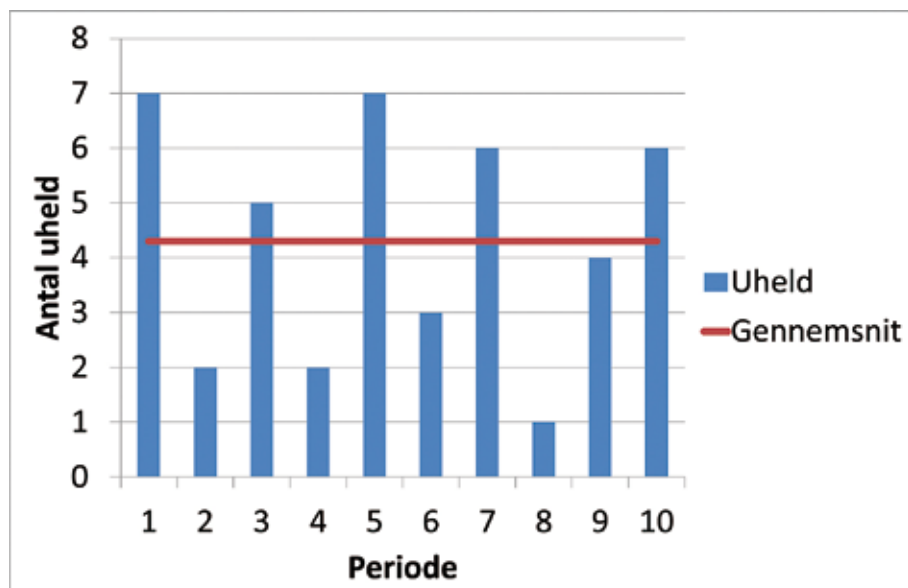


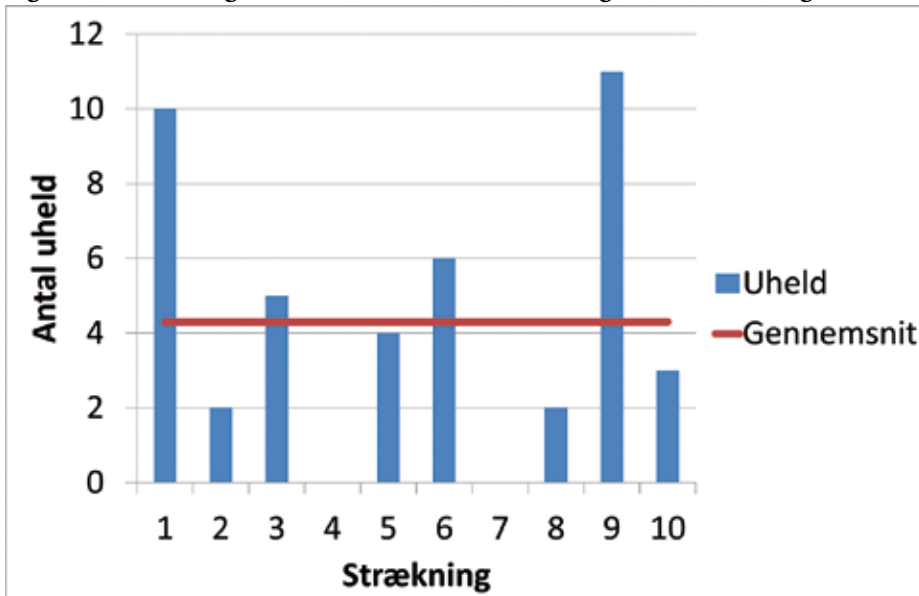
# Uheldsmodeller

## – et indblik

Siden Kommunalreformen i 2007 er der ikke udviklet uheldsmodeller i Danmark, da opdaterede vej- og trafikdata ikke findes i det nødvendige omfang. Uheldsmodeller kan være et godt værktøj i forbindelse med fx sortpletudpegning, valg af vej- og krydstype, vurdering af uheldsbesparselse og uheldsevalueringer. Uden uheldsmodeller er det svært at finde frem til de vej- og krydsombygninger og design af nyanlæg, der kan forebygge ulykker og personskader omkostningseffektivt. Artiklen angiver, hvordan uheldsmodeller bedst skrues sammen, samt hvilke vej- og krydstyper der kan opstilles uheldsmodeller for i Danmark.



Figur 1. Den tilfældige variation i uheldsforekomsten – gennemsnittet er lig variansen.



Figur 2. Tilfældig og systematisk variation i uheldsforekomsten – variansen er meget større end gennemsnittet.

Af Søren Underlien Jensen, Trafitec  
 suj@trafitec.dk

### Indledning

Det er altid forbundet med en risiko at færdes i trafikken. Risikoen er vidt forskellig i de enkelte dele af vejnettet. Det kan således være forbundet med en langt større risiko at køre gennem et kryds frem for et andet, eller køre ad en vejstrækning frem for en anden. Disse forskelle skyldes især to forhold; mængden af trafik og vejens eller krydssets design.

