

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](http://www.trafikdage.dk/artikelarkiv)



# Trafiksikkerhed på motorveje

Søren Underlien Jensen, [suj@trafitec.dk](mailto:suj@trafitec.dk)

Trafitec

---

## Abstrakt

Paperet beskriver uheldsmodeller og sikkerhedsfaktorer for motorvejsnettet. Grundmodeller for motorvejs-, fra- og tilkørselsflettestrækninger samt fra- og tilkørselsramper kan beregne antallet af personskade-, materielskade- og ekstraueheld og antallet af dræbte, alvorlige og lette skader for specifikke varianter af de fem strækningstyper. Modellerne kræver oplysninger om trafikmængde og strækningsslængde for, at beregninger kan udføres.

Der er opstillet sikkerhedsfaktorer for forskellige ændringer af udformningen og reguleringen af de fem strækningstyper. Ved kombineret brug af grundmodeller og sikkerhedsfaktorer kan antallet af ueheld og personskader estimeres for de fleste eksisterende udformninger og reguleringer af de fem strækningstyper i Danmark.

For øvrige motorvejsflettestrækninger, sideanlæg og øvrige ramper er der opstillet basismodeller, der kan beregne antallet af ueheld og personskader på disse typer af strækninger. Igen kræves kun oplysninger om trafikmængde og strækningsslængde for at udføre beregninger. Basismodeller er baseret på alle eksisterende udformninger og reguleringer af disse strækningstyper. Derfor kan basismodellerne ikke beskrive sikkerheden for en specifik variant af en strækningstype, og basismodeller kan derfor ikke bruges til at belyse, hvad der sker, hvis designet af en strækning ændres.

---

## Baggrund og formål

I mange år har man i Danmark anvendt uheldsmodeller, som blev udviklet til at udpege sorte pletter, til også at beregne et forventet antal ueheld på fx kommende motorveje. Dog har man anvendt en tommelfingerregel om, at nye motorveje ville være sikrere end ældre. Problemet ved den praksis er, at det forventede antal ueheld er et usikkert gæt, og der er ikke et solidt grundlag for at forvente et forskelligt antal ueheld afhængig af motorvejens udformning.

Blandt andet på den baggrund besluttede Vejdirektoratet at igangsætte et arbejde med formålet at udvikle værktøjer, der kan bruges til at beregne sikkerhedsmæssige konsekvenser i relation til valg af vej- og krydstyper ved nyanlæg og større ombygninger. Trafitec fik til opgave at opstille grundmodeller for

motorvejs- og landevejsnettet. Desuden opstilles et antal sikkerhedsfaktorer, der angiver, hvordan uheldstætheden påvirkes af ændringer i geometri, regulering, mv. Her præsenteres alene grundmodeller og sikkerhedsfaktorer for motorvejsnettet. Grundmodeller angiver kausale sammenhænge mellem uheldstæthed og trafikmængde, altså hvad sker der med trafiksikkerheden – alt andet lige – når trafikmængden stiger eller falder. En sikkerhedsfaktor kan fx beskrive forskellen i trafiksikkerhed på en motorvej hhv. med og uden nødspor.

## Metoder og fremgangsmåde

De mange uheldsmodeller, der gennem tiden er udviklet til udpegning af sorte pletter, angiver ikke kausale sammenhænge mellem trafikmængde og uheldstæthed. Det skyldes, at flere variable af betydning for trafiksikkerhed fx kørebanebredden korrelerer med trafikmængden. For at fremstille uheldsmodeller med kausale sammenhænge mellem uheldstæthed og trafikmængde er man nødt til *enten* at tage højde for de uafhængige variable, der samvarierer med trafikmængden, ved at opstille multivariate uheldsmodeller *eller* at undgå samvariationen ved kun at lade veje med samme udformning og regulering indgå som observationer ved opstilling af uheldsmodellen.

Erfaringer viser, at multivariate uheldsmodeller sjældent giver troværdige og kausale sammenhænge, hvis de veje, der indgår, varierer med hensyn til udformning og regulering i mange henseender. Man er derfor i praksis nødt til at undgå samvariation mellem trafikmængde og variable for geometri og regulering i stort omfang for at kunne estimere uheldsmodeller, der tilvejebringer kausale sammenhænge mellem trafikmængde og uheldstæthed.

