

Denne artikel er publiceret i det elektroniske tidsskrift

Artikler fra Trafikdage på Aalborg Universitet

(Proceedings from the Annual Transport Conference at Aalborg University)

ISSN 1603-9696

www.trafikdage.dk/artikelarkiv



Udviklingen i bilers passive sikkerhed - skadesgrad for førere af person- og varebiler

Forsker Allan Lyckegaard, ally@transport.dtu.dk, DTU Transport

Seniorforsker Tove Hels, ths@transport.dtu.dk, DTU Transport

Lektor Jeppe Rich, jr@transport.dtu.dk, DTU Transport

Lektor Carlo Giacomo Prato, cgp@transport.dtu.dk, DTU Transport

Instituddirektør Niels Buus Kristensen, nbu@transport.dtu.dk, DTU Transport

Abstrakt

Den nedadgående tendens som antallet af dræbte og tilskadekomne i trafikken har udvist de seneste årtier, kan tilskrives mange forskellige faktorer, deriblandt den teknologiske udvikling af bilerne. I forhold til ældre årgange er nyere årgange af køretøjer udviklet med en højere sikkerhedsstandard både med hensyn til passiv og aktiv sikkerhed. Artiklen undersøger, hvordan den betingede skadesgrad for køretøjets fører korrelerer med køretøjsårgangen og kvantificerer dermed effekten af køretøjernes passive sikkerhed.

Analysen er baseret på 80.502 førere af personbiler eller varevogne i 49.405 politiregistrerede uheld i Danmark fra 2004-2010. Datamaterialet indeholder både enueheld og flerpartsuheld. Uheld med fodgængere, cyklister og lastbiler er frasorteret, og kun førerens skadesgrad er analyseret. Datamaterialet indeholder for hver observation detaljeret information om føreren, køretøjet og uheldet. Skadesgraden for føreren angives i fire diskrete og ordnede kategorier: ingen/kun materiel skade (85 % af førerne), let personskaade (9 % af førerne), alvorlig personskaade (6 % af førerne), dræbt (under 1 % af førerne).

Da skadesgraden er diskret og ordnet, anvendes der i analysen en partial proportional odds model. I modellen inkluderes der foruden forklarende variable for køretøjet og uheldet også et antal forklarende variable for at tage højde den enkelte førers risikoprofil, bl.a. alder, køn, gyldighed af kørekort, selebrug og alkoholpromille for mandlige førere.

Resultaterne viser, at der er en effekt af køretøjets årgang på førerens skadesgrad. Sammenlignes et køretøj fra 2010 med 2000, ses en reduktion i andelen af dræbte på 37 %. Alvorlige personskaader reduceres med 23 % og lette personskaader med 13 %. Disse reduktioner sker på bekostning af, at flere førere udelukkende pådrager sig materiel skade.

Sidst præsenteres et antal scenarier, som på forskellig vis belyser effekterne af køretøjsårgangen. Første scenarie er en simulation af konsekvenserne af at udskifte alle køretøjer i uheldene fra 2010 med nye køretøjer fra 2010. Andet scenarie simulerer effekten af en et år yngre bilpark, og det sidste scenarie illustrerer effekten af at udskifte 50 % af køretøjerne, der er ældre end henholdsvis 10, 15 og 20 år, med nye køretøjer. Alle scenarier viser en reduktion af antallet af personskaader ved at udskifte ældre årgange af køretøjer med nyere.

Indledning

Antallet af dræbte og tilskadekomne i trafikken viser en klart nedadgående tendens hen over de seneste 30-40 år i såvel Danmark som de fleste andre vestlige lande (IRTAD 2010). I Danmark er det årlige antal dræbte trafikanter faldet fra et maksimum i 1971 på 1.213 (Danmarks Statistik) til 255 i 2010 (Statistikbanken). Tilsvarende tal for alvorligt tilskadekomne er henholdsvis 14.262 og 2.063. I samme periode er trafikken steget markant; antal kørte kilometer i personbil er næsten fordoblet fra 1980 (19,4 mia. km) til 2010 (33,0 mia. km, Danmarks Statistiks Statistikbank). Der er altså sket en betydelig reduktion i trafikanternes risiko for at komme alvorligt til skade pr. kørt kilometer. Mange faktorer bidrager til denne reduktion, herunder ændring i vejenes udformning, førerens kompetencer og holdninger, politiske virkemidler (love og regler, økonomiske incitamenter) og den teknologiske udvikling af bilerne (øget aktiv og passiv sikkerhed).

Når det gælder bilernes udformning, skelner man mellem aktiv og passiv sikkerhed. Aktiv sikkerhed bidrager til at risikoen for at der sker et uheld nedsættes. Passiv sikkerhed derimod nedsætter graden af alvorligheden, givet at der er sket et uheld. Bilfabrikanternes og myndigheders fokus på øget sikkerhed i bilerne har øget både den aktive og passive sikkerhed, og det er plausibelt, at dette også har øget trafikantens sikkerhed betydeligt. Der er dog også forhold, som trækker i modsat retning, idet øget aktiv og passiv sikkerhed kan påvirke førerens valg af hastighed og inducere risikobetonet kørsel, såkaldt kompenserende adfærd, fordi trafikanterne føler sig mere sikre.

Mens vi kan konstatere, at antallet af dræbte og tilskadekomne i trafikken har været for nedadgående i mange år, har vi ikke solid viden om, hvor meget hver af disse faktorer bidrager enkeltvis. Denne artikel har til formål at belyse betydningen af bilernes teknologiske udvikling over tiden.

I artiklen beskrives sammenhængen mellem bilers årgang og førerens skadesgrad, givet at et uheld er sket, også kaldet den betingede skadesgrad. Der ses således ikke på, i hvilket omfang bilens årgang har indflydelse på *hyppigheden* af uheldene, den såkaldte uheldsfrekvens. Begrundelsen for denne afgrænsning er, at menneskelige fejl og ikke bilens karakteristika er en hovedfaktor i årsagen til langt de fleste uheld. Der er i artiklen udarbejdet statistiske modeller for ovennævnte sammenhæng, idet der er anvendt data fra årene 2004-2010.

International viden på området

Sammenhængen mellem skadesgraden for førere af person- eller varebiler og visse fører-, køretøjs- og uheldskarakteristika er undersøgt flere gange i den internationale litteratur. De enkelte publikationer benytter forskellige metoder, datakilder og variable i deres analyser og er ikke i alle tilfælde direkte sammenlignelige. Samlet set giver litteraturen dog et overblik over de enkelte variable, som kan danne grundlag for hypoteser og valg af de variable, som anvendes i den endelige model.

