



Transportøkonomisk institutt
Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning

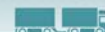
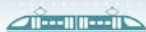


Verktøy for sikkerhetsstyring av veger

Ulykkesmodeller og virkningsfaktorer

Rune Elvik, Alena Katharina Høye

1924/2022



Tittel:	Verktøy for sikkerhetsstyring av veger - Ulykkesmodeller og virkningsfaktorer
Tittel engelsk:	Tools for safety management of roads - Accident prediction models and accident modification factors
Forfattere:	Rune Elvik, Alena Katharina Høye
Dato:	12.2022
TØI-rapport:	1924/2022
Antall sider:	74
ISSN elektronisk:	2535-5104
ISBN elektronisk:	978-82-480-1980-0
Finansieringskilder:	Statens vegvesen
TØIs p.nr.:	1175 G – Ulykkesmodeller
Prosjektleder:	Alena Katharina Høye
Kvalitetsansvarlig:	Tor-Olav Nævestad
Fagfelt:	Sikkerhet og resiliens
Emneord:	Trafikksikkerhet, planlegging, ulykkesmodell, virkningsberegning

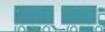
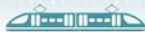
Kort sammendrag

Ulykkesmodeller og tall eller funksjoner som viser virkninger av trafikksikkerhetstiltak (virkningsfaktorer) er viktige verktøy for å bedre trafikksikkerheten på den mest effektive måten. Rapporten går gjennom og sammenligner norske ulykkesmodeller og virkningsfaktorer med dem som er utviklet i andre land. Norske ulykkesmodeller og virkningsfaktorer holder høy faglig standard og er på linje med det beste som er utviklet i andre land. Hovedoppgaven framover er å oppdatere og videreutvikle ulykkesmodellene og virkningsfaktorene.

Summary

Accident prediction models and accident modification factors are two important tools for the safety management of roads. This report compares accident prediction models and accident modification factors developed in Norway to those developed in other countries. It is concluded that the accident prediction models and accident modification factors developed in Norway have a high scientific quality. The main task now is to maintain and further develop the accident prediction models and accident modification factors.

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.



Forord

De siste 20 årene har planlegging av trafiksikkerhetstiltak på vegnettet i Norge hatt nytte av to viktige verktøy som er blitt oppdatert jevnlig: ulykkesmodeller og oversikter over virkninger av trafiksikkerhetstiltak (virkningsfaktorer). I denne rapporten sammenlignes norske ulykkesmodeller og virkningsfaktorer for trafiksikkerhetstiltak med ulykkesmodeller og virkningsfaktorer som er utviklet i andre land, blant dem Danmark, Finland og USA. Hovedspørsmålet er om Norge kan lære av andre land, slik at våre ulykkesmodeller og virkningsfaktorer kan bli bedre.

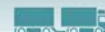
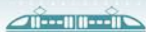
Konklusjonen er at de norske ulykkesmodellene og virkningsfaktorene er fullt på høyde med det beste som er utviklet i andre land. Det er likevel nyttig å følge med på utviklingen i andre land, fordi både ulykkesmodeller og virkningsfaktorer er under stadig utvikling. Det er viktig at både ulykkesmodeller og virkningsfaktorer oppdateres regelmessig; de kan fort bli utdaterte når antall ulykker eller skadde i trafikken endrer seg, slik de har gjort i Norge de siste 10-15 årene. Virkninger av trafiksikkerhetstiltak oppgis i økende grad som funksjoner, snarere enn punktestimater.

Statens vegvesen er oppdragsgiver for undersøkelsen som presenteres i denne rapporten. Oppdraget har inngått som del av revisjon av Trafiksikkerhetshåndboken. Sjefingeniør Arild Ragnøy har vært oppdragsgivers kontaktperson. Alena Katharina Høye har vært TØIs prosjektleder. Rune Elvik er hovedforfatter av rapporten. Alena Katharina Høye har bidratt med kommentarer og har skrevet deler av kapitlene 2 og 10. Forskningsleder Tor-Olav Nævestad har kvalitetssikret rapporten. Administrasjonskonsulent Trude Kvalsvik har sluttredigert rapporten og publisert den elektronisk.

Oslo, desember 2022
Transportøkonomisk institutt

Bjørne Grimsrud
Administrerende direktør

Trine Dale
Avdelingsleder

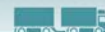
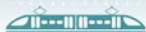


Innhold

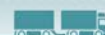
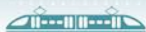
Sammendrag

Summary

1	Innledning og problemstilling	1
1.1	Hovedproblemstillinger	1
1.2	Definisjon av viktige begrep.....	2
2	Norske ulykkesmodeller	3
2.1	Ulykkesmodeller for riks- og fylkesveger (nasjonale modeller).....	3
2.2	Ulykkesmodeller for vegelementer	5
2.3	Ulykkesmodeller utviklet som del av evaluering av tiltak	7
2.4	Bruk av ulykkesmodeller i evaluering av tiltak.....	8
2.5	Sammenligning av de nasjonale ulykkesmodellene	8
2.6	Ulykkesfordelinger og modellformer	9
3	Danske ulykkesmodeller.....	11
3.1	En lang tradisjon	11
3.2	Vegelementer det lages modeller for	11
3.3	Motorvegstreknings	12
3.4	Avkjøringsfelt på motorveger	13
3.5	Avkjøringsramper på motorveger.....	13
3.6	Påkjøringsfelt på motorveger	13
3.7	Påkjøringsramper på motorveger	13
3.8	Virkningsfaktorer til tiltak på motorveger	14
3.9	Vegstreknings i spredtbygd strøk.....	14
3.10	Signalregulerte kryss.....	15
3.11	Rundkjørings	15
3.12	Vikepliktregulerte kryss	16
3.13	Kommentarer til danske ulykkesmodeller	17
4	Det finske TARVA-systemet	18
4.1	Beskrivelse av systemet - første versjon.....	18
4.2	Streknings.....	18
4.3	Kryss	19
4.4	Virkningsfaktorer	21
4.5	Planoverganger	21
4.6	Beskrivelse av oppdatert versjon av systemet	21
4.7	Kommentarer til systemet	22
4.8	TARVA-lignende risikoberegning for norske riksveger	23
5	PRACT-modeller	25
5.1	Retningslinjer for utvikling av ulykkesmodeller.....	25



5.2	Ulykkesmodeller utviklet i PRACT	26
5.3	Horisontalkurvatur i PRACT	26
5.4	Inndeling av et vegnett i homogene strekninger	28
5.5	Italiensk ulykkesmodell.....	29
6	EGRIS-metoden for sikkerhetsklassifisering av veger	30
6.1	Den reaktive metoden	30
6.2	Den proaktive metoden	30
6.3	Kombinasjon av metodene	31
6.4	Kommentarer til metoden	32
7	Highway Safety Manual.....	33
7.1	Oversikt over Highway Safety Manual	33
7.2	Ulykkesmodeller	33
7.3	Virkningsfaktorer	35
7.4	Kommentarer til Highway Safety Manual.....	36
8	International Road Assessment Programme.....	38
8.1	Hva er International Road Assessment Programme (iRAP)?	38
8.2	Beskrivelse av iRAP	38
8.3	Eksempel på scoring av en veg	40
8.4	Behandling av fart i iRAP.....	41
8.5	Fart, SRS-score og ulykkesmodeller	42
8.6	Kommentarer til iRAP	43
9	Crash Modification Factor Clearinghouse	44
9.1	Hva er CMF Clearinghouse?	44
9.2	Oversikt over CMF clearinghose	44
9.3	Kvalitetsvurdering av undersøkelser.....	45
9.4	Eksempel på data: Rundkjøringer	47
9.5	Kommentarer til CMF Clearinghouse.....	48
10	Analyse av vegbredde i ulike ulykkesmodeller.....	49
10.1	Problemstilling	49
10.2	Norske ulykkesmodeller.....	49
10.3	Danske ulykkesmodeller	50
10.4	Finske ulykkesmodeller.....	52
10.5	PRACT-modellene	52
10.6	IRAP-modeller	52
10.7	Amerikanske modeller – Highway Safety Manual	52
10.8	Amerikanske modeller – CMF Clearinghouse	54
10.9	Drøfting av resultatene	55
11	Analytiske valg ved utvikling og analyse av ulykkesmodeller	57
11.1	Problemstillinger	57



11.2 Inndeling i homogene strekninger	57
11.3 Definisjon av variabler	59
11.4 Valg av funksjonsform.....	61
11.5 Bruk av samspillsledd.....	63
11.6 Behandling av endogene variabler	63
11.7 Spesifikasjon av overspredningsparameter	64
12 Drøfting og konklusjoner	69
12.1 To ulike typer ulykkesmodeller	69
12.2 Videre utvikling og oppdatering av ulykkesmodeller i Norge.....	70
12.3 Virkninger av trafikksikkerhetstiltak	70
12.4 Konklusjoner	70
Referanser	71

Verktøy for sikkerhetsstyring av veger

Ulykkesmodeller og virkningsfaktorer

TØI rapport 1924/2022 • Forfattere: Rune Elvik, Alena Katharina Høye • Oslo 2022 • 74 sider

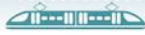
Ulykkesmodeller og virkningsfaktorer (tall eller funksjoner som viser virkninger av trafiksikkerhetstiltak) er viktige verktøy for sikkerhetsstyring av veger. Med disse verktøyene kan man finne hvilke veger som har flest ulykker med drepte eller hardt skadde og hvilke tiltak som kan redusere antall drepte eller hardt skadde. Denne rapporten sammenligner norske ulykkesmodeller og virkningsfaktorer med dem som er utviklet i andre land eller gjennom internasjonale prosjekter. Spørsmålet er om Norge kan utvikle bedre ulykkesmodeller og virkningsfaktorer ved å lære av andre land. Det konkluderes med at norske ulykkesmodeller og virkningsfaktorer er fullt på høyde med det beste som er utviklet i andre land. Det er likevel nyttig å følge med på utviklingen internasjonalt på dette området. Hovedoppgaven i Norge er å sørge for regelmessig oppdatering og videreutvikling av ulykkesmodeller og virkningsfaktorer.

Ulykkesmodeller og virkningsfaktorer

En ulykkesmodell er en multivariat statistisk modell som søker å forklare systematisk variasjon i ulykestall, eventuelt antall skadde eller drepte trafikanter. Ulykkesmodeller for riksveger, senere riks- og fylkesveger, har vært utviklet i Norge siden 2002. Modellene kan brukes til å identifisere vegstrekninger som har spesielle problemer i form av mange ulykker eller et høyt antall drepte eller hardt skadde. Til dette benyttes empirisk Bayes metode, som er en metode som kontrollerer for regresjonseffekt i ulykestall (se definisjoner i kapittel 1).

For å beregne virkninger av trafiksikkerhetstiltak benytter Statens vegvesen programmet TS-effekt. Der legges det ved hjelp av ulykkesmodellene og empirisk Bayes metode inn et anslag på antall ulykker eller skadde eller drepte som kan påvirkes av et tiltak. Tall, eventuelt funksjoner, som beskriver virkningen av tiltaket, benyttes så til å beregne hvor mange ulykker/skadde/drepte som kan unngås. Tall for virkninger av trafiksikkerhetstiltak omtales i engelsk litteratur ofte som «accident modification factors». Her brukes ordet virkningsfaktor om det samme.

I denne rapporten er norske ulykkesmodeller og virkningsfaktorer sammenlignet med tilsvarende modeller og faktorer som er utviklet i andre land eller gjennom internasjonale prosjekter. Spørsmålet er om Norge kan lære av andre land på dette området og utvikle bedre ulykkesmodeller og virkningsfaktorer.



Internasjonal sammenligning

Den internasjonale sammenligningen omfatter følgende ulykkesmodeller og virkningfaktorer:

- Danske ulykkesmodeller og virkningsfaktorer
- Det finske TARVA-systemet
- PRACT-modellene (europeisk prosjekt)
- EGRIS-modellene (europeisk prosjekt)
- Ulykkesmodeller i Highway Safety Manual (USA)
- IRAP-systemet for å klassifisere veger etter sikkerhet
- Virkningsfaktorer i Crash Modification Clearinghouse (USA)

De danske ulykkesmodellene minner mye om de norske. En viktig forskjell er at man i Danmark har valgt å utvikle separate modeller for ulike typer veger og vegelementer. De norske ulykkesmodellene omfatter alle riks- og fylkesveger, uansett om de er motorveger eller ikke og uansett om de ligger i eller utenfor tettbygd strøk. I Danmark er det utviklet egne modeller for motorveger og egne modeller for ulike typer kryss.

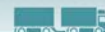
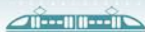
Det finske TARVA-systemet minner mye om TS-effekt. Det er et system der man samtidig kan beregne hvor mange ulykker et tiltak vil virke på og virkninger av tiltaket. Ulykkesmodellene er enkle og bygger på en inndeling av vegnettet i 50 ulike vegtyper og 15 typer kryss. Empirisk Bayes metode benyttes til å beregne forventede ulykkestall.

PRACT var et europeisk prosjekt i regi av CEDR der målet var å utvikle en felles europeisk metode for utvikling av ulykkesmodeller. Metoden tok utgangspunkt i ulykkesmodellene i Highway Safety Manual. Som ledd i prosjektet, ble det utviklet ulykkesmodeller i England, Tyskland og Italia. Disse modellene var relativt enkle og hadde færre variabler enn norske ulykkesmodeller.

EGRIS-modellene er modeller for å klassifisere veger etter trafiksikkerhet. Det er utviklet to typer modeller, som kalles den reaktive modellen og den proaktive modellen. Den reaktive modellen bygger på ulykkesdata og går ut på å beregne vegers ulykkesrisiko og sammenligne den med en normalverdi for tilsvarende vegtyper. Den proaktive metoden bygger på trafiksikkerhetsinspeksjon av veger. Resultater fra de to metodene kombineres og veger plasseres i fem sikkerhetsklasser.

Highway Safety Manual i USA utkom i 2010 og er under revisjon. En ny utgave kommer ventelig i 2023 eller 2024. Ulykkesmodellene i Highway Safety Manual er meget enkle og inneholder bare trafikkmengde og strekningslengde som variabler. Alle andre faktorer inngår som virkningsfaktorer. Virkningsfaktorene hentes fra Crash Modification Clearinghouse. Dette er en database som inneholder over 8.000 anslag på virkninger av veg- og trafikktekniske trafiksikkerhetstiltak. Databasen oppdateres hvert kvartal. Hvert resultat tilordnes en score mellom 0 og 150 for kvalitet.

IRAP (International Road Assessment Programme) er et system som tilordner en veg en sikkerhetsscore på grunnlag av kjennetegn ved vegen. Systemet er meget detaljert og kan kode opp til 78 kjennetegn ved en veg. Det skilles mellom ulike trafikantgrupper og ulykkestyper. Systemet kan ikke betraktes som en ulykkesmodell og beregner ikke et ulykkestall, men en sikkerhetsscore. Det er imidlertid funnet at denne har en sterk korrelasjon med ulykkesrisiko (ulykker per million kjøretøykilometer).



Blant de utenlandske ulykkesmodellene er de danske de som ligner mest på de norske. Alle andre modeller er vesentlig enklere og inneholder færre variabler enn de norske. Med hensyn til virkningsfaktorer, er disse blitt mer og mer detaljerte i Norge og skiller, så langt det er mulig, mellom ulike skadegrader i ulykker. I andre land oppgis langt oftere virkningstall som gjelder alt fra materiellskadeulykker til dødsulykker. Dette gjelder særlig i USA. I et nullvisjonsperspektiv har slike virkningstall begrenset interesse og anvendelse.

Hovedinntrykket fra den internasjonale sammenligningen er at de norske ulykkesmodellene og virkningstallene er fullt på høyde med det som finnes i andre land. Det er likevel nyttig å følge med på utviklingen i andre land, fordi ulykkesmodellene og virkningstallene stadig blir oppdatert.

Videre utvikling i Norge

Den første moderne ulykkesmodellen i Norge kom i 2002 og ble oppdatert i 2006, 2014 og 2016. En ny oppdatering pågår i 2023. Det er viktig å oppdatere og vedlikeholde ulykkesmodellene, ikke bare for vegnettet generelt, men også for bestemte vegelementer som kryss, kurver og tunneler. De siste årene, særlig etter 2010, har antall ulykker og antall skadde eller drepte i trafikken endret seg raskt. Modellene blir da fort utdaterte og predikerer feil antall ulykker eller skadde eller drepte.

Når det gjelder virkninger av trafiksikkerhetstiltak, blir disse i økende grad angitt i form av funksjoner, ikke punktestimater. Dette gjenspeiler det faktum at virkningene av mange trafiksikkerhetstiltak varierer systematisk, noe man ikke fanger opp ved kun å oppgi ett enkelt tall for virkningen av tiltaket. Det er også ønskelig å skille mest mulig mellom virkninger på drepte, hardt skadde og lettere skadde.

Tools for safety management of roads

Accident prediction models and accident modification factors

TØI Report 1924/2022 • Authors: Rune Elvik, Alena Katharina Høy • Oslo 2022 • 74 pages

Accident prediction models and accident modification factors are two important tools for the safety management of roads. These tools can be used to identify road sections that need treatment and select the most effective treatment for those sections. This report compares accident prediction models and accident modification factors developed in Norway to accident prediction models and accident modification factors developed in other countries or in international projects. It is concluded that the Norwegian accident prediction models and accident modification factors are close to the state-of-the-art. It is, however, important to update the models and the estimates of the effects of road safety measures regularly.

Tools for safety management

Since 2002, safety management of roads in Norway has been based on accident prediction models and the empirical Bayes method for road safety estimation. The first modern accident prediction model for national roads was developed in 2002. The model was updated in 2006, 2014 and 2016. It was expanded to include county roads in addition to national roads. The model is currently being updated.

To identify locations that have a high number of killed or seriously injured road users, the empirical Bayes method is applied. This method has been implemented in a software called “road safety effects”, which is used to select road safety measures and estimate their effects. Estimates of the effects of road safety measures are updated regularly and new studies published in scientific journals whenever possible.

Although the Norwegian system for safety management of roads is close to the state-of-the-art, it is nevertheless useful to ask whether the system can be further improved. To help answer this question, this report compares the Norwegian system to systems for road safety management developed in other countries or as part of international research projects.

International comparison

The following systems for road safety management have been compared to the current Norwegian system:

- Accident prediction models and accident modification factors developed in Denmark
- The Finnish TARVA system
- Models developed in the European PRACT-project
- The EGRIS-models for classifying roads according to safety
- The Highway Safety Manual and the Crash Modification Factor Clearinghouse
- The International Road Assessment Programme (IRAP)

The Danish accident prediction models are the most comprehensive ones, and quite similar to the Norwegian models. An important difference is that in Denmark, the models have been fitted to specific types of roads and junctions, rather than the entire road system. Thus, there are separate models for motorways, rural roads and urban roads and separate models for different types of junctions. The accident modification factors used in Denmark are also very similar to those used in Norway.

The Finnish TARVA-system is similar to the Norwegian “road safety effects” software. Separate models using traffic volume as the only independent variable have been fitted to 50 different types of road and 15 different types of junctions. The system is updated regularly and has been used for almost 20 years.

The PRACT-project, funded by CEDR, was started in order to develop a common European method for developing and fitting accident prediction models. Models were developed in England, Germany, and Italy. These models were similar to the accident prediction models in the first edition of the Highway Safety Manual. In general, the models included just a few variables.

The EGRIS-models were developed for the purpose of classifying road according to their safety level. There are two types of models, called the reactive model and the proactive model. The reactive model consists of estimating accident rate on a specific road and comparing it to a normal value for similar roads. The proactive model consists of a road safety inspection of a road. Results of the two models are combined and roads classified into five groups with respect to safety.

The accident prediction models presented in the first edition of the Highway Safety Manual are all quite simple and use only traffic volume and section length as independent variables. The effects of all other variables influencing the number of accidents are captured by crash modification factors and calibration factors. The Highway Safety Manual is now being updated. The updated version will no longer contain crash modification factors. These will be collected in the Crash Modification Factor (CMF) Clearinghouse.

The CMF Clearinghouse is a database of estimates of the effects on accidents of road safety measures. It includes measures related to highway design and traffic control. By May 2022, the CMF Clearinghouse contained more than 8,000 estimates of effect; most of them based on studies performed in North America. Estimates are assigned a score for study quality ranging from 0 to 150. The CMF Clearinghouse is updated each quarter.

The International Road Assessment Programme (IRAP) started in Europe in 1999 and has since been introduced world-wide. It rates the safety of roads according to a fairly detailed scoring system. Scores can be assigned for up to 78 characteristics of a road. The scores are then converted to a star rating, in which one star is poor safety and five stars the highest safety. The star rating has been found to correlate well with accident rate (accidents per million vehicle kilometres of travel). It is judged that performing an IRAP scoring of roads in Norway would add little information on the safety of roads, given that current accident prediction models in Norway contain a large number of variables that are known to influence the number and severity of accidents.



Lessons learnt

The main conclusion of the study is that the current Norwegian system for safety management of roads is close to the state-of-the-art. It is nevertheless important to keep this system updated. This means that accident prediction models should be updated regularly. An update is now (2023) going on; the last update was in 2016 and one should, in general, update the accident prediction models every 5-7 years.

Accident prediction models have also been developed for specific road elements in Norway, including junctions, pedestrian crossings, bridges, tunnels and horizontal curves. These models are all becoming outdated and should be updated.

As far as the effects of road safety measures are concerned, estimates are being updated continuously as part of the revision of the Handbook of Road Safety Measures. The effects of road safety measures are increasingly presented as functions, rather than point estimates, reflecting the fact that the effects of the measures vary systematically.

1 Innledning og problemstilling

1.1 Hovedproblemstillinger

I Nasjonal transportplan for perioden 2022-2033 er det fastlagt en ambisjon om å redusere antall drepte eller hardt skadde i trafikken til høyst 350 i 2030, derav høyst 50 drepte. For å realisere denne ambisjonen kreves en sterk og målrettet innsats der alle trafiksikkerhetstiltak brukes slik at de gir maksimal virkning på antall drepte eller hardt skadde. For tiltak på vegnettet krever en slik bruk av tiltak at vegmyndighetene kan utpeke de steder på vegnettet der tiltakene har størst potensial for å redusere antall drepte eller hardt skadde, samt at de mest virkningsfulle tiltak kan velges på disse stedene. Hjelpemidler som muliggjør en slik bruk av tiltak kan kalles for verktøy for sikkerhetsstyring av veger.

De siste 20 årene har sikkerhetsstyring av veger i Norge vært basert på to verktøy: ulykkesmodeller og virkningsfaktorer for tiltak. Den første moderne ulykkesmodellen for riksveger ble utviklet i 2002 (Ragnøy, Christensen og Elvik 2002). Modellen ble allerede året etter tatt i bruk i en sikkerhetsanalyse av stamvegnettet (Ragnøy og Elvik 2003). I denne analysen ble de vegstrekninger som hadde høyest forventet antall drepte eller hardt skadde per kilometer veg identifisert ved hjelp av empirisk Bayes metode. I empirisk Bayes metode beregnes et forventet antall ulykker, eller et forventet antall drepte eller skadde, som et vektet gjennomsnitt av et normalt antall som beregnes ved hjelp av en ulykkesmodell og det registrerte antall ulykker eller skadde personer på den strekningen beregningen gjelder for. Ulykkesmodellene ble oppdatert i 2014 (Høye 2014) og 2016 (Høye 2016).

Når forventet antall ulykker eller skadde personer, spesifisert etter skadegrad, er beregnet for en gitt vegstrekning, kan tiltak velges og virkningen av dem beregnes med verktøyet TS-effekt. Som grunnlag for å beregne virkninger av tiltak er det med visse mellomrom utarbeidet en Effektkatalog for trafiksikkerhetstiltak. Den siste kom i 2017 (Høye 2017). Virkningene av tiltakene er, om mulig, spesifisert etter skadegrad.

De verktøy norske vegmyndigheter har benyttet for sikkerhetsstyring av veger de siste 20 årene, representerer «State-of-the-art» på området. De vil si at disse verktøyene er de faglig beste som finnes. Verktøy som i det alt vesentlige er lik dem som brukes i Norge, er i USA anbefalt og detaljert forklart i Highway Safety Manual (AASHTO 2010).

Selv om dagens verktøy for sikkerhetsstyring av veger i Norge er meget gode, er det alltid aktuelt å spørre om de kan bli enda bedre. Hovedspørsmålene som tas opp i denne rapporten er:

- Kan Norge lære noe av andre land når det gjelder verktøy for sikkerhetsstyring av veger?
- Er dagens ulykkesmodeller de beste som kan utvikles?
- Har andre land utviklet mer avanserte ulykkesmodeller enn de norske?
- Hvilke krav bør stilles til en god ulykkesmodell og måten den utvikles på?
- Finnes det bedre opplysninger om virkninger av tiltak enn dem vi hittil har bygget på i Norge?
- Finnes det internasjonale datakilder der opplysninger om virkninger av tiltak oppdateres raskere enn vi er i stand til i Norge med de ressurser vi har til trafiksikkerhetsforskning?

Rapporten beskriver ulykkesmodeller som er utviklet i Danmark, Finland og USA, samt modeller utviklet i det europeiske PRACT-prosjektet. Videre beskrives virkningsfaktorer for tiltak som benyttes i Danmark, Finland og USA. Et alternativt opplegg for sikkerhetsklassifisering av veger, som ikke bygger på ulykkesmodeller, er representert ved iRAP-systemet, som også beskrives.

I tillegg til å beskrive disse ulike systemene for sikkerhetsstyring av veger, blir ulike ulykkesmodeller sammenlignet med hensyn til hvordan de analyserer sammenhengen mellom vegbredde og trafiksikkerhet. Avslutningsvis drøftes en del analytiske valg som må gjøres ved utvikling og analyse av ulykkesmodeller og noen retningslinjer gis med tanke på framtidig utvikling av ulykkesmodeller.

Rapporten har tre hovedformål:

1. Å presentere og drøfte norske ulykkesmodeller og hvordan disse kan utvikles videre,
2. Å presentere og drøfte utenlandske ulykkesmodeller og virkningsfaktorer for trafikksikkerhets-tiltak og vurdere om Norge kan lære noe av disse,
3. Å drøfte analytiske valg ved utvikling av ulykkesmodeller og å sammenligne de resultater ulike ulykkesmodeller har kommet til ved analyse av sammenhengen mellom vegbredde og trafikksikkerhet.

Innledningsvis vil en del begrep som brukes i rapporten bli definert.

1.2 Definisjon av viktige begrep

Tabell 1.1 gir en oversikt over viktige begrep i ulykkesmodeller og virkningsfaktorer for trafikksikkerhets-tiltak. Begrepene er satt opp i alfabetisk rekkefølge.

Tabell 1.1: Definisjoner av nøkkelbegrep.

Begrep	Definisjon
Eksponering	Omfanget av aktivitet som skaper risiko for ulykker. Måles vanligvis med kjøretøykilometer for vegstrekninger og antall innkommende kjøretøy for kryss
Empirisk Bayes metode	En statistisk metode for å beregne forventet ulykkestall som et vektet gjennomsnitt av normalt og registrert ulykkestall
Forventningsrett	Et, så langt man vet, korrekt anslag på forventet ulykkestall; det vil si at forventet ulykkestall ikke anslås for høyt eller for lavt
Forventet ulykkestall	Det gjennomsnittlige antall ulykker per tidsenhet i det lange løp ved uendret eksponering og uendret risiko.
Negativ binomial fordeling	En teoretisk sannsynlighetsfordeling for ulykker som fremkommer ved at ulykkene antas å være Poissonfordelt rundt forventet verdi for hver enhet i en populasjon samtidig som de forventede verdier har en gammafordeling
Negativ binomial regresjon	Regresjonsanalyse av ulykker basert på en forutsetning om at restleddene har en negativ binomial fordeling
Normalt ulykkestall	Det ulykkestall som vanligvis kan forventes å inntreffe ved en kjent kombinasjon av verdier for eksponering og risikofaktorer
Overspredningsparameter	Statistisk mål på hvor mye uforklart systematisk variasjon det er i ulykkestall, for eksempel variasjon som ikke forklares av en ulykkesmodell
Poissonfordeling	En teoretisk sannsynlighetsfordeling for ulykker der ulykkene er rent tilfeldig fordelt mellom enheter i en populasjon og det ikke forekommer systematisk variasjon i ulykkestall
Registrert ulykkestall	Antall ulykker som er registrert som inntruffet på et sted eller en strekning i løpet av en viss periode
Regresjonseffekt	Regresjon mot gjennomsnittet betyr at et tilfeldig høyt ulykkestall vil gå ned og et tilfeldig lavt ulykkestall (ofte null) vil gå opp
Risiko	Antall ulykker per eksponeringsenhet, som regel per million kjøretøykilometer eller per million innkommende kjøretøy
Systematisk variasjon i ulykkestall	Variasjon i forventet ulykkestall mellom ulike enheter (vegstrekninger, kryss) eller over tid for en enhet eller sett av enheter
Tilfeldig variasjon i ulykkestall	Variasjon i registrert ulykkestall omkring et gitt forventet ulykkestall
Ulykkesmodell	Multivariat statistisk modell som har til formål å beregne normalt ulykkestall som funksjon av ulike faktorer som skaper systematisk variasjon i ulykkestall

I internasjonal litteratur brukes i økende grad betegnelsen «crash» i stedet for «accident». Begrunnelsen for dette er at ulykker ofte oppfattes som rent tilfeldige hendelser, som dermed ikke kan forebygges. Dette er en misforståelse. Det at ulykker opptrer tilfeldig betyr ikke at de ikke kan forebygges. I Norge brukes fortsatt begrepet ulykke. I denne rapporten oversettes dette til «accident» hvis en engelsk betegnelse trengs. Hvis engelskspråklige kilder bruker betegnelsen «crash», brukes den også i denne rapporten.

2 Norske ulykkesmodeller

Det er utviklet en rekke ulykkesmodeller i Norge de siste 20 år. I dette kapitlet gis en oversikt over modellene og anvendelse av dem i trafiksikkerhetsanalyser og studier av virkninger av trafiksikkerhetstiltak. Deretter drøftes forskjeller mellom modellene og en del valg som må gjøres ved utvikling av ulykkesmodeller.

2.1 Ulykkesmodeller for riks- og fylkesveger (nasjonale modeller)

2.1.1 Modeller før 2010

Den første ulykkesmodellen for riksveger ble utviklet i 2002 (Ragnøy, Christensen og Elvik 2002). Modellen bygde på negativ binomial regresjon og omfattet det daværende riksvegnettet på ca. 25.000 kilometer. Vegnettet var, så langt som mulig, delt inn i homogene strekninger med en fast lengde på 1 kilometer. Mindre avvik i lengde ble godtatt for å begrense tap av data. De viktigste uavhengige variabler i modellen var trafikkmengde (ÅDT), vegtype (stamveg, annen veg), fartsgrense og antall kryss per kilometer veg. Fartsgrensene inngikk som dummyvariabler. Det ble utviklet egne modeller for personskadeulykker, drepte, meget alvorlig skadde, alvorlig skadde og lettere skadde. Datagrunnlaget dekket perioden 1993-2000. Datagrunnlaget til modellen er fremdeles tilgjengelig.

Modellen ble benyttet til en trafiksikkerhetsanalyse (network screening) av stamvegnettet (Ragnøy og Elvik 2003). Forventet antall drepte, meget alvorlig skadde, alvorlig skadde og lettere skadde ble beregnet for hver kilometer av stamvegnettet med empirisk Bayes metode. De forventede skadetallene ble deretter vektet med den samfunnsøkonomiske kostnaden ved skadene. Kostnaden ved en lett skade ble satt lik 1,00 og kostnadene ved alvorligere skader regnet i forhold til denne verdien. De kostnadsvektede skadetallene per kilometer veg ble kalt skadegradstetthet. Stamvegnettet ble delt i tre grupper på grunnlag av skadegradstetthet: rød, gul og grønn. Rød representert de høyeste kostnadene, grønn de laveste. 17,5 % av stamvegnettet ble kodet som rød.

På de røde strekningene ble ulykkene analysert i detalj og mulige tiltak for å redusere antall ulykker og/eller deres skadegrad ble foreslått. Analyseopplegget er i dag videreutviklet i form av verktøyet TS-effekt.

Ulykkesmodellen for riksveger ble oppdatert fram til 2006 (Erke 2006). Den ble utvidet med variabler som gjaldt fartsgrenseendringer. Koeffisientene ble oppdatert og modellen brukt som grunnlag for å beregne forventningsrette ulykkes- og skadetall med empirisk Bayes metode. Gruppene meget alvorlig og alvorlig skadde ble slått sammen til en gruppe: hardt skadde.

2.1.2 Modell 2014

I 2014 ble en ny ulykkesmodell for riks- og fylkesveger utviklet på grunnlag av data for årene 2006-2011 (Høye 2014A). Flere uavhengige variabler ble inkludert og modellen ble beregnet med en variabel overspredningsparameter. Lengden av de homogene strekningene varierte fra 1 meter til 1199 meter, med et gjennomsnitt på 702 meter. Til sammen inngikk 51.358 kilometer veg i datagrunnlaget for modellen. Modellen er senere benyttet i studier av virkninger av tiltak (se nedenfor).

2.1.3 Modell 2016

Foreløpig siste ulykkesmodell for hele riks- og fylkesvegnettet ble utviklet i 2016 (Høye 2016) på grunnlag av data for perioden 2010-2015. Enkelte uavhengige variabler ble byttet ut, men modellen har ellers mye til felles med modellen som ble utviklet i 2014. Den omfatter 50.149 kilometer veg. Gjennomsnittlig lengde på hver homogen strekning var 659 meter. Variabel overspredningsparameter ble benyttet.

