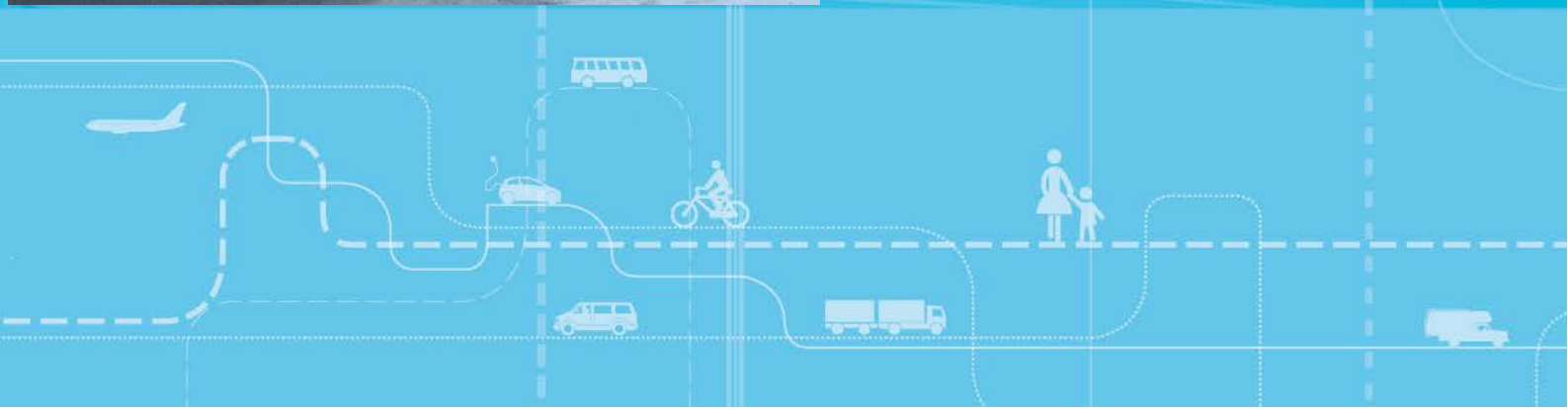


# Alternative forståelser av risiko og eksponering





# Alternative forståelser av risiko og eksponering

Torkel Bjørnskau  
Rikke Ingebrigtsen

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

ISSN 0808-1190

ISBN 978-82-480 1689-2 Papirversjon

ISBN 978-82-480-1235-1 Elektronisk versjon

Oslo, desember 2015

---

**Tittel:** Alternative forståelser av risiko og eksponering

**Title:** Alternative understandings of risk and exposure

**Forfattere:** Torkel Bjørnskau  
Rikke Ingebrigtsen

**Author(s):** Torkel Bjørnskau  
Rikke Ingebrigtsen

**Dato:** 12.2015

**Date:** 12.2015

**TØI rapport:** 1449/2015

**TØI report:** 1449/2015

**Sider** 52

**Pages** 52

**ISBN Papir:** 978-82-480-1689-2

**ISBN Paper:** 978-82-480-1689-2

**ISBN Elektronisk:** 978-82-480-1235-1

**ISBN Electronic:** 978-82-480-1235-1

**ISSN** 0808-1190

**ISSN** 0808-1190

**Finansieringskilde:** Statens vegvesen Vegdirektoratet

**Financed by:** The Norwegian Public Roads  
Administration

**Prosjekt:** 4164 - Alternative forståelser av risiko  
og eksponering

**Project:** 4164 - Alternative forståelser av risiko og  
eksponering

**Prosjektleder:** Torkel Bjørnskau

**Project manager:** Torkel Bjørnskau

**Kvalitetsansvarlig:** Rune Elvik

**Quality manager:** Rune Elvik

**Emneord:** Eksponering

**Key words:** Bicycle

Fotgjenger

Exposure

Helse

Health

Risiko

Pedestrian

Syklister

Risk

Trafikksikkerhet

Road safety

#### **Sammendrag:**

Rapporten drøfter det sannsynlighetsteoretiske grunnlaget for beregning av risiko i trafikk samt eksponeringsmål som blir benyttet i trafikksikkerhetsforskningen. I rapporten argumenteres det for at selv om hendelser som kan føre til ulykke er det teoretisk beste eksponeringsmålet, risikerer man i noen tilfeller å kontrollere vekk viktige risikofaktorer som skaper ulykker med et slikt eksponeringsmål. I rapporten argumenteres det for at man bør velge eksponeringsmål som fanger opp trafikkdeltakelse, men som samtidig ikke er veldig sterkt korrelert med ulykker. På tilsvarende måte argumenteres det også for at når man skal sammenligne risiko mellom grupper skal man være varsom med å kontrollere for risikofaktorer som påvirker disse forskjellene. Rapporten viser beregninger av risiko med tid og avstand som eksponeringsmål og konkluderer med at det tradisjonelle målet på eksponering – avstand – i mange sammenhenger er et foretrukket eksponeringsmål i risikoberegninger.

#### **Summary:**

The report discusses the probability theoretical foundation for calculating risk in traffic as well as measure of exposure, which is used in road safety research. The report argues that although the events that could result in an accident is theoretically the best exposure measure, there is a risk in some cases to control away important risk factors that create accidents with such a measure of exposure. The report argues that one should choose a measure of exposure that captures traffic participation, yet not very strongly correlated with accidents. Similarly, it is argued that when comparing risk among groups one should be careful when controlling for various risk factors influencing these differences. The report shows estimates of risk with time and distance as a measure of exposure and concludes that the traditional measure of exposure - distance - in many cases is a preferred measure of exposure in risk calculations.

Language of report: Norwegian

---

Transportøkonomisk Institutt  
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo  
Telefon 22 57 38 00 - [www.toi.no](http://www.toi.no)

Institute of Transport Economics  
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo, Norway  
Telefon 22 57 38 00 - [www.toi.no](http://www.toi.no)

# Forord

Det er en politisk målsetting at trafikkveksten i norske byområder skal skje gjennom økt bruk av kollektive transportmidler og mer gåing og sykling. Tradisjonelle risikoberegninger viser at fotgjengere og syklister har høyere risiko enn de som kjører bil, og en overgang til mer sykling og gåing kan dermed føre til flere ulykker.

Bakgrunnen for rapporten er at Statens vegvesen har ønsket å få en gjennomgang av hvordan risikobegrepet forstås og benyttes i trafikksikkerhetsforskning og om det er andre fruktbare måter og metoder å forstå risiko og eksponering på i trafikk.

Mange TØI-forskere har vært involvert i dette arbeidet. Torkel Bjørnskau har vært prosjektleder og er hovedforfatter av rapporten. Rikke Ingebrigtsen har bidratt med statistisk kompetanse og skrevet kapittel 2. Tineke de Jong har innhentet relevant forskningslitteratur, både publisert og «grå» litteratur. Aslak Fyhri har gjennomført beregninger basert på nyere data for å få et bedre bilde av hvor stor mosjonseffekten er av at flere begynner å sykle. Hanne Beate Sundfør har beregnet omfang av sykling basert på surveydata og på data fra mobil-appen «MOVES». Knut Veisten har vært diskusjonspartner og bidragsyter til nyttekostnadsvurderingene som er gjort i rapporten. Ross Phillips har sjekket og korrigert det engelske sammendraget, og Michael Sørensen og Gunnar Lindberg har bidratt med nyttige innspill og oppretting av feil. Rune Elvik har gitt fylldige kommentarer til tidligere utkast og kvalitetssikret rapporten, og Trude Rømming har tilrettelagt rapporten for utgivelse.

Statens vegvesen, Vegdirektoratet har vært oppdragsgiver. Rapporten inngår i Statens vegvesens forskningsprogram «Bedre sikkerhet i trafikken» (BEST). Guro Berge har vært oppdragsgivers kontaktperson.

Oslo, desember 2015  
Transportøkonomisk institutt

*Gunnar Lindberg*  
direktør

*Rune Elvik*  
forskningsleder



# Innhold

## Sammendrag

### Summary

<b>1</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>1</b>
1.1	Bakgrunn og formål .....	1
1.2	Hvorfor trenger vi risikotall? .....	2
<b>2</b>	<b>Sannsynlighetsteoretisk grunnlag</b> .....	<b>3</b>
2.1	Hva er risiko? .....	3
2.2	Sannsynlighetsteori og mulige modeller.....	3
2.2.1	Ulike tilnærminger til ulykkesdata .....	5
2.2.2	Statistisk modellering .....	6
2.3	Risikoestimering versus ulykkesmodellering.....	8
<b>3</b>	<b>Anvendelser i trafikk</b> .....	<b>10</b>
3.1	Sentrale bidrag.....	10
3.2	Eksponeringsdata som benyttes.....	11
3.2.1	Eksponeringsmål basert på indirekte trafikkdata.....	11
3.2.2	Eksponeringsmål basert på direkte trafikkdata .....	12
3.2.3	Nye muligheter med «big data» .....	13
3.3	Ulykkesdata som benyttes .....	16
3.3.1	Offisielle ulykkesdata .....	16
3.3.2	Skadedata fra sykehus/legevakt.....	16
3.3.3	Forsikringsmeldte ulykker og skader .....	17
3.3.4	Egenrapporterte ulykker og skader.....	18
3.3.5	Konflikter som proxy for ulykker.....	18
<b>4</b>	<b>Drøfting</b> .....	<b>19</b>
4.1	Konsekvenser av valg av eksponeringsmål .....	19
4.2	Hvilke eksponeringsmål bør foretrekkes ut fra et sannsynlighetsteoretisk grunnlag? .....	19
4.3	Tid eller avstand? .....	21
4.3.1	Avstand er nærmest «antall forsøk» .....	21
4.3.2	Formålet med transporten spiller inn .....	22
4.4	Ikke-lineære sammenhenger mellom eksponering og ulykker .....	22
4.5	Kontinuum fra eksponering til utfall.....	24
4.6	Faglig uenighet .....	25
<b>5</b>	<b>Tradisjonelle og alternative risikoberegninger</b> .....	<b>27</b>
5.1	Risiko med konflikter som utfall og hendelser som eksponering.....	28
5.2	Risiko med tid og avstand som eksponeringsmål.....	29
5.2.1	Sammenligninger innen ett transportmiddel .....	29
5.2.2	Sammenligninger mellom transportmidler .....	30
5.2.3	Beregninger basert på skadetall fra sykehus/legevakt.....	31
5.3	Egenrisiko, fremmedrisiko og totalrisiko.....	33

<b>6</b>	<b>Konsekvenser av å overføre trafikk fra bil til sykkel og gange .....</b>	<b>36</b>
6.1	Beregninger basert på offisielle skadetall .....	36
6.2	Beregninger basert på data fra Oslo Universitetssykehus og RVU 2014 .....	38
6.2.1	Beregninger av skadekonsekvenser.....	38
6.2.2	Beregninger av helsekonsekvenser.....	39
<b>7</b>	<b>Oppsummering og konklusjon .....</b>	<b>42</b>
7.1	Svar på problemstillingene .....	42
7.2	Konklusjon .....	45
<b>8</b>	<b>Referanser.....</b>	<b>47</b>



**Sammendrag:**

# Alternative forståelser av risiko og eksponering

TØI rapport 1449/2015

Forfattere: Torkel Bjørnskau, Rikke Ingebrigtsen

Oslo 2015 52 sider

Rapporten drøfter ulike måter å forstå risiko og eksponering på, med utgangspunkt i hvordan risiko vanligvis beregnes i trafikksikkerhetsforskningen. Både det sannsynlighetsteoretiske grunnlaget og ulike eksponeringsmål blir presentert og diskutert. I rapporten argumenteres det for at selv om hendelser som kan føre til ulykke er det teoretisk beste eksponeringsmålet, risikerer man i noen tilfeller å kontrollere vekk viktige risikofaktorer som skaper ulykker med et slikt eksponeringsmål. Vi foreslår at man bør velge eksponeringsmål som fanger opp trafikkdeltakelse, men som samtidig ikke er veldig sterkt korrelert med ulykker. På tilsvarende måte argumenteres det også for at når man skal sammenligne risiko mellom grupper skal man være varsom med å kontrollere for risikofaktorer som påvirker disse forskjellene. Rapporten viser beregninger av risiko med tid og avstand som eksponeringsmål og konkluderer med at det tradisjonelle målet på eksponering – avstand – i mange sammenhenger er et foretrukket eksponeringsmål i risikoberegninger, særlig om man ønsker å beregne effekter av å overføre trafikk mellom transportmidler.

## Bakgrunn og formål

Bakgrunnen for oppdraget var at Statens vegvesen ønsket en vurdering av om det kunne være andre måter å forstå risiko og eksponering på enn det man vanligvis benytter i trafikksikkerhetsforskningen, som kunne være fruktbart for å forstå og beregne risiko for fotgjengere og syklistene.

Et viktig grunnlag for denne problemstillingen er det politiske målet om at all framtidig trafikkvekst i byene skal skje gjennom mer sykling, gåing og bruk av kollektive transportmidler. Det er følgelig av stor interesse å få kunnskap om hva dette vil kunne føre til av skader for syklistene og gående. Det er derfor viktig å gå gjennom kunnskapen om risiko og eksponering både teoretisk og for disse trafikantgruppene for å kunne si noe om skadekonsekvensene av å overføre trafikk fra bil til sykling og gåing.

Rapporten drøfter ulike sider ved risikobegrepet og ulike eksponeringsmål som har vært foreslått og anvendt. I tillegg presenteres eksempler på beregninger av risiko med ulike ulykkes- og eksponeringsmål, og et regneeksempel på hvilke konsekvenser det vil ha både når det gjelder antall skader og når det gjelder mer generelle folkehelseeffekter av å overføre trafikk fra bil til sykkel i Oslo.

## Risikoberegninger og ulykkesmodellering i trafikk

Det sies at de fleste ulykker skjer i hjemmet. Det er trolig riktig, men det betyr naturligvis ikke at hjemmet er det farligste stedet vi oppholder oss. Dette viser

hvorfor det er utilstrekkelig å bare undersøke omfanget av ulykker når vi skal vurdere hvor farlig en aktivitet eller et opphold er.

I trafikksikkerhetsforskningen brukes som regel ”risiko” som sannsynlighet for en ulykke, skade eller død ved en gitt aktivitet eller ”eksponering”. Vanlige risikomål i trafikksikkerhetsforskningen er for eksempel antall ulykker eller antall skadde dividert på tilbakelagt distanse. For å estimere sannsynligheter kan man beregne empirisk sannsynlighet. Den empiriske sannsynligheten for hendelsen A beregnes som antall utfall av type A dividert på totalt antall utfall. Direkte oversatt til trafikksikkerhetsfeltet blir sannsynligheten for en ulykke *antall ulykker* delt på *antall mulige ulykker*. Antall ulykker er (i prinsippet) mulig å telle, men hvordan kan man telle antall mulige ulykker? Her støter man på utfordringer både når det gjelder å definere hva som er en mulig ulykke og hvordan samle inn gode data. Som et mål på antall mulige ulykker er det derfor vanlig å bruke et eksponeringsmål som sier noe om hvor utsatt/eksponert man er for situasjoner eller hendelser som kan føre til ulykker.

Et alternativ til å beregne slike risikostørrelser er å modellere ulykker som et utfall der en rekke risikofaktorer inngår som forklaringsvariabler i tillegg til ett eller flere eksponeringsmål i en modell. Slik modellering er etter hvert svært mye brukt, og fordelene er at man kan estimere effekter av en rekke forhold samtidig og kontrollert for hverandre. I stedet for å beregne risikotall for menn og kvinner i ulike aldersgrupper, vil man i en slik type modellering inkludere kjønn og alder som forklaringsvariabler og få ut estimater på hvordan de påvirker sannsynligheten for ulykke. Det er likevel mange metodeutfordringer involvert i slik modellering, både når det gjelder valg av modell og variabler og i tolkningen av estimatene.

Fordelen med å benytte risikoestimering, dvs. å beregne risiko for ulike grupper av trafikanter, veier, kjøretøy osv. er at slike estimater er enkle å forstå og etterprøve, og de gir i mange tilfeller en intuitiv og direkte tolkning. Man kan for eksempel finne at motorsyklister statistisk sett har ti ganger så høy risiko som bilister, målt i antall drepte per kjørt kilometer. Det kan tolkes som at det er «ti ganger så farlig» å kjøre motorsykel som å kjøre bil.

## Valg av eksponeringsmål

Det er en stor diskusjon i trafikksikkerhetsforskningen om hvilke(t) eksponeringsmål som bør velges i beregninger av risiko. Allerede mange tidlig bidra var opptatt av at eksponeringsmålene skulle være mest mulig i overensstemmelse med det sannsynlighetsteoretiske grunnlaget, dvs. at eksponering skulle fange opp «mulige ulykker». I praksis har dette ofte vært vanskelig å bruke, og indikasjoner på trafikk, som for eksempel antall kjøretøy, årsdøgntrafikk, kjøretøykilometer og personkilometer er ofte de eksponeringsmålene som foretrekkes.

I de senere år har det vært knyttet meget store forhåpninger til å få bedre eksponeringsdata gjennom å utnytte såkalte «big data» basert på automatisk registrering av reiseaktivitet. Det er særlig mulighetene for å logge reiser ved hjelp av folks smarttelefoner som kan ha et stort potensial. Slik logging kan både skje automatisk ved bruk av telefonens posisjonsangivelser (Google) og ved hjelp av skreddersydde mobilapper som også differensierer mellom type aktivitet (gange, sykling, motorisert transport). En ulempe er at slike applikasjoner i utgangspunktet kun registrerer avstand, tid og posisjon – ikke kjennetegn ved trafikant. Det kan også

være utfordringer knyttet til å avgjøre hva slags transportmiddel som benyttes. Foreløpig er «big data» i liten grad tatt i bruk for å beregne eksponeringsdata i risikoberegninger.

## Hva brukes?

Elvik (2015b) har oppsummert en rekke studier der ulike eksponeringsmål har vært benyttet og identifiserer tre hovedtyper av eksponering:

- Aktivitetsbasert (kilometer, ÅDT)
- Hendelsesbasert (potensielle konflikter, vikesituasjoner, møtesituasjoner)
- Atferdsbasert (tid tilbrakt i trafikk)

Ofte er imidlertid denne typen data ikke tilgjengelig, og man er nødt til å benytte grovere estimater på trafikkomfang, slik som antall innbyggere og antall førerkort. Særlig i internasjonale sammenligninger er ofte slike grovere estimater på eksponering de eneste man har sammenlignbare data for.

## Hva bør brukes?

Ut fra grunnlaget i sannsynlighetsteori er det nokså klart at det er antall «tilfeller» eller «hendelser» som kan ha en ulykke som utfall, som er det mest korrekte eksponeringsmålet for å beregne risiko. Det vil i praksis si ulike former for hendelsesbasert eksponering, for eksempel antall ganger en fotgjenger går over et gangfelt eller antall ganger en bilist møter en annen på en tofeltsvei.

Men selv om et slikt eksponeringsmål er mest korrekt rent teoretisk, er det ikke opplagt at det er mest fruktbart. Dersom man for eksempel skal beregne risiko på to veistrekninger der den ene (A) har mye trafikk i begge retninger (mange møter), og den andre (B) i større grad har trafikk i én retning eller alternerer mellom retninger (få møter), er det mange flere «tilfeller» eller «opportunities for accidents» på strekning A. Om vi beregner risiko som ulykker per million møter, kan de to strekningene komme ut med samme risiko. Om vi derimot beregner risiko som ulykker i forhold til ÅDT, vil strekning A trolig ha høyere risiko.

Hvilken beregningsmåte bør vi da velge? Det er ikke opplagt. Det kan argumenteres for at når vi benytter antall møter, så «kontrollerer» vi for en risikofaktor som bidrar helt avgjørende for hvorfor strekning A har flere ulykker enn strekning B. På ett vis kan det derfor virke rimeligere å konkludere med at risikoen er høyere på strekning A *fordi* trafikksammensetningen gir flere møter som kan føre til ulykker. Når vi benytter antall møter som eksponeringsmål kan vi få som resultat at strekningen med flest møter har lavest risiko, selv om det skjer flere ulykker der.

En del forskere har argumentert for at tid bør benyttes, enten som supplement eller i stedet for ulike avstandsmål som kjøretøykilometer og personkilometer, som er de som vanligvis foretrekkes. Det er åpenbart at om man skal sammenligne veldig ulike aktiviteter, for eksempel risiko i trafikk med risiko på helt andre områder, så er tid ofte det eneste mulige eksponeringsmålet. Om vi skal sammenligne risiko i trafikk, der det er et reelt valg mellom transportmidler, vil imidlertid avstand være det mest relevante eksponeringsmålet for den enkelte. Dette er også det mest relevante eksponeringsmålet om man skal vurdere konsekvensene av å flytte trafikk mellom transportmidler. Det kan også argumenteres for at avstand er nærmere det sannsynlighetsteoretiske grunnlaget enn tid er; tiden kan løpe uten at det skjer noen bevegelse eller hendelse som kan ha ulykke som utfall.

## Valg av ulykkesdata

De fleste risikoberegninger i trafikk er basert på offisielle ulykkestall. Den offisielle norske statistikken over veitrafikkulykker dekker trafikkulykker med personskade som har skjedd på offentlig eller privat vei, gate eller plass som er åpen for alminnelig trafikk. Grunnlaget for statistikken er rapporter om veitrafikkulykker som politiet fyller ut. Alle trafikkulykker som medfører personskade (som ikke er ubetydelig) skal rapporteres til politiet. For at en ulykke skal registreres som en trafikkulykke, må minst ett kjøretøy ha vært involvert. At en fotgjenger faller på fortauet og blir skadet regnes derfor ikke som en trafikkulykke. Eneulykker på sykkel regnes derimot som trafikkulykker.

Det er imidlertid godt dokumentert at langt fra alle trafikkskader blir rapportert til politiet. Denne «underrapporteringen» av trafikkskader varierer mellom typer av ulykker og typer av trafikanter, men sykkelulykker (eneulykker) blir i langt mindre grad rapportert til politiet enn andre trafikkulykker. Dermed blir risikoen for sykkel som regel underestimert når man benytter offisielle skadetall i beregningene.

I tillegg til offisielle ulykkesdata benyttes derfor om mulig sykehusbaserte skadetall – som fanger opp flere skader, ikke minste sykkelskader. Slike data er imidlertid i liten grad tilgjengelig i Norge, i motsetning til i Sverige der man har samordnet politi- og sykehusrapporterte skader. I noen sammenhenger benyttes også forsikringsmeldte skader og egenrapporterte ulykker og skader (spørreskjema).

Ulykker inntreffer relativt sjelden og såkalte nesten-ulykker eller konflikter, dvs. møtesituasjoner der én eller flere må bråbremse e.l. har derfor vært mye benyttet som en «proxy» for ulykker i beregninger av risiko.

## Kontinuum fra eksponering til utfall

Forholdet mellom eksponering og ulykker kan ses som et kontinuum av «hendelser» og «utfall», der hendelser på ett nivå kan ses som utfall på et neste. Nesten-ulykker, eller konflikter, kan ses som mulig utfall av vikesituasjoner, og ulykker kan ses som mulig utfall av konflikter; noen ganger klarer man akkurat å stanse i tide, andre ganger ikke.

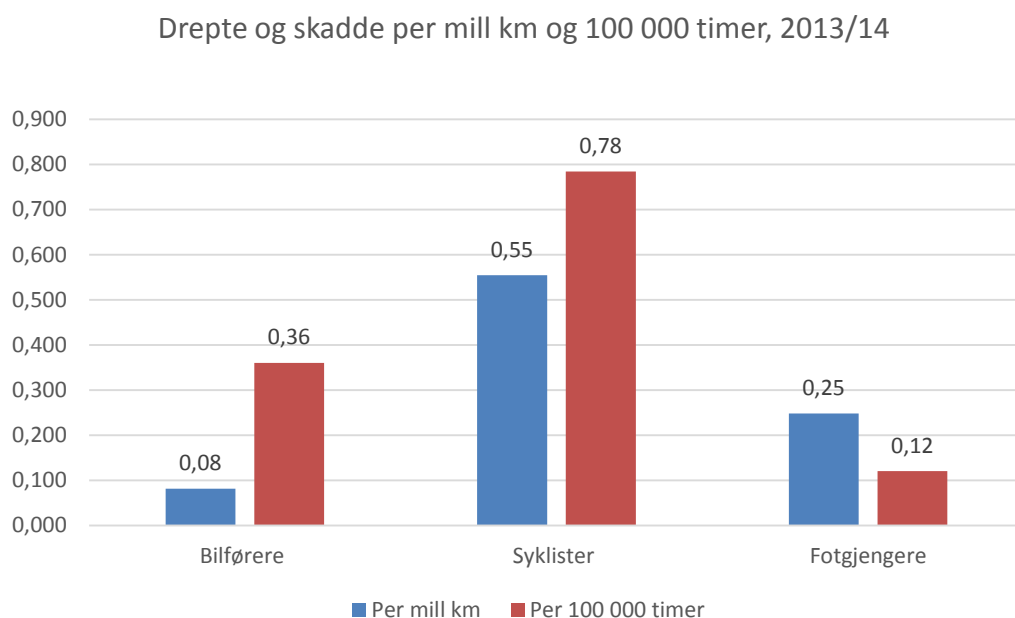
De fleste kandidater til eksponering kan forstås som «utfall» av en foregående «hendelse». En befolkning kan for eksempel ha to typer innbyggere, de som deltar i trafikk og de som ikke gjør det. Trafikk kan ses på som hendelser som kan ha som utfall at man møter andre eller ikke. Møter kan ha som utfall at man kolliderer eller ikke. Kollisjoner kan ha som utfall at man blir skadet eller ikke, en personskade kan føre til at man overlever eller ikke.

Beregninger av risiko basert på ytterpunktene på denne skalaen blir nokså meningsløse, for eksempel er ikke folketall nødvendigvis noen god indikasjon på hvor utsatt man er for å bli rammet av en trafikkulykke. På den annen side kan vi beregne risiko med mål som ligger svært nær hverandres, slik som antall ulykker per konflikt. Antall konflikter er en god indikasjon på hvor utsatt man er for ulykker, men antall ulykker dividert på antall konflikter blir et temmelig uinteressant risikoestimat. Når vi benytter antall konflikter som eksponering, har vi på sett og vis kontrollert for alle risikofaktorene som skaper forskjeller mellom to kryss.

Vi må derfor være noe pragmatiske når vi skal finne gode eksponeringsmål i trafikk. De må fange trafikkdeltakelse, men samtidig ikke være helt korrelert med og en proxy for ulykke. Det betyr også at for at risikoberegninger overhodet skal gi mening, må man ikke kontrollere bort alle faktorer.

## Tradisjonelle og alternative risikoberegninger

Basert på offisielle skadetall fra Statistisk sentralbyrå (SSB) og eksponeringstall fra den landsomfattende reisevaneundersøkelsen (RVU) i Norge i 2013/14 har vi beregnet tradisjonelle risikotall per millioner personkilometer og alternative risikotall med tid som eksponeringsmål. Resultatene er vist i figur S.1.



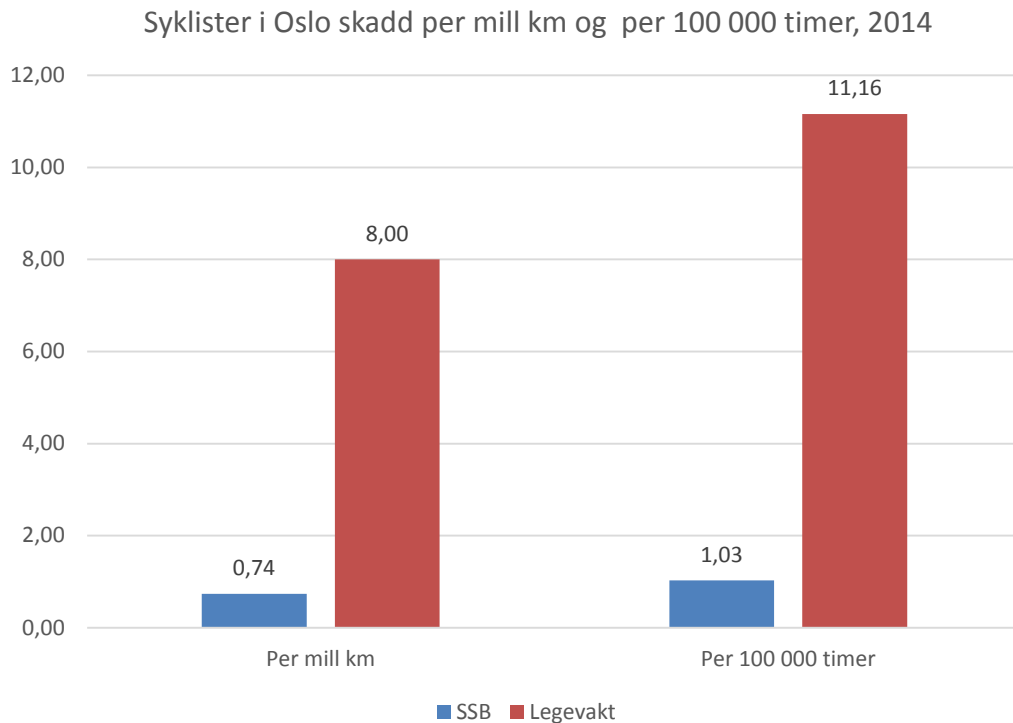
Figur S1. Antall drepte eller skadde per million personkilometer og per 100 000 timer i trafikk. Skadetall er gjennomsnitt av 2013 og 2014 hentet fra SSB. Eksponeringsdata er hentet fra RVU 2013/2014.

