivåer: Inntil 0,056, mellom 0,056 og 0,074 og mer enn 0,074. Dessverre oppgis ikke gjennomsnittsverdien for variasjonskoeffisienten når den var mer enn 0,074. På grunnlag av figur 5 i artikkelen kan verdien anslås til omtrentlig 0,150. Studien viser følgende nivåer for relativ risiko ved ulike verdier av variasjonskoeffisienten:

Inntil 0,056	1,00
0,056 til 0,074	4,33
Over 0,074 (cirka 0,150)	27,29

Studien viser en kraftig økning i ulykkesrisiko når fartsvariasjonen øker.

Den neste studien i rekken er Abdel-Aty et al. (2004). Den er den første i en rekke av studier av Abdel-Aty et al. som alle bygger på data fra samme motorveg (men for ulike perioder) og som benytter samme analyseteknikk. Sju vegstrekninger inngikk i analysen. Fem lå oppstrøms for ulykkesstrekningen (det vil si før man kom til ulykkesstrekningen), en lå på ulykkesstrekningen, og en lå nedstrøms for ulykkesstrekningen (etter at ulykkesstedet var passert). Hver strekning hadde en lengde på cirka 800 meter og hadde et tellepunkt. Data om antall kjøretøy, beleggstid og variasjonskoeffisient for fart ble innhentet for hver strekning for perioder på 0-5, 5-10, ..., 25-30 minutter før hver ulykke, samt for tilsvarende perioder uten ulykke, matchet etter sted, tid på døgnet og ukedag. Kombinasjonen av strekninger og perioder før ulykken gir en tabell med 7 (strekninger) · 6 (perioder) = 42 celler. For hver celle i denne tabellen ble det ved hjelp av logistisk regresjon estimert koeffisienter som viste «hazard ratio» knyttet til antall kjøretøy, beleggstid og variasjonskoeffisient for fart. Hazard ratio kan tilnærmet tolkes som et oddsforhold

og viser hvor mye risikoen øker når den aktuelle variabelen øker med en enhet. Variasjonskoeffisienten var i undersøkelsen oppgitt i prosent. Det vil si at en koeffisient som vanligvis oppgis som 0,10 inngikk med verdien 10. I analysen ble logaritmen til variasjonskoeffisienten benyttet. Det dreier seg om den Briggske logaritmen (med 10 som grunntall), ikke den naturlige logaritmen.

Undersøkelsen produserte et stort antall resultater. Det er valgt å sammenfatte disse ved å bygge på gjennomsnittsverdier. For strekningen der ulykkene har skjedd (strekning F; strekningene ble identifisert fra A til G) er gjennomsnittsverdien av koeffisienten for hazard ratio for variasjonskoeffisienten for fart i den siste halvtimen før en ulykke 2,926. Abdel-Aty opplyser at dette er økningen i oddsen for en ulykke knyttet til en enhets økning i variasjonskoeffisienten. Han opplyser videre at dersom variasjonskoeffisienten øker med to enheter, øker risikoen multiplikativt: $2,926 \cdot 2,926 = 8,56$.

Figur 2 i undersøkelsen viser at medianverdien av variasjonskoeffisienten var cirka 8 for kontrollperioder og cirka 10 for ulykkesperioder. Det gir i så fall en relativ risiko på 8,56 (se regneeksemplet over). Benytter man gjennomsnittsverdien, som var cirka 10 for kontrollperioder og cirka 16 for ulykkesperioder, blir relativ risiko hele 627,55. Dette bedømmes som et usannsynlig resultat. Resultatet som bygger på medianverdien er derfor lagt til grunn.

Neste studie av Abdel-Aty et al. (2005) er sydd over samme lest som den første. Undersøkelsen viste at når ulykkesrisikoen settes lik 1,00 ved en variasjonskoeffisient for fart på 0,116, er den 14,18 ved en variasjonskoeffisient for fart på 0,145. Undersøkelsen benyttet samme analyseteknikk som den første undersøkelsen.

En tredje undersøkelse av Abdel-Aty et al. (2005) skilte mellom trafikkforhold kjennetegnet av lav fart (inntil 37,5 miles per time = 60 km/t) og trafikkforhold kjennetegnet av høy fart. Det var bare ved lav fart at fartsvariasjon påvirket ulykkesrisikoen. Relativ risiko knyttet til en enhets økning av variasjonskoeffisienten for fart i perioden 5-10 minutter før ulykken ble beregnet til 14,13. For perioden 10-15 minutter før ulykken ble relativ risiko beregnet til 2,43. Undersøkelsen viser at fartsvariasjon øker risikoen jo lengre den varer. Undersøkelsen oppgir ikke verdier for variasjonskoeffisienten, men i de andre undersøkelsen til Abdel-Aty har den vært omkring 0,05 til 0,20, med et gjennomsnitt nær 0,10.