Køretøjets alder og årgang er to forskellige variable, men de er korrelerede og udtrykker til en vis grad den samme information. Stigende alder betyder, at køretøjets generelle stand forringes på grund af rust, slitage og defekter, hvor årgangen derimod er et udtryk for køretøjets design. Langt de fleste forfattere finder, at skadesgraden er større, jo ældre et køretøj er eller jo ældre køretøjsårgangen er (Evans og Frick 1992, Evans og Frick 1993, Evans og Frick 1994, O'Donnell og Connor 1996, Crandal m.fl. 2001, Kockelman og Kweon 2002, Blows m.fl. 2003, Ulfarsson og Mannering 2004, Yau 2004, Newstead m.fl. 2006, Farmer og Lund 2006, Broughton 2008, Ryb m.fl. 2009, Mendez m.fl. 2010, Newstead m.fl. 2010, Anderson og Hutchinson 2010, Hutchinson og Anderson 2011). Andre finder flertydige eller modstridende resultater (Bedard m.fl. 2002, Martin m.fl. 2003, Ulfarsson og Mannering 2004, Martin og Lenguerrand 2008).

Når det gælder førerens køn, er mænd karakteriseret ved at være mere fysisk robuste og samtidig køre mere risikobetonet. Omkring halvdelen af de studier, som finder en effekt af førerens køn, finder, at kvinder har lavere betinget skadesgrad end mænd (Kockelman og Kweon 2002, Martin m.fl. 2003, Yau 2004, Wang og Kockelman 2005, Martin og Lenguerrand 2008, Ryb m.fl. 2009, Mendez m.fl. 2010).

Omkring samme antal studier finder, at mænd har lavere betinget skadesgrad end kvinder (Crandal m.fl. 2001, Bedard m.fl. 2002, Kockelman og Kweon 2002, Martin m.fl. 2003, Ulfarsson og Mannering 2004, Wang og Kockelman 2005, Eluru og Bhat 2007, Martin og Lenguerrand 2008). En lang række studier finder ingen effekt af kønnet. Litteraturen på dette område er altså ikke entydig.

Ligesom køn er alder et udtryk for fysisk robusthed såvel som kørestil: Man er stærkere som ung, men kører samtidigt mere risikobetonet kørsel, hvor ældre er mere fysisk svage, men også kører mere forsigtigt. Langt størstedelen af studierne finder, at ældre personer har større sandsynlighed for personskaade, når der sker et uheld (Jones og Whitfield 1988, Farmer m.fl. 1997, Kockelman og Kweon 2002, Bedard m.fl. 2002, Kockelman og Kweon 2002, Martin m.fl. 2003, Ulfarsson og Mannering 2004, Yau 2004, Wang og Kockelman 2005, Eluru og Bhat 2007, Martin og Lenguerrand 2008, Ryb m.fl. 2009, Anderson og Hutchinson 2010, Mendez m.fl. 2010, Hutchinson og Anderson 2011).

Hastigheden, hvorved et uheld er sket, kan direkte omsættes til den mængde energi, som skal absorberes af køretøjet og føreren. Man har sjældent adgang til den faktiske data om hastighed i uheldsøjeblikket, men benytter i stedet hastighedsbegrænsningen på vejen som en proxy. Af de studier som undersøger hastigheden, er der klart flest som finder, at højere hastigheder medfører større skader, når der sker et uheld (O'Donnell og Connor 1996, Farmer m.fl. 1997, Bedard m.fl. 2002, Kockelman og Kweon 2002, Ulfarsson og Mannering 2004, Wang og Kockelman 2005, Eluru og Bhat 2007, Ryb m.fl. 2009, Mendez m.fl. 2010). Tre studier inkluderer hastighed, men rapporterer ikke effekten (Blows m.fl. 2003, Newstead m.fl. 2006, Newstead m.fl. 2010), og kun et studie finder ingen effekt af hastigheden (Yau 2004). Analysen baserer sig dog på bytrafik, og trængsel er dermed en mulig forklaring.

Vejrliget og føret påvirker fysiske omstændigheder omkring uheldet, f.eks. øges bremselængden i dårligt (glat, regnfuldt) føre. Ligeledes vil uerfarne og ældre personer ofte helt fravælge at køre i dårligt vejr. Kvantitativt er det dog svært at repræsentere føret og vejrliget, og i litteraturen er det derfor gjort på forskellig vis. Ikke desto mindre konkluderer de fleste studier, som undersøger føret og vejrlig, at 'dårligt vejr' eller 'dårligt føre', typisk i form af sne, tåge eller regn, giver en mindre sandsynlighed for personskaade når der sker et uheld (Kockelman og Kweon 2002, Ulfarsson og Mannering 2004, Wang og Kockelman 2005, Eluru og Bhat 2007, Mendez m.fl. 2010). Dette er i modstrid med hvad man intuitivt ville forvente, men valg af lavere hastighed i dårligt vejr er en mulig forklaring.

Køretøjets vægt er en indikator på konstruktionens styrke, idet brug af stål øger vægten. Ud fra fysiske betragtninger vil større vægt derfor være en fordel i uheld. Størstedelen af de undersøgte studier konkluderer, at netop førere af lettere køretøjer har større sandsynlighed for personskaade end førere af tungere køretøjer (Jones og Whitfield 1988, Evans og Frick 1992, Evans og Frick 1993, Evans 1994, Evans og Frick 1994, O'Donnell og Connor 1996, Farmer m.fl. 1997, Crandal m.fl. 2001, Evans 2001, Wang og Kockelman 2005, Martin og Lenguerrand 2008, Ryb m.fl. 2009, Hutchinson og Anderson 2011). Studier, der konkluderer det modsatte, at førere i tungere køretøjer har større sandsynlighed for personskaade, findes der kun få af, f.eks. Wang og Kockelman (2005) og Mendez m.fl. (2010).

Sikkerhedssele og airbag er begge passivt sikkerhedsudstyr, der er beregnet til at reducere skaderne, når der sker et uheld. I litteraturen er dette også netop konklusionen (Jones og Whitfield 1988, Farmer m.fl. 1997, Crandal m.fl. 2001, Bedard m.fl. 2002, Martin m.fl. 2003, Toy og Hammitt 2003, Ulfarsson og Mannering 2004, Yau 2004, Wang og Kockelman 2005, Mendez m.fl. 2010). Ingen af de undersøgte publikationer finder en negativ effekt af sikkerhedssele eller airbag, men ikke alle studier finder, at brugen reducerer skadesgraden (Evans og Frick 1993, Evans 1994, Martin og Lenguerrand 2008).

Hvad angår kollisionstypen, peger studierne i flere retninger. Hovedparten af forfattere finder, at sidekollisioner er forbundet med den største risiko for personskaade (Martin m.fl. 2003, Toy og Hammitt 2003, Martin og Lenguerrand 2008, Ryb m.fl. 2009). Kollisioner er ofte komplicerede, og det kan derfor være svært at udpege præcis den farligste type.

Resultaterne fra de internationale peer reviewed publikationer er opsummeret i tabel 1. Til trods for publikationernes forskellige valg af metoder, datakilder og variable finder de i de fleste tilfælde den samme effekt af fører-, køretøjs- og uheldskaraktistika. Kun for førerens køn er resultaterne ikke helt entydige.

Tabel 1 - Forventede resultater på baggrund af international videnskabelig litteratur. Samme publikation kan rumme flere forskellige studier.