Prediktorvariabler i modellen er:

- **Segmentlengde og antall år:** Dette er eksponeringsvariabler (koeffisientene er satt lik én); antall år er prediktor fordi det ikke foreligger data fra alle år for alle segmentene.
- **Trafikkmengde (ÅDT):** $\ln(\text{ÅDT})$ (naturlig logaritme til ÅDT).
- **Fartsgrense:** En dummyvariabel for hver fartsgrense.
- **Antall kjørefelt:** En dummyvariabel for hvert antall kjørefelt (2, 3, osv.); segmenter med kun ett kjørefelt er utelatt.
- **Plankryss, rundkjøringer og ramper (planskilte kryss):** Tallvariabler, beregnet som naturlig logaritme av antallet per kilometer pluss én (pluss én for å unngå å ta logaritmen av null).
- **Type veg:** Fem dummyvariabler:
 - Motorveg
 - Tofeltsveg med planskilte kryss (tidligere betegnet som motortrafikkveg)
 - TEN-T-veg (ikke motorveg / tofeltsveg med planskilte kryss)
 - Øvrig europa-/riksveg (ikke motorveg / tofeltsveg med planskilte kryss / TEN-T-veg)
 - Fylkesveg
- **ATK (automatisk trafikk kontroll):** Tre dummyvariabler (punkt-ATK, streknings-ATK i én retning, SATK i begge retninger).
- **Vegbelysning:** Dummyvariabel.
- **Midtdeler / -rekkverk:** Fire dummyvariabler:
 - Ikke midtdeler /-rekkverk
 - Kun midtdeler
 - Kun midtrekkverk
 - Midtdeler og midtrekkverk.
- **Forsterket midtoppmerking:** Dummyvariabel
- **Fylke:** En dummyvariabel for hvert fylke.

Kryss som prediktorvariabler: I denne modellen er det for hvert segment beregnet antall kryss/rundkjøringer per kilometer. Dette gir svært høye antall i korte segmenter med kryss. Alternativet hadde vært absolutt antall kryss, slik som i modellen fra 2014. Ulempen med absolutt antall var at normalt antall ulykker delvis ble grovt overestimert, især på lengre strekninger med flere kryss.

Kurver og stigninger som prediktorvariabel: Modellene fra 2014 inneholdt prediktorvariabler for kurver og stigninger. De var definert som naturlig logaritme av antall kurver/stigninger pluss én. Variablene var imidlertid ikke hensiktsmessige i den praktiske bruken av modellen, da antall kurver og stigninger var definert på en slik måte at de ikke kunne tolkes som indikator for vegens faktiske linjeføring. Derfor ble kurver og stigninger ikke tatt med i modellen fra 2016.

Trafikksikkerhetstiltak som prediktorvariabler: I denne modellen inngår flere prediktorvariabler som er trafikksikkerhetstiltak. Dette er, kort oppsummert og forenklet, sammenhengene med antall ulykker som ble funnet:

- Midtdeler og midtrekkverk: Færre ulykker
- Forsterket midtoppmerking: Færre ulykker
- SATK i begge retninger medfører: Færre ulykker
- PATK og SATK i en retning: Ingen effekt / flere ulykker
- Vegbelysning: Flere ulykker, uendret antall drepte / hardt skadde.

Ingen av effektene kan tolkes som virkninger av tiltakene. Positive koeffisienter (flere ulykker med tiltak) kan bety at resultatene er påvirket av endogenitet, eller at tiltaket faktisk ikke har noen effekt eller virker mot sin hensikt. Negative koeffisienter kan bety at tiltaket er effektivt, men man kan likevel ikke utelukke endogenitetseffekter slik at koeffisienten ikke sier noe om størrelsen på effekten.

Ulykkesmodellen fra 2016 er for tiden under oppdatering. En oppdatert ulykkesmodell kan ventes publisert i 2023.

2.2 Ulykkesmodeller for vegelementer

Det er i Norge utviklet egne ulykkesmodeller for følgende vegelementer:

1. Kryss
2. Gangfelt
3. Bruer
4. Tunneler
5. Horisontalkurver

Disse vil kort bli beskrevet i kronologisk rekkefølge.

2.2.1 Kryss

I en masteroppgave i ingeniørvitenskap ved NTNU samlet Jon Kvisberg (2003) data om 732 kryss. Disse dataene ble senere gjort tilgjengelige for TØI. Dataene dekker perioden 1997-2002 og omfatter vikepliktregulerte kryss utenfor tettbygd strøk. Det ble utviklet flere ulykkesmodeller på grunnlag av dataene; de siste i 2012 (Elvik 2012).

2.2.2 Gangfelt

Ulykkesmodeller for gangfelt er utviklet to ganger. Den første (Elvik, Sørensen og Nævestad 2013) omfatter 159 gangfelt i Oslo. For alle disse var detaljerte data innhentet gjennom trafiksikkerhetsinspeksjoner. Datagrunnlaget gjaldt enten perioden 2004-2008 eller 2006-2010. For hvert gangfelt forelå data om 36 variabler. Blant de uavhengige variablene inngikk fart på motorkjøretøy. Koeffisienten for fart var positiv, det vil at høyere fart gir flere ulykker.

Den andre ulykkesmodellen for gangfelt omfattet 239 gangfelt i Oslo og Bærum (Elvik 2016). Her inngikk de 159 gangfeltene i den første modellen. Fokus i den andre modellen var på «safety-in-numbers». Det ble funnet en meget sterk safety-in-numbers effekt.

2.2.3 Bruer

En ulykkesmodell for ulykker på bruer ble publisert i 2019 (Elvik, Sagberg og Langeland 2019). Modellen bygde på data for 6824 bruer. Blant uavhengige variabler som inngikk var trafikkmengde, brulengde, bredde, byggeår, fartsgrense og om det fantes fortau eller ikke.

2.2.4 Tunneler

Det er utviklet en ulykkesmodell for tunneler (Høye, Nævestad og Ævarsson 2019). Parallelt med denne modellen er det også utviklet modeller som predikerer branner og havarier.

Modellene bygger på data for 2008-2017 fra til sammen 1181 vegtunneler (derav 101 toløpstunneler) med en samlet lengde på 1160 kilometer. Ca. 10% av tunnelene hadde en lengde på under 500 meter. Tunnelene er ikke delt inn segmenter, men hver tunnel er én enhet i analysene.

Modellformen er den samme som for modellene for riks- og fylkesveger.

Prediktorer i modellene er:

- Trafikkmengde: $\ln(\text{ÅDT})$. Koeffisienten er relativt liten (rundt 0,5)
- Andel lange (det vil si tunge) kjøretøy: Tallvariabel (prosent). Koeffisienten var negativ, det vil si at jo høyere andelen av tunge kjøretøy er, desto lavere er ulykkestallet (alt annet likt).
- Antall løp: Dummyvariabel for ett- vs. toløpstunnel
- Fartsgrense: Dummyvariabler for fartsgrenser 30-50, 60, 70, 80 og 90-110 km/t
- Rampe i tunnel: Dummyvariabel
- Høy tunnel: Dummyvariabel for tunnel høyere (vs. lavere) enn 4,5 meter
- År: Én dummyvariabel for hvert år
- Lengde: $\ln(\text{lengde})$ er definert som eksponeringsvariabel (koeffisienten er satt lik én)
- Kurver: Dummyvariabler for minste kurveradius i tunnelen (0-149m, 150-299m, 300-599m, 600+m, helt rett strekning)
- Stigninger (forklart nedenfor).

Stigninger som prediktorvariabler: For stigninger er det definert flere sett med prediktorvariabler og det er beregnet modeller med hvert av disse settene:

- Lengde bratt stigning: To numeriske variabler, en for antall meter med stigning over 7% og en for antall meter med stigning over 5%
- Maksimal stigningsgrad: Én numerisk variabel
- Maksimal stigningsgrad 5% / 7%: To dummyvariabler, en for maksimal stigning over 5% og en for maksimal stigning over 7%
- Maksimal stigningsgrad detaljert: Samme som over, men en dummyvariabel for maksimal stigningsgrad over 2%, 3%, 4%, 8%.

Stigninger har relativt liten betydning i modellene for ulykker men er blant de viktigste prediktorvariablene i modellen for branner. I brannmodellene er det lengde bratt stigning som har vist seg å bidra mest til å forklare antall branner.

2.2.5 Horisontalkurver

Statens vegvesen, region øst, utga i 2018 rapporten «Risikokurver» (Haugvik 2018). Risikoen for utforkjøring, per million passerende kjøretøy, ble der beregnet for ulike kjennetegn ved horisontalkurver (radius, lengde, stigning før kurve, og så videre). De ulike kjennetegnene ble imidlertid behandlet en-for-en og det ble ikke gjort noen multivariat analyse. TØI fikk i november 2022 utlevert datagrunnlaget for undersøkelsen og har på grunnlag av dette utviklet en ulykkesmodell der antall utforkjøringsulykker er avhengig variabel (Elvik og Haugvik 2022). Følgende prediktorvariabler inngår i modellen:

- Årsdøgntrafikk (naturlig logaritme)
- Kurveradius (naturlig logaritme)
- Kurvelengde (naturlig logaritme)
- Lengde av overgangskurve (klotoide) (naturlig logaritme)
- Lengde av rett strekning før kurve (naturlig logaritme)
- Fall før kurve (%)
- Stigning før kurve (%)
- Dummyvariabel for fall før kurve
- Dummyvariabel for stigning før kurve
- Dummyvariabel for eggkurve (kurve der radius ikke er konstant)
- Antall kurver før en gitt kurve (0,1,2, osv)
- Overhøyde i kurve (%)
- Dummyvariabel for tilstrekkelig tverrfall før kurve
- Dummyvariabel for tilstrekkelig tverrfall i kurve

- Spordybde (millimeter)
- Vegdekkets jevnhet (IRI = International Roughness Index)

Modellen inneholder flere prediktorvariabler enn noen tidligere publisert ulykkesmodell for kurver. Datagrunnlaget dekker perioden 2006-2017.

2.3 Ulykkesmodeller utviklet som del av evaluering av tiltak

Det er flere ganger utviklet ulykkesmodeller som har vært en del av studier om virkninger av trafiksikkerhetstiltak.

Kampanje: Den første modellen av denne typen var en Poisson regresjonsmodell som ble utviklet til evaluering av «Sei ifrå» kampanjen i Sogn og Fjordane (Amundsen, Elvik og Fridstrøm 1999; Elvik 2000). Datagrunnlaget bestod av ulykkestall, befolkningstall og beregnet trafikkarbeid i norske fylker i årene før og etter at «Sei ifrå» kampanjen ble startet i Sogn og Fjordane. Lignende modeller er brukt i flere evalueringer av «Sei ifrå», senest i 2007 (Ulleberg og Christensen 2007).

Vegdekke: En logistisk regresjonsmodell ble utviklet i en evaluering av hvilken betydning spordybde, ujevnheter og endringer i tverrfall i vegdekket har for trafiksikkerheten (Christensen og Ragnøy 2006). Logistisk regresjon er en egnet metode når den avhengige variabelen er dikotom, det vil si antar bare to verdier. Det gjorde den i undersøkelsen om vegdekkets tilstand, siden vegnettet her ble delt inn i strekninger på 20 meter. Det vil forekomme uhyre sjelden at en strekning på 20 meter har mer enn 1 ulykke i løpet av perioden datagrunnlaget for en ulykkesmodell vanligvis dekker. I studien om vegdekket var datagrunnlaget for 1999-2004.

Periodisk kontroll: En negativ binomial regresjonsmodell basert på forsikringsdata og data om periodisk kontroll ble utviklet for å evaluere virkningen på ulykkene av periodisk kontroll av lette biler (Christensen og Elvik 2007).

Piggdekkandel: Negativ binomial regresjon ble også brukt til å undersøke virkninger på ulykkene av endret piggdekkandel i de største byene (Fridstrøm 2000; Elvik og Kaminska 2011; Elvik, Fridstrøm, Kaminska og Meyer 2013). Analyseenheten var døgn per by og byene Oslo, Drammen, Stavanger, Bergen og Trondheim inngikk. I modellene inngikk både værdata og fartsdata. En re-analyse av modellene i 2015 (Elvik 2015) tok opp spørsmålet om økt bruk av elektronisk stabilitetskontroll kan erstatte piggdekk og konkluderte med at dette langt på veg er tilfellet. Det kan likevel være gunstig at omkring 10-15% bruker piggdekk, fordi piggdekk sliter ned snø og is raskere enn upiggede dekk og dermed bedrer føreforholdene også for dem som ikke bruker piggdekk.

Passeringslommer: En negativ binomialmodell er utviklet for T-kryss i en evalueringstudie av passeringslommer (Høye og Hesjevoll 2022).

Modellen er basert på T-kryss med og uten passeringslomme med data fra 2010-2019. Kryssene uten passeringslomme er valgt ut slik at de mest mulig ligner kryssene med passeringslommer: T-kryss på tofeltsveger med fartsgrense 40-80 km/t og ÅDT i hovedsak mellom 1000 og 15.000, minste kjørefeltbredde 2,5 meter, kun vikepliktregulerte kryss, ingen høyre-/venstresvingfelt, midtdeler, midtrekkverk eller forsterket midtoppmerking på primærvegen, ikke ATK. Til sammen inngår 1987 kryss med og 94 kryss uten passeringslomme i analysene.

Ulykker som er tatt med er ulykker på primærvegen, fra punktet hvor sekundærvegen krysser og 45 meter i hver retning på primærvegen.

Prediktorvariabler i modellen er:

- Trafikkmengde på primærvegen: $\text{Ln}(\text{ÅDT}_{\text{prim.}})$
- Trafikkmengde på sekundærvegen: $\text{Ln}(\text{ÅDT}_{\text{sek.}})$; det er mange kryss uten data og det er derfor utviklet modeller både med og uten denne prediktoren

- Andel lange kjøretøy i prosent
- Fartsgrense: Dummyvariabler for fartsgrense 40, 50, 60, 70 og 80 km/t
- Kanalisering på sekundærveg: Dummyvariabel (ja/nei)
- Passeringslomme: Dummyvariabel (ja/nei).

Dummyvariabelen for passeringsslommer viser at kryss med passeringsslommer i gjennomsnitt har flere ulykker enn kryss uten passeringsslommer. Tilleggsanalyser viser imidlertid at kryss med passeringsslomme allerede hadde betydelig flere ulykker før passeringsslommene ble installert enn andre kryss. Den positive koeffisienten kan følgelig være et resultat av endogenitet (det vil si at en uavhengig variabel påvirkes av en avhengig variabel). En analyse som kontrollerte for endogenitet ble gjort, men selv etter kontroll for dette hadde kryss med passeringsslomme flere ulykker enn kryss uten dette.

Politiets kontroll av førere av tunge godsbiler: Elvik, Pasnin and Nævestad (2022) utviklet en negativ binomial regresjonsmodell som del av en evaluering av virkninger på ulykker med tunge godsbiler av politiets kontroll av førere av slike biler. Politiets kontroller retter seg mot atferd hos førere av tunge godsbiler, herunder fart, overholdelse av kjøre- og hviletid, bruk av rusmidler, og så videre. Modellen benyttet antall tunge godsbiler, aldersvektet ulykkesrisiko for førere av tunge godsbiler og antall førere kontrollert av politiet per million kjøretøykilometer med tunge godsbiler som prediktorvariabler. Det ble funnet at reduserte kontroller hadde sammenheng med økt ulykkestall og økte kontroller hadde sammenheng med redusert ulykkestall (dose-responskurve).

Statens vegvesens tungbilkontroller: En negativ binomial regresjonsmodell ble utviklet som ledd i en evaluering av Statens vegvesens tungbilkontroller (Elvik 2023). Modellen hadde følgende prediktorvariabler: antall kontroller per tung godsbil per år, antall tunge godsbiler, andel unge førere blant førerkortinnehavere for tung godsbil og årlig endring i bruttonasjonalprodukt per innbygger. Det ble funnet en dose-responskurve for virkninger av endringer i antall tungbilkontroller: når antall kontrollere reduseres, øker antall ulykker; når antall kontroller øker, reduseres antall ulykker.

2.4 Bruk av ulykkesmodeller i evaluering av tiltak

De nasjonale ulykkesmodellene for riks- og fylkesveger er brukt som en del av datagrunnlaget i flere før-og-etterundersøkelser av tiltak der empirisk Bayes metode er benyttet.

Ulykkesmodellen for riksveger, oppdatert til 2006 (Erke 2006), ble brukt i en evaluering av miljøfartsgrensen i Oslo (Elvik 2013). Ulykkesmodellen for riks- og fylkesveger basert på data for 2006-2011, supplert med en ulykkesmodell for tunneler, ble brukt i en evaluering av streknings-ATK (Høye 2014B). Den samme modellen ble også brukt i en evaluering av punkt-ATK (Høye 2015). En egen ulykkesmodell basert på data for Østfold for 2000-2005 ble utviklet og brukt i en før-og-etterundersøkelse av virkninger på ulykkene av ombygging av E6 gjennom Østfold til firefelts motorveg (Elvik et al. 2017).

2.5 Sammenligning av de nasjonale ulykkesmodellene

De tre nasjonale ulykkesmodellene for riks- og fylkesveger har både fellestrekk og forskjeller. Alle modellene er føyd med negativ binomial regresjon. I alle modeller har følgende uavhengige variabler inngått:

1. Trafikkmengde (årsdøgnetrafikk)
2. Vegtype (kodet noe ulikt i de ulike modellene)
3. Fartsgrense (har inngått i modellene som dummyvariabler)
4. Antall kjørefelt
5. Antall kryss per strekningsenhet

De øvrige uavhengige variabler har variert. De to nyeste modellene inneholder flere uavhengige variabler enn den første modellen. I modellen fra 2014 (Høye 2014A) inngikk antall kurver og antall stigninger per strekning. Disse variablene inngikk ikke i den siste ulykkesmodellen (Høye 2016). Den siste ulykkesmodellen inneholder flere variabler som beskriver trafiksikkerhetstiltak:

1. Om vegen har midtdeler, midtrekkverk eller begge deler
2. Forsterket midtoppmerking
3. Punkt-ATK
4. Streknings-ATK
5. Vegbelysning

Det kan diskuteres om trafiksikkerhetstiltak skal inngå som variabler i en ulykkesmodell. Det er problematisk å tolke koeffisientene for disse variablene som anslag på et tiltaks virkning (Hauer 2010). De nasjonale ulykkesmodellene bygger kun på tverrsnittsdata, og slike data gir ikke grunnlag for årsakslutninger – muligens unntatt under svært strenge betingelser (Elvik 2011A).

De ulykkesmodellene som ble utviklet til å evaluere tiltak, som «Sei ifrå», endret piggedekandel og periodisk kjøretøykontroll hadde alle tid med som variabel i modellen. Det var mulig å definere før- og etterperioder for tiltakene (eller endringer fra et gitt referanseår, som i studien av piggedekk).

I de ulykkesmodellene som er utviklet til Highway Safety Manual (AASHTO 2010) (se kapittel 6 i rapporten) inngår ikke trafiksikkerhetstiltak som prediktorvariabler. Disse blir i stedet definert utenfor modellen som virkningsfaktorer (crash modification factors) som man ganger de modellpredikerte ulykkestallene med.

De siste årene har særlig antall drepte gått betydelig ned. Antallet er nå trolig for lite (Lord 2006) til at det gir mening å utvikle en egen modell for drepte. I alle ulykkesmodeller har data for flere år inngått. Dette er uproblematisk så lenge det ikke er noen klar trend i retning av flere eller færre ulykker eller skadde i den perioden data dekker. Men hvis det er en klar trend, bør det vurderes om tid skal inngå i modellene. Det vil gi muligheten for å utføre følsomhetsanalyser for å se om resultatene påvirkes av om tid inngår eller ikke. Paneldata, det vil si data som både har tverrsnittsvariasjon og variasjon over tid, vil også gjøre det mer meningsfullt å inkludere trafiksikkerhetstiltak som variabler i en modell, i det minste når det kan tidfestes når et tiltak ble innført.

Det bør vurderes om fremtidige nasjonale ulykkesmodeller i Norge bør baseres på paneldata.

2.6 Ulykkesfordelinger og modellformer

Alle ulykkesmodeller som er utviklet i Norge er føyd enten med Poisson regresjon eller negativ binomial regresjon. I Poisson regresjon forutsettes det at restleddene i en modell er Poissonfordelt. I negativ binomial regresjon forutsettes det at restleddene er negativt binomialfordelt. Internasjonalt er negativ binomial regresjon den klart vanligste analyseteknikken ved utvikling av ulykkesmodeller. Metoden bygger på en forutsetning om at (1) hver analyseenhet har sitt unike forventede ulykkestall, og (2) de forventede ulykkestallene er gammafordelte i den populasjonen man studerer. Hvis disse to forutsetningene er oppfylt, vil fordelingen av ulykker mellom analyseenheter være en negativ binomial fordeling.

Negativ binomial regresjon forutsetter at restleddene i modellene er negativt binomialfordelte, det vil si at restleddene kan inneholde overspredning og ikke er rent tilfeldige. Logisk sett bør det likevel være en sammenheng mellom ulykkesfordelinger og modellform. Hvis den empiriske fordelingen av ulykker avviker fra en negativ binomial fordeling, men passer bedre til en annen sannsynlighetsfordeling, for eksempel en Poisson-lognormal fordeling, kan det tenkes at den beste analyseteknikken er en Poisson lognormal regresjon.

Data for bruulykker i Norge (Elvik, Sagberg og Langeland 2019) viser klare avvik fra en negativ binomial fordeling og tyder på at en Poisson lognormal fordeling passer langt bedre. Dette fremgår av tabell 2.1.

Den eneste av de teoretiske sannsynlighetsfordelingene som ikke avviker signifikant fra den empiriske fordelingen, er den Poisson lognormale fordelingen.

Tabell 2.1: Empirisk fordeling av ulykker mellom bruer og fordeling forventet ved Poissonfordeling, negativ binomialfordeling og Poisson-lognormalfordeling.

Antall ulykker	Antall bruer	Poissonfordeling	Negativ binomial momentmetoden	Negativ binomial max likelihood	Poisson lognormal
0	6702	6274	6827	6710	6701
1	627	1177	428	549	624
2	125	110	156	177	136
3	49	7	72	71	48
4	33		37	32	22
5	7		20	15	12
6	7		11	7	7
7	4		7	4	5
8	1		4	2	3
9	6		2	1	2
10	4		1		2
11	1		1		1
12	1		1		1
13					1
14					1
16	1				
18	1				
Sum	7569	7569	7568	7568	7566
Test av forskjell		$X^2 = 544,8$ df = 3 P < 0,000	$X^2 = 124,5$ df = 8 P < 0,000	$X^2 = 58,1$ df = 7 P < 0,000	$X^2 = 10,2$ df = 8 P = 0,254

Kjøringer på brudataene viser at man ikke får identiske koeffisienter med Poisson regresjon, negativ binomial regresjon og Poisson lognormal regresjon. Koeffisientene har verdier som er i nærheten av hverandre, men de er ikke identiske.

Som del av forberedelsene til utvikling av en ulykkesmodell, bør man undersøke hvilken teoretisk fordeling som passer best til den empiriske fordelingen og velge en regresjonsmodell som bygger på den fordelingen som passer best. Bruulykkene ble modellert med negativ binomial regresjon, men Poisson lognormal regresjon hadde muligens vært bedre. En begrensning ved Poisson lognormal regresjon, er at man ikke kan ha en variabel overspredningsparameter. Spesifikasjon av overspredningsparameteren i ulykkesmodeller drøftes nærmere i kapittel 11.

3 Danske ulykkesmodeller

3.1 En lang tradisjon

Danmark har lang tradisjon for utvikling og bruk av ulykkesmodeller. De første ulykkesmodellene i Danmark ble utviklet av Ole Thorson (1967) i hans avhandling for licensiatgraden i ingeniørvitenkap. Han utviklet separate modeller for vegstrekninger og kryss. For vegstrekninger skilte han mellom strekninger med ulikt antall kjørefelt. Modellene var enkle og hadde bare trafikkmengde som uavhengig variabel. I noen av modellene ble ulike potensfunksjoner testet og for tofelts veger i spredtbygd strøk ble det funnet at antall ulykker per kilometer økte proporsjonalt med trafikkmengde (ÅDT) opphøyet i en potens på 0,7.

Thorsons arbeid ble starten på en regelmessig utvikling og oppdatering av ulykkesmodeller i Danmark. Modellene var i en rekke år kjent under navnet «den koordinerede uheldsstatistik». Dette navnet ble brukt fordi man ved utvikling av modellene koordinerte, eller sydde sammen, opplysninger fra ulike fagregistre i vegdatabanken. Rapportene om ulykkesmodellene ble de første årene utgitt av Rådet for Trafiksikkerhetsforskning. Senere overtok Vejdirektoratet oppdatering og utgivelse av modellene.

De nyeste modellene er dokumentert i to rapporter fra Trafitec (Jensen 2015, 2017). Beskrivelsen nedenfor bygger på disse to rapportene.

3.2 Vegelementer det lages modeller for

Ved utvikling av modellene, blir vegnettet delt inn i ulike elementer. Det utvikles separate modeller for hvert vegelement. De nyeste modellene omfatter følgende vegelementer:

1. Motorvegstrekninger
2. Avkjøringsfelt på motorveger
3. Avkjøringsramper på motorveger
4. Påkjøringsfelt på motorveger
5. Påkjøringsramper på motorveger
6. Vegstrekninger i spredtbygd strøk
7. Signalregulerte kryss
8. Rundkjøringer
9. Vikepliktregulerte kryss

Det er nedlagt et spesielt omfattende arbeid i modellene for motorveger. Disse ble publisert i 2015 (Jensen 2015). De bygger på ulykkesdata for 1985-2012. 1.596 kilometer motorveg inngår. Motorvegnettet i Danmark er betydelig større enn i Norge.

Datagrunnlaget for danske ulykkesmodeller inkluderer både personskadeulykker og materiellskadeulykker, samt en gruppe som kalles «ekstrauheld» (ulykker uten politirapport). Hvis datagrunnlaget er stort nok, lages separate modeller for personskadeulykker og materiellskadeulykker. I noen modeller er imidlertid personskadeulykker og materiellskadeulykker slått sammen.

For alle vegelementer skilles det mellom tre modelltyper:

1. Basismodeller
2. Faktormodeller
3. Grunnmodeller

En **basismodell** består kun av et konstantledd og en koeffisient for trafikkmengde. Avhengig variabel er ulykker per kilometer per år eller ulykker per kryss per år. Basismodellene har følgende form:

$$\text{Ulykker per enhet} = a \cdot N^p$$

Her står N for trafikkmengde og p er en potens trafikkmengden opphøyes i. Med tanke på sammenligning med andre varianter av ulykkesmodeller gjøres det oppmerksom på at følgende formuleringer er matematisk identiske:

$$N^p = e^{(\ln(N) \cdot p)}$$

I mange ulykkesmodeller inngår den naturlige logaritmen til trafikkmengde, multiplisert med en koeffisient. Eksponentialfunksjonen til logaritmen til trafikkmengden multiplisert med en koeffisient er identisk med trafikkmengden opphøyd i koeffisienten.

Faktormodellene er de mest omfattende av ulykkesmodellene. Har inngår både trafikkmengde og så mange som mulig av andre faktorer som påvirker ulykkestallene. Faktormodellene har følgende form:

$$\text{Ulykker per enhet} = a \cdot N^p \cdot e^{\sum_{i=1}^n b_i x_i}$$

De første leddene er identiske med basismodellene. Siste ledd er et sett av koeffisienter for andre variabler som er inkludert i modellen.

Grunnmodeller er utviklet med tanke på ulykkesanalyser og virkningsberegninger av tiltak. Det er grunnmodellene som skal anvendes av vegmyndigheter for å beregne forventet ulykkestall for vegelementer og forventede virkninger av tiltak. Grunnmodellene har samme form som faktormodellene, men inneholder færre variabler. De er i stedet utviklet ved å holde en del faktorer konstante, det vil si utvikle modeller som gjelder for gitte sett av verdier på en del variabler. Eksempelvis kan en grunnmodell for en vegstrekning gjelde en vegstrekning som har to felt med en viss bredde, skulder med en viss bredde, en gitt fartsgrense og så videre.

Virkninger av endringer i kjørefeltbredde, skulderbredde og fartsgrense beregnes så ved å benytte et sett av virkningsfaktorer som angir virkninger på ulykkene av å endre kjørefeltbredde, skulderbredde eller fartsgrense. Man kombinerer dermed et modellpredikert ulykkestall med virkningstall som er utviklet utenfor modellen. Denne tilnæringsmåten er identisk med den som benyttes for ulykkesmodeller i Highway Safety Manual i USA (se AASHTO 2010).

I det følgende vil noen hovedresultater i grunnmodellene for de ulike vegelementer bli presentert og drøftet. Det vil føre for langt å gå gjennom alle modellvarianter i detalj.

3.3 Motorvegstrekninger

For motorvegstrekninger gjelder grunnmodellen strekninger med følgende kjennetegn:

1. To felt i hver retning
2. Bortfall av kjørefelt eller ekstra kjørefelt forekommer ikke
3. Ytre skulder på 3 meter (kan benyttes som nødspor)
4. Indre skulder på 0,5 meter
5. Midtrekkverk av stål
6. Fartsgrense 110 eller 130 km/t
7. Ingen variable skilttavler på strekningen
8. Ikke tunnel på strekningen

9. Ikke vegbelysning på strekningen
10. Ikke kurvemarkering på strekningen

Det var 525 strekninger med en samlet lengde på 901,5 kilometer som oppfylte disse kriteriene, det vil si noe over halvparten av motorveglengden i Danmark (1596 kilometer).

En rekke grunnmodeller med ulike avhengige variabler ble utviklet. Koeffisienten for trafikkmengden var 0,8504 i modellen for personskadeulykker, 0,6537 i modellen for drepte, 0,6754 i modellen for hardt skadde og 0,8384 i modellen for lettere skadde. Koeffisientene for fartsgrense 110 km/t var negative, det vil si at motorveger med fartsgrense 110 km/t er sikrere enn motorveger med fartsgrense 130 km/t.

3.4 Avkjøringsfelt på motorveger

Grunnmodellene gjelder avkjøringsfelt som ligger på motorveger med de samme 10 kjennetegn som over. To ulike typer grunnmodeller ble utviklet. Den ene hadde en variabel for trafikkmengde, den andre hadde to, en for trafikkmengde på motorvegen og en for trafikkmengden på avkjøringsrampen. Modellene med bare en variabel for trafikkmengde passet best til data.

Det har foreløpig ikke vært aktuelt å utvikle lignende modeller i Norge og resultatene drøftes derfor ikke nærmere.

3.5 Avkjøringsramper på motorveger

Grunnmodellene gjelder ramper som oppfyller følgende kriterier:

1. Skulder på minst 0,5 meter finnes
2. Det er ett kjørefelt med bredde minst 3,5 meter
3. Indre skulder på 0,5 meter
4. Ingen forgreninger
5. Fartsgrense 110 eller 130 km/t
6. Ingen variable skilttavler
7. Ikke tunnel
8. Ikke vegbelysning

I grunnmodellen var koeffisienten for trafikkmengde 0,3195 når alle ulykker inkluderes. I Danmark betyr det både personskadeulykker og materiellskadeulykker. Det er i Norge ikke aktuelt å lage ulykkesmodeller der materiellskadeulykker inngår.

3.6 Påkjøringsfelt på motorveger

Grunnmodellene gjelder motorveger som har de samme 10 kjennetegn som oppgitt over (kapittel 3 Motorvegstreknings). Koeffisienten for trafikkmengde i modellen for personskadeulykker er 0,8287. Det har foreløpig ikke vært aktuelt å utvikle modeller for påkjøringsfelt på motorveger i Norge.

3.7 Påkjøringsramper på motorveger

Grunnmodellene gjelder ramper med de samme kjennetegn som avkjøringsramper, se listen over. Koeffisienten for trafikkmengde var 0,7477 når alle ulykker inkluderes.

3.8 Virkningsfaktorer til tiltak på motorveger

Det er utviklet et sett av virkningsfaktorer for tiltak på motorveger. Virkningsfaktorene bygger på forskningslitteratur, blant annet Trafikksikkerhetshåndboken. Dette omfatter:

1. Antall kjørefelt: flere ulykker med 4 eller 5 felt enn med 2 eller 3.
2. Kjørefeltbredde: flere ulykker med smalere felt enn 3,5 meter.
3. Bruk av nødspor til trafikk: færre ulykker.
4. Bredder av nødspor: jo smalere, desto flere ulykker.
5. Bredder av indre skulder: jo bredere, desto færre ulykker.
6. Midtdeler: jo bredere, desto færre ulykker.
7. Horisontalkurveradius: jo krappere, desto flere ulykker.
8. Stigning: jo mindre stigning, desto færre ulykker.
9. Type midtrekkverk: varierende virkninger.
10. Vegbelysning: færre ulykker med belysning.
11. Form på ramper: rettlinjede ramper er sikrest.
12. Kurvemarkering: færre ulykker med markeringsskilt.
13. Fartsgrense: 110 km/t sikrere enn 130 km/t.
14. Tilfartskontroll: færre ulykker med enn uten.

3.9 Vegstrekninger i spredtbygd strøk

Grunnmodellen for vegstrekninger i spredtbygd strøk gjelder veger med følgende kjennetegn (Jensen 2017):

1. Sykling er tillatt
2. Vegen har ikke midtdeler
3. Det er to kjørefelt
4. Hvert kjørefelt har en bredde på mellom 2,75 og 3,99 meter
5. Skulderbredden er mellom 0,30 og 1,99 meter
6. Det er ikke fortau
7. Vegen har kjent tverrprofil og linjeføring
8. Det er ikke vegbelysning
9. Fartsgrensen er 80 km/t

Koeffisientene for trafikkmengde var 0,7373 i modellen for drepte, 0,8410 i modellen for hardt skadde og 1,0197 i modellen for lettere skadde. I modellen for personskadeulykker var koeffisienten for trafikkmengde 0,8138. Det er utarbeidet virkningsfaktorer for følgende forhold:

1. Vegens brytning (grader per kilometer): jo mer kurver, desto høyere ulykkestall.
2. Stigning: Jo mer stigning, desto flere ulykker.
3. Midtdeler: færre ulykker med midtdeler.
4. Kjørefeltbredde: færrest ulykker ved 3,75 meter – flere ulykker med smalere eller bredere kjørefelt.
5. Skulderbredde: jo bredere skulder, desto færre ulykker.
6. Vegbelysning: færre ulykker med vegbelysning.
7. Forbud mot sykling: færre ulykker med forbud.
8. Avkjørselstetthet: jo flere avkjørsler, desto flere ulykker.
9. Fartsgrense: færre ulykker ved lavere fartsgrense, flere ved høyere fartsgrense.

Det er verdt å merke seg at virkningsfaktoren for kjørefeltbredde er angitt slik at den gir støtte til tanken om en sikkerhetsmessig optimal kjørefeltbredde. Følgende relative ulykkestall oppgis for ulike kjørefeltbredder:

Bredde (m)	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25-6,75
Ulykker	1,18	1,12	1,06	1,00	0,94	1,00	1,06

Det er verdt å merke seg at ulykkesmodellen hadde en negativ koeffisient for kjørefeltbredde, noe som tyder på at antall ulykker synker ved økende kjørefeltbredde og ikke har noe vendepunkt der de begynner å øke igjen.