Multivariate uheldsmodeller giver ofte utroværdige sammenhænge som følge af: 1) "Måleusikkerhed" i form af mørketal i uheldsforekomsten resulterer ofte i multikollinearitet, da flere relevante uafhængige variable ikke indgår, og 2) mange elementer i vejnettet er etableret helt eller delvist af hensyn til trafiksikkerhed, hvorved endogene uafhængige variable opstår, altså hvor den uafhængige variabel afhænger af uheldsforekomsten (men samtidig afhænger uheldsforekomsten også af den uafhængige variabel). Omfanget af multikollinearitet kan mindskes ved at lade variable, der korrelerer kraftigt med mørketallet for uheldsforekomsten, indgå fx uheldsparametrene uheldsart og politikreds. Et godt eksempel på en endogen uafhængig variabel er forekomsten af venstresvingsbaner i kryds. Man vil kun kunne belyse den reelle sikkerhedseffekt af venstresvingsbaner med uheldsmodeller ved simultan modellering af hhv. venstresvingsbaners afhængighed af uheldsforekomsten (og andre variable) og uheldsforekomstens afhængighed af flere uafhængige variable – afgørende er, at detaljerede oplysninger om eksponering især antal venstresvingere indgår.

For at kunne estimere grundmodeller og andre uheldsmodeller er der i første omgang indsamlet følgende data om motorvejsnettet:

- Uheldsdata 1994-2012 med oplysninger om bl.a. år for ulykke, uheldsart, skadesgrad, kørselsretning, stedfæstelse, politikreds, mv.
- Trafikdata 1994-2012 med oplysninger om år for trafiktal, stedfæstelse, mv.
- Oplysninger om geometri, regulering, mv. fx bredde af nødspor, kørespor, indre kantbane og midterrabat, åbningsår, hastighedsbegrænsning, forekomst af vejbelysning, autoværn, tunnel, afstandsmærker og overhalingsforbud.

Ud over disse data er der registreret flere andre data fx år for ombygninger, kilometreret af spærreflader og kilestrækninger i flettestrækninger, type og form af rampeanlæg.

Nedenfor ses en helt almindelig uheldsmodel for en strækning:

$$UHT = a \cdot N^p$$

hvor UHT er uheldstæthed (antal uheld pr. km pr. år), a og p er estimerede konstanter og N er årsdøgntrafik på strækningen. For at kunne opstille en sådan uheldsmodel er det nødvendigt at have et relativt stort antal uheld indtruffet på et stort antal rimeligt ensartede strækninger for pålideligt at kunne estimere konstanterne a og p med god nøjagtighed. Hvis strækningerne er forskellige fx med hensyn til geometri, regulering eller afmærkning, så kan det være relevant at tilføje et led i en uheldsmodel, så der fås en faktormodel fx:

$$UHT = a \cdot N^p \cdot e^{\sum_{i=1}^n b_i x_i}$$

hvor  $b_i$  er estimerede konstanter for faktorerne (variablene)  $x_i$ , der fx beskriver variationen i strækningers tværprofil. For at kunne opstille en faktormodel er det nødvendigt med et endnu større antal strækninger og uheld for at estimere  $b_i$  pålideligt. Derfor kan det være en god idé at opdele strækninger i typer, så strækninger indenfor en type er mere ensartede. I strategisk øjemed er det vigtigt ved udarbejdelse af uheldsmodeller at opdele vejnettet i et tilstrækkeligt stort antal strækninger (observationer), men samtidig skal variationen i antal uheld være stor, så andelen af strækninger med nul uheld må ikke være for stor. På den anden side skal strækningerne helst være ret ensartede for at opnå pålidelige modeller.

I praksis er det relevant at opdele motorvejsnettet, hvor trafikmængden ændrer sig. Så motorvejsnettet opdeles ved hver frakørsel, tilkørsel, vekselstrækning, forgrening og sammenløb. Erfaringer viser, at p-værdier i uheldsmodeller er vidt forskellige for selve motorvejen, ramper og sideanlæg. Derfor er det nødvendigt at opdele motorvejsnettet i mindst tre typer; ramper, sideanlæg og motorvejsenheder. Et godt spørgsmål er, om det er smart at underinddele ramper og motorvejsenheder i flere typer.

Flettestrækninger (frakørsel, tilkørsel, vekselstrækning, forgrening og sammenløb) har højere uheldstæthed end motorvejsstrækninger mellem flettestrækninger. Samtidig er flettestrækninger udformet anderledes end motorvejsstrækninger, primært i højre side af kørebanen. For at kunne identificere den forhøjede uheldstæthed må motorveje nødvendigvis opdeles i flettestrækninger og motorvejsstrækninger, og de kan så modelleres efter tre forskellige strategier:

- A. Opstille en uheldsmodel, der bygger på både motorvejs- og flettestrækninger, hvor faktorer beskriver de særlige udformninger af og opdelingen af trafik i flettestrækninger.
- B. Opstille en uheldsmodel, der bygger på både motorvejs- og flettestrækninger, og beskriver selve motorvejsdelen – altså uheld på og design af gennemgående kørespor. Opstille en eller flere "add-on" uheldsmodeller, der kun bygger på flettestrækninger, og beskriver flettedelen, altså uheld på og design af fx det frakørende spor ved frakørsler.
- C. Opstille en uheldsmodel for motorvejsstrækninger og en eller flere uheldsmodeller for diverse typer af flettestrækninger.