Når kilometer benyttes som eksponeringsmål har bilførere svært mye lavere risiko enn syklister og fotgjengere. Syklister har da om lag sju ganger så høy risiko, mens fotgjengere har ca. tre ganger så høy risiko som bilførere. Når vi benytter tid tilbakelagt i trafikken blir bildet et annet. Syklister har fremdeles høyere risiko enn bilførere, ca. dobbelt så høy, mens fotgjengere har lavere risiko enn bilister når tid benyttes som eksponeringsmål. Forklaringen er naturligvis at bilførere tilbakelegger mye større avstander per time (ca. 45 km) enn hva fotgjengere gjør (ca. 5 km).

Slike beregninger basert på offisielle skadetall blir imidlertid litt misvisende når en sammenligner mellom trafikantgrupper fordi underrapporteringen av ulykker er svært forskjellig. Eneulykker på sykkel, som er de vanligste ulykkestypen for syklister, kommer bare unntaksvis med i den offisielle statistikken.

Oslo universitetssykehus/Oslo legevakt (OUS) har imidlertid registrert systematisk alle skader blant syklister som kom til behandling i 2014. Beregninger av risiko for

syklister basert på disse data og på offisielle ulykkesdata SSB-data fra Oslo, er vist i figur S2.



Figur S2. Antall skadde syklister i trafikulykker i Oslo per million personkilometer og per 100 000 timer i trafikk. Skadetall fra 2014 hentet fra SSB og OUS. Eksponeringsdata er hentet fra RVU 2013/2014.

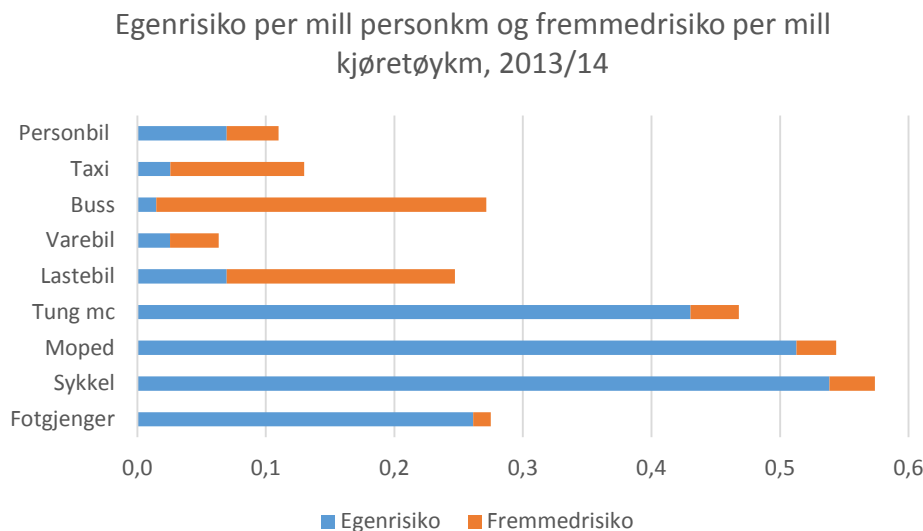
Når vi benytter sykehusregistrerte syklistskader blir skaderisikoen omtrent ti ganger så høy som når vi benytter offisielle skadetall fra SSB.

Risikoen per kilometer for bilførere er beregnet til 0,08 i figur S.1. Et vanlig anslag på underrapportering av skader på bilførere er 50 %, så for å sammenligne sykehusbaserte risikotall for syklister med tilsvarende tall for bilister, kan vi anslå den «reelle» risikoen for bilister til å være  $0,08 \times 2$ , dvs. 0,16. Det betyr at risikoen for å bli skadet blant syklister i Oslo, er om lag 50 ganger så høy som for bilister målt per personkilometer ( $8/0,16$ ), og 16 ganger så høy målt per tidsenhet i trafikk ( $11,16/0,72$ ).

## Egenrisiko, fremmedrisiko og totalrisiko

Foran har vi vist beregninger av forskjellige trafikantgruppers risiko for å bli skadet i trafikken. Dette kan betegnes som «egenrisiko». Men mange transportmidler påfører andre trafikanter risiko som ikke fanges opp i egenrisikoen. I hvilken grad andre trafikanter skades på grunn av en trafikantgruppes aktivitet kan betegnes som «fremmedrisiko». For å få et bilde av hvor farlig ulike trafikantgrupper er, bør vi ha informasjon både om egenrisiko og fremmedrisiko som samlet sett kan betegnes som «totalrisikoen» til en trafikantgruppe. Det er ikke alltid opplagt hva som bør inngå i fremmedrisikoen og heller ikke opplagt hva som er det mest korrekte

eksponeringsmålet. I figur S3 er egenrisiko beregnet som antall skadde per personkilometer og fremmedrisikoen som antall skadde (andre) per kjøretøykilometer.



Figur S3. Egenrisiko og fremmedrisiko målt som antall drepte eller skadde per millioner personkilometer (egenrisiko) og per millioner kjøretøykilometer (fremmedrisiko). Skadetall fra SSB 2013 og 2014 og eksponeringstall fra RVU 2013/14 og fra TØIs statistikk over transportytelser i Norge. Gjennomsnitt 2013/2014.

Det er særlig tunge kjøretøy og kjøretøy som i stor grad kjører i byområder som har størst fremmedrisiko, noe som er naturlig både fordi store kjøretøy har stor masse og dermed utgjør en fare for mange andre trafikanter, og fordi myke trafikanter som er mest sårbare, i størst grad beveger seg i byområder.

## Konsekvenser av å overføre trafikk fra bil til sykkel

Det er et mål at trafikkveksten i byene skal skje gjennom mer sykling, gåing og bruk av kollektive transportmidler. Med såpass store forskjeller i risiko mellom sykkel (og gange) og bil, betyr dette at en slik politikk vil kunne føre til mange flere trafikkskader.

Vi har gjennomført en beregning av effekten på trafikkskader og på generell folkehelse av at 1000 bilister i Oslo går over til bruke sykkel. Beregningene tar hensyn til den såkalte «safety in numbers»-effekten, dvs. at ulykkene normalt ikke øker proporsjonalt med en trafikkøkning. Vi har også tatt hensyn til underreporteringen av skader på syklister og brukt skadetall fra OUS, samt et anslag på 50 % underreportering av skader blant bilister. Vi har også tatt hensyn til at færre biler fører til at syklistene påføres noe mindre risiko fra biltrafikken. Endelig har vi forsøksvis tatt hensyn til folkehelseeffekten av økt mosjon på grunn av økt sykling.

Beregningene av skadekonsekvenser viser at en slik overføring fra bil til sykkel vil gi en forventet årlig økning på 10 skadetilfeller. Men helsegevinstene av den økte mosjonen som dette innebærer er mye større enn skadekonsekvensene om man benytter etablerte økonomiske verdsettinger av helse og skader. Våre beregninger gir

en nyttekostnadsbrøk på 6, noe som indikerer at helsegevinsten av økt sykling er seks ganger så høy som tapene knyttet til syklistskadene.

Disse beregningene er usikre og basert på en rekke forutsetninger som kan diskuteres. Men de viser tydelig at en overføring til sykkel samlet sett har er gunstige helseeffekter, noe som er i tråd med tidligere norske og utenlandske beregninger.

## Konklusjon

Drøftingen av eksponering og risiko viser at det ikke er helt opplagt hva som er mest korrekt å benytte av ulike eksponerings- og risikomål. Vi har argumentert for at i en viss forstand er det et kontinuum fra eksponering til ulykker og at man bør velge et eksponeringsmål som er rimelig dekkende for den aktiviteten man ønsker å vurdere risikoen i, men samtidig bør eksponeringsmålet ikke være ensbetydende med utfallet.

Et viktig utgangspunkt for dette prosjektet er målsettingen om at økt trafikk i byer og tettsteder i fremtiden skal skje gjennom mer gåing, sykling og bruk av kollektivtransport. Utgangspunktet for at folk reiser er som regel at det er en avstand som må tilbakelegges, man må for eksempel komme seg fra hjemmet til arbeidsplassen. I et slikt perspektiv blir tid et lite meningsfullt eksponeringsmål; man kan ikke bytte ut en bilreise på 20 minutter med en sykkelreise på 20 minutter. Det skal sies at man på sikt vil kunne gjøre tilpasninger slik at man ikke vil sykle like langt i fremtiden som man i dag kjører bil, gitt en overgang fra bil til sykkel. Man vil trolig i større grad handle i nærområder, bosette seg nærmere arbeidsplassen osv. Likevel, når problemstillingen er å erstatte bil med andre transportmidler, er det visse reiser som må erstattes, og dermed er avstand et mer treffende eksponeringsmål enn tid.

En viktig innsikt når det gjelder risiko for gående og syklende i trafikk er at risikoen for å bli skadet bør vurderes opp mot gevinsten av økt mosjon. Dette er etter hvert blitt en meget stor diskusjon i trafikksikkerhetsforskningen, og de fleste studier viser at den gunstige mosjonseffekten mer enn oppveier de negative effektene av sykling. Våre beregninger viser også en slik gunstig effekt, også når vi benytter sykehusrapporterte skadetall.

Det kanskje viktigste bidraget til å gi en mer fruktbar forståelse av risiko og eksponering for gående og syklende fra dette prosjektet er muligens dokumentasjonen av at det absolutt største ulykkesproblemet for syklistene (og trolig for fotgjengere) ikke er kollisjoner med motorkjøretøy, men eneulykker. Når 70-80 % av sykkelskadene skjer uten at det er noen bil til stede, blir naturlig nok oppmerksomheten rettet mot infrastruktur, og vedlikehold av sykkelveier og –felt. At et av de aller viktigste sikkerhetstiltakene for syklistene er å fjerne sand og grus fra veibanen om våren, er neppe noe man tidligere regnet med. Trolig er også fotgjengeres skader på samme måte i de aller fleste tilfeller fallulykker uten at motorkjøretøy er involvert. Konsekvensen av slike innsikter for trafikksikkerhetsarbeidet er at tiltak knyttet til utforming og vedlikehold av infrastruktur som sykkelanlegg, fortau, gang- og sykkelveier blir enda viktigere enn det de oppfattes som i dag.

For fotgjengere og syklistene er det dermed ikke endringer i forståelsen av eksponering som vil være mest fruktbart og utslagsgivende for trafikksikkerhetsarbeidet; det er endringer i rapporteringen av skader med bedre forståelse av hvilke risikofaktorer som forekommer hyppigst og som skaper flest ulykker og skader.



---

**Summary:**

# Alternative understandings of risk and exposure

TØI Report 1449/2015

Authors: Torkel Bjørnskau, Rikke Ingebrigtsen

Oslo 2015, 52 pages Norwegian language

---

*The report discusses alternative ways to understand risk and exposure in traffic safety research. Both the theoretical foundations underpinning risk calculations and different measures of exposure are presented. The report argues that although the number of events that could result in an accident is the best exposure measure theoretically, we must ensure that our choice of exposure event does not "control away" factors accounting for important differences in accident risk. On this basis we suggest that one should choose a measure of exposure that captures traffic participation, but which is not very strongly correlated with accidents. Similarly we argue that when comparing risk between groups we should be careful not to control for all confounding risk factors influencing these differences. The report compares estimates of risk with time and distance as a measure of exposure and concludes that the traditional measure of exposure - distance - is often preferable, especially if one wants to calculate the effects of transferring traffic between modes of transport.*

## Background and purpose

The Norwegian Public Roads Administration (NPRA) wanted to investigate alternatives to normal conceptions of risk and exposure in road safety research, as a way to improve and increase understanding of risk calculations for pedestrians and cyclists.

In Norway there is a political ambition to achieve future urban traffic growth through cycling, walking and use of public transport. It is of great interest to learn more about what this will mean in terms of injuries to cyclists and pedestrians. To be able to say something about the health consequences of a modal transfer from driving to cycling and walking requires both an assessment of the theory on risk and exposure and the relative findings on risk and exposure for each road user group.

The report discusses various aspects of the concept of risk and different measures of exposure that has been proposed and applied. It presents examples of calculations of risk using various measures of exposure, along with a numerical example of the impact that the transfer from car to bike will have in Oslo, in terms of both the number of injuries and general public health effects .

## Risk estimation and accident modeling in traffic

It is said that most accidents happen at home. This is probably true, but it does not necessarily follow that the home is the most dangerous place to be. This is because it is insufficient to simply investigate the number of accidents when assessing how dangerous an activity is. Instead, some form of probability must be estimated, e.g. the empirical probability of the event A is calculated as the number of actual (un)favorable outcomes of A divided by the total number of possible outcomes.

Thus the probability of having an accident at home is the number of actual accidents divided by the number of possible accidents. In road safety research, the probability of a traffic accident is similarly the number of actual traffic accidents divided by the number of possible accidents.

The number of accidents is (in principle) possible to count, but how can you define and measure the possible accidents? This problem has been addressed using a measure of *exposure* that says something about how exposed one is to situations or events that could lead to accidents. In road safety research "risk" is generally the probability of an accident, injury or death of a given activity or "exposure".

Instead of calculating risk estimates, one can model accidents as the result of a number of risk factors included as explanatory variables in addition to one or more measure of exposure in a model. Such modeling has become widely used, the advantage being that one can estimate and control for the effects of a number of factors alongside each other simultaneously. Instead of calculating risk figures for men and women in various age groups, accident modeling can include gender and age as explanatory variables and provide estimates on how they affect the likelihood of accidents.

There are however many methodological challenges involved in such modeling, in terms of choice of model and variables, and interpretation of the estimates. The advantage of using risk estimation, i.e. to calculate risk for different groups of road users, roads, vehicles, etc., is that such estimates are easy to understand and interpret, and in many cases can be interpreted intuitively and directly. For example, we might find that motorcycle riders statistically are ten times more at risk than drivers of passenger cars, in terms of fatalities per kilometer driven. The instinctive interpretation of this is that it is "ten times as dangerous" to drive a motorcycle compared to a car.

## **Selection of measure of exposure**

There is a big discussion in road safety research about what measures of exposure should be chosen in risk calculations. From early on, contributors pointed out that exposure measures should be consistent with probability theory, i.e. exposure should capture "trials" or "possible accidents". In practice, this has often been difficult to do, and indications of traffic, such as the number of vehicles, annual daily traffic, vehicle kilometers and passenger kilometers, are often the preferred exposure measures.

In recent years researchers have had high hopes of getting better exposure data by utilizing so-called "big data" based on automatic detection of travel activity. In particular, logging travels using people's smart phones has huge potential. Such logging can both occur automatically when using the phone's position indications (Google) and by using customized mobile applications that can also differentiate between type of activity (walking, cycling, motorized transport). One drawback is that such applications generally detect only the distance, time and position - not the characteristics of the road user. There may also be challenges in determining the type of transport used. So far, we are not aware of examples where "big data" have been used to calculate the exposure data in risk estimations.

## **What is currently used?**

Elvik (2015b) has summarized a number of studies where different measures of exposure have been used and identifies three main types of exposure:

- Activity based (kilometers, ADT)
- Event based (potential conflicts, give-way situations, road user encounters)
- Behavioural based (time spent in traffic)

These types of data are often not available, in which case one is forced to use rougher estimates of traffic scope, such as the number of inhabitants and the number of driving licenses. In international comparisons in particular, such rougher estimates of exposure are often the only data available.

## **What should be used?**

Based on the foundations of probability theory, it is quite clear that it is the number of "trials" that may have an accident as outcome that is the most appropriate exposure metric for calculating risk. In practice this refers to various forms of event-based exposure, for example the number of times a pedestrian enters a pedestrian crossing or the number of times a motorist encounters another on a road.

But even if such a measure of exposure is most correct theoretically, it does not necessarily follow that it is the most informative. For example, say we wanted to calculate risk on two roads, where the one (A) has a lot of traffic in both directions (many encounters) and the other (B) has a greater amount of traffic in one direction or traffic alternating between directions (few encounters). There will be many more "trials" or "opportunities for accidents" on stretch A. If we calculate the risk of accidents per million encounters, the two routes may come out with the same risk. However, if we calculate risk of accidents compared to ADT, stretch A is likely to have the higher risk.

Which calculation method should we then choose? It's not obvious. It could be argued that when we use the number of encounters, we "control" for a risk factor (traffic distribution) that contributes crucially to why stretch A has more accidents than stretch B. In one sense it may therefore seem more reasonable to conclude that the risk is higher on stretch A because the traffic composition provides more encounters that could lead to accidents. But when we use the number of encounters as a measure of exposure we can get the result that the stretch of road with the most encounters has the lower risk, even if more accidents occur there.

Some scholars have argued that the unit of time should be used, either as a supplement or in place of different distance measure such as vehicle kilometers or passenger-kilometers. It is obvious that if we are to compare very different activities, such as risks in traffic with risk in completely different areas, time is often the only possible exposure metric available. When comparing risks in traffic involving different modes of transport, distance will be the most relevant exposure measure for the individual. This is also the most relevant exposure metric for evaluating the implications of moving traffic between modes of transport. As a measure of exposure, distance more in line with underlying probability theory than time, since time may continue to run without any movements or events happening that may have accident outcomes.

## **Selection of accident data**

Most risk calculations in traffic are based on official accident figures. The official Norwegian statistics on road traffic accidents cover traffic accidents occurring on public or private roads, streets or spaces that are open to general traffic. They are based on police reports of road traffic accidents. All traffic accidents involving significant personal injury should be reported to the police. For an accident to be registered as a traffic accident, at least one vehicle must have been involved. A pedestrian injury from a fall on the sidewalk is therefore not a traffic accident. Single accidents on bicycles are however regarded as traffic accidents.

It is well documented that far from all traffic injuries are reported to the police. This "under-reporting" of traffic injuries varies widely between types of accidents and types of road users. Bicycle accidents (single accidents) are reported far less to the police than other traffic accidents are. This means that when using official injury figures for calculating risk in traffic, bicycle risks are usually underestimated.

The official accident data are therefore supplemented with hospital based injury figures where possible. Hospital based injury figures capture multiple injuries, not least bicycle injuries. Such data are, however, not readily available in Norway, unlike in Sweden, which has coordinated police-reported and hospital-reported traffic injuries. In some contexts insurance-reported claims and self-reported accidents and injuries (questionnaire) are also used to calculate risk.

Accidents happen relatively rarely and so-called near-accidents or conflicts, i.e. give-way situations where one or the other road user has to make a sudden brake or turn, have therefore been widely used as a "proxy" for accidents in risk calculations.

## **Continuum from exposure to outcome**

The relationship between exposure and accidents can be seen as a continuum of "events" and "outcomes" in which events at one level are related to outcomes on the next level. Thus near-accidents or conflicts, can be seen as possible outcomes of give-way situations and accidents can be seen as possible outcomes of conflicts; sometimes one can manage to stop in time, sometimes not.

Most of the candidate measures we can use in order to assess exposure can be understood as measuring the "outcome" of a previous "incident." A population can for example have two types of residents, those who participate in traffic and those who do not. Traffic can be seen as events that may have as outcome that you encounter other road users or not. Encounters can have as outcome that you collide or not. Collisions may lead to personal injury or not, and personal injuries may result in death or not.

Calculations of risk based on the extremes of this "outcome-event" scale will be fairly meaningless. Population figures are for example not necessarily a good indication of possible traffic accidents. On the other hand, one can question the usefulness of calculating risk with metrics located very close to each other on the scale, such as the number of accidents per conflict. The number of conflicts can be seen as a good indication of the risk of accidents, but risk expressed as accidents per conflict is rather uninformative. The reason for this is that when we use the number of conflicts as exposure, we "control away" factors that create important differences in risk between the two intersections.

We must therefore be pragmatic when selecting an informative measure of exposure in traffic. It must capture traffic participation, but at the same time it should not be too closely correlated with and thus a proxy for the accident. In other words for risk calculations to make sense and be fruitful, we should not control for all possible confounding factors through our choice of exposure measure.

## Traditional and alternative risk calculations

Based on official injury figures from Statistics Norway (SSB) and exposure data from the nationwide travel survey (RVU) in Norway in 2013/14, we have calculated traditional risk figures per million person kilometers and alternative risk figures with time as a measure of exposure. The results are shown in Figure S1.

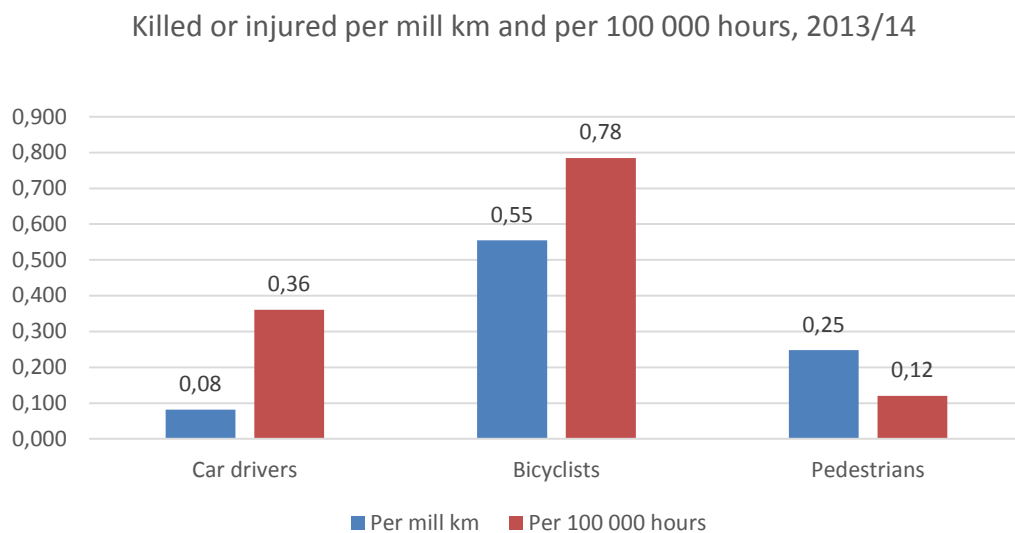


Figure S1. Number of killed or injured car drivers, bicyclists and pedestrians in traffic accidents in Norway per million person kilometers and per 100 000 hours of traffic. Injury figures from 2013 and 2014 (means). Exposure data is taken from The National Travel Survey 2013/2014.

When kilometers traveled is used as a measure of exposure, drivers have very much lower risk than cyclists and pedestrians. Cyclists have about seven times as high risk as drivers while the risk of pedestrians is ca. three times as high as that of drivers. When we use time in traffic we get a different picture. Cyclists still have higher risk than car drivers, ca. twice as high, while pedestrians have lower risk than motorists when time is used as a measure of exposure. The explanation is of course that motorists drive a much greater distances per hour (about 45 km) than the normal walking distance per hour (about 5 km). Such calculations based on official injury figures are however slightly misleading when comparing different groups of road users because under-reporting of accidents is very different. Single accidents on bicycles, which are the most common accident type for cyclists, are rarely included in official statistics.

Oslo University Hospital has registered systematically all injuries among cyclists who came for treatment in 2014. Based on these data and the official accident data from Oslo, traditional and alternative risk figures have been estimated using exposure data calculated on the basis of the nationwide travel survey in Norway 2013/2014. Risk is

calculated as the number of officially registered injured cyclists and the number of hospital treated injuries per million person kilometers and per 100 000 hours. The results are shown in Figure S2.

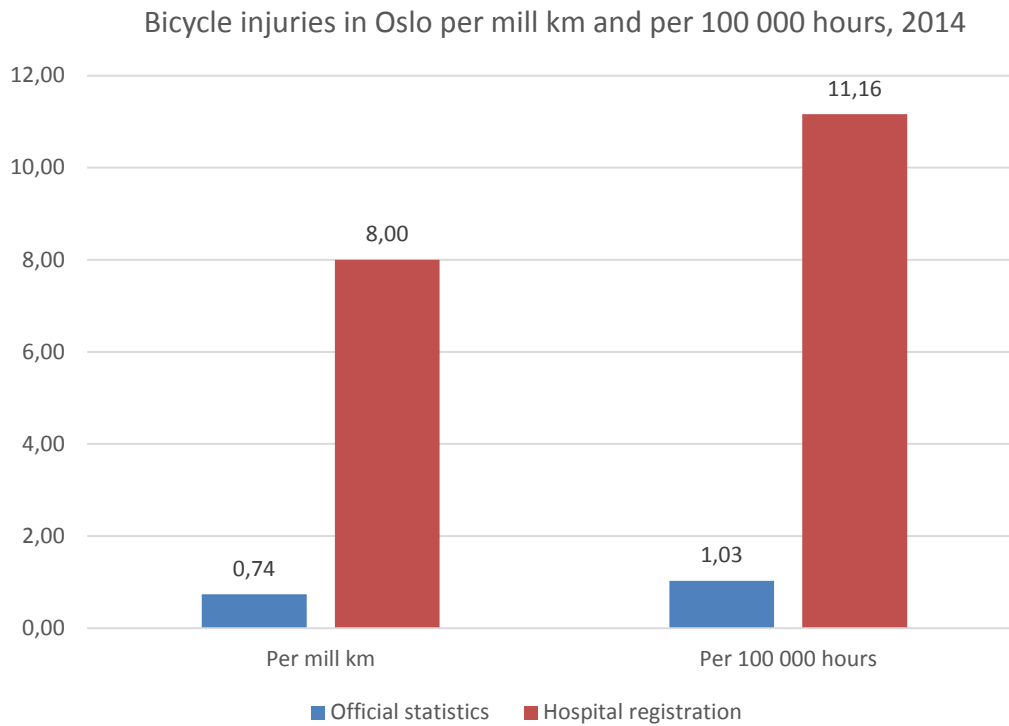


Figure S2. Number of injured cyclists in traffic accidents in Oslo per million person kilometers and per 100 000 hours of traffic. Injury figures from 2014 taken from Statistics Norway and Oslo University Hospital. Exposure data is taken from The National Travel Survey 2013/2014.

When we use hospital registry cyclist injuries the injury rates for cyclists is approximately ten times as high as when we use official injury figures from Statistics Norway. The risk per kilometer for motorists is estimated at 0.08 in Figure S1. A common estimate of underreporting of injuries to drivers is 50 %, so to compare hospitals based risk figures for cyclists with the corresponding figure for motorists, we can estimate the "real" risk for motorists to be  $0.08 \times 2$ , i.e. 0.16. This means that the risk of injury among cyclists in Oslo, is about 50 times as high as for motorists when the exposure measure is person kilometers ( $8 / 0.16$ ), and 16 times as high as when the exposure measure is per unit time in traffic ( $11.16 / 0.72$ ).

## Own risk, foreign risk and total risk

In the section above we have shown calculations for different road user groups at risk of being injured in traffic. These are calculations of the road user's "own risk" in traffic. But many transport modes inflict risk to other road users, which can be termed "foreign risk." To get a full picture of how dangerous different road user groups are, we should have information about both their own risk and their foreign risk. The sum of these risks may be described as "total risk" to a group of road user. It's not always obvious which accidents should be included in the foreign risk nor what is the most correct exposure metric in the calculation of foreign risks. In Figure

S3 own risk is calculated as the number of injuries per person (passenger) kilometer and foreign risk as the number of injured (others) per vehicle kilometer.

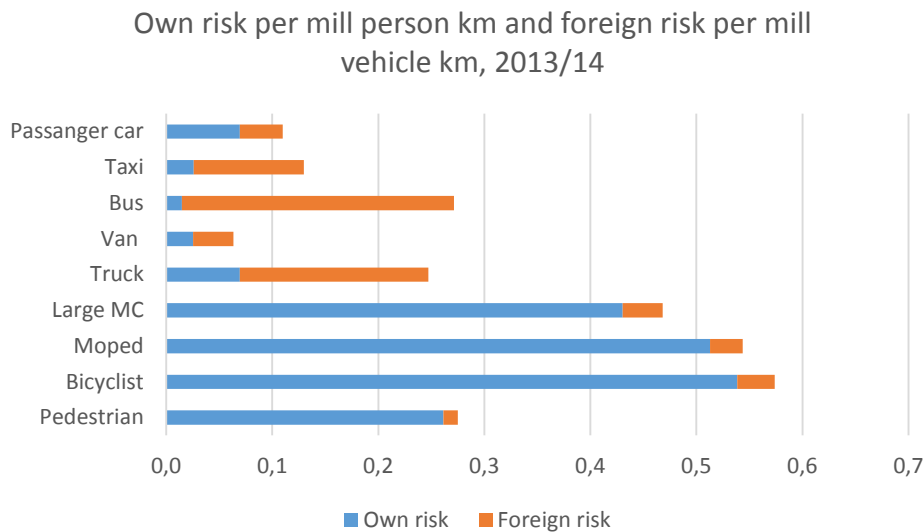


Figure S3. Own Risk and foreign risk, measured as the number of killed or injured per million person (passenger) kilometers (own risk) and per million vehicle kilometers (foreign risk). Injury figures from Statistics Norway in 2013 and 2014 exposure figures from The National Travel Survey 2013/2014 and from TOI statistics on transport performances in Norway. Average 2013/2014.

It is particularly heavy vehicles and vehicles that drive a lot in urban areas that have the greatest foreign risk. This is to be expected both because large vehicles have large mass and thus pose a danger to other road users, and because pedestrians and cyclists who are the most vulnerable road users, most frequently travel in urban areas.

## Consequences of transferring traffic from car to bicycle

It is a political aim that traffic growth in urban areas will be achieved through more cycling, walking and using public transport. With such large differences in risk between cycling (and walking) and car, this means that such a policy could lead to many more traffic injuries.

We carried out a calculation of the impact on traffic injuries and the general health if 1,000 motorists in Oslo switch to the bicycle. The calculations take into account the so-called "safety in numbers" effect, i.e. that accidents do not increase proportionally with an increase in traffic. We take into account under-reporting of injuries by using bicycle injury figures from Oslo University Hospital, and estimate the reporting rate for injuries among motorists as 50%. We have also taken into account that fewer cars reduce the risks that bicyclists face from motor traffic. Finally, we have attempted to account for the public health impact of increased exercise because of increased cycling.