Om der sker et uheld eller ej, er forbundet med en stor grad af tilfældighed. En uheldsmodel kan beskrive, hvordan uheldsforekomsten systematisk afhænger af trafikmængde og design, og da omfanget af tilfældig variation i uheldsforekomsten er kendt, kan man estimere den reelle risiko for de enkelte kryds og strækninger. Ud fra sådanne estimater kan man finde ud af, om det kan betale sig at bygge vejen eller krydset om eller anlægge den nye vej med et bestemt design.

### Grundsubstansen i uheldsmodeller

I 1950'erne fandt britiske forskere, at uheldsforekomsten for et sted er Poisson fordelt. Et sted kan i denne sammenhæng være et kryds eller en kortere vejstrækning. Forestil dig, at vi kigger på et større område, hvor trafiksikkerheden er uforandret gennem en årrække. Et sted i området tæller vi uheldene i et antal perioder inden for denne årrække. Uheldsforekomsten på stedet kunne se ud som i figur 1.

Da trafiksikkerheden er uforandret, må variationen i antallet af uheld fra periode til periode i figur 1 være tilfældig. De britiske

forskere påviste netop, at den tilfældige variation i uheldsforekomsten for et sted er Poisson fordelt.

Poisson fordelingen er simpel, idet gennemsnittet er lig med variansen. I figur 1 er gennemsnittet, der er angivet med rød streg, også omtrent lig med variansen. Skrevet på formel er gennemsnittet  $\mu = \frac{\sum y}{n}$  og variansen  $\text{Var}(Y) = \frac{\sum (y-\mu)^2}{n}$ , hvor  $y$  er uheld i en periode og  $n$  er antallet af perioder.

Tre årtier senere påviste andre britiske forskere, at den variation, der er på tværs af flere steder udover den tilfældige variation, oftest bedst kan beskrives ved en gamma-fordeling, uanset om man opstiller en uheldsmodel eller ej. Derved fås, at den samlede variation i uheldsforekomsten flere steder er Poisson-gamma fordelt. Et eksempel herpå findes i figur 2 med antallet af uheld på ti forskellige strækninger.

I figur 2 er variansen i uheldsforekomsten ca. tre gange større end gennemsnittet. Den del af variationen i uheldsforekomsten, der findes ud over den tilfældige variation (som er lig med gennemsnittet), kaldes for systematisk variation. Den systematiske variation i figur 2 er altså ca. to gange større end gennemsnittet. Det er den systematiske variation, der er gamma fordelt.

En uheldsmodel kan forklare noget af den systematiske variation, men aldrig den tilfældige variation.

Vi kunne opstille en uheldsmodel for de 10 strækninger i figur 2. Uheldsforekomsten kan fx modelleres efter strækningernes længde eller mængde af trafik. I figur 3 er en model illustreret ved modellens middelværdi (grønne linje).

Variansen beregnet ud fra modellens middelværdi er her ca. dobbelt så stor som gennemsnittet i figur 3. I det tilfælde har modellen således forklaret ca. halvdelen af den systematiske variation. Den anden halvdel af den systematiske variation er fortsat uforklaret. I 1995 angav Rune Elvik fra Transportøkonomisk Institut i Norge, at en uheldsmodels forklaringskraft kan beskrives ud fra, hvor stor en andel af den systematiske variation, den forklarer. Elvik's Indeks beregnes ud fra tre talstørrelser; gennemsnit, varians før model, og varians med model. Elvik's Indeks er godt, simpelt og let at forstå, men anvendes desværre sjældent til at beskrive uheldsmodeller. I eksemplet i figur 3 er Elvik's Indeks ca. 0,5.

En Poisson-gamma fordeling kaldes også for en negativ binomial fordeling, og derfor siger man, at der opstilles negativ binomial fordelte uheldsmodeller eller blot NB modeller. Spredningsparameteren,  $k$ , i en NB model angiver, hvor stor den uforklarede systematiske variation er i forhold til den tilfældige variation. Skrevet på formel er,

$k = \frac{\text{Var}(Y) - \mu}{\mu^2}$ , hvor  $\text{Var}(Y)$  er variansen, og  $\mu$  er gennemsnittet.  $k$  er nul, når variansen er lig med gennemsnittet, altså når der kun er tilfældig variation tilbage. Jo større  $k$  er, desto mere uforklaret systematisk variation findes der.

I 1997 beskrev Ezra Hauer fra Canada en metode, der kan estimere uheldstætheden for et sted i en given periode, der med størst sandsynlighed er det reelle uheldsniveau for stedet. Metoden kaldes for Empirical Bayes og forudsætter, at der er opstillet en NB uheldsmodel for steder af tilsvarende type, som det sted man forsøger at estimere uheldstætheden for. I Empirical Bayes kan det estimerede antal uheld, ( $y$ ), beregnes ud fra det rapporterede antal uheld ( $y$ ), det forventede antal uheld (modellens middelværdi,  $\mu$ ) og spredningsparameteren,  $k$ . På formel er  $\lambda = y - \frac{y}{1+k\mu} + \frac{\mu}{1+k\mu}$ .