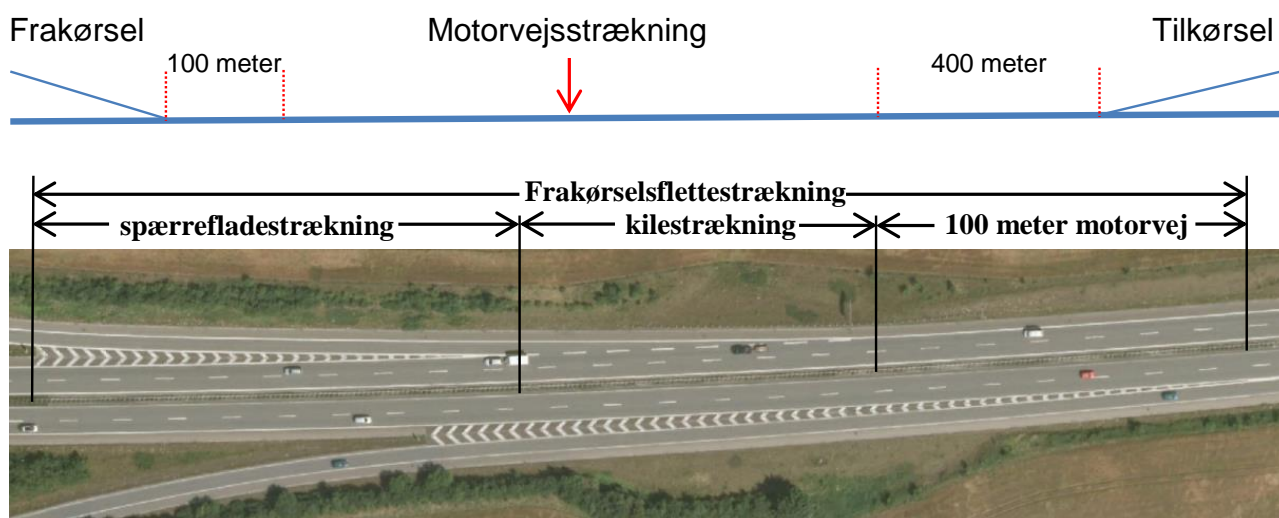
I Danmark henføres uheld ikke systematisk til specifikke kørespor og det angives heller ikke helt systematisk om et køretøj vil benytte en frakørsel eller tilkørsel el. lign. Således vil en opdeling af de forekomne uheld på flettestrækninger i fx "motorvejsuheld" og "tilkørselsuheld" være meget usikker. Estimering af pålidelige add-on-modeller er derfor urealistisk, og strategi B må fravælges. Det er derimod svært at vælge mellem strategi A og C. Strategi A har fordelene, at den er baseret på et stort antal strækninger og uheld, så a- og p-værdier vil blive ganske præcist estimeret, hvis strækningstyperne har ca. samme p-værdi. Men strategi A har ulempen, at faktorer knyttet til flettestrækninger vil være stærkt korrelerede i en model sammen med

motorvejsstrækninger. Strategi C vil måske give mindre præcise a- og p-værdier, men vil til gengæld bedre kunne beskrive flettestrækningers særegne egenskaber. Det vælges at forfølge strategi C, da det formodes, at p-værdier ikke er helt ens, og forhold ved flettestrækninger er af betydning for uheldstæthed.

For ramper og sideanlæg formodes, at p-værdier er vidt forskellige pga. forskelligartet trafikafvikling. Derfor forfølges også her en strategi C, hvor der opstilles uheldsmodeller for sideanlæg og flere typer af ramper.

Samlet set opdeles motorvejsnettet i fire hovedtyper af strækninger; ramper, motorvejsstrækninger, flettestrækninger og sideanlæg. Ramper er underinddelt i frakørselsramper, tilkørselsramper og de forskellige typer af ramper i motorvejskryds. Flettestrækninger er underinddelt i forgreninger, sammenløb, vekselstrækninger, frakørsels- og tilkørselsflettestrækninger. Alle strækninger har kun én kørselsretning. Det vil sige, at et stykke motorvej har to motorvejsstrækninger hhv. med og mod kilometreringsretningen.