The calculations of injury consequences show that such a transfer from car to bicycle will give an expected annual increase of 10 injury cases in Oslo. But the health benefits gained by cycling are much larger than the damage to health resulting from injuries in traffic, according to established economic valuations of health and injuries.

Our calculations provide a cost-benefit ratio for a modal switch of 6, indicating that the health benefits of increased cycling are six times higher than the losses associated with cyclist injuries. These estimates are uncertain and based on a number of assumptions that can be discussed. But they clearly show that a transfer to the bicycle will have overall favorable effects on health. This is in line with previous Norwegian and foreign studies.

## **Conclusion**

The report argues that there is no clear answer to what is the most appropriate use of different metrics of exposure and risk. We have argued that in some sense there is a continuum from exposure to accidents, and one should choose a measure of exposure which while reasonably close to the activity one wishes to assess the risk of, is not synonymous with the outcome.

This project was stimulated partly by the aim to achieve traffic growth in urban areas through walking, cycling and public transit. Most people travel to cover the distance from A to B. In this respect, time is not a very meaningful measure of exposure; one cannot replace a car journey to work lasting 20 minutes with a bicycle journey of 20 minutes. Over the longer term people may adjust and reduce their travel distances. Yet, when the problem is to replace the car with other means of transport certain journeys must be replaced, and thus distance is a more apt measure of exposure than time.

When assessing risk for pedestrians and cyclists, the risk of being harmed should be assessed against the benefits of increased exercise. Most studies show that the beneficial effect of exercise far outweighs the negative effects of cycling. Our calculations also show such beneficial effect, even when we use hospital reported injury figures.

Perhaps the most important contribution to providing a more fruitful understanding of risk and exposure for pedestrians and cyclists from this project is the fact that the absolute greatest accident problem for cyclists (and probably for pedestrians) are not collisions with motor vehicles, but single-vehicle accidents. Since 70-80 % of bicycle injuries result from single-vehicle accidents, the safety focus should be more on infrastructure and maintenance of bicycle paths and lanes.

That one of the most important safety measures for cyclists is to remove sand and gravel from the road surface, is hardly something one previously anticipated. Most pedestrian injuries are probably also single accidents, i.e. falls without vehicles being involved. The consequence of such insights for road safety work is that measures relating to the design and maintenance of infrastructure such as bike facilities, sidewalks, pedestrian and cycle paths become even more important.

Consequently, any changes in the understanding of exposure when assessing the traffic risks faced by pedestrians and cyclists will not be decisive in road safety work. The most important finding is that a better and more comprehensive registration of their accidents will provide a better understanding of risk factors that occur most frequently and are of greatest importance for accidents and injuries.



# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn og formål

I trafikksikkerhetsforskningen og i det anvendte arbeidet for å bedre trafikksikkerheten har man tradisjonelt beregnet risiko som antall ulykker, drepte eller skadde per kilometer tilbakelagt i trafikk, dvs. enten personkilometer (personkm) eller kjøretøykilometer (kjøretøykm). Slike beregninger viser at risikoen ved å gå eller å sykle er mye høyere enn risikoen ved å kjøre bil (Bjørnskau, 2011). Om man i stedet beregner risikoen for å bli skadet som antall skadde per tidsenhet i trafikk, blir risikoforskjellene mellom bil, sykkel og gange meget små, og det er ikke lenger opplagt at det er farligere å gå eller sykle enn å kjøre bil.

Statens vegvesen ønsker å få mer inngående kunnskap om risikoen for gående og syklende i trafikken. Det er et politisk mål at all trafikkvekst i byer og tettsteder skal skje i form av økt bruk av sykkel, gange og kollektivtransport. Det er derfor svært viktig å ha god kunnskap om risikoen involvert ved slike transportformer, blant annet for å kunne legge til rette for slik transport og sette inn adekvate tiltak slik at den økte gang- og sykkeltrafikken i minst mulig grad skal føre til flere ulykker og skader.

Prosjektets formål er å besvare seks problemstillinger som er formulert som følger i tilbudsbeskrivelsen fra Statens vegvesen:

1. Kan det være andre måter å forstå risiko på enn det vi har i dagens trafikksikkerhetsforskning som kan være mer fruktbart for trafikksikkerhetsarbeidet for gående og syklende?
2. Er det andre måter å forstå eksponering på enn antall kjøretøykilometer som kan være mer fruktbart for trafikksikkerhetsarbeidet for gående og syklende?
3. Kan det være fruktbart å trekke inn kontekstbegrepet i forståelse av eksponering og risiko?
4. Hva vil eventuelt være fruktbart for trafikksikkerhetsarbeidet for gående og syklende ved å ha en annen forståelse av risiko og eksponering enn vi har i dag?
5. Er det land som bruker en annen forståelse av risiko og eksponering enn det vi gjør? Hva er eventuelt fordelene eller ulempene ved den måten de gjør det på?
6. Hvilke datasett er nødvendige for å gjøre slike analyser? Har vi slike datasett tilgjengelige for norske forhold?

Alle de seks problemstillingene vil bli behandlet i rapporten. Rapportens disposisjon følger er imidlertid ikke denne listen. Vi har valgt å disponere rapporten som følger. I kapittel 2 presenteres kort definisjoner av risiko og en beskrivelse av det sannsynlighetsteoretiske grunnlaget for risikoberegninger. I kapittel 3 beskrives en del av de mest sentrale bidragene i forskningslitteraturen når det gjelder eksponering og risiko. I kapittel 4 følger en presentasjon og diskusjon av anvendelser i trafikk. Her presenteres både hvordan risiko anvendes i dag, og mulige alternative og fremtidige anvendelser. I kapittel 5 drøftes disse ulike eksponerings- og risikomålene. I kapittel 6 viser vi eksempler på beregninger av risiko med tradisjonelle og alternative mål og

metoder, basert på eksponeringsdata fra Reisevaneundersøkelsen 2013/14, ulykkestall fra SSB 2013/14 og registrerte sykkelskader ved Oslo universitetssykehus i 2014. I kapittel 7 følger et konkret eksempel på hva konsekvensene vil kunne bli ved å overføre trafikk fra bil til sykkel. Her gjennomføres regneeksempler med data fra Oslo. Endelig i kapittel 8 følger så en oppsummering og diskusjon av resultatene i lys av de seks problemstillingene som Statens vegvesen har ønsket å få belyst.

## **1.2 Hvorfor trenger vi risikotall?**

Det sies at de fleste ulykker skjer i hjemmet. Det er trolig riktig, men det betyr naturligvis ikke at hjemmet er det farligste stedet vi oppholder oss. Dette viser hvorfor det er utilstrekkelig å bare undersøke omfanget av ulykker når vi skal vurdere hvor farlig en aktivitet eller et opphold er.

Det er flere grunner til at det er viktig å ha kunnskap om risiko i trafikken. For det første er det viktig i myndighetenes arbeid for å redusere antallet drepte og skadde i trafikken. Den absolutte effekten av trafikksikkerhetstiltak (i form av sparte ulykker eller skader) vil generelt være større dersom tiltakene rettes mot grupper som har høy risiko framfor mot grupper med lav risiko.

For det andre er kunnskap om risiko viktig for å vurdere effekten av ulike samferdselspolitiske virkemidler. Fordeler og ulemper ved å overføre trafikk mellom ulike transportmidler vil blant annet avhenge av risikoen ved å reise med de ulike transportmidlene, noe som vil bli illustrert i kapittel 7 i denne rapporten.

For det tredje er risikotall helt sentrale i trafikksikkerhetsforskningen. De fleste evalueringer av trafikksikkerhetstiltak vil vurdere effekten av et tiltak ut fra om og hvor mye tiltaket reduserer risikoen for ulykke eller skade.

Endelig er risikotall nødvendige for å kunne sammenligne sikkerheten mellom aktiviteter, mellom transportgrener og mellom geografiske områder.

## 2 Sannsynlighetsteoretisk grunnlag

### 2.1 Hva er risiko?

Risiko defineres gjerne som **risiko = sannsynlighet × konsekvens** (for en uønsket hendelse). Det vil si at en hendelse med lav sannsynlighet, men stor konsekvens, har større risiko enn en hendelse med samme sannsynlighet og mindre konsekvens. Hvis to hendelser har samme konsekvens, har hendelsen med lavest sannsynlighet lavest risiko. En sannsynlighet er et tall mellom null og én, og tolkes ofte som relativ frekvens i det lange løp. Tallfesting av konsekvenser kan gjøres ved å vurdere for eksempel økonomiske tap, men i sikkerhetsforskningen er det først og fremst tap av liv eller helse som er den relevante konsekvensen.

Risiko kan imidlertid defineres på ulike måter (Haight, 1986). I trafikksikkerhetsforskningen brukes som regel ”risiko” som sannsynlighet for en ulykke, skade eller død ved en gitt aktivitet eller ”eksponering”. Vanlige risikomål i trafikksikkerhetsforskningen er for eksempel antall ulykker eller antall skadde dividert på tilbakelagt distanse. Risikotall viser dermed hvor farlig en aktivitet er, eller hvor utsatte ulike grupper er for å bli skadet eller drept. Det er på denne måten begrepet vanligvis brukes i norsk og internasjonal trafikksikkerhetsforskning (Bjørnskau, 2011).

For å estimere sannsynligheter kan man beregne empirisk sannsynlighet. Den empiriske sannsynligheten for hendelsen A beregnes som antall gunstige utfall for A/totalt antall utfall. Direkte oversatt til trafikksikkerhetsfeltet blir sannsynligheten for en ulykke antall ulykker delt på antall mulige ulykker. Antall ulykker er (i prinsippet) mulig å telle, men hvordan kan man telle antall mulige ulykker? Her støter man på utfordringer både når det gjelder å definere hva som er en mulig ulykke og hvordan samle inn gode data. Som et mål på antall mulige ulykker er det derfor vanlig å bruke et eksponeringsmål som sier noe om hvor utsatt/eksponert man er for situasjoner eller hendelser som kan føre til ulykker.

Mulige eksponeringsmål er ulike tall på trafikkomfang, som for eksempel årsdøgntrafikk (ÅDT), kjøretøykilometer, personkilometer og persontimer. Det som tradisjonelt brukes er kilometer tilbakelagt i trafikk (personkm eller kjøretøykm), som for eksempel kan estimeres basert på reisevaneundersøkelser. Alternativt kan en bruke befolkningstall, antall kjøretøy eller antall førerkort. Å finne eksponeringsmål som best mulig reflekterer den reelle eksponeringen er sentralt for å kunne estimere faktisk risiko.

### 2.2 Sannsynlighetsteori og mulige modeller

Sannsynlighetsteorien omhandler situasjoner der utfallet er tilfeldig. Slike situasjoner kalles gjerne tilfeldige eksperimenter. Begrepet «sannsynlighet» henger altså sammen med utførelsen av et eksperiment (helt konkret eller i mer overført betydning) der vi på forhånd ikke med sikkerhet kan si hva utfallet vil bli. Det klassiske

lærebokeksempelen er terningkast. Hadde vi hatt en perfekt beskrivelse av alt som påvirker kastet, som kraft påført av hånden, vinkel, luftmotstand, osv. ville vi kunnet fastslå utfallet av eksperimentet. Vi har ikke en slik perfekt beskrivelse av virkeligheten, men vi vet at utfallet av kastet må bli et tall mellom én og seks. Alle mulige utfall av et eksperiment kalles i sannsynlighetsteorien for utfallsrommet, og er en mengde  $U$  bestående av elementer  $u$  som representerer alle de mulige utfallene. I terningkastforsøket er  $U = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ . Et utfallsrom kan være endelig tellbart, som i terningkasteksempelen, eller uendelig tellbart hvis det ikke er naturlig å sette en øvre grense, for eksempel antall trafikkulykker i løpet av et år, der  $U = \{0, 1, 2, \dots\}$ . Utfallsrommet kan også være hele tallinjen, intervaller av tallinjen eller mer komplekse og abstrakte utfallsrom.

En hendelse  $A$  er en delmengde av utfallsrommet. For eksempel er hendelsen minst 4 på terningen  $A = \{4, 5, 6\}$ . Kolmogorovs sannsynlighetsaksiomer definerer sannsynlighet som en mengdefunksjon  $P$  med egenskapene

1.  $P(A) \geq 0$ , for alle  $A \subset U$ ,
2.  $P(U) = 1$ ,
3.  $P(A_1 \cup A_2 \cup \dots) = \sum_i P(A_i)$  for disjunkte (ikke overlappende) hendelser.

Altså er sannsynligheten for en hendelse alltid positiv, sannsynligheten for hele utfallsrommet er én og sannsynligheten for at to eller flere hendelser inntreffer er summen av sannsynlighetene for hver enkelt av dem (gitt at de ikke overlapper).

I stedet for hendelser, er det vanlig å benytte tilfeldige variabler. En tilfeldig variabel er en funksjon fra utfallsrommet  $U$  til de reelle tallene. La  $X$  betegne en tilfeldig variabel og  $x$  betegne verdiene  $X$  kan ha. Som et enkelt eksempel kan vi la  $X$  være antall øyne på terningen. Hvis vi kan anta at vi har en balansert terning er det naturlig å si at hvert utfall av terningkastet like trolig vil inntreffe. Da vil  $P(X = x) = \frac{1}{6}$  for  $x = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ . Dette kalles en uniform sannsynlighetsmodell, der hvert element i utfallsrommet er like sannsynlig. Det finnes mange forskjellige sannsynlighetsmodeller som beskriver ulike tilfeldige forsøk.

Å resonnerer seg fram til utfallsrommet og sannsynligheter i terningkasteksempelen er rett fram, men det er ikke alle situasjoner der det er like opplagt hva verken forsøket eller utfallsrommet er. Sannsynlighetsteorien danner likevel grunnlaget for risikoanalysen og den danner grunnlaget for statistisk analyse. Helt sentralt er at sannsynlighetsteori er et rammeverk for å beskrive usikkerhet. Før vi ser på ulike tilnærminger til trafikkulykkesdata, vil vi kort forklare noen viktige begreper fra sannsynlighetsteorien.

En skiller gjerne mellom diskrete og kontinuerlige tilfeldige variabler, der forskjellen ligger i hvilke verdier variabelen kan ta. Tilhørende en tilfeldig variabel er en (kumulativ) sannsynlighetsfordeling  $F(x) = P(X \leq x)$  og en punktsannsynlighet  $p(x) = P(X = x)$  (tetthet i det kontinuerlige tilfellet). Forventningsverdien  $E(X)$  er et vektet gjennomsnitt der vektene er sannsynligheter. En forventningsverdi sier noe om tyngdepunktet i sannsynlighetsfordelingen og ved de store talls lov vil gjennomsnittet av en rekke observasjoner nærme seg forventningsverdien når antallet øker. Varians  $Var(X)$  er et mål på spredning rundt forventningsverdien. Standardavviket er kvadratroten av variansen og brukes gjerne framfor varians fordi skalaen er den samme som for observasjonene. Sannsynligheten for en hendelse gitt at en annen hendelse har inntruffet kalles betinget sannsynlighet. Notasjonen som

brukes er  $P(A|B)$ , som betyr sannsynligheten for A gitt B. Betingede sannsynlighetsfordelinger er viktige byggesteiner i komplekse modeller. To hendelser er uavhengige hvis sannsynligheten for at begge inntreffer er produktet av sannsynlighetene for hver enkelt av dem. Da er  $P(A|B) = P(A)$ , altså vil informasjonen om at B har inntruffet ikke endre sannsynligheten for A når hendelsene er uavhengige. I virkeligheten studerer man ofte flere enn én variabel og da bruker man simultanfordelinger.

## 2.2.1 Ulike tilnærminger til ulykkesdata

Flere sannsynlighetsfordelinger kan beskrive ulykkesdata. Noen eksempler er:

### *Bernoulli fordeling*

På mikronivå kan man tenke seg at forut for en ulykke har det vært en farlig situasjon (et «forsøk») som enten kunne resultere i kollisjon eller ikke. Sannsynligheten for en ulykke er  $p$ , og den tilfeldige variabelen  $X$  tar verdien 1 hvis ulykke, og 0 hvis ikke ulykke. Da følger det at  $P(X = 1) = p$  og  $P(X = 0) = 1 - p$ . Denne sannsynlighetsfordelingen kalles Bernoulli-fordelingen.

### *Binomisk fordeling*

Anta at «ulykkesforsøket» gjentas  $n$  ganger med samme sannsynlighet  $p$  for ulykke i hvert forsøk. Forsøkene antas å være uavhengige. La  $X$  være antall ulykker, da er

$P(X = x) = \binom{n}{x} p^x (1 - p)^{n-x}$ ,  $x = 0, 1, 2, \dots, n$ . Dette er den binomiske fordelingen. Summen av  $n$  uavhengige Bernoulli variabler er binomisk fordelt.

### *Negativ binomisk fordeling*

Anta nå at «ulykkesforsøket» gjentas til det har skjedd  $r$  ulykker og at variabelen  $X$  betegner antall forsøk. Da er

$P(X = x) = \binom{x-1}{r-1} p^r (1-p)^{x-r}$ ,  $x = 0, 1, 2, \dots$ . Dette kalles en negativ binomisk fordeling.

### *Poisson fordeling*

Poisson fordelingen kan brukes som en tilnærming til den binomiske fordelingen når  $n$  går mot uendelig og  $p$  går mot null slik at  $np = \mu$ . Da er  $P(X = x) = \frac{\mu^x}{x!} e^{-\mu}$ ,  $x = 0, 1, 2, \dots$ . Parameteren  $\mu$  kalles en intensitetsparameter. For en Poisson fordelt variabel er  $E(X) = Var(X) = \mu$ . Merk at parameteren  $\mu$  representerer forventet antall hendelser, og den defineres gjerne som en rate, f.eks. ulykker per 100 000 km per år.

Alternativt oppstår Poisson fordelingen ved å definere en stokastisk prosess. La  $N(t)$  være en telleprosess der  $t \geq 0$  er tid og  $N(t)$  er antall hendelser fram til tidspunkt  $t$ .

Anta at

1.  $N(0) = 0$ .
2. Antall hendelser i intervaller som ikke overlapper er uavhengige: For  $s < t$  er  $N(s)$  og  $N(t) - N(s)$  uavhengige.

3. Antall hendelser i et tidsintervall er bare avhengig av lengden på intervallet:  $N(s)$  og  $N(t + s) - N(t)$  har samme fordeling.

Sannsynligheten for en hendelse er proporsjonal med lengden på intervallet, for små intervaller.

4. Sannsynligheten for simultane hendelser er null.

Under disse antakelsene er  $N(t)$  Poisson fordelt med parameter  $\mu = \lambda t$  og  $\{N(t), t \geq 0\}$  er en Poisson-prosess med rate  $\lambda$  (Casella & Berger, 2002). For en inhomogen Poisson prosess er raten en funksjon av tid  $\lambda(t)$ . En Poisson-prosess kan også defineres i rommet (to eller tre dimensjoner, eller rom-tid).

## 2.2.2 Statistisk modellering

Som nevnt har risiko i trafikk blitt beregnet i mange studier, både i Norge og internasjonalt. Og dette gjøres ved å dividere et utfallsmål (ulykke) på et eksponeringsmål, dvs. på et mål som best mulig skal fange opp ideen om «antall mulige ulykker».

Et alternativ til å beregne slike risikostørrelser er å modellere ulykker som et utfall der en rekke risikofaktorer inngår som forklaringsvariabler i tillegg til ett eller flere eksponeringsmål i en modell. Slik modellering er etter hvert svært mye brukt, og fordelene er at man kan estimere effekter av en rekke forhold samtidig og kontrollert for hverandre. I stedet for å beregne risikotall for menn og kvinner i ulike aldersgrupper, vil man i en slik type modellering inkludere kjønn og alder som forklaringsvariabler og få ut estimater på hvordan de påvirker sannsynligheten for uhell.

Ved slik type modellering er det avgjørende hvilken sannsynlighetsmodell man benytter. I avsnittet over er det beskrevet ulike sannsynlighetsmodeller ved hjelp av parametre, for eksempel ulykkessannsynlighet  $p$  eller ulykkesrate  $\lambda$ . Disse parameterne er ikke kjente og må i en ulykkesmodell estimeres på bakgrunn av data. Det er to ulike tilnærminger til dette: frekventistisk eller Bayesiansk.

Med en frekventistisk tilnærming antar man at parameterne er ukjente, men fikserte størrelser, og man vil kort fortalt finne verdiene som stemmer best overens med de observerte dataene. Med en Bayesiansk tilnærming antar man at parameterne er tilfeldige variabler med sannsynlighetsfordelinger, det vil si at de har usikkerhet. Før vi har sett dataene spesifiseres en «apriorifordeling» for de ukjente parameterne. Denne fordelingen beskriver våre antakelser eller forkunnskap. Apriorifordelingen oppdateres til en «posteriorifordeling» basert på de observerte dataene via Bayes' teorem. Hvis apriorifordelingen estimeres på bakgrunn av data bruker man det som kalles en empirisk Bayes metode.

For å kunne modellere ulykker i en statistisk analyse må man ha tilgang til data, dvs. observasjoner av en rekke ulike variabler. Mye av utfordringen ligger i å velge hvilke variabler som skal inkluderes i en modell. Det er for eksempel en rekke ulike faktorer som kan knyttes til en trafikkulykke. Faktorer knyttet til bilføreren kan for eksempel være personlige egenskaper som syn, hørsel, alder, risikovillighet, kjøreferdighet, erfaring og våkenhet. Faktorer knyttet til bilen kan være teknisk tilstand, alder, vedlikehold eller distraksjonsmomenter for bilfører som andre passasjerer og teknisk utstyr som radio, GPS eller telefon. Ytre faktorer vil også påvirke utfallet: andre trafikanter, både biler og myke trafikanter, egenskaper ved veibanen som kurver eller veidekke, sikt, lysforhold og værforhold. Det er altså en rekke variabler det er mulig å

inkludere, noen er lette å måle (f.eks. alder på bil eller fører) og andre vanskeligere å måle (f.eks. våkenhet). Men ukritisk å inkludere alle tenkelige variabler gir ikke nødvendigvis økt forståelse, dessuten er en klassisk regresjonstype modell ikke endelig bestemt hvis antall forklaringsvariabler er større enn antall observasjoner. Dette kan løses med ulike former for regularisering (for eksempel ridge eller LASSO regresjon) eller ved å inkludere a priori informasjon (faglig forkunnskap) gjennom en Bayesiansk tilnærming. Forståelse for hva man modellerer er uansett sentralt, og det er viktig at man kritisk tenker gjennom hvilke variabler som er mest relevante. Dette må også veies opp mot hva som rent praktisk er mulig å inkludere

Det er viktig å bestemme seg for hva som er hensikten med en modell. Hvis det er å tolke ulike effekter er det viktig å ha en modell med identifiserbare parametere. Hvis målet er å gjøre prediksjoner er det kanskje ikke like viktig hva estimatene blir, men det er vesentlig at modellen har gode «out-of-sample» egenskaper. Statistisk modellering kan si noe om hvilken modell som passer best til dataene og samvariasjon mellom variabler, men klassiske modeller sier ikke noe om årsak-virkning eller «sannheten». De senere årene har det vært en utvikling av metoder for kausal inferens og grafiske modeller, noe som kan bringe oss nærmere å avdekke årsakssammenhenger.

Det er en meget stor forskningslitteratur om ulykkesmodellering i internasjonal trafikksikkerhetsforskning. Også norske forskere har bidratt aktivt her (Fridstrøm, 2015; Fridstrøm, Ifver, Ingebrigtsen, Kulmala, & Thomsen, 1995; Fridstrøm & Ingebrigtsen, 1991).

Under følger noen modellrammeverk som kan passe til ulykkesmodellering.

### **Generaliserte lineære modeller**

Denne type modeller er en form for generalisert regresjonsanalyse der observasjonene knyttes til ulike forklaringsvariabler. En generalisert lineær modell (GLM) består av følgende komponenter:

1. Observasjoner  $Y_1, Y_2, \dots, Y_N$  som antas å være uavhengige og komme fra eksponentialfamilien av fordelinger.
2. Lineær prediktor  $\eta_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_p x_{ip}$ , der  $\beta$ -ene er parametere og  $x$ -ene er forklaringsvariabler.
3. En link-funksjon  $g$  slik at  $E(Y_i) = g^{-1}(\eta_i)$ .

Denne modellklassen ble introdusert av Nelder & Wedderburn (1972) og har mange anvendelser. Observasjonene kan antas å følge ulike fordelinger, som for eksempel Gaussisk, eksponential, Poisson, Bernoulli og binomisk. Det vil si at observasjonene, eller responsvariabelen, kan være diskret eller kontinuerlig.

I denne modellklassen inngår Poisson regresjon og negativ binomial regresjon som er blant de mest benyttete modellene innen trafikksikkerhetsforskningen.

### **Levetidsanalyse**

I levetidsanalyse brukes modeller for å studere tid til en hendelse. Slike modeller er mye brukt innen medisinsk forskning der en følger individer over tid og registrerer når ulike hendelser, som sykdom eller død, inntreffer. Levetidsdata inneholder gjerne en del manglende data, enten fordi individer trekker seg fra studien, eller at studien er ferdig før det har skjedd en hendelse. Dette kalles sensurerte observasjoner og

levetidsmodeller håndterer slike data. En mye brukt modell er Cox regresjon. Et eksempel på hvordan denne typen modeller kan brukes innen trafikksikkerhetsfeltet kan være å følge en gruppe trafikanter over tid og registrere når de er involvert i farlige hendelser (ev. ulykker). Eller man kan observere når ulykker inntreffer på en bestemt veistrekning. Her kan det være potensial for å lære noe om de veiene der det ikke skjer ulykker.

### **Bayesianske hierarkiske modeller**

Bayesianske hierarkiske modeller er en veldig generell og fleksibel modellklasse, se for eksempel Gelman et al. (2014). Kort fortalt struktureres modellen som et hierarki med sub-modeller for:

1. observasjonene,
2. den underliggende prosessen,
3. modellparameterne.

Dette gir en form for splitt-og-hersk tilnærming til problemet der man kan definere komplekse modellstrukturer ved hjelp av mindre byggesteiner. I en Bayesiansk hierarkisk modell er disse byggesteinene betingede sannsynlighetsfordelinger. Alle variabler, inkludert parameterne, har usikkerhet, og ved hjelp av Bayes teorem beregnes en sannsynlighetsfordeling for parameterne og prosessen gitt observasjonene. Denne fordelingen kalles en aposteriori-fordeling og all statistisk inferens (estimering og prediksjon) er basert på denne fordelingen. Mange av de statistiske modellene som er i bruk kan formuleres som en hierarkisk modell. Ofte må man ty til Markov-chain Monte Carlo simuleringer for å finne aposteriori-fordelingen, noe som har gjort terskelen for å bruke Bayesianske modeller høy. Men nå finnes programvare tilgjengelig og Bayesianske metoder ser ut til å vinne terreng.

En fordel med denne typen modeller er at de gir et rammeverk for å integrere ulike datakilder. Dette kan være relevant for å estimere eksponering og risiko i trafikken, der man har data fra f.eks. bensinforbruk, reisevaneundersøkelser og trafikkregistreringer.

### **Punktprosesser**

Det kan argumenteres for at ulykkesdata er en form for «presence-only» data. Vi observerer kun lokasjonene der det har gått galt, ikke alle stedene det ikke skjedde en ulykke. Inhomogene Poisson punkt prosesser blir gjerne brukt innen økologi for å modellere romlig fordeling av en art innen et geografisk område. En slik modell kan tenkes å beskrive romlig fordeling av trafikkulykker. En kompliserende faktor for trafikkulykker er at disse skjer på veinettet, noe som betyr at det ikke er rimelig å bruke euklidske avstander. Yamada & Thill (2007) presenterer metoder for å analysere punktprosesser på veinettverk.

## **2.3 Risikoestimering versus ulykkesmodellering**

Ulykkesmodellering har den fordelen framfor risikoestimering at man kan inkludere en rekke faktorer i en og samme modell og få ut bidraget til hver enkelt faktor, kontrollert for betydningen av andre forhold. Man kan for eksempel forsøke å modellere utviklingen i antall drepte i trafikken i Norge over en viss periode og inkludere eksponeringsmål (antall kjøretøy eller antall kjøretøykilometer osv.)



sammen med kjente risikofaktorer som andelen som ikke bruker bilbelter, andelen unge uerfarne bilførere, fartsnivå, promillekjøring osv. I prinsippet vil man da få ut et estimat på hvor mye hver av disse risikofaktorene øker sannsynligheten for å omkomme i trafikken.

Det er imidlertid en rekke metodeutfordringer knyttet til slik modellering (Elvik, 2015a). Det gjelder spørsmålet om hvor sterkt de ulike faktorene er korrelert, om de er korrelert med seg selv fra en periode til neste (autokorrelasjon) osv. I mange tilfeller vil det også oppstå et problem ved at antall enheter er begrenset (år) noe som begrenser hvor mange uavhengige variabler man kan ta inn. Generelt er det også et problem at effektene av de ulike variablene som inngår i modellen avhenger av hvilke andre variabler som er med, og valget av variabler er i mange tilfeller bestemt ut fra hva som er tilgjengelig. Det betyr at effektene som framkommer vil kunne variere mye både i retning og størrelse avhengig av hvilke andre variabler som er inkludert.