Sammenhengen mellom kjørefeltbredde og antall ulykker er også undersøkt med hjelp av ulykkesmodeller for norske tofeltsveger. Resultatene viser at økende kjørefeltbredde medfører færre ulykker på veger med trafikkmengde over 2300 og motsatt effekt ved lavere trafikkmengde (Høye, 2021).

3.10 Signalregulerte kryss

For signalregulerte og vikepliktsregulerte kryss ble følgende modell benyttet for trafikkmengde:

$$\text{Ulykker per kryss} = a \cdot N_{pri}^{p_1} \cdot N_{sek}^{p_2}$$

Her står pri for primærvæg. Det er vegen som har forkjøringsrett i vikepliktsregulerte kryss. I signalregulerte kryss er det de to veger som har flest innkommende kjøretøy. Sek står for sekundærvæg.

For alle typer kryss ble også andre funksjonsformer testet, men de som er nevnt her var de beste. Grunnmodellene for signalregulerte kryss gjelder for kryss som:

1. Har tovegs trafikk i alle tilfarter (ingen har envegskjøring).
2. Ikke har svingeforbud
3. Har trafikkøyer i alle tilfarter.

I T-kryss var koeffisientene i modellen for alle ulykker uansett skadegrad 0,7749 for trafikkmengden på primærvegen og 0,3732 for trafikkmengden på sekundærvegen. I X-kryss var koeffisientene henholdsvis 0,4078 (primærvæg) og 0,2069 (sekundærvæg).

Virkningsfaktorer for signalregulerte kryss omfatter:

1. Envegsregulering: gir færre ulykker
2. Svingefelt: gir færre ulykker
3. Egen venstresvingfase: gir færre ulykker.
4. Sykkelanlegg: gir flere ulykker.
5. Fartsgrense: lavere gir færre ulykker, høyere gir flere ulykker.

Det finnes i Norge i dag trolig flere rundkjøringer enn signalregulerte kryss. For de fleste signalregulerte kryss vil det foreligge gode trafikk tall, noe som ikke alltid gjelder andre typer kryss.

3.11 Rundkjøringer

I rundkjøringer ble følgende modell benyttet:

$$\text{Ulykker per kryss} = a \cdot (N_{pri} + N_{sek})^p$$

Grunnmodellen for rundkjøringer gjelder rundkjøringer med følgende kjennetegn:

1. Et kjørefelt i sirkulasjonsarealet
2. Et kjørefelt i hver tilfart og utfart
3. Ingen filterfelt (der for eksempel høyresvingende slipper å kjøre inn i rundkjøringen)
4. Rund sentraløy

5. Ingen gangfelt
6. Det er vegbelysning

Koeffisienten for trafikkmengde var 1,0924 i modellen for personskadeulykker. Dette viser at ulykkene øker mer enn proporsjonalt med trafikkmengden. Virkningsfaktorer for rundkjøringer er:

1. Antall felt i tilfarter: jo flere felt, desto flere ulykker.
2. Type trafikkøy: flest ulykker med det som kalles «parallell» trafikkøy. De ulike typene trafikkøyer er ikke illustrert.
3. Sentraløyas diameter: jo større øy, desto flere ulykker.
4. Høyde på sentraløy: jo høyere, desto færre ulykker
5. Bredde av kjørbart areal på sentraløy: jo bredere, desto færre ulykker i rundkjøringer med ett felt i sirkulasjonsarealet.
6. Bredde av sirkulasjonsareal: jo bredere, desto færre ulykker ved ett felt.
7. Sykkelsti: lavere ulykkestall når syklisten har vikeplikt.
8. Vegbelysning: færre ulykker med belysning.

3.12 Vikepliktregulerte kryss

Denne gruppen omfatter alle kryss som ikke er signalregulerte eller rundkjøringer. Det vil si at også kryss med høyregel er inkludert. I likhet med Norge har imidlertid nesten alle kryss i spredtbygd strøk vikepliktsskilt på den underordnede vegarmen.

Grunnmodellene gjelder vikepliktregulerte kryss som har de følgende kjennetegn:

1. Ubetinget vikeplikt
2. Ikke vegbelysning
3. Er ikke kryss på en motorvegrampe
4. Er ikke en del av et toplankryss
5. Ingen vegarmer har envegskjøring
6. Ikke hovedvegkanalisering
7. Ingen trafikkøyer ved høyre- eller venstresvingfelt
8. Ett kjørefelt i hver tilfart og ett kjørefelt i hver frafart
9. Ingen svingefelt

I modellen for personskadeulykker i T-kryss ble koeffisienten for trafikkmengde beregnet til 0,6952 for primærveg og 0,4186 for sekundærveg.

I modellen for personskadeulykker i X-kryss var de tilsvarende koeffisientene 0,1304 (primær) og 0,2722 (sekundær).

Virkningsfaktorer ble utarbeidet for følgende tiltak:

1. Type vikeplikt: færre ulykker med full stopp enn med vikepliktsskilt.
2. Envegskjøring: færre ulykker med envegskjøring.
3. Svingfelt: færre ulykker med svingfelt.
4. Sidevegkanalisering: færre ulykker med sidevegkanalisering.
5. Sykkelanlegg: flere ulykker med sykkelanlegg.
6. Vegbelysning: færre ulykker med belysning.
7. Fartsgrense: færre ulykker med lavere, flere med høyere fartsgrense.

3.13 Kommentarer til danske ulykkesmodeller

Danmark har utviklet og oppdatert ulykkesmodeller siden 1960-årene. Opprinnelig inneholdt ulykkesmodellene bare trafikkmengde. Betydningen av andre faktorer som påvirker ulykkestall, ble ivaretatt ved å dele inn vegnettet i vegelementer og lage separate modeller for hvert vegelement.

Blant dagens danske ulykkesmodeller er det modellen for vegstrekninger i spredtbygd strøk som ligner mest på de ulykkesmodeller som har vært utviklet i Norge. Det finnes i Norge ikke egne ulykkesmodeller for motorveger. Oppdaterte og representative ulykkesmodeller for kryss finnes heller ikke i Norge.

I de danske ulykkesmodellene inngår stort sett ikke trafiksikkerhetstiltak som variabler. Dette gjelder i det minste for grunnmodellene. I noen av faktormodellene inngår variabler som beskriver trafiksikkerhetstiltak. Trafiksikkerhetstiltakene behandles i Danmark, som i USA, i form av et sett av virkningsfaktorer som er fastlagt utenfor modellene.

I norske modeller har trafiksikkerhetstiltak stort sett ikke inngått. Fartsgrense har inngått i alle modeller, men den tjener som en proxy-variabel for bebyggelsesgrad og vegtype. Koeffisientene for fartsgrense i norske ulykkesmodeller kan ikke tolkes som anslag på virkningene på ulykker av de ulike fartsgrensene.

I siste norske ulykkesmodell (Høye 2016) inngikk vegbelysning. Koeffisientene var positive, unntatt for drepte og drepte og hardt skadde. Tolker man dem som anslag på virkninger av vegbelysning, tyder de på at vegbelysning øker ulykkestallet, noe som neppe er tilfellet. Problemet er snarere at det er veger med høy ulykkesrisiko som har fått vegbelysning, og disse vegene har fortsatt høy ulykkesrisiko også med belysning. I økonometri kalles dette endogenitet. Det vil si at den avhengige variabelen i en modell – her ulykker – påvirker den uavhengige – her belysning. Man får da så å si en «bakvendt» årsaksretning og dermed feil fortegn på koeffisienten.

Dette er et problem som kan oppstå hvis trafiksikkerhetstiltak inngår som uavhengige variabler i ulykkesmodeller, men det trenger ikke å oppstå. I de siste norske ulykkesmodellene inngår også forsterket midtoppmerking og midtrekkverk og resultatene for disse tiltakene virker mer plausible enn for vegbelysning.

Hvorvidt koeffisienten for vegbelysning i de norske ulykkesmodellene er påvirket av endogenitet, er imidlertid ikke blitt undersøkt. Man kan dermed strengt tatt ikke konkludere med at koeffisientene er påvirket av endogenitet og at ulykkestall påvirker vegbelysning istedenfor omvendt.

Det virker ikke som om empirisk Bayes metode brukes i Danmark. Ved planlegging av trafiksikkerhetstiltak brukes grunnmodellene kombinert med virkningsfaktorene. Dette kan gi mer konservative anslag på virkninger av tiltak enn empirisk Bayes metode, men forskjellene er små hvis modellene er gode, i den forstand at de forklarer det meste av den systematiske variasjonen i ulykkestall.

4 Det finske TARVA-systemet

4.1 Beskrivelse av systemet - første versjon

TARVA er et finsk system for å beregne forventet ulykkestall og virkninger av ulike trafiksikkerhetstiltak (Peltola et al. 2013A, 2013B). TARVA benytter empirisk Bayes metode til å beregne forventet ulykkestall. TARVA minner sterkt om det norske TS-effekt.

TARVA bygger på lett tilgjengelig data om trafikk og ulykker og blir oppdatert årlig. Forventede ulykkestall ble opprinnelig beregnet på grunnlag av et sett av risikotall, angitt som antall personskadeulykker per 100 millioner kjøretøykilometer (strekninger) eller per 100 millioner innkommende kjøretøy (kryss). I 2018 ble TARVA revidert, slik at forventet ulykkestall nå beregnes ved hjelp av en ulykkesmodell. I dette kapitlet beskrives først den opprinnelige versjonen av TARVA, deretter beskrives endringene i den oppdaterte versjonen. Beskrivelsen av den opprinnelige versjonen bygger i hovedsak på Peltola et al. (2013A).

4.2 Strekninger

Systematisk variasjon i ulykkestall fanges opp ved å dele inn vegnettet i grupper. For vegstrekninger er vegnettet delt i 50 grupper på grunnlag av følgende variabler:

1. Vegtype
2. Vegbredde
3. Randbebyggelse
4. Type vegdekke
5. Vegfunksjon
6. Årsdøgntrafikk
7. Fartsgrense

Det skiller mellom fire vegtyper:

1. Høystandardveger
2. Hovedveger utenfor tettsteder
3. Mindre veger utenfor tettsteder
4. Veger i byer og tettsteder

Høystandardveger består av motorveger, andre veger med midtdeler og motortrafikkveger (det som tidligere ble kalt motorveg klasse B i Norge). Motorveger er delt i tre grupper etter fartsgrense: 80 km/t eller lavere, 100 km/t og 120 km/t. Andre veger med midtdeler er delt i to etter fartsgrense: inntil 70 km/t og 80 km/t eller høyere. Motortrafikkveger er ikke delt i grupper. I alt består høystandardveger av 6 grupper: 3 for motorveg, 2 for andre veger med midtdeler og 1 for motortrafikkveger.

Hovedveger utenfor tettsteder er delt i 12 grupper. Det er fire grupper på grunnlag av vegbredde og randbebyggelse: brede og få hus; brede og noen hus; smale og få hus og smale og noen hus. Hver av disse gruppene er delt i tre ut fra fartsgrense: inntil 70 km/t, 80 km/t og 100 km/t.

Mindre veger utenfor tettsteder er delt i 14 grupper. Det er fem grupper på grunnlag av vegbredde, randbebyggelse og type vegdekke: brede og få hus; brede og noen hus; smale og få hus; smale og noen hus; og grusveger. De fire første av disse gruppene er delt i tre etter fartsgrense: inntil 70 km/t, 80 km/t eller 100 km/t. Grusveger er delt i to etter fartsgrense: inntil 70 km/t og 80 km/t.

Veger i byer og tettsteder er delt i 18 grupper. Det er seks grupper etter vegfunksjon og årsdøgnetrafikk (ÅDT): gjennomfartsveg med ÅDT under 4.000; gjennomfartsveg med ÅDT over 4.000; hovedveg i by med ÅDT under 6.000; hovedveg i by med ÅDT over 6.000; mindre veg i by med ÅDT under 2.000; mindre veg i by med ÅDT over 2.000. De to førstnevnte av disse gruppene er hver delt i tre etter fartsgrense: inntil 40 km/t, 50 km/t og 60 km/t. De to neste gruppene er hver delt i tre etter fartsgrense: inntil 70 km/t, 80 km/t og 100 km/t. De to sistnevnte gruppene er delt i tre etter fartsgrense: inntil 50 km/t, 60 eller 70 km/t og 80 km/t eller mer.

I hver av de 50 gruppene beregnes antall personskadeulykker per 100 millioner kjøretøykilometer på grunnlag av ulykkesdata og trafikkdata for fem år. En femårsperiode bedømmes som lang nok til å gi forventingsrette anslag.

Ved beregning av risikotall skiller det mellom tre ulykkestyper:

- a. ulykker med motorkjøretøy der ingen fotgjenger, syklist, mopedist eller dyr er innblandet
- b. ulykker der fotgjenger, syklist eller mopedist er innblandet
- c. ulykker der dyr er innblandet, samt andre ulykker

Disse tre gruppene er gjensidig utelukkende og uttømmende; det vil si at summen av dem er lik alle personskadeulykker. Det opplyses ikke om ulykker i kryss er inkludert eller ikke. Det er imidlertid utviklet en versjon av TARVA for kryss (se nedenfor).

Hver av de 50 gruppene av veger består av flere strekninger som har ulik trafikkmengde og ulikt risikonivå. Det som beregnes er gjennomsnittlig ulykkesrisiko i hver av de 50 gruppene. Variasjonen i ulykkesrisiko i hver gruppe beskrives i TARVA av den inverse verdien av overspredningsparameteren. Denne betegnes som K og er beregnet for hver av de tre ulykkestypene i hver av de 50 gruppene vegnettet er inndelt i. Til sammen beregnes følgelig 150 risikotall (50 grupper og tre ulykkestyper i hver gruppe) og 150 verdier av K. Tabell 3, som er kopiert fra Peltola et al. (2013A), viser beregnede verdier på grunnlag av data for perioden 2007-2011.

Som man kan se av tabell 4.1 varierer ulykkesrisikoen en del mellom de 50 gruppene. Mange risikotall ligger likevel nær hverandre. Siden K er den inverse av overspredningsparameteren, betyr høye K-verdier at det er lite overspredning. K-verdiene varierer en god del. De høyeste er 20, som tilsvarer en overspredningsparameter på 0,05 (1/20). Det er imidlertid umulig å vurdere om dette er en god eller dårlig føyning til data, siden overspredningsparameteren i rådata er ukjent. Hvis et gitt risikotall bare forklarer en mindre andel av variasjonen i ulykkestall i en gruppe, kan selv en overspredningsparameter på 0,05 bety at det meste av variasjonen er uforklart.

4.3 Kryss

TARVA-modellen for kryss er vist i tabell 4.2. Det er skilt mellom 15 grupper av kryss på grunnlag av krysstype, antall vegarmer og andel sidevegtrafikk. Ulykkesrisikoen varierer en del mellom gruppene; det samme gjelder K-verdiene.

Ved bruk av TARVA-modellen til å beregne forventet ulykkestall og virkninger av ulike tiltak tas det hensyn til ulykkesens alvorlighetsgrad. Alvorlighetsgraden er målt ved antall drepte per 100 personskadeulykker. For de 50 gruppene av vegstrekninger varierer antall drepte per 100 personskadeulykker fra 0 til 38.

Tabell 4.1: Beregnede risikotall og K-verdier i TARVA for 2007-2011. Kilde: Peltola et al. (2013A).

Average accident rates and K values for road links 2007-2011.

Main road group	Speed limit (km/h)	Average accident rate (injury accidents/100 million vehicle km)			K-value ^c (for combining history and model)		
		Accident type			Accident type		
		Vehicle	Vulnerable ^d	Animal	Vehicle	Vulnerable ^d	Animal
High-class roads							
Motorway	≤80	3.5	0.12	0.00	11.1	1.0	0.1
	100	3.6	0.17	0.05	20.0	0.3	1.0
	120	2.2	0.04	0.19	8.3	1.4	0.5
Other dual carriageways	≤70	8.5	2.10	0.00	4.6	0.4	0.1
	≥80	4.1	0.52	0.07	1.8	0.4	0.2
Semi-motorway	All	4.0	0.00	0.27	12.4	0.1	1.2
Other rural main roads^a							
Wide, no housing	≤70	6.8	0.50	0.25	0.3	0.8	1.8
	80	3.6	0.37	0.31	2.4	1.3	1.3
	100	4.1	0.22	0.97	5.5	1.8	1.4
Wide, some housing	≤70	3.4	1.68	0.28	1.1	1.3	1.4
	80	5.8	1.04	0.23	1.6	0.3	2.8
	100	4.0	0.46	0.75	2.4	1.7	1.2
Narrow, no housing	≤70	9.2	0.56	0.00	2.2	20.0	0.1
	80	6.7	0.42	0.48	8.2	1.1	1.1
	100	4.9	0.28	1.00	10.3	3.0	3.6
Narrow, some housing	≤70	6.2	1.80	0.00	1.2	1.2	0.1
	80	5.6	1.24	0.25	7.3	1.0	1.1
	100	4.4	0.94	0.39	20.0	0.9	1.1
Rural minor roads^a							
Wide, no housing	≤70	7.1	2.27	0.49	0.2	1.7	1.1
	80	5.4	0.73	0.90	2.9	0.2	0.6
	100	6.6	0.63	0.63	20.0	1.1	0.9
Wide, some housing	≤70	7.3	4.17	0.17	1.9	0.7	1.0
	80	6.1	1.54	0.84	0.8	4.5	1.6
	100	5.3	0.96	0.96	5.9	1.1	1.0
Narrow, no housing	≤70	13.4	2.31	0.56	1.7	0.3	0.7
	80	10.2	0.89	0.74	2.9	0.5	8.9
	100	5.6	0.51	1.18	20.0	0.8	2.8
Narrow, some housing	≤70	12.4	2.72	0.25	5.4	0.9	0.9
	80	10.3	1.33	0.60	2.2	1.5	0.6
	100	7.3	0.67	0.44	2.6	0.9	6.1
Gravel road	≤70	18.3	3.05	0.51	1.3	1.4	2.7
	80	14.5	1.32	0.56	2.2	1.0	1.0
Urban roads^b							
Urban sign, AADT < 4000	≤40	10.3	14.72	0.14	3.6	1.8	1.1
	50	11.4	7.24	0.13	2.0	1.0	0.8
	60	7.7	5.36	0.00	5.1	2.4	0.1
Urban sign, AADT ≥ 4000	≤40	5.2	14.52	0.00	20.0	11.0	0.1
	50	8.2	7.48	0.16	3.3	4.0	1.0
	60	7.3	5.35	0.12	2.7	2.0	9.3
Main road, dense, AADT < 6000	≤70	7.4	3.52	0.10	4.0	1.8	3.7
	80	5.9	1.47	0.10	5.0	2.6	2.7
	100	5.8	0.99	0.45	4.4	1.1	0.1
Main road, dense, AADT ≥ 6000	≤70	6.6	2.52	0.09	7.3	0.7	11.3
	80	4.9	1.10	0.15	10.5	1.3	1.0
	100	5.1	0.70	0.17	2.6	0.7	1.0
Minor road, dense, AADT < 2000	≤50	12.0	7.58	0.19	3.2	1.0	2.3
	60-70	10.7	4.38	0.30	2.1	0.5	0.0
	≥80	11.7	2.74	0.31	1.1	0.5	1.0
Minor road, dense, AADT ≥ 2000	≤50	6.6	5.23	0.00	4.0	0.6	0.1
	60-70	7.0	4.70	0.13	3.9	1.2	1.1
	≥80	5.3	2.03	0.28	2.7	2.1	2.0

^a On main roads, wide refers to roads with a pavement width of 9.5 m or more, and on minor roads 8.0 m or more.

^b Urban sign or dense roadside population.

^c K value used in combining accident history and accident model estimates (for practical reasons a maximum of 20 is used).

^d Vulnerable means an accident involving a moped, pedestrian or bicyclist.

Tabell 4.2: Beregnede risikotall og K-verdier for kryss i TARVA 2007-2011. Kilde: Peltola et al. (2013A).

Average accident rates and K values for crossings, 2007–2011.

Crossing group	Proportion of entering traffic from minor road	Average accident rate ^a (accidents/100 million entering veh.)			K-value ^b (for combining history and model)		
		Accident type			Accident type		
		Vehicle	Vulnerable	Animal	Vehicle	Vulnerable	Animal
T-crossing, main road	0–5%	1.7	0.1	0.0	1.3	0.8	1.0
	6–15%	3.0	0.2	0.0	2.8	1.1	18.2
	16–%	4.6	0.3	0.0	1.3	1.6	0.1
T-crossing, other road	0–5%	2.4	0.3	0.0	1.5	0.5	0.1
	6–15%	2.1	0.5	0.0	1.3	0.5	0.1
	16–%	3.0	0.7	0.0	0.5	0.8	0.1
X-crossing, main road	0–5%	3.3	0.2	0.0	1.6	1.1	0.1
	6–15%	6.3	0.3	0.0	12.4	0.9	0.1
	16–%	9.5	0.4	0.0	20.0	1.4	0.1
X-crossing, other road	0–5%	1.0	0.0	0.0	1.0	0.1	0.1
	6–15%	4.5	0.6	0.0	0.6	1.1	0.1
	16–%	8.3	0.9	0.0	20.0	1.4	0.1
Roundabout	Small ^c	2.8	1.4	0.0	1.3	0.9	0.1
	Large	1.6	1.4	0.0	1.5	0.3	0.1
Grade separated		0.8	0.2	0.0	15.5	0.1	1.4

^a The accident rate is calculated as injury accidents per 100 million entering vehicles.^b K-value that is used in combining accident history and accident model estimates.^c Roundabouts are split up into two groups according their radius (threshold diameter 8 m).

4.4 Virkningsfaktorer

Virkningsfaktorer (CMF = crash modification factors) er i TARVA oppgitt for 92 trafikkikkerhetstiltak. Alle disse tiltakene er veg- og trafikktekniske tiltak. For hvert tiltak er det oppgitt tre virkningstall for endringer i antall ulykker: En for ulykker med motorkjøretøy, én for ulykker med fotgjengere, syklist eller mopedister og én for ulykker med dyr. Videre er det for de samme tre gruppene oppgitt virkningstall for endringer i ulykkesalvorlighetsgrad. For hvert tiltak er også kostnadstall oppgitt, slik at det er mulig å gjøre nyttekostnadsanalyser av tiltakene.

4.5 Planoverganger

Det er også utviklet et eget TARVA-system for planoverganger mellom veg og jernbane (Kallberg et al. 2011, Peltola 2012). Dette bygger på en litt annen tilnæringsmåte. Planovergangene i Finland er delt i 10 grupper etter forventet ulykkestall. Disse gruppene er dannet ved hjelp av ulykkesmodeller for planoverganger. Ved beregning av virkninger av tiltak, plasseres den aktuelle planovergangen i den risikoklassen den tilhører. Deretter beregnes virkninger av aktuelle tiltak.

4.6 Beskrivelse av oppdatert versjon av systemet

TARVA ble oppdatert i 2018 (Peltola, Ristikartano, Malin og Tuominen 2018). Oppdatering gjaldt to elementer i verktøyet:

1. Metode for å beregne forventet ulykkestall
2. Innlemming av hardt skadde i verktøyet

4.6.1 Beregning av forventede ulykkestall

Som nevnt i avsnitt 1, ble forventet ulykkestall opprinnelig beregnet ved hjelp av risikotall, uttrykt ved personskadeulykker per 100 millioner kjøretøykilometer (strekninger) eller 100 millioner innkommende kjøretøy (kryss). I hver av de 50 gruppene av vegstrekninger var risikotallet konstant. Hver av disse gruppene bestod av veger med ulik trafikkmengde. Den opprinnelige versjonen av TARVA tok ikke hensyn til at risikoen varierer med trafikkmengden.

I den oppdaterte versjonen av TARVA benyttet følgende modell for å beregne antall ulykker per million (eller 100 millioner) kjøretøykilometer:

$$\text{Ulykkesmodell} = e^{\alpha} \cdot \text{ÅDT}^{\beta} \cdot \text{kjøretøykilometer}$$

Det gis følgende eksempel på en beregning av ulykker per million kjøretøykilometer for en motorvegstrækning på 6 kilometer med ulykkesdata for 5 år:

$$\text{Ulykker per million kjøretøykilometer} = e^{-5.963} \cdot 31974^{-0.224} \cdot 5 \cdot 31974 \cdot 6 \cdot 365/1000000 = 0.088$$

Koeffisienten for trafikkmengde (ÅDT) er en risikoelastisitet da den avhengige variabelen er ulykker per million kjøretøykilometer. I de aller fleste andre ulykkesmodeller er koeffisienten for trafikkmengde en ulykkeselastisitet, dvs. at den avhengige variabelen er antall ulykker. Man får ulykkeselastisiteten ved legge 1 til risikoelastisiteten. Her blir ulykkeselastisiteten 0,776. Denne verdien ligger nær de koeffisienter for trafikkmengde som er funnet i norske og danske ulykkesmodeller.

Inndelingen av vegnettet i 50 grupper er beholdt i den oppdaterte versjonen av TARVA. Forskjellen fra den opprinnelige versjonen er at risikoen i hver gruppe kan variere som funksjon av trafikkmengden.

For kryss varierer ulykkesrisikoen med andel sidevegtrafikk. Modellen har samme matematiske form som modellen for vegstrækninger, men i stedet for ÅDT inngår sidevegtrafikk, angitt i prosent. De samme 15 gruppene av kryss er beholdt i den oppdaterte versjonen av TARVA.

4.6.2 Hardt skadde

I den opprinnelige versjonen av TARVA ble ulykkesalvorlighetsgrad angitt ved antall drepte per 100 personskadeulykker. I den oppdaterte versjonen inkluderes også hardt skadde. Hardt skadde er fra 2014 i Finland definert som enhver skade der MAIS er 3 eller høyere. Dette er den definisjon av hardt skadde EU anbefaler. MAIS står for Maximum Abbreviated Injury Scale, det vil si den høyeste verdien en skadet person har etter denne skalaen, for eksempel, en skade i armen har verdien AIS 2 og en skade i beinet verdien AIS 3, er MAIS lik 3. Verdien på AIS går fra 0 (uskadet) til 6 (drept). Verdiene 3, 4 og 5 regnes som alvorlige skader og personer med skader kodet til disse verdiene regnes som hardt skadet.

4.7 Kommentarer til systemet

TARVA er et enkelt system som lett kan implementeres i Norge. Det gjelder både den opprinnelige og den oppdaterte versjonen av systemet. Det eneste man trenger å gjøre, er å dele inn vegstrækninger og kryss i egnede grupper og deretter beregne ulykkesrisikoen, angitt som antall ulykker per million kjøretøykilometer, i hver gruppe. I den oppdaterte versjonen kan ulykkesrisikoen variere innad i hver gruppe som funksjon av trafikkmengde (strækninger) eller antall innkomne kjøretøy og andel sidevegtrafikk (kryss). Forklaringsverdien til risikotallene, angitt enten ved overspredningsparameteren eller den inverse verdien av denne, må også beregnes.

Det er mest vanlig at ulykkesmodeller har antall ulykker eller antall skadde personer som avhengig variabel. De oppdaterte TARVA-modellene har ulykkesrisiko som avhengig variabel. Det kan være et poeng dersom man ønsker å utpeke veger eller kryss med spesielt høy ulykkesrisiko. Den samfunnsøkonomiske lønnsomheten – og nytten i form av antall unngåtte ulykker eller skadde personer – avhenger imidlertid av antallet ulykker eller skadde personer, ikke av risikoen. Det er følgelig vanskelig å se at man oppnår noen fordeler ved å benytte ulykkesrisiko som avhengig variabel.

I Norge ble dagens verktøy for sikkerhetsstyring av veger utviklet før TARVA ble utviklet. TARVA anses av denne grunn som lite aktuelt å ta i bruk i Norge.

4.8 TARVA-lignende risikoberegning for norske riksveger

En risikoberegning for norske riksveger som er tilnærmet identisk med den opprinnelige versjonen av TARVA er gjort av Elvik (1991). Beregningen gjaldt perioden 1986-1989 og ble gjort ved at riksvegnettet ble delt i grupper på grunnlag av vegtype, årsdøgntrafikk og antall kryss per kilometer veg. Det ble skilt mellom tre vegtyper: motorveg A, motorveg B og øvrige vegger. ÅDT ble delt i gruppene 0-799, 800-1499, 1500-3999, 4000-7999, 8000-11999, 12000-19999 og 20000 og mer. Antall kryss per kilometer veg ble delt i gruppene 0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 og 5 og mer. Tabell 4.3 viser risikotall som ble beregnet. Tall ble bare beregnet dersom antall ulykker var 10 eller flere.

Risikotallene viser at risikoen påvirkes både av vegtype, årsdøgntrafikk og krysstetthet. Ved en gitt krysstetthet synker ulykkesrisikoen med økende trafikkmengde.

Datagrunnlaget er egnet til å illustrere hvordan man kan beregne overspredningsparameteren for et datasett som er delt i grupper. Gruppen med årsdøgntrafikk 1500-3999 er brukt som eksempel. Spørsmålet er: hvor mye forklarer inndelingen i grupper etter krysstetthet av den systematiske variasjonen i ulykkestall i denne gruppen?

Generelt er overspredningsparameteren definert slik:

$$\text{Varians i ulykkestall} = \lambda \cdot (1 + \mu\lambda)$$

Her er λ forventet ulykkestall og μ er overspredningsparameteren. Hvis man løser ligningen med hensyn til overspredningsparameteren får man:

$$\text{Overspredningsparameter} = \frac{\frac{\text{Var}(x)}{\lambda} - 1}{\lambda}$$

For å beregne overspredningsparameteren må man vite det gjennomsnittlige (forventede) antall ulykker i en gruppe (λ) og variansen i ulykkestallet i denne gruppen. Vi ser av ligningen for overspredningsparameteren at dersom variansen er lik forventningen ($\text{Var}(x) = \lambda$) blir telleren null og overspredningsparameteren dermed også null.

Tabell 4.3: Risikotall for riksveger i Norge 1986-89. Kilde: Elvik 1991

Personskadeulykker pr million kjøretøykilometer 1986-89										
Årsdøgntrafikk	Vegtype og krysstetthet									
	Motorveg-A	Motorveg-B	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-+	Uopp-gitt	Alle vegger
0-799			0,25	0,62					0,30	0,27
800-1499			0,24	0,31	0,73			0,45	0,20	0,24
1500-3999			0,25	0,31	0,41	0,56	0,34	0,57	0,28	0,27
4000-7999		0,17	0,23	0,25	0,35	0,33	0,37	0,51	0,35	0,25
8000-11999		0,16	0,25	0,28	0,38	0,31	0,44	0,19	0,30	0,28
12000-19999		0,12	0,22	0,20	0,20	0,34	0,30	0,46	0,43	0,25
20000-	0,08		0,25	0,30	0,19	0,22		0,58	0,31	0,24
Alle vegger	0,08	0,15	0,24	0,27	0,31	0,33	0,37	0,50	0,31	0,26

Nøyaktig definisjon av krysstetthetsgruppene finnes på side 8

Det er sju grupper for krysstetthet ved ÅDT 1500-3999. I disse gruppene varierer verdien av overspredningsparameteren mellom 0,203 og 1,133. For alle grupper sett under (før oppdeling) er overspredningsparameteren 0,898. Gjennomsnittlig verdi av overspredningsparameteren i de 7 gruppene, vektet med ulykkestallet i hver gruppe, er 0,836. Dette viser at inndeling i grupper etter krysstetthet kun forklarer en liten del av den systematiske variasjonen i ulykkestall, siden verdien av overspredningsparameteren bare blir litt redusert.

5 PRACT-modeller

PRACT (Predicting Road Accidents – a Transferable methodology across Europe) var et CEDR-prosjekt som pågikk fra 2013 til 2016 (CEDR = Conference of European Directors of Roads). Prosjektet ble utført av et konsortium som bestod av Universitetet i Firenze, National Technical University of Athens (NTUA), Technische Universität Berlin, og Imperial College London.

Prosjektet hadde to hovedmål: For det første å utvikle en felles europeisk metode for utvikling av ulykkesmodeller; for det andre å utvikle en database over ulykkesmodeller og virkningstall for trafikksikkerhetstiltak.

De viktigste ulykkesmodeller som var utviklet internasjonalt ble gjennomgått (Yannis et al. 2014). Deretter ble nye ulykkesmodeller utviklet for England og Tyskland (Karathodorou et al. 2015). Til slutt ble databasen med ulykkesmodeller og virkningstall utviklet (Yannis et al. 2015). En ulykkesmodell for italienske motorveger ble utviklet og publisert senere (La Torre et al. 2019).

I dette kapitlet legges hovedvekten på å presentere og drøfte de ulykkesmodeller som ble utviklet i PRACT-prosjektet, dvs. ulykkesmodellene for England, Tyskland og italienske motorveger.

5.1 Retningslinjer for utvikling av ulykkesmodeller

Yannis et al. (2014) drøfter kort noen retningslinjer for utvikling av ulykkesmodeller. Følgende punkter nevnes:

1. Modellene bør bygge på et tilstrekkelig antall ulykker og et gjennomsnittlig ulykkestall per analyseenhet som ikke er for lavt. Kriteriet konkretiseres ikke, men Lord (2006) har foreslått mer konkrete regler.
2. Det bør gjøres en eksplorerende studie for å velge funksjonsform for sammenhengen mellom de uavhengige variabler og antall ulykker. Det kan her bemerkes at nesten alle ulykkesmodeller antar at trafikkmengden påvirker ulykkestallet gjennom en potensfunksjon, som alternativt kan skrives som $e^{(\beta \cdot \ln(\text{trafikk}))}$.
3. Den avhengige variabel bør være antall ulykker av en gitt alvorlighetsgrad. Ulykker med ulik alvorlighetsgrad bør modelleres hver for seg. Det bør også være egne ulykkesmodeller for hver ulykkestype.
4. Det bør dannes vegstrekninger som defineres slik at variasjonen mellom strekninger er størst mulig og variasjonen innenfor hver strekning minst mulig.
5. Ved føyning av modeller bør man undersøke om det er kollinearitet mellom de uavhengige variabler, om det kan være skjevheter på grunn av utelatte variabler, om noen av variablene er endogene og om noen koeffisienter kan være påvirket av avvikende datapunkter.