Der blev udført en række indledende analyser med formålet at definere flettestrækningers udstrækning. Her blev det bl.a. fundet, at der er en forhøjet uheldstæthed op til 400 meter efter kilestrækningens ophør i tilkørselsflettestrækninger, dvs. efter tilkørselsrampen er ført helt ind på motorvejen sker der flere uheld end forventet op til 400 meter nedstrøms på motorvejen. Det fænomen ses også op til 100 meter før kilestrækningens start i frakørselsflettestrækninger. De to fænomener hænger sammen med, hvordan trafikafviklingen påvirkes af til- og frakørsler, og er baggrunden for, at motorveje med tætliggende tilslutningsanlæg har højere uheldsfrekvenser end ved større anstande mellem tilslutningsanlæg. Et lignende fænomen ses ved motorvejsforgreninger, hvor der er en forhøjet uheldstæthed op til 100 m efter spærrefladens afslutning i forgreningen. De angivne strækninger med forhøjet uheldstæthed indgår i flettestrækningerne. I figur 1 ses som eksempel definitioner af motorvejs- og frakørselsflettestrækning.



**Figur 1. Definition af motorvejs- og frakørselsflettestrækning til uheldsmodellering.**

Der er estimeret mere end 25.000 uhelds- og personskademodeller. Modeller er estimeret med en negativ binomial (Poisson-gamma) fordeling ved brug af maximum-likelihood. Der er estimeret modeller med konstant spredningsparameter,  $k$ . Kun i et enkelt tilfælde ville det have været rimeligt at estimere en varierende spredningsparameter, hvilket dog er fravalgt. Valget af den traditionelle negative binomial fordelte model har vist sig god, da kun knap en håndfuld af de mere end 25.000 modeller viste sig problematiske. Negative binomial fordelte modeller har været at foretrække frem for fx zero-inflated modeller i mere end 99,9 % af tilfældene.

Før estimering af grundmodeller blev der opstillet basis- og faktormodeller. I basismodeller indgår samtlige observationer indenfor en given strækningstype, men kun trafikmængde indgår som uafhængig variabel. I faktormodeller indgår samtlige observationer men også uafhængige variable, der beskriver udformninger og regulering. Basis- og faktormodeller blev opstillet af flere årsager; a) finde de bedste måder at relatere uheldstæthed og trafikmængde, b) identificere variable, der påvirker relationen mellem trafikmængde og uheldstæthed – for derigennem at kunne vælge observationer, som grundmodeller skulle baseres på, c) give et grundlag for at sammenholde basismodeller (sortplet-modeller) og grundmodeller, og d) indikere relationer mellem uheldstæthed og motorvejens udformning og regulering.

Der er estimeret modeller for hver uhedsart og skadesgrad samt sammenstillinger af uhedsarter og skadesgrader fx dræbte og alvorlige skader eller alle uheld. Der er estimeret modeller med årsfaktorer, så antallet uheld og personskader kan beregnes for enkelte år eller en kort periode. Der er både benyttet Generalized Estimating Equations (GEE) og Generalized Linear Models (GLM) til estimering af årsfaktorer, men de to metoder gav stort set samme resultater.

Sikkerhedsfaktorer er redegjort for dels gennem litteraturstudier af pålidelige før-efter uheldsevalueringer og med-uden sikkerhedsstudier dels med baggrund i førnævnte faktormodeller.

## Resultater

Der har været tilstrækkeligt store antal strækninger og uheld til at opstille grundmodeller for fem specifikke varianter af motorvejsstrækninger, fra- og tilkørselsflettestrækninger samt fra- og tilkørselsramper, se evt. beskrivelse af varianter i tabel 1 på næste side. Grundmodeller kan beregne et forventet antal uheld og personskader for disse fem varianter. Grundmodeller for motorvejsstrækninger, fra- og tilkørselsflettestrækninger samt tilkørselsramper har følgende funktionsudtryk:

$$UHT = a \cdot N^p \quad (1)$$

hvor UHT er tætheden af uheld eller personskader pr. km pr. år, a og p er estimerede konstanter og N er årsdøgntrafikken. Ved at gange L (strækningens længden i km) på højre side af funktionsudtryk 1 fås U (antal uheld eller personskader pr. år) på strækningen ( $U = a \cdot L \cdot N^p$ ). Funktionsudtrykket for frakørselsramper ser anderledes ud:

$$UHT = a \cdot N^p \cdot e^{b_1 \cdot \ln(L)} \quad (2)$$

hvor UHT er tætheden af uheld pr. km pr. år, a,  $b_1$  og p er estimerede konstanter, L er længden i km af rampen og N er årsdøgntrafikken på rampen. Ved at gange L på højre side af funktionsudtryk 2 fås U (antal uheld eller personskader pr. år) på rampen ( $U = a \cdot L \cdot N^p \cdot e^{b_1 \cdot \ln(L)}$ ).