Parallelt med slike problemer er det også etter hvert skjedd en utvikling i form av stadig mer avanserte former for modellering som dessverre har som konsekvens at det i mange tilfeller er omtrent umulig å forstå hvordan de ulike effektestimater oppstår. Mulighetene for å tilpasse valg av variabler og modellform er store, noe som gir store muligheter for å velge ut modeller som gir «ønsket» svar. Et problem kan være «overfitting», at man estimerer en modell som passer veldig godt til det aktuelle datasettet, men som ville blitt veldig annerledes med andre data. Da fanger man ikke lenger opp de underliggende mekanismene, men snarere den tilfeldige variasjonen. Hensikten med statistisk modellering er å skille «signal» fra «støy», og et viktig prinsipp er at enkle modeller er å foretrekke framfor kompliserte med mindre den kompliserte modellen er signifikant bedre. Her kan ulike goodness-of-fit mål, modellseleksjonskriterier eller kryssvalidering brukes. Det er alltid viktig å validere en statistisk modell. Det er også viktig å fokusere på usikkerheten i effektestimater, ikke kun på effektene.

Fordelen med å benytte risikoestimering, dvs. å beregne risiko for ulike grupper av trafikanter, veier, kjøretøy osv. er at slike estimater er enkle å forstå og etterprøve, og de gir i mange tilfeller en intuitiv og direkte tolkning. Man kan for eksempel finne at motorsyklister statistisk sett har 10 ganger så høy risiko som bilister, målt i antall drepte per kjørt kilometer (Bjørnskau, 2011). Dette kan tolkes som at det er ti ganger så farlig å kjøre motorsykel som å kjøre bil.

Men, selv om risikoestimering er enklere og mer intuitivt forståelig enn ulykkesmodellering, er det mange både dels filosofiske og praktiske hensyn som man må være klar over og ta hensyn til når man velger eksponerings- og risikomål for å beregne risiko. Slike spørsmål blir drøftet i kapittel 4 etter en gjennomgang av anvendelser i trafikk med en presentasjon av vanlige eksponerings- og risikomål (kapittel 3).

## 3 Anvendelser i trafikk

### 3.1 Sentrale bidrag

Eksponering og risiko har vært drøftet i trafikk sikkerhetsforskningen i lang tid (Chapman, 1973; Chipman, MacGregor, Smiley, & Lee-Gosselin, 1992; Haight, 1986; Hakkert & Braimaister, 2002; Hauer, 1982; Howarth, 1982; Risk & Shaoul, 1982; Vaaje, 1982; Wolfe, 1982).

Vanparijs et al. (2015) har gått gjennom 20 studier av syklisters risiko der ulike typer eksponeringsmål er benyttet. De viser blant annet til Howarth (1982) og konkluderer med at eksponeringsdata er nødvendig for å vurdere hvor ulykkesutsatt syklister er, og for å kunne sammenligne mellom grupper og steder. Det vanligste eksponeringsmålet i dette utvalget av studier er avstand (12 stk.) og tid (11 stk.). Vanparijs et al. (2015) argumenterer for at metoden til Mindell et al. (2012) er hensiktsmessig for å måle eksponering. Denne metoden går ut på å regne om avstand til tid og deretter beregne risiko som antall ulykker eller skader per tidsenhet.

Allerede mange tidlige bidrag, som for eksempel Chapman (1973), var opptatt av at eksponeringsmålene skulle være mest mulig i overensstemmelse med det sannsynlighetsteoretiske grunnlaget, dvs. at eksponering skulle fange opp «forsøk» eller «mulige ulykker». Chapman foreslo at trafikkonflikter (nestenulykker) kunne være et godt mål på eksponering. Dette er et slikt eksempel på et eksponeringsmål som ligger nær «mulige ulykker» og dermed nær den en kan kalle en hendelsesbasert definisjon av eksponering (Elvik, 2015b). Også Browns (1981) definisjon av ulykkespotensialet i kryss som konfliktpunkter mellom trafikkstrømmer gjennom krysset, ligger nær en slik forståelse av eksponering (Elvik, 2015b). En slik type eksponeringsmål har også vært benyttet i norske studier av risiko i kryss (Johannessen & Heir, 1974; Phillips, Bjørnskau, Hagman, & Sagberg, 2011).

Risk & Shaoul (1982) er også en del av denne tradisjonen siden de argumenterer for at avstandsmål, som kjøretøykm, ikke tilfredsstiller forutsetningen om at eksponering i sannsynlighetsteoretisk forstand skal være hendelser der ulykke er ett mulig utfall. Wolfe (1982) derimot, argumenterer for at kjøretøykilometer kan være et godt mål på eksponering. EU-prosjektet «SafetyNet» gikk gjennom og vurderte en rekke eksponeringsmål både på teoretisk og praktisk grunnlag (Yannis et al., 2005). De konkluderer med at avstand i form av personkilometer eller kjøretøykilometer bør være det foretrukne eksponeringsmålet, men at man ofte mangler slike data og må bruke ulike «proxy» som antall kjøretøy, antall bilførere osv. i stedet. I norsk trafikk sikkerhetsforskning har avstand tradisjonelt vært det foretrukne eksponeringsmålet (Bjørnskau, 2009, 2011; Elvik, Høye, Vaa, & Sørensen, 2009). Også i internasjonale sammenligninger av risiko i veitrafikken er det avstand som foretrekkes som eksponeringsmål (IRTAD, 2015).

Mens Chapman (1973) som nevnt betrakter konflikter som et mål på eksponering, argumenterer imidlertid Hauer (1982) at konflikter snarere bør betraktes som et «utfall», dvs. som et alternativt mål for ulykke. Dette er interessant og en diskusjon vi kommer tilbake til i drøftingen i kapittel 5.

Hauer (1995) argumenterer for at tradisjonelle beregninger av risiko som ulykker dividert på et eksponeringsmål, som regel gir ukorrekte estimater fordi når eksponeringen endrer seg, endrer også andre forhold seg. Et eksempel som kan illustrere Hauer's poeng er at når syklingen i et område øker fra periode t1 til periode t2, så henger det ofte sammen med at infrastrukturen er blitt bedre. Dermed er ikke risikobrøken i t1 nødvendigvis sammenlignbar med tilsvarende brøk i t2. Hauer (1995) argumenterer for at i mange sammenhenger er det ikke noe poeng å beregne risiko, dvs. å inkludere et eksponeringsmål. For avgjøre hvor trafiksikkerhetstiltak bør settes inn er det ifølge Hauer (1995) ofte tilstrekkelig å ha data over ulykker og skader.

Elvik (2015b) oppsummerer en rekke studier der ulike eksponeringsmål har vært benyttet og identifiserer tre hovedtyper av eksponering:

- Aktivitetsbasert (kilometer, ÅDT)
- Hendelsesbasert (potensielle konflikter, vikesituasjoner, møtesituasjoner)
- Atferdsbasert (tid tilbrakt i trafikk)

Elvik gjengir i tillegg noen originale varianter som «time spent following» som et mål på eksponering for påkjøring bakfra (Zhang, Ivan, & Ravishanker, 2008). Elvik (2015b) viser også til Paefgen et al. (2015) som anfører at kjøretøykilometer ikke er et homogent eksponeringsmål; avstand tilbakelagt i mørke innebærer en annen risiko enn avstand i dagslys osv. (Paefgen, Staake, & Fleisch, 2014).

Mange bidrag har vært opptatt av den ikke-lineære sammenhengen mellom eksponering og risiko (Elvik, Erke, & Christensen, 2009; Hakamies-Blomqvist, Raitanen, & O'Neill, 2002; Langford, Methorst, & Hakamies-Blomqvist, 2006; Persaud & Mucsi, 1995); når eksponeringen øker går risikoen ned. Slike sammenhenger er funnet i en rekke studier, og det har vært anført at i og med at det er slik, er ikke tilbakelagt distanse et godt eksponeringsmål.

Beslektet med slike innvendinger er også argumentet om at avstand bør suppleres eller erstattes med tid som eksponeringsmål for å gi mest mulig korrekte risikoestimater (Chipman et al., 1992; Guler, Grembek, & Ragland, 2013; Mindell et al., 2012; Santamariña-Rubio, Pérez, Olabarria, & Novoa, 2014; Vanparijs et al., 2015).

## 3.2 Eksponeringsdata som benyttes

### 3.2.1 Eksponeringsmål basert på indirekte trafikkdata

Man kan kanskje grovt skille mellom indirekte og direkte trafikkdata, der den siste typen er faktisk trafikk dvs. antall passerte biler, antall turer eller kilometer tilbakelagt eller tid tilbrakt i trafikk. Indirekte mål vil være slike som er en forutsetning for at trafikk skal forekomme, slik som veilengder, antall kjøretøy, antall førerkort e.l. Slike mål benyttes ofte når man ikke har direkte trafikkdata tilgjengelig. For eksempel er det mange ganger benyttet antall drepte eller skadde per førerkort for å beregne og sammenligne risiko for grupper av bilførere.

De vanligste eksponeringsmålene innenfor denne kategorien er antall innbyggere, antall kjøretøy, antall førerkort, veilengder og drivstoffsalg. Drivstoffsalg er blant annet benyttet av Fridstrøm (1999) og Cardoso (2005).

Befolkningstall er som regel tilgjengelig for ulike geografiske nivåer som land, fylke, kommune osv. Hvor mange mennesker som befinner seg i et geografisk område sier noe om hvor mange som kan bli utsatt for en ulykke eller en skade, og det er slik sett et grunnleggende eksponeringsmål. Fordi data er lett tilgjengelig og ofte pålitelige er det mye brukt i trafikksikkerhetsforskningen. IRTAD publiserer for eksempel risikotall basert på dette eksponeringsmålet. Ofte benyttes betegnelsen «helseisiko» om slike beregninger der en beregner antall drepte/skadde/ulykker per innbygger (i motsetning til «trafikkrisiko» eller «systemrisiko» der en beregner antall drepte/skadde/ulykker per ytelse (km/tid/ÅDT/)).

Befolkningstall er mye brukt, men slike tall sier svært lite om hvor mye folk transporterer seg eller er ute i trafikken. Man kan kanskje si at innbyggertall kan gi en noenlunde god indikasjon på hvor mye folk går, i hvert fall om man skal sammenligne land eller områder som har noenlunde like kjøretøytetthet (antall kjøretøy per innbygger). Innbyggertall sier derimot svært lite om hvor mye som kjøres og omfanget av trafikk. Særlig om man ønsker å sammenligne risiko for spesielle trafikantgrupper, som for eksempel førere på motorsykel, gir antall innbyggere lite mening som eksponeringsmål. Befolkning benyttes derfor som eksponeringsmål først og fremst når man mangler andre mål på eksponering som kan fange opp aktiviteten i trafikk. For å beregne risiko i trafikk er derfor et mål på trafikkomfang generelt sett et bedre eksponeringsmål enn folketall.

I en del studier benyttes case-control metodikk der en ikke har direkte eksponeringsdata men benytter andre mål. Såkalt «indusert eksponering» er en variant der en benytter ulykker som antas å være tilfeldig fordelt i en populasjon for å studere over- eller underhyppighet av en ulykke av en bestemt type. Et slikt eksempel er studier av hodeskader blant syklistene, der en har sammenlignet andelen hodeskader i forhold til totalt skader på armer og bein blant syklistene med og uten hjelm for å estimere effekten av sykkelhjelmer (Povey, Frith, & Graham, 1999; Walter, Olivier, Churches, & Grzebieta, 2011). En annen variant som blant annet Backer-Grøndahl og Sagberg (2011) har benyttet, er å studere om en antatt risikofaktor opptrer hyppigere blant bilførere med juridisk skyld i ulykker enn blant bilførere uten juridisk skyld. I begge tilfeller er skader på armer/bein og ulykker uten skyld antatt å være et tilfredsstillende erstatningsmål («proxy») for eksponering i trafikk.

Hovedutfordringen med denne typen tilnærminger er å sikre at «cases» og «controls» er like når det gjelder andre egenskaper enn den skadetyper/risikofaktoren man ønsker å estimere effekten av. Når man benytter antall skader på armer og bein som en proxy for eksponering for å finne effekt av hjelmbruk, antar man implisitt at syklistene med og uten hjelm har like stor risiko for å få slike skader. Det kan være en rimelig antakelse i noen samfunn, men i Norge er det ikke det. I Norge er sykkelhjelmer assosiert med en treningskultur kjennetegnet av mye utstyr og intens sykling med høy fart. Det er godt dokumentert at syklistene med hjelm har flere ulykker, og dermed også større risiko for å få skader på armer og bein. En case-control studie kan dermed i teorien finne klare effekter av sykkelhjelmer på sannsynligheten for hodeskade samtidig som risikoen målt som antall hodeskader per personkilometer kan være den samme for syklistene med og uten hjelm.

### 3.2.2 Eksponeringsmål basert på direkte trafikkdata

Data som sier noe om faktisk trafikkomfang er de eksponeringsmålene som man vanligvis foretrekker i trafikksikkerhetsforskningen. Grunnen er at dette oppfattes

som de mest valide målene for trafikkomfang, og dermed også de som er mest velegnet til å sammenligne risiko mellom grupper eller områder.

I hovedsak er det tre typer av slike eksponeringsmål: tid, avstand og antall turer. Alle tre benyttes, men som regel foretrekkes avstand. Antall turer sier ikke noe om omfanget av aktiviteten i trafikk og regnes derfor som regel som et mindre relevant mål enn tid og avstand. De vanligste avstandsmålene er personkilometer og kjøretøykilometer. En personkilometer er en kilometer som en trafikant (person) tilbakelegger; en kjøretøykilometer er tilsvarende en kilometer tilbakelagt av et kjøretøy. Dersom det er fem personer i en bil som kjører 100 kilometer, blir dette 100 kjøretøykilometer og 500 personkilometer.

Om man undersøker risikoen for ulykker med ulike kjøretøy, er kjøretøykilometer det naturlige eksponeringsmålet; om man ønsker å undersøke skaderisikoen for trafikantene (personene) er personkilometer det mest relevante målet. Tid benyttes også som timer/minutter i trafikk.

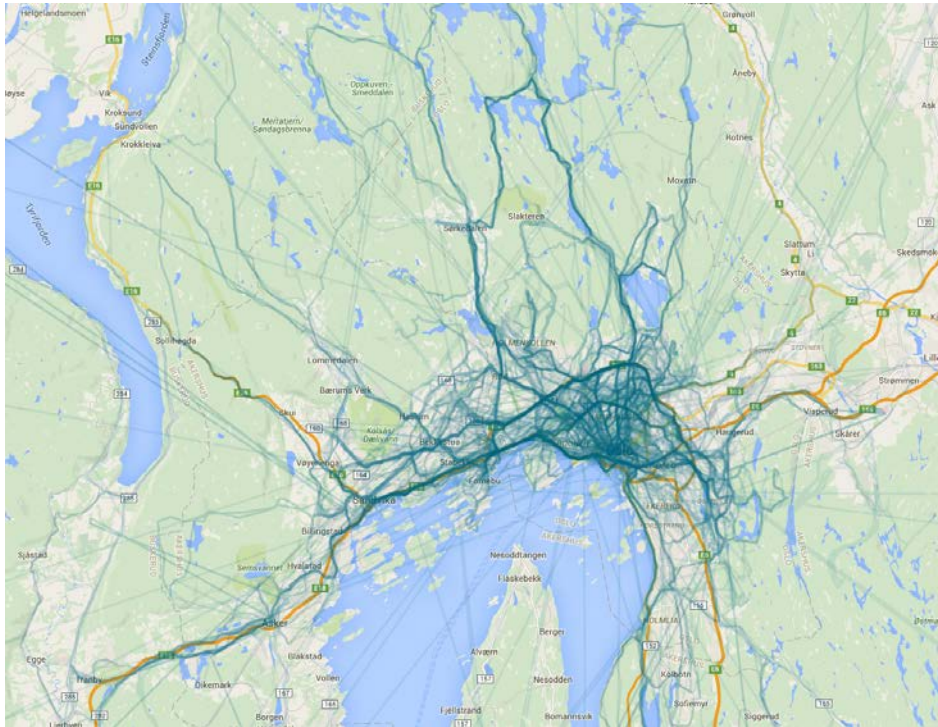
I tillegg til personkilometer og kjøretøykilometer benyttes også antall kjøretøy som passerer et bestemt punkt eller en strekning. Dette måles som regel i årsdøgntrafikk, dvs. hvor mange som passerer et punkt eller en strekning i løpet av et gjennomsnittsdøgn. Ulykker per ÅDT er et vanlig risikomål for veistrekninger og kryss.

### 3.2.3 Nye muligheter med «big data»

I de senere år har det vært knyttet meget store forhåpninger til å kunne få inn såkalte «big data» basert på automatisk registrering av reiseaktivitet. Dette har foregått i mange år når det for eksempel gjelder veitrafikk i form av bomstasjoner der alle passerende kjøretøy har blitt registrert. Det nye nå er mulighetene som etter hvert finnes i form av å logge reiser ved hjelp av folks smarttelefoner. Dette skjer både automatisk ved bruk av telefonens posisjonsangivelser (Google) og ved hjelp av skreddersydde mobilapper som også differensierer mellom type aktivitet (gange, sykling, motorisert transport). I tillegg finnes det registreringsenheter som er skreddersydd for ulike typer aktivitet (STRAVA, ENDOMONDO osv.).

Det er særlig mulighetene knyttet å beregne risiko i ulike geografiske områder og til dels i ulik infrastruktur som denne typen eksponeringsdata kan være velegnet for. En ulempe er at slike applikasjoner i utgangspunktet kun registrerer avstand, tid og posisjon – ikke kjennetegn ved trafikant. Det kan også være utfordringer knyttet til å avgjøre hva slags transportmiddel som benyttes.

I forbindelse med forskningsprosjektet «Uregistrert transport – mobilitet, sikkerhet og ny teknologi (UTMOST)», som TØI gjennomfører i Forskningsrådets program «TRANSIKK», ble ulike typer automatiske registreringsverktøy vurdert (Eide & Pultier, 2015). En slik type automatisk reiseregistrering «MOVES» ble testet ut blant syklister i Norge. I alt 5750 personer med sykkel registrert i Falck sykkelregister fikk tilsendt et spørreskjema om sykling der de også fikk tilbud om å prøve applikasjonen MOVES. I alt 215 deltok og registrerte reisene med MOVES over en periode på to uker. Dette ble gjennomført i juni, august, september og oktober 2015. I alt 6540 sykkelturer ble sporet. Figur 1 viser sykkelturene som ble registrert med MOVES i Osloområdet.

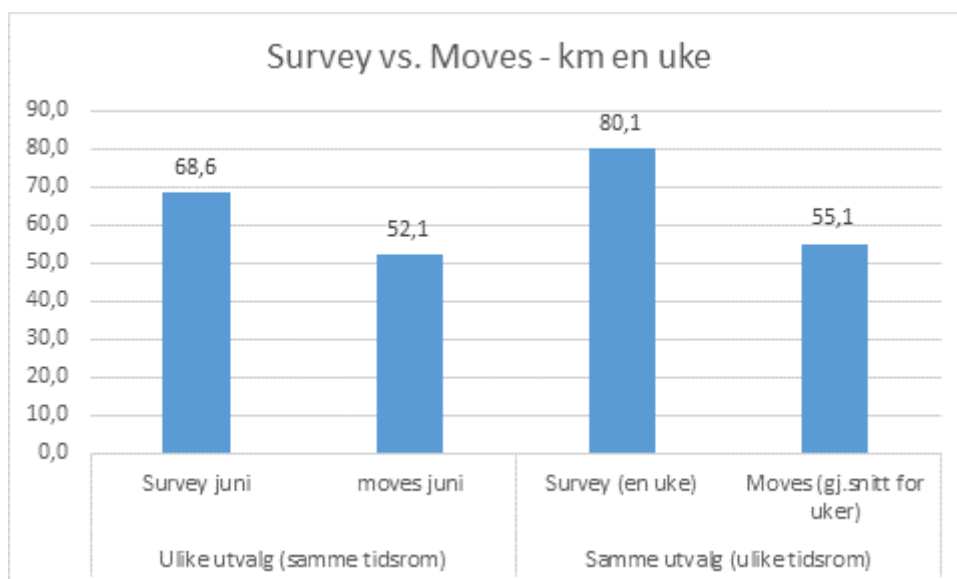


Figur 1 Sykkelturer registrert med MOVES i Osloområdet sommer og høst 2015.

MOVES har algoritmer som skal identifisere om man går, løper, sykler eller benytter motoriserte transportmidler. Men det har vist seg at en del sykkelturer er blitt feilregistrert. I tillegg er det andre unøyaktigheter knyttet til hvordan MOVES modellerer reiser gjennom for eksempel en by. Det er kun fra enkeltpunkter at MOVES henter inn data, og bevegelsene mellom punktene må estimeres.

Foreløpige sammenligninger mellom MOVES-data og data fra Reisevaneundersøkelsen (RVU) 2013/14 for Oslo viser at syklister som har registrert sykling med MOVES i snitt sykler 16 km per dag, mot 11 km per dag i snitt i RVU 2013/14 (Fyhri, 2015a). Dette er en betydelig forskjell, men det skyldes trolig at syklister som er rekruttert til MOVES er ivrigere enn gjennomsnittet. MOVES-syklister har også oppgitt hvor mye de sykler i spørreundersøkelsen, så det er mulig å sjekke om dette kan forklare den store forskjellen mellom MOVES og RVU.

MOVES-brukerne svarte på spørreskjemaet før de begynte å registrere sykkelturene sine med MOVES, så vi har ikke helt sammenlignbare data mellom hva MOVES registrerer og hva syklister rapporterer i spørreskjemaet. Men vi kan sammenligne hva alle respondentene svarer i gjennomsnitt i en periode, og hva MOVES-brukerne har registrert i samme periode.



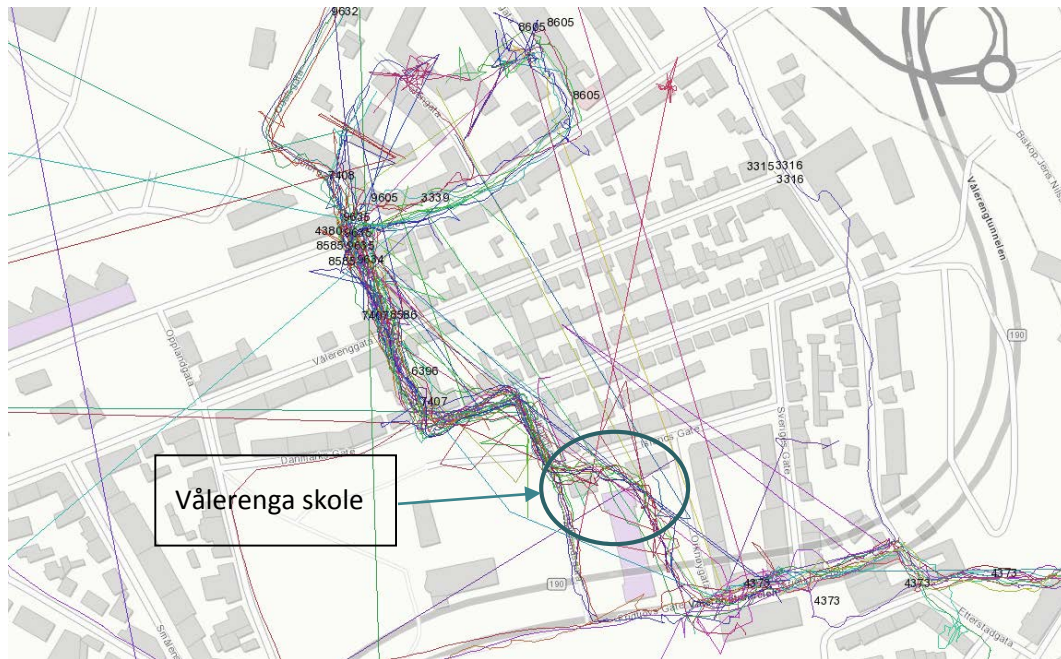
Figur 2 Omfanget av sykling registrert ved hjelp av spørreskjema (N=1711) og ved hjelp av mobil-appen «MOVES» (N=215). Gjennomsnitt per uke (km). Kilde: Sundfør (2015).

Figur 2 viser at syklisterne som har registrert syklingen med MOVES har mindre sykling per uke i gjennomsnitt enn det de oppgir for siste uke i spørreskjemaet, og MOVES har registrert mindre sykling blant MOVES-brukerne i gjennomsnitt per uke i juni enn gjennomsnittet per uke i juni blant alle som har svart på spørreskjemaet. I hvilken grad det betyr at folk overdriver syklingen sin i spørreskjemaet og i hvilken grad MOVES underregistrer syklingen, er vanskelig å avgjøre. Det kan godt tenkes begge deler.

I UTMOST-prosjektet er det også utviklet en egen applikasjon for mobiltelefon for barn - «Trafikkagenten». Formålet med dette er å få oversikt over hvilke strekninger og områder på skoleveien som skolebarn i Oslo opplever som utrygge gjennom at disse registreres med appen. Kommunen kan deretter undersøke nærmere steder som har fått mange treff, og eventuelt utbedre disse. I UTMOST er det dessuten et formål å kartlegge barnas eksponering som fotgjengere, både omfang og reiseruter.

Foreløpig er seks Osloskoler med, og per november 2015 kan det spores 609 turer med dette verktøyet. Figur 3 viser et kartutsnitt med sporingsdata fra Trafikkagenten blant skoleelever ved Vålerenga skole i Oslo.





Figur 3 Skolebarns reiseruter til og fra Vålerenga skole i Oslo, sporet med Trafikkagenten.

### 3.3 Ulykkesdata som benyttes

#### 3.3.1 Offisielle ulykkesdata

Den offisielle norske statistikken over veitrafikkulykker dekker trafikkulykker med personskade som har skjedd på offentlig eller privat vei, gate eller plass som er åpen for alminnelig trafikk. Grunnlaget for statistikken er rapporter om veitrafikkuhell som politiet fyller ut. Alle trafikkulykker som medfører personskade (som ikke er ubetydelig) skal rapporteres til politiet. For at en ulykke skal registreres som en trafikkulykke, må minst ett kjøretøy ha vært involvert. At en fotgjenger faller på fortauet og blir skadet regnes derfor ikke som en trafikkulykke. Eneulykker på sykkel regnes derimot som trafikkulykker.

I Norge finnes denne statistikken i to varianter. Statistisk sentralbyrå (SSB) publiserer den offisielle versjonen av statistikken på sine hjemmesider. I tillegg har Statens vegvesen en versjon – STRAKS – med noe mer detaljerte opplysninger om hver ulykke. Det er imidlertid de samme ulykkene som er registrert i SSB og STRAKS. Den offisielle statistikken inneholder en rekke opplysninger om hver ulykke noe som gjør det mulig å beregne risiko for kombinasjoner av trafikant/kjønn/alder mv. (Bjørnskau, 2011).

I internasjonale sammenligninger av risiko i veitrafikk er det som regel antall drepte eller antall dødsulykker som benyttes som ulykkesdata (IRTAD, 2015; Yannis et al., 2005). Grunnen til at skadedata i mindre grad brukes er at rapporteringsgraden varierer mye mellom land når det gjelder skader etter trafikkulykker.

#### 3.3.2 Skadedata fra sykehus/legevakt

Det er godt dokumentert at langt fra alle trafikkskader blir rapportert til politiet. Denne «underrapporteringen» av trafikkskader varierer mye mellom typer av ulykker og typer av trafikanter (Borger, Føsser, Ingebrigtsen, & Sætermo, 1995). Generelt er



eneulykker på sykkel den ulykkestypen som i minst grad blir rapportert til politiet. Det er estimert at skadetallene for syklistene i den offisielle ulykkesstatistikken må multipliseres med en faktor på 7 eller 8 for å gi et noenlunde korrekt anslag på det totale antallet sykkelskader i Norge (Bjørnskau, 2005). Som vi skal se i kapittel 6 er trolig dette anslaget noe for lavt fordi skader blant barn ikke inngikk i beregningene til Bjørnskau (2005).

På 1990-tallet ble det etablert et skaderegister i regi av Statens institutt for folkehelse – «Folkehelsa» basert på sykehusrapporterte skader i fire større norske byer: Drammen, Harstad, Stavanger og Trondheim. Både i beregningene av risiko basert på RVU 1991/92 (Bjørnskau 1993) og i beregningene basert på RVU 1997/98 (Bjørnskau 2000) ble det også beregnet risikotall basert på data fra dette skaderegisteret. Dette registeret er ikke lenger operativt.

Det er fra og med 2007 opprettet et nytt landsdekkende skaderegister basert på sykehusregistrerte skader, som en del av Norsk Pasientregister (NPR) (Helsedirektoratet, 2014b). Fra og med 2009 har alle sykehus og legevakter plikt til å rapportere inn skader til registeret, men det er fremdeles mangelfull rapportering. Ifølge Helsedirektoratet (2014) blir 38 % av de rapporteringspliktige skadetilfellene faktisk rapportert. I tillegg er det viktig å være klar over at skader som behandles i primærhelsetjenesten (fastlege) ikke rapporteres inn. Folkehelseinstituttet har anslått at om lag 540 000 mennesker skades i Norge hvert år, og at om lag halvparten (251 000) blir ferdigbehandlet i primærhelsetjenesten (Folkehelseinstituttet, 2014; Helsedirektoratet, 2014b).

I Oslo har det i 2014 vært gjennomført et eget prosjekt for å registrere sykkelskader i regi av Oslo universitetssykehus (OUS), Helsedirektoratet og Statens vegvesen. Alle syklistene som har kommet til behandling ved Legevakten eller ved traumemottak, er blitt registrert og har besvart et kort spørreskjema om kjennetegn ved turen/sykkelen og ulykken (Melhuus, Siverts, Enger, & Schmidt, 2015).