Kweon og Kockelman (2005) fant, i motsetning til praktisk talt alle andre, ingen virkning av fartsvariasjon på ulykkesrisiko. Det er ikke helt klart hvorfor studien kom til et annet resultat enn de aller fleste andre. Et problem var at den bygget på data fra 122 tellepunkter som skulle representere 75.709 vegstrekninger. På de aller fleste vegstrekninger fantes det følgelig ikke noe tellepunkt og man måtte beregne farten. Et annet problem med undersøkelsen var at den omfatter flere veger, slik at man måtte kontrollere for vegenes egenskaper. Det ble utviklet to sett av modeller. Det ene settet beregnet fart (det manglet fartsdata for de aller fleste vegene) som funksjon av fartsgrense og en rekke egenskaper ved vegen, primært knyttet til linjeføring. Det andre settet av modeller beregnet ulykkestall. Her inngikk beregnet fart som en uavhengig variabel sammen med de andre variablene som var brukt i modellen for å beregne fart. Dette er ikke logisk konsistent. Det innebærer, i klartekst, at man i ulykkesmodellene beregner hvordan, for eksempel, horisontalkurveradius påvirker antall ulykker, kontrollert for fart, det vil si forutsatt at farten er konstant i kurver. Det er den rimeligvis ikke, siden kurvatur er en av de faktorer som sterkest påvirker fart. Ulykkesmodellene virker følgelig nokså meningsløse og resultatene kan ikke tillegges noen vekt.

Pande, Abdel-Aty og Hsia (2005) studerte sammenhengen mellom fartsvariasjon og trafikkikkerhet med samme metode som i de tidligere undersøkelsene av Abdel-Aty et al.. Man forsøkte å benytte data for 3-minutters perioder før en ulykke, men fant at 5-minutters perioder, som var brukt i de tidligere undersøkelsene, fungerte bedre. Basert på gjennomsnittsverdien av «hazard ratio» siste halvtime før ulykke på strekningen der ulykken skjedde (undersøkelsen omfattet i tillegg fire strekninger oppstrøms og to strekninger nedstrøms) kan det beregnes at en økning av variasjonskoeffisienten for fart fra 0,10 til 0,12 betyr en økning av risiko fra 1,00 (0,10) til 17,27 (0,12).

Abdel-Aty og Pemmanaboina (2006) sammenlignet virkningen av fartsvariasjon på ulykkesrisiko med og uten kontroll for værforhold. Uten slik kontroll, var relativ risiko 3,469. Med kontroll for værforhold var relativ risiko 3,455. De to anslagene på risiko er omtrent identiske og tyder ikke på at værforholdene påvirker sammenhengen mellom fartsvariasjon og ulykkesrisiko. Målet på fartsvariasjon i denne undersøkelsen var logaritmen til variasjonskoeffisienten i perioden 5-10 minutter før ulykken.

Zheng et al. (2010) studerte sammenhengen mellom fartsvariasjon og ulykkesrisiko på en motorveg i Portland, Oregon, USA. Det var en bymotorveg med relativt lavt fartsnivå (gjennomsnittsfarten oppgis til 24,74 miles per time (39,8 km/t) de siste 10 minuttene før ulykke). Oddsforholdet knyttet til en enhets endring i fartens standardavvik ble beregnet til 1,096. Siden både standardavvik og gjennomsnitt er oppgitt i undersøkelsen, kan resultatene oppgis som endringer i risiko knyttet til endringer i variasjonskoeffisienten for fart, som i en rekke andre undersøkelser. Når variasjonskoeffisienten for fart økte fra 0,05 til 0,26 økte relativ ulykkesrisiko fra 1,00 til 1,61. Dette er en svakere økning i ulykkesrisiko enn mange andre undersøkelser har funnet.

Xu et al. (2012) studerte ulykkesrisiko knyttet til seks ulike «trafikktilstander». En av disse (tilstand 4) kan betegnes som køtrafikk i rykk og napp med stor fartsvariasjon (det oppgis dessverre ikke eksakte tall i artikkelen). En annen tilstand (tilstand 5) kan betegnes som fri flyt. Ulykkesrisikoen var 8,11 ganger høyere i tilstand 4 enn i tilstand 5.

Xu et al. (2013) fant oddsforhold for ulykker på 1,092 i fint vær, 1,047 i regnvær og 1,063 ved nedsatt sikt (tåke) knyttet til en økning av fartsvariasjonen med ett standardavvik. Artikkelen oppgir ikke verdien av standardavviket. Risikoøkningen synes likevel å være liten sammenlignet med det andre undersøkelser har funnet.

Xu et al. (2013) fant en relativ risiko på 1,06 ved en økning av fartsvariasjonen med ett standardavvik oppstrøms for en ulykkesstrekning. Nedstrøms var relativ risiko ved økning av fartsvariasjonen med ett standardavvik på 1,05. Artikkelen oppgir ikke verdier for standardavviket, men økningen i risiko må betegnes som liten.

Quddus (2013) fant en relativ risiko på mellom 1,63 og 2,28 for logaritmen til standardavviket til farten. Hans undersøkelse er den eneste som har undersøkt sammenhengen mellom fartsvariasjon og ulykker for ulykker med ulik alvorlighetsgrad. Det var en større økning i risiko for alvorlige personskadeulykker enn for ulykker med kun lettere personskade.