Det er forsøgt at gøre grundmodeller for motorvejsstrækninger afhængig af strækningens længden, så fx en kort motorvejsstrækning har en højere uheldstæthed end en lang. Men strækningens længden er ikke en signifikant variabel, hvilket formentligt skyldes, at de forhøjede uheldstætheder nær fra- og tilkørsler indgår i fra- og tilkørselsflettestrækninger. I øvrigt kan det nævnes, at motorvejsstrækninger fra frakørsler til tilkørsler (strækninger "under broen" ved tilslutningsanlæg) har samme uheldstæthed, når der tages højde for trafikmængden, som strækninger fra tilkørsler til frakørsler. Særligt for motorvejsstrækninger har det vist sig bedre at modellere eneuheld og flerpartsuheld hver for sig i modeller for materielskadeuheld og ekstrauehld.

For fra- og tilkørselsflettestrækninger er en række funktionsudtryk afprøvet, fx hvor trafikmængden er opdelt på tilkørselsrampe og motorvejsstrækning før tilkørselsflettestrækning. Men det har her vist sig bedst at benytte det simple funktionsudtryk 1. Det er også forsøgt at gøre grundmodeller afhængig af hhv. længde af kilestrækning og spærrefladestrækning. Men modeller viser, at disse længder kun har en ikke-signifikant betydning for uhelds- og personskadetætheden, som varierer op mod 20 % afhængig af længden. Derfor indgår disse længder ikke i modeludtrykkene. Men for frakørsler kan det nævnes, at kilestrækninger på 110-130 meter og spærrefladestrækninger på 125-150 meter ser ud til at være sikrere end kortere og længere strækninger. For tilkørsler ser det ud til, at en samlet længde af kilestrækning og spærreflade på 300-350 meter er noget sikrere end kortere og længere strækninger. Den beskedne betydning af længderne står i kontrast til undersøgelser i andre lande, hvor længden af accelerations- og decelerationsbaner er af stor betydning, men hvor man ikke har fletteregel på strækningerne.

For frakørselsramper afhænger uheldstætheden meget tydeligt af rampens længde. Jo længere rampen er, desto lavere er uheldstætheden. Der indgår kun lige ruderramper i grundmodeller for frakørselsramper, altså ramper i ruderanlæg uden skarpe kurver. Uheldstætheden er ca. dobbelt så stor på en 150 meter lang frakørselsrampe set i forhold til en 400 meter lang rampe. Denne afhængighed af længde ses slet ikke på tilkørselsramper.

**Tabel 1 – Grundmodeller gælder for strækninger og ramper med følgende vejudformning, vejdstyr og regulering. Note: "-" = irrelevant, "\*" = anslået.**

Vejudformning, vejdstyr og trafikregulering	Motorvejsstrækning	Frakørselsflettestrækning	Tilkørselsflettestrækning	Frakørselsrampe	Tilkørselsrampe
Bredde af nødspor	≥ 3,0 m	≥ 3,0 m	≥ 3,0 m	≥ 0,5 m	≥ 0,5 m
Gennemgående kørespor	2	2	2	1	1
Bredde af kørespor	≥ 3,5 m	≥ 3,5 m	≥ 3,5 m	≥ 3,5 m	≥ 3,5 m
Sporbortfald/sportilføjelse	Nej	Nej	Nej	-	-
Forgrening/sammenløb	-	-	-	Nej	Nej
Bredde af indre kantbane	0,5 m	0,5 m	0,5 m	0,5 m	0,5 m
Gns. bredde af midterrabat	5,5 m	4,9 m	4,9 m	-	-
Kurver / kurveradius	≥ 4.000 m*	≥ 4.000 m*	≥ 4.000 m*	Lige ruder	Lige ruder
Type af midterautoværn	Stål	Stål	Stål	-	-
Kurveafmærkning	Nej	Nej	Nej	Ja/Nej	Ja/Nej
Vejbelysning	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej
Blændingsgardin	Nej	Nej	Nej	-	-
Tunnel	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej
Hastighedsbegrænsning km/t	130	130	130	110-130	110-130
Anbefalet hastighed	Nej	Nej	Nej	Ja/Nej	Ja/Nej
Brug af nødspor til kørespor	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej
Variable tavler	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej
Rampedosering	-	-	Nej	-	Nej

I tabel 2 på næste side er angivet de uheldsarter og skadesgrader, som grundmodellerne kan estimere. Ved at gøre brug af faktorer kan de estimerede uheld og personskader fra grundmodeller omregnes til et antal

uheld og personskader fordelt på de enkelte uheldsarter og skadegrader. Eksempelvis vides, hvor mange hhv. dræbte, alvorlige og lette skader der er pr. personskadeuheld på tilkørselsflettestrækninger, og derved kan faktorer benyttes til at "omregne" et personskadeuheld til et antal dræbte, alvorlige og lette skader.