I Sverige har man inkludert politirapporterte og sykehusrapporterte trafikkskader i et felles register «STRADA». Dette gir gode analysemuligheter og er svært verdifullt for å få kunnskap om ulykker og skader blant myke trafikanter (Niska & Eriksson, 2014). I Nederland har man tidligere hatt koblinger mellom sykehusregistrerte trafikkskader og politirapporterte skader, men dette er ikke lenger operativt. I Tyskland har man et godt utbygd system for å registrere trafikkskader ved traumesentre, men dette er ikke nødvendigvis samordnet med politirapporterte trafikkskader.<sup>1</sup>

### 3.3.3 Forsikringsmeldte ulykker og skader

Forsikringselskapenes skaderegister TRAST inneholder forsikringsrapporterte trafikkskader fra de fire største forsikringselskapene i Norge: Gjensidige, If, Sparebank1 og TrygVesta. Disse selskapene dekker omtrent 95 % av bilbestanden i Norge. For å få landsrepresentative tall for materielle skader vektet de registrerte tallene opp med en faktor som tilsvarer bortfallet av skader som registreres i andre selskaper.

Trafikkskader er alle skader som meldes til selskapene og som omfattes av en ansvars- eller kaskoforsikring. I praksis betyr det at trafikkskadene omfatter alle veitrafikkulykker som meldes til forsikringselskapene. Den kategorien kjøretøy i

---

<sup>1</sup> Opplysninger fra Nederland og Tyskland kommer fra nederlandske og tyske FERSI-representanter og stammer fra et FERSI-møte i mars 2013.

TRAST-registeret som best samsvarer med bilreisene i RVU 2009 er trolig kategorien ”Personbil, varebil m.m. < 3,5 tonn”

Selv om TRAST-registeret kan antas å være landsrepresentativt, vil det være en viss skjevhet i hvilke skadetilfeller som blir registrert. Bare skader med kjent skadekommuene og skadetidspunkt er med i registeret, noe som innebærer at en del skadetilfeller dermed ikke er med. Det er også grunn til å tro at bileiere som har kaskoforsikring i større grad vil melde fra om selvforskyldte skader på egen bil enn bileiere som ikke har kaskoforsikret bilen. Det er gjennomgående relativt nye (og relativt dyre) biler som er kaskoforsikret, og disse vil derfor være overrepresenterte i TRAST-registeret.

### 3.3.4 Egenrapporterte ulykker og skader

Et vanlig mål på ulykker og skader er såkalt egenrapport, dvs. at ulike trafikanter oppgir om de har hatt ulykker og skader i løpet av en bestemt periode. Særlig når det gjelder sykkelskader har dette vært en viktig kilde i Norge i og med at underrapporteringen er særlig stor når det gjelder sykkel (Bjørnskau, 2005; Fyhri, Bjørnskau, & Sørensen, 2012).

Sammenligninger av egenrapporterte sykkelskader i Norge med STRADA-registrerte skader i Sverige viser en stor grad av overensstemmelse, noe som tyder på at egenrapporterte skader er nokså pålitelige, i hvert fall når det gjelder type ulykke/skade. Også sammenligninger mellom registreringene ved OUS i 2014 og egenrapporterer viser god overensstemmelse (Bjørnskau, 2005; Fyhri et al., 2012; Melhuus et al., 2015).

### 3.3.5 Konflikter som proxy for ulykker

Ulykker skjer sjelden, og det fører til at det i praksis ofte er meget vanskelig, eller umulig å beregne risiko på den konvensjonelle måten. En vanlig problemstilling er at vi ønsker å finne ut om en type kryssutforming er sikrere enn en annen. Dersom vi skal beregne risiko på den konvensjonelle måten, dvs. antall ulykker per passeringer i krysset, kryssets ÅDT, vil vi som regel måtte ha registreringsperioder på mange år for å få tilstrekkelig med data for at slike beregninger skal la seg gjøre. Det skjer rett og slett for få ulykker.

Av den grunn ble det på 1970- og 1980-tallet utviklet såkalte konfliktteknikker – dvs. teknikker som studerte «nesten-ulykker» eller «konflikter» som utfallsmål i stedet for faktiske ulykker. Slike teknikker ble utviklet både i Sverige (Hydén, 1987) og i Nederland (Kraay & van der Horst, 1985). Etter hvert som man har kunnet ta i bruk stadig mer avansert automatisk observasjonsteknologi (video), samtidig som ulykkestallene jevnt over er sterkt redusert, har slike konfliktteknikker fått en renessanse de senere år (De Goede, Fyhri, Lareshyn, & Bjørnskau, 2014; Fyhri, Sundfør, Bjørnskau, & Lareshyn, 2015; Lareshyn, Svensson, & Hydén, 2010).

## 4 Drøfting

### 4.1 Konsekvenser av valg av eksponeringsmål

McAndrews et al. (2013) drøfter betydningen av å benytte tid, turer og kilometer som eksponeringsmål i beregninger av risiko for ulike trafikantgrupper i Wisconsin, USA, med både politirapporterte og sykehusregistrertes skader. De viser hvordan ulike eksponeringsmål gir ulike resultater; fotgjengere får relativt sett lavere risiko når tid og antall turer benyttes enn når avstand benyttes. De argumenterer for at å benytte flere ulike eksponeringsmål gir et mer fullstendig bilde av risikoen for ulike grupper, men konkluderer ikke når det gjelder hvilket eksponeringsmål som er å foretrekke.

TØI har gjennomført risikoberegninger basert på de nasjonale reisevaneundersøkelsene som har vært gjennomført i Norge siden midten av 1980-tallet. I disse beregningene er det utelukkende avstand (personkm og kjøretøykm) som er benyttet som eksponeringsmål. Dette er også svært vanlig i andre land. Elvik, Høye, Vaa og Sørensen (2009, s. 56) har oppsummert studier fra Norge, Danmark, Sverige, Storbritannia og Nederland og finner at for eksempel syklistene har 9,4 ganger så høy risiko for å bli skadet per personkilometer som personer i bil.

I den seneste norske utgaven av Trafikksikkerhetskårboka (Høye, Elvik, Sørensen, & Vaa, 2012) presenteres også beregninger med tid som eksponeringsmål. Da er imidlertid formålet å sammenligne risiko mellom veitrafikk og for eksempel yrkesaktivitet og da finnes det ikke noen annen felles enhet for eksponering enn tid. I veldig ulike transportgrener (fly versus gange) blir også tid som regel foretrukket framfor avstand. (Det kan virke som det er en underliggende premisse at om avstand skal benyttes må det være en reell mulighet å velge mellom ulike transportmidler.)

### 4.2 Hvilke eksponeringsmål bør foretrekkes ut fra et sannsynlighetsteoretisk grunnlag?

Ut fra det statistiske grunnlaget som er drøftet foran er det klart at det er antall «forsøk» som kan ha en ulykke som utfall, som er det mest korrekte eksponeringsmålet. I praksis vil det for eksempel kunne være antall ganger en fotgjenger går over et gangfelt, antall ganger en bilist møter en annen på en tofeltsvei osv.

Selv om dette er det mest korrekte eksponeringsmålet statistisk sett, er det sjelden at slike mål benyttes i beregninger av risiko i trafikk. Det finnes unntak som for eksempel en studie av Elvik og Høye (Elvik & Høye, 2015) som baserer seg på opptellinger av krysninger av vei i gangfelt. Grunnen til slike eksponeringsmål sjelden benyttes er at slike data ofte ikke foreligger (Yannis et al., 2005, s. 19).

Den konvensjonelle forståelsen av risiko er som nevnt at risiko kan forstås som produktet av sannsynlighet og en (negativ) konsekvens. I trafikksikkerhetsforskningen benyttes imidlertid begrepet risiko som sannsynlighet for et gitt negativt

utfall, som ulykke, skade eller død. Det er få som har benyttet produktet av sannsynlighet og konsekvens i analyser av sikkerhet i trafikken. Det er også vanskelig; det krever at ulike konsekvenser har en felles målestokk.

En slik målestokk som benyttes, er monetære verdier av ulike skadegrader. Verdsetting av tid, ulykker mv. har en lang tradisjon i transportforskningen, og det er på grunnlag av denne forskningen etablert standardiserte kroneverdier på tidsgevinster og på skader (Veisten, Flugel, Ramjerdi, & Minken, 2011). Slike verdier benyttes i nyttekostnadsanalyser av samferdselsprosjekter og dette er ett av få eksempler på at risiko som produkt av sannsynlighet og konsekvens benyttes i trafikkforskning.

Den vanligste bruken er imidlertid som nevnt, å beregne sannsynligheten for et gitt utfall som ulykke, død eller skade. Det er denne anvendelsen som vi vil drøfte litt nærmere under.

Elvik, Erke og Christensen (2009) argumenterer for at korrekte utfallsrom (opportunities for accident) kan utvikles på grunnlag av aggregerte eksponeringsmål som ÅDT eller kjøretøykilometer. Elvik et al. (2009) argumenterer overbevisende for at det er antall hendelser som kan gi ulykker som utfall, som er det korrekte eksponeringsmålet i den forstand at det kommer nærmest det sannsynlighetsteoretiske grunnlaget. Elvik et al. (2009) benytter antall møter på tofelts vei som et eksempel. Men samtidig kan det være tilslørende å kontrollere for antall møter når en skal sammenligne hvor farlig to veistrekninger er. Det er nettopp antall møtesituasjoner som skaper potensialet for ulykker.

På en tofeltsvei med mye trafikk i begge retninger, er det mange flere mulige uheldige utfall (kollisjoner) enn på en tofeltsvei med midtdeler eller en tofeltsvei der trafikken i større grad går i en retning eller alternerer mellom retninger. Det er mao. mange flere «forsøk» eller «opportunities for accidents» og dermed mange flere muligheter for uheldige utfall. Rent sannsynlighetsteoretisk er dette ganske greit, men når det kommer til konsekvensene og tolkningen av dette, blir det mer komplisert.

Vi kan illustrere dette med et tenkt eksempel: Vi sammenligner to veistrekninger A og B som begge er tofeltsveier uten midtdeler og begge har ÅDT = 10 000. En viktig forskjell er at trafikkfordelingen er ulik. Vi kan anta at A har 5000 kjøretøy i hver retning, mens B har 9000 i en retning og 1000 i motsatt retning. For å illustrere poenget gjør vi også en urealistisk antakelse om at begge strekningene er såpass lange/trafikken så konsentrert at alle bilene som kommer i hver sin retning møter hverandre.

I vårt tenkte eksempel har det skjedd 60 ulykker på strekning A i løpet av en gitt periode og 25 ulykker på strekning B. Om vi beregner risiko på den konvensjonelle måten, som antall ulykker per ÅDT finner vi at A har en langt høyere risiko enn B; 0,006 mot 0,0025.

Hvis vi derimot bruker antall forsøk («opportunities for accidents»), dvs. antall ganger to biler møtes som eksponeringsmål blir resultatene annerledes pga. de ulike trafikkfordelingen. Strekning A har 25 millioner møter (5000 x 5000), mens B har 9 millioner møter (9000 x 1000). Risiko målt per million møter blir 2,4 for A og 2,8 for B. Målt på denne måten har B høyest risiko.

Hvilken beregningsmåte bør vi da velge? Det er ikke opplagt. Det kan argumenteres for at når vi benytter antall møter, så «kontrollerer» vi for en risikofaktor som bidrar helt avgjørende for hvorfor strekning A har flere ulykker enn strekning B. På ett vis

kan det derfor virke rimeligere å konkludere med at risikoen er høyere på strekning A fordi trafikk sammensetningen gir flere møter som kan føre til ulykker. Når vi benytter antall møter som eksponeringsmål får vi som resultat at strekningen med flest møter har lavest risiko, selv om det skjer flere ulykker der. Vi kommer tilbake til dette spørsmålet i avsnitt 4.5.

Elvik et al. (2009) har også anbefalinger når det gjelder eksponeringsdata for ulykker i kryss. Igjen anbefaler de at det er antall møtesituasjoner som kan resultere i kollisjon som er det mest korrekte eksponeringsmålet. Tilsvarende mål er benyttet av Sagberg (1997), Bjørnskau (2001) og Phillips et al. (2007; 2011).

Igjen kan det være en utfordring med et slikt mål at antall møter som kan resulterer i dårlige utfall kan ses som en risikofaktor, og om man sammenligner kryss vil man i så fall på sett og vis kontrollere bort risikorelevante forhold. Fyhri et al. (2015) benytter et slikt eksponeringsmål, men for å sammenligne risiko over tid i ett og samme kryss, og da oppstår det ikke slike problemer. Det er også på denne måten det er benyttet i TØIs konfliktstudier i krysset Morgedalsvegen/Sørkedalsveien i Oslo (Phillips et al., 2011).

## 4.3 Tid eller avstand?

### 4.3.1 Avstand er nærmest «antall forsøk»

Tid i trafikk vil løpe selv om man står stille i en kø. Når man står stille i en kø er man ikke utsatt for noen forsøk, eller potensielle hendelser. En hendelse må innebære bevegelse i en eller annen forstand. Teoretisk kan tiden løpe uten at noen potensielle hendelser oppstår. Når bussen står stille, vil ingen falle om bord; når den kjører kan man falle pga. bevegelsene. Det er når vi beveger oss at uheldige hendelser kan skje; at vi kjører av veien, krasjer i en annen osv.

Det er derfor bare unntaksvis at tid i trafikk kan gi mening som «forsøk» i en sannsynlighetsteoretisk forstand; forsøk innebærer at noe er i bevegelse og to utfall kan oppstå. Avstand, som per definisjon inneholder bevegelse ved at man går, sykler, kjører bil osv., er dermed i utgangspunktet nærmere den sannsynlighetsteoretiske ideen om «forsøk» enn det tid i trafikk er.

Tid kan imidlertid i noen tilfeller være rimeligere enn tilbakelagt distanse. Når man står på en bussholdeplass og venter på bussen, tilbakelegges ingen distanse, men det kan argumenteres for at alle kjøretøyene som passerer utgjør «forsøk»; man kan i prinsippet bli påkjørt av passerende kjøretøy. I et slikt tilfelle kan tid i trafikk virke rimeligere enn tilbakelagt distanse.

En konsekvens av dette er at for enulykker vil tid i trafikk være mindre egnet som eksponeringsmål enn tilbakelagt distanse. I enulykker er det ingen andre trafikanter som påfører fare, og det er derfor bare når man beveger seg – dvs. tilbakelegger distanse – at en ulykke kan oppstå (med det unntak at for eksempel en syklist som venter på grønt lys kan velte; en fotgjenger som står stille kan få en isklump i hodet, bli truffet av ting som kastes ut fra passerende biler osv.).

I hvert fall for syklister er det åpenbart at avstand i mange tilfeller er en nokså god «proxy» for antall forsøk. En syklist kan i prinsippet miste balansen og skade seg nesten hvor som helst – det kan være nok med en punktering, en liten stein, et lite hull, litt sand på asfalten osv.

### 4.3.2 Formålet med transporten spiller inn

Som vi har sett benyttes både avstand og tid som eksponeringsmål i risiko-beregninger. Det er mange som argumenterer for at tid og ikke avstand bør brukes, noe som fører til at sykkel og gange blir mindre farlig sammenlignet med for eksempel bil. Både Vanparijs et al. (2015), Mindell et al. (2015) og Guler et al. (2013) argumenterer for at siden farten varierer, så er tid et bedre eksponeringsmål enn avstand.

Det er vanskelig å akseptere at dette er et argument mot å bruke avstand som eksponeringsmål. Det kan argumenteres for at om man bruker tid i trafikk, uten å ta hensyn til distansen som tilbakelegges (og dermed farten), favoriseres de langsomme transportgrenene på to måter. De favoriseres for det første rent matematisk fordi eksponeringen øker relativt sett for langsomme transportmidler sammenlignet med hurtige. For det andre favoriseres de fordi fart er muligens den viktigste risikofaktoren i trafikk. Med avstand som eksponeringsmål blir ikke fart i samme grad ignorert.

Spørsmålet om tid eller avstand bør benyttes som eksponeringsmål kan vanskelig avgjøres uten at man også vurderer formålet med transporten. Dersom man har to timer til rådighet til å ta en tur, er det rimelig å betrakte tid som det relevante eksponeringsmålet, og man kan vurdere om det større fare for å skade seg i løpet av en to timers biltur enn på en to timers fottur.

Det er imidlertid helt unntaksvis at transportbehovet eller etterspørselen er i form av at en viss tid skal tilbringes i transport. Det normale er at transport utføres fordi man har behov for å flytte seg fra A til B. I så fall er det avstanden mellom A og B som er den relevante eksponeringen.

En viktig motivasjon bak dette prosjektet er nettopp at myndighetene ønsker å flytte trafikk fra bil til sykkel og gange. Det gir ikke mening å tenke seg at 20 minutters biltur kan erstattes med 20 minutters sykling. En 20 minutters biltur er på 15 km i gjennomsnitt ifølge RVU 2013/14. En 20 minutters sykkel tur er på 4,7 km ifølge RVU. I utgangspunktet må vi derfor anta at om en biltur skal erstattes av en sykkel tur så er det gitt et bestemt transportbehov – f.eks. en arbeidsreise skal utføres. I kapittel 6 presenterer vi noen beregninger som viser konsekvensene av slik overføring av transport basert på reisevanedata og ulykkesdata fra Oslo.

## 4.4 Ikke-lineære sammenhenger mellom eksponering og ulykker

Elvik, Erke & Christensen (2009) skriver at siden man generelt finner at sammenhengen mellom eksponering og ulykker er ikke-lineær, så blir det ikke korrekt å benytte ulykker per eksponeringsenhet for å sammenligne risiko mellom grupper eller over tid. De tar til orde for at man bør prøve å finne et risikomål som er konstant over alle grader av eksponering.

Elvik et al. (2009) benytter et empirisk eksempel for å argumentere for at den ikke-lineære sammenhengen mellom eksponering og ulykker fører til misvisende risikoestimer. De tar utgangspunkt i en studie av Hakamies-Blomquist et al. (2002) som finner følgende verdier for antall ulykker per kjørt kilometer for tre grupper av bilførere som er gjengitt i tabell 1.

Tabell 1. Eksempel på ikke-linear sammenheng mellom eksponering og risiko, hentet fra Hakamies-Blomquist et al. (2002).

	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
<b>Årlig kjørelengde</b>	1272 km	8497 km	25536 km
<b>Ulykker per mill. km</b>	72,4	14,7	5,8
<b>Forventet ulykestall per år</b>	0,092	0,125	0,148
<b>Sannsynlighet for minst en ulykke per år</b>	0,088	0,117	0,138

Elvik et al. (2009) konkluderer som følger: «As exposure increases, so does the probability of becoming involved in an accident, but each additional kilometre driven becomes safer».

Dette innebærer at de som kjører mest er involvert i flest ulykker, selv om de har lavere sannsynlighet for å bli innblandet per kilometer kjørt. At det er slike ikke-lineære sammenhenger er forenlig med at det skjer en læringsprosess med erfaring som innebærer at de som kjører lite faktisk har høyere sannsynlighet for å bli innblandet per kilometer kjørt. Det er ikke noe selvmotsigende i det. Det er naturligvis slik at når man kjører en kilometer til, så øker sannsynligheten for å bli involvert i en ulykke. Eksemplet viser at denne økningen er mye større for gruppe 1 enn for gruppe 3 i tabell 1.

Et avgjørende spørsmål er om ikke-lineariteten er en egenskap som ligger innbakt i beregningsmåten, dvs. at det alltid må bli slik, eller om dette er et empirisk fenomen som kan tolkes som en læringskurve. Hvis det siste er tilfellet, er det ikke noe galt i å benytte ulykker per eksponeringsenhet; de som har erfaring med en aktivitet er faktisk mindre utsatt; det er ikke noe man skal kontrollere eller korrigere for.

Elvik et al. (2009) argumenterer for at den ikke-lineære sammenhengen er et uttrykk for læring, dvs. at dette er et empirisk fenomen og ikke et rent statistisk fenomen. Flere studier finner empirisk belegg for at slik læring skjer. Bjørnskau & Sagberg (2005) viser for eksempel at unge førere reduserer antall feilhandlinger etter hvert som de får erfaring, og argumenterer for at risikoreduksjonen blant unge førere de første månedene bak rattet er et resultat av læring. Phillips et al. (2007; 2011) finner at konfliktandelen i kryss mellom sykkelvei og bilvei reduseres etter hvert som trafikantene blir vant til å ferdes i krysset. Flere studier har også dokumentert at risikoen på vinterføre reduseres med hvor mye trafikk som går på vinterføre (Niska, 2006), noe som kan tolkes som at trafikantene blir flinkere til å håndtere vinterføre jo mer erfaring de får. Krøyer (2015) påpeker dessuten at det ikke alltid er slik at økt eksponering gir lavere risiko, med henvisning til en finsk undersøkelse av trafikksikkerhet i kryss (Kulmala, 1995). Ikke-lineariteten er derfor ikke en matematisk nødvendighet. (Det finnes imidlertid eksempler på at ikke-lineære sammenhenger kan framkomme med matematisk nødvendighet (Elvik & Bjørnskau, forthcoming)).

## 4.5 Kontinuum fra eksponering til utfall

Hauer (1982) drøfter sammenhengen mellom konflikter og eksponering. Chapman (1973) argumenterte for at dette er to sider av samme sak og at sikkerheten til et system kan forstås som forholdet mellom ulykker og konflikter (nestenulykker). Hauer argumenterer mot en slik tolkning, og mener at antall konflikter per situasjon som kunne gi konflikt, kan være et brukbart mål på et systems sikkerhet, dvs. som et mål på utfall. Som nevnt over er det som mål på utfall at konflikter vanligvis har vært benyttet.

Det er mulig å se på forholdet mellom eksponering og ulykker som et slags kontinuum av «hendelser» og «utfall», der hendelser på ett nivå kan ses som utfall på et annet. Nesten-ulykker, eller konflikter, kan ses som mulig utfall av vikesituasjoner (Phillips et al., 2011), og ulykker kan ses som mulig utfall av konflikter; noen ganger klarer man akkurat å stanse i tide, andre ganger ikke.

På tilsvarende måte kan de fleste kandidater til eksponering forstås som «utfall» av en foregående «hendelse». En befolkning kan for eksempel ha to typer innbyggere, de som deltar i trafikk og de som ikke gjør det. Trafikk kan ses på som hendelser som kan ha som utfall at man møter andre eller ikke. Møter kan ha som utfall at man kolliderer eller ikke. Kollisjoner kan ha som utfall at det blir en personskade eller ikke, en personskade kan være mer eller mindre alvorlige, en alvorlig skade kan føre til at man overlever eller ikke.

Alle kandidatene som er foreslått som eksponeringsmål fra befolkning til nestenulykker kan ses som et kontinuum fra mål (på eksponering) som nesten ikke har noe med trafikk å gjøre, som befolkning, til eksponering som kan ses som en proxy for ulykker. Beregninger av risiko basert på ytterpunktene på denne skalaen blir nokså meningsløse, f.eks. er ikke folketall nødvendigvis noen god indikasjon på hvor utsatt man er for å bli rammet av en trafikkulykke. Vi kan beregne antall skadet i snøscooterulykker per innbygger og sammenligne Norge og Spania. Det er naturligvis bortimot helt meningsløst – det finnes omtrent ikke snøscootertrafikk i Spania.

På den annen side kan vi beregne risiko med mål som ligger svært nær hverandres, slik som antall ulykker per konflikt. Antall konflikter er en god indikasjon på hvor utsatt man er for ulykker, men det blir likevel et temmelig uinteressant risikoestimat. Når vi benytter antall nestenulykker som eksponering, har vi på sett og vis kontrollert for alle risikofaktorene som skaper forskjeller mellom to kryss.

Vi må derfor være noe pragmatiske når vi skal finne gode eksponeringsmål i trafikk. De må fange trafikkdeltakelse, men samtidig ikke være helt korrelert med og en proxy for ulykke. Det betyr også at for at risikoberegninger overhodet skal gi mening, må man ikke kontrollere bort alle faktorer som påvirker sannsynligheten for ulykker. Om man gjør det, blir risikoen konstant.

Vi må derfor velge oss punkter på skalaen fra befolkning til ulykker som gir best mulig mening for å fange opp risiko. Det innebærer at eksponeringsmålet bør omfatte trafikk, befolkning er for eksempel for lite presist, og utfallsmålet bør være en ulykke eller en nærliggende «proxy». Men om eksponeringsmålet blir for nært utfallsmålet, forsvinner mange av de interessante risikofaktorene som gir forskjeller i antall ulykker. Og om utfallsmålet flyttes «for nærme» eksponeringsmålet risikerer vi at vi har et utfallsmål som ikke er et valid uttrykk for ulykke. En mulig innvendig mot konflikter som utfallsmål, er for eksempel at disse i noen tilfeller kan være



framprovosert; at det er overlagte handlinger som har som formål å skremme andre til å vike eller stanse (Bjørnskau, 1994; Schelling, 1960).

## 4.6 Faglig uenighet

Det er mye faglig uenighet når det gjelder hva som er den mest korrekte måten å beregne risiko på. Som nevnt gir ulike eksponeringsmål ulike svar, og en kan mistenke at noen bevisst velger eksponeringsmål ut fra et ønske om å vise at bestemte trafikantgrupper er mer eller mindre utsatt.

Det har for eksempel vært en stor diskusjon om eldre førere faktisk har høyere risiko for ulykker, se for eksempel Hakamies-Blomqvist et al. (2002) og Langford et al. (2006). Disse forfatterne mener at siden det er en ikke-lineær sammenheng mellom eksponering og risiko, vil sammenligninger av grupper med ulike kjørelengder finne at de som kjører minst har høyest risiko. De refererer til dette som «Low Mileage Bias». Når man for eksempel sammenligner førere i ulike aldre med like lang årlig kjørelengde, finner man ikke slike forskjeller i risiko (Hakamies-Blomqvist et al., 2002; Langford et al., 2006). Man kan imidlertid mot dette innvende at dersom man antar at den ikke-lineære sammenhengen er uttrykk for læring, innebærer det at det er en reell risikoforskjell (Bjørnskau & Sagberg, 2005; Elvik, 2015b). De som kjører mye får bedre trening og dermed blir de mindre utsatte for ulykker. Dette vil gjelde både unge og gamle og er en egenskap man ikke skal forsøke å kontrollere bort.

Det er lett å blande sammen ulike momenter i diskusjonen. Det er hevdet at siden det som regel er en ikke-lineær sammenheng mellom eksponering og ulykker, blir det ikke korrekt å benytte slike enkle risikoestimer som ulykker per kjørt kilometer. Som nevnt kan det nevnes mot dette at det ikke er beregningsmåten det er noe galt med; det foregår læring i systemet og det er rimelig at en person med mye erfaring har færre uhell per kjørt kilometer enn en med lite erfaring. Det er ikke dermed sagt at man skal kontrollere bort erfaring. Det er nettopp mangelen på erfaring som er en risikofaktor som fører til høyere risiko.

En neste uklarhet gjelder hva som er mest korrekt ut fra et sannsynlighetsteoretisk grunnlag. Elvik (2015b) argumenterer overbevisende for at det bør være hendelser som kan føre til ulykker – og at tilbakelagt avstand vil inneholde mye trafikk som ikke innebærer hendelser som kan gi ulykker. Det er naturligvis korrekt, men samtidig vil det være vanskelig å avgrense dette; når man kjører langs en bred rett vei er det få hendelser, men det kan plutselig komme dyr som vil krysse veien, det kan hende man sovner, det kan være hull i veien, steiner som fører til punktering osv. Det er klart at man bør ta hensyn til at en del former for kjøring inneholder langt mindre hendelser enn andre. Det er for eksempel mange flere å kolliderer med på tofeltsvei med mye møtende trafikk, enn med lite møtende trafikk. Men, i svært mange tilfeller har man ikke gode data når det gjelder slike forhold. For eksempel er det vanskelig å vite hvor mange dyr som har krysset veien på et gitt sted.

Hvis man aksepterer at ikke-lineariteten mellom eksponering og ulykker er et resultat av læring og ikke noe som er matematisk nødvendig, samtidig som man aksepterer at det ikke er mulig å få tak i fullstendig korrekte data over alle mulige potensielle hendelser, så kan det argumenteres for at den tradisjonelle måten å beregne dette på – antall ulykker per tilbakelagt avstand – er en rimelig tilnærming til et «sant» risikomål. Samtidig er det åpenbart at i tolkningen av risikotall bør slike forstyrrende faktorer nevnes.

Det gjør for eksempel ikke Hakamies-Blomqvist et al. (2002) når de argumenterer for at eldre ikke har høyere risiko enn yngre. De argumenterer med at eldre ikke har høyere risiko når man korrigerer for årlig kjørelengde, og at de kompenserer for sine svakheter ved å kjøre når det er lyst og lite trafikk osv. Men om man følger en slik logikk, burde man ikke også kontrollert for tid på døgnet, trafikkomfang osv. når man ønsker å sammenligne risikoen til eldre og yngre bilførere?

Skulle man fulgt anbefalingene til Paefgen et al. (2014), burde man for eksempel kontrollert for hvilke trafikkmiljø og hvilke tider på døgnet eldre og yngre kjører. At eldre ikke kjører når det er mørkt, innebærer at de ikke utsetter seg for en risikofaktor som yngre utsetter seg for. Men man kommer veldig raskt i datatrøbbel om man forsøker å avgrense og skreddersy eksponeringen. I praksis fører det trolig ofte til at man tar hensyn til noen faktorer som man har data for, men ikke til andre fordi man ikke har data. Det kan igjen bety at selv om man dermed forsøker å få fram korrigererte og mer korrekte risikoestimer, kan man raskt ende opp med estimer som like fullt blir feil, eller som blir uinteressante. Spørsmålet er om ikke det ofte er like bra å bruke litt mer generelle og grove eksponeringsmål, men heller drøfte hvilke eventuelle svakheter estimatene basert på disse har.