	Hypotese
Køretøjets alder	Større betinget sandsynlighed for personskade desto ældre køretøjet er (12 ud af 13 studier).
Køretøjets årgang	Større betinget sandsynlighed for personskade desto ældre årgang køretøjet er (9 ud af 15 studier).
Førerens køn	Modstridende resultater: Højest betinget sandsynlighed for personskade for kvinder (8 ud af 26 studier) eller højest betinget sandsynlighed for mænd (7 ud af 26 studier).
Førerens alder	Betinget sandsynlighed for personskade stiger med stigende alder (18 ud af 27 studier).
Hastighed	Større betinget sandsynlighed for personskade desto højere hastighed (13 ud af 19 studier).
Føre og vejrlig	Mindre betinget sandsynlighed for personskade i "dårligt" vejr, dvs. regn, sne, tåge (6 ud af 8 studier).
Køretøjets vægt	Større betinget sandsynlighed for personskade desto lettere køretøjet er (15 ud af 18 studier).
Sikkerhedssele/airbag	Mindre betinget sandsynlighed for personskade hvis sikkerhedssele/airbag er anvendt (17 ud af 20 studier).
Kollisionstype	Sidekollisioner forbundet med størst betinget sandsynlighed for personskade (5 ud af 12 studier).

Note: Betinget sandsynlighed = Givet at der er sket et uheld.

Datagrundlag

Databaser

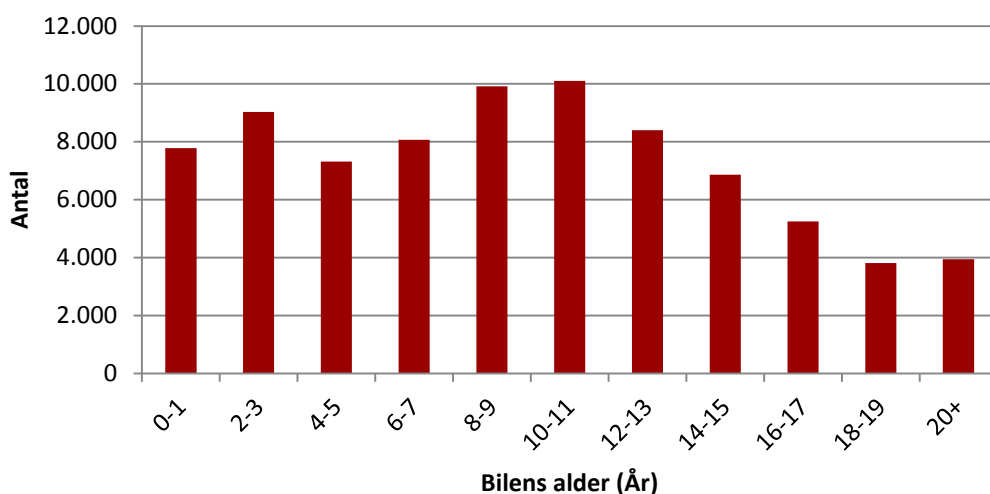
Grundlaget for analysen er Vejdirektoratets uheldsdatabase. Denne indeholder politiregistrerede informationer om uheldet (årstal, vejret og føret, vejtype, uheldssituation, m.fl.), personerne i uheldet (alder, køn, personskade, selebrug, m.fl.) og elementerne i uheldet (elementart, model, fabrikat, totalvægt, m.fl.). Variablen "persons-kade" er angivet i fire kategorier: ingen/kun materiel skade, let personskade, alvorlig personskade, dræbt. Graden af personskade vurderes af politiet på uheldsstedet, og der er derfor en vis usikkerhed i angivelsen, da politiet ikke er lægefaglige eksperter. Til gengæld er det rimeligt at antage, at der ikke er nogen systematisk bias i indrapporteringen af skadesgrad. For at få så ensartet materiale som muligt er alle uheld, som involverer fodgængere, cyklister og lastbiler, frasorteret, og der ses udelukkende på skader på føreren.

Uheldsdata er flettet med en køretøjsdatabase med tekniske oplysninger om de enkelte bilmodeller fra Danmarks Automobilforhandler Forening. Der optræder enkelte køretøjer fra 2009 og 2010, som ikke findes i køretøjsdatabasen, hvorfor det har været nødvendigt at foretage en imputering. Det antages, at køretøjer fra disse to år ikke adskiller sig væsentligt fra køretøjer i de foregående år. Sammenfletning af uhelds-databasen med køretøjsdatabasen er sket ved hjælp af fire variable: Model, fabrikat, totalvægt og modelårgang (første registreringsdato). Denne fremgangsmåde kobledede langt størstedelen af køretøjerne i

uheldsdatabase til køretøjsdatabase. Da der er foretaget manuel gennemretning af model og fabrikat, kunne der udelukkende forekomme fejl de steder, hvor det ikke var muligt at tyde informationen i uheldsdatabase. Desuden forudsættes det, at modelårgangen og årstallet for første registrering af køretøjet er de samme, hvilket generelt også er tilfældet for biler importeret som brugte fra udlandet. De steder, hvor der er manglende værdier, er der foretaget imputation, det vil sige, at den manglende værdi er erstattet af en værdi fra en lignende observation.

Analysens datamateriale

Det endelige datamateriale baserer sig således på 80.502 observationer af førere i person- og varebiler i 49.405 ene- eller flerpartsuheld i perioden 2004 til og med 2010. Langt de fleste førere (68.032, 85 %) havde ingen personskade (uheldene var materielskadeuheld), mens 7.166 (9 %) og 4.654 (6 %) pådrog sig henholdsvis let og alvorlig personskade. 650 (under 1 % af samtlige førere) blev dræbt i uheldene. Frekvensdiagrammer af køretøjets alder på uheldstidspunktet og førerens alder og køn er vist på figur 1 og 2. I henholdsvis tabel 2 og 3 er angivet fordelingen af køretøjernes egenvægt og fordelingen af årstallet for uheldene i datamaterialet.



Figur 1 - Frekvensdiagram over køretøjets alder på uheldstidspunktet.