**Tabel 2 – Grundmodeller kan estimere følgende uheldsarter og skadesgrader.**

Type af uheld eller personskade	Motorvejsstrækning	Frakørselsflettestrækning	Tilkørselsflettestrækning	Frakørselsrampe	Tilkørselsrampe
Personskadeuheld	X		X		
Materielskadeuheld	X		X		
Ekstrauheld	X	X	X		
Person- og materielskadeuheld		X			
Alle uheld				X	X
Dræbte og alvorlige skader	X				
Lette skader	X				

Ved brug af estimerede årsfaktorer kan et forventet antal af uheld og personskader også opgøres for hvert enkelt år, dog ikke for fra- og tilkørselsramper, hvor de dog i stedet kan opgøres for kortere perioder.

Som eksempel på grundmodeller er der i det følgende beskrevet modeller for motorvejsstrækninger. Disse er baseret på 525 strækninger med en samlet længde på 902 km. Der indgår 4.001 politiregistrerede uheld fra år 2005-2012 i modelleringen. Disse strækninger har en udformning og regulering, som angivet i tabel 1, dog har 173 strækninger en hastighedsbegrænsning på 110 km/t. Men grundmodellerne er udviklet ved at lade variablene politikreds og hastighedsbegrænsning indgå som faktorer. Hvis politikreds ikke indgår som faktor vil a og p konstanterne særligt i modeller for lette skader og ekstrauheld blive fejlestimeret. Ved at lade hastighedsbegrænsning indgå (og 110 km/t strækninger) opnås, at p-værdiers konfidensinterval bliver mindre, altså en mere sikker estimering. De anbefalede grundmodeller for motorvejsstrækninger er vist i tabel 3. I tabellen optræder hverken politikreds eller hastighedsbegrænsning som faktorer. Modellerne er kalibreret til at gælde Danmark ved at fastholde p-værdier og ændre a-værdier, så modellerne hverken over- eller underestimerer. Desuden er faktoren hastighedsbegrænsning sat til 130 km/t.

**Tabel 3 – Grundmodeller for uheld og personskader på motorvejsstrækninger (én side af motorvej) med 130 km/t hastighedsbegrænsning, 2 kørespor, 3-3,5 meter nødspor, 0,5 meter indre kantbane, midterautoværn af stål, uden variable tavler, uden tunnel og uden vejbelysning og kurveafmærkning på strækning. Baseret på 525 strækninger på i alt 901.552 meter med en ÅDT på 2.512 – 30.627.**

Type af uheld eller personskade	Antal uheld og personskader		Estimerede konstanter		Spredningsparameter k	Forklaringskraft $R_k^2$
	Total	Pr. km pr. år	a	P		
Personskadeuheld	675	0,094	0,00003113	0,8504	0,0874	0,55
Materielskadeuheld – eneuheld	521	0,072	0,00016289	0,6383	0,0723	0,52
Materielskadeuheld – flerpartsuheld	533	0,074	0,00000007	1,4461	0,1129	0,83
Ekstrauheld – eneuheld	1.350	0,187	0,00045229	0,6384	0,1208	0,78
Ekstrauheld – flerpartsuheld	922	0,128	0,000000003	2,0535	0,2030	0,85
Dræbte og alvorlige skader	456	0,063	0,00010466	0,6906	0,3062	0,32
Lette skader	569	0,079	0,00003042	0,8384	0,9248	0,26

Der skal knyttes en række kommentarer til modellerne. Faktorerne for hastighedsbegrænsning viser, at sikkerheden på motorvejsstrækninger med en 110 km/t hastighedsgrænse er bedre end på strækninger med 130 km/t. En sænkning af hastighedsgrænsen fra 130 til 110 km/t er estimeret til at reducere antallet af personskadeuheld med 21 % og antallet af uheld kun med materielle skader med 6 %. Desuden bliver antallet af personskader pr. personskadeuheld færre, og personskaderne bliver mindre alvorlige. Det harmonerer med resultater fra undersøgelser i andre lande. I øvrigt synes hastighedsgrænsen ikke at påvirke sikkerheden på ramper. Registreringen af uheld i de enkelte politikredse er meget forskellig. Især Nordjyllands Politikreds skiller sig ud med næsten dobbelt så mange registrerede lette skader end hvad man kan forvente, mens der omvendt registreres kun ca. en tredjedel af de ekstra uheld, der normalt kan forventes.

Af tabel 3 ses, at p-værdien er under 1 for personskader, personskadeuheld og eneuheld. Det betyder, at en fordobling i trafikmængden fører til mindre end en fordobling af disse personskader og uheld, fx vil der kun ske en stigning på 56 % i eneuheld ved en fordobling af trafikken. Omvendt er p-værdien for flerpartsuheld over 1, og det vil fx føre til en 172 % stigning i materielskadeuheld med flere parter ved en fordobling af trafikken. Spredningsparameteren, k, er meget lav især for modeller for uheld i tabel 3. Det betyder, at der næsten kun er tilfældig variation i uheldsforekomsten tilbage. Modellerne er således meget præcise, og forklaringskraften (Elvik's indeks) er da også ganske høj, da trafikmængden forklarer omkring 50-85 % af uheldsforekomsten.