Menns risiko for å omkomme som bilfører er gjennomgående høyere enn kvinners, mens risikoen for å skades er lavere. Den samme logikken mht. forskjeller i årlig kjørelengder har også være anført i sammenligninger mellom kvinner og menn. Men igjen blir spørsmålet hvor man skal stanse når det gjelder å kontrollere for ulike risikofaktorer involvert i menns og kvinners kjøring. Det er for eksempel velkjent at promillekjøring er mye mer utbredt blant menn, samtidig som promille øker sannsynligheten for å krasje og omkomme. Burde man ta ut promilleulykker når man skal sammenligne menns og kvinners risiko for å omkomme som førere i trafikk? Ja, om man følger logikken som er anført foran, så bør man det. Men, man kan også argumentere motsatt og hevde at risikosøking, som blant annet inkluderer rus, er en typisk egenskap som er vanligere blant menn – det er en del av kjønnsforskjellen. I så fall bør man ikke kontrollere for det.

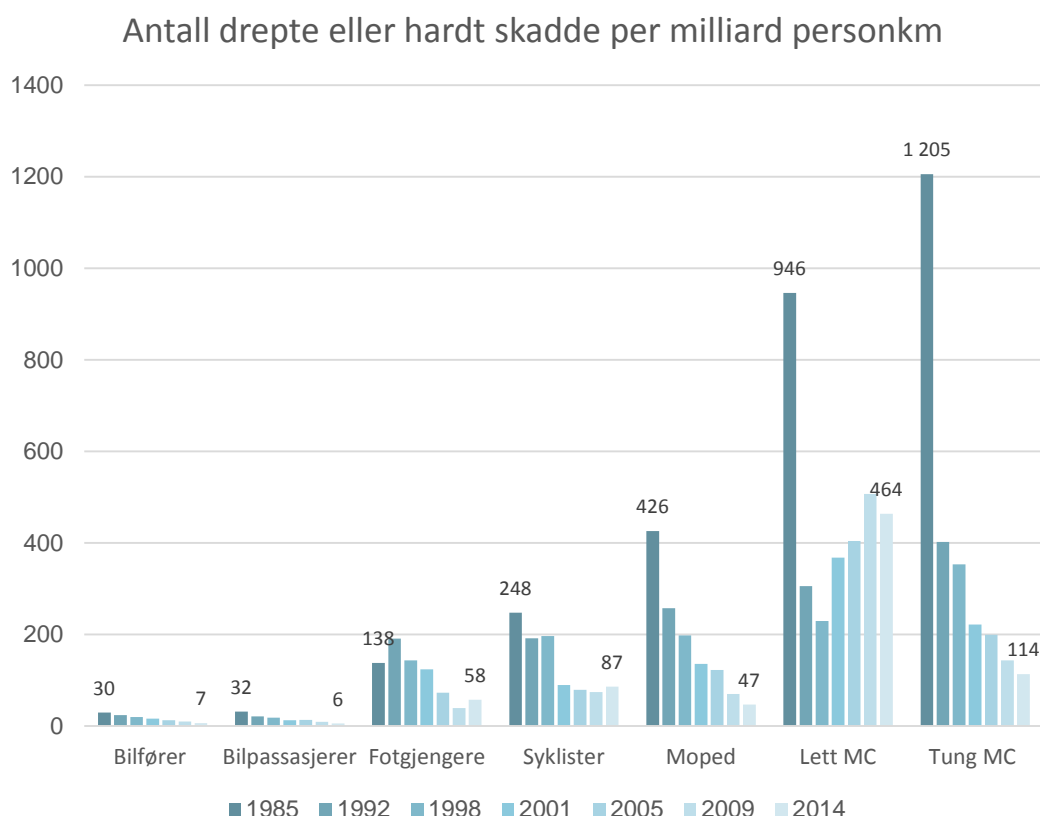
Man havner til slutt lett i en type tautologi om man prøver å kontrollere for «alt»; hvis eldre hadde vært like yngre hadde det ikke vært noen forskjell i risiko. Hvis kvinner hadde vært like fysisk robuste som menn, hadde risikoen for personskade vært den samme. Ja, men de er ikke det – og det er en viktig grunn til at risikoen for personskade er høyere blant kvinner.

Så det springende punktet blir i hvilken grad man skal *kontrollere* for risikofaktorer og i hvilken grad man skal benytte dem til å *forklare* forskjeller. Som nevnt mener vi at vi må være pragmatiske når vi skal velge eksponeringsmål for å beregne risiko i trafikk. Slike eksponeringsmål bør fortrinnsvis fange opp trafikkdeltakelse, men samtidig ikke være veldig sterkt korrelert med og en proxy for ulykke. Det betyr også at for at risikoberegninger skal gi god mening, må man ikke gjennom valget av eksponeringsmål kontrollere bort alle faktorer som påvirker sannsynligheten for ulykker. Om man gjør det, blir risikoforskjellene små, og risikoberegningene blir uinteressante og lite fruktbare.

## 5 Tradisjonelle og alternative risikoberegninger

I dette kapitlet vil vi presentere tradisjonelle og alternative måter å beregne risiko på. Vi presenterer først tradisjonelle beregninger av risiko for å bli skadet eller drept i trafikk for ulike trafikantgrupper i ulike perioder, hentet fra Bjørnskau (2015). I avsnitt 5.1 presenterer vi så beregninger av risiko med konflikter som utfall og passeringer som eksponeringsmål hentet fra TØIs analyser av konflikter i krysset Sørkedalsveien/Morgedalsvegen i Oslo. Deretter viser vi nyere beregninger der tid og avstand benyttes som eksponeringsmål. Beregningene er basert på eksponeringsdata fra RVU 2013/14 og skadedata både fra den offisiell skadestatistikken for 2014 og fra data over syklistskader i Oslo som er registrert ved Oslo universitetssykehus (Melhuus et al., 2015).

Figur 4 viser beregninger av risiko målt som antall drepte eller hardt skadde per milliard personkilometer for ulike trafikantgrupper.



Figur 4. Drepte eller hardt skadde per milliard personkilometer i 1985, 1992, 1998, 2001, 2005, 2010 og 2014 fordelt på trafikantgrupper. Figur hentet fra Bjørnskau (2015).

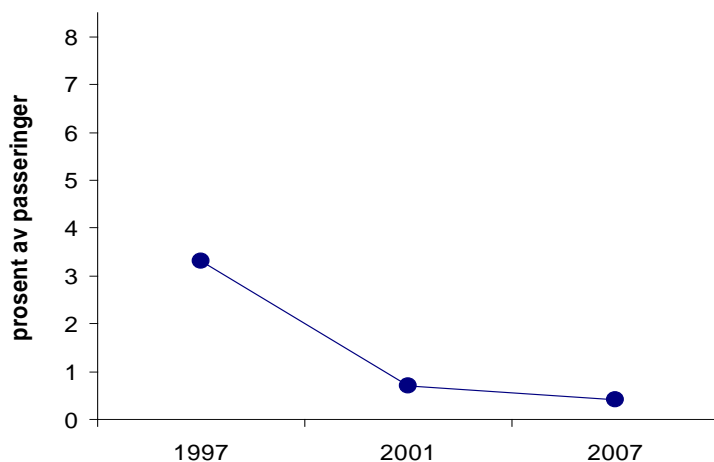
I figur 4 er data for skader i trafikk hentet fra den offisielle skadestatistikken som publiseres av SSB. Data for personkilometer er dels hentet fra RVU og dels fra TØIs oppgaver over transportytelser i Norge (Farstad, 2014; Vågane & Rideng, 2010).

Figuren viser at risikoen for ulike trafikantgrupper, målt på denne måten, er svært forskjellig. Bilførere og bilpassasjerer har svært mye lavere risiko enn andre trafikantgrupper; fotgjengere, syklister og fører og passasjerer på moped har 5-10 ganger så høy risiko som bilister i 2014. Fører og passasjerer på tung motorsykkel har over 15 ganger så høy risiko, mens førere og passasjerer på lett motorsykkel har over 60 ganger så høy risiko. For alle grupper bortsett fra lett mc er risikoen redusert over tid.

Den mest dramatiske risikoreduksjonen har skjedd for tung motorsykkel. For tung mc var risikoen ti ganger så høy i 1985 som i 2014. Den ekstremt høye risikoen på midten av 1980-tallet henger trolig sammen med at dette var en periode da det var svært enkelt å lånefinansiere kjøp av motorsykkel («jappetid»), og at svært mange ungdommer skaffet seg motorsykkel. Over tid har mulighetene for å lånefinansiere slike kjøp blitt vanskeligere, forsikringene er blitt dyrere og dermed har også store motorsykler blitt mer ”voksne” kjøretøyer.

## 5.1 Risiko med konflikter som utfall og hendelser som eksponering

Et eksempel på risikoberegninger der eksponeringen kan forstås som hendelser eller forsøk i en sannsynlighetsteoretisk forstand er beregninger av risiko som konflikter per vikesituasjon. TØIs undersøkelser av andelen konflikter mellom bil og sykkel i krysset mellom Sørkedalsveien og Morgedalsvegen i Oslo kan tjene som et eksempel. TØI har undersøkt atferd og konflikter i dette krysset i tre ulike perioder, i 1997, 2001 og 2007 (Bjørnskau, 2001; Phillips, Bjørnskau, & Hagman, 2007; Phillips et al., 2011; Sagberg, 1997). Studiene viste at konfliktandelen gikk ned fra 1997 til 2001 og ytterligere ned fra 2001 til 2007, jf. figur 5.



Figur 5. Andel konflikter i 1997, 2001 og 2007 i krysset Sørkedalsveien/Morgedalsvegen i prosent av antall sykkelpasseringer. Hentet fra Phillips et al. (2007).

I disse studiene ble andel konflikter beregnet som antall konflikter dividert på antall sykkelpasseringer og på antall vikesituasjoner. Vikesituasjoner er definert som situasjoner der en eller begge må vike for den andre for å unngå sammenstøt. Konfliktsituasjoner er definert som vikesituasjoner der en eller begge parter må stoppe brått for å unngå sammenstøt. Klassifisering av konflikter ble avgjort ut fra subjektive vurderinger, men der flere forskere studerte de samme situasjonene og man kom fram til et omforent antall konflikter.

Vikesituasjoner kan ses som «forsøk» eller «opportunities for accidents» og konflikt/ikke-konflikt kan ses som de to mulige utfallene av hvert forsøk. Phillips et al. (2011) konkluderer med at konfliktandelen går ned på grunn av læring. Sykkelveien var ny i 1997 og etter hvert som trafikantene fikk erfaring med dette krysset ble de flinkere til å oppdage og ta hensyn til hverandre. Det betyr at konteksten er endret – fra å være et nytt og ukjent kryss med overraskende trafikkmønster til å bli et kryss med forutsigbar trafikkavvikling. Selv om svært mange konflikter forsvinner, påpeker samtidig Phillips et al. (2007; 2011) at noen situasjoner er så kompliserte at det er vanskelig eller umulig for trafikantene å lære fullt ut å unngå konflikter i disse situasjonene.

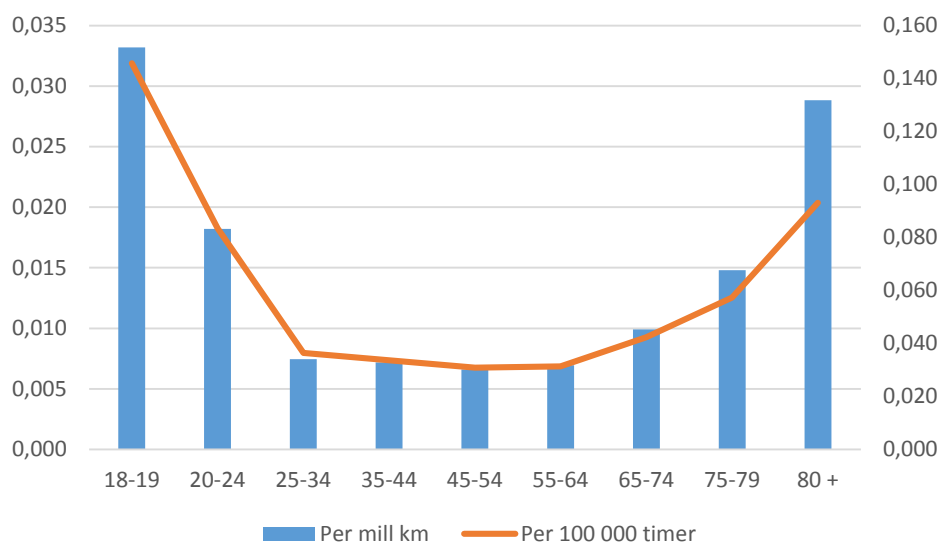
## 5.2 Risiko med tid og avstand som eksponeringsmål

Basert på RVU 2013/14 og offisielle norske ulykkesdata (SSB/STRAKS) har vi gjennomført beregninger av risiko med personkilometer og med timer som eksponeringsmål. Dette er ment å illustrere hvordan ulike eksponeringsmål påvirker estimeringen av risiko og av forskjellene mellom ulike grupper når det gjelder risiko.

Vi har gjennomført beregninger av risiko i trafikken på den tradisjonelle måten, dvs. at vi beregner antall med en gitt skadekonsekvens (død, skade osv.) per eksponeringsenhet. Eksponeringsenhetene som er benyttet er tid (100 000 timer i trafikk) og kilometer (million personkilometer). Vi har i alle disse beregningene benyttet eksponeringstall fra reisevaneundersøkelsen 2013/14.

### 5.2.1 Sammenligninger innen ett transportmiddel

Figur 6 viser hvordan risikoen for alvorlige skader (drepte og hardt skadde) fordeler seg over alder blant mannlige bilførere med tid og avstand som eksponeringsmål.



Figur 6. Mannlige bilførere drept eller hardt skadd per million personkilometer og per 100 000 timer i trafikk. Skadetall er gjennomsnitt av 2013 og 2014 hentet fra SSB. Eksponeringsdata er hentet fra RVU 2013/2014

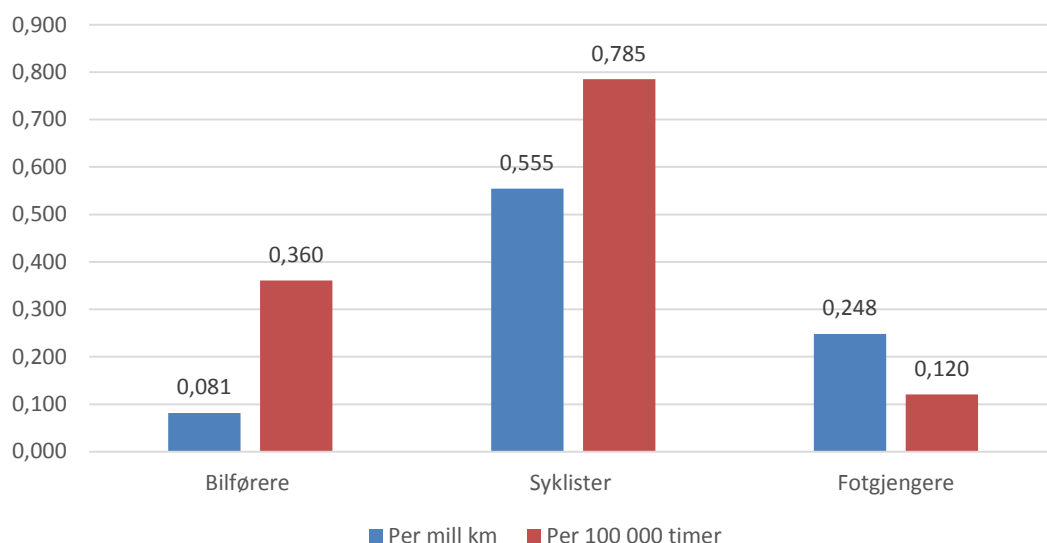
Figur 6 viser at det ikke er store forskjeller i risikoenes fordeling over alder for de fleste mannlige bilførere om man benytter tid som eksponering i stedet for avstand. Det er likevel en tydelig tendens til at de eldste bilførernes risiko blir relativt sett mye høyere med avstand enn med tid som eksponeringsmål. Forklaringen er at eldre bilførere kjører noe saktere i gjennomsnitt enn yngre. Det kan skyldes at de kjører mer i trafikkmiljøer med lave fartsgrenser og/eller at de generelt velger lavere fart. Uansett innebærer det at de tilbakelegger kortere avstander i løpet av en time enn det yngre førere gjør, noe som fører til at risikoen deres framstår som relativt sett lavere når tid benyttes som eksponeringsmål i stedet for avstand.

En del forbehold må tas i tolkningene av disse resultatene. Betydningen av hvilket trafikkmiljø man ferdes i, fanges ikke opp i disse risikoberegningene uansett om avstand eller tid benyttes som eksponeringsmål. Når man bruker tid, får på sett og vis de eldste bilistene enn dobbelt gevinst; både at tid som eksponering gir relativt lavere risiko til de som kjører sakte, og at trafikkmiljøet som de ferdes i, og som gjør at de må kjøre sakte, bidrar til økt sikkerhet.

## 5.2.2 Sammenligninger mellom transportmidler

Svært mye av diskusjonen rundt hvilke eksponeringsmål man bør velge dreier seg om at valget av eksponeringsmål er helt avgjørende for hvilke transportmidler som kommer ut med høyest risiko. Om man velger tid som eksponeringsmål kommer langsomme transportmidler gunstigere ut enn om avstand velges. Dette illustreres av våre beregninger av risiko for å bli skadet i trafikken i 2013/14 basert på offisielle skadetall og eksponeringstall fra RVU 2013/14. Resultatene er vist i figur 7.

Drepte og skadde per mill km og 100 000 timer, 2013/14



Figur 7. Antall drepte eller skadde per million personkilometer og per 100 000 timer i trafikk. Skadetall er gjennomsnitt av 2013 og 2014 hentet fra SSB. Eksponeringsdata er hentet fra RVU 2013/2014.

Når avstand benyttes som eksponeringsmål har bilførere svært mye lavere risiko enn syklister og fotgjengere. Syklister har om lag sju ganger så høy risiko, mens fotgjengere har ca. tre ganger så høy risiko som bilførere. Når vi benytter tid tilbakelagt i trafikken blir bildet et annet. Syklister har fremdeles høyere risiko enn bilførere, ca. dobbelt så høy, mens fotgjengere har lavere risiko enn bilister når tid benyttes som eksponeringsmål. Forklaringen er naturligvis at bilførere tilbakelegger mye større avstander per time (ca. 45 km) enn hva fotgjengere gjør (ca. 5 km).

Dette er imidlertid litt misvisende fordi eneulykker som syklist og som fotgjenger ikke er med i sammenligningene. Eneulykker som syklist skal i prinsippet registreres som en trafikkulykke dersom det er en personskade som ikke er ubetydelig. Dette gjøres imidlertid i svært liten grad, både fordi mange syklister ikke er klar over at ulykker skal rapporteres til politiet og/eller fordi de ikke ser noe poeng i å melde fra om slike ulykker. Fotgjengeres eneulykker regnes ikke som trafikkulykker (ikke noe kjøretøy involvert), så dermed registreres ikke disse i den offisielle veitrafikkulykkesstatistikken. Men, om vi skal ha et realistisk bilde av hva det innebærer å flytte trafikk mellom ulike trafikantgrupper og – roller, bør også slike uhell og skader inngå i betraktningen.

### 5.2.3 Beregninger basert på skadetall fra sykehus/legevakt

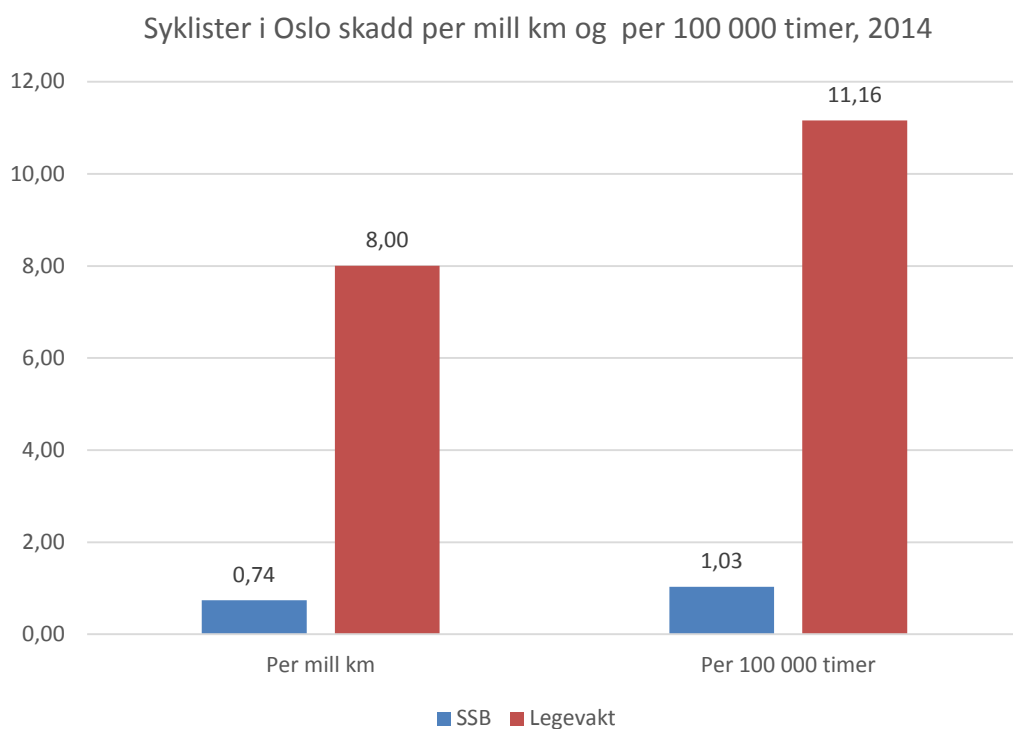
Oslo universitetssykehus/Oslo legevakt (OUS) gjennomførte i 2014 en detaljert registrering av sykkelskader på oppdrag fra Helsedirektoratet (Melhuus et al., 2015). De har registrert over 2000 sykkelskader i Oslo i løpet av 2014, mens det ifølge offisielle skadetall fra SSB var 125 skadde syklister i trafikkulykker i Oslo i 2014.

Vi har beregnet risiko for å bli skadet som syklist i Oslo ved hjelp av data fra OUS og fra SSB. Eksponeringstall er beregnet ved hjelp RVU 2013/14. Vi må være varsomme med å tolke disse risikotallene som absolutt korrekte fordi skadetilfeller som kommer til behandling ved Oslo legevakt kan være folk som er bosatte i nabokommunene. En person som er bosatt i Bærum og som sykler til Oslo og skader

seg der, kan bli behandlet ved OUS. Syklingen hans vil imidlertid ikke registreres som sykling i Oslo i og med at han er bosatt i Bærum. RVU gir muligheter for å beregne dette i detalj, ved å studere alle sykkelreisere start- og sluttspunkt og fordele dette på kommuner, men det er et meget omfattende arbeid og ikke gjennomført her. Sannsynligvis har det nokså marginal betydning for resultatene, og i denne sammenheng er det forholdet mellom risiko per km og risiko per tid som er av interesse, ikke de absolutte estimatene.

I beregningene av risiko for syklist basert på OUS-data har vi tatt ut skader som ikke har skjedd i Oslo og skader som ikke har skjedd på vei åpen for alminnelig trafikk. Dermed sitter vi igjen med skader på sykkel i trafikk i Oslo, noe som gjør det mulig å sammenligne OUS-dataene med tilsvarende data for trafikkskader i Oslo ifølge SSBs ulykkesstatistikk.

Resultatene fra beregninger av risiko med skadetall fra SSB og OUS og eksponeringstall i kilometer og timer er vist i figur 8. Resultatene viser at uansett om vi benytter tid eller avstand som eksponeringsmål er det om lag ti ganger så høy risiko for å bli skadet om man benytter OUS-data sammenlignet med SSB-data.



Figur 8. Antall skadde syklistere i trafikkuulykker i Oslo per million personkilometer og per 100 000 timer i trafikk. Skadetall fra 2014 hentet fra SSB og Oslo universitetssykehus (OUS). Eksponeringsdata er hentet fra RVU 2013/2014.



### 5.3 Egenrisiko, fremmedrisiko og totalrisiko

I Morgenbladet 14/8 2015 er det en interessant artikkel om en forskriftsendring som vil fjerne skolens myndighet til å bestemme om barn kan sykle til skolen. Mange foreldre har vært aktive pådrivere for dette, både prinsipielt; de har ansvaret for barna når barna ikke er på skolen, og praktisk – mange barn har en trygg sykkelvei til skolen, har syklet til og fra barnehage osv.

Et interessant moment som kommer opp, er at de foreldrene som er skeptiske og som er redde for å la barna sykle, ofte kjører barna i bil i stedet. Dermed reduseres (trolig) risikoen for at barna skader seg, men samtidig påfører denne transporten de andre barna, som går eller sykler, økt risiko. Bilene som de sikrede barna fraktes i, utgjør dermed en fare for dem.

I avsnittet foran har vi presentert beregninger av forskjellige trafikantgruppers risiko for å bli skadet i trafikken. Dette er kalkulert ut fra hvor mye de ulike gruppene er i trafikken, både målt i avstand (personkilometer) og tid. Disse beregningene tar imidlertid ikke hensyn til i hvilken grad de ulike transportmidlene skader andre. Dette varierer systematisk med størrelse og fart på kjøretøyene.

Hvis vi i stedet for å beregne risiko for at en selv skal bli skadet, som fotgjenger, syklist eller bilist, ønsker å finne ut hvor farlig en type kjøretøy er, bør alle skadene som denne typen kjøretøy bidrar til inngå i beregningene. Om vi vil ha et mål på hvor farlig det er med biltrafikk, må vi derfor både ta med skadene som skjer blant dem som sitter i bilene, og skadene blant dem som blir påkjørt av bilene.

Foran har vi vist beregninger av ulike trafikantgruppers risiko for selv å bli skadd eller drept. Dette kan betegnes som egenrisikoen. De har også en fremmedrisiko – dvs. risikoen for at de skal ramme en annen trafikant. Summen av egenrisiko og fremmedrisiko kan betegnes som en trafikantgruppes totalrisiko.

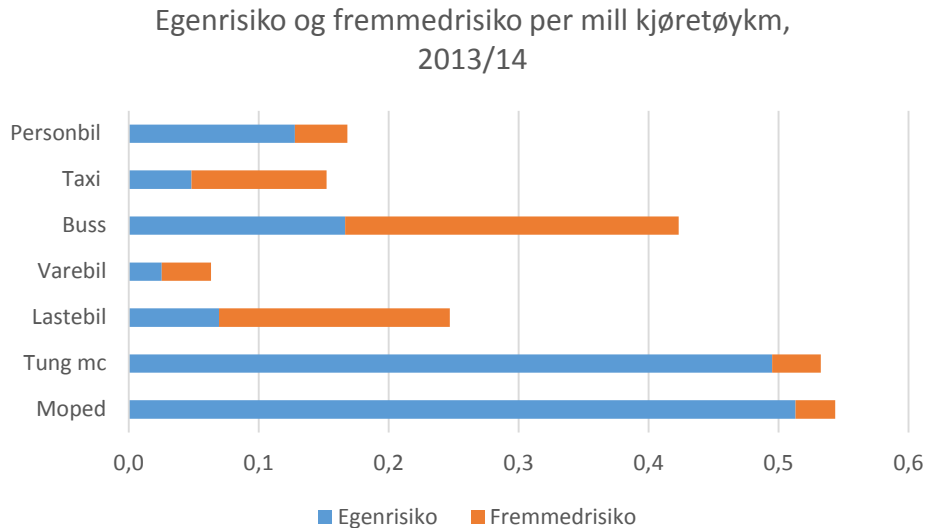
En utfordring i beregningen av fremmedrisiko er at man får dobbelttelling. En ulykke der en personbilsjåfør og en varebilsjåfør begge skades, vil inngå i begge kjøretøytypers fremmedrisiko; personbilsjåføren har påført varebilsjåføren skade og varebilsjåføren har påført personbilsjåføren skade. Det betyr at det er problematisk å summere totalrisikoen for flere trafikanter. Men totalrisikoen kan likevel være nokså illustrerende når det gjelder hvor stor risikoen er for at andre skades.

En annen utfordring gjelder hvilket eksponeringsmål som bør anvendes i slike beregninger. Vaaje (1982) bruker personkilometer, men det kan diskuteres hvor treffende det er for å estimere fremmedrisiko. Et kjøretøy påfører andre like stor risiko uansett hvor mange passasjerer som sitter i kjøretøyet. Det kan følgelig synes rimeligere å benytte kjøretøykilometer enn personkilometer for å beregne fremmedrisikoen.