Disse retningslinjene er nyttige, men som vi skal se nedenfor ved drøfting av de ulykkesmodeller som ble utviklet i PRACT, er de ikke tilstrekkelig presise eller uttømmende. Den som utvikler en ulykkesmodell har stor frihet til å gjøre analytiske valg som kan påvirke resultatene betydelig. Dette gjelder blant annet hvilke variabler som inkluderes, spesifisering av funksjonsform og valg av regresjonsmodell (Poisson, negativ binomial, Poisson lognormal). Noen av valgene må gjøres ved prøving og feiling, uten at dette alltid fremgår klart av presentasjonen av sluttresultatet.

5.2 Ulykkesmodeller utviklet i PRACT

Data for tofeltsveger i England ble brukt til å utvikle en ulykkesmodell der trafikkmengde, strekningslengde, stigningsgrad, horisontalkurvatur, andel tohjulede motorkjøretøy og andel tunge biler inngikk som uavhengige variabler (Karathodorou et al. 2015). Følgende koeffisienter var statistisk signifikante:

$$AF = L * AADT^{0.46} * e^{-10.68} * e^{0.09*VC} * e^{-7.58*HGV}$$

Her er L vegstrekningens lengde, AADT er årsgjennsnittstrafikk, VC er stigningsgrad og HGV er andel tunge biler. Konstantleddet er -10,68. Antall ulykker er forutsatt å øke proporsjonalt med strekningens lengde, og koeffisienten for lengde dermed satt lik 1.

Koeffisientene for horisontalkurvatur og andel tohjulede motorkjøretøy var ikke statistisk signifikante.

5.3 Horisontalkurvatur i PRACT

Det kan ha en viss interesse å drøfte hvordan de to linjeføringsvariablene var definert. Horisontalkurvatur var definert på følgende måte:

$$HC = \frac{\sum_i HC_i L_i}{L}$$

Her er HC_i radius i en horisontalkurve som har lengde L_i . Produktet av radius og lengde for hver kurve summeres for alle kurver på en gitt strekning og divideres med strekningens lengde.

For å gjøre regneeksemplene nedenfor enkle, antas det at hver kurve er en radian. Det vil si at kurven har en vinkel på ca. 57,3 grader og at kurven er like lang som sin radius (buelengden = radius). På en strekning som har en kurve med radius 50 meter vil målet HC dermed få verdien (alle lengder oppgis i meter):

$$HC = \frac{50 \cdot 50}{1000} = \frac{2500}{1000} = 2,5.$$

En strekning på 1 kilometer med en kurve med radius 75 meter får en HC-verdi på 5,625. En strekning på 1 kilometer med en kurve med radius på 100 meter får en HC verdi på 10.

Med andre ord: jo slakere og lengre kurvene er, desto høyere blir verdien for horisontalkurvatur. Variabelen har, ikke uventet, en negativ koeffisient.

En strekning på 1 kilometer med fem kurver som hver har radius 50 meter får en HC-verdi på 12,5. Samme verdi får en strekning på 1 kilometer med en kurve med radius 112 meter. Men er det rimelig å tro at disse strekningene skal ha samme risiko? Krappe kurver har høyere risiko enn slake kurver, men hvis det er mange krappe kurver etter hverandre, er ikke risikoen like høy som hvis det er få krappe kurver i nærheten av hverandre (Elvik 2013B, 2019A). En god definisjon av en variabel for horisontal linjeføring bør følgelig fange opp følgende kilder til variasjon i risiko:

1. Kurveradius
2. Kurvelengde (ved en gitt radius er dette et mål på avbøyningsvinkel: jo lengre kurve, desto større retningsendring)
3. Avstand mellom kurver

Det er ikke gitt at alle disse aspektene kan fanges opp av en enkelt variabel. Det kan tenkes at man trenger mer enn en variabel.

I den tyske modellen ble horisontal linjeføring definert som vegens brytning, det vil si:

$$HC = \frac{\sum \alpha_i}{L}$$

Her er α_i retningsendringen i kurve i . L er lengden av strekningen i kilometer. Retningsendring angis i gon, det vil si nygrader der en rett vinkel er på 100 grader i stedet for 90 grader. En radiankurve på en strekning på 1 kilometer vil følgelig gi en brytningsverdi på 63,7 $[(100/90) \cdot 57,3]$. Vegens brytning får samme verdi uansett hvilken radius kurven har. Det eneste som betyr noe er retningsendringen, ikke hvor lang strekning denne skjer over.

Målene på horisontal linjeføring i den engelske og tyske modellen er ikke sammenlignbare og sier ikke det samme. En veg med mange kurver, og dermed mange retningsendringer, kan få høy verdi for brytningsgrad. Men brytningsgraden sier ikke noe om kurvenes radius eller lengde. Dessuten kan en veg som har en lang, slak kurve med stor retningsendring få samme brytningsverdi som en veg der det er mange kurver med mindre retningsendringer. Men disse to strekningene har ikke nødvendigvis samme risiko. De vil få samme beregnede risiko, siden de har samme verdi på variabelen. Forskjellen mellom strekningene fremkommer ikke av verdien på linjeføringsvariabelen og skaper dermed det som kalles «uobservert heterogenitet» (Mannering, Shankar og Bhat 2016). Det bør være et mål å definere variabler slik at uobservert heterogenitet minimeres.

I både den engelske og tyske modellen inngikk også vertikal linjeføring. I begge modeller ble dette definert slik:

$$VC = \frac{\sum |s_i| * L_i}{L}$$

Her er $|s_i|$ absoluttverdien av stigning i (det vil si at alle stigninger gis positive verdier). L_i er lengden av hver stigning. L er strekningens lengde. Stigning angis i prosent. Alle lengder måles i meter. En strekning på 1 kilometer med en stigning på 3 % med lengde 300 meter får verdien:

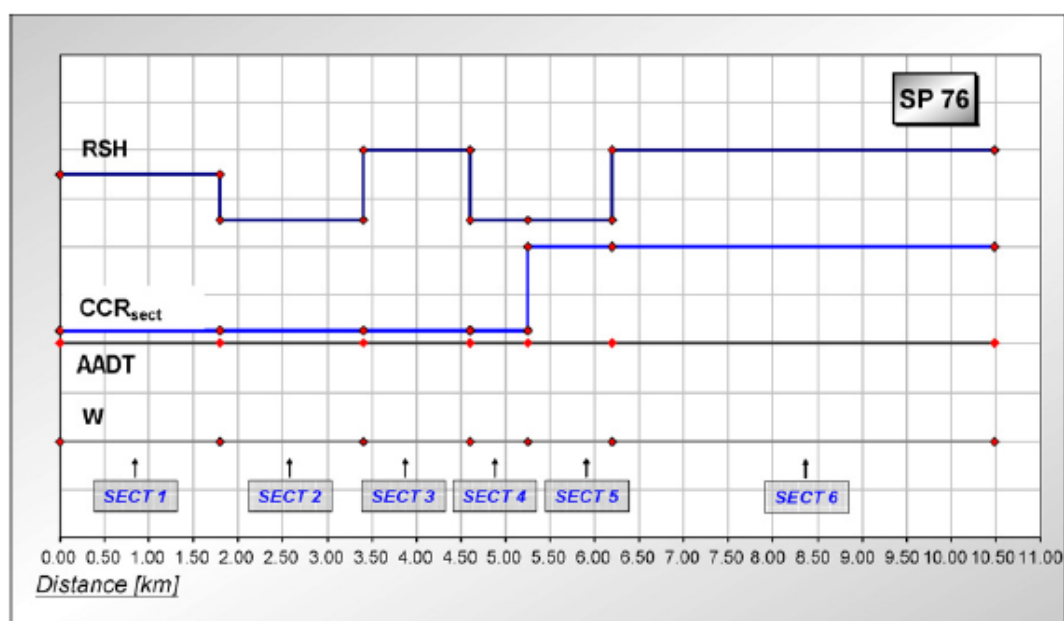
$$VC = \frac{3 \cdot 300}{1000} = \frac{900}{1000} = 0,9 (\%)$$

En strekning på 1 kilometer som har en stigning på 9 % med lengde 100 meter får samme verdi. Igjen er det grunn til å spørre om disse strekningene vil ha samme risiko. Bratte stigninger har høyere ulykkesrisiko enn slake stigninger. Trolig betyr stigningens lengde også noe for risikoen. Jo lengre en stigning er, desto mer kan den påvirke farten (som øker i nedoverbakke og synker i oppoverbakke). Fortegnet på en stigning spiller sannsynligvis også en rolle, siden farten vil ha en tendens til å øke i nedoverbakke.

Når man ser bort fra stigningens fortegn og definerer stigningsgrad som et produkt av to faktorer, summert over strekning, glatter man ut alle slike forskjeller og skaper uobservert heterogenitet. Det finnes uendelig mange ulike kombinasjoner av antall stigninger, hvor bratte disse er og hvor mange det er av dem, som vil gi samme verdi på variabelen VC for stigningsgrad. Denne variabelen er derfor nærmest intetsigende.

5.4 Inndeling av et vegnett i homogene strekninger

Når datagrunnlaget for en ulykkesmodell defineres, er det viktig at hver observasjonsenhet er så enhetlig som mulig med hensyn til de uavhengige variabler, samtidig som ulike observasjonsenheter er ulike med hensyn til de uavhengige variablene. Cafiso et al. (2010) illustrerer denne tankegangen med følgende figur:



Her er W vegbredde, AADT er årsgjennomsnittlig trafikktetthet, CCR er «curvature change rate», eller vegens brytning, og RSH er «roadside hazard rating», en skala for hvor farlig vegens sideterreng er.

Første strekning går til første endring i RSH. Der begynner strekning 2. Den slutter der det er en ny endring i RSH. Slik fortsetter inndelingen. En ny strekning begynner når minst en av de uavhengige variablene endrer verdi. Strekningene blir på denne måten ikke like lange.

Bortsett fra vegens brytning, er det i ulykkesmodeller ikke vanlig å definere nye strekninger der linjeføringsvariabler endrer verdi. I noen studier (f.eks. Persaud et al. 2000) lages separate modeller for horisontalkurver og rette strekninger. Hvis man skulle definere en ny strekning hver gang når, for eksempel, horisontalkurveradius endres, ville man få mange svært korte strekninger. For å unngå dette, måtte man definere kurveradius (eller andre kurvevariabler) grovere, slik at nye strekninger bare ble definert ved større endringer i horisontalkurveradius eller generelt i horisontalkurvaturen.

Jo flere kriterier som brukes til å dele inn vegnettet i homogene strekninger, desto flere og kortere strekninger får man. Det betyr også at flere av strekningene får null ulykker og at få strekninger får et høyt ulykkestall. I ytterste konsekvens, når strekningene er korte nok, blir antall ulykker en dikotom variabel: 0 eller 1.

Man står følgelig overfor en avveining mellom å ha mange korte strekninger som innad er homogene med hensyn til svært mange variabler, eller færre og lengre strekninger, der for eksempel linjeføring kan variere på strekningen. Det kan ha en verdi at linjeføringen på strekninger varierer. Det gir mulighet for å definere mer enn en linjeføringsvariabel for hver strekning, for eksempel:

1. Antall horisontalkurver
2. Minste radius i horisontalkurver
3. Gjennomsnittlig radius i horisontalkurver
4. Avstand mellom kurver
5. Minste lengde av kurver
6. Største lengde av kurver
7. Antall skifter av retning (det vil si om alle kurver går samme retning eller endrer retning)

Trolig er det nødvendig å definere såpass mange (eller enda flere) variabler for å fange opp kompleksiteten i sammenhengen mellom linjeføring og antall ulykker. Få, om noen, ulykkesmodeller har til nå lyktes med dette.

5.5 Italiensk ulykkesmodell

Avslutningsvis skal ulykkesmodellen for italienske motorveger kort kommenteres (La Torre et al. 2019). Modellen var en kopi av en tilsvarende modell i Highway Safety Manual og ble laget med det hovedformål å undersøke om denne modellen kunne overføres til italienske forhold. Det viste seg at en modell av samme matematiske form som modellen i Highway Safety Manual passet godt til italienske motorveger, men verdiene på koeffisientene var ganske ulike (men hadde samme fortegn).

6 EGRIS-metoden for sikkerhetsklassifisering av vegger

EU-kommisjonen har i perioden 2020-2023 finansiert et prosjekt som hadde til formål å utvikle en metode for å klassifisere vegger ut fra deres trafikksikkerhet. Prosjektet ble sluttokumentert tidlig i 2023 (Yannis et al. 2023). Metoden kalles EGRIS-metoden. EGRIS står for Expert Group on Road Infrastructure Safety. Denne ekspertgruppen har fulgt arbeidet med utvikling av metoden og gitt kommentarer underveis til forskerne som har utviklet metoden. Metoden er utviklet av en gruppe forskere ved National Technical University of Athens (NTUA), university of Zagreb Faculty of Transport and Traffic Sciences (FTZ) og FRED Engineering I Italia.

Metoden består av tre hovedelementer: (1) En reaktiv metode; (2) En proaktiv metode, og (3) Sammenveining av resultatene av den reaktive og proaktive metoden. Nedenfor beskrives hvert av disse elementene. Deretter kommenteres metoden.

6.1 Den reaktive metoden

Den reaktive metoden bygger på analyse av ulykkesstatistikk. Den kan bare brukes dersom det finnes ulykkesdata for minst 3 år som kan knyttes til ulike vegtyper. Det skilles mellom tre vegtyper: (1) Motorveg, (2) Annen veg med midtdeler eller midtrekkverk, (3) Veg uten fysisk skille mellom motgående kjøreretninger.

For hver vegtype innhentes data om ulike kjennetegn ved vegen. Disse kjennetegnene omfatter variabler som vanligvis inngår i ulykkesmodeller, som antall kjørefelt, horisontalkurvatur og antall kryss. Vegen deles så inn i strekninger som er homogene med hensyn til disse kjennetegnene. Hver vegstrekning sammenlignes med en referansepopulasjon av lignende strekninger. Referansepopulasjonen skal bestå av samme type veg som den man studerer med sikte på å klassifisere den. Analyseobjektet kan for eksempel være en bestemt strekning på en motorveg. Referansepopulasjonen er da alle lignende strekninger på alle motorveger (det vil si med, for eksempel, samme antall kjørefelt, samme linjeføring, samme fartsgrense, og så videre). Det må foreligge om ulykker, veglengde og trafikkmengde for referansepopulasjonen.

For hvert analyseobjekt beregner man enten ulykkestetthet (ulykker per kilometer veg) eller ulykkesrisiko (ulykker per million kjøretøykilometer). Ulykkestetthet forutsettes bare brukt til på klassifisere vegger dersom det ikke er mulig å beregne ulykkesrisiko. Det beregnes et 95 % konfidensintervall for ulykkestetthet eller ulykkesrisiko på grunnlag av en forutsetning om at ulykker er Poissonfordelte.

Dersom ulykkesrisikoen i referansepopulasjonen er lavere enn nedre 95 % konfidensgrense for analyseobjektet, klassifiseres analyseobjektet som «høy risiko». Dersom ulykkesrisikoen i referansepopulasjonen er høyere enn øvre 95 % konfidensgrense for analyseobjektet, klassifiseres analyseobjektet som «lav risiko». I alle andre tilfeller klassifiseres analyseobjektet som «ubestemt risiko» (betegnelsen «unsure» benyttes på engelsk; det må tolkes i retning av at man ikke kan trekke noen konklusjon; det ville være misvisende å oversette det med «usikker» siden det kan tolkes som at vegen har høy risiko).

6.2 Den proaktive metoden

Den proaktive metoden kan benyttes både alene og sammen med den reaktive metoden. Dersom ulykkesdata ikke finnes, for eksempel fordi vegen kun er under planlegging, kan bare den proaktive metoden benyttes. For alle eksisterende vegger med ulykkesdata, kan både den reaktive og den proaktive metoden benyttes.

Den proaktive metoden klassifiserer sikkerheten til en veg på grunnlag av standarden på bestemte vegelementer. Det skilles mellom de samme tre vegtyper som i den reaktive metoden. For veger uten fysisk skille mellom motgående kjøreretninger scores vegen på grunnlag av: kjørefeltbredde, sideterreng, kurvatur, avkjørselstetthet, kryss, anlegg for fotgjengere og syklist, skuldertype og skulderbredde, forbikjøringsfelt og kvalitet på skilt og oppmerking.

En veg der alle elementer har god standard gis en score på 100. Denne reduseres med «reduksjonsfaktorer» for hvert vegelement dersom dette ikke holder god standard:

$$Score_i = 100 \times RF_{1i} \times RF_{2i} \times \dots \times RF_{ni}$$

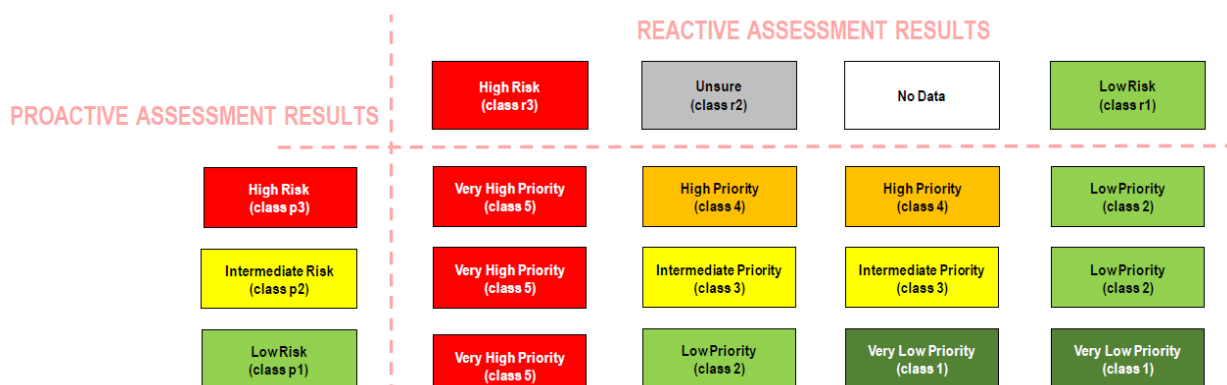
Dersom et bestemt vegelement har god standard, tilordnes det verdien 1. Hvis det er feil eller mangler ved elementet, tilordnes det en lavere verdi. Eksempelvis gis kjørefeltbredde score 1,000 hvis den er 3,25 meter eller bredere; 0,976 ved bredde mellom 3 og 3,25 meter og 0,952 ved bredde under 3 meter. Faste hindre nær vegen føre til at verdien for sideterreng reduseres fra 1,000 helt ned til 0,119. Den laveste verdien angis hvis det finnes en dyp dreneringsgrøft mindre enn 1 meter fra vegkanten. Verdier under 1 kalles reduksjonsfaktorer. For å komme fram til et samlet mål på en vegs sikkerhet, ganges reduksjonsfaktorene med hverandre. Jo lavere verdi produktet har (jo lavere null det er), desto dårligere er vegens trafiksikkerhet.

En motorveg som scorer 85 eller høyere klassifiseres som sikker (grønn). Scorer den mellom 65 og 85 klassifiseres den som middels sikker (gul). Scorer den lavere enn 65 klassifiseres den som usikker (rød). De tilsvarende grensene for andre veger er 80 og 50.

6.3 Kombinasjon av metodene

Ved å kombinere resultatene av den reaktive og proaktive metoden dannes fem grupper av veger. Disse gis betegnelser fra «høy prioritet» til «lav prioritet». Høy prioritet betyr at vegen har høy risiko og skal ha høy prioritet for gjennomføring av trafiksikkerhetstiltak. Lav prioritet betyr høy sikkerhet og lite behov for trafiksikkerhetstiltak. Figur 6.1 viser hvordan den reaktive og den proaktive metoden kombineres (Yannis et al. 2023, figur 4.1).

Resultatene av den reaktive metoden er gitt noe større vekt enn resultatene av den proaktive metoden. En veg klassifiseres i høyeste prioritetsgruppe dersom den reaktive analysen indikerer det, selv om vegen scorer gult eller grønt i den proaktive analysen.



Figur 6.1: Kombinasjon av reaktiv og proaktiv metode for sikkerhetsklassifisering av veger.

6.4 Kommentarer til metoden

EGRIS-metoden skiller seg fra andre metoder for å vurdere vegers trafiksikkerhet ved at den bygger både på det som kalles en reaktiv metode og det som kalles en proaktiv metode. Ved å kombinere disse metodene får man mer informasjon om en veks trafiksikkerhet enn ved å bruke bare en av metodene.

Den reaktive metoden må betegnes som nokså enkel. Den går i korthet ut på å beregne ulykkestetthet eller ulykkesrisiko for en bestemt vegstrekning og sammenligne dette med en normalverdi. Ved beregning av ulykkesrisiko bygger man på det registrerte ulykkestallet. Det gjøres ingen korreksjon for tilfeldig variasjon i ulykkestall.

Ved å beregne ulykkesrisiko på denne måten, vil den for de fleste vegstrekninger i Norge bli null. I datagrunnlaget for ulykkesmodellen for riks- og fylkesveger for perioden 2010-2015 hadde 84 % av strekningene null ulykker. Strekningene var riktignok ganske korte, 659 meter i gjennomsnitt, men data gjaldt en periode på 6 år. Man kan benytte lengre strekninger, men de vil da være homogene med hensyn til færre egenskaper enn de korte strekningene. Man fanger da ikke opp alle kilder til variasjon i risiko og sammenligningen med en normal risiko blir mindre nøyaktig.

Nest etter null, er en det hyppigst forekommende ulykkestall på norske vegstrekninger. Det gir liten mening å beregne et 95 % konfidensintervall for 1 ulykke basert på en antakelse om Poissonfordeling. Både variansen og standardavviket til 1 ulykke er lik 1. Et 95 % konfidensintervall dekker pluss eller minus 1,96 standardavvik. Det betyr, bokstavelig talt at nedre 95 % konfidensgrense er et negativt tall, som ikke gir mening. Det må settes lik null og konfidensintervallet blir asymmetrisk rundt registrert ulykkestall. Øvre 95 % konfidensgrense er 2,96 ulykker. Det vil uansett per definisjon være umulig å klassifisere en veg som «lav risiko» etter dette kriteriet, siden ulykkestall ikke kan være lavere enn null.

Den reaktive metoden bedømmes som lite aktuell i Norge. De ulykkesmodeller som er utviklet gir sammen med verktøyet TS-effekt et langt bedre grunnlag for å beregne vegers trafiksikkerhet og mulighetene for å forbedre den enn den reaktive EGRIS-metoden.

Den proaktive metoden bør derimot ikke avskrives. I takt med et synkende ulykkestall på norske veger, er grunnlaget for å utvikle gode ulykkesmodeller gradvis blitt dårligere. Det gjøres regelmessig trafiksikkerhetsinspeksjoner av eksisterende veger i Norge. Resultatene av inspeksjonene benyttes som grunnlag for å foreslå trafiksikkerhetstiltak. Eksisterende praksis er dermed allerede i samsvar med den proaktive EGRIS-metoden. Tiltak som bygger på trafiksikkerhetsinspeksjon kan ofte redusere antall ulykker med 10-40 % (Høye 2021).

7 Highway Safety Manual

7.1 Oversikt over Highway Safety Manual

Første utgave av Highway Safety Manual ble utgitt i 2010 (AASHTO 2010). Et supplement om risiko på motorveger ble utgitt i 2014. Highway Safety Manual er under revisjon, men det er ikke bestemt når den reviderte utgaven utkommer. Første utgave består av fire hoveddeler, som hver består av flere kapitler. Oversatt, er innholdsfortegnelsen slik:

Del A: Innledning, mennesket i trafikken og grunnleggende begrep

Kapittel 1: Innledning og oversikt

Kapittel 2: Menneskelige faktorer

Kapittel 3: Grunnleggende begrep

Del B: Sikkerhetsstyring av veger

Kapittel 4: Trafikksikkerhetsanalyse av vegnettet («network screening»)

Kapittel 5: Ulykkesanalyse; kollisjonsdiagrammer

Kapittel 6: Valg av tiltak

Kapittel 7: Samfunnsøkonomisk analyse

Kapittel 8: Prioritering mellom tiltak

Kapittel 9: Evaluering av virkninger av tiltak

Del C: Prediktive ulykkesmodeller

Kapittel 10: Prediksjon for tofelts landeveger

Kapittel 11: Prediksjon for flerfelts landeveger

Kapittel 12: Prediksjon for hovedveger i tett og middels tett bebyggelse

Del D: Virkningsfaktorer for tiltak (crash modification factors)

Kapittel 13: Vegstrekninger

Kapittel 14: Kryss

Kapittel 15: Toplankryss

Kapittel 16: Andre vegelementer

Highway Safety Manual er en lærebok i sikkerhetsstyring av veger. Den forklarer blant annet empirisk Bayes metode i detalj og inneholder flere regneeksempler. Det er utviklet et sett av regneark som brukere av Highway Safety Manual kan laste ned for å gjøre beregninger av forventet ulykkestall, virkninger av tiltak og nytte og kostnader ved tiltakene. Del B av boken har tilnærmet samme innhold som flere håndbøker utgitt av Statens vegvesen, blant annet om analyse av ulykkessteder (V723) og konsekvensanalyser (V712). I denne rapporten har del C og D av Highway Safety Manual størst interesse.

7.2 Ulykkesmodeller

Ulykkesmodellene som presenteres i Highway Safety Manual brukes til å beregne et normalt ulykkestall. Dette er første trinn i beregning av forventet ulykkestall for en veg med gitte kjennetegn på et bestemt sted.

7.2.1 Tofelts-landeveger

Ulykkesmodellen for tofelts landeveger i Highway Safety Manual er slik:

$$\text{Antall ulykker per mill. kjøretøy-miles} = \text{ÅDT} \cdot \text{Lengde} \cdot 365 \cdot 10^{-6} \cdot e^{(-0.312)}$$

De fire første leddene er en beregning av trafikkarbeid i millioner kjøretøykilometer (eller miles). Siste ledd angir en «grunnrisiko» ved det beregnede trafikkarbeidet. Denne risikoen gjelder for en veg med gitte kjennetegn, blant dem: to kjørefelt; hvert kjørefelt er 12 fot (3,66 meter); skulderbredde (trolig per side) 6 fot (1,83 meter); asfaltert skulder; 5 avkjørsler per mile (tilsvarende litt over 3 per kilometer); vegen er rett og flat; 3 poeng for sideterrengets farlighet (roadside hazard rating), og så videre.

Modellen forutsetter implisitt at det er en lineær sammenheng mellom både trafikkmengde og strekningens lengde og antall ulykker. Det predikerte antall ulykker på en landeveg med «standard»-egenskapene er f.eks. 0,27 ved en ÅDT på 1000, 0,53 ved ÅDT 2000 og 2,67 ved ÅDT 10000.

Dersom vegen har andre kjennetegn enn dem som er forutsatt i grunnmodellen, korrigeres ulykkestallet ved hjelp av virkningsfaktorer for de ulike kjennetegnene (crash modification factors). Når et korrigert, predikert ulykkestall er beregnet, skaleres dette til lokale forhold ved hjelp av en kalibreringsfaktor. Denne faktoren har samme funksjon som dummyvariabler for fylker i norske ulykkesmodeller. Overspredningsparameteren i grunnmodellen for tofelts landeveger er variabel. Den er spesifisert slik:

$$\text{Overspredningsparameter} = \frac{0,236}{L}$$

L er vegstrekningens lengde i miles. Det betyr at jo lengre strekning man beregner ulykkestall for, desto lavere verdi har overspredningsparameteren.

Når et skalert, lokalt predikert ulykkestall er beregnet, kombineres dette med registrert ulykkestall ved hjelp av empirisk Bayes metode. Dermed fremkommer et lokalt forventet ulykkestall. Dette benyttes som grunnlag for å beregne virkninger av trafikksikkerhetstiltak. Dersom man ønsker å skille mellom ulykker med ulik skadegrad, benyttes representative prosentfordelinger av ulykker etter skadegrad. Den vanligste skalaen for skadegrad i USA er KABCO-skalaen. K betyr «killed», A er «incapacitating injury», som betyr at den skadde ikke kan forlate ulykkesstedet på egen hånd (trenger ambulanse), B er «evident injury», som er en synlig skade, men ikke så alvorlig at den skadde må fraktes bort med ambulanse, C er «possible injury», som betyr at det kan være en personskade, men at dette ikke er åpenbart, og O betyr «no injury», som betyr at det er en ren materiellskadeulykke. I de fleste stater i USA er materiellskadeulykker rapporteringspliktige til politiet. Politiets ulykkesstatistikk består derfor ofte av 50-80 % materiellskadeulykker; resten er personskadeulykker.

7.2.2 Flerfelts-landeveger

For veger med flere felt har grunnmodellen for ulykker følgende form:

$$\text{Antall ulykker} = e^{(a+b \cdot \ln(AADT)+\ln(L))}$$

Dette er en eksponential-ulykkesmodell der a er konstantledd og trafikkmengden (AADT) inngår som naturlig logaritme.

Koeffisientene a og b er beregnet ved hjelp av regresjonsanalyse (negativ binomial regresjon).

Sammenhengen mellom ÅDT og ulykker er lineær dersom koeffisienten b settes lik én. Antall ulykker øker mindre enn lineært dersom b er mindre enn én og mer enn lineært med ÅDT dersom b er større enn én. Men uansett om ulykker øker mer eller mindre enn proporsjonalt med ÅDT, er den prosentvise endringen alltid den samme ved ulike ÅDT (hvis b er f.eks. lik 0,8, medfører en dobling av ÅDT alltid en økning på 74%, uansett om man begynner ved en ÅDT på 500 eller 5000 eller et annet nivå).

For strekningens lengde forutsetter man en lineær sammenheng.

Modellen har variabel overspredningsparameter, som beregnes slik:

$$\text{Overspredningsparameter} = \frac{1}{e^{(c+\ln(L))}}$$

Her er c en parameter som beregnes; L er strekningens lengde. Overspredningsparameteren blir lavere jo lengre vegstrekningen er.

7.2.3 Kryss

Grunnmodellen for kryss i Highway Safety Manual er slik:

$$\text{Antall ulykker per kryss} = e^{(-9.86+0.79\ln AADT_{maj}+0.49\ln AADT_{min})}$$

Dette er en vanlig eksponential ulykkesmodell. $AADT_{maj}$ er antall innkommende kjøretøy fra hovedvegen, $AADT_{min}$ er antall innkommende kjøretøy fra sidevegen(e).

Trafikkmengdevariablene inngår som naturlige logaritmer. Sammenhengen mellom antall kjøretøy og ulykker er den samme som for flerfeltslandeveger (se forklaring i avsnitt over).

Alle ulykkesmodeller for kryss har denne formen; det er bare de beregnede koeffisientene som varierer. Modellen som er vist over gjelder trearmede, ikke-signalregulerte kryss på tofelts veger utenfor byer og tettsteder.

Ulykkesmodellene for hovedveger i middels tett og tett bebyggelse har samme matematiske form som ulykkesmodellene som er presentert over for flerfeltsveger utenfor tettbygde strøk. Det er likevel utviklet separate ulykkesmodeller for ulike ulykkestyper.

7.3 Virkningsfaktorer

Highway Safety Manual inneholder et stort antall virkningsfaktorer (crash modification factors) for ulike trafiksikkerhetstiltak og egenskaper ved vegutforming og trafikkregulering. Virkningsfaktorene bygger på litteraturstudier som minner mye om dem som gjøres ved revisjon av Trafiksikkerhetshåndboken. Virkningsfaktorene er emneordnet. For vegstrekninger finnes virkningsfaktorer som dekker 12 emneområder. Opplysningene som gis er ofte minst like detaljerte som i Trafiksikkerhetshåndboken, spesielt når det gjelder kjennetegn ved trafikkmiljøet de gjelder for. Derimot kan opplysninger om skadegrad være mindre detaljerte enn i Trafiksikkerhetshåndboken.

En del av virkningsfaktorene er funksjoner. Et eksempel på dette er funksjonen for radius, lengde og overgangskurve i horisontalkurver:

$$\text{Virkningsfaktor for horisontalkurver} = \frac{(1.55 \cdot L_c) + \left(\frac{80.2}{R}\right) - (0.012 \cdot S)}{(1.55 \cdot L_c)}$$

L_c er lengden av en kurve i miles (1 mile = 1,609 kilometer). R er radius i fot (1 fot = 0,3048 meter). S er en dummyvariabel som er lik 1 når kurven har en «spiral transition curve», 0 når den ikke har det. En «spiral transition curve» er en klotoide, det vil si en overgangskurve der kurveradien synker lineært som funksjon av buelengden, det vil si at kurven gradvis blir krappere inntil man når den radius hoveddelen av kurven har.

For en kurve med radius 100 meter, lengde 100 meter og ingen overgangskurve blir virkningsfaktoren:

$$[((1.55 \cdot (100/1609)) + (80.2/(100/0.3048)) - (0.012 \cdot 0)] / (1.55 \cdot (100/1609)) = 3,537$$

Det betyr at en kurve med disse kjennetegnene har 3,537 ganger så mange ulykker som en rett vegstrekning med samme lengde. Første ledd er lengden. Omregnet til miles blir det 100/1609. Andre ledd er radius. Omregnet til fot blir det 100/0,3048 (det vil si 100 meter er lik 328 fot). Tredje ledd er overgangskurven, som i dette eksemplet er null.

Når en kurve har samme lengde som radius, har den en vinkel på en radian, eller 57,28 grader. Hvis kurven i dette eksemplet forlenges til 200 meter, men har samme radius og fortsatt ingen overgangskurve, blir virkningsfaktoren redusert til 2,269. Når en kurve blir lengre, blir økningen i ulykkesrisiko mindre. Dette strider mot andre resultater i undersøkelser om ulykkesrisiko i kurver. Virkningsfaktoren for horisontalkurver i Highway Safety Manual bygger bare på en undersøkelse, ikke på en sammenstilling av resultater av flere undersøkelser.

Hvis radius reduseres til 50 meter, men lengden fortsatt er 100 meter og det fortsatt ikke finnes en overgangskurve, blir virkningsfaktoren 6,075. Virkningsfaktoren er følgelig svært følsom for kurveradius. Hvis en krapp kurve med radius 50 meter har en overgangskurve, reduseres virkningsfaktoren til 5,951.

7.4 Kommentarer til Highway Safety Manual

Som nevnt innledningsvis, vil en ny utgave av Highway Safety Manual bli utgitt om kort tid. Virkningsfaktorene vil da bli tatt ut av Highway Safety Manual og overført til CMF Clearinghouse. De vil der bli oppdatert hvert kvartal.