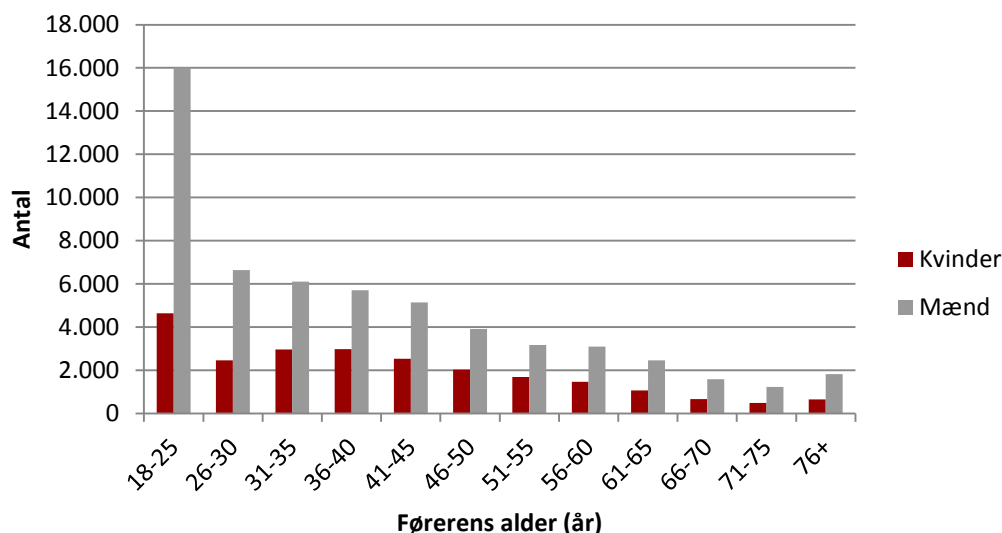
Figur 1 viser, at antallet af køretøjer gradvist reduceres efter det 10. år og i figur 2 ses som forventet, at yngre personer, især unge mænd, er rigt repræsenteret i datamaterialet. Fordelingen af køretøjernes egenvægt i tabel 2 viser, at over halvdelen af datamaterialet (51 %) består af biler med en egenvægt på 1.000-1.199 kg svarende til en mellemstor bil. Uheld over årene (tabel 3) er jævnt fordelt med en svagt faldende tendens hen over årene.

Egenvægt	0-999 kg	1.000-1.199 kg	1.200-1.399 kg	1.400+
Frekvens	17.945 (22 %)	40.794 (51 %)	12.832 (16 %)	9.831 (11 %)

Tabel 2 - Egenvægten af køretøjerne i datamaterialet.

Uhedsår	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Frekvens	13.062 (16 %)	11.622 (14 %)	12.186 (15 %)	12.441 (15 %)	11.460 (14 %)	10.310 (13 %)	9.421 (12 %)

Tabel 3 - Fordeling af uheld over årstal i datamaterialet.



Figur 2 - Frekvensdiagram over førernes alder og køn.

Metode

I en undersøgelse af sammenhæng mellem betinget skadesgrad og køretøjsårgang er det nødvendigt at isolere effekten af årgangen fra effekten af variable, der varierer på samme måde som køretøjsårgangen. Da forskellige typer af føreradfærd formodes at variere systematisk med førerens valg af bil, må denne menneskelige faktor i høj grad være korreleret med bilens karakteristika, herunder bilens årgang. Derfor er der i denne analyse korrigeret for førerens kørestil ved at inddrage følgende indikatorvariable for føreren: alder, køn, selebrug, indehavelse af gyldigt kørekort, og alkoholpromille; for bilen: bilmærke – og for hastigheden gennem inddragelse af proxyvariablen hastighedsbegrænsning på den vej, hvor uheldet er sket.

Mens de andre variable på en rimelig måde repræsenterer førerens kørestil, er hastighedsbegrænsningen som proxy for hastigheden ikke optimal og rummer ikke den individuelle variation i hastighedsvalg, som trafikanter udviser. Det har imidlertid ikke været muligt at finde en bedre proxyvariabel for hastigheden.

Mere præcise angivelser af førerens kørestil end der er brugt her, ville muligvis ændre estimerne en lille smule, men resultatet ville ikke kvalitativt blive ændret. Det vurderes derfor, at den fundne effekt overvejende skyldes bilernes årgang og ikke førerens kørestil.

Teoretisk baggrund

De fire skadesgrader kan opfattes som diskrete og naturligt ordnet: materielskade, let personskade, alvorlig personskade og dræbt. Til analysen er der derfor valgt at anvende en metode i familie med ordered logit models, i dette tilfælde en partial proportional odds model (Wang og Abdel Aty, 2008), se formel (1)

$$P(y_i > j) = \frac{\exp(X_{1i}\beta_1' + X_{2i}\beta_{2j}' - \phi_j)}{1 + \exp(X_{1i}\beta_1' + X_{2i}\beta_{2j}' - \phi_j)} \quad j = 1, 2, \dots, M - 1 \quad (1)$$

I en partial proportional odds model modelleres sandsynligheden for en skadesgrad større end j som en logit-funktion, dvs. springet mellem de enkelte skadesgrader modelleres som en funktion af et sæt uafhængige variable. β_1 er en vektor med parametre, som opfylder antagelsen om proportional odds, hvilket vil sige, at forholdet imellem de enkelte skadesgrader er ens og er knyttet til delmængden af uafhængige variable X_{1i} . β_{2j} er en vektor med parametre, som varierer for springet imellem de enkelte skadesgrader og er knyttet til delmængden af uafhængige variable X_{2i} . Som resultat fås sandsynlighederne for en given skadesgrad med et givet sæt af værdier for de uafhængige variable.

Modelleringen er gennemført i STATA med gologit2-rutinen (Williams, 2006).

Modelspecifikation

I den endelige model indgår de variable, som er angivet i tabel 4.

Tabel 4 – Beskrivelse af de anvendte forklarende variable

Variabel	Beskrivelse
Fører karakteristika	
d04, d05, ..., d10	Dummy (0/1) for uheldsåret
Alder21	Stykvis lineær aldersfunktion gældende for $18 \leq \text{alder} \leq 21$
Alder26	Stykvis lineær aldersfunktion gældende for $21 < \text{alder} \leq 26$
Alder43	Stykvis lineær aldersfunktion gældende for $26 < \text{alder} \leq 43$
Alder65	Stykvis lineær aldersfunktion gældende for $43 < \text{alder} \leq 65$
Alder99	Stykvis lineær aldersfunktion gældende for $65 < \text{alder}$
Mand	Dummy (0/1) for mandlig fører
Kørekort	Dummy (0/1) for gyldigt kørekort
Alkohol_mand1	Stykvis lineær Blood Alcohol Concentration (BAC)-funktion gældende for mænd, $0 \text{ g/L} \leq \text{BAC} \leq 0,5 \text{ g/L}$
Alkohol_mand2	Stykvis lineær BAC-funktion gældende for mænd, $0,5 \text{ g/L} < \text{BAC} \leq 1,0 \text{ g/L}$
Alkohol_mand3	Stykvis lineær BAC-funktion gældende for mænd, $1,0 \text{ g/L} < \text{BAC}$
Sele21	Dummy (0/1) for selebrug gældende for $18 \leq \text{alder} \leq 21$
Sele26	Dummy (0/1) for selebrug gældende for $21 < \text{alder} \leq 26$
Sele43	Dummy (0/1) for selebrug gældende for $26 < \text{alder} \leq 43$
Sele65	Dummy (0/1) for selebrug gældende for $43 < \text{alder} \leq 65$
Sele99	Dummy (0/1) for selebrug gældende for $65 > \text{alder}$
Uheldskarakteristika	
Venstrebag	Dummy (0/1) for kollisionspunkt venstre bag
Højrebag	Dummy (0/1) for kollisionspunkt højre bag
Venstrefor	Dummy (0/1) for kollisionspunkt venstre for
Højrefor	Dummy (0/1) for kollisionspunkt højre for
Foran	Dummy (0/1) for kollisionspunkt foran
Bagende	Dummy (0/1) for kollisionspunkt bagende
Eneuheld	Dummy (0/1) for eneuheld
Motorvej	Dummy (0/1) for uheld på motorvej
Vej1spor	Dummy (0/1) for uheld på vej med 1 spor
Vej2spor	Dummy (0/1) for uheld på vej med 2 spor
By	Dummy (0/1) for uheld i byen
Køretøjskarakteristika	
Volvo, Opel, Toyota, ...	Dummy (0/1) for 20 mest solgte bilmærker i Danmark
Hast.begræns.	Hastighedsbegrænsningen på uheldsvejen målt i km/t
Carage10	Køretøjets årgang (første indregistreringsår)
Egenvægt	Køretøjets egenvægt (kg)
Vægtratio	Egenvægt/modparternes gennemsnitsvægt