For øvrige motorvejsflettestrækninger (forgreninger, sammenløb og vekselsstrækninger), sideanlæg og øvrige ramper (forbindelse, parallelspor, veksler, forgrening, sammenløb og dobbeltrettet) er udarbejdet basismodeller. Disse basismodeller kan anvendes til at beregne et forventet antal uheld for den enkelte type af strækning, men gælder for alle eksisterende udformninger og reguleringer af denne strækningstype. Basismodeller for øvrige motorvejsflettestrækninger og sideanlæg har følgende funktionsudtryk:

$$UHT = a \cdot N^p \quad (3)$$

hvor UHT er tætheden af uheld pr. km pr. år i perioden 2005-2012, a og p er estimerede konstanter og N er årsdøgntrafik. Ved at gange L (strækningslængden i km) på højre side af funktionsudtryk 3 fås U (antal uheld pr. år) på strækningen ( $U = a \cdot L \cdot N^p$ ).

Basismodeller for øvrige ramper har følgende funktionsudtryk:

$$UHT = a \cdot b^x \cdot N^p \quad (4)$$

hvor UHT er tætheden af uheld pr. km pr. år i perioden 1999-2012, a, b og p er estimerede konstanter, x er typen af rampe og N er årsdøgntrafik. Ved at gange L (rampelængden i km) på højre side af funktionsudtryk 4 fås U (antal uheld pr. år) på rampen ( $U = a \cdot b^x \cdot L \cdot N^p$ ).

Uheldstætheden på de enkelte typer af øvrige ramper er så forskellig, at typen af rampe indgår i modellen. Derimod er uheldstætheden på øvrige motorvejsflettestrækninger ret ens, og her indgår ikke en variabel for type i modellen. Ligesom for grundmodeller er der udarbejdet års- og periodefaktorer, så antallet af uheld og personskader kan beregnes for et enkelt år eller en kort periode.

I tilknytning til grundmodeller kan anvendes en eller flere af de 15 sikkerhedsfaktorer, der er opstillet. Derved kan der beregnes et forventet antal uheld og personskader for en motorvej med en anden udformning eller regulering end den, som grundmodellerne er baseret på se evt. tabel 1. Der er givet en oversigt af de 15 udarbejdede sikkerhedsfaktorer i tabel 4 på næste side. Sikkerhedsfaktorerne er som



tidligere nævnt udarbejdet med baggrund i litteraturstudier af pålidelige før-efter uheldsevalueringer og med-uden sikkerhedsstudier samt med baggrund i analyser af det danske motorvejsnet.

**Tabel 4 – Sikkerhedsfaktorer knyttet til følgende designforhold og grundmodeller.**

Sikkerhedsfaktor / Type af design	Motorvejsstrækning	Frakørselsflettestrækning	Tilkørselsflettestrækning	Frakørselsrampe	Tilkørselsrampe
Antal gennemgående kørespor	X	X	X		
Bredde af kørespor	X	X	X	X	X
Brug af nødspor til kørespor	X				
Bredde af nødspor	X	X	X		
Bredde af indre kantbane	X	X	X	X	X
Bredde af midterrabat	X	X	X		
Radius på horisontalkurver	X	X	X	X	X
Forekomst af vejbelysning	X	X	X	X	X
Forekomst af tunnel	X	X	X	X	X
Forekomst af sideanlæg	X				
Forekomst af sporbortfald/-tilføjelse	X	X	X		
Design af rampeanlæg				X	X
Forekomst af kurveafmærkning	X	X	X		
Hastighedsbegrænsning	X	X	X		
Rampedosering			X		

Et eksempel på en sikkerhedsfaktor er bredden af nødspor. Analyser af det danske motorvejsnet viser, at bredden af nødspor påvirker sikkerheden på strækninger og ramper. Det er fundet, at når bredden øges, så forbedres sikkerheden indtil bredden er ca. 3,0 meter, hvorefter sikkerheden ikke forbedres yderligere. Resultaterne viser, at der sker ca. 30 procent færre uheld og 20 procent færre personskader, når bredden af nødspor udvides fra 0,5 meter til 3,0 meter. Det harmonerer med resultater fra undersøgelser i andre lande. Grundmodeller for motorvejsstrækninger og fra- og tilkørselsflettestrækninger er baseret på strækninger, hvor nødsporet er 3,0 meter eller bredere. De estimerede sikkerhedsfaktorer for bredden af nødspor på disse strækninger er angivet i tabel 5. En sikkerhedsfaktor skal blot ganges på resultatet fra en grundmodel. Det vil sige, at hvis der forventes at ske 2 personskadeuheld på en motorvejsstrækning (ved at benytte modellen i tabel 3) med et nødspor på 3,0 meter eller bredere, så vil der ske  $2 \times 1,19 = 2,38$  uheld, hvis nødsporet kun er 1,0 meter bredt. Der er ikke en sikkerhedsfaktor for nødsporsbredde på ramper, da grundmodeller her er baseret på ramper med nødspor på 0,5 meter og bredere.