Norsk praksis samsvarer godt med den metode Highway Safety Manual beskriver for sikkerhetsstyring av veger. I Norge bygger dette på ulykkesmodeller og empirisk Bayes metode. Ulykkesmodellene i Highway Safety Manual er enkle og består enten bare av trafikkmengde, eller av trafikkmengde og streklengde som uavhengige variabler. Valget av slike enkle modeller kan forstås på bakgrunn av at USA er et enormt stort land, med tilsvarende store variasjoner i vegstandard og trafikksikkerhet. Det er ikke mulig å utvikle en avansert ulykkesmodell som på en god måte fanger opp alle kilder til variasjon i ulykkestall for hele USA.

De fleste kilder til variasjon i ulykkestall blir derfor fanget opp gjennom virkningsfaktorene. Disse er multiplikatorer som man ganger det kalibrerte, forventede ulykkestallet med:

$$\text{Beregnet forventet ulykkestall} = \text{kalibrert forventet ulykkestall} \cdot \text{CMF}_1 \cdot \text{CMF}_2 \cdot \text{CMF}_3 \dots \cdot \text{CMF}_n$$

Her står CMF for crash modification factor, eller virkningsfaktor. Beregningsmetoden er enkel og Highway Safety Manual inneholder en rekke regneeksempler og skreddersydde regneark som kan lastes ned for å gjøre beregninger.

Det er likevel en del betenkeligheter med beregningsmodellen i Highway Safety Manual.

(1) For det første forutsetter den at de ulike faktorene er uavhengige av hverandre. Det er neppe riktig. Eksempelvis finner man oftere krappe kurver på smale veger enn på brede veger. Veger med mange horisontalkurver kan også ha flere og brattere stigninger enn andre veger. Når virkningsfaktorer som er korrelerte, behandles som om de er uavhengige, kan man kraftig overvurdere deres kombinerte virkninger. Elvik (2011B) viser hvordan man overvurderer bidraget fra to risikofaktorer til ulykkene dersom man behandler dem som uavhengige når de faktisk er sterkt korrelerte. Risikobidraget fra hver faktor ble tallfestet i form av «population attributable risk», som er et tall mellom 0 og 1 som viser hvor mye ulykkene kunne reduseres dersom risikoøkningen knyttet til en risikofaktor ble eliminert. Risikobidraget beregnes slik:

$$\text{Risikobidrag (population attributable risk)} = \frac{PE \cdot (RR-1)}{1 + (PE \cdot (RR-1))}$$

Her står PE for andelen av trafikken som er påvirket av en risikofaktor, regnet som proporsjon. RR står for relativ risiko. I Elviks regneeksempel bidrar hver av to risikofaktorer til å øke risikoen med 50 %. Når de to risikofaktorene har liten korrelasjon (0-0,15), blir deres samlede risikobidrag beregnet til 0,174. Summen av deres uavhengige bidrag er da 0,230. Ved høy korrelasjon (0,85-1), blir deres samlede risikobidrag (korrigert for korrelasjon) beregnet til 0,194. Summen av uavhengige bidrag (ikke korrigert for korrelasjon) beregnes til 0,334.

(2) For det andre er hver CMF usikker. Denne usikkerheten hopper seg opp når flere CMF-er ganges med hverandre. Usikkerheten i sluttresultatet kan dermed bli stor, men i Highway Safety Manual behandles hver CMF som om den ikke har noen usikkerhet. Det er ikke beskrevet noen metode for å behandle opphopning av usikkerheter.

(3) For det tredje er ikke alle virkningsfaktorer spesifisert etter skadegrad i ulykkene, men gjelder «all crashes», som i USA er en vilkårlig blanding av alt fra materiellskadeulykker til dødsulykker. Ordet vilkårlig brukes av to grunner: Rapporteringen av materiellskadeulykker er trolig varierende og ufullstendig og kravet til rapportering, som i de fleste stater er knyttet til skadebeløp, endres med visse mellomrom. Settes dette opp fra, eksempelvis, 2000 dollar til 4000 dollar vil det se ut som om antall ulykker har gått betydelig ned.

(4) For det fjerde er det, så vidt kjent, bare gjort noen få undersøkelser av hvor godt beregningsmetoden i Highway Safety Manual fungerer i praksis. Gir den for høye eller for lave ulykkestall? Det finnes lite eller ingen systematisk forskning om dette, bortsett fra noen få studier av hvor godt metoden fungerer i bestemte stater i USA.

(5) For det femte forutsetter modellen for tofelts-landeveger en lineær sammenheng mellom trafikkmengde og antall ulykker. Denne forutsetningen er trolig i de fleste tilfellene ikke riktig.

Når dette er sagt, må det tilføyes at det i praksis ikke er mulig å inkludere alt som påvirker ulykkestall i en multivariat statistisk ulykkesmodell. Noen faktorer må behandles utenfor modellen, enten som eksplisitte korrigeringsfaktorer, eller som et restledd som inneholder alle faktorer utenfor modellen. Empirisk Bayes metode er en variant av en restleddskorreksjon, der man ikke spesifiserer konkret hva som ikke inngår i modellen når man korrigerer dens resultater.

8 International Road Assessment Programme

8.1 Hva er International Road Assessment Programme (iRAP)?

International Road Assessment Programme (iRAP) er et system for å beregne risikoen for å bli drept eller alvorlig skadet ved ferdsel på en offentlig veg som er åpen for alminnelig ferdsel. Den beregnede risiko er ment å uttrykke den risiko den enkelte trafikant utsetter seg for, gitt vegens egenskaper og trafikkmengde. International Road Assessment Programme begynte i Europa i 1999 og ble da kalt EuroRAP. Senere er systemet tatt i bruk i andre verdensdeler under titler som USRAP (USA), KiwiRAP (New Zealand) og AusRAP (Australia). En felles forkortelse for disse variantene er iRAP.

Den første versjonen av iRAP beregnet kun risikoen for å bli drept eller hardt skadet, gitt at en ulykke hadde skjedd. Systemet er senere utvidet til også å beregne risikoen for at en ulykke skal skje. Dagens versjon av iRAP er tredje generasjon av verktøyet. All dokumentasjon av iRAP finnes på organisasjonens hjemmeside (www.irap.org).

Målet med en iRAP-analyse er å tilordne en veg en score for sikkerhet. Scoren indikeres med stjerner fra 1 til 5, der 1 er dårligste sikkerhet og 5 er beste sikkerhet. I den første versjonen av iRAP ble bare fire stjerner brukt (4 var beste score). Sikkerhetsscoren i første versjon var et uttrykk for risikoen for å bli drept eller hardt skadet gitt at en ulykke hadde skjedd.

8.2 Beskrivelse av iRAP

Det er utgitt 14 «methodology fact sheets» som beskriver ulike elementer i metoden. Beskrivelsen her bygger på de første 10 av disse. De siste fire gjelder trafikksikkerhetstiltak, ikke hvordan man beregner hvor farlig en veg er.

En analyse starter med en detaljert koding av en vegs egenskaper. Kodingen bygger vanligvis på bilder eller videoopptak av vegen. Det kan kodes inntil 78 egenskaper ved en veg. Det kodes blant annet hvor mye gang- og sykkeltrafikk det er, men bare i form av relativt grove koder (for eksempel: 6 = mer enn 8 syklist; 5 = 6-7 syklist; 4 = 4-5 syklist; 3 = 2-3 syklist; 2 = 1 syklist; 1 = ingen syklist). Siden kodingen bygger på bilder eller video, ikke på en fysisk befaring, må det antas at disse kodene kun viser det antall fotgjengere eller syklist som fantes på bildene eller ble fanget inn av videoopptakene. Representativiteten av tallene er derfor høyst uviss.

Horisontalkurver kodes også nokså grovt: veldig krapp, krapp, moderat eller svak kurve. Kurveradius tallfestes ikke; heller ikke retningsendring. Men det finnes en variabel som heter «kurvens kvalitet». Den kodes som dårlig, brukbar eller ikke relevant. Dette er svært skjønnsmessige kategorier, der man ikke uten videre kan regne med at ulike personer vil kode en gitt kurve likt.

Til hver kode for hver vegegenskap er det tilordnet en risikoscore. Denne bygger på litteraturstudier, blant annet de to engelske utgavene av Trafikksikkerhetshåndboken (Elvik et al. 2004, 2009), som sies å være en viktig del av kunnskapsgrunnlaget.

En samlet risikoscore beregnes ved hjelp av en standardformel som presenteres senere. Risikoscoren beregnes separat for fire trafikantgrupper og for inntil fire ulykkestyper for hver trafikantgruppe.

Tabell 8.1 viser inndelingen i trafikantgrupper og ulykkestyper:

Tabell 8.1: Inndeling i trafikantgrupper og ulykkestyper i iRAP. Kilde: Methodology fact sheet #4.

Personer i bil	Motorsyklister	Syklister	Fotgjengere
Utforkjøringsulykke	Utforkjøringsulykke	Ved ferdsel langs veg	Ved ferdsel langs veg
Møteulykke	Møteulykke	Ved kryssing av veg	Ved kryssing av veg
Kryssulykke	Kryssulykke	Utforkjøringsulykke	
	Velteulykke		

Kun dødsulykker eller ulykker med hardt skadde inngår. Ulykkestyper som ikke er nevnt i tabell 8.1 inngår ikke. Dermed er bl.a. ulykker ved påkjøring bakfra, viltulykker og fallulykker blant fotgjengere utelukket fra analysene.

Data om trafikkmengde av motorkjøretøy bygger om mulig på kontinuerlige tellinger. Andre tellinger kan benyttes hvis kontinuerlige tellinger ikke foreligger. Det er også definert en variabel som kalles «midtdelerens gjennomkjørbarhet» (median traversability). Denne variabelen er tatt med fordi den i betydelig grad påvirker risikoen for møteulykker. Midtdeleren kodes som «ikke gjennomkjørbar» dersom den er svært bred og/eller har et rekkverk som hindrer de fleste kjøretøy fra å komme over i motgående kjøreretning.

For hver av ulykkestypene for hver trafikantgruppe i tabell 6 beregnes en Star Rating Score (SRS). Methodology Fact Sheet #6 beskriver beregningen slik:

A Star Rating Score (SRS) is calculated for each 100 metre segment of road and each of the four road users, using the following equation:

$$SRS = \sum \text{Crash Type Scores} \quad (1)$$

where:

- the SRS represents the relative risk of death and serious injury for an individual road user; and
- Crash Type Scores = Likelihood x Severity x Operating speed x External flow influence x Median traversability

Oversatt blir dette:

Score for hver ulykkestype = sannsynlighet x skadegrad x fart x trafikkmengde x midtdelers gjennomkjørbarhet

Sannsynlighet (for at det skjer en ulykke) og skadegrad i ulykken er med andre ord brukt som prediktorer for en sikkerhetsscore som skal representere nettopp ulykker og skadegrad. Hvor informasjonen om sannsynlighet og skadegrad kommer fra, er ikke spesifisert.

Scoren beregnes for strekninger på 100 meter. Det kan være store sprang i beregnet score fra en strekning til den neste. Slike sprang gattes ut ved å beregne en gjennomsnittscore for flere 100 meter strekninger. Det beskrives ikke i detalj hvordan dette gjøres, men henvises til programmet VIDA som gjør beregningene. Peaks-and-profiles metoden som er utviklet i USA beregner gjennomsnitt etter klart definerede statistiske kriterier; se et eksempel på bruk av metoden i Elvik (2008). De ulike vegegenskapene som er kodet kan påvirke både sannsynligheten for ulykke og skadegraden ved en ulykke.

Fart er vanligvis angitt ved 85 % fraktilen i fartsfordelingen. En iRAP analyse forutsetter med andre ord at det finnes fartsdata for strekninger på 100 meter. Dette vil sjelden være tilfellet og fartsgrensen kan da brukes som indikator i stedet for målt fart.

Trafikkmengde inngår i form av en koeffisient som viser hvor mye antall ulykker øker når trafikkmengden øker. Koeffisienten er ikke nødvendigvis lik 1, men kan vise en ikke-lineær sammenheng mellom trafikkmengde og ulykestall. Midtdelers gjennomkjørbarhet inngår som en dummy med verdi 1 dersom midtdelers kan krysses. Det forutsettes med andre ord at en ikke-gjennomkjørbar midtdeler (eller et midtrekkverk) kan hindre 100 % av møteulykkene.

Star Rating Score kan gå fra 0 og oppover. Jo høyere score, desto farligere er en veg. Grensene mellom 1, 2, 3, 4 eller 5 stjerner varierer mellom ulike ulykestyper.

8.3 Eksempel på scoring av en veg

IRAP methodology fact sheet # 9 gir et eksempel på hvordan man beregner sikkerhetsscore for en veggstrekning på 100 meter. Veggstrekningen er vist på bildet i figur 8.1.



Figur 8.1: Veggstrekning på 100 meter som det beregnes sikkerhetsscore for. IRAP methodology fact sheet # 9.

Det scores først for bilisters risiko for å bli drept eller hardt skadet. Scoringen gjøres separat for hver av ulykestypene som er listet opp i tabell 8.1.

Det scores først for risiko for utforkjøringsulykke på førersiden. Vegen har venstrekjøring. Scoren bygger på: kjørefeltbredde, kurvatur, oppmerking, skulderrumlefelt, vegdekkets kvalitet, stigningsgrad, antatt veggrep, avstand til sidehinder, type sidehinder, bredde av asfaltert skulder, trafikkmengde, om midtdeler er gjennomkjørbar og antatt fart. Scoren er 0,444, som angir en lav risiko.

Dernest scores for risiko for utforkjøring på passasjersiden. Scoren blir her 3,548. Forklaringen er at det er trær mindre enn 10 meter fra veggkanten på passasjersiden (til høyre i bildet), men ikke på førersiden.

Den tredje scoren gjelder risiko for møteulykke ved tap av kontroll. Scoren bygger på de samme variabler som scoringen av risiko for utforkjøring. Scoren er 0,775, som tyder på lav risiko.

Risikoen for møteulykke ved forbikjøring scores til 0,000. Her inngår ikke midtdelers gjennomkjørbarhet. Det forklares ikke hvorfor. Av bildet fremgår det midtdelers har åpninger der det er mulig å kjøre over i motgående kjørefelt. Vegens utforming gir derfor liten beskyttelse mot risiko for møteulykker ved forbikjøring og scoren på 0,000 fremstår som uforklarlig.

Risiko for kryssulykke får en score på 16,692, som viser høy risiko. Dette skyldes at strekningen har et ikke-signalregulert trearmet kryss uten «protected turn lane». Protected turn lane betyr trolig et høyresvingefelt (husk at vegen har venstrekjøring) der man kan svinge uten å komme i konflikt med kjøretøy i motgående retning. Dette kan bare oppnås som egen fase i et signalregulert kryss.

Til slutt scores risiko knyttet til avkjørsler. Scoren blir 0,067 – altså lav risiko.

Summen av scorer for bilister blir 21,527, der risikoen knyttet til høyresving i krysset bidrar med 78 % av denne verdien og følgelig betraktes som den dominerende risikofaktoren. Scoren tilsvarer 2 stjerner, som er nest laveste nivå. Risiko knyttet til påkjøring bakfra er ikke inkludert, selv om vegen etter bildet å dømme har relativt stor trafikk, slik at faren for påkjøring bakfra kan oppstå ofte. Muligens ser iRAP bort fra at dødsfall eller alvorlige personskader kan oppstå ved påkjøring bakfra.

Risikoen for motorsyklister scores på samme måte som for bilister og får verdien 29,987, der svingebevegelser i krysset igjen gir det dominerende bidrag. Scoren tilsvarer 1 stjerne.

For syklist er scoren 67,376 som tilsvarer 1 stjerne. To faktorer forklarer denne scoren. Den ene er at vegen mangler «cyclist facility». Med det menes en eller annen form for anlegg som er beregnet på syklist og som skiller dem fra motorkjøretøy. Slik vegen er avbildet, må syklist ferdes i blandet trafikk med fotgjengere og motorkjøretøy. Det andre bidraget til syklisters risiko er knyttet til svingebevegelser i krysset.

For fotgjengere er scoren 150,423, som tilsvarer 1 stjerne. Det dominerende bidraget til denne scoren er at vegen mangler formelle kryssingssteder fotgjengere. Vegen må krysses ved å gå eller løpe mellom kjøretøy som ikke har vikeplikt for fotgjengere.

Den avbildede vegen er et typisk eksempel på en hovedveg i utkanten av en by i et U-land. Vegen mangler de elementer en slik veg normalt vil ha i et rikt land: fortau, eventuelt også sykkelveg, vegoppmerking, signalregulering. Trafikken avvikles etter uformelle regler. Man kan spørre om dette ville fortsette selv om vegen ble «strammet opp» med fortau, gangfelt, kjørefeltlinjer og signalregulering av krysset. Folk er vant til den uformelle trafikken og har tilpasset seg til den. Risikoen er selvsagt høy, men det er fare for at den fortsatt ville være det etter at de nevnte tiltakene var gjennomført, siden farten muligens ville øke og uformell atferd (kryssing hvor som helst og når som helst) trolig ville fortsette mer eller mindre som før.

8.4 Behandling av fart i iRAP

I en iRAP-analyse inngår fart, i tillegg til sannsynlighet og skadegrad som prediktorer for SRS. De fleste ulykkesmodeller inneholder ikke fart, selv om dette er en av de viktigste faktorene som påvirker antall ulykker og skadegraden i ulykker. Forklaringen på at fart ikke inngår i de fleste ulykkesmodeller, er at disse benytter korte, homogene strekninger som analyseenhet, og fartsdata vil så å si aldri foreligge for hver slik strekning. Fartsgrense inngår i mange modeller, men kan i noen tilfeller være en endogen variabel, dersom antall ulykker er ett av kriteriene for fastsetting av fartsgrense, slik det er i Norge. I andre land er fartsgrensen i mindre grad avhengig av antall ulykker. Som regel viser ulykkesmodellene at ulykkesrisikoen blir lavere jo høyere fartsgrensen er.

Kan man på en meningsfull måte få innlemmet fart på en konkret vegstrekning i en beregning av forventet ulykkestall, basert på ulykkesmodell der fart ikke inngår blant de variablene som påvirker antall ulykker (eller drepte eller skadde)?

I iRAP beregnes sannsynligheten for å bli drept eller hardt skadet. Denne sannsynligheten avhenger av fart. Fart påvirker både sannsynligheten for at en ulykke skal skje og sannsynligheten for å bli drept eller hardt skadet gitt en ulykke. Det antas i iRAP at sannsynligheten for en ulykke øker lineært med farten (Lucchesi og Olyslagers 2021). Dette er ikke i samsvar med hva forskning har vist om sammenhengen mellom fart og ulykker.

Slik sammenhengen mellom fart og ulykker eller skader er beskrevet av eksponentialmodellen (Elvik 2013C, 2019B), avhenger det relative antall ulykker av fart etter en eksponentialkurve. For å kunne uttrykke endringer i antall ulykker som prosentvise endringer, er antall ulykker ved den høyeste farten satt lik 100. Ved lavere fart synker dette tallet langs eksponentialkurven.

Eksponentialmodellen er utviklet for drepte, hardt skadde, lettere skadde og personskaueulykker. Koeffisientene viser en klar ikke-lineær sammenheng i alle disse tilfellene. Modellen sier ikke noe om sannsynligheten for at det skal skje en ulykke.

Sannsynligheten for at det skal skje en ulykke er et ytterst problematisk begrep og kan i praksis neppe måles på en god nok måte. Sannsynligheten vil uansett være svært lav og variere i et område som ligger nær null. Det er fullt ut tenkelig at sannsynligheten for en ulykke – uansett skadegrad – har en negativ sammenheng med fart. På parkeringsplasser eller i parkeringshus skjer det mange småulykker ved rygging, feilberegning av avstand, og så videre. De fleste av disse ulykkene er så små at de ikke kommer med i noen statistikk. Dermed blir sammenhengen mellom fart og sannsynlighet for en ulykke, beregnet på grunnlag av rapporterte ulykker, systematisk feil. I den andre enden, er ulykkesrisikoen ved kjøring i en fart på, eksempelvis, 120 km/t på en motorveg med høy standard lav dersom føreren er edru og uthvilt. Regner man her en sannsynlighet for ulykke per 100 meters strekninger, som iRAP benytter, vil tallet for hver slik strekning bli svært nær null.

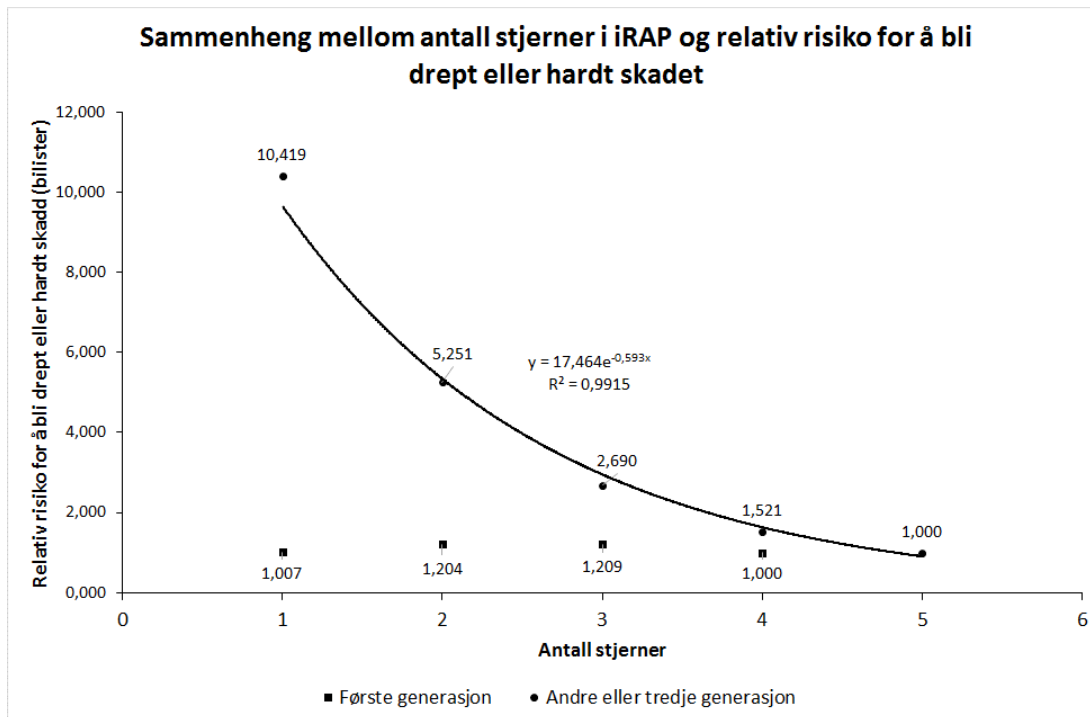
Kort sagt: ved å trekke inn begrepet sannsynlighet for ulykke, har iRAP skapt et problem det er vanskelig å løse. Begrepet sannsynlighet for ulykke trengs ikke. For hver strekning beregner iRAP en SRS som korrelerer med ulykkesrisiko. Deretter kan virkningen av fart beregnes ved å benytte avvik fra en representativ referansefart. Neste avsnitt illustrerer en slik tilnærming. Dette er ikke den tilnærmingen iRAP benytter, men en tilnærming som unngår de problemer iRAP havner i ved sin behandling av fart (som en lineær funksjon der sannsynligheten for ulykke øker fra 0 til 1).

8.5 Fart, SRS-score og ulykkesmodeller

Lawson (2011) og McInerney og Fletcher (2013) har studert sammenhengen mellom hvor mange stjerner en veg oppnår i iRAP og vegens ulykkesrisiko. Lawson (2011) hadde flest resultater som gjaldt første generasjon av iRAP, der bare skadegrad ved ulykker inngikk. McInerney og Fletcher (2013) hadde resultater som gjaldt en tidlig utgave av tredje generasjon av verktøyet. Resultatene av studiene er oppsummert i figur 8.2.

I første generasjon av iRAP var det ingen sammenheng mellom antall stjerner og risikoen for å bli drept eller hardt skadet. I andre og tredje generasjon fant man en klar sammenheng. Denne sammenhengen gjelder også om man benytter SRS-scorene direkte, ikke stjerner, som er en mye grovere skala.

Kjenner man SRS-scoren, kan man ved hjelp av kurven i figur 1 beregne en vegs ulykkesrisiko. Denne risikoen gjelder ved et representativt fartsnivå. Dersom man vet at fartsnivået på en bestemt veg avviker fra dette, kan man bruke eksponentialmodellen til å beregne hva avviket betyr for antall drepte eller hardt skadde på strekningen. En slik framgangsmåte kan også benyttes med utgangspunkt i predikerte tall for ulykker, skadde og drepte beregnet med en multivariat statistisk modell.



Figur 8.2: Sammenheng mellom antall stjerner i iRAP og relativ risiko for å bli drept eller hardt skadet.

8.6 Kommentarer til iRAP

iRAP er ikke en ulykkesmodell i ordets innarbeidede betydning. Den beregner ikke antall ulykker eller skadde personer, men en SRS-score som i hovedsak bygger på litteraturstudier. SRS-scoren kan brukes som et grunnlag for å beregne et forventet antall drepte eller hardt skadde, siden det har vist seg å være en sterk sammenheng mellom SRS-score og risiko (per million kjøretøykilometer) for ulykker med drepte eller hardt skadde.

Det er ingen grunn til å tro at beregning av en SRS-score gir bedre prediksjoner av antall drepte eller hardt skadde enn en ulykkesmodell gir. SRS-scorene vil være usikre når de beregnes for 100 meters strekninger, men denne usikkerheten ser ikke ut til å bli tatt hensyn til i iRAP på annen måte enn ved å beregne gjennomsnittsverdier for strekninger som er lengre enn 100 meter.

At SRS-scoren brukes for å predikere antall ulykker og skadegrad, samtidig som både «sannsynlighet» for ulykker og skadegrad brukes som prediktorer, virker noe ulogisk eller paradoksalt. I tillegg er «sannsynligheten» i stor grad basert på skjønsmessige vurderinger.

iRAP har i dag sin fremste anvendelse i U-land, der mangel på ulykkesregistre gjør at man må prøve å si noe om trafikksikkerhet på andre måter enn ved å bygge på ulykkesstatistikk og ulykkesmodeller. I Norge vil beregning av SRS-scoringer ikke kunne gi mye ny kunnskap om vegers sikkerhet da det ikke omfatter noen form for validering med ulykkes- og skadetall. Det er trolig mer fruktbart å forsøke å utvide eksisterende norske ulykkesmodeller med variabler som til nå har vært dårlig representert i disse modellene.

9 Crash Modification Factor Clearinghouse

9.1 Hva er CMF Clearinghouse?

CMF Clearinghouse er en database med opplysninger om virkninger av trafiksikkerhetstiltak. CMF betyr enten Crash Modification Factor eller Crash Modification Function. Crash Modification Factor kan oversettes til «virkningsfaktor». Den er en faktor man multipliserer ulykkestallet før et tiltak iverksettes med for å finne ulykkestallet etter at tiltaket er gjennomført. En virkningsfaktor på 0,8 betyr at ulykkene reduseres med 20 %. Hvis det var 5 ulykker før tiltak, forventes 4 etter tiltak ($5 \cdot 0,8 = 4$). Virkningsfaktorer med verdier mellom 0 og 1 betyr at antall ulykker reduseres. Virkningsfaktorer med verdier over 1 betyr at antall ulykker øker.

I Trafiksikkerhetshåndboken brukes ikke betegnelsen virkningsfaktor. Virkningene av tiltak blir i stedet presentert i form av prosentvise endringer, der negativt fortegn betyr at antall ulykker reduseres og positivt fortegn betyr at antall ulykker øker. Brukerveiledningen for CMF Clearinghouse (CMF Clearinghouse user guide) fraråder at man oppgir virkninger av trafiksikkerhetstiltak med fortegn, fordi dette kan skape forvirring. Bakgrunnen for dette er at man tradisjonelt har beskrevet virkningene av trafiksikkerhetstiltak som «positive» eller «negative». Positiv betyr da at ulykkene blir redusert. Men rent matematisk skal en prosentvis nedgang ha negativt fortegn (selv om den omtales som «positiv»), slik den har i Trafiksikkerhetshåndboken. Ved å angi virkninger av tiltak som virkningsfaktorer, altså multiplikatorer, unngår man å bruke fortegn. Når dette er sagt, påpekes det at presentasjonen av virkninger i Trafiksikkerhetshåndboken ikke kan skape forvirring, siden fortegn der brukes konsekvent og på riktig måte.

Crash Modification Function kan oversettes til «virkningsfunksjon». Her er virkningen av et tiltak ikke en gitt prosentvis ending i ulykkestall, men en funksjon. I mange sammenhenger er det naturlig å beskrive virkningene av et tiltak som en funksjon. Eksempelvis vil virkningene av politikontroll avhenge av hvor mye kontroll det er. I CMF Clearinghouse presenteres virkningsfunksjoner grafisk. I tillegg oppgis ligninger der brukeren selv kan sette inn tall og regne ut virkninger ved enhver verdi av funksjonen.

CMF Clearinghouse ble opprettet i 2010, samtidig med utgivelsen av Highway Safety Manual. Ved opprettelsen inneholdt det bare virkningstall fra Highway Safety Manual og en rapport utgitt av National Highway Traffic Safety Administration. Senere er det lagt inn resultater fra mange andre kilder. CMF Clearinghouse oppdateres hvert kvartal og antall resultater øker hele tiden.

9.2 Oversikt over CMF clearinghouse

I mai 2022 inneholdt CMF Clearinghouse 8112 virkningsfaktorer eller virkningsfunksjoner. 7227 stammer fra USA eller Canada, 885 fra andre land. Kvaliteten på undersøkelsene angis med stjerner, der 1 stjerne er laveste kvalitet, 5 stjerner er beste kvalitet (mer om dette i neste avsnitt). I mai 2022 hadde 738 resultater 1 stjerne, 1605 hadde 2 stjerner, 2907 hadde 3 stjerner, 2148 hadde 4 stjerner og 459 hadde 5 stjerner. De færreste resultater bygger på forskning som holder høy kvalitet (5 stjerner).

For å bli inkludert i CMF Clearinghouse, må et resultat oppfylle følgende kriterier:

1. Resultatet må gjelde ulykker. Andre mål på trafiksikkerhet, som endringer i trafikantatferd, inkluderes ikke.
2. Endringen i ulykkestall må være tallfestet.
3. Endringen må gjelde et infrastrukturtiltak. Med dette menes, grovt sett, veg- og trafikktekniske tiltak.

4. Endringen i ulykkestall, og usikkerheten i denne, må oppgis eksplisitt. I CMF Clearinghouse legges resultatene direkte inn slik forfatterne av en undersøkelse har presentert dem. Det gjøres ingen endringer i resultater.

Følgende hovedgrupper av tiltak inngikk i CMF Clearinghouse i mai 2022 (hver av gruppene inneholder flere tiltak):

1. Avkjørselsregulering
2. Avansert teknologi og ITS
3. Vegers linjeføring
4. Tiltak for syklister
5. Vegoppmerking
6. Vegbelysning
7. Utforming av toplankryss
8. Geometrisk utforming av kryss
9. Trafikkregulering i kryss
10. Parkeringsregulering
11. Tiltak for fotgjengere
12. Sikring av planoverganger
13. Sikring av vegers sideterreng
14. Vegers tverrprofil
15. Tiltak på vegskuldre
16. Trafikkskilt
17. Fartsregulering
18. Tiltak for kollektivtrafikk
19. Sikring av vegarbeider

Det varierer en god del hvor mange resultater som finnes om hver hovedgruppe av tiltak.

For hvert tiltak kan alle resultater lastes ned i et regneark. Dette kan brukeren senere redigere og analysere som han eller hun ønsker. Som et eksempel er resultater som gjelder rundkjøringer lastet ned. Disse gjennomgås og drøftes i avsnitt 4.

9.3 Kvalitetsvurdering av undersøkelser

Redaktørene av CMF Clearinghouse kvalitetsvurderer alle undersøkelser og gir hver undersøkelse en score for kvalitet. Følgende typer undersøkelser blir kvalitetsvurdert:

1. Før-og-etterundersøkelser
2. Tverrsnittsstudier
3. Meta-analyser
4. Meta-regresjoner

Det kan maksimalt oppnås 150 poeng for kvalitet. Sammenhengen mellom antall stjerner og antall poeng er slik:

5 stjerner = 135-150 poeng (0,9-1,0 dersom skalaen omdefineres til intervallet 0-1)

4 stjerner = 110-134 poeng (0,73-0,89)

3 stjerner = 75-109 poeng (0,50-0,72)

2 stjerner = 35-74 poeng (0,23-0,49)

1 stjerne = 0-34 poeng (0,00-0,22)

For før-og-etterundersøkelser vurderes tre hovedaspekter ved kvaliteten:

1. Datagrunnlagets omfang og kvalitet (maks 55 poeng)
2. Kontroll for andre forklaringer (maks 75 poeng)
3. Statistisk usikkerhet i resultater (maks 20 poeng)

Det første punktet gjelder antall steder som inngår i undersøkelsen og antall ulykker før og etter tiltak. Det registreres også om trafikk tall foreligger før og etter tiltak. Kontroll for andre forklaringer omfatter: kontroll for regresjonseffekt, kontroll for endringer i trafikkmengde, kontroll for langsiktig trend i ulykkestall, bruk av en kontrollgruppe med omtrent samme trafikkmengde som tiltaksgruppen, bruk av en kontrollgruppe med samme vegtyper som tiltaksgruppen, og en plausibel form på eventuelle ulykkesmodeller som er brukt til å beregne normalt ulykkestall. For å oppnå maksimalt antall poeng må en før-og-etterundersøkelse oppfylle alle disse kravene.

Kravet om kontroll for trafikkmengde er ikke presist formulert. Det skal bare kontrolleres for trafikkmengde når endringer i trafikkmengde ikke skyldes tiltaket. Endringer som skyldes tiltaket, er en del av dets virkninger og skal ikke kontrolleres for. Videre kan det hevdes at hvis en undersøkelse bruker en stor kontrollgruppe, vil endringer i ulykkestall i kontrollgruppen reflektere alt som påvirker antall ulykker, herunder endringer i trafikkmengde.