Følgende variable blev testet, men fundet usignifikante: motorstørrelse (cm³), motorstørrelse i forhold til bilens egenvægt (cm³/kg), bilens alder (år, ikke generation), alkoholpåvirkning for kvinder (promille), føre og vejrlig (dummyvariable for glat føre, tåge og regn), køreerfaring (år siden første erhvervede kørekort).

Køretøjets årgang er med tanke på analysens formål den mest interessante variabel, men de resterende variable er medtaget i modellen for at korrigere for andre faktorer, som kan tænkes at påvirke skadesgraden. Dummyvariablerne for de 20 mest solgte bilfabrikater er medtaget for at korrigere for noget af den varians, som sikkerhedsniveauet i de enkelte bilfabrikater introducerer. Bilfabrikatet kan ligeledes være en proxy for risikoprofilen af føreren. Da der er variation i skadesgraden over uheldsårene, er der medtaget en dummyvariabel for hvert uheldsår. Som proxy for den kørte hastighed er hastighedsbegrænsningen på uheldsvejen medtaget.

For føreren er alderen kodet med en stykvis lineær variabel for hver af de fem aldersgrupper 18-21 år, 22-26 år, 27-43 år, 44-65 år, 66+ år. Føreren indgår altså med sin alder i år, men kun for den variabel, som førerens alder falder i, og 0 i de andre aldersvariable. Førerens selebrug er opdelt i dummyvariable som dækker forskellige aldersgrupper. Dette er gjort for at kunne afspejle, at brug af sele har forskellig effekt i forskellige aldersgrupper. Førerens alkoholpromille (Blood Alcohol Concentration, BAC, målt i g/L) er fundet usignifikant for kvinder, og modellen inkluderer derfor kun alkoholvariable for mænd. Ligesom for førerens alder er der anvendt en stykvis lineær kodning.

Køretøjernes vægtpåvirkning indgår som egenvægten i kg, og som mål for modpartens påvirkning i uheldet inkluderes forholdet mellem køretøjets egenvægt og gennemsnitvægten af modparterne i uheldet.

Resultater

Validering af den estimerede model

Validering af modellen blev udført ved at lade modellen forudsige fordelingen af de fire kategorier af skadesgrader i perioden 1998-2003 med et datamateriale fra denne periode, se tabel 5.

Tabel 5 - Tal skrevet i kursiv angiver modelforudsigelser uden for perioden 2004-2010.

	Dræbte		Alvorlig personskade		Let personskade		Materielskade	
	Obs.	Model	Obs.	Model	Obs.	Model	Obs.	Model
1998	152	159	1.005	1.052	1.521	1.522	11.804	11.749
1999	153	153	1.062	1.032	1.480	1.510	11.904	11.903
2000	111	143	1.089	981	1.368	1.451	11.685	11.678
2001	132	133	1.001	927	1.229	1.387	11.479	11.394
2002	129	126	1.018	899	1.336	1.359	11.303	11.402
2003	145	114	981	842	1.371	1.301	11.157	11.396
2004	111	114	837	828	1.262	1.266	10.852	10.853
2005	93	97	742	742	1.107	1.097	9.680	9.686
2006	76	79	684	701	1.212	1.187	10.214	10.218
2007	94	90	729	731	1.125	1.130	10.493	10.490
2008	117	102	672	693	1.017	1.011	9.654	9.654
2009	91	89	524	513	788	805	8.907	8.903
2010	68	71	466	450	655	672	8.232	8.228
Σ2004-2010	650	642	4.654	4.659	7.166	7.168	68.032	68.032
Forskel		-8		5		2		0

Valideringen viste, at modellen var i stand til at estimere fordelingen fra 1998-2003 uden større afvigelser fra faktiske data, hvilket tyder på, at modellen giver troværdige resultater.

Parameterestimaterne i den estimerede model er enkeltvis ikke i modstrid med det, som blev fundet i den internationale litteratur, hvilket yderligere bekræfter modellens troværdighed. Hastighedsbegrænsningen, som er en proxy for den kørte hastighed, er klart den variabel, som har størst effekt på skadesgraden. Som forventet hænger højere hastigheder sammen med større skadesgrader for føreren, når der sker et uheld.

Effekt af køretøjsårgangen

Effekten af køretøjets årgang er, at førere af nyere køretøjer har en lavere sandsynlighed for at pådrage sig personskade end førere af ældre køretøjer. En hypotetisk beregning af skadesgraden, hvor alle 80.502 køretøjer i datamaterialet er udskiftet med enten en årgang 2000 eller 2010, er vist i tabel 6.

Tabel 6 - Modelleret fordeling af betinget skadesgrad, hvis alle køretøjer er fra en given årgang.

Køretøjsårgang	Dræbte	Alvorlig personskade	Let personskade	Materielskade	Total
2000	519 (0,6 %)	4.186 (5,2 %)	6.802 (8,5 %)	68.995 (85,7 %)	80.502
2010	324 (0,4 %)	3.228 (4,0 %)	5.916 (7,4 %)	71.034 (88,2 %)	80.502
<i>Forskel i procent</i>	-37 %	-23 %	-13 %	+3 %	

Resultaterne viser, at der er lavere sandsynlighed for at pådrage sig personskade i et uheld, hvis man kører i et køretøj fra 2010 i forhold til et køretøj fra 2000. Størst reduktion, 37 %, ser man i antallet af dræbte. Alvorligt og lette personskader reduceres henholdsvis 23 % og 13 %. Disse fald i personskader opvejes af en stigning i antallet af materielskadeuheld.

Illustrative scenarieberegninger

For at illustrere effekten af køretøjsårgangen er en række scenarier simuleret, hvor sammensætningen af køretøjsårgange i datamaterialet er ændret. Dette resulterer i fiktive, men illustrative, scenarier. Scenarie 1 og 2 har mere hypotetisk karakter, hvor scenarie 3 har mere realistisk karakter. Sammenligningsgrundlaget er i alle tre scenarier modelforudsigelsen, dvs. modellens fordeling af skadesgrader, når modellen anvendes på det oprindelige datamateriale.

Scenarie 1: Uheld i 2010 med køretøjsårgang 2010

En enkel, men stadig hypotetisk, måde at illustrere den samlede årgangseffekt på er at beregne førernes skadesgrader under en antagelse om, at alle uheld i 2010 skete med biler fra årgang 2010. Resultatet af denne beregning er vist i tabel 7.