5.5.2 Fartsforskjell mellom lette og tunge kjøretøy

Chen et al. (2007) studerte sammenhengen mellom fartsforskjell mellom lette og tunge kjøretøy og ulykkesrisiko. Fartsforskjellene varierte etter andelen tunge kjøretøy i trafikkstrømmen – den var helt opp til over 80 prosent tunge kjøretøy. Ulykkesrisikoen økte med økende fartsforskjell opp til 10-15 km/t, men sank igjen når fartsforskjellene ble større enn dette. For alle fartsforskjeller større enn 0,5 km/t sett under ett var relativ risiko 9,12.

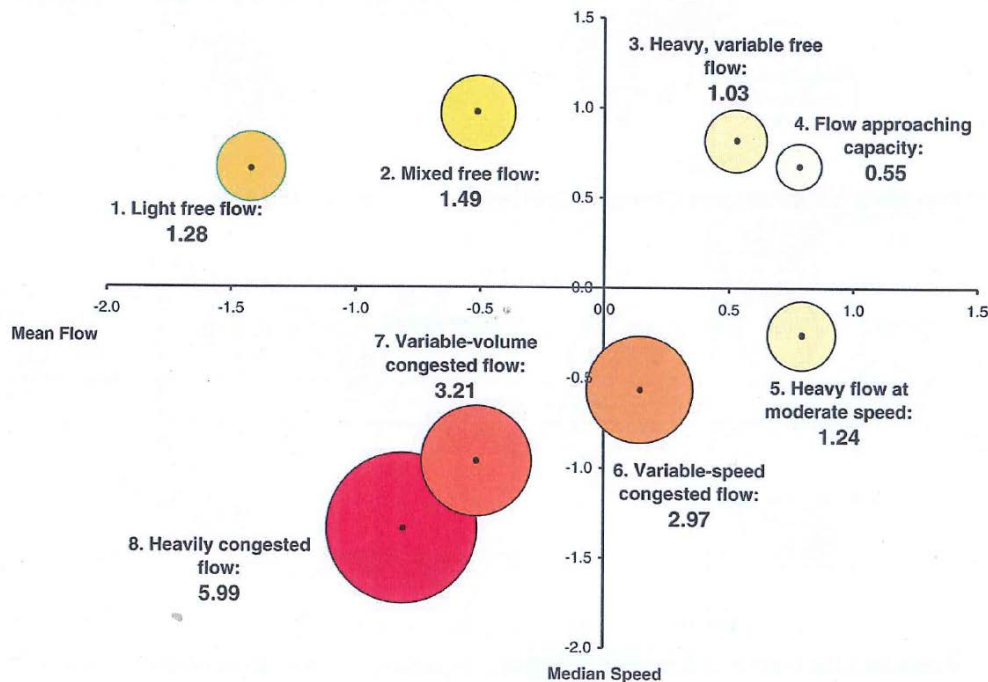
Korkut et al. (2010) studerte også fartsforskjeller mellom lette og tunge kjøretøy. Studien var begrenset til en veg, Interstate 10 mellom West Baton Rouge og Lafayette i staten Louisiana i USA. Det er en motorveg med to felt i hver retning. Vegen er flat og rett og går over et sumpområde nær Mexicogulfen. Fartsforskjellene mellom lette og tunge kjøretøy var gjennomgående små, med en maksimal verdi på 1,02 miles per time (omtrent 1,64 km/t). Men selv disse små forskjellene hadde sammenheng med ulykkesrisiko. Ved den høyeste fartsforskjellen var relativ risiko 3,12, når risikoen settes lik 1,00 når lette og tunge kjøretøy holdt samme fart.

5.5.3 Undersøkelser med andre tilnæringsmåter

Denne gjennomgangen av undersøkelser har konsentrert seg om undersøkelser som har brukt tilnærmet samme metode og type data og som det derfor vurderes som mulig – i det minste for flertallet av undersøkelsene – å forsøke å kombinere resultater fra i form av meta-analyse. Det finnes flere undersøkelser om sammenhengen mellom fartsvariasjon og trafikkssikkerhet enn dem som er gjennomgått her, men disse undersøkelsene bruker andre metoder som gjør dem umulige å sammenligne med de gjennomgåtte undersøkelsene.

Blant de undersøkelser som ikke er nevnt i gjennomgangen over, er to undersøkelser av Golob et al. (2004). I disse undersøkelsene er trafikken delt inn i et antall tilstander kjennetegnet ved fart, trafikk tetthet og fartsvariasjon. For hver tilstand ble antall ulykker per million kjøretøykilometer beregnet. Figur 5.11 viser de viktigste resultatene.

Fargen og størrelsen på sirklene indikerer ulykkesrisikoen. Tilstand 8 (Heavily congested flow = tett køtrafikk) har høyest ulykkesrisiko. Men vi kan merke oss at tilstand 6, der det oppgis at farten varierer, også har høy ulykkesrisiko. Undersøkelsen benyttet faktoranalyse, der den ene faktoren (vannrett akse) angir trafikkmengde, den andre (loddrett akse) angir fart. Undersøkelsen må betegnes som metodisk banebrytende, men er såpass forskjellig fra andre undersøkelser at den ikke lett lar seg kombinere med dem.



Figur 5.11: Ulykkesrisiko ved ulike trafikketilstander. Kilde: Golob et al. 2004.