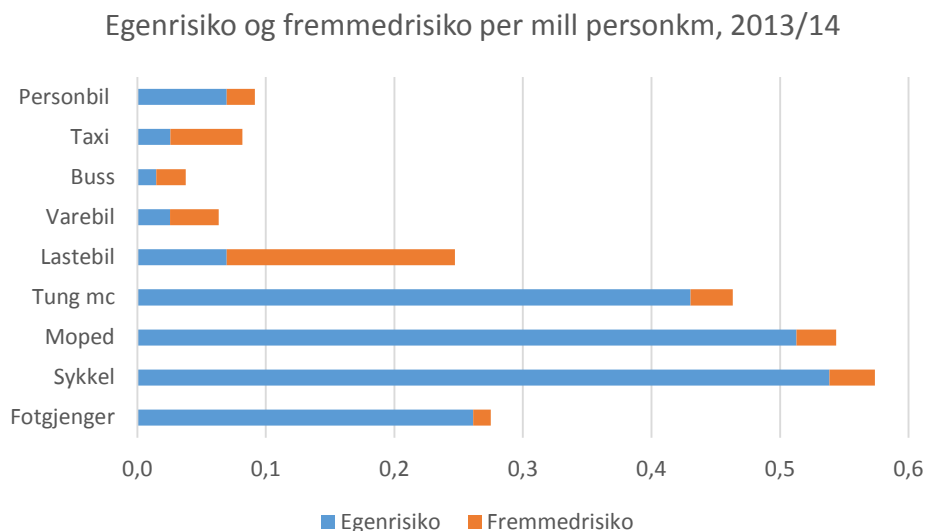
Muligens får en det mest korrekte bildet av totalrisikoen ved å benytte personkilometer som eksponeringsmål for passasjerer (og førere) og kjøretøykilometer som eksponeringsmål for andre trafikanter utenfor kjøretøyet. Logikken bak det er at i beregningen av egenrisikoen bør antall passasjerer inngå i regnestykket; en buss frakter minst ti ganger så mange som en personbil, og det blir ikke tatt hensyn til ved å benytte kjøretøykilometer som eksponering i beregning av egenrisiko. For andre trafikanter er det irrelevant hvor mange passasjerer som sitter i et kjøretøy man kolliderer med. Så om man benytter personkilometer (passasjerkilometer) som eksponeringsmål underdrives fremmedrisikoen til kjøretøy som buss og trikk. Det kan dermed argumenteres for at et slikt risikomål som

kombinerer to ulike eksponeringsmål kan virke logisk. Et problem som oppstår er imidlertid hvordan man skal tolke estimatet for totalrisiko som man da får ut. Det gir ikke noen intuitiv tolkning.

Figur 9, 10 og 11 viser beregninger av egenrisiko, fremmedrisiko og totalrisiko med de ulike eksponeringsmålene. Skadetallene som er benyttet er offisielle tall fra SSB for 2013 og 2014. Eksponeringstallene som er brukt er dels fra RVU 2013/2014 og dels fra TØIs oppgaver over transportytelser i Norge (Farstad, 2014).

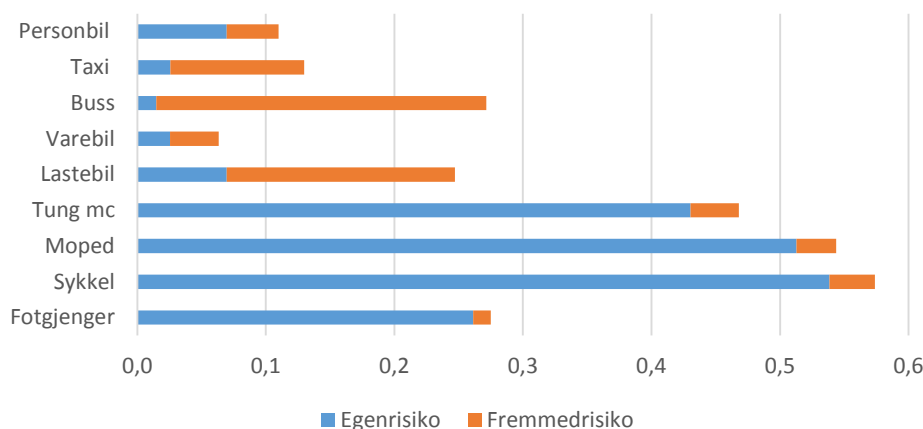


Figur 9. Egenrisiko og fremmedrisiko målt som antall drepte eller skadde per millioner kjøretøykilometer. Skadetall fra SSB 2013 og 2014 og eksponeringstall fra RVU 2013/14 og fra TØIs statistikk over transportytelser i Norge. Gjennomsnitt 2013/2014.



Figur 10. Egenrisiko og fremmedrisiko målt som antall drepte eller skadde per millioner personkilometer. Skadetall fra SSB 2013 og 2014 og eksponeringstall fra RVU 2013/14 og fra TØIs statistikk over transportytelser i Norge. Gjennomsnitt 2013/2014.

Egenrisiko per mill personkm og fremmedrisiko per mill kjøretøykm, 2013/14



Figur 11. Egenrisiko og fremmedrisiko målt som antall drepte eller skadde per millioner personkilometer (egenrisiko) og per millioner kjøretøykilometer (fremmedrisiko). Skadetall fra SSB 2013 og 2014 og eksponeringstall fra RVU 2013/14 og fra TØIs statistikk over transportytelser i Norge. Gjennomsnitt 2013/2014.

Det er særlig estimatene for buss som endres avhengig av hvilket eksponeringsmål man benytter. Forklaringen er naturligvis at buss skiller seg fra de andre kjøretøyene og transportformene ved at bussene har mange flere personer om bord. Dermed blir forskjellen mellom kjøretøykilometer og personkilometer veldig stor for buss. Blant de andre kjøretøyene spiller det ikke så stor rolle om personkilometer eller kjøretøykilometer benyttes, og det skyldes at personbelegget ikke er så forskjellig.

Hvilke andre trafikantgrupper er det så bussene påfører risiko? Offisielle skadedata fra SSB for 2013 og 2014 viser at det i begge år var 22 fotgjengere og 8 syklister som ble skadet i ulykker med buss. I 2013 var det i tillegg 55 bilførere, 13 bilpassasjerer og 8 personer på motorsykkel eller moped som ble skadet i kollisjoner med buss. Tilsvarende tall for 2014 var 34 bilførere, 8 bilpassasjerer og 5 personer på motorsykkel eller moped.

I beregningene av fremmedrisiko er det ikke helt opplagt hva som er mest korrekt å benytte som eksponeringsmål. Og bildet kan kompliseres ytterligere om man i tillegg problematiserer hvilke ulykker og skader som skal regnes inn i fremmedrisikoen. Mange ulykker blant fotgjengere skyldes fall når de har løpt for å nå trikk eller buss. Er da disse fallskadene blant fotgjengere en del av trikkens og bussens fremmedrisiko? Nei, det virker urimelig å klassifisere dem slik, men det er samtidig klart at for å få et fullstendig bilde av risikofaktorer for fotgjengere er dette viktig.

Et annet eksempel som ikke er like opplagt, gjelder trikkens fremmedrisiko. Registreringene av sykkelskader ved Oslo legevakt viser at hele 10 % av skadetilfellene i 2014 «skyldes» velt pga. trikkeskinner ifølge syklistene selv. Det viser at trikkeskinner er en risikofaktor for syklister som muligens bør ses som en del av trikkens fremmedrisiko. Problemet er hvordan man eventuelt skulle innkalkulert dette – det inngår jo ikke i noen form for eksponeringsmål.

Thune-Larsen et al. (2014) har drøftet og kostnadsberegnet en del slike eksterne effekter av veitrafikk.

## 6 Konsekvenser av å overføre trafikk fra bil til sykkel og gange

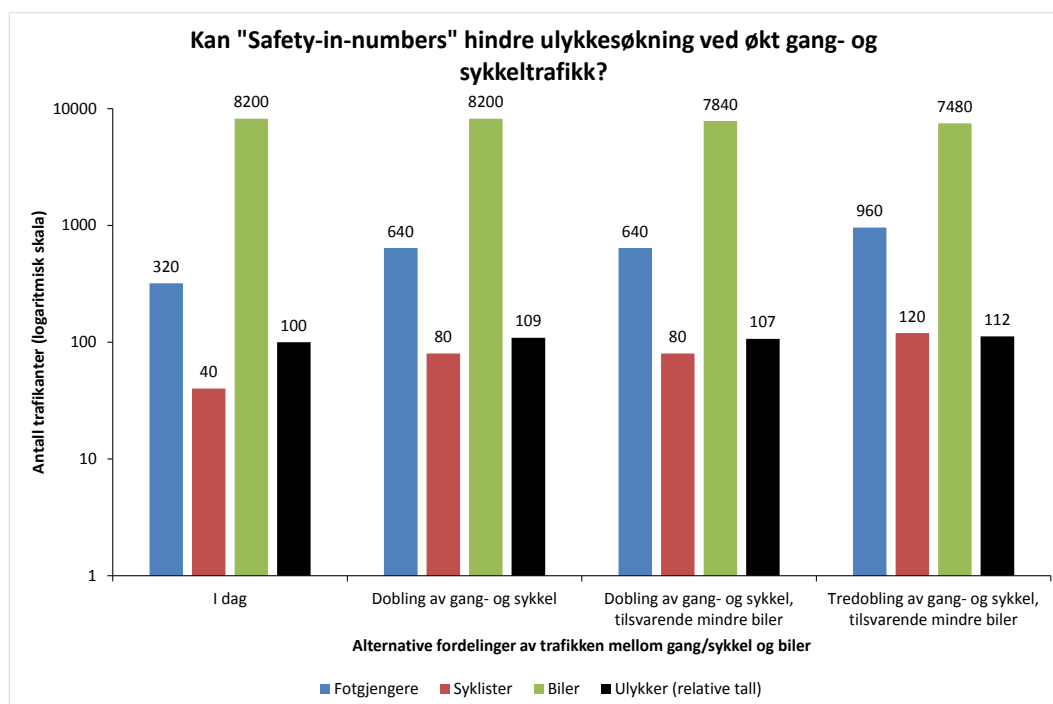
I dette kapitlet skal vi drøfte konsekvensene i form av skadekonsekvenser og helsekonsekvenser av at en stor del av trafikk med bil overføres til sykkel. Dette er et politisk mål, men pga. risikoforskjellene mellom bil og sykkel, kan en slik trafikkoverføring føre til flere skader og dermed være ugunstig ut fra et helseperspektiv.

Det er godt dokumentert at det er en ikke-lineær sammenheng mellom ulykker og eksponering, dvs. at jo mer man utfører en aktivitet, desto lavere blir risikoen for å bli involvert i en ulykke. Det betyr at det ikke er opplagt hva skadekonsekvensene blir av å overføre trafikk fra bil til sykkel og gange. Som nevnt kan denne ikke-lineariteten tolkes som en tradisjonell læringskurve; man blir selv flinkere jo mer man øver (reduisert risiko med økt kjørelengde) og dels som læring gjennom «safety in numbers» (SIN): jo flere aktører av en viss type som kommer inn i en populasjon (f.eks. trafikk), desto mer vil andre typer være forberedt på å møte den aktuelle typen. Det betyr for eksempel at jo flere syklistene det er i trafikken, jo sikrere er det for hver enkelt fordi andre trafikanter er forberedt på å møte syklistene. SIN-effektene er også godt dokumentert i norske studier (De Goede et al., 2014; Elvik & Bjørnskau, forthcoming; Fyhri et al., 2015). Vi må derfor ta hensyn til denne ikke-lineariteten når vi skal beregne effekter av å flytte transportarbeid fra bil til sykkel og gange.

Vi tar utgangspunkt i at det er eksponering i form av avstand som er det mest relevante eksponeringsmålet, som vi har argumentert for foran, dvs. at vi forsøker å beregne effektene av at transportarbeid flyttes fra bil til sykkel og gange. Vi presenterer først beregninger basert på offisielle skadetall beregnet av Elvik og Høye (2015) og deretter nye beregninger basert på skadetall fra Oslo legevakt (Melhuus et al., 2015) og RVU 2013/14.

### 6.1 Beregninger basert på offisielle skadetall

Elvik og Høye (2015) har beregnet forventet antall personskadeulykker ved endringer i gang- og sykkeltrafikk basert på data fra 159 gangfelt i Oslo. De benytter et estimat på SIN-effekten på 0,5, dvs. at ulykkene øker med trafikkveksten opphøyd i 0,5, noe som gir 41 % ulykkesøkning når trafikken øker med 100 %. Resultatene er vist i figur 12.



Figur 12. Forventede endringer i antall personskadenulykker ved endringer i gang- og sykkeltrafikk. Beregninger basert på data fra 159 gangfelt i Oslo. Kilde: Elvik & Høye (2015).

Elvik & Høye (2015) finner at om gang- og sykkeltrafikken dobles, øker ulykkene totalt med 9 % om biltrafikken er konstant, og med 7 % om biltrafikken går ned tilsvarende økningen i gange og sykling. Med en tredobling av gang- og sykkeltrafikken og tilsvarende reduksjon av antall biler, øker ulykkene totalt med 12 %. Resultatene viser nokså moderate ulykkesøkninger, men de viser at skadetallene totalt sett må forventes å øke med en overgang fra bil til sykkel og gange.

En utfordring i mange slike beregninger er at de er basert på offisielle ulykkestall som i stor grad vil være kollisjoner og som dermed opererer med en SIN-effekt som kan være for høy dersom man tar med de mange eneulykkene blant syklister og fotgjengere. Om vi hadde inkludert også alle skader som kommer fra eneulykker, er det langt mindre grunn til å forvente en så gunstig «safety in numbers»-effekt. Dette er undersøkt av Schepers (2012) når det gjelder sykkel. Han konkluderer med at det likevel er en slik effekt basert på en sammenligning av nederlandske kommuner med ulikt omfang av sykling. Effekten er i størrelsesorden 0,8, dvs. at når sykkeltrafikken øker med 100 % øker skadetallene med 74 %. Schepers anfører to argumenter for hvorfor det er slik: a) kommuner med mye sykling har mer erfarne og dermed sikrere syklister, og b) infrastruktur og sykkeltiltak er bedre i kommuner med mye sykling, noe som gir færre ulykker og skader.

Begge argumenter er plausible når en studerer variasjoner mellom kommuner (tverrsnittsdata). Men om en skal vurdere hva som vil skje i en kommune når syklingen øker, er det opplagt at det første argumentet ikke vil være gyldig. Økt sykling vil normalt innebære at uerfarne syklister kommer inn i populasjonen. Det vil kunne bidra til at ulykkene øker mer enn sykkeltrafikken. Samtidig er det gode grunner til å anta at en politikk for å få flere til å sykle vil innebære forbedringer i infrastruktur og vedlikehold, noe som vil redusere risikoen.

Paul Schepers og Eva Heinen har gjennomført en meget interessant og omfattende studie i Nederland der de undersøker hvordan forventet skadetall blant ulike trafikantgrupper varierer mellom nederlandske kommuner som en funksjon av trafikkomfang, befolkningstetthet og alder på trafikantene (Schepers & Heinen, 2013). I tillegg estimerer Schepers og Heinen effektene på skadeomfang av å overføre hhv. 10 %, 30 % og 50 % av korte bilturer (< 7,5 km) til sykkel. Resultatene viser en klar SIN-effekt for syklister, og at antall drepte ikke øker når korte bilturer erstattes med sykkel, uansett størrelsen på overføringen av trafikk.

Når det gjelder alvorlige skader viser imidlertid beregningene at disse øker når trafikk overføres fra bil til sykkel. Det er særlig to årsaker til dette, og den viktigste er at skadeomfanget øker pga. flere eneulykker blant syklister. I tillegg er det en effekt av alder som gir seg utslag; eldre syklister har mye høyere risiko som syklister enn andre aldersgrupper, og disse utgjør en forholdsvis stor andel av syklisterne i Nederland. Forfatterne finner at for ungdom (18-24 år) er det ubetinget gunstig med en overføring av trafikk fra bil til sykkel. Schepers og Heinens studie er nokså unik ved at de både estimerer effekter for ulike aldersgrupper og ved at de inkluderer eneulykker på sykkel i datasettet.

## 6.2 Beregninger basert på data fra OUS og RVU 2014

Beregningene som presenteres under er basert på data for syklistskader som er registrert av Oslo Universitetssykehus og ved Oslo legevakt i 2014 (Melhuus et al., 2015), ulykkesdata fra SSB i 2014 og reisevanedata fra Oslo i 2013/2104.

Beregningene tar hensyn til følgende forhold:

- Ikke-lineære sammenhenger i ulykestall: Safety in numbers-effekt på 0,8.
- Underrapportering av trafikkskader (1:10 blant syklister, 1:2 blant bilførere)
- Redusert fremmedrisiko for bil → redusert egenrisiko for sykkel
- Folkehelseeffekten av økt mosjon

Vi har ikke tatt hensyn til at det også er dokumentert ikke-lineære sammenhenger i eksponering dvs. at når sykkel erstatter bil på de samme reisene, blir reisene i gjennomsnitt noe kortere (Van Boggelen, Janssen, & Everaars, 2005). Grunnen er at man med sykkel ofte kan ta snarveier som ikke er mulig med bil. Vi har ikke tatt med redusert SIN-effekt blant bilister i dette regneeksemplet. Den vil uansett ha helt marginal betydning for resultatene.

I beregninger av helsekonsekvenser har noen studier også tatt hensyn til konsekvensene av at syklister er mer eksponert for luftforurensning enn det personer som sitter i bil er (de Hartog, Boogaard, Nijland, & Hoek, 2010). Dette har vi ikke tatt med i beregningene under. Vi har heller ikke tatt inn det gunstige bidraget (for alle) av at redusert bilkjøring gir redusert luftforurensning.

### 6.2.1 Beregninger av skadekonsekvenser

Beregningene av skadekonsekvenser er vist i tabell 2, og de viser at om 1000 personer i Oslo begynner å sykle i stedet for å kjøre bil og dermed sykler 10 km per dag 8 måneder i året, vil det gi en forventet årlig økning på 10 skadetilfeller som kommer til behandling ved Oslo legevakt.

Tabell 2 Skadekonsekvenser av at 1000 personer i Oslo går over fra å kjøre bil til å sykle 10 kilometer per dag.

Forutsetninger:	
Safety in numbers-effekt for syklist	0,8
Risiko sykkel OUS (per mill personkm)	8,00
Risiko bilfører SSB (per mill personkm)	0,08
Sann risiko bilfører (per mill personkm (50 % rapportering))	0,16
Fremmedrisiko bil (per mill kjøretøykm)	0,04
Antall fra bil til sykkel (personer)	1000
Sykling per dag (kilometer)	10 km
Sykkelsesong 8 måneder	240 dager
Økt sykling (1000 x 10 x 240)	2,4 mill km
Antall nye skadde syklist (2,4 x 8) <sup>0,8</sup> – (2,4 x 0,04)	10,54
Antall færre skadde bilførere: (2,4 x 0,16)	0,39
<b>Nye skadetilfeller per år:</b>	<b>10,15</b>

Beregningene fra Oslo i tabell 2 bekrefter dermed resultatene fra de nederlandske beregningene til Schepers og Heinen (2013) og de norske beregningene fra Elvik og Høye (2015). En overføring av trafikk til sykkel (og gange) vil gi økte skadetall til tross for SIN-effekten.

### 6.2.2 Beregninger av helsekonsekvenser

Når vi skal beregne de samlede helsekonsekvensene av at 1000 bilister starter å sykle 10 km per dag i stedet for å kjøre bil, må vi ta inn gevinsten av mosjon sammen med tapet i form av flere skader.

For å sammenligne slike ulike størrelser – skader og helsegevinst, må vi benytte et felles mål. I helseøkonomi er det etter hvert standard å beregne helsegevinster i form av innsparte kvalitetsjusterte leveår (QALYs). For å sammenligne innsparingen i QALYs med tap i form av skader benytter vi prissettingen av QALY som Helsedirektoratet har beregnet (Helsedirektoratet, 2014a) og prissettingen av skader hentet fra Veisten et al., (2007). Tallene er i begge tilfeller angitt i 2005-kroner. Skadekostnadene er beregnet ut fra den faktiske fordelingen av skadegrader blant skadde syklist i Oslo i 2014 i henhold til AIS-skalaen (Melhuus et al., 2015).

Helsedirektoratet oppgir at personer i aldersgruppen 40-49 år som går fra å være fysisk inaktive til å bli aktive, i gjennomsnitt vinner seks QALYs (Helsedirektoratet, 2010). Vi har benyttet dette i våre beregninger av helsegevinsten av å sykle. Hadde vi antatt at personene som går over til å sykle er yngre, ville innsparingen i QALYs vært større; hadde de vært eldre, ville innsparingen vært mindre.

I beregningene er det forutsatt at mosjonsgevinsten kun tilfaller halvparten av de nye syklistene. Bakgrunnen for dette er en antakelse om at en del av dem som går over til å sykle vil gjøre dette i stedet for annen trening som de allerede driver med. Det har vært en diskusjon om denne såkalte «substitusjonseffekten». Det finnes enkelte undersøkelser som kan tyde på at denne kan være ganske stor og større enn 50 % (Börjesson & Eliasson, 2012; Veisten et al., 2011), mens andre studier kan tyde på at det ikke er noen substitusjonseffekt i det hele tatt (Fyhri, 2015b). I beregningene har vi vært konservative og antatt 50 % som har vært et vanlig estimat på substitusjonseffekten.

I beregningene har vi antatt en tidshorisont på 30 år ut fra en vurdering av at man kan fortsette å sykle i 30 år når man er i aldersgruppen 40-49 år. Vi har multiplisert antall skader per år med 30 for å få et mål på det totale skadetapet i løpet av denne perioden. Dette er så motregnet mot vunne QALYs. Tabell 3 viser forutsetningene og resultatene av beregningene av helsekonsekvenser.

Tabell 3 Helsekonsekvenser av at 1000 personer i Oslo går over fra å kjøre bil til å sykle 10 kilometer per dag.

Forutsetninger:	
Nye syklistere	1000
Nye skadetilfeller per år	10,15
Antall nye syklistere med mosjonsgevinst (50 %)	500
Risiko sykkel OUS (per mill personkm)	8,00
Innsparing i antall QALYs (år) av økt mosjon (40-49 år)	6
Tidshorisont (år)	30
Gevinst 1 QALY (2005-kroner)	500 000
Skadekostnader (2005-kroner) (snitt i Oslo)	441 273
Totalt antall skader over tidshorisonten (10,15 x 30)	304
Totalt antall vunne QALYs (500 x 6)	3000
Total tap (skadetilfeller x kostnad) (udiskontert)	Kr 134 326 319
Total gevinst (innsparte QALYs x pris) (udiskontert)	Kr 1 500 000 000
Nåverdi skade (summen av skader over 30 år med kalkulasjonsrente = 4 %)	Kr 77 449 650
Nåverdi QALY (verdi om 30 år med kalkulasjonsrente = 4 %)	Kr 462 478 002
Nyttekostnadsbrøk (Nåverdi QALY/Nåverdi skade)	<b>6,0</b>



Vår enkle beregninger er basert på at mosjonsgevinsten kun tilfaller 50 % av dem som begynner å sykle, og det er beregnet for dem som er i aldersgruppen 40–49 år. Nyttekostnadsbrøken blir 6,0 når vi diskonterer framtidige gevinster og tap med en kalkulasjonsrente på 4 %. Uten diskontering blir nyttekostnadsbrøken 11,2. Dersom vi hadde regnet med at alle som begynner å sykle får en mosjonsgevinst ville nytten vært dobbelt så stor, og nyttekostnadsbrøken ville blitt 12. Om vi hadde forutsatt at de som går over fra bil til sykkel var yngre, ville også forholdet mellom mosjonsgevinsten og skadetapet blitt større, og nyttekostnadsbrøken ville dermed også blitt større.

Dette enkle regneeksemplet viser at gevinsten av økt sykling trolig er langt større enn forventet tap pga. skader, i tråd med resultater fra andre studier av dette (de Hartog et al., 2010; Statens vegvesen, 2014; Sælensminde, 2004).

# 7 Oppsummering og konklusjon

## 7.1 Svar på problemstillingene

Innledningsvis presenterte vi problemstillingene som Statens vegvesen ønsket å få besvart i dette prosjektet. Basert på gjennomgangen av litteraturen, drøftinger og beregninger vil vi i dette kapitlet forsøke å oppsummere våre svar på disse problemstillingene.

### 1. «Kan det være andre måter å forstå risiko på enn det vi har i dagens trafikksikkerhetsforskning som kan være mer fruktbart for trafikksikkerhetsarbeidet for gående og syklende?»

En viktig innsikt når det gjelder risiko for gående og syklende i trafikk er at risikoen for å bli skadet bør vurderes opp mot gevinsten av økt mosjon. Dette er etter hvert blitt en meget stor diskusjon i trafikksikkerhetsforskningen, og de fleste studier viser at den gunstige mosjonseffekten mer enn oppveier de negative effektene av sykling og gåing som skaderisiko på grunn av ulykker og risiko for lungeskader mv. på grunn av innånding av eksos (de Hartog et al., 2010). Våre enkle beregninger basert på data fra Oslo tyder på at helsegevinsten av økt sykling er mye større enn tapene knyttet til skadene, også når vi tar hensyn til de mange sykkelkadene som ikke blir registrert i den offisielle statistikken.

Denne innsikten eksemplifiserer en vanlig utfordring i mye sikkerhetsforskning, nemlig at om man satser på å øke sikkerheten maksimalt på ett felt, kan det føre til at eksponering og risiko overføres til andre områder, med totalt høyere skadetall som resultat (Bjørnskau, 2014). Når det gjelder sykling, har dette vært reist som en innvending mot å påby sykkelhjelmer. Mange studier, og især fra Australia og New Zealand, viser at et hjelmpåbud bidrar til å redusere antallet som sykler. Det betyr igjen at færre får mosjon slik at totaleffekten av et hjelmpåbud kan være at folkehelsen totalt sett blir svekket, til tross for at hjelmer har en gunstig skadereduserende effekt.

### 2. «Er det andre måter å forstå eksponering på enn antall kjøretøykilometer som kan være mer fruktbart for trafikksikkerhetsarbeidet for gående og syklende?»

Det vanligste eksponeringsmålet som benyttes for å beregne risiko for gående og syklende er personkilometer. Vi har foran drøftet andre mål, og særlig er tid i trafikk ofte trukket fram som et alternativ til avstand. I tillegg har det også blitt argumentert for at «hendelser som potensielt kan føre til ulykker» er det eksponeringsmålet som i størst grad er i overensstemmelse med det sannsynlighetsteoretiske grunnlaget (Elvik, 2015b).

Når det gjelder drøftingen av tid versus avstand har vi argumentert for at avstand bør være det foretrukne eksponeringsmålet. Det er i hovedsak to grunner til det:

- a) Tid tilbrakt i trafikk innebærer ikke nødvendigvis at det finner sted noen «forsøk» i sannsynlighetsteoretisk forstand. Om man sitter helt stille i en bilkø går tiden,

men det skjer ingen «forsøk». Dette ivaretas om man benytter avstand som mål – det tilbakelegges ingen avstand i dette tilfellet, så dermed blir eksponeringen målt i avstand null. Slik sett er avstand et mål som er nærmere det sannsynlighetsteoretiske grunnlaget enn tid, selv om heller ikke avstand er et perfekt mål på sannsynlighetsteoretiske forsøk.

- b) Et viktig utgangspunkt for dette prosjektet er målsettingen om at økt trafikk i byer og tettsteder i fremtiden skal skje gjennom gange, sykling og kollektivtransport. I praksis betyr dette at folk må gå over fra å kjøre bil til å benytte slike alternative transportmidler. Utgangspunktet for at folk reiser er som regel at det er en avstand som må tilbakelegges, man må for eksempel komme seg fra hjemmet til arbeidsplassen. I et slikt perspektiv blir tid et lite meningsfullt eksponeringsmål; man kan som regel ikke bytte ut en bilreise på 20 minutter med en sykkelreise på 20 minutter.

Det skal sies at man på sikt vil kunne tenke seg tilpasninger slik at man ikke vil komme til å sykle like langt i fremtiden som man i dag kjører bil, gitt en overgang fra bil til sykkel. Man vil trolig i større grad handle i nærområder, bosette seg nærmere arbeidsplassen osv. (Banister, 2011). Likevel, når problemstillingen er å erstatte bil med andre transportmidler er det visse reiser som må erstattes, og dermed er avstand et mer treffende eksponeringsmål enn tid.

### **3. «Kan det være fruktbart å trekke inn kontekstbegrepet i forståelse av eksponering og risiko?»**

Drøftingen av eksponering og risiko som er gjort i de foregående kapitlene, viser at det ikke er noe helt opplagt svar på hva som er mest korrekt å benytte av ulike eksponerings- og risikomål. Vi har argumentert for at i en viss forstand er det et kontinuum fra eksponering til ulykker, og man bør velge et eksponeringsmål som er rimelig dekkende for den aktiviteten man ønsker å vurdere risikoen i, men samtidig bør eksponeringsmålet ikke være ensbetydende med utfallet.

Dette er komplisert. Man kan argumentere med at et hendelsesbasert eksponeringsmål kanskje på teoretisk grunnlag er det mest korrekte, men at om man bruker det ukritisk, risikerer man å kontrollere bort de viktige forskjellene som skaper ulikheter i forventet ulykkes- og skadetall. Å vurdere risiko på to veier med antall møter som kan føre til kollisjon, som eksponering, virker riktig i en sannsynlighetsteoretisk forstand, men samtidig risikerer man da å ende opp med at to veier med ulikt omfang av møtende trafikk har samme risiko. Spørsmålet er hvor fruktbart dette er; det kan være det nettopp er omfanget av møter som er den risikofaktoren man er på jakt etter. Så konteksten – og hva man ønsker å vurdere og sammenligne blir viktig, selv om dette sjelden problematiseres.

### **4. «Hva vil eventuelt være fruktbart for trafikksikkerhetsarbeidet for gående og syklende ved å ha en annen forståelse av risiko og eksponering enn vi har i dag?»**

Det kanskje viktigste bidraget til å gi en mer fruktbar forståelse av risiko og eksponering for gående og syklende er muligens dokumentasjonen av at det absolutt største ulykkesproblemet for syklister (og trolig for fotgjengere) ikke er kollisjoner med motorkjøretøy, men eneulykker. 70–80 % av syklisters skader skjer på grunn av eneulykker. Dette er etter hvert godt dokumentert både fra Sverige (Niska & Eriksson, 2014) og gjennom enkeltundersøkelser fra Norge (Bjørnskau, 2005; Fyhri et al., 2012; Melhuus et al., 2015).