Tabel 7 - Modelforudsigelse af førerens skadesgrad for 2010-uheld, hvis alle køretøjer var årgang 2010.

Scenarie 1	Dræbte	Alvorlig personskade	Let personskade	Materielskade
Modelforudsigelse 2010, oprindelig årgangsfordeling af køretøjer	71 0,8 %	450 4,8 %	672 7,1 %	8.228 87,3 %
Modelforudsigelse 2010, køretøjsårgang 2010	31 0,3 %	311 3,3 %	581 6,2 %	8.498 90,2 %
Forskel	-40	-139	-91	270
<i>Forskel i procent</i>	-56,3 %	-30,9 %	-13,5 %	3,3 %

Effekten af denne udskiftning er meget stor: mere end en halvering af antallet af dræbte, en tredjedel reduktion af de alvorlige personskader og cirka en tiendedel færre lette personskader.

Scenarie 2: 1 år yngre bilpark

Effekten af køretøjsårgangen kan også illustreres ved at lægge et år til køretøjsårgangen for alle køretøjer i uheld i 2010 (hypotetisk gøre alle bilerne et år yngre). Dette scenarie er langt mindre drastisk end scenarie 1 når det gælder ændringen i sammensætning af køretøjernes årgang. Dette ses også i fordelingen af skadesgrader i tabel 8.

Tabel 8 - Fordeling af skadesgrader for modelforudsigelse og en 1 år yngre bilpark. Uheld fra 2010.

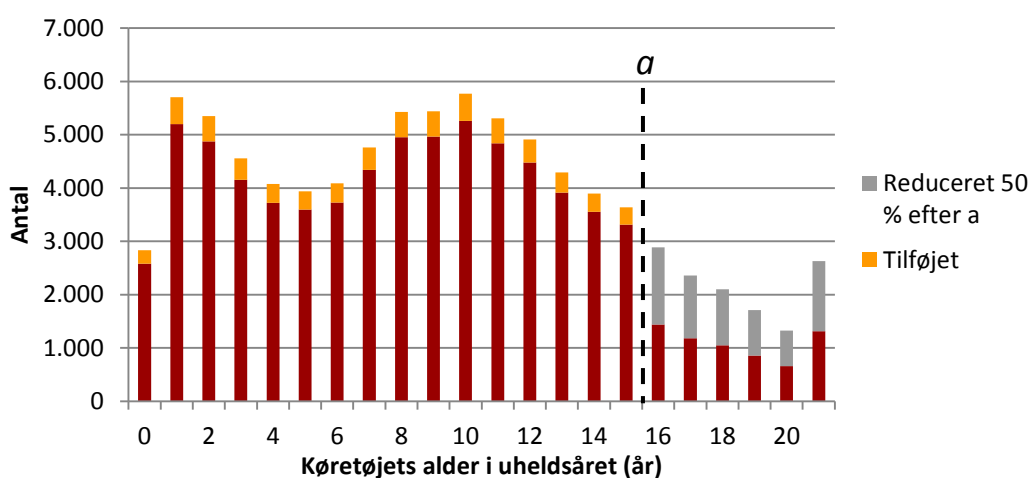
Scenarie 2	Dræbte	Alvorlig personskade	Let personskade	Materielskade
Modelforudsigelse 2010, oprindelig årgangsfordeling af køretøjer	71	450	672	8.228
Modelforudsigelse 2010, 1 år yngre bilpark	66	435	662	8.258
Forskel	-5	-15	-10	30
<i>Forskel i procent</i>	<i>-7,3 %</i>	<i>-3,5 %</i>	<i>-1,4 %</i>	<i>0,4 %</i>

Som det ses i tabel 8, er der en væsentlig effekt af en 1 år yngre bilpark. Modellen forudsiger 7 % færre dræbte, 4 % færre alvorlige personskader og 1 % færre lette personskader i uheld fra 2010 i forhold til modelforudsigelsen på det oprindelige datamateriale.

Scenarie 3: Færre af de ældste køretøjer

De tre sidste scenarier, 3a-3c, skal illustrere effekten som man f.eks. vil se, hvis der indføres et tiltag som skrotningspræmie. I dette tilfælde antages det, at aldersfordelingen i bilparken ændrer sig ved, at andelen af biler over en vis alder reduceres.

For hvert uheldsår er der udtaget 50 % tilfældige observationer for hvert køretøjsalderstrin ældre end alderen a . Disse observationer tildeles en ny tilfældig alder under alderen a , således at den procentvise fordeling i alderen 0 til a bibeholdes, se figur 3. Alle andre variabelværdier fastholdes, og kun alderen i forhold til uheldsåret ændres, så scenarierne på denne måde simulerer, at de førere, som har været i uheld, blot havde kørt i et nyere køretøj. Der anvendes tre forskellige skæringsværdier for a , nemlig 10, 15 og 20 år.



Figur 3 - Illustration af scenariernes effekt på fordelingen i køretøjets alder

De tre scenarier bibeholder alle antallet af køretøjer, som er i det oprindelige datamateriale, men omfordeler et forskelligt antal biler. I scenarie 3a er andelen af køretøjer, som er ældre end 10 år, halveret og fordelt på køretøjer på 10 år og derunder. Dette svarer til en omfordeling af 15.561 køretøjer. På samme måde halveres i scenarie 3b antallet af køretøjer over 15 år, og disse fordeles på køretøjer på 15 år og derunder (6.506 køretøjer omfordelt), og i scenarie 3c halveres antallet af køretøjer over 20 år og fordeles på køretøjer på 20 år og derunder (1.314 køretøjer omfordelt).

Tabel 9 - Fordeling af skadesgrad i de tre scenarier 2004-2010

Scenarie 3	Dræbte	Alvorlig personskade	Let personskade	Materielskade
Basismodelforudsigelse	642	4.659	7.168	68.032
Scenarie 3a, >10 år halveret	571	4.401	6.980	68.550
<i>Forskel</i>	-71	-258	-188	518
<i>Forskel i procent</i>	-11,1 %	-5,5 %	-2,6 %	0,8 %
Scenarie 3b, >15 år halveret	607	4.537	7.083	68.275
<i>Forskel</i>	-36	-122	-85	243
<i>Forskel i procent</i>	-5,5 %	-2,6 %	-1,2 %	0,4 %
Scenarie 3c, >20 år halveret	631	4.624	7.146	68.100
<i>Forskel</i>	-11	-35	-22	68
<i>Forskel i procent</i>	-1,8 %	-0,8 %	-0,3 %	0,1 %

Tabel 9 viser fordelingen af skadesgrader for de tre scenarier. Scenarie 3a, som omfordeler flest biler, reducerer antallet af personskader mest. Tilsvarende reduceres antallet af personskader mindst i scenarie 3c, som omfordeler færrest biler. Reduktionen i antallet af personskader for scenarie 3b ligger imellem 3a og 3c.