5.6 Et forsøk på en syntese av undersøkelsene

De undersøkelsene som er gjennomgått i avsnitt 5.4 viser, med få unntak, at ulykkesrisikoen øker når variasjonen i fart øker. Men er det mulig å si noe mer presist om denne sammenhengen? Hvor mye øker ulykkesrisikoen når variasjonen i fart øker? Kan man tenke seg en kurve som beskriver denne sammenhengen?

For å svare på disse spørsmålene er det tatt utgangspunkt i undersøkelser der fartsvariasjon er målt på samme måte, fortrinnsvis med variasjonskoeffisienten for fart, eller hvor det er gitt opplysninger som gjør det mulig å beregne variasjonskoeffisienten for fart. Dette innebærer at ikke alle undersøkelser som er omtalt foran kan inngå i en oppsummering av sammenhengen mellom fartsvariasjon og trafikksikkerhet.

Men selv når vi begrenser oss til undersøkelser der fartsvariasjon er målt på samme måte er det ikke uproblematisk å kombinere resultatene av ulike undersøkelser slik man vanligvis gjør i meta-analyser. Et hovedproblem er at ikke alle undersøkelser bruker samme referanseverdi for relativ risiko. I undersøkelsen til Lee et al. (2003) settes relativ risiko lik 1 når variasjonskoeffisienten er 0,056. I undersøkelsen til Abdel-Aty et al. (2004) oppgis ingen referanseverdi, men det er nærliggende å bruke verdien 0,08. Men det er ikke sikkert at relativ risiko ved en gitt variasjonskoeffisient, for eksempel 0,10, blir den samme når referanseverdien er 0,08 som når den er 0,056. Alt annet likt, må man anta at risikoen øker mer ved en økning fra 0,056 til 0,10 enn ved en økning fra 0,08 til 0,10.

Man kan følgelig ikke gå ut fra at alle datapunkter for relativ risiko ligger på den samme kurven. Det handler i stedet om et sett av kurver som har ulike

referansepunkter, det vil si ulike verdier av variasjonskoeffisienten der relativ risiko er satt lik 1.

Nok en komplikasjon er at ikke alle disse kurvene kan antas å ha samme form. Det kan for eksempel tenkes at noen undersøkelser viser en eksponentiell økning i risiko med økende fartsvariasjon, mens andre viser en lineær økning. Kurver med ulik matematisk form kan ikke slås sammen til en enkelt kurve uten at relevant informasjon går tapt. Det kan dessuten ha selvstendig interesse å vite at ulike undersøkelser finner ulik form på sammenhengen mellom fartsvariasjon og trafikksikkerhet.

For å kunne finne formen på kurve, må minst tre datapunkter være definert. Med kun to datapunkter vil en rett linje trukket mellom punktene alltid passe perfekt. Tre punkter ligger derimot ikke nødvendigvis på en rett linje. På bakgrunn av disse betraktningene er følgende undersøkelser inkludert i forsøket på å oppsummere resultater.

Lee et al (2003) gjør det mulig å estimere relativ risiko for tre datapunkter – ved variasjonskoeffisientene 0,056, 0,074 og 0,150. Risikoen ved den laveste variasjonskoeffisienten settes lik 1.

Abdel-Aty et al. (2004) gjør det mulig å beregne en risikokurve for variasjonskoeffisienter mellom 0,08 og 0,12. Prøveregning utenfor dette intervallet gir lite plausible resultater. Kurven er derfor kun beregnet for variasjonskoeffisienter mellom 0,08 og 0,12.

Zheng et al. (2010) oppgir standardavvik og gjennomsnittsfart. Hvis man holder gjennomsnittsfarten konstant, kan variasjonskoeffisienten beregnes for 25 % fraktilen, gjennomsnittsverdien og 75 % fraktilen. Relativ risiko kan da beregnes for disse tre datapunktene.

Quddus (2013) presenterer også data som med litt bearbeiding kan brukes til å beregne risikokurver. Det er beregnet en kurve for fire verdier av variasjonskoeffisienten, varierende fra 0,089 til 0,230.

De fire risikokurvene er meget ulike og lar seg ikke presentere i samme figur. Som en følge av den matematiske form på de ulykkesmodeller som er benyttet til å beregne koeffisienten for fartsvariasjon, passer alle risikokurver perfekt til en funksjon. Disse funksjonene er:

Lee et al. (2003): $\text{Risikokurve} = 1245,8x^2 + 23,046x - 4,1974$

Abdel-Aty et al. (2004): $\text{Risikokurve} = 0,0002e^{107,36x}$

Zheng et al. (2010): $\text{Risikokurve} = 0,764e^{2,2836x}$

Quddus (2013): $\text{Risikokurve} = -3,382x^2 + 3,1938x + 0,7414$

To av funksjonene er annengradspolynomer, to er eksponentialfunksjoner. Funksjonene som er utviklet av Lee et al. (2003) og Abdel-Aty et al. (2004) innebærer at risikoen øker voldsomt når fartsvariasjonen øker. Funksjonene som er utviklet av Zheng et al. (2010) og Quddus (2013) innebærer en langt svakere økning i risiko når fartsvariasjonen øker.