**Tabel 5 – Sikkerhedsfaktorer for bredde af nødspor inklusiv ydre kantbane på motorvejsstrækninger, fra- og tilkørselsflettestrækninger.**

Sikkerhedsfaktor for nødsporsbredde	Bredde af nødspor inklusiv ydre kantbane (meter)						
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0 og bredere
Personskadeuheld og personskader	1,28	1,23	1,19	1,14	1,09	1,05	1,00
Materielskadeuheld og ekstrauheld	1,59	1,49	1,39	1,30	1,20	1,10	1,00

Der er udviklet et IT-værktøj, hvor samtlige relevante modeller for uheld og personskader indgår, så man let kan beregne et forventet antal uheld og personskader for alle strækningstyper på motorvejsnettet. Desuden indgår de udarbejdede sikkerhedsfaktorer, så designet for motorvejsstrækninger, fra- og tilkørselsramper og fra- og tilkørselsflettestrækninger kan tilpasses og et nyt forventet antal uheld og personskader kan beregnes. I IT-værktøjet kan man vælge, hvilken periode eller år der ønskes forventede tal for. IT-værktøjet er et Excel-regneark, og det kan håndtere beregninger af mange strækninger - hele motorvejsnet – på en gang.

De mange modeller og analyser har desuden vist en række andre interessante resultater. En analyse viste, at sideanlæg – rasteplasser med eller uden serviceanlæg – ikke påvirker antallet af uheld og personskader nævneværdigt. Tidligere udenlandske studier har vist, at sideanlæg reducerer antallet af uheld. Den danske analyse viste, at der skete ca. 5 procent flere uheld og personskader efter et sideanlæg end før, hvilket dog ikke er en statistisk signifikant forskel.

Modeller for fra- og tilkørselsramper viser, at forekomsten af kurver er ganske afgørende for sikkerheden på ramper. Uheldstæthed på sløjferamper, hvor kurveradius ofte er omkring 50 meter, er fx estimeret til at være godt 4 gange højere end på en lige rampe. En forgrening på en frakørselsrampe eller et sammenløb på en tilkørselsrampe er også fundet væsentlig, da en forgrening eller et sammenløb giver anledning til en 2-4 gange højere uheldstæthed.

## Konklusion

Motorvejene i Danmark er sikre at køre på. Faktisk viser den seneste opgørelse i EU, at risikoen for at dø i et trafikuheld på motorveje er lavest i Danmark. Til trods for dette varierer sikkerheden på det danske motorvejsnet en del.

Arbejdet med motorvejsnettet har tydeligt vist, at der med en hensigtsmæssig opdeling af motorvejsnettet kan udarbejdes ganske præcise modeller, der kan beregne et forventet antal af uheld og personskader for strækninger og ramper med et bestemt design og en given regulering. Disse modeller er her benævnt grundmodeller. I tilknytning til grundmodeller er udviklet en række sikkerhedsfaktorer, der muliggør, at man kan beregne et forventet antal uheld og personskader for langt de fleste udformninger af strækninger og ramper, som forefindes i Danmark. På denne måde kan man opføre sikkerheden for alternative udformninger af en ny motorvej eller en ombygget motorvej.

Slutteligt skal det nævnes, at den hidtidige praksis, hvor sort-plet-modeller (basismodeller) er anvendt til at beregne et antal uheld på fx en ny motorvej, ikke er hensigtsmæssig. Det skyldes, at man har anvendt en tommelfingerregel om, at nye motorveje ville være sikrere end ældre, altså har man ganget en faktor under 1 på et resultat fra sort-plet-modeller for at få et forventet antal uheld og personskader. Sammenholdes basis- og grundmodeller, så viser det sig, at motorveje med grundmodellernes udformning og regulering resulterer i næsten samme forventede antal uheld men betydeligt flere forventede antal personskader end hvad basismodeller giver som resultat. Den hidtidige praksis har næsten givet korrekte resultater, hvis den ny motorvej har fået nødspor, ruderanlæg og en hastighedsbegrænsning på 110 km/t, men har til gengæld givet misvisende resultater, hvis den ny motorvej fik 130 km/t og fx trompetanlæg.