Sammenholdes effekten af halveringen af antallet af de gamle køretøjer med antallet af køretøjer, der er blevet fjernet, fås en "effekt pr. køretøj". Effekten pr. køretøj på ændringen i antal dræbte, alvorlige og lette personskader er vist i tabel 10. Det er tydeligt, at effekten pr. bil på alle tre kategorier er størst i scenarie 3c, hvor de ældste biler fjernes. Dette viser, at der er den største effekt ved at fjerne de ældste køretøjer først.

Tabel 10 - Ændring af skader pr. fjernet køretøj i scenarie 3a, 3b og 3c. 2004-2010.

Scenarie 3	Antal biler fjernet	Ændring i antal dræbte pr. fjernet bil	Ændring i antal alvorlige personskader pr. fjernet bil	Ændring i antal lette personskader pr. fjernet bil
Scenarie 3a, >10 år halveret	15.561	$-0,5 \cdot 10^{-2}$	$-1,7 \cdot 10^{-2}$	$-1,2 \cdot 10^{-2}$
Scenarie 3b, >15 år halveret	6.506	$-0,6 \cdot 10^{-2}$	$-1,9 \cdot 10^{-2}$	$-1,3 \cdot 10^{-2}$
Scenarie 3c, >20 år halveret	1.314	$-0,8 \cdot 10^{-2}$	$-2,7 \cdot 10^{-2}$	$-1,7 \cdot 10^{-2}$

Diskussion og konklusion

Det er i denne artikel undersøgt, hvorvidt nyere årgange af biler generelt har et højere niveau af passiv sikkerhed end ældre årgange. Der er konstrueret en statistisk model for skadesgraden for førere i person- og varebiler som funktion af køretøjets årgang. Modellen er korrigeret for en række forklarende variable. Denne model viser, at der er en signifikant reduktion af skadesgraden, jo nyere bilens årgang er. De forklarende variable forbedrer modellens beskrivelse af data og har endvidere til formål at korrigere for underliggende risikoadfærdsfaktorer, der kan tænkes at samvariere med bilernes årgang.

For at illustrere analysens resultater er modellen benyttet til konsekvensberegning af en række alternative scenarier, hvor de uheldsinvolverede køretøjer på forskellig vis er simuleret yngre. Disse scenarier har til formål at belyse effekten af køretøjsårgangen fra flere vinkler.

Den mest hypotetiske, men stærkt illustrative, beregning er foretaget ved en udskiftning af alle køretøjer i datamaterialet med enten årgang 2000 eller 2010 og sammenligner modellens forudsigtelse af skadesgraden for førerne. Disse beregninger viser, at man kan reducere antallet af dræbte, alvorlige personskader og lette personskader med henholdsvis 37 %, 23 % og 13 %, imod at der kan forventes en stigning i 3 % på antallet af uheld udelukkende med materiel skade.

I scenarie 1 er der kigget på uheld i 2010 og konsekvenserne af at alle køretøjer var fra årgang 2010. Sammenlignes dette resultat med den fordeling af årgange, som er i datamaterialet for 2010, fås en reduktion af antallet af dræbte, alvorlige og lette personskade på henholdsvis 56 %, 31 % og 14 %.

I scenarie 2, som er mindre drastisk i ændringen af køretøjernes årgang end scenarie 1, er hele bilparken i datamaterialet gjort et år yngre. Dette medfører 7 % færre dræbte, 4 % færre alvorlige personskader og 1 % færre lette personskader.

Scenarie 3 er mest realistisk og undersøger effekten af at halvere antallet af køretøjer ældre end henholdsvis 10, 15 og 20 år på uheldstidspunktet og udskifte dem med et yngre køretøj. Scenarie 3a, hvor antallet af køretøjer over 10 år er halveret, resulterer i 11 % færre dræbte førere, 6 % færre med alvorlig personskade og 3 % færre lette personskader. Halveres antallet af køretøjer over 15 år, som gjort i scenarie 3b, reduceres antallet af dræbte med 6 %, alvorlige personskader med 3 % og lette personskader 1 %. Det mindste radikale scenarie 3c halverer antallet af køretøjer ældre end 20 år, hvilket giver 2 % færre dræbte førere, 1 % færre alvorlige personskader og under 1 % færre lette personskader.

I scenarie 3a, 3b og 3c er der udskiftet forskelligt antal køretøjer fra ældre til yngre årgange. Sammenholder man dette med reduktionerne i antallet af dræbte, alvorlig personskade og lette personskade, ser man, at den største effekt pr. køretøj fås ved at fjerne de ældste køretøjer først, hvilket er i tråd med resultaterne fra scenarie 1 og 2.

Resultaterne af disse scenarieberegninger indikerer, at bilernes årgang og dermed de sikkerhedsmæssige forbedringer, der er knyttet hertil, over tiden kan forklare en ganske betydelig del af den historiske tendens mod færre dræbte og tilskadekomne i trafikken.

Det er valgt at modellere den diskrete og ordnede skadesgrad som en partial proportional odds model. Dette er gjort for at udnytte informationen om skadesgraden i datagrundlaget mest muligt. I litteraturen er der ofte, sandsynligvis fordi det er mere simpelt, benyttet en logistisk regression, hvor man i stedet simplificerer problemstillingen ved at modellere materiel skade og let personskade i én kategori over for alvorlig personskade og dræbte. I denne sammenhæng er partial proportional odds at foretrække, da denne metode udnytter informationen i data maksimalt. Modellens validitet understøttes af at parameterestimater er i overensstemmelse med resultater fra den internationale litteratur samt af, at fordelingen af skadesgrader i perioden 1998-2003 kan forudsiges uden større afvigelse.

Datamaterialet inkluderer både ene- og flerpartsuheld. Der kan argumenteres for, at dynamikken i disse to typer af uheld er forskellig, idet eneuheld ofte sker ved en højere hastighed og derfor ikke bør modelleres sammen med flerpartsuheld. Da dette alligevel er gjort, skyldes det, at fokus er på effekten af køretøjsårgangen og ikke de enkelte variable, som der korrigeres for i modellen. Endvidere viste en modellering, hvor datamaterialet var opdelt i ene- og flerpartsuheld, at dette ikke påvirker effekten af køretøjsårgangen betydeligt.

Dette studie undersøger ikke, hvor ofte førere kommer i uheld, den såkaldte uheldsfrekvens, men udelukkende skadesgraden, givet at der er sket et uheld. For at få det fulde overblik over uheldsbilledet er det nødvendigt også at kigge på uheldsfrekvensen.

Tak

Forfatterne takker Victor Hollnagel (Trafikstyrelsen), Peter Dyrelund Jakobsen (Trafikstyrelsen), Ib Rasmussen (Trafikstyrelsen), Torben Lund Kudsk (Forenede Danske Motorejere), Lars Klit Reiff (Vejdirektoratet) og Henrik Værø (Vejdirektoratet) fra projektets følgegruppe for værdifulde kommentarer og input.

Referencer

Anderson, R. W. G., Hutchinson, T. P., 2010: *In Australia, is injury less in recent cars than in earlier cars? Evidence from comparing the injury severities of two drivers in the same collision*. Presented in Australasian Road Safety Research, Policing Education Conference, Canberra, Australian Capital Territory.