Det er ikke klart hvorfor resultatene av undersøkelsene spriker så mye. Alle funksjonene, samt det store flertall av de øvrige resultater som er omtalt foran, tyder likevel på at økt fartsvariasjon bidrar til å øke ulykkesrisikoen, spesielt i tett trafikk.

Dessverre er de undersøkelser som foreligger så uensartede at det ikke er mulig å kombinere resultatene av dem med vanlige teknikker for meta-analyse.

Risikokurven til Quddus (2013) gjelder personskadeulykker. De tre andre undersøkelsene som gir grunnlag for å beregne risikokurver oppgir ikke ulykkenes alvorlighetsgrad. Offentlige ulykkesregistre i Nord-Amerika inneholder som regel både personskadeulykker og materiellskadeulykker. Det er ikke uvanlig at materiellskadeulykkene utgjør 60-80 prosent av de registrerte ulykkene. For ulykker som skjer i køtrafikk, må det regnes med at andelen som er materiellskadeulykker er enda høyere. På bakgrunn av dette er det sannsynlig at risikokurvene til Lee et al. (2003) og Abdel-Aty et al. (2004) i hovedsak gjelder materiellskadeulykker. Det er uklart om risikokurven til Zheng et al. (2010) gjelder personskadeulykker eller materiellskadeulykker. Det lave ulykkestallet i undersøkelsen kan være en indikasjon på at det er personskadeulykker som er studert.

I så fall kan den store forskjellen i risikokurvene muligens forklares ved at fartsvariasjon i tett trafikk har ulik betydning for personskadeulykker og materiellskadeulykker. Det virker ikke urimelig at det først og fremst er antall materiellskadeulykker som øker i tett trafikk kjennetegnet av stor variasjon i fart.

Det kan uansett fastslås at forskningen om fartsvariasjon har kommet mye kortere enn forskningen om fartsnivå, selv om forskningen er av relativt ny dato og i stor grad bygger på relativt avanserte data og modeller.

6 Diskusjon

Det har i lang tid vært kjent at fart har stor betydning for trafikksikkerheten. Omkring 1980 beskrev Göran Nilsson for første gang sammenhengen mellom fart og trafikksikkerhet i form av den såkalte Potensmodellen, som han senere videreutviklet og presenterte i sin endelige form i sin doktoravhandling i 2004 (Nilsson 2004).

Potensmodellen er kjent over hele verden og blir ofte brukt til å beskrive sammenhengen mellom fart og trafikksikkerhet. Den har likevel to viktige begrensninger som har motivert en del forskere til å undersøke om det kan utvikles andre modeller som bedre kan beskrive sammenhengen mellom fart og trafikksikkerhet.

Den ene begrensningen ved Potensmodellen er at den ikke tar hensyn til fartsnivået før en gitt endring i fart. Den tar bare hensyn til den relative endringen i fart. Dermed vil den beregnede virkningen på, for eksempel, antall drepte av en fartsendring fra 10 til 7 km/t bli den samme som av en fartsendring fra 100 til 70 km/t. Det virker lite sannsynlig at dette er riktig.

Den andre begrensningen ved Potensmodellen er at den kun bygger på trafikkenes gjennomsnittsfart. I mange sammenhenger er man imidlertid mest interessert i å sette inn tiltak rettet mot spesielt høy fart, for eksempel rettet mot de 10 prosent av førerne som kjører fortest. På en gitt veg, er det ikke uvanlig at 50-60 prosent overholder fartsgrensen, mens 40-50 prosent ikke gjør det. Den førstnevnte gruppen – førere som overholder fartsgrensen – representerer ikke noe trafikksikkerhetsproblem. Det er førere som bryter fartsgrensen som er problemet, og det er denne gruppens fart man ønsker å redusere. Det er da behov for å kunne beregne virkninger på trafikksikkerheten av at en viss andel av førerne reduserer sin fart. Fjeld Olsen (2013) har vist at dette ikke er mulig med Potensmodellen.

Disse begrensningene ved Potensmodellen har fått forskere til å undersøke om andre modeller kan beskrive sammenhengen mellom fart og trafikksikkerhet. Hauer og Bonneson (2006) utviklet to eksponentialfunksjoner for å beskrive virkninger på trafikksikkerheten av endringer i fart. Funksjonene var imidlertid nokså kompliserte og omfattet bare dødsulykker og personskadeulykker.

Elvik (2013) undersøkte muligheten for å utvikle enklere versjoner av eksponentialfunksjonene og utviklet tre enkle funksjoner for dødsulykker, personskadeulykker og materiellskadeulykker. Funksjonene har bare to parametre, og virkningene av endringer i fart kan fullt ut beskrives ved hjelp av den ene av parametrene, fartsleddet (den andre, konstantleddet, er uavhengig av fart og således uinteressant).

I denne rapporten er eksponentialmodellen benyttet også for antall drepte, antall hardt skadde og antall lettere skadde. I hovedsak beskriver eksponentialmodellen sammenhengen mellom fart og trafikksikkerhet like godt som Potensmodellen. Begge modeller føyer seg tett opp til datapunktene og begge modeller er nøyaktige nok til at de kan brukes. For eksponentialmodellen ble det i visse tilfeller likevel gjort

justeringer av koeffisientene for å sikre at modellen gir resultater som stemmer overens med det hovedmønster Potensmodellen impliserer. Disse justeringene gjør at man ved bruk av eksponentialmodellen ikke vil få resultater som er inkonsistente med dem man vil få ved bruk av Potensmodellen.