Det er viktigere at en kontrollgruppe er stor enn at den ligner på tiltaksgruppen med hensyn til trafikkmengde og vegtyper. Hauer (1991) har undersøkt hva som er viktigst: likhet eller størrelse. Han konkluderer med at store kontrollgrupper gir riktigere resultater enn kontrollgrupper som defineres ut fra visse krav til likhet med tiltaksgruppen. Alt ettersom en undersøkelse har en stor eller liten kontrollgruppe, kan derfor noen av kravene ovenfor være unødvendige. En stor kontrollgruppe, med data for flere år, vil kontrollere både for langsiktige trender og endringer i trafikkmengde.

Statistisk usikkerhet er delt i fire nivåer på grunnlag av signifikansnivået til resultatene. Det gis poeng opp til 15 % signifikansnivå. Kun resultater som ikke er statistisk signifikante på 15 % får null poeng. Hvorvidt dette kravet er rimelig kan diskuteres, da statistisk signifikans i seg selv ikke sier noe om den metodiske kvaliteten på en studie eller resultatene og da bruk av statistisk signifikans kan ha en rekke ulogiske og uønskede virkninger. Bl.a. vil det å velge bort ikke-signifikante resultater føre til at man systematisk introduserer publikasjonsskjevhet. Det gjelder i enda større grad når man krever av alle resultatene peker i samme retning (se nedenfor under meta-analyse).

Meta-analyser blir kvalitetsvurdert på grunnlag av følgende aspekter:

1. Metodisk konsistens (maks 55 poeng)
2. Kvalitet på primærstudier (maks 35 poeng)
3. Hvor forsvarlig sammenvekting av resultater er (maks 40 poeng)
4. Statistisk signifikans (maks 20 poeng)

Metodisk konsistens innebærer krav om at alle studier som inngår i meta-analysen har brukt samme metode og kontrollert for de samme feilkilder. Videre skal ulykker og skadegrader være likt definert i alle studier. De enkelte anslag på virkninger skal konsistent gå i en retning (for eksempel ulykkesnedgang) og det skal testes for publikasjonsskjevhet.

Det virker urimelig å kreve at alle resultater skal peke i samme retning. Det er ikke uvanlig at noen undersøkelser finner økning i ulykkestall, selv om flertallet finner nedgang. Å kreve at alle resultater skal peke i samme retning er nesten som å kreve at resultater som peker i en annen retning skal være sensurert bort, eller å kun ta med metaanalyser som potensielt er påvirket av en stor grad av publikasjonsskjevhet. Det virker like urimelig å kreve at alle studiene har brukt samme metode og kontrollert for de samme feilkilder. Det er et av hovedpoengene med meta-analyse nettopp å kunne oppsummere resultater fra ulike studier.

Det er to krav til kvalitet på primærstudier. De må være gode nok til å inngå i CMF Clearinghouse og standardfeilen kan ikke være større enn 0,10. Sistnevnte krav innebærer at den statistiske vekten må være minst 100 (vekt = $1/SE^2$; $0,10^2 = 0,01$; $1/0,01 = 100$). Erfaring viser at svært mange resultater som inngår i meta-analyser har lavere statistisk vekt enn dette.

Sammenvekting av resultater bedømmes som forsvarlig dersom de er statistisk homogene, det vil si at Q-statistikken ikke er statistisk signifikant. Dessuten må statistiske vekter kunne tilordnes alle resultater. Det virker unødvendig strengt å kreve at det ikke forekommer systematisk variasjon i resultater. Slik variasjon kan håndteres med en random-effects modell.

Statistisk signifikans behandles på samme måte som i før-og-etterundersøkelser. Poeng gis opp til 15 % signifikansnivå.

9.4 Eksempel på data: Rundkjøringer

Undersøkelser om virkninger på ulykkene av å bygge om kryss til rundkjøringer er valgt som eksempel på hvilke opplysninger som kan hentes ut av CMF Clearinghouse. Rundkjøringer er et forholdsvis godt undersøkt tiltak og TØI har publisert to meta-analyser av studier om virkninger av rundkjøringer (Elvik 2003, 2017).

Ved bruk av søkeordet «Roundabouts» i CMF Clearinghouse ble 312 resultater identifisert. Disse ble lastet ned i et regneark. Ved gjennomgang av regnearket viste det seg at mange av resultatene manglet anslag på standardfeilen til virkningen. Disse resultatene kan ikke inngå i en meta-analyse, fordi statistisk vekt ikke kan beregnes. Videre gjaldt noen av resultatene ikke ombygging av kryss til rundkjøring, men ulike tiltak i rundkjøringer. Etter at resultater uten oppgitt standardfeil og resultater som ikke gjaldt ombygging til rundkjøring var slettet, gjestod 194 resultater. Dette er mer enn i de to meta-analysene TØI har publisert (113 i den første, 154 i den andre).

En rekke data om hvert resultat er oppgitt. Det oppgis blant annet hvilken metode som er brukt (forholdsvis detaljert inndeling i ulike metoder), poeng for kvalitet, skadegrad i ulykkene, anslag på virkning (som virkningsfaktor), standardfeil i anslag på virkning, samt en rekke kjennetegn ved trafikkmiljøet der rundkjøringen er bygget. Dessverre forekommer manglende data ganske ofte for mange av variablene som er registrert.

I regnearket med 194 resultater ble en meta-analyse med random-effects modell gjennomført. Resultatene av analysen stemte godt overens med det som tidligere er funnet. Antall dødsulykker ble redusert med 67 % (95 % KI: -78 %; -49 %). Antall ulykker med hardt skadde ble redusert med 65 % (-72 %; -55 %). Antall ulykker med lettere skadde ble redusert med 39 % (-46 %; -31 %).

En svakhet med dataene er at de fleste resultater, 124 av 194, gjaldt «alle» ulykker, det vil si alle ulykker uansett skadegrad. I amerikansk ulykkesstatistikk, som de fleste resultater bygger på, betyr dette en blanding av alt fra dødsulykker til materiellskadeulykker. Materiellskadeulykkene vil ofte utgjøre 50-80 % av alle ulykker. Resultater som gjelder ulykker med så varierende skadegrad er vanskelige å tolke og kan ikke brukes i et nullvisjonsperspektiv, der forebygging av dødsulykker og ulykker med alvorlig personskade har høyeste prioritet. De fleste resultater må dermed anses som ubrukelige i norsk sammenheng.

Nok et problem, er at undersøkelsene er av varierende kvalitet. I meta-analysen ble alle undersøkelser inkludert, uansett kvalitet. I gjennomsnitt scoret de 194 resultatene 70 poeng for kvalitet. Det er under halvparten av maksimalt oppnåelig antall poeng (150). Siden scoren for kvalitet er oppgitt for hvert resultat, er det mulig å bygge bare på de resultater som scorer over en viss verdi, for eksempel minst 110 poeng. Av de 194 resultatene, scoret 31 minst 110 poeng for kvalitet. Det er såpass få resultater at mulighetene for å dele dem i grupper, eksempelvis på grunnlag av skadegrad, er små.

9.5 Kommentarer til CMF Clearinghouse

CMF Clearinghouse har i løpet av perioden 2010-2022 samlet inn over 8.000 anslag på virkninger av trafikksikkerhetstiltak. Det oppdateres hvert kvartal, så det er bare et tidsspørsmål før antall resultater vil passere 10.000. Det er ikke gjort en tilsvarende optelling av antall resultater i Trafikksikkerhetshåndboken, men siden CMF Clearinghouse bare omfatter veg- og trafikktekniske tiltak virker det sannsynlig at det finnes flere resultater i CMF Clearinghouse enn i Trafikksikkerhetshåndboken.

En del av resultatene i CMF Clearinghouse finnes ikke i Trafikksikkerhetshåndboken. Bør disse resultatene innlemmes i den? Ja, hvis kvaliteten er god nok. En enkel regel kan være at bare resultater som scorer minst 110 poeng innlemmes i Trafikksikkerhetshåndboken. Dette gjaldt 31 av 194 resultater om rundkjøringer.

Regnearkene i CMF Clearinghouse er instruktivt satt opp og det er enkelt å plukke ut resultater med score minst 110 poeng. Hvert resultat har en tallkode. Den kan benyttes for å finne undersøkelsen resultatet bygger på. Man kan da lett kontrollere om denne undersøkelsen allerede inngår i Trafikksikkerhetshåndboken.

Det er trolig nyttig å innlemme CMF Clearinghouse blant de kilder det rutinemessig søkes etter litteratur i ved revisjon av Trafikksikkerhetshåndboken. CMF Clearinghouse oppdateres hvert kvartal, er offentlig tilgjengelig og er gratis å bruke. Den oppdaterte versjonen av Highway Safety Manual (utgis i 2023 eller 2024) vil ikke inneholde tall for virkninger av tiltak. Alle slike tall vil bli samlet i CMF Clearinghouse.

10 Analyse av vegbredde i ulike ulykkesmodeller

10.1 Problemstilling

Vegbredde er en viktig egenskap ved en veg. Den er en av de mest studerte og inngår som variabel i de fleste ulykkesmodeller. Men blir betydningen av vegbredde for trafikkikkerheten analysert på samme måte i ulike ulykkesmodeller, eller velger ulike modeller ulike tilnærminger? Dette er hovedspørsmålet som drøftes i dette kapitlet.

Dersom det viser seg at ulike modeller velger ulike tilnærminger, vil det bli drøftet hvilken tilnærming som er best, det vil si som best fanger opp sammenhengen mellom vegbredde og ulykkestall.

10.2 Norske ulykkesmodeller

En av de første norske undersøkelser av sammenhengen mellom vegbredde og ulykkesrisiko ble gjort av Muskaug (1985). Den var basert på data for riksveger for perioden 1977-1980. Tabell 10.1 viser hvordan antall ulykker per million kjøretøykilometer varierte med vegbredde.

Tabell 10.1: Ulykkesrisiko ved ulike vegbredder. Kilde: Muskaug 1985, Tabell V.4.2.

Tabell V.4.2 Ulykkesfrekvensen oppdelt etter bredde og trafikkmengde.										
Ulykkesfrekvensen er uttrykt som antall ulykker med personskaide pr million kjøretøykm for 4-års perioden 1977-80.										
Vegbredde	Årsdøgntrafikk									
	0 299	300 799	800 1499	1500 3999	4000 7999	8000 11.999	12.000 19.999	20.000 39.999	40.000 og over	Alle trafikk- mengder
0 - 4,4 m	0,42	0,35	0,29	0,17	=	=	=	-	-	0,33
4,5 - 5,9 m	0,42	0,34	0,33	0,34	0,32	0,36	=	=	-	0,34
6,0 - 6,9 m	0,35	0,29	0,32	0,33	0,32	0,29	0,26	0,30	-	0,31
7,0 - 8,4 m	0,63	0,36	0,38	0,31	0,30	0,35	0,37	0,26	-	0,33
8,5 m og over	0,80	0,60	0,80	0,53	0,47	0,51	0,45	0,81	=	0,53
Veger med M.D.	-	-	-	0,50	=	=	0,35	0,33	0,06	0,19
MVB	=	-	-	=	0,11	0,11	0,07	0,13	-	0,11
MVA	=	-	-	-	-	-	0,07	0,11	=	0,08
Alle bredder	0,42	0,33	0,33	0,33	0,32	0,33	0,28	0,45	0,04	0,33

Vegbredde inngikk som en gruppert variabel med 5 verdier. Sammenhengen mellom vegbredde og ulykkesrisiko, kontrollert for trafikkmengde, fremgår av hver kolonne i tabellen. I første kolonne, for trafikkmengde mellom 0 og 299 kjøretøy per døgn, øker ulykkesrisikoen fra 0,42 personskaideulykker per million kjøretøykilometer på de smaleste vegene (inntil 4,4 meter) til 0,80 personskaideulykker per million kjøretøykilometer på de bredeste vegene (8,5 meter og mer). En lignende tendens til økt ulykkesrisiko med økende vegbredde finnes også ved de andre trafikkmengdene. Vegbredde var i undersøkelsen definert som kjørefeltbredde pluss asfaltert skulder. Det ble ikke skilt mellom kjørefeltbredde og skulderbredde.

Den nyeste norske undersøkelsen om sammenhengen mellom vegbredde og ulykkestall er utført av Høye (2021). Undersøkelsen bygger på data for 2013-2017 for veger med fartsgrense 60, 70 eller 80 km/t. Samlet veglengde er 9823 km og gjennomsnittlig ulykkesrisiko er 0,057 ulykker per million kjøretøykilometer. Kun møteulykker og utforkjøringsulykker inngikk. Data forelå om vegbredde, kjørefeltbredde, skulderbredde og årsdøgntrafikk. Vegbredde, kjørefeltbredde og skulderbredde var sterkt positivt korrelert med hverandre. Resultatene av en analyse der samspillsledd mellom breddevariablene ikke inngikk beskrives slik i rapporten:

«Økende **veg- og kjørefeltbredde** medfører økende antall ulykker ved lav ÅDT og synkende antall ulykker ved høy ÅDT. Ved hvilken ÅDT sammenhengen skifter fortegn, er imidlertid forskjellig. Ifølge ulykkesmodellene medfører økning i kjørefeltbredder færre ulykker når trafikkmengden er over ca. 2300, og økning i vegbredde medfører færre ulykker når trafikkmengden er over 1500. Økning i **skulderbredde** medfører en svak nedgang i antall ulykker, mest for veger med høy ÅDT.»

Beregnete virkninger av å øke vegbredde, kjørefeltbredde og skulderbredde med 30 cm (1 fot) er vist i tabell 10.2.

Tabell 10.2: Beregnede virkninger på antall ulykker av 30 cm økning i vegbredde, kjørefeltbredde og skulderbredde. Kilde: Høye 2021, tabell 15.

ÅDT	Vegbredde +30 cm	Kjørefeltbredde +30 cm	Skulderbredde +30 cm
500	+7,0 %	+38,8%	+0,6%
1000	+2,4 %	+19,8%	-1,1%
2000	-2,0 %	+3,4%	-2,7%
4000	-6,1 %	-10,8%	-4,4%
Alle ÅDT	-2,8 %	+2,8%	-2,8%

Det ble utført analyser med flere varianter av ulykkesmodeller, uten at hovedtendensen i resultatene endret seg. Resultatene sammenfattes slik i rapporten:

Vegbredde: Økende vegbredde medfører i gjennomsnitt **færre** ulykker, men på veger med lav trafikkmengde er det omvendt, dvs. at økende vegbredde medfører flere ulykker. **Kjørefeltbredde:** Samlet sett tyder resultatene på at økende kjørefeltbredde for det meste medfører **flere** ulykker. Unntak er veger med høy ÅDT (≥ 2300) og brede veger ($\geq 7,5$ meter). Her *kan* det være omvendt, dvs. at økende kjørefeltbredde medfører færre ulykker. Dette er imidlertid usikkert. **Skulderbredde:** Økende skulderbredde medfører i gjennomsnitt synkende antall ulykker når man kontrollerer for vegbredden.

10.3 Danske ulykkesmodeller

De danske ulykkesmodeller for landeveger (Jensen 2017) er mest sammenlignbare med de andre ulykkesmodeller som drøftes her. Vegbredde inngår i disse modellene og i dette avsnittet drøftes hvilken sammenheng mellom vegbredde og ulykker som er funnet i de danske modellene. Tabell 10.3 viser risikoen for ulykker og personskader ved ulike kjørefeltbredder og skulderbredder og tabell 10.4 viser beregnet endring i ulykkestall ved endring av kjørefeltbredde eller skulderbredde.

Tabell 10.3: Ulykkesrisiko og personskaderisiko ulike kjørefelt- og skulderbredder på landeveger i Danmark. Kilde: Jensen 2017.

Kilometer veg	Ulykker eller skadde personer per million kjøretøykilometer	
	Ulykkesrisiko	Personskaderisiko
Kjørefeltbredde (m)		
1,88-2,74	20	0,046
2,75-2,99	186	0,178
3,00-3,24	1215	0,137
3,25-3,49	778	0,113
3,50-3,74	870	0,092
3,75-3,99	196	0,103
4,00-6,74	190	0,125
Skulderbredde (m)		
0,00-0,29	509	0,112
0,30-0,59	1907	0,100
0,60-0,89	395	0,118
0,90-1,99	629	0,120
2,00-3,50	70	0,067

Tabell 10.4: Ulykkesrisiko, personskaderisiko og beregnede endringer i ulykkestall ved endring av kjørefeltbredde og skulderbredde på landeveger i Danmark. Kilde: Jensen 2017.

Endring av	Endring av ulykkestall (%)
Kjørefeltbredde	
Fra 3,5 til 2,75 m	+56
Fra 3,5 til 3,00 m	+35
Fra 3,5 til 3,25 m	+16
Fra 3,5 til 3,75 m	-14
Skulderbredde	
Fra 0,5 til 0,3 m	+2
Fra 0,5 til 1,0 m	-5
Fra 0,5 til 1,5 m	-9

Personskaderisikoen er lavere enn ulykkesrisikoen. Dette skyldes at ulykkesregisteret i Danmark, i likhet med USA, inneholder materiellskadeulykker i tillegg til personskadeulykker. Risikoen for personskader synker med økende kjørefeltbredde når man ser bort fra de smaleste vegene, der bare 20 kilometer inngikk. Sammenhengen mellom skulderbredde og personskaderisiko er mer uklar. De beregnede endringer i ulykkestall (her inkluderes alle ulykker, både materiellskade og personskade) ved endringer i kjørefeltbredde og skulderbredde som vises i tabell 10.4 bygger på koeffisienter beregnet i ulykkesmodeller basert på negativ binomial regresjon. I modellene inngikk, i tillegg til kjørefeltbredde og skulderbredde, årsgjennsnitttrafikk, vegens brytning, maksimal stigning, antall sideveger per kilometer, og ytre skulders bredde. Kjørefeltbredde ser ut til å ha større betydning for ulykkestallet enn skulderbredde. Ulykkestallet synker med økende kjørefeltbredde og økende skulderbredde.

10.4 Finske ulykkesmodeller

I TARVA beregnes ulykkesrisiko angitt som ulykker per 100 millioner kjøretøykilometer. De mest relevante risikotallene gjelder veger i spredtbygd strøk med fartsgrense 70, 80 eller 100 km/t. Det skilles mellom brede veger og smale veger, uten at denne inndelingen er nærmere forklart. Brede veger vil trolig ha en vegbredde, medregnet skulder, på minst 7 meter.

Basert på TARVA-resultater for 2016-2020, er risikoen lavere på brede veger enn på smale veger. I seks grupper som er sammenlignet varierer forskjellen mellom 19 % lavere risiko og 64 % lavere risiko. I gjennomsnitt (uvektet) er risikoen 42 % lavere på brede veger enn på smale veger. Disse resultatene må antas å gjelde total vegbredde, det vil si kjørefeltbredde pluss skulderbredde.

10.5 PRACT-modellene

Deliverable 2 fra PRACT (Karathodorou et al. 2016) inneholder en ulykkesmodell for delstaten Brandenburg i Tyskland. En av variablene som inngikk var vegbredde (ikke nærmere spesifisert; omfatter trolig kjørefelt og skulder). Koeffisienten for vegbredde i negativ binomial regresjon var -0,171. Det betyr at en økning av vegbredde med 1 meter reduserer antall ulykker med 15,8 %.

I databasen over ulykkesmodeller som ble utviklet i PRACT-prosjektet kan man finne en rekke modeller der blant annet koeffisienter for vegbredde er beregnet. Disse modellene vil ikke bli gjennomgått her.

10.6 IRAP-modeller

IRAP klassifiserer vegbredde ut fra flere variabler. Følgende koder benyttes:

Tabell 10.5: Klassifisering av vegbredde i iRAP.

Kjørefeltbredde	Skulder på førerside	Skulder på passasjerside
	Ingen	Ingen
Smal (mindre enn 2,75 m)	Smal (< 1m)	Smal (< 1m)
Middels (2,75-3,25 m)	Middels (1-2,4 m)	Middels (1-2,4 m)
Bred (mer enn 3,25 m)	Bred (> 2,4 m)	Bred (> 2,4 m)

Kodene er definert slik at en veg scores som sikrere når kjørefeltbredden og skulderbredden øker. Kodene kan ikke tolkes som risikotall, men brukes kun til å rangordne veger etter sikkerhet. De er kun en ordinal skala.

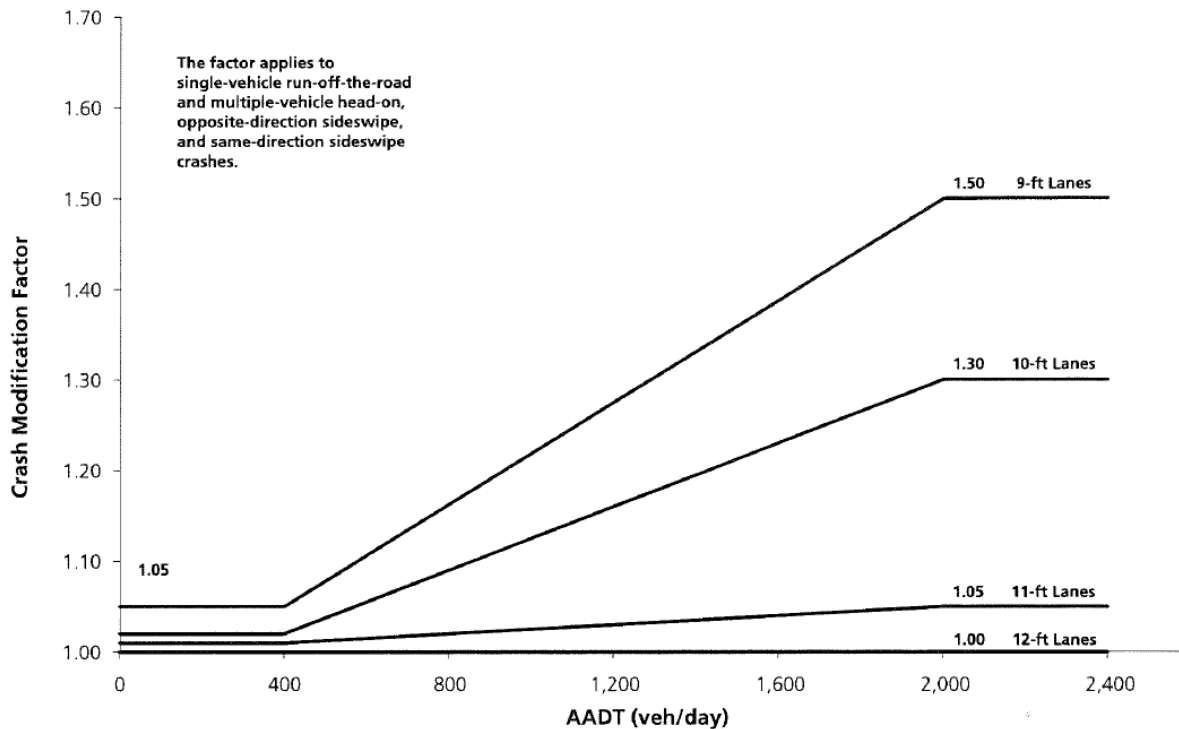
10.7 Amerikanske modeller – Highway Safety Manual

I Highway Safety Manual (2010) inngår kjørefeltbredde og skulderbredde som virkningsfaktorer (crash modification factors). CMF Clearinghouse inneholder nyere CMF-er som er publisert etter at Highway Safety Manual (HSM) ble utgitt. Figur 10.1 viser virkningsfaktorer i HSM for kjørefeltbredde.

Table 10-8. CMF for Lane Width on Roadway Segments (CMF_{rl})

Lane Width	AADT (vehicles per day)		
	< 400	400 to 2000	> 2000
9 ft or less	1.05	$1.05 + 2.81 \times 10^{-4}(AADT - 400)$	1.50
10 ft	1.02	$1.02 + 1.75 \times 10^{-4}(AADT - 400)$	1.30
11 ft	1.01	$1.01 + 2.5 \times 10^{-5}(AADT - 400)$	1.05
12 ft or more	1.00	1.00	1.00

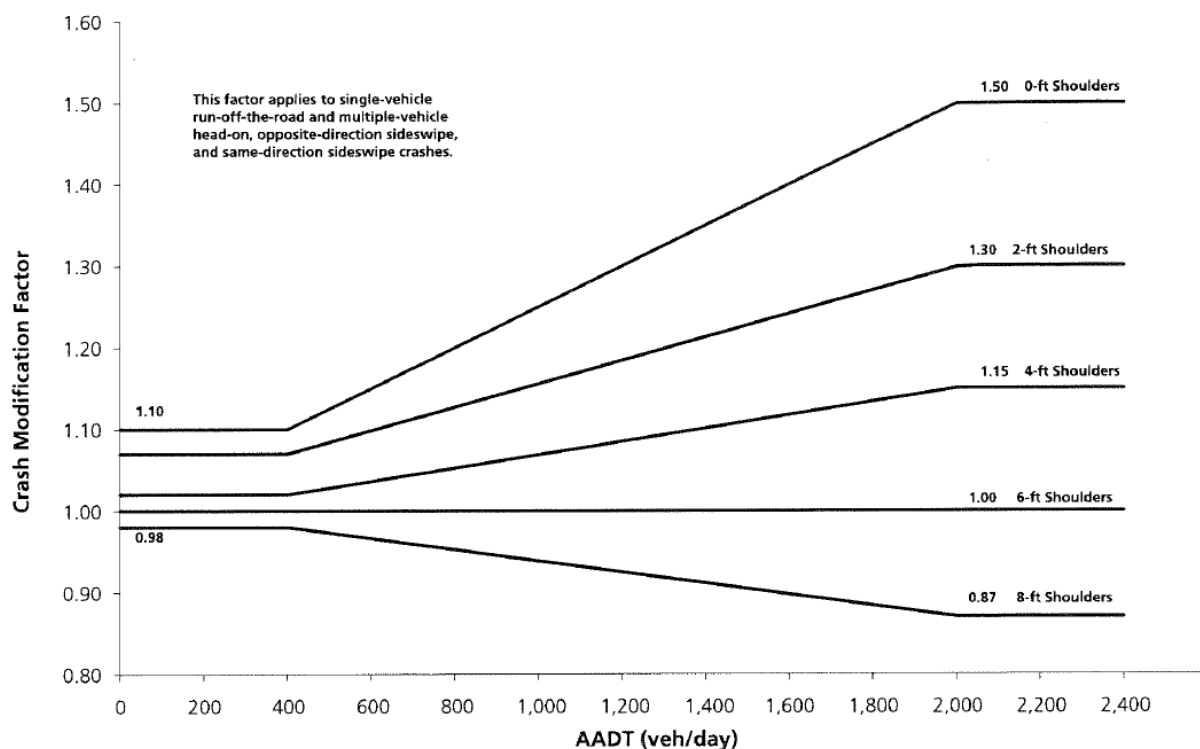
Note: The collision types related to lane width to which this CMF applies include single-vehicle run-off-the-road and multiple-vehicle head-on, opposite-direction sideswipe, and same-direction sideswipe crashes.

**Figure 10-7.** Crash Modification Factor for Lane Width on Roadway Segments

Figur 10.1: Virkningsfaktorer for kjørefeltbredde i Highway Safety Manual.

Når ÅDT er mindre enn 400, har kjørefeltbredden liten betydning for ulykestallet. Forskjellen mellom felt på 9 fot (2,74 meter) og 12 fot (3,66 meter) er bare på 5 %. Deretter øker betydningen av kjørefeltbredde med økende ÅDT opp til en ÅDT på 2000. De smaleste kjørefeltene (2,74 meter) har da 50 % høyere ulykkesrisiko enn de bredeste (3,66 meter). Highway Safety Manual dekker kun kjørefeltbredder mellom 2,74 og 3,66 meter – ikke smalere eller bredere. Virkningsfaktorene gjelder møteulykker, utforkjøringsulykker og ulykker med samme kjøreretning.

Figur 10.2 viser virkningsfaktorer for skulderbredde.



Figur 10.2: Virkningsfaktorer for skulderbredde i Highway Safety Manual.

Faktorene dekker skuldre med bredde fra 0 fot (ingen skulder) til 8 fot (2,44 m). Når ÅDT er mindre enn 400, betyr skulderbredde lite for ulykkestallet. Betydningen øker med økende trafikkmengde opp til ÅDT = 2000. En veg uten skulder har da 50 % høyere ulykkestall (utforkjøring, møte- og samme kjøreretning) enn en ellers lik veg med skulder på 6 fot (1,83 meter). Hvis skulderbredden økes fra 6 til 8 fot (1,83 til 2,44 meter) reduseres ulykkestallet med 13 %.

10.8 Amerikanske modeller – CMF Clearinghouse

Et søk med søkeordet «lane width» i CMF Clearinghouse ga 175 resultater. Disse finnes på et regneark som ble lastet ned. Ved gjennomgang av regnearket ble resultater som ikke kan tilordnes en statistisk vekt fjernet. Etter dette gjenstod 62 resultater. Av disse gjaldt 36 endring til smalere kjørefelt, 12 gjaldt at både kjørefelt og skulder ble smalere, 7 gjaldt bredere kjørefelt og 8 gjaldt bredere skulder kombinert med rumlefelt. Alle resultater bygger på multivariate ulykkesmodeller og alle resultater kommer fra USA. Skadegrad er stort sett ikke oppgitt, så resultatene gjelder trolig en blanding av alt fra dødsulykker til materiellskadeulykker. Ingen av resultatene inngår i Highway Safety Manual. For å oppsummere resultatene av undersøkelsene ble det gjort en meta-analyse med random-effects modell.

Resultatene er inkonsistente. I gjennomsnitt ga smalere kjørefelt en nedgang i antall ulykker på 18 % (95 % KI: -27 %; -7 %). Resultatene viste stor spredning. Halvparten av resultatene (18) viste økning i ulykkestall, halvparten viste nedgang. Når både kjørefelt og skulder ble smalere, økte ulykkestallet med 7 % (0 %; 14 %). Bredere kjørefelt ga en ulykkesnedgang på 4 % (-5 %; -2 %). Bredere skulder kombinert med rumlefelt ga en ulykkesnedgang på 45 % (-55 %; -34 %). Det er inkonsistent at både bredere og smalere kjørefelt synes å gi færre ulykker.

Mange studier scoret lavt for kvalitet (på skalaen fra 0 til 150 poeng). Dersom kun de fem beste studiene av smalere kjørefelt (score 115) velges ut, blir inkonsistensen bare enda større. Disse studiene viste i gjennomsnitt en nedgang i ulykkestall på 49 % (-62 %; -32 %).

Studiene av smalere kjørefelt og smalere skulder er uensartede. Det varierer om bare kjørefelt, bare skulder eller begge deler blir smalere. I tillegg varierer det hvor mye smalere kjørefelt og skulder blir. Siden det i de fleste tilfeller er både kjørefelt og skulder som blir smalere, er det umulig å si om økningen i ulykkestall primært skyldes smalere kjørefelt, smalere skulder eller begge deler. Studiene er følgelig vanskelige å sammenligne med andre studier.

Blant studiene av bredere kjørefelt, ble økning på 1 fot (30 centimeter) valgt ut. Økning av kjørefeltbredde med 1 fot ga 7 % (-10 %; -4 %) nedgang i ulykkestall.

10.9 Drøfting av resultatene

De modeller og resultater som er gjennomgått her, viser at vegbredde behandles på ulike måter i ulike ulykkesmodeller og at resultatene av ulike undersøkelser spriker. Eldre studier benyttet ulykker per million kjøretøykilometer som avhengig variabel. Dette gjøres fremdeles i TARVA-modellen, selv om det tas hensyn til at antall ulykker ikke øker proporsjonalt med trafikkmengden.

Nyere studier benytter antall ulykker som avhengig variabel. Resultatene av den nyeste norske studien (Høye 2021) kan sammenlignes med danske ulykkesmodeller, PRACT-modellen for Brandenburg, virkningsfaktorene i Highway Safety Manual og resultatene av en økning av kjørefeltbredde på 0,3 meter i CMF-Clearinghouse. En slik sammenligning er vist i tabell 10.6.

Vegene i Danmark hadde en gjennomsnitt årsdøgntrafikk på godt over 4.000. Beregnet ulykkesnedgang ved 0,3 meter bredere kjørefelt er 16,4 %, som er mer enn i Norge. Beregnet ulykkesnedgang ved 0,3 meter brede skulder er 2,9 %, som er litt mindre enn i Norge. Gjennomsnittlig trafikkmengde på vegene i Brandenburg er ukjent, men 0,3 meter bredere veg kan beregnes å gi 5 % lavere ulykkestall. Dette resultatet er på linje med det som er funnet i Norge. I Highway Safety Manual varierer virkningsfaktorene for kjørefeltbredde og skulderbredde etter trafikkmengde. I tabell 10.6 er laveste og høyeste virkning vist. Økt skulderbredde ser ut til å ha nesten like stor virkning på ulykkene som økt kjørefeltbredde. Ved ÅDT på 2.000 eller mer, er virkningene av økt kjørefeltbredde og økt skulderbredde større enn det som er funnet i Norge.

Tabell 10.6: Sammenligning av beregnede effekter av økt vegbredde, kjørefeltbredde og skulderbredde i ulike ulykkesmodeller.

Land	ÅDT	Vegbredde +30 cm	Kjørefeltbredde +30 cm	Skulderbredde +30 cm
Norge	500	+7,0 %	+38,8%	+0,6%
	1000	+2,4 %	+19,8%	-1,1%
	2000	-2,0 %	+3,4%	-2,7%
	4000	-6,1 %	-10,8%	-4,4%
Danmark	>4000		-16,4%	-2,9%
Brandenburg	Ukjent	-5,0%		
HSM	<400		-1,6%	-1,5%
	>2000		-12,4%	-12,7%
CMF	Ukjent	-7,2%		

Meta-analyse av resultater i CMF-Clearinghouse viser en nedgang på 7,2 % i ulykkene ved 0,3 meter økt vegbredde. Dette ligger nær det norske resultatet for ÅDT på 4.000.

Alt i alt er disse resultatene i godt samsvar med hverandre, tatt i betraktning av hvert av dem har et konfidensintervall som ikke er oppgitt i tabell 10.6. Ikke desto mindre inneholder litteraturen langt flere, og til dels motstridende, resultater enn dem som er vist i tabell 10.6. Ved utvikling av ulykkesmodeller synes det å være informativt å skille mellom kjørefeltbredde og skulderbredde. Begge variabler har samspillseffekter med trafikkmengde og trolig også med trafikkmiljø. Breder kjørefelt og skuldre kan bedre sikkerheten på veger med høyt fartsnivå, men kan tenkes å ha motsatt effekt i byer og tettsteder. En bred veg kan der innby til en høyere fart enn ønskelig og brede veger tar det lenger tid å krysse for fotgjengere og syklister enn smale veger.