Tradisjonelt har søkelyset på syklisters risiko vært forholdet mellom sykkel og bil. Når 70-80 % skjer uten at det er noen bil tilstede, blir naturlig nok oppmerksomheten rettet mot infrastruktur, og vedlikehold av sykkelveier og –felt. At et av de aller viktigste sikkerhetstiltakene for syklist er å fjerne sand og grus fra veibanen om våren, er neppe noe man tidligere regnet med. At man i Oslo finner at 10 % av alle sykkelskader skjer fordi syklist velter pga. trikkeskinnene i byen, tilsier at trikkeskinner er en alvorlig risikofaktor som man bør prøve å gjøre noe med. Med over 2000 sykkelskader per år i Oslo, betyr det at det hver eneste dag i sykkelsesongen er en syklist som skader seg alvorlig på trikkeskinnene i byen. Og dette er til dels meget alvorlige skader.

Trolig er også fotgjengeres skader på samme måte i de aller fleste tilfeller fallulykker uten at motorkjøretøy er involvert. Konsekvensen av slike innsikter for trafikksikkerhetsarbeidet er at tiltak knyttet til utforming og vedlikehold av infrastruktur som sykkelanlegg, fortau, gang- og sykkelveier blir enda viktigere som enn det de oppfattes som i dag (Niska & Eriksson, 2014).

For fotgjengere og syklist er det dermed ikke endringer i forståelsen av eksponering som vil være mest utslagsgivende for trafikksikkerhetsarbeidet; det er endringer i rapporteringen av skader med bedre forståelse av hvilke risikofaktorer som forekommer hyppigst og som skaper flest ulykker og skader.

## **5. «Er det land som bruker en annen forståelse av risiko og eksponering enn det vi gjør? Hva er eventuelt fordelene eller ulempene ved den måten de gjør det på?»**

Som nevnt har man i Sverige integrert sykehus- og politiregistrerte trafikkskader i ett samlet register – STRADA, noe som har ført til økt oppmerksomhet omkring ulykker og fallskader. Dette gjelder først og fremst sykkel med mange trafikkskader som skulle vært registrert av politiet, men det gjelder også skader blant fotgjengere som tradisjonelt ikke har vært regnet som trafikkuulykker. Det spiller liten rolle for folkehelsen og sykefravær osv. hvorvidt fallskader blant fotgjengere regnes som trafikkskader eller ikke.

I EU-prosjektet SafetyNet som var bakgrunnen for oppbyggingen av ERSO – «The European Road Safety Observatory», ble det gjennomført en grundig kartlegging av hvordan ulike land og ulike organisasjoner beregner risiko (Yannis et al., 2005). Hovedutfordringen er i svært mange tilfeller at man mangler gode eksponeringsdata og til dels ulykkesdata. I SafetyNet ble det konkludert med at avstand i form av personkm eller kjøretøykm var de mest velegnede eksponeringsmålene, men samtidig at det var nokså få land som hadde slike data. Reisevaneundersøkelser gjennomføres i en del europeiske land, men langt fra i alle. Reisevaneundersøkelser er ofte den eneste kilden til eksponeringsdata for fotgjengere og syklist.

Det er stort sett diskusjoner om tid versus avstand som dominerer forskningslitteraturen, men de senere år har også hendelser vs. kontinuerlige eksponeringsmål (tid, avstand) blitt vanligere i forskningslitteraturen. Vi kjenner ikke til at det er bestemte land som konsekvent benytter det ene eller andre, men i Norge har normalt avstand vært brukt i risikoberegninger i trafikk (Bjørnskau, 2011). Mange argumenterer for at tid er mer «rettferdig» enn avstand (Chipman et al., 1992; Chipman, MacGregor, Smiley, & Lee-Gosselin, 1993; Santamariña-Rubio et al., 2014), men det er vi har ikke funnet at dette varierer systematisk mellom land. Som nevnt anbefaler SafetyNet at avstand benyttes.

I Norge har det som kjent skjedd en dreining fra søkelys på risiko til skadegrad, dvs. at interessen og innsatsen i større grad innrettes mot å hindre alvorlige skader, ikke å redusere risiko. Det betyr blant annet at tiltak på veier med mye trafikk og mange ulykker prioriteres framfor tiltak på veier med liten risiko, selv om risikoen på de sistnevnte veiene muligens er større. Tilsvarende er det lite oppmerksomhet omkring ulykkene med lette motorsykler selv om det er godt dokumentert at disse har mye høyere risiko enn andre typer kjøretøy (Bjørnskau, Nævestad, & Akhtar, 2010). Dette kan også ses som en riktig prioritering siden det absolutte antallet ulykker og skader med lett motorsykkel er forholdsvis lavt.

## 6. «Hvilke datasett er nødvendige for å gjøre slike analyser? Har vi slike datasett tilgjengelige for norske forhold?»

Over påpekte vi at siden man i Sverige har integrert politiregistrerte ulykkesdata med skadedata fra sykehusene i STRADA-registeret, har man fått man en helt annen type innsikt i hva som er ulykkes- og skadeproblemene for syklistene og fotgjengere. STRADA viser at om lag fire av fem sykkelulykker er eneulykker. En slik innsikt fører uvegerlig til at fokus når det gjelder tiltak i større grad blir rettet mot infrastruktur og vedlikehold og i mindre grad mot kollisjoner mellom syklistene og bilister.

Også i Norge har vi nå fått tilsvarende data fra Oslo skadelegevakt for 2014 for syklistene, som viser det samme mønsteret (Melhuus et al., 2015). Vi har også gjennomført surveys der syklistene selv rapporterer om det samme; det absolutt største ulykkesproblemet deres er eneulykker (Bjørnskau, 2005; Fyhri et al., 2012).

I tillegg til at data fra sykehus/legevakt er nødvendig for å komplettere skadebildet, er det også ønskelig å inkludere skader som fotgjengere får når de faller eller på andre måter skader seg uten at det er kjøretøy involvert. Slike skader defineres normalt ikke som trafikkulykker og har derfor tradisjonelt ikke inngått i den offisielle statistikken over veitrafikkulykker. Men i kommentarutgaven av «Vegtrafikkloven» (Torgersen & Engstrøm, 1998) heter det på s. 180: «Også syklistene som velter og fotgjengere som glir eller snubler på fortauet, må sies å være utsatt for trafikkuhell.» Det er følgelig ikke noe juridisk i veien for at eneulykker blant fotgjengere også defineres som trafikkuhell eller trafikkulykke. Også på dette området viser svenske STRADA-data at dette er et betydelig problem. Dette har også vært anført i miljøer som arbeider med forebygging slik som Trygge lokalsamfunn osv.

Det er derfor positivt at det har kommet et initiativ nå til at Oslo kommune og Statens vegvesen har tatt initiativ til at også fotgjengerskader i Oslo i 2016 skal registreres på tilsvarende måte som syklistskadene som ble registrert i Oslo skadelegevakt i 2014.

## 7.2 Konklusjon

Vi har presentert og drøftet ulike eksponeringsmål for å beregne risiko i trafikk. Vi har i hovedsak vurdert eksponeringsmålene avstand, tid og hendelser med muligheter for ulykker. Det siste eksponeringsmålet – hendelser – er det som oftest trekkes fram som det målet som er mest i tråd med det sannsynlighetsteoretiske grunnlaget, og som dermed teoretisk sett vurderes som det beste målet. I mange sammenhenger gir det god mening å benytte et slikt eksponeringsmål, men det kan være krevende å få relevante data. Vi har imidlertid argumentert for at i noen sammenhenger kan man

med et slikt mål kan man risikere å «kontrollere bort» interessante og viktige risikofaktorer. Dette illustrerer et generelt problem knyttet til valget av eksponeringsmål, hvis målet er for tett korrelert med utfallsmålet, slik for eksempel konflikter vil være med ulykker, gir det liten mening å benytte det som et eksponeringsmål. Dette innebærer også at man skal være varsom med å kontrollere for viktige risikofaktorer når man skal sammenligne risiko mellom grupper eller områder. Det betyr igjen at det ikke er noe absolutt svar på hva som er de beste eksponeringsmålene for å beregne risiko i ulike sammenhenger. Det beror på konteksten.

Vi vil likevel konkludere med at til tross for at avstand ikke alltid er «korrekt» i en sannsynlighetsteoretisk forstand, mener vi avstand vanligvis er et bedre eksponeringsmål enn tid i trafikk, vel å merke når man sammenligner ulike trafikantgrupper, og spesielt om man vil undersøke konsekvensene av å erstatte ett transportmiddel med et annet. Vi vil også argumentere for at om man ønsker å benytte mer sofistikerte eksponeringsmål som «hendelser» som kan føre til ulykke, må man være varsom så man ikke kontrollerer bort interessante risikofaktorer som skaper forskjeller i forventete ulykkestall.

En viktig innsikt når det gjelder risiko for gående og syklende i trafikk er at risikoen for å bli skadet bør vurderes opp mot gevinsten av økt mosjon. Dette er etter hvert blitt en meget stor diskusjon i trafikksikkerhetsforskningen, og de fleste studier viser at den gunstige mosjonseffekten mer enn oppveier de negative effektene av sykling. Våre beregninger viser også en slik gunstig effekt, også når vi benytter sykehusrapporterte skadetall.

Det kanskje viktigste bidraget til å gi en mer fruktbar forståelse av risiko og eksponering for gående og syklende fra dette prosjektet er muligens dokumentasjonen av at det absolutt største ulykkesproblemet for syklistene (og trolig for fotgjengere) ikke er kollisjoner med motorkjøretøy, men eneulykker. Når 70-80 % av sykkelskadene skjer uten at det er noen bil til stede, blir naturlig nok oppmerksomheten rettet mot infrastruktur, og vedlikehold av sykkelveier og –felt. At et av de aller viktigste sikkerhetstiltakene for syklistene er å fjerne sand og grus fra veibanen om våren, er neppe noe man tidligere regnet med. Trolig er også fotgjengeres skader på samme måte i de aller fleste tilfeller fallulykker uten at motorkjøretøy er involvert. Konsekvensen av slike innsikter for trafikksikkerhetsarbeidet er at tiltak knyttet til utforming og vedlikehold av infrastruktur som sykkelanlegg, fortau, gang- og sykkelveier blir enda viktigere enn det de oppfattes som i dag.

For fotgjengere og syklistene er det dermed ikke endringer i forståelsen av eksponering som vil være mest fruktbart og utslagsgivende for trafikksikkerhetsarbeidet; det er endringer i rapporteringen av skader med bedre forståelse av hvilke risikofaktorer som forekommer hyppigst og som skaper flest ulykker og skader.

## 8 Referanser

- Backer-Grøndahl, A., & Sagberg, F. (2011). Driving and telephoning: Relative accident risk when using hand-held and hands-free mobile phones. *Safety Science*, 49(2), 324-330. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2010.09.009>
- Banister, D. (2011). The trilogy of distance, speed and time. *Journal of Transport Geography*, 19(4), 950-959. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2010.12.004>
- Bjørnskau, T. (1994). Spillteori, trafikk og ulykker: En teori om interaksjon i trafikken TØI-rapport 287/1994, Dr. polit-avhandling. Oslo: Transportøkonomisk institutt & Universitetet i Oslo.
- Bjørnskau, T. (2001). Samspill i Sørkedalsveien. Konflikter mellom bil og sykkel før og etter sykkelkampanjene 1998-2001. TØI-rapport 542/2001. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Bjørnskau, T. (2005). Sykkelykker - Ulykkestyper, skadekonsekvenser og risikofaktorer TØI-rapport 793/2005. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Bjørnskau, T. (2009). Høyriskogrupper eksponering og risiko i trafikk TØI rapport 1042/2009. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Bjørnskau, T. (2011). Risiko i veitrafikken 2009-2010 TØI rapport 1164/2011. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Bjørnskau, T. (2014). *Some paradoxes and challenges in transport safety*. Paper presented at the Transportation Research Arena, Paris.
- Bjørnskau, T. (2015). Risiko i veitrafikken 2013-2014 TØI rapport 1448/2015. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Bjørnskau, T., Nævestad, T.-O., & Akhtar, J. (2010). Trafikksikkerhet blant mc-førere. TØI-rapport 1075/2010. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Bjørnskau, T., & Sagberg, F. (2005). What do novice drivers learn during the first months of driving? Improved handling skills or improved road user interaction? In G. Underwood (Ed.), *Traffic & Transport Psychology. Theory and Application*. (pp. 129-140): Elsevier.
- Borger, A., Fosser, S., Ingebrigtsen, S., & Sætermo, I.-A. (1995). Underrapportering av trafikkulykker TØI-rapport 318/1995. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Brown, R. J. (1981). A method for determining the accident potential of an intersection. *Traffic Engineering and Control*, 22, 646-651.
- Börjesson, M., & Eliasson, J. (2012). The value of time and external benefits in bicycle appraisal. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(4), 673-683. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2012.01.006>
- Cardoso, J. L. (2005). The use of international data on fuel sales and vehicle fleet for the estimation of yearly national traffic volumes. *Accident Analysis & Prevention*, 37(1), 207-215. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2003.12.005>
- Casella, G., & Berger, R. L. (2002). *Statistical Inference*: Thomson Learning.
- Chapman, R. (1973). The concept of exposure. *Accident Analysis & Prevention*, 5(2), 95-110. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0001-4575\(73\)90018-3](http://dx.doi.org/10.1016/0001-4575(73)90018-3)

- Chipman, M. L., MacGregor, C. G., Smiley, A. M., & Lee-Gosselin, M. (1992). Time vs. distance as measures of exposure in driving surveys. *Accident Analysis & Prevention*, 24(6), 679-684. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0001-4575\(92\)90021-A](http://dx.doi.org/10.1016/0001-4575(92)90021-A)
- Chipman, M. L., MacGregor, C. G., Smiley, A. M., & Lee-Gosselin, M. (1993). The role of exposure in comparisons of crash risk among different drivers and driving environments\*. *Accident Analysis & Prevention*, 25(2), 207-211. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0001-4575\(93\)90061-Z](http://dx.doi.org/10.1016/0001-4575(93)90061-Z)
- De Goede, M., Fyhri, A., Laureshyn, A., & Bjørnskau, T. (2014). *Exploring the mechanisms behind the Safety in Numbers Effect: A behavioural analysis of interactions between cyclists and car drivers in Norway and Denmark*. . Paper presented at the International Cycling Safety Conference, Göteborg.
- de Hartog, J. J., Boogaard, H., Nijland, H., & Hoek, G. (2010). Do the Health Benefits of Cycling Outweigh the Risks? *Environmental Health Perspectives*, 118(8), 1109-1116. doi: 10.1289/ehp.0901747
- Eide, A. W., & Pultier, A. (2015). Can mobile applications revolutionize the way we collect traffic exposure data and accident figures? *SINTEF report*. Oslo: SINTEF.
- Elvik, R. (2015a). *Om å forklare endringer i antall drepte i trafikken - en tilnærmet umulig oppgave?* Paper presented at the Seminar "Bedre sikkerhet i trafikken" (BEST), Vegdirektoratet, Oslo.
- Elvik, R. (2015b). Some implications of an event-based definition of exposure to the risk of road accident. *Accident Analysis & Prevention*, 76, 15-24. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2014.12.011>
- Elvik, R., & Bjørnskau, T. (forthcoming). Safety-in-numbers: A systematic review and meta-analysis of evidence. *Safety Science*(in press). doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2015.07.017>
- Elvik, R., Erke, A., & Christensen, P. (2009). Elementary Units of Exposure. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2103, 25-31.
- Elvik, R., & Høy, A. (2015). Hvor mye kan antall drepte og hardt skadde i trafikken reduseres? Foreløpige beregninger. *TØI-rapport 1417/2015*. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Elvik, R., Høy, A., Vaa, T., & Sørensen, M. (2009). *The Handbook of Road Safety Measures* (Second edition ed.): Emerald Group
- Farstad, E. (2014). Transportytelser i Norge 1946-2013 *TØI-rapport 1359/2014*. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Folkehelseinstituttet. (2014). Skadebildet i Norge *Rapport 2014:2*. Oslo: Folkehelseinstituttet.
- Fridstrøm, L. (1999). Econometric models of road use, accident, and road investment decisions. Volume II. *TØI report 457/1999*. Oslo: Institute of Transport Economics.
- Fridstrøm, L. (2015). Disaggregate accident frequency and risk modelling. A rough guide. *TØI report 1403/2015*. Oslo: Institute of Transport Economics.
- Fridstrøm, L., Ifver, J., Ingebrigtsen, S., Kulmala, R., & Thomsen, L. K. (1995). Measuring the contribution of randomness, exposure, weather, and daylight to the variation in road accident counts. *Accident Analysis & Prevention*, 27(1), 1-20. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0001-4575\(94\)E0023-E](http://dx.doi.org/10.1016/0001-4575(94)E0023-E)
- Fridstrøm, L., & Ingebrigtsen, S. (1991). An aggregate accident model based on pooled, regional time-series data\*. *Accident Analysis & Prevention*, 23(5), 363-378. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0001-4575\(91\)90057-C](http://dx.doi.org/10.1016/0001-4575(91)90057-C)



- Fyhri, A. (2015a). *Big data - sykling og gåing i Norge*. Paper presented at the Seminar big data og fysisk aktivitet, Oslo.
- Fyhri, A. (2015b). Substitusjonseffekter– analyser av tverrsnitts- og paneldata for å undersøke om økt sykling fører til mindre trening *Arbeidsdokument 50829*. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Fyhri, A., Bjørnskau, T., & Sørensen, M. W. J. (2012). Krig og fred - en spørreundersøkelse om samspill og konflikter mellom biler og sykler *TØI-rapport 1246/2012*. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Fyhri, A., Sundfør, H. B., Bjørnskau, T., & Laureshyn, A. (2015). *Safety in Numbers for cyclists – conclusions from a multidisciplinary study of seasonal change in interplay and conflicts*. Paper presented at the International Cycling Safety Conference, Hannover.
- Gelman, A., Carlin, J. B., Stern, H. S., Dunson, D. B., Vehtari, A., & Rubin, D. B. (2014). *Bayesian Data Analysis* (3 ed.): Chapman & Hall/CRC Texts in Statistical Science.
- Guler, S. I., Grembek, O., & Ragland, D. R. (2013). *Using time-based metrics to compare cras risk across modes and locations*. Paper presented at the TRB Annual Meeting, Washington D.C.
- Haight, F. A. (1986). Risk, especially risk of traffic accident. *Accident Analysis & Prevention*, 18(5), 359-366. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0001-4575\(86\)90009-6](http://dx.doi.org/10.1016/0001-4575(86)90009-6)
- Hakamies-Blomqvist, L., Raitanen, T., & O'Neill, D. (2002). Driver ageing does not cause higher accident rates per km. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 5(4), 271-274. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1369-8478\(03\)00005-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1369-8478(03)00005-6)
- Hakkert, A. S., & Braimaister, L. (2002). The uses of exposure and risk in road safety studies R-2002-12. Leidschendam: SWOV, Institute for Road Safety Research.
- Hauer, E. (1982). Traffic conflicts and exposure. *Accident Analysis & Prevention*, 14(5), 359-364. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0001-4575\(82\)90014-8](http://dx.doi.org/10.1016/0001-4575(82)90014-8)
- Hauer, E. (1995). On exposure and accident rate. *Traffic Engineering and Control*, 36, 134-138.
- Helsedirektoratet. (2010). Vunne kvalitetsjusterte leveår (QALYs) ved fysisk aktivitet. *Rapport IS-1729*. Oslo: Helsedirektoratet.
- Helsedirektoratet. (2014a). *Innspill til oppdatering av reduserte helsekostnader for gående og syklende, samt konsistensvurderinger av verdsetting av liv og helse anvendt i ulike sammenbenger i Statens vegvesens håndbok 140*. Oslo: Helsedirektoratet, Avdeling finansiering og DRG.
- Helsedirektoratet. (2014b). Personskadedata 2014 Norsk pasientregister. *Rapport IS-2335*. Oslo: Helsedirektoratet.
- Howarth, C. I. (1982). The need for regular monitoring of the exposure of pedestrians and cyclists to traffic. *Accident Analysis & Prevention*, 14(5), 341-344. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0001-4575\(82\)90011-2](http://dx.doi.org/10.1016/0001-4575(82)90011-2)
- Hydén, C. (1987). *The development of a method for traffic safety evaluation: the Swedish traffic conflict technique*. Doctoral Thesis. Doctoral Thesis, Lund University.
- Høye, A., Elvik, R., Sørensen, M. W. J., & Vaa, T. (2012). *Trafikksikkerheshåndboken*. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- IRTAD. (2015). Road Safety Annual Report 2015 - Summary *International Transport Forum*. Paris: OECD International Traffic Safety and Data Analysis Group.
- Johannessen, S., & Heir, J. (1974). Trafikksikkerhet i vegkryss. En analyse av ulykkesforholdene i 187 vegkryss i perioden 1968-72. *Oppdragsrapport 4*. Trondheim: Forskningsgruppen, Institutt for samferselesteknikk Norges Tekniske Høgskole.

- Kraay, J. H., & van der Horst, A. R. A. (1985). The Trautenfels Study: A Diagnosis of Road Safety Using Dutch Conflict Observation Technique DOCTOR R-85-83. Leidschendam: SWOV Institute for Road Safety Research
- Kröyer, H. R. G. (2015). *Accidents between pedestrians, bicyclists and motorized vehicles: Accident risk and injury severity*. PhD Thesis Doctoral Thesis, Lund University, Lund.
- Kulmala, R. (1995). Safety at rural three- and four-arm junctions. Development and application for accident models. *VTT-report*. Espoo: VTT - Technical Research Centre of Finland.
- Langford, J., Methorst, R., & Hakamies-Blomqvist, L. (2006). Older drivers do not have a high crash risk—A replication of low mileage bias. *Accident Analysis & Prevention*, 38(3), 574-578. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2005.12.002>
- Laureshyn, A., Svensson, Å., & Hydén, C. (2010). Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioural data: Theoretical framework and first implementation. *Accident Analysis & Prevention*, 42(6), 1637-1646. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2010.03.021>
- Melhuus, K., Siverts, H., Enger, M., & Schmidt, M. (2015). Sykkelskader i Oslo 2014 Oslo Skadelegevakt Oslo: Oslo universitetssykehus, Helsedirektoratet og Statens vegvesen.
- Mindell, J. S., Leslie, D., & Wardlaw, M. (2012). Exposure-Based, 'Like-for-Like' Assessment of Road Safety by Travel Mode Using Routnie Health Data. *PLoS ONE*, 7(12). doi: 10.1371/journal.pone.0050606
- Nelder, J. A., & Wedderburn, R. W. M. (1972). Generalized Linear Models. *Journal of The Royal Statistical Society, Series B* 135, 370-384.
- Niska, A. (2006). Tema Vintermodell. Olycksrisiker och konsekvenser för olika olyckstyper på is- och snöväglag. *VTI rapport 556*. Linköping: VTI.
- Niska, A., & Eriksson, J. (2014). Statistik över cyklisters olyckor. Faktaunderlag till gemensam strategi för säker cykling. *VTI-rapport 801*. Linköping: Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI).
- Paefgen, J., Staake, T., & Fleisch, E. (2014). Multivariate exposure modeling of accident risk: Insights from Pay-as-you-drive insurance data. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 61, 27-40. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2013.11.010>
- Persaud, B. N., & Mucsi, K. (1995). Microscopic accident potential models for two-lane rural roads. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1485, 134-139.
- Phillips, R. O., Bjørnskau, T., & Hagman, R. (2007). Samspill i Sørkedalsveien - 6 år etter. *TØI-rapport 934/2007*. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Phillips, R. O., Bjørnskau, T., Hagman, R., & Sagberg, F. (2011). Reduction in car–bicycle conflict at a road–cycle path intersection: Evidence of road user adaptation? *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 14(2), 87-95. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2010.11.003>
- Povey, L. J., Frith, W. J., & Graham, P. G. (1999). Cycle helmet effectiveness in New Zealand. *Accident Analysis & Prevention*, 31(6), 763-770. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0001-4575\(99\)00033-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0001-4575(99)00033-0)
- Risk, A., & Shaoul, J. E. (1982). Exposure to risk and the risk of exposure. *Accident Analysis & Prevention*, 14(5), 353-357. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0001-4575\(82\)90013-6](http://dx.doi.org/10.1016/0001-4575(82)90013-6)
- Sagberg, F. (1997). Atferdsobservasjoner av sykkler og bilister i kryss mellom sykkelveg og bilveg. *TØI Notat 1072/1997*. Oslo: Transportøkonomisk institutt.

- Santamariña-Rubio, E., Pérez, K., Olabarria, M., & Novoa, A. M. (2014). Gender differences in road traffic injury rate using time travelled as a measure of exposure. *Accident Analysis & Prevention*, 65, 1-7. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2013.11.015>
- Schelling, T. (1960) *The Strategy of Conflict*. London, Oxford, New York: Oxford University Press.
- Schepers, J. P. (2012). Does more cycling also reduce the risk of single-bicycle crashes? *Injury Prevention*, 18, 240-245.
- Schepers, J. P., & Heinen, E. (2013). How does a modal shift from short car trips to cycling affect road safety? *Accident Analysis & Prevention*, 50, 1118-1127. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2012.09.004>
- Statens vegvesen. (2014). *Håndbok V712: Konsekvensanalyser*. Oslo: Statens vegvesen, Vegdirektoratet.
- Sundfør, H. B. (2015). *UTMOST – survey til syklister 2015 Arbeidsdokument*. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Sælensminde, K. (2004). Cost-benefit analyses of walking and cycling track networks taking into account insecurity, health effects and external costs of motorized traffic. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 38(8), 593-606. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2004.04.003>
- Thune-Larsen, H., Veisten, K., Rødseth, K. L., & Klæboe, R. (2014). Marginale eksterne kostnader ved vegtrafikk. *TØI-rapport 1307/2014*. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Torgersen, R. N., & Engstrøm, B. (1998). *Vegtrafikkloven og trafikkreglene med kommentarer*. Oslo: Universitetsforlaget.
- Vaaje, T. (1982). Risiko i vegtrafikken *Temaserien - Samferdsel 11*. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Van Boggelen, O., Janssen, R., & Everaars, J. (2005). Effect toename fietsaandeel op de verkeersveiligheid [Road Safety Effect of an Increase of Cycling in the Modal Split]. Rotterdam: Transport Research Centre.
- Vanparijs, J., Int Panis, L., Meeusen, R., & de Geus, B. (2015). Exposure measurement in bicycle safety analysis: A review of the literature. *Accident Analysis & Prevention*, 84, 9-19. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2015.08.007>
- Veisten, K., Flugel, S., Ramjerdi, F., & Minken, H. (2011). Cycling and walking for transport: Estimating net health effects from comparison of different transport mode users' self-reported physical activity. *Health Economics Review*, 1(1), 3.
- Veisten, K., Sælensminde, K., Alvær, K., Bjørnskau, T., Elvik, R., Schistad, T., & Ytterstad, B. (2007). Total costs of bicycle injuries in Norway: Correcting injury figures and indicating data needs. *Accident Analysis & Prevention*, 39(6), 1162-1169. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2007.03.002>
- Vågane, L., & Rideng, A. (2010). *Transportytelser i Norge 1946-2009 TØI-rapport 1090/2010*. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Walter, S. R., Olivier, J., Churches, T., & Grzebieta, R. (2011). The impact of compulsory cycle helmet legislation on cyclist head injuries in New South Wales, Australia. *Accident Analysis & Prevention*, 43(6), 2064-2071. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2011.05.029>
- Wolfe, A. C. (1982). The concept of exposure to the risk of a road traffic accident and an overview of exposure data collection methods. *Accident Analysis & Prevention*, 14(5), 337-340. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0001-4575\(82\)90010-0](http://dx.doi.org/10.1016/0001-4575(82)90010-0)

- Yamada, I., & Thill, J.-C. (2007). Local Indicators of Network-Constrained Clusters in Spatial Point Patterns. *Geographical Analysis*, 39(3), 268-292. doi: 10.1111/j.1538-4632.2007.00704.x
- Yannis, G., Papadimitriou, E., Lejeune, P., Treny, V., Bergel, R., Haddak, M., . . . Bjørnskau, T. (2005). State of the art report on risk and exposure data *SafetyNet Deliverable 2.1*: European Commission, Director-General Transport and Energy.
- Zhang, C., Ivan, J., & Ravishanker, N. (2008). Vehicle Time Spent in Following: New Exposure Measure for Predicting Same-Direction Collisions on Two-Lane Rural Roads. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2083, 162-169. doi: doi:10.3141/2083-19



## Transportøkonomisk institutt (TØI) Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning

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 70 høyt spesialiserte forskere.

Instituttet utgir tidsskriftet Samferdsel med 10 nummer i året og driver også forskningsformidling gjennom TØI-rapporter, artikler i vitenskapelige tidsskrifter, samt innlegg og intervjuer i media. TØI-rapportene er gratis tilgjengelige på instituttets hjemmeside [www.toi.no](http://www.toi.no).

TØI er partner i CIENS Forskningscenter for miljø og samfunn, lokalisert i Forskningsparken nær Universitetet i Oslo (se [www.ciens.no](http://www.ciens.no)). Instituttet deltar aktivt i internasjonalt forsknings-samarbeid, 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, offentlige beslutningsprosesser, næringslivets transport 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.

### Besøks- og postadresse:

Transportøkonomisk institutt  
Gautstadalléen 21  
NO-0349 Oslo

22 57 38 00  
[toi@toi.no](mailto:toi@toi.no)  
[www.toi.no](http://www.toi.no)