Det andre hovedtemaet i denne rapporten er sammenhengen mellom fartsvariasjon og trafikksikkerhet. Dette er også et tema det har vært forsket om lenge, men ikke i samme omfang som forskningen om fartsnivå og trafikksikkerhet. Mye av den eldre forskningen om sammenhengen mellom fartsvariasjon og trafikksikkerhet har vært metodisk tvilsom og gitt resultater som til dels har vært vanskelige å tolke. I dag kan vi trygt glemme all forskning om fartsvariasjon og trafikksikkerhet som er utført før cirka år 2000. Denne forskningen fremstår som uhyre primitiv og grovkornet sammenlignet med den forskning det er mulig å gjøre i dag.

Praktisk talt all forskning etter cirka 2000 om sammenhengen mellom fartsvariasjon og trafikksikkerhet har bygget på data fra elektroniske tellepunkter på motorveger der trafikken telles kontinuerlig og der man ofte har tellepunkter som ligger i kort avstand fra hverandre, ofte mindre enn 1 kilometer. Data innhentet ved tellepunktene kan, om man ønsker det, lagres sekund-for-sekund, men det er vanlig at minste tidsenhet man har data for er 30 sekunder. Slike data gir ikke desto mindre mulighet for å rekonstruere trafikken i stor detalj. Man kan da finne ut hvordan trafikforholdene var i en kort eller lang periode før en ulykke skjedde. Var det tett trafikk? Gikk trafikken med jevn fart, eller varierte farten mye? Var det mange som prøvde å skifte kjørefelt, eller holdt alle seg på sin plass i rekken? Disse og mange andre spørsmål gir data fra tellepunktene svar på.

En stor fordel med data fra tellepunkter er at disse dataene gjelder en bestemt veg. Siden vegens grunnleggende egenskaper er konstante over tid, får man ved å benytte data fra en veg kontrollert for alle egenskaper ved vegen som kan tenkes å påvirke både fart og ulykker.

Det er gjort en rekke undersøkelser av fartsvariasjon på motorveger der man har benyttet data fra tellepunkter. Med ytterst få unntak viser disse undersøkelsene at stor variasjon i fart øker risikoen for ulykker. I denne forstand er det stort samsvar mellom resultatene av ulike undersøkelser. Det er likevel vanskelig å oppsummere resultatene av undersøkelsene på en særlig presis måte. Ulike undersøkelser har benyttet ulike metoder. Mange undersøkelser har dessuten produsert et stort antall resultater; spørsmålet blir da hvilke resultater man skal legge mest vekt på; som kan betraktes som mest representative eller mest presise.

Resultatene av ulike undersøkelser spriker også når det gjelder hvor stor økningen i risiko er når variasjonen i fart øker. Noen undersøkelser tyder på at en 50 prosent økning i variasjonen i fart, for eksempel fra en variasjonskoeffisient (standardavvik dividert på gjennomsnitt) på 0,08 til 0,12 medfører en mangedobling av ulykkesrisikoen. Andre undersøkelser viser en langt mer beskjeden økning i risiko ved en slik økning i fartsvariasjon. Det ble vurdert som lite informativt å forsøke å kombinere så sprikende resultater i form av en enkelt funksjon som viser sammenhengen mellom fartsvariasjon og ulykkestall.

Nok en begrensning ved de aller fleste studier av fartsvariasjon og trafikksikkerhet, er at studiene ikke oppgir ulykkenes alvorlighetsgrad. Men siden data er innhentet fra tellepunkter på motorveger med stor trafikk, virker det rimelig å anta at de fleste ulykker er materielskadeulykker som skjer i rushtrafikk – typisk kjennetegnet ved at køen plutselig stopper opp, før den igjen beveger seg. I denne typen trafikk må

føreren hele tiden følge med på variasjonen i fart og det skal ikke stor uoppmerksomhet til før man har kjørt inn i bilen foran. Skifte av kjørefelt kan også være vanskelig, særlig hvis forskjellen i fart mellom kjørefeltene er stor.

Litt spissformulert kan man derfor trolig si at fartsvariasjon primært bidrar til flere materiellskadeulykker i rushtrafikk. Denne typen ulykker kan selvsagt ikke betraktes som et alvorlig trafiksikkerhetsproblem på samme måte som dødsulykker eller ulykker med hardt skadde. Ulykker i tett trafikk kan likevel ha betydelige konsekvenser. Trafikkavviklingen vil bli enda dårligere – ulykker skaper køer. På de mest avanserte motorveger i USA har man derfor undersøkt mulighetene for å varsle trafikantene om at trafikkforholdene nå er i ferd med å utvikle seg slik at faren for ulykker øker. Tanken er at slike varsler skal påvirke kjøreatferden slik at ulykkesrisikoen synker.

Foreløpig synes imidlertid slike varslingssystemer å befinne seg på et tidlig prøvestadium. Det største problemet ved dem er å unngå falske alarmer. Det er også vanskelig å bestemme hvor lang vegstrekning et varsel skal omfatte. Skal man bare varsle der forholdene er aller verst, som kan være en kort strekning på noen hundre meter, eller også i god avstand før problemstrekningen?