11 Analytiske valg ved utvikling og analyse av ulykkesmodeller

11.1 Problemstillinger

Når en ulykkesmodell skal utvikles og føyes til data, må det gjøres en rekke valg. Disse valgene kan påvirke resultatene av analysene. Det er derfor viktig at alle analytiske valg som gjøres, blir begrunnet. I dette kapitlet drøftes følgende analytiske valg ved utvikling og analyse av ulykkesmodeller:

1. Inndeling av vegnettet i homogene strekninger
2. Definisjon av variabler som inngår i en modell
3. Valg av funksjonsform for sammenhengen mellom en variabel og ulykkestall
4. Bruk av samspillsledd i ulykkesmodeller
5. Behandling av endogene variabler
6. Spesifikasjon av overspredningsparameter

11.2 Inndeling i homogene strekninger

Ved utvikling av ulykkesmodeller deles vegnettet inn i strekninger som er homogene med hensyn til de uavhengige variablene som inngår i modellen. Hvis dette, for eksempel, er årsdøgntrafikk, antall kjørefelt, fartsgrense, og vegtype defineres en ny strekning hver gang minst en av disse variablene endrer verdi. Hver strekning har dermed konstante verdier for alle uavhengige variabler. Derimot varierer disse verdiene fra en strekning til den neste.

Jo flere variabler man ønsker å inkludere i en modell, desto kortere vil hver homogen strekning bli. Det betyr at det gjennomsnittlige antall ulykker per strekning går ned og at variasjonen i antall ulykker mellom strekninger blir redusert. I ytterste konsekvens blir antall ulykker en dikotom variabel, som bare antar verdiene 0 og 1. Dette var tilfellet i en studie av vegdekkets egenskaper og trafikksikkerhet (Christensen og Ragnøy 2006), der hver strekning var på 20 meter.

Det har over tid vært en tendens til å inkludere flere variabler i ulykkesmodellene. Elvik (1991) utviklet en modell som minner om TARVA-modellen. Riksvegnettet ble delt inn i 54 grupper på grunnlag av vegtype (motorveg A, motorveg B, annen riksveg), årsdøgntrafikk (gruppert) og antall kryss per kilometer veg (7 grupper). I hver gruppe ble antall ulykker per kilometer veg i perioden 1986-89 summert. Hver gruppe var ikke strengt homogen med hensyn til trafikkmengde, men alle strekninger var lik 1 kilometer bortsett fra avrunding ved vegens begynnelse og slutt.

I den første moderne ulykkesmodellen (Ragnøy, Christensen og Elvik 2002) ble vegnettet delt inn etter årsdøgntrafikk, fartsgrense, vegtype, stamvegstatus, antall kjørefelt og antall kryss per kilometer veg. Det inngikk 25739 strekninger med en samlet lengde på 24685,6 kilometer. Minste lengde på en strekning var 500 meter. Flertallet av strekninger var 1 kilometer og gjennomsnittlig lengde var 959 meter.

Ved oppdatering av datagrunnlaget for ulykkesmodellen fram til 2005 (Erke 2006) ble vegnettet delt ytterligere opp. Det ble tilføyd en ny fartsgrense (100 km/t) og en dummy for Oslo. 32731 strekninger med en samlet lengde på 27351,3 kilometer inngikk. Gjennomsnittlig lengde per strekning var 836 meter. 3,5 % av strekningene var kortere enn 100 meter og 9 strekninger hadde en lengde på 1 meter.

Ved oppdatering av ulykkesmodellen i 2014 (Høye 2014A) ble antall variabler betydelig utvidet. Modellen ble utvidet til å omfatte både riksveger og fylkesveger. Antall analyseenheter var 73710 og gjennomsnittlig lengde var 702 meter. Det var 274 strekninger på 1 meter. 48 % av strekningene var kortere enn 1 kilometer.

I siste ulykkesmodell (Høye 2016) er antall variabler nok en gang utvidet. Datagrunnlaget omfatter 76046 analyseenheter med en gjennomsnittlig lengde på 659 meter. 30 strekninger hadde en lengde på 1 meter.

Det er ønskelig å unngå svært korte strekninger. Som en forberedelse til utvikling av ulykkesmodellen i 2014, ble det gjort en analyse av data for 605 strekninger i Sør-Trøndelag (Elvik 2012B). Dette datasettet er lite nok til at det er overkommelig å gå gjennom det manuelt for å vurdere om de korteste strekningene kan slås sammen med andre strekninger uten tap av vesentlig informasjon. Strekninger på mindre enn 50 meter er vurdert. Gjennomgangen nedenfor er eksempler på vurderingene:

To strekninger på 34 meter og 15 meter på E6, hovedparsell 2, skiller seg på viktige punkter fra tilgrensende strekninger og kan derfor ikke slås sammen med disse. Det samme gjelder fire strekninger på 18, 10, 6 og 4 meter på E6, hovedparsell 3. Disse skiller seg fra tilgrensende strekninger når det gjelder fartsgrense, ÅDT eller antall år data dekker. Heller ikke to strekninger på 42 og 48 meter på E6, hovedparsell 4, kan slås sammen med nabostrekningene. En strekning på 6 meter på E6, hovedparsell 5, skiller seg fra strekningene før og etter med hensyn til antall år data dekker og fartsgrense. En strekning på 26 meter på samme hovedparsell skiller seg fra nabostrekningene med hensyn til fartsgrense og antall år data dekker. Heller ikke en strekning på 25 meter på samme parsell kan slås sammen med tilgrensende strekninger. En strekning på 48 meter på E6, hovedparsell 5, skiller seg fra en 748 meter strekning foran ved at strekningen foran har 1 kryss, mens strekningen på 48 meter har 0 kryss. Her kunne de to strekningene ha vært slått sammen til en strekning på 801 meter med 1 kryss. Derimot kan en strekning like ved på 5 meter ikke slås sammen med andre strekninger fordi data ikke dekker like lange perioder.

En 47 meter lang strekning på E6, hovedparsell 6, ser ikke ut til å skille seg fra en 854 meter lang strekning foran på annen måte enn at den lange strekningen har 2 ulykker, den korte 0. Men antall ulykker er ikke noe kriterium for å dele opp vegnettet, så disse to strekningene kunne ha vært slått sammen. To korte strekninger på 18 og 35 meter på E6, hovedparsell 7, må derimot beholdes. En kort strekning på 1 meter på E6, hovedparsell 8, kan slås sammen med neste strekning, som imidlertid bare er på 55 meter.

Disse eksemplene viser at korte strekninger noen ganger må beholdes, andre ganger kan slås sammen med nabostrekninger. I de fleste eksemplene over måtte de korte strekningene beholdes. Dette reiser følgende spørsmål:

1. Bør det settes en nedre grense for lengde av en strekning?
2. Bør færre variabler brukes ved inndeling av vegnettet?
3. Bør helt homogene strekninger erstattes av strekninger med gjennomsnittsverdier for noen variabler?

Minste strekningslengde: Når det gjelder første spørsmål, er det ikke noe problem ved utvikling av en ulykkesmodell at strekningene ikke er like lange. Det er likevel tvilsomt om en strekning på 1 meter inneholder data av verdi. Strekninger på 1 meter kan trolig i de aller fleste tilfeller slås sammen med lengre nabostrekninger uten tap av informasjon.

Hvis man velger å sette en nedre grense for lengde av en strekning uten å slå for korte strekninger sammen med nabostrekninger, vil man få et vegnett som ikke henger fysisk sammen, ved at de korte strekningene som ligger mellom lengre strekninger er utelatt. Det er imidlertid ikke i seg selv et problem. Man bør likevel sjekke om utelatte strekninger f.eks. inneholder uforholdsmessig mange ulykker.

I noen tilfeller i eksemplene over var forskjellen mellom den korte strekningen og de lengre strekningene at data ikke gjaldt samme periode. Dette skyldes i de fleste tilfeller at vegen er ombygget og at den korte strekningen ikke eksisterte før ombyggingen. Dette problemet kan unngås ved at en ulykkesmodell bare bygger på data om veger som har vært uendret i hele den perioden data dekker.

Antall variabler: Spørsmålet om hvor mange variabler som bør benyttes til å definere homogene strekninger, drøftes igjen i avsnitt 3. Det er imidlertid ikke hensiktsmessig å bruke linjeføringsvariabler til å definere homogene strekninger. Hvis man, for eksempel, krever at en strekning skal ha en konstant kurveradius for å regnes som homogen, vil man få svært mange korte strekninger. Det er bedre å beholde strekninger med varierende linjeføring, men definere variabler som fanger opp dette.

Det kan gis gode grunner for å inkludere alle variabler som inngår i dagens ulykkesmodell for riks- og fylkesveger. Det er, for eksempel, helt uaktuelt å utelate fartsgrenser, selv om ulykkesmodellene viser at veger med de høyeste fartsgrensene har lavest ulykkesrisiko. Det betyr naturligvis ikke at økt fart reduserer ulykkesrisikoen, men at høye fartsgrenser er innført på de vegene som er utformet slik at det er mulig å holde høy fart der samtidig som ulykkesrisikoen er lav. Ideelt sett bør alt som kan påvirke ulykestallet, inngå i en ulykkesmodell. Slik er det ikke i dag. Så lenge ikke alt inngår, vil noen koeffisienter bli estimert feil fordi variablene de gjelder, er korrelert med utelatte variable (omitted variable bias). På den andre siden kan det å inkludere «alt» føre til problemer som følge av kollinearitet.

Variabler som ikke inngår i dagens ulykkesmodeller er, for eksempel, variabler som beskriver vegdekkets kvalitet (spordybde, ujevnhet) og variabler som beskriver siktlengde. Trafikkmengde omfatter bare motorkjøretøy, ikke fotgjengere og syklist. Variabler som varierer over tid, som vær- og føreforhold, er vanskelige å inkludere. Disse variablene vil likevel ha systematiske og langsiktige geografiske forskjeller i Norge. Kanskje kunne derfor klimavariabler som middeltemperatur eller nedbørmengde over en viss periode inngå. Uansett: det er lettere å finne argumenter for at flere variabler bør inngå i ulykkesmodellene enn argumenter for det motsatte.

Gjennomsnittsverdier: Noen variabler som inngår i ulykkesmodellene, er kontinuerlige, som trafikkmengde. Her burde det ikke være noe problem å bruke gjennomsnittsverdier for å unngå svært korte strekninger. Hvis, for eksempel, en strekning er på 950 meter med ÅDT 5000, og en tilgrensende strekning er på 25 meter med ÅDT 4700, blir et lengdevektet gjennomsnitt svært nær 5000, som er trafikkmengden på den lange strekningen. Man kan, ved manuell gjennomgang av datagrunnlaget for ulykkesmodeller, finne tilfeller der slike sammenslåinger kan gjøres og korte strekninger dermed unngås.

11.3 Definisjon av variabler

Prediktorvariabler i ulykkesmodeller kan defineres på ulike måter, de kan være mer eller mindre detaljerte, de kan være definert som tall- eller dummyvariabler og som tallvariabler kan de være transformerte eller uttransformerte.

Detaljerte variabler: I drøftingen av PRACT-modellene ble det pekt på at det er lite informativt å definere linjeføring ved hjelp av vegens brytning, siden en og samme verdi for vegens brytning kan fremkomme både ved at vegen har en lang og slak kurve og ved at den har mange og krappe kurver. På samme måte kan en variabel som stigningsgrad bety både en lang og slak stigning og en kort og bratt. Det er mer informativt å definere et sett av mer detaljerte variabler, for eksempel:

1. Antall horisontalkurver
2. Minste radius i horisontalkurver
3. Gjennomsnittlig radius i horisontalkurver
4. Avstand mellom kurver
5. Minste lengde av kurver
6. Største lengde av kurver
7. Antall skifter av retning (det vil si om alle kurver går samme retning eller endrer retning)

Dummyvariabler: I eksempelet over (linjeføring) kunne man alternativt definere overordnede variabler og dele vegstrekninger inn etter type kurvatur, f.eks.: Rett strekning; slake kurver; mange krappe kurver; enslig krappe kurve. Det betyr at man definerer en dummyvariabel for hver kurvaturtype med verdien 1 for den aktuelle kurvatur-typen og null ellers.

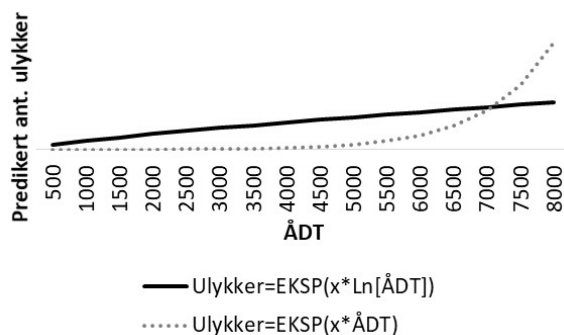
Også fartsgrenser er ofte definert som dummyvariabler. Å definere fartsgrensen som tallvariabel gir lite mening da det finnes kvalitative forskjeller mellom veger med ulike fartsgrenser slik at man ikke kan forvente ulykkestall å variere som en funksjon av fartsgrensen som reelle tall.

Andre variabler som kan defineres som dummyvariabler er bl.a. vegbelysning, fartskontroll (fotobokser), vegtype (Europaveg, riksveg etc.). Også f.eks. antall kryss kan man definere som dummyvariabler (f.eks. strekningen har kryss ja/nei eller strekning med mange kryss/få kryss).

I noen tilfeller kan man også definere dummyvariabler ut fra flere andre variabler, f.eks. når man vil skille mellom kryss som oppfyller vs. ikke oppfyller krav til venstresvingfelt (eller mellom strekninger eller kryss som oppfyller / ikke oppfyller andre krav eller som har/ikke har andre overordnede egen-skaper).

Transformerte og uttransformerte variabler: Et annet spørsmål som gjelder definisjon av variabler, er om de skal transformeres eller inngå med naturlige enheter. I de fleste ulykkesmodeller er det vanlig at mange variabler omgjøres til naturlige logaritmer.

Dette gjelder især trafikkmengden (ÅDT) som vanligvis inngår som naturlig logaritme. På grunn av modellformen vil da den samme prosentvise økningen av ÅDT alltid medføre den samme prosentvise økningen av det predikerte antall ulykker. Med en uttransformert trafikkmengde derimot vil den samme prosentvise økningen av ÅDT medføre større ulykkesøkninger ved høyere ÅDT enn ved lavere ÅDT. Det er skjematisk illustrert i følgende figur:



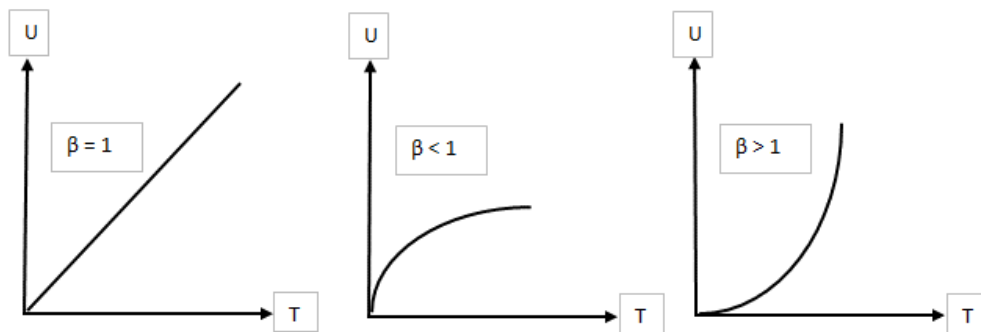
Figur 11.1: Sammenheng mellom ulykkestall og ÅDT enten som naturlig variabel (stiplet) eller naturlig logaritme (heltrukket).

Den stiplede linjen som gjelder en ulykkesmodell med uttransformert ÅDT, viser at det predikerte antall ulykker er nesten uavhengig av ÅDT ved lav ÅDT, men øker med en stadig større stigning ved høyere ÅDT. I praksis ligner den svarte linjen mer på den faktiske sammenhengen mellom antall ulykker og trafikkmengden. Her er koeffisienten («x») satt lik 0,8, noe som er en typisk verdi i ulykkesmodeller for strekninger. Ulykkesmodeller som benytter uttransformert ÅDT, kan gi svært ulogiske resultater, med mindre de er basert på veger med svært lite variasjon i ÅDT og resultatene kan ikke generaliseres utover den variasjonsbredden av ÅDT i dataene som ligger til grunn for modellen.

En annen fordel med logaritmisk transformasjon er at dette er naturlig hvis man antar at variablenes effekter oppsummerer seg multiplikativt, altså at man får den samlede virkningen av to variabler ved å gange koeffisientene med hverandre. Når variablene er transformert til naturlige logaritmer oppnår man det samme ved å addere koeffisientene (eller mer presist, koeffisientene ganget med bestemte verdier på variablene). Noen variabler kan det likevel være naturlig å beholde i sin opprinnelige form, som strekningslengde eller antall år data gjelder (antall år inngår vanligvis ikke som en uavhengig variabel i en ulykkesmodell).

11.4 Valg av funksjonsform

Valg av funksjonsform gjelder den matematiske formen på en funksjon som beskriver sammenhengen mellom en variabel og ulykkestall. For variabler som er transformert til naturlige logaritmer, følger funksjonsformen av verdien på koeffisienten. Eksempelvis får vi følgende sammenhenger mellom trafikkmengde (T) og ulykkestall (U) ved ulike koeffisienter (β) for den naturlige logaritmen av trafikkmengden (figur 11.2):



Figur 11.2: Form på sammenheng mellom trafikkmengde og ulykkes ved ulike verdier av koeffisienten for trafikkmengde.

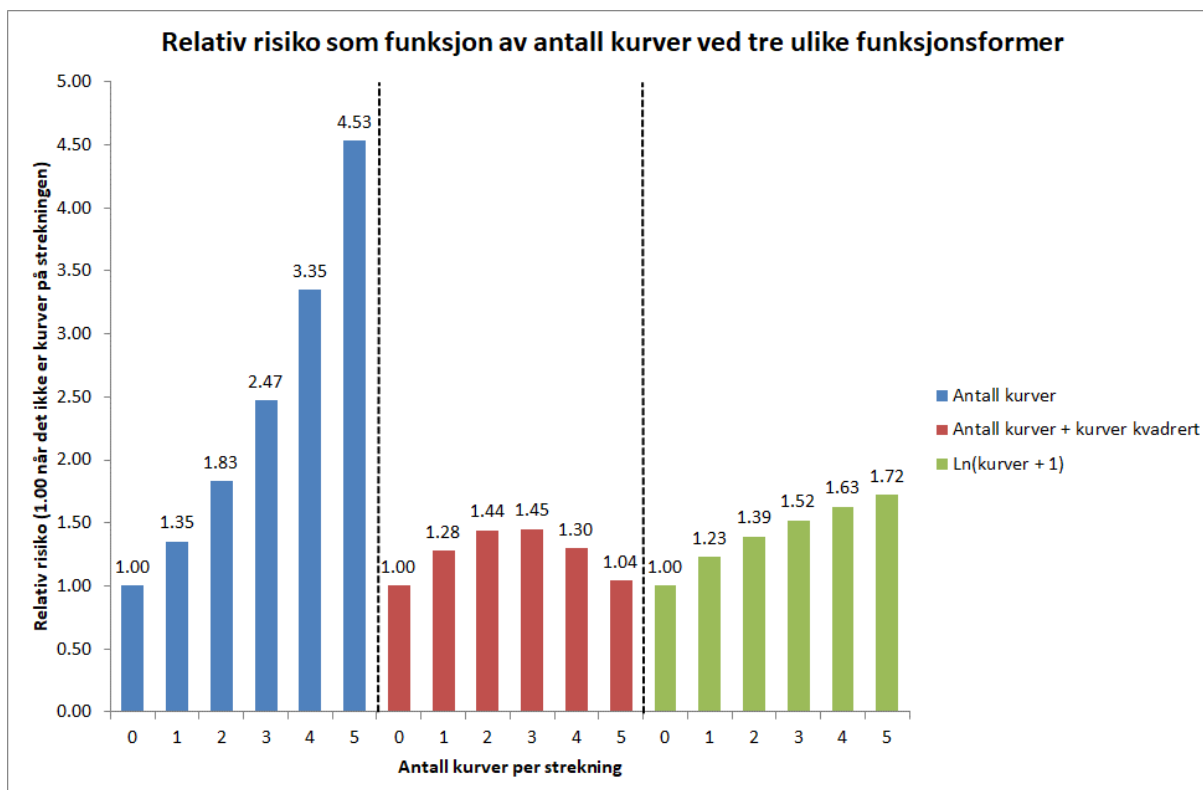
Alle disse funksjonene kan fremstilles enten som en potensfunksjon eller en eksponentialfunksjon:

$$N^\beta = e^{(\ln(N) \cdot \beta)}$$

Alle slike funksjoner er monotone, det vil si at de stiger eller faller i hele sitt verdiområde. Flere, blant dem Hauer (2004) og Couto og Ferreira (2011), har argumentert for at dette er en uheldig begrensning og at funksjoner som har vendepunkter (bunn eller topp) bør kunne forekomme.

De enkleste måtene å definere slike funksjoner på, er enten (1) å inkludere variabelen både i naturlige enheter og kvadrert, eller (2) å definere samspillsledd mellom variabler.

Eksempel – kurver: Ved utvikling av ulykkesmodellen for Sør-Trøndelag (Elvik 2012B) ble antall kurver per strekning inkludert både som (a) antall; (b) antall kvadrert; (c) logaritmen til antall pluss 1. Resultatene av de tre variantene er vist på figur 11.3.



Figur 11.3: Relativ risiko (ved konstant trafikkmengde) ved ulike definisjoner av sammenhengen mellom antall kurver per kilometer og ulykkesrisiko.

Modellen der kurver inngikk som $\ln(\text{kurver} + 1)$ hadde klart lavest overspredningsparameter og var dermed den modellen som passet best til data. Vi ser at risikotallene har et vendepunkt når antall kurver pluss antall kurver kvadrert benyttes. Koeffisienten for kvadratleddet var negativ.

Eksempel – ÅDT: Ulykkesmodellene for norske riks- og fylkesveger som ble utviklet i 2014, inneholdt to ÅDT-variabler, $\ln(\text{ÅDT})$ og $\ln(\text{ÅDT})^2$. Koeffisientene var henholdsvis 1,23 og $-0,16$ i modellen for personskadeulykker. Den negative koeffisienten for kvadratleddet fører til at den prosentvise økningen av predikerte ulykkestall avtar med økende ÅDT. Her er det imidlertid ingen vendepunkt (da $\ln(\text{ÅDT})$ er benyttet, ikke ÅDT).

For å teste hvilken funksjonsform som passer best, kan man benytte ulike metoder. Man kan bl.a.:

- Sammenligne modellene mht. såkalte goodness-of-fit indikatorer som viser hvor godt modellene passer til dataene
- Sammenligne sammenhengen mellom den aktuelle variablene (f.eks. ÅDT eller antall kurver per strekning) og antall ulykker per mill. kjøretøykilometer med sammenhengen mellom den aktuelle variabelen og ulike predikerte antall ulykker (predikert med modeller som har ulike funksjonsformer)
- Beregne CURE-plots som viser avviket mellom predikerte og faktiske ulykkestall for alle verdiene av den uavhengige variabelen.

Hvis man finner at f.eks. et kvadratledd fører til bedre føyning mellom data og modell, tyder dette på at denne funksjonsformen representerer dataene bedre enn andre. Det kan likevel være argumenter for å benytte en funksjonsform som ikke gir den beste tilpasningen som f.eks. at modellformen er veldig spesifikk for det aktuelle datasettet.

11.5 Bruk av samspillsledd

Det er ikke vanlig å inkludere samspillsledd i ulykkesmodeller, men det er ikke noe problem å gjøre det. Den vanligste definisjonen av et samspillsledd er at to variabler ganges med hverandre. Avhengig av fortegnet på koeffisienten kan et samspill være positivt eller negativt.

Positivt samspill betyr at variabler forsterker hverandres virkninger. Hvis, for eksempel, en risikofaktor (alene) fordobler risiko og en annen risikofaktor (alene) firedobler den, har vi følgende muligheter:

- De to risikofaktorene (sammen) øker risikoen til det åttedoble ($2 \cdot 4$). Det betyr at risikofaktorene er uavhengige av hverandre og at det ikke er samspill mellom dem.
- De to risikofaktorene øker risikoen til det tolvfoble (mer enn $2 \cdot 4$). Det er da positivt samspill mellom dem; de forsterker hverandre i sine effekter på risikoen.
- De to risikofaktorene øker risikoen til det seksdoble (mindre enn $2 \cdot 4$). Det er da negativt samspill mellom dem. De har mindre virkning på risikoen når de forekommer sammen enn produktet av deres uavhengige effekter skulle tilsi.

Samspillsledd kan defineres enten i naturlige enheter eller som produktet av transformerte variabler, for eksempel logaritme ganger logaritme.

En annen mulighet å definere samspillsledd på er å definere et sett med dummyvariabler som er basert på to eller flere faktorer som kan være tilstede vs. ikke tilstede.

En tredje mulighet er å dele en tallvariabel opp i to variabler; f.eks. kan man definere to ÅDT-variabler, én for motorveger og én for andre vegger (eller en for tett- og en for spredtbygd strøk,).

Samspillsledd bør bare inkluderes hvis de kan tolkes meningsfullt og hvis de gjør at modellen passer bedre til data. De kan også brukes i eksplorative analyser for å undersøke f.eks. hvorvidt resultater kan generaliseres eller om man bør dele opp datasettet og utvikle separate modeller for ulike typer vegger.

11.6 Behandling av endogene variabler

En endogen variabel er en variabel som påvirkes av den avhengige variabelen i en ulykkesmodell. Den avhengige variabelen i ulykkesmodeller er antall ulykker, eventuelt antall skadde eller drept. De fleste trafiksikkerhetstiltak er endogene, i den forstand at antall ulykker påvirker sannsynligheten for at de innføres. I noen tilfeller er antall ulykker et kriterium for bruk av tiltaket, enten alene eller sammen med andre kriterier. Det gjelder for eksempel automatisk trafikk kontroll.

Det er ikke noe problem å inkludere endogene variabler i en ulykkesmodell, forutsatt at man ikke tolker resultatene som anslag på effekter av tiltak. En slik tolkning kan bare forsvares dersom man kontrollerer for endogenitet og sammenligner predikert ulykkestall med og uten kontroll for endogenitet.

De nyeste nasjonale ulykkesmodellene (Høye 2014A, 2016) inneholder flere variabler som kan være endogene, blant annet vegbelysning, midtrekkverk, forsterket midtoppmerking, punkt-ATK og streknings-ATK. Koeffisientene som er beregnet for disse variablene, er ikke kontrollert for endogenitet.

I en studie av virkninger av passeringslommer på antall ulykker (Høye og Hesjevoll 2022) ble det utviklet en ulykkesmodell der det kontrolleres for endogenitet i tillegg til en modell der det ikke kontrolleres for endogenitet. En ulykkesmodell basert på alle kryss, uten kontroll for endogenitet, viste at kryss med passeringslomme hadde 142 % flere ulykker enn ellers like kryss uten passeringslomme (altså mer enn dobbelt så mange ulykker). Med kontroll for endogenitet hadde kryss med passeringslomme 81 % flere ulykker enn kryss uten dette. «Nedgangen» i ulykkesøkning, fra 142 % til 81 % kan tolkes slik at kryss med passeringslomme har flere ulykker enn kryss uten passeringslomme, også når man tar hensyn til at de hadde flere ulykker allerede før passeringslommene ble installert.

Kontroll for endogenitet i nasjonale ulykkesmodeller bedømmes som unødvendig dersom disse modellene ikke brukes til å si noe om virkninger av trafikksikkerhetstiltak, men bare som en beskrivelse av hvilke faktorer som påvirker antall ulykker eller skadde eller drepte. En ulempe med å kontrollere statistisk for endogenitet er at prosedyren er svært lite transparent og at resultatene kan være vanskelige å tolke.

11.7 Spesifikasjon av overspredningsparameter

Variasjonen i antall ulykker, eller skadde personer, er alltid en kombinasjon av systematisk og tilfeldig variasjon. Målet med en ulykkesmodell er å forklare mest mulig av den systematiske variasjonen. Hvor godt en ulykkesmodell lykkes med dette, fremgår av overspredningsparameteren for modellen. Den er definert slik:

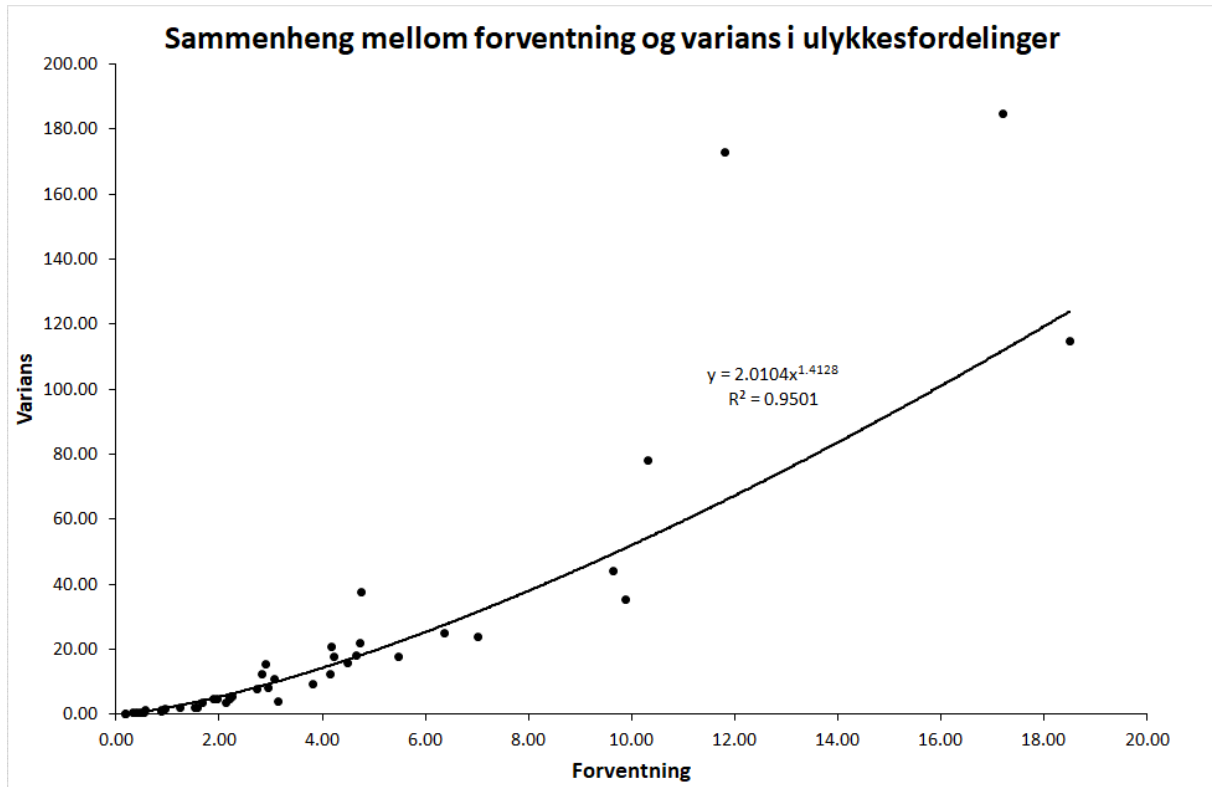
$$\text{Overspredningsparameter } (\mu) = \lambda \cdot (1 + \mu\lambda)$$

Her er λ det predikerte antall ulykker eller skadde personer. Verdien av overspredningsparameteren avhenger av hvor mye systematisk variasjon det er i et datasett. Hvis forventet ulykkestall er 1, og variansen er 2, er overspredningsparameteren 1. Hvis forventet ulykkestall er 1 og variansen er 10, er overspredningsparameteren 9. Når man kjenner gjennomsnittlig (eller modellpredikert) ulykkestall (λ) og variansen i ulykkestall ($\text{Var}(x)$), kan overspredningsparameteren regnes ut slik:

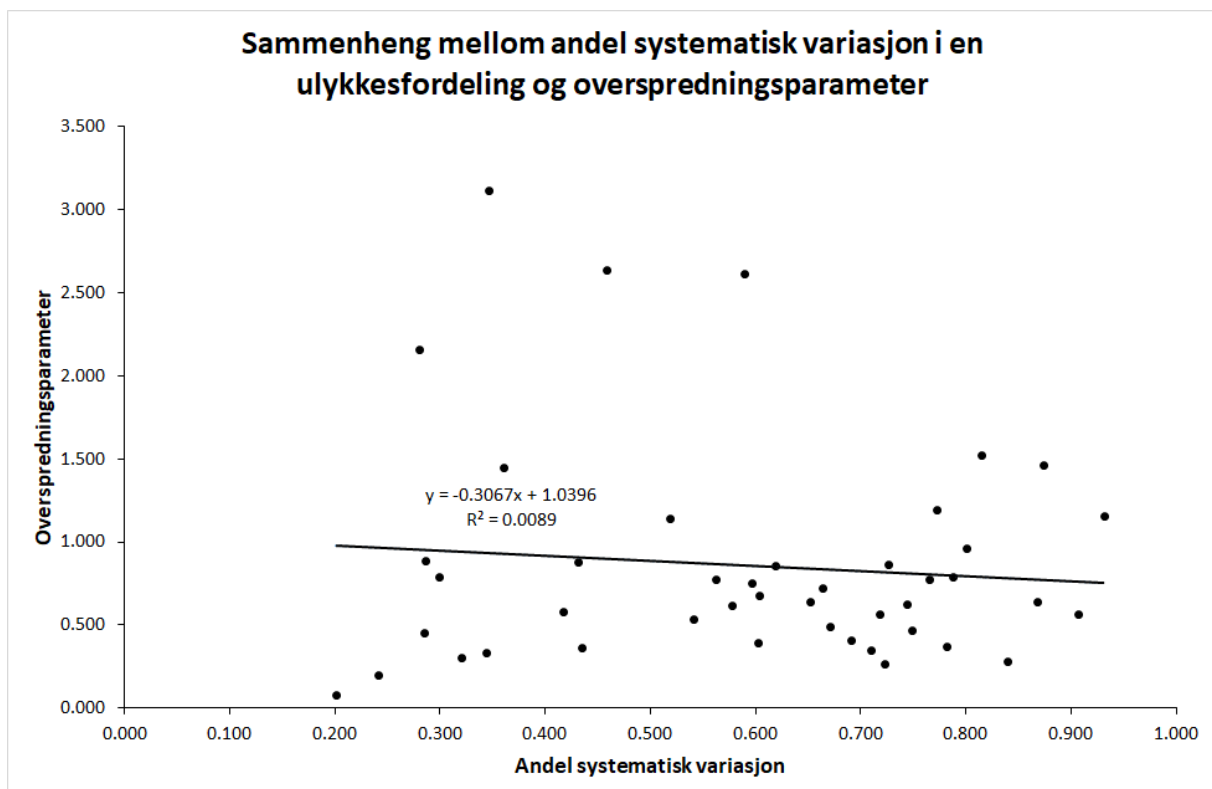
$$\text{Overspredningsparameter } (\mu) = \frac{\frac{\text{Var}(x)}{\lambda} - 1}{\lambda}$$

Ulykkestall er heteroskedastiske. Det betyr at variansen øker mer enn proporsjonalt med gjennomsnittet. Dette er vist på figur 11.4, som bygger på ulykkesdata for riksveger i perioden 1986-89 (Elvik 1991). Ulykkesfordelinger der gjennomsnittlig ulykkestall er høyt, inneholder en større andel systematisk variasjon enn ulykkesfordelinger der gjennomsnittlig ulykkestall er lavt. En skulle derfor tro at overspredningsparameteren ville bli større i ulykkesfordelinger med en høy andel systematisk variasjon enn i ulykkesfordelinger med en lav andel systematisk variasjon. Figur 11.5 viser, noe overraskende, at dette ikke er tilfellet. Det er ingen sammenheng mellom andelen systematisk variasjon i en ulykkesfordeling og verdi av overspredningsparameteren.