Bedard, M., Guyatt, G. H., Stones, M. J., Hirdes, J. P., 2002: *The independent contribution of driver, crash, and vehicle characteristics to driver fatality*. *Accident Analysis and Prevention* 34, 717-727.

Blows, S., Ivers, R. Q., Woodward, M., Connor, J., Amaratunga, S., Norton, R., 2003: *Vehicle year and the risk of car crash injury*. *Injury Prevention* 9, 353-356.

Broughton, J., 2008: *Car driver casualty rates in Great Britain by type of car*. *Accident Analysis and Prevention* 40, 1543-1552.

Crandall, C. S., Olson, L. M., Sklar, D. P., 2001: *Mortality reduction with air bag and seat belt use in head-on passenger car collisions*. *American Journal of Epidemiology* 153, 219-224.

Danmarks Statistik, 1975: *Færdselsuheld 1974*. Statistiske meddelelser 1975: 11. København 1975. 112 pp.

Eluru, N., Bhat, C. R., 2007: *A joint econometric analysis of seatbelt use and crash-related injury severity*. *Accident Analysis and Prevention* 39, 1037-1049.

Evans, L., 1994: *Driver injury and fatality risk in two - car crashes versus mass ratio inferred using Newtonian mechanics*. *Accident Analysis and Prevention* 26, 609-616.

Evans, L., 2001: *Casual influence of car mass and size on driver fatality risk*. *American Journal of Public Health* 91, 1076-1081.

Evans, L. 2004: *Traffic Safety*. Science Serving Society, Bloomfield Hills, Michigan. 444 pp.

Evans, L., Frick, M. C., 1992: *Car Size or Car Mass: Which Has Greater Influence on Fatality Risk?* *American Journal of Public Health* 82, 1105-1112.

Evans, L., Frick, M. C., 1993: *Mass ratio and relative driver fatality risk in two-vehicle crashes*. *Accident Analysis and Prevention* 25, 213-224.

Evans, L., Frick, M. C., 1994: *Car mass and fatality risk: Has the relationship changed?* *American Journal of Public Health* 84, 33-36.

Farmer, C. M., Braver, E. R., Mitter, E. L., 1997: *Two - vehicle side impact crashes: the relationship of vehicle and crash characteristics to injury severity*. *Accident Analysis and Prevention* 29, 399-406.

- Farmer, C. M., Lund, A. K., 2006: *Trends over time in the risk of driver death: what if vehicle designs had not improved?* Traffic Injury Prevention 7, 335-342.
- Fosser, S., Christensen, P., Fridstrøm, L., 1999: *Older cars are safer*. Presented at the 10th International Conference "Traffic Safety on Two Continents", Malmö, Sweden.
- Hels, T.; Meng, A.; Troland, N.; Sørensen, P.L. 2007: *Lygteføring samt brug af sikkerhedssele og styrthjelm i Danmark i 2006*. Danmarks TransportForskning, Notat 1. 61 pp.
- Hutchinson, T.P., Anderson, R.W.G., 2011: *Newer cars: Much safer*. Australasian Transport Research Forum 2011 Proceedings, Adelaide, Australia.
- IRTAD, 2010: *IRTAD Road safety 2010, Annual Report*. ITF/OECD report. 294 pp.
- Jones, I. S., Whitfield, R. A., 1988: *Predicting injury risk with "New car assessment program" crashworthiness ratings*. Accident Analysis and Prevention 20, 411-419.
- Kockelman, K. M., Kweon, Y. J., 2002: *Driver injury severity: an application of ordered probit models*. Accident Analysis and Prevention 34, 313-321.
- Kveiborg, O., 1999: *Bilparamodel – beregning af udvikling og emmissioner*. Miljø- og energiministeriet. København K. 89 pp.
- Martin, J. L., Derrien, Y., Laumon, B., 2003: *Estimating relative driver fatality and injury risk according to some characteristics of cars using matched-pair multivariate analysis*. Paper 364 of Proceedings of the 18th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.
- Martin, J.L., Lenguerrand, E., 2008: *A population based estimation of the driver protection provided by passenger cars: France 1996-2005*. Accident Analysis and Prevention 40, 1811-1821.
- Mendez, A. G., Izquierdo, F. A., Ramirez B. A., 2010: *Evolution of the crashworthiness and aggressivity of the Spanish car fleet*. Accident Analysis and Prevention 42, 1621-1631.
- Newstead, S., Watson, L., Cameron, M., 2004: *Trends in aggressivity of the Australian light vehicle fleet by year of manufacture and market group: 1964 to 2000*. Montash University Accident Research Centre Report No. 214. 23 pp.
- Newstead, S., Watson, L., Cameron, M., 2006: *Vehicle safety ratings estimated from police reported crash data: 2006 update*. Australian and New Zealand crashes during 1987-2004. Montash University Accident Research Centre Report No. 248. 90 pp.
- Newstead, S., Watson, L., Cameron, M., 2010: *Trends in crashworthiness of the New Zealand vehicle fleet by year of manufacture: 1964 to 2008*. Montash Univeristy Accident Research Centre Report No. 297 Supplement. 26 pp.
- O'Donnell, C. J., Connor, D. H., 1996: *Predicting the severity of motor vehicle accident injuries using models of ordered multiple choice*. Accident Analysis and Prevention 28, 739-753.
- Ryb, G. E., Dischinger, P. C., Ho, S., 2009: *Vehicle model year and crash outcomes: A CIREN study*. Traffic Injury Prevention 10, 560-566.

Sakshaug, K. og Moe, D. 2006: *TS-tiltak frem mot 2020: Nye biler redder liv*. Samferdsel 2006, 12-13.

Statistikbanken: <http://www.statistikbanken.dk/statbank5a/default.asp?w=1024>

Toy, E. L., Hammitt, J. K., 2003: *Safety impacts of SUVs, vans, and pickup trucks in two-vehicle crashes*. Risk Analysis 23, 641-650.

Transportministeriets, 2010: *Transport Økonomiske Enhedspriser*.

<http://www.dtu.dk/centre/Modelcenter/Samfunds%C3%B8konomi/Transport%C3%B8konomiske%20Enhedspriser.aspx>

Ulfarsson, G. F., Mannering, F. L., 2004: *Differences in male and female injury severities in sport-utility vehicle, minivan, pickup and passenger car accidents*. Accident Analysis and Prevention 36, 135-147.

Wang, X., Abdel-Aty, M., 2008: *Analysis of left-turn crash injury severity by conflicting pattern using partial proportional odds models*. Accident Analysis and Prevention 40, 1674-1682.

Wang, X., Kockelman, K. M., 2005: *Use of Heteroscedastic Ordered Logit Model to Study Severity of Occupant Injury*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1908, 195-204.

Williams, R., 2006: *Generalized ordered logit/partial proportional odds models for ordinal dependent variables*. STATA journal 6, 58-82.

Yau, K. K. W, 2004: *Risk factors affecting the severity of single vehicle traffic accidents in Hong Kong*. Accident Analysis and Prevention 36, 333-340.