De aller fleste veger i Norge er ikke utstyrt med så avanserte trafikktelesystemer som motorveger i USA. Men også i Norge finnes det veger som har noenlunde tilsvarende systemer. I prinsippet burde det derfor også i Norge være mulig å undersøke sammenhengen mellom fartsvariasjon og ulykker ved å benytte data fra automatiske tellepunkter.

7 Konklusjoner

De viktigste konklusjoner av studien som er presentert i denne rapporten kan oppsummeres i følgende punkter:

1. Tidligere utviklede modeller for sammenhengen mellom trafikkenes gjennomsnittsfart og trafikksikkerhet er oppdatert. Det var kun for antall drepte og antall hardt skadde at det forelå nye resultater av betydning.
2. Det finnes to hovedmodeller av sammenhengen mellom trafikkenes gjennomsnittsfart og trafikksikkerhet: Potensmodellen og eksponentialmodellen. Begge modeller gir gode beskrivelser av sammenhengen mellom fart og trafikksikkerhet og begge modeller kan brukes. En fordel med eksponentialmodellen er at den kan brukes til å beregne virkninger på ulykker, skadde og drepte av endringer i fart for ulike deler av en fartsfordeling (for eksempel hva det betyr dersom de 20 prosent som kjører forrest senker sin fart). Potensmodellen kan bare anvendes for hele fartsfordelingen, ikke deler av den.
3. Det er etter cirka 2000 utført mange studier av sammenhengen mellom fartsvariasjon og trafikksikkerhet. Alle disse studiene bygger på data om trafikk som er registrert kontinuerlig av elektroniske tellepunkter. Slike data kan lagres med meget høy oppløsningsgrad og gjør det dermed mulig å rekonstruere trafikken i stor detalj.
4. Stor variasjon i fart, spesielt i tett trafikk, øker antall ulykker. Kun et fåtall undersøkelser oppgir ulykkesens alvorlighetsgrad, men det er rimelig å anta at de fleste ulykker er materiellskadeulykker, enten ved påkjøring bakfra eller ved skifte av kjørefelt.
5. Studier av sammenhengen mellom fartsvariasjon og trafikksikkerhet er meget uensartede og dermed vanskelige å kombinere ved hjelp av meta-analyse. Det er også stor variasjon i resultater. Det er likevel hevet over rimelig tvil at stor variasjon i fart er ugunstig for trafikksikkerheten og bidrar til økt ulykkestall. Det er foreløpig dessverre ikke mulig å tallfeste sammenhengen i form av en eller flere funksjoner, slik tilfellet er når det gjelder trafikkenes gjennomsnittsfart.

8 Referanser

- Abdel-Aty, M., Pande, A. 2005. Identifying crash propensity using specific traffic speed conditions. *Journal of Safety Research*, 36, 97-108.
- Abdel-Aty, M., Pemmanaboina, R. 2006. Calibrating a real-time traffic crash-prediction model using archived weather and ITS traffic data. *IEEE Transactions in Intelligent Transportation Systems*, 7, 167-174.
- Abdel-Aty, M., Uddin, N., Pande, A. 2005. Split models for predicting multivehicle crashes during high-speed and low-speed operating conditions on freeways. *Transportation Research Record*, 1908, 51-58.
- Abdel-Aty, M., Uddin, N., Pande, A., Abdalla, M. F., Hsia, L. 2004. Predicting freeway crashes from loop detector data by matched case-control regression. *Transportation Research Record*, 1897, 88-95.
- Cameron, M. H., Elvik, R. 2010. Nilsson's Power Model connecting speed and road trauma: Applicability by road type and alternative models for urban roads. *Accident Analysis and Prevention*, 42, 1908-1915.
- Carnis, L., Blais, E. 2013. An assessment of the safety effects of the French speed camera program. *Accident Analysis and Prevention*, 51, 301-309.
- Chen, Y., Sun, X., Zhong, L., Zhang, G. 2007. Speed difference and its impact on traffic safety of one freeway in China. *Transportation Research Record*, 2038, 105-110.
- Davis, G. A. 2002. Is the claim that "variance kills" an ecological fallacy? *Accident Analysis and Prevention*, 34, 343-346.
- De Pauw, E., Daniels, S., Brijs, T., Hermans, E., Wets, G. 2014. An evaluation of the traffic safety effect of fixed speed cameras. *Safety Science*, 62, 168-174.
- Elvik, R. 2005. Speed and road safety. Synthesis of evidence from evaluation studies. *Transportation Research Record*, 1908, 59-69.
- Elvik, R. 2009. The Power Model of the relationship between speed and road safety. Update and new estimates. Report 1034. Oslo, Institute of Transport Economics.
- Elvik, R. 2012. Speed limits, enforcement, and public health consequences. *Annual Review of Public Health*, 33, 225-238.
- Elvik, R. 2013. A re-parameterisation of the Power Model of the relationship between the speed of traffic and the number of accidents and accident victims. *Accident Analysis and Prevention*, 50, 854-860.
- Elvik, R. 2013. A before-after study of the effects on safety of environmental speed limits in the city of Oslo, Norway. *Safety Science*, 55, 10-16.
- Elvik, R., Christensen, P., Amundsen, A. 2004. Speed and road accidents. An evaluation of the Power Model. TØI report 740. Oslo, Institute of Transport Economics.