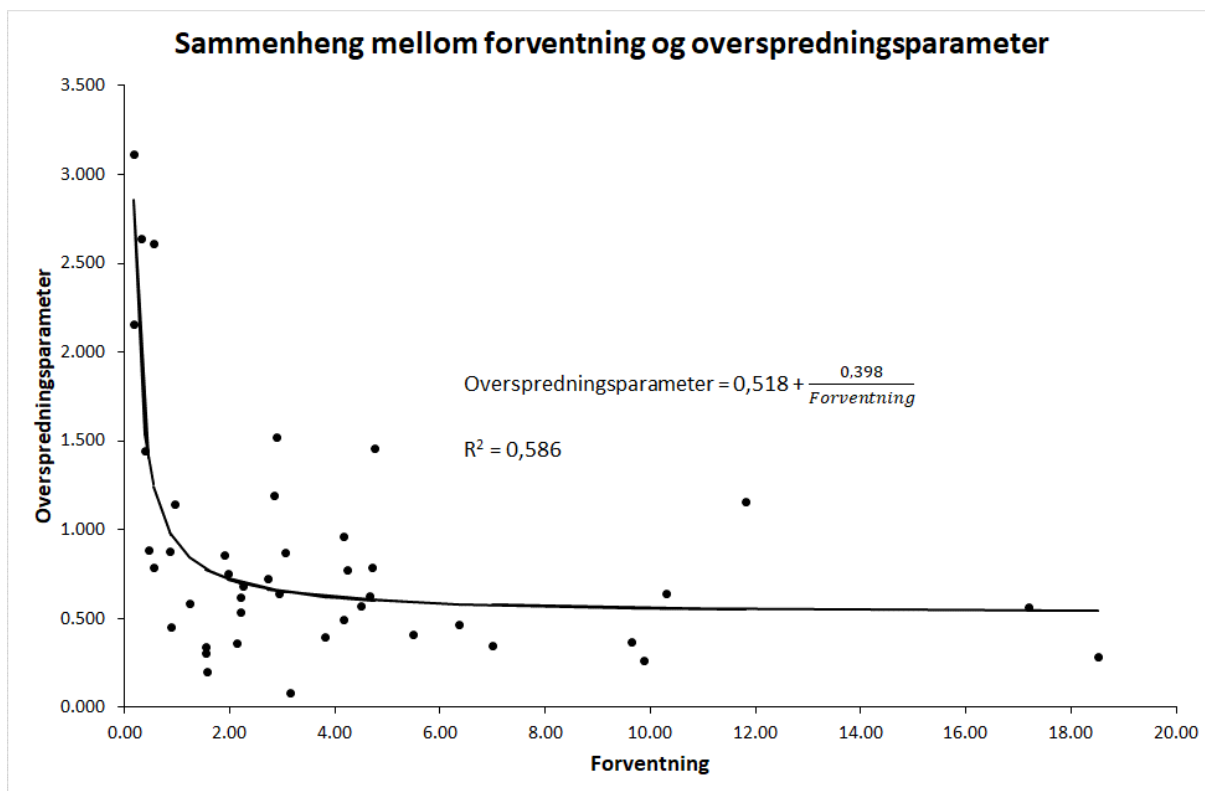
Figur 11.6 og figur 11.7 viser sammenhengen mellom overspredningsparameteren og forventet ulykkestall per strekning. Begge figurer viser en klar negativ sammenheng. Jo lavere forventet ulykkestall er, desto høyere er verdien av overspredningsparameteren. Dette kan synes overraskende, siden et lavt forventet ulykkestall som regel også betyr at variansen i antall ulykker ($\text{Var}(x)$) er liten. Figur 11.6 bygger på grupperte data (rådata) i Elvik (1991). Figur 11.7 bygger på siste ulykkesmodell for riks- og fylkesveger (Høye 2016).



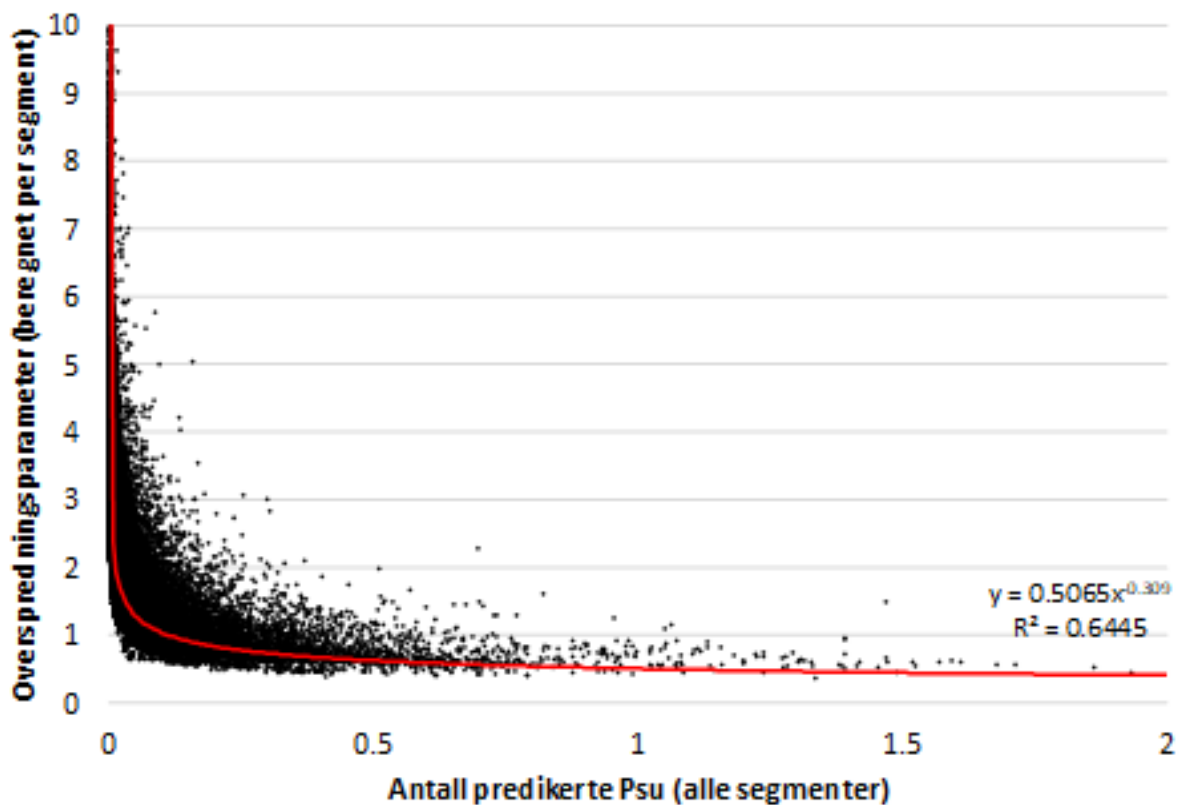
Figur 11.4: Sammenheng mellom forventning (gjennomsnitt) og varians i ulykkesfordelinger.



Figur 11.5: Sammenheng mellom andel systematisk variasjon i en ulykkesfordeling og verdi av overspredningsparameteren.



Figur 11.6: Overspredningsparameter i rådata til Elvik (1991).



Figur 11.7: Overspredningsparameter for personskadeulykker i Høyve (2016).

Formelen for overspredningsparameteren i figur 11.7 gir følgende verdier av overspredningsparameteren ved ulike verdier av modellpredikert ulykkestall:

Predikert ulykkestall	Overspredningsparameter
0.01	2,102
0.05	1,278
0.10	1,032
0.20	0,833
0.50	0,627
0.75	0,554
1.00	0,507
1.25	0,473
1.50	0,447
2.00	0,409

Hvis man bruker denne overspredningsparameteren til å beregne forventet ulykkestall med empirisk Bayes metode, får man følgende resultater for en vegstrekning med følgende kjennetegn:

Lengde 100-1000 meter; årsdøgntrafikk 5000; fartsgrense 80 km/t; to felt; ikke kryss eller rundkjøringer; vanlig riks- eller fylkesveg (ikke motorveg); ikke ATK, vegbelysning, midtdeler, midtrekkverk eller forsterket midtoppmerking (fylke: Hordaland):

Tabell 10.1: Inkonsistens mellom forventet ulykkestall på en lang strekning og sum av flere korte strekninger.

Lengde (meter)	Forventet ulykkestall	Overspredningsparameter	EB-vekt
100	0,0190	3,0237	0,9937
200	0,0376	1,9937	0,9811
500	0,0884	1,1495	0,9231
1000	0,1529	0,7579	0,7982
10*100	0,1900		
5*200	0,1880		
2*500	0,1768		

Fire veglengder er benyttet: 100 meter, 200 meter, 500 meter og 1000 meter. Få strekninger i grunnlagsdata for ulykkesmodellene er lengre enn 1000 meter. De fire første linjene viser beregnet forventet ulykkestall ved disse lengdene. Det er forutsatt 0 registrerte ulykker, siden det store flertallet av strekninger har 0 registrerte ulykker. Overspredningsparameteren er vist i tredje kolonne og EB-vekten, som er den vekt man tillegger modellpredikert ulykkestall, er vist i fjerde kolonne.

Beregningene gir inkonsistente resultater. Ti strekninger på 100 meter får ikke samme forventede ulykkestall som en strekning på 1000 meter. Dette gjelder også strekninger på 200 meter eller 500 meter. Forklaringen på dette er at overspredningsparameteren ikke er en lineær funksjon av strekningens lengde. Hauer (2001) har argumentert for at denne inkonsistensen kan unngås hvis overspredningsparameteren er en lineær funksjon av strekningens lengde.

Det kan vises at han har rett i dette. Det modellpredikerte ulykkestallet for en veg som har de kjennetegn som er angitt over, er proporsjonalt med strekningens lengde:

- 100 meter = 0,0192; 10 ganger 100 meter = 0,1920
- 200 meter = 0,0383; 5 ganger 200 meter = 0,1915
- 500 meter = 0,0958; 2 ganger 500 meter = 0,1916
- 1000 meter = 0,1916; 1 ganger 1000 meter = 0,1916

Disse tallene må regnes som identiske bortsett fra avrundingsfeil på tredje desimal. EB-vekten for å beregne forventet ulykkestall beregnes slik (Hauer, 2001, ligning 3):

$$\text{EB-vekt} = \frac{1}{1 + \frac{\eta_i}{\phi_i}}$$

Her er η_i modellpredikert ulykkestall og ϕ_i er overspredningsparameteren. For strekninger på 1000 meter er modellpredikert ulykkestall 0,1916 og overspredningsparameteren 0,7579. EB-vekten er 0,7982. Hauer foreslår at for en kortere strekning, eksempelvis en strekning som er halvparten så lang benytter følgende formel for EB-vekten:

$$\text{EB-vekt} = \frac{1}{1 + \frac{\eta}{\frac{\phi}{2}}}$$

Ved at både predikert ulykkestall og overspredningsparameter divideres med 2, holdes forholdstallet mellom dem konstant. EB-vekten for 500 meter blir lik EB-vekten for 1000 meter og forventet ulykkestall for 500 meter blir halvparten av forventet ulykkestall for 1000 meter.

Denne tilnærmingen fungerer godt også når forholdet mellom strekningenes lengde ikke er 2 (1000/500), men for eksempel 5 (1000/200) eller 10 (1000/10). Beregninger gir et forventet ulykkestall som er identisk opp til tredje desimal (0,153), men kan ha avrundingsfeil på fjerde desimal.

12 Drøfting og konklusjoner

Dette kapitlet drøfter resultatene av gjennomgangen av ulike ulykkesmodeller og virkningsfaktorer for tiltak i de foregående kapitlene. Deretter trekkes konklusjoner med tanke på videre utvikling av ulykkesmodeller og virkningsfaktorer i Norge.

12.1 To ulike typer ulykkesmodeller

Det kan skiller mellom to hovedtyper av ulykkesmodeller:

1. Modeller med få prediktorvariabler utviklet for bestemte vegelementer
2. Modeller med mange prediktorvariabler utviklet for et heterogent vegnett

De fleste utenlandske ulykkesmodeller av den første typen. Eksempelvis har Highway Safety Manual egne ulykkesmodeller for tofelts landeveger, flerfelts landeveger, motorveger, og hovedveger i tettbygd strøk. Det finnes videre egne modeller for trearmede kryss og firearmede kryss, oppdelt etter reguleringsform (stopp, vikeplikt, signalregulering). En slik tilnærming til ulykkesmodeller innebærer at man utvikler mange ulykkesmodeller, der hver modell har få prediktorvariabler, i noen tilfeller kun trafikkmengde.

De danske ulykkesmodellene kan sies å stå i en mellomstilling mellom de to typene over. Det er utviklet separate ulykkesmodeller for ulike typer veger og kryss, men de mest avanserte av disse modellene har mange prediktorvariabler.

De nasjonale norske ulykkesmodellene for riks- og fylkesveger er av type 2. De dekker et svært heterogent vegnett, men har mange prediktorvariabler, blant dem variabler som identifiserer ulike vegtyper. Selv om disse modellene inneholder mange variabler, kan det argumenteres for å inkludere en del variabler som i dag ikke inngår. Det gjelder blant annet linjeføringsvariabler, som inngikk i en av modellene, men ble tatt ut. Det er mulig at en bedre definisjon av disse variablene kan gjøre det aktuelt å inkludere dem igjen. Variabler som beskriver vegdekkets kvalitet, inngår heller ikke i modellene.

Det er ikke nødvendig å velge mellom de to tilnærmingene til utvikling av ulykkesmodeller. Begge kan brukes. Det er, for eksempel, fullt mulig å bruke dagens datagrunnlag for ulykkesmodeller i Norge til å lage en separat modell for motorveger. Man bare definerer et datasett som kun inneholder motorveger og kjører en modell for dette datasettet.

En meta-analyse som er basert på et stort antall internasjonale studier (Høye & Hesjevoll, 2020) viser at sammenhengen mellom trafikkmengde og antall ulykker kan være forskjellig mellom ulike vegtyper og mellom ulike nivåer av trafikkmengde. Dette kan være et argument for å utvikle separate modeller for ulike typer veg. Slike modeller kan likevel fortsatt dekke heterogene vegnett og inneholde mange ulike prediktorvariabler.

For å beholde muligheten til å velge mellom de to hovedtypene av ulykkesmodeller, er det viktig å definere et datasett som er rikholdig nok til at begge tilnærminger kan velges. Det innebærer at datagrunnlaget må inneholde data om mange variabler, blant dem også variabler som ikke nødvendigvis inngår i en endelig versjon av ulykkesmodellene, men som kan testes ved utvikling av dem.

Hvis man velger modeller med få variabler, må mulige virkninger av variabler som ikke inngår i en modell fanges opp av virkningsfaktorer som er definert utenfor modellen. Dette er den tilnærming som er valgt i Highway Safety Manual. Som påpekt i drøftingen av Highway Safety Manual, kan det være betenkelig å multiplisere mange virkningsfaktorer med hverandre, fordi en slik metode forutsetter at faktorene er uavhengige av hverandre, noe de neppe er. Det vurderes følgelig som bedre å utvikle et datasett der så mange variabler som mulig kan inngå i ulykkesmodellene.

12.2 Videre utvikling og oppdatering av ulykkesmodeller i Norge

En oppdatering av den siste nasjonale ulykkesmodellen for Norge pågår nå. Det er primært datagrunnlaget for modellen som oppdateres. Det tas sikte på at de samme variabler skal inngå som i modellen fra 2016.

Som nevnt i kapittel 2, er det ved ulike anledninger også utviklet ulykkesmodeller for bestemte vegelementer i Norge, herunder kryss, gangfelt, bruer, tunneler og horisontalkurver. I tillegg til modellene som omfatter riks- og fylkesveger, er det ønskelig å oppdatere også modellene for bestemte vegelementer. Noen av disse modellene bygger på svært gamle data, for eksempel data for 1997-2002 i modellene for kryss. Disse modellene er åpenbart utdaterte i dag. I noen sammenhenger kan det være behov for ulykkesmodeller for bestemte vegelementer i tillegg til modellene for riks- og fylkesveger.

Alle ulykkesmodeller bør oppdateres ikke sjeldnere enn hvert 5-7 år. Når antall ulykker eller skadde eller drepte endrer seg mye i løpet av få år, blir modellene fort utdaterte.

12.3 Virkninger av trafikksikkerhetstiltak

Kunnskap om virkninger av trafikksikkerhetstiltak oppdateres løpende som ledd i revisjonen av Trafikksikkerhetshåndboken. Oppdaterte kapitler publiseres elektronisk på hjemmesiden til TØI.

Tilgangen til informasjon om virkninger av trafikksikkerhetstiltak i Norge vurderes som meget god. Det viktigste tiltaket for å sikre at dette fortsetter, er å fortsette å oppdatere Trafikksikkerhetshåndboken.

Blant de kilder som er gjennomgått om virkninger av trafikksikkerhetstiltak, vurderes CMF Clearinghouse som den mest anvendelige. Ved revisjon av Trafikksikkerhetshåndboken bør det bli en rutine å sjekke om relevante resultater, som ikke er funnet på andre måter, finnes i CMF Clearinghouse.

Resultater som finnes i CMF Clearinghouse må vurderes kritisk. Om mulig bør man bare inkludere resultater som scorer minst 110 poeng for kvalitet (150 er maksimum) og som gjelder resultater der skadegraden i ulykken er spesifisert.

12.4 Konklusjoner

De viktigste konklusjoner som kan trekkes på grunnlag av denne rapporten kan oppsummeres slik:

1. Ulykkesmodeller som er utviklet i Norge har en faglig kvalitet som er på linje med tilsvarende modeller utviklet i andre land.
2. Som grunnlag for utvikling av ulykkesmodeller, bør det defineres et datasett som inkluderer så mange variabler som mulig. Dette gir størst valgfrihet med hensyn til hvilke variabler som tas med i modellene.
3. I tillegg til ulykkesmodeller for hele vegnettet, bør det utvikles ulykkesmodeller for bestemte vegelementer som kryss, gangfelt, bruer, tunneler og horisontalkurver.
4. Ulykkesmodeller bør oppdateres minst hvert 5-7 år.
5. Overspredningsparameteren i ulykkesmodeller bør spesifiseres slik at summen av forventede ulykkestall beregnet for, eksempelvis, 10 korte strekninger, stemmer overens med forventet ulykkestall beregnet for en strekning som er like lang som summen av de 10 strekningene.
6. Tall for virkninger av trafikksikkerhetstiltak bør spesifisere hvilken skadegrad de gjelder.
7. Systematisk variasjon i virkninger av trafikksikkerhetstiltak bør om mulig fanges opp ved at virkningene angis som funksjoner, ikke punktestimater.

Referanser

- AASHTO. 2010. Highway Safety Manual. First edition. Washington D. C. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Amundsen, A. H., Elvik, R., Fridstrøm, L. 1999. Virkninger av «Sei ifrå» kampanjen i Sogn og Fjordane på antall skadde og drepte i trafikken. Rapport 425. Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- Cafiso, S., Di Graziano, A., Di Silvestro, G., La Cava, G., Persaud, B. 2010. Development of comprehensive accident models for two-lane rural highways using exposure, geometry, consistency and context variables. *Accident Analysis and Prevention*, 42, 1072-1079.
- Christensen, P., Elvik, R. 2007. Effects on accidents of periodic motor vehicle inspection in Norway. *Accident Analysis and Prevention*, 39, 47-52.
- Christensen, P., Ragnøy, A. 2006. Vegdekkets tilstand og trafiksikkerhet. Betydningen av spordybde, ujevnhet og endring i tverrfall for ulykkesrisikoen. Rapport 840. Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- CMF Clearinghouse user guide. 2021. (cmfClearinghouse.org/userguide.cfm.) Washington, D. C., US Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- CMF Clearinghouse. 2021. About the star quality rating (cmfClearinghouse.org/sqr.cfm.) Washington, D. C., US Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- Couto, A., Ferreira, S. 2011. A note on modelling road accident frequency: A flexible elasticity model. *Accident Analysis and Prevention*, 43, 2104-2111.
- Elvik, R. 1991. Ulykkesrisiko på riksveger 1986-89. Rapport 81. Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- Elvik, R. 2000. Evaluating the effectiveness of Norway's "Speak out!" road safety campaign: The logic of causal inference in road safety evaluation studies. *Transportation Research Record*, 1717, 66-75.
- Elvik, R. 2003. Effects on road safety of converting intersections to roundabouts. Review of evidence from non-US studies. *Transportation Research Record*, 1847, 1-10.
- Elvik, R. 2008. Dimensions of road safety problems and their measurement. *Accident Analysis and Prevention*, 40, 1200-1210.
- Elvik, R. 2011A. Assessing causality in multivariate accident models. *Accident Analysis and Prevention*, 43, 253-264.
- Elvik, R. 2011B. A framework for a critical assessment of the quality of epidemiological studies of driver health and accident risk. *Accident Analysis and Prevention*, 43, 2047-2052.
- Elvik, R. 2012A. The feasibility of formal synthesis of coefficients estimated in multivariate accident prediction models: an exploratory study. Paper presented at TRB Annual Meeting, Washington, D. C.
- Elvik, R. 2012B. Oppdatering av ulykkesmodeller: Foreløpig analyse av data for Sør-Trøndelag. Arbeidsdokument 50195. Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- Elvik, R. 2013A. 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. 2013B. International transferability of accident modification functions for horizontal curves. *Accident Analysis and Prevention*, 59, 487-496.

- Elvik, R. 2013C. 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. 2015. Can electronic stability control replace studded tyres? *Accident Analysis and Prevention*, 85, 170-176.
- Elvik, R. 2016. Safety-in-numbers: estimates based on a sample of pedestrian crossings in Norway. *Accident Analysis and Prevention*, 91, 175-182.
- Elvik, R. 2017. Road safety effects of roundabouts: a meta-analysis. *Accident Analysis and Prevention*, 99, 364-371.
- Elvik, R. 2019A. The more (sharp) curves, the lower the risk. *Accident Analysis and Prevention*, 133, 105322.
- Elvik, R. 2019B. A comprehensive and unified framework for analysing the effects on injuries of measures influencing speed. *Accident Analysis and Prevention*, 125, 63-69.
- Elvik, R. 2022. Effects on accidents of technical inspections of heavy goods vehicles in Norway: a re-analysis and a replication. *Journal of Safety Research*, article in press (available online November 4, 2022).
- Elvik, R., Amundsen, A. H., Fridstrøm, L. 1999. Virkninger av «Sei ifrå» kampanjen i Sogn og Fjordane på antall skadde og drepte i trafikken. Rapport 425. Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- Elvik, R., Fridstrøm, L., Kaminska, J. Meyer, S. F. 2013. Effects on accidents of changes in the use of studded tyres in major cities in Norway: A long-term investigation. *Accident Analysis and Prevention*, 54, 15-25.
- Elvik, R., Haugvik, E. S. 2022. Safety of horizontal curves on rural two-lane roads in Norway. Unpublished manuscript. Oslo, Institute of Transport Economics.
- Elvik, R., Høy, A., Vaa, T., Sørensen, M. 2009. *The Handbook of Road Safety Measures*. Second edition. Bingley, Emerald.
- Elvik, R., Kaminska, J. 2011. Effects on accidents of reduced use of studded tyres in Norwegian cities. Report 1145. Oslo, Institute of Transport Economics.
- Elvik, R., Pasnin, L. T., Nævestad, T-O. 2022. Effects on accidents of police checks of drivers of heavy goods vehicles in Norway. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 14, 100606.
- Elvik, R., Sagberg, F., Langeland, P. A. 2019. An analysis of factors influencing accidents on road bridges in Norway. *Accident Analysis and Prevention*, 129, 1-6.
- Elvik, R., Sørensen, M., Nævestad, T-O. 2013. Factors influencing safety in a sample of marked pedestrian crossings selected for inspection in the city of Oslo. *Accident Analysis and Prevention*, 59, 64-70.
- Elvik, R., Ulstein, H., Syrstad, R., Wifstad, K., Seeberg, A., Gulbrandsen, M., Welde, M. 2017. An Empirical Bayes before-after evaluation of road safety effects of a new motorway in Norway. *Accident Analysis and Prevention*, 108, 285-296.
- Elvik, R., Vaa, T. 2004. *The Handbook of Road Safety Measures*. Oxford, Elsevier.
- Erke, A. 2006. Koeffisientensjekk. Excel regneark lagret på prosjekt 3663. Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- Fridstrøm, L. 2000. Piggfrie dekk i de største byene. Rapport 493. Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- Hauer, E. 1991. Comparison groups in road safety studies: an analysis. *Accident Analysis and Prevention*, 23, 609-622.

- Hauer, E. 2001. Overdispersion in modelling accidents on road sections and in Empirical Bayes estimation. *Accident Analysis and Prevention*, 33, 799-808.
- Hauer, E. 2004. Statistical road safety modeling. *Transportation Research Record*, 1897, 81-87.
- Hauer, E. 2010. Cause, effect and regression in road safety: A case study. *Accident Analysis and Prevention*, 42, 1128-1135.
- Haugvik, E. S. 2018. Risikokurver. Analyse av utforkjøringsrisikofaktorer på 2-feltsveger. Statens vegvesens rapporter 171. Statens vegvesen, region øst.
- Høye, A. 2014A. Utvikling av ulykkesmodeller for ulykker på riks- og fylkesveger i Norge. Rapport 1323. Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- Høye, A. 2014B. Safety effects of section control – an empirical Bayes evaluation. *Accident Analysis and Prevention*, 74, 169-178.
- Høye, A. 2015. Safety effects of fixed speed cameras – an empirical Bayes evaluation. *Accident Analysis and Prevention*, 82, 263-269.
- Høye, A. 2016. Utvikling av ulykkesmodeller for ulykker på riks- og fylkesveger i Norge (2010-2015). Rapport 1522. Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- Høye, A. K. 2017. Effektkatalog for trafikksikkerhetstiltak. Rapport 1556. Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- Høye, A. 2021. Geometriske tverrsnittselementer og betydning for trafikksikkerhet. Rapport 1831. Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- Høye, A. 2021. Trafikksikkerhetsrevisjon og -inspeksjon. Kapittel 10.8 i Trafikksikkerhetshåndboken. Revidert 2021.
- Høye, A., Hesjevoll, I. S. 2022. Sikkerhetseffekter av passeringslommer i T-kryss. Rapport 1909. Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- Høye, A. K., & Hesjevoll, I. S. 2020. Traffic volume and crashes and how crash and road characteristics affect their relationship—A meta-analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 145, 105668.
- Høye, A., Nævestad, T-O., Ævarsson, G. 2019. Utvikling av modell for predikering av branner, ulykker og havarier i vegtunneler. Rapport 1705. Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- International Road Assessment Programme. 2021. Methodology fact sheets. Available at www.irap.org.
- Jensen, S. U. 2015. Uheldsmodeller, sikkerhetsfaktorer og værktøjer for strækninger. Motorvejsnettet. Lyngby, Trafitec.
- Jensen, S. U. 2017. Uheldsmodeller, sikkerhetsfaktorer og værktøjer for landevejsnettet. Kryds og strækninger i det åbne land. Lyngby, Trafitec.
- Kallberg, V-P., Seise, A., Hytönen, J., Ahonen, T. 2011. Safety audits of Finnish level crossings. *The Open Transportation Journal*, 5, 80-87.
- Karathodorou, N., Graham, D., Hu, J., Richter, T., Ruhl, S., Yannis, G., Dragomanovits, A., Laiou, A., La Torre, F., Domenichini, L. 2015. Development of new crash modification factors/functions per key safety treatments. PRACT deliverable D2.
- Kvisberg, J. 2003. Hovedoppgave for faggruppe veg og samferdsel. Analyse av kryssulykker på hovedvegnettet i Region Øst. Trondheim, NTNU, Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, Institutt for bygg, anlegg og transport.
- La Torre, F., Meocci, M., Domenichini, L., Branzi, V., Tanzi, N., Paliotto, A. 2019. Development of an accident prediction model for Italian freeways. *Accident Analysis and Prevention*, 124, 1-11.

- Lawson, S. 2011. Crash rate – star rating comparison. iRAP working paper 504.2. Basingstoke, EuroRAP.
- Lord, D. 2006. Modeling motor vehicle crashes using Poisson-gamma models: Examining the effects of low sample mean values and small sample size on the estimation of the fixed dispersion parameter. *Accident Analysis and Prevention*, 38, 751-766.
- Lucchesi, S., Olyslagers, M. 2021. Vehicle speeds and iRAP protocols: a review. Available at www.irap.org.
- Mannering, F., Shankar, V., Bhat, C. R. 2016. Unobserved heterogeneity and the statistical analysis of highway accident data. *Analytic Methods in Accident Research*, 11, 1-16.
- McInerney, R., Fletcher, M. 2013. Relationship between star ratings and crash cost per kilometre travelled. The Bruce highway, Australia. Available at www.irap.org.
- Muskaug, R. 1985. Risiko på norske riksveger. Rapport. Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- Peltola, H. 2012. Safety evaluation of level crossings. Conference paper. Level crossing 2012 London.
- Peltola, H., Rajamäki, R., Luoma, J. 2013A. A tool for safety evaluations of road improvements. *Accident Analysis and Prevention*, 60, 277-288.
- Peltola, H., Ratkeviciute, K., Jasiuniene, V., Virkkunen, M. 2013B. Road network safety management using the TARVA tool. Conference paper. The XXVIII International Baltic Road Conference.
- Peltola, H., Ristikartano, J., Malin, F., Tuominen, M. 2018. Vakavat loukkaantumiset Liikenneviraston vaikutusarvioinneissa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 9/2018. Helsinki, Liikennevirasto (Road administration).
- Persaud, B., Retting, R., Lyon, C. 2000. Guidelines for identification of hazardous highway curves. *Transportation Research Record*, 1717, 14-18.
- Ragnøy, A., Christensen, P., Elvik, R. 2002. Skadegradstetthet. Et nytt mål på hvor farlig en vegstrekning er. Rapport 618. Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- Ragnøy, A., Elvik, R. 2003. Trafikksikkerhetsanalyse av stamvegnettet i Norge. Rapport 649. Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- Thorson, O. 1967. Traffic accidents and road layout. The use of electronic data processing on accident information. Copenhagen, The Technical University of Denmark.
- Ulleberg, P., Christensen, P. 2007. Virker «Sei ifrå» filosofien? Utvikling i antall skadde og drepte ungdommer i bil i Hordaland og Sogn og Fjordane. Rapport 881. Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- Yannis, G., Dragomanovits, A., Deliali, K., Sevrovic, M., Ljubotina, L., Tripodi, A., Tiberi, P., Mazzia, E. 2023. Network wide road safety assessment. Methodology and implementation handbook. Brussels, European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport.
- Yannis, G., Dragomanovits, A., Laiou, A., Richter, T., Ruhl, S., La Torre, F., Domenichini, L., Fanfani, F., Graham, D., Karathodorou, N., Li, H. 2014. Overview of existing accident prediction models and data sources. PRACT Deliverable D1.
- Yannis, G., Dragomanovits, A., Laiou, A., Richter, T., Ruhl, S., Calabretta, F., La Torre, F., Domenichini, L., Fanfani, F., Graham, D., Karathodorou, N. 2015. Inventory and critical review of existing APMs and CMFs and related data sources. PRACT Deliverable D4.

TØI er et anvendt forskningsinstitutt som mottar basisbevilgning fra Norges forskningsråd og gjennomfører forsknings- og utredningsoppdrag for næringsliv og offentlige etater. TØI ble opprettet i 1964 og er organisert som uavhengig stiftelse.

TØI utvikler og formidler kunnskap om samferdsel med vitenskapelig kvalitet og praktisk anvendelse. Instituttet har et tverrfaglig miljø med rundt 90 høyt spesialiserte forskere.

Instituttet driver forskningsformidling gjennom TØI-rapporter, artikler i vitenskapelige tidsskrifter, bøker, seminarer, samt innlegg og intervjuer i media. TØI-rapportene er gratis tilgjengelige på instituttets hjemmeside www.toi.no.

TØI er partner i CIENS Forskningscenter for miljø og samfunn, lokalisert i Forskningsparken nær Universitetet i Oslo (se www.ciens.no). Instituttet deltar aktivt i internasjonalt forskningssamarbeid, med særlig vekt på EUs rammeprogrammer.

TØI dekker alle transportmidler og temaområder innen samferdsel, inkludert trafiksikkerhet, kollektivtransport, klima og miljø, reiseliv, reisevaner og reiseetterspørsel, arealplanlegging, ITS, offentlige beslutningsprosesser, næringslivets transportbehov og generell transportøkonomi.

Transportøkonomisk institutt krever opphavsrett til egne arbeider og legger vekt på å opptre uavhengig av oppdragsgiverne i alle faglige analyser og vurderinger.

Postadresse:

Transportøkonomisk institutt
Gautstadalléen 21
0349 Oslo
Norge

E-post: toi@toi.no

Kontoradresse:

Forskningsparken
Gautstadalléen 21

Hjemmeside: www.toi.no