- Elvik, R., Kaminska, J. 2011. Effects on accidents of reduced use of studded tyres in Norwegian cities. Report 1145. Oslo, institute of Transport Economics.
- Fjeld Olsen, S. 2013. Ny metode for beregning av effekten av fartsreducerende tiltak – eksempel SATK. Artikkel til Trafikdage 2013, Aalborg universitet.
- Golob, T., Recker, W. W., Alvarez, V. M. 2004. Freeway safety as a function of traffic flow. *Accident Analysis and Prevention*, 36, 933-946.
- Guo, T., Liu, Y., Lu, J. 2011. Levels of safety at freeway exits. Evaluations on the basis of individual speed difference. *Transportation Research Record*, 2241, 10-18.
- Hauer, E., Bonneson, J. 2006. An empirical examination of the relationship between speed and road accidents based on data by Elvik, Christensen and Amundsen. Unpublished manuscript dated March 5, 2006. Prepared for the Highway Safety Manual Task Force.
- Hou, D., Han, J., Sun, X., He, Y. 2010. Study on the relationship between speed difference and crash rate on freeway. *ICCTP 2010: Integrated Transport Systems – Green-Intelligent-Reliable*. Proceedings 354-359. American Society of Civil Engineers.
- Hughes, R. G., Council, F. M. 1998. On establishing the relationship(s) between freeway safety and peak period operations: performance measurement and methodological considerations. Paper presented at TRB Annual Meeting.
- Kloeden, C. N., McLean, A. J., Moore, V. M., Ponte, G. 1997. Travelling speed and the risk of crash involvement. NHMRC Road Accident Research Unit, The University of Adelaide, Adelaide.
- Kloeden, C. N., Ponte, G., McLean, A. J. 2001. Travelling speed and the risk of crash involvement on rural roads. Report CR 204. Road Accident Research Unit, Adelaide University, Adelaide.
- Korkut, M., Ishak, S., Wolshon, B. 2010. Freeway truck lane restriction and differential speed limits. *Transportation Research Record*, 2194, 11-20.
- Kweon, Y-J., Kockelman, K. M. 2005. Safety effects of speed limit changes. Use of panel models, including speed, use, and design variables. *Transportation Research Record*, 1908, 148-158.
- Larsson, J., Brüde, U. 2010. Trafiksäkerhetseffekt av hastighetskameror etablerade 2006. Analys av personskador 2007-2008. VTI-rapport 696. Linköping, Väg- och Transportforskningsinstitutet.
- Lee, C., Saccomanno, F., Hellinga, B. 2002. Analysis of crash precursors on instrumented freeways. *Transportation Research Record*, 1784, 1-8.
- Lee, C., Hellinga, B., Saccomanno, F. 2003. Real-time crash prediction model for application to crash prevention in freeway traffic. *Transportation Research Record*, 1840, 67-77.
- Nilsson, G. 2004. Traffic safety dimensions and the Power Model to describe the effect of speed on safety. Bulletin 221. Lund Institute of Technology, Department of Technology and Society, Traffic Engineering, Lund.
- Pande, A., Abdel-Aty, M., Hsia, L. 2005. Spatiotemporal variation of risk preceding crashes on freeways. *Transportation Research Record*, 1908, 26-36.

- Quddus, M. 2013. Exploring the relationship between average speed, speed variation, and accident rates using spatial statistical models and GIS. *Journal of Transportation Safety and Security*, 5, 27-45.
- Ragnøy, A. 2002. Automatisk trafikkontroll. Effekt på kjørefart. Rapport 573. Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- Solomon, D. R. 1964. Accidents on Main Rural highways related to Speed, Driver and Vehicle. U. S. Department of Commerce, Federal Bureau of Highways, Washington D. C.
- Vadeby, A., Forsman, Å., Carlsson, A., Björketun, U., Yahya, M-R. 2012. Utvärdering av nya hastighetsgränssystemet. Effekter på trafiksäkerhet och miljö. VTI-notat 34-2012. Linköping, Väg- och Transportforskningsinstitutet.
- Vägverket. 2009. Effekter på hastighet och trafiksäkerhet med automatisk trafiksäkerhetskontroll. Publikation 2009:9. Borlänge, Vägverket.
- Xu, C., Liu, P., Wang, W., Li, Z. 2012. Evaluation of the impacts of traffic states on crash risks on freeways. *Accident Analysis and Prevention*, 47, 162-171.
- Xu, C., Tarko, A. P., Wang, W., Liu, P. 2013. Predicting crash likelihood and severity on freeways with real-time loop detector data. *Accident Analysis and Prevention*, 57, 30-39.
- Xu, C. Wang, W., Liu, P. 2013. Identifying crash-prone traffic conditions under different weather on freeways. *Journal of Safety Research*, 46, 135-144.
- Zheng, Z., Ahn, S., Monsere, C. 2010. Impact of traffic oscillations on freeway crash occurrences. *Accident Analysis and Prevention*, 42, 626-636.