I figur 4 er et eksempel på, hvordan de rapporterede uheld for et sted kan opdeles i tre portioner: Uheld der skyldes generelle faktorer, uheld der skyldes lokale faktorer samt en tilfældig ophobning af uheld. Den opdeling kan udføres ved beregning af forventede og estimerede uheldstal ved brug af en NB model og Empirical Bayes. Hvis man skal foretage en pålidelig sortpletudpegning og vurdering af uheldsbesparelse for et givet sted, er man nødt til at beregne det estimerede antal uheld. Gør man ikke det, udpeges relativt mange steder som ikke er sorte pletter, og man overvurderer oftest uheldsbesparelsen af en ombygning. Overvurderingen af uheldsbesparelsen vil være forskellig fra sted til sted, fordi omfanget af tilfældig uheldsofhobning er vidt forskellig, og derved bliver prioriteringen af fx sortpletprojekterne ikke udført på et særligt godt grundlag. I Danmark har man endnu ikke foretaget beregninger af estimerede antal uheld, fordi man ikke har opstillet NB uheldsmodeller.

Ezra Hauer antog i 1997, at spredningsparameteren var konstant ud fra den overbevisning, at den uforklarede systematiske variation var jævnt fordelt. I 2001 stillede Hauer så spørgsmålet, om denne antagelse nu også var rigtig. Dominique Lord fra USA har forsket i dette de sidste 10 år og fundet, at spredningsparameteren i måske tre ud af fire tilfælde afhænger af uheldsmodellens uafhængige variable som fx trafikmængde og strækningens længde. Den uforklarede systematiske variation er derfor ofte ujævnt fordelt. Det betyder, at man er nødt til at anvende en revideret Empirical Bayes metodik. Det betyder også, at resultater fra før- og-efter uheldsevalueringer, der har anvendt Hauers metodik, er langt mere usikre end forskere førhen har vurderet eller troet.

Dominique Lord har også vist, at en NB

uheldsmodel med en konstant spredningsparameter bliver rimelig god, når den er baseret på minimum 500 uheld, mens en model med varierende spredningsparameter først bliver rimeligt bestemt, når den bygger på over 1.000 uheld. Disse to tal 500 og 1.000 kan man i dag bruge som tommelfingerregel for, hvornår man overhovedet kan opstille rimelige uheldsmodeller.

## Modeludtryk

I Danmark har Vejdirektoratet gennem flere årtier udarbejdet uheldsmodeller, der normalt benævnes basismodeller. Modellerne er baseret på, at vejnettet opdeles i strækninger og kryds af forskellige typer fx motorveje og signalregulerede kryds. Basismodellerne har følgende udtryk:

Strækning:  $\text{UHT} = a \times N^P$

Kryds:  $\text{UHT} = a \times N_{\text{pri}}^{P_1} \times N_{\text{sek}}^{P_2}$

hvor UHT er uheldstætheden,  $N$  er årssøgntrafik (ÅDT) på vejen i begge retninger,  $N_{\text{pri}}$  er ÅDT ind i krydset fra primærvejen,  $N_{\text{sek}}$  er ÅDT ind i krydset på sekundærvejen, og  $a$ ,  $P$ ,  $P_1$  og  $P_2$  er konstanter.

En basismodel kan være meget god, når den type af strækning eller kryds, som den beskriver, ikke varierer alt for meget i design. Typisk kan en basismodel beskrive i størrelsesordenen 50-70% af den systematiske variation. Det skyldes, at trafikmængden er en meget vigtig uafhængig variabel, da den kan forklare en stor del af uheldsforekomsten.

Basismodeller for kryds er dog til tider problematisk, fordi nogle af uheldene i kryds ikke er relateret til produktet af trafik mellem de to krydsende veje, men snarere kun til trafikken på den ene vej, som fx kan forårsage påkørsler af heller, bagendekollisioner, mv. Derfor bruges til tider andre modeludtryk.

Nogle lande har opstillet faktormodeller. Her benyttes faktorer til at beskrive, hvordan designet varierer fx fra strækning til strækning. Faktorer kan angive fx forekomst af vejbelysning, cykelsti, mv. og bredde af kørespor, kantbaner, mv. Faktormodeller har følgende udtryk:

Strækning:  $\text{UHT} = a \times N^P \times e^{\sum_{i=1}^n b_i x_i}$

Kryds:  $\text{UHT} = a \times N_{\text{pri}}^{P_1} \times N_{\text{sek}}^{P_2} \times e^{\sum_{i=1}^n b_i x_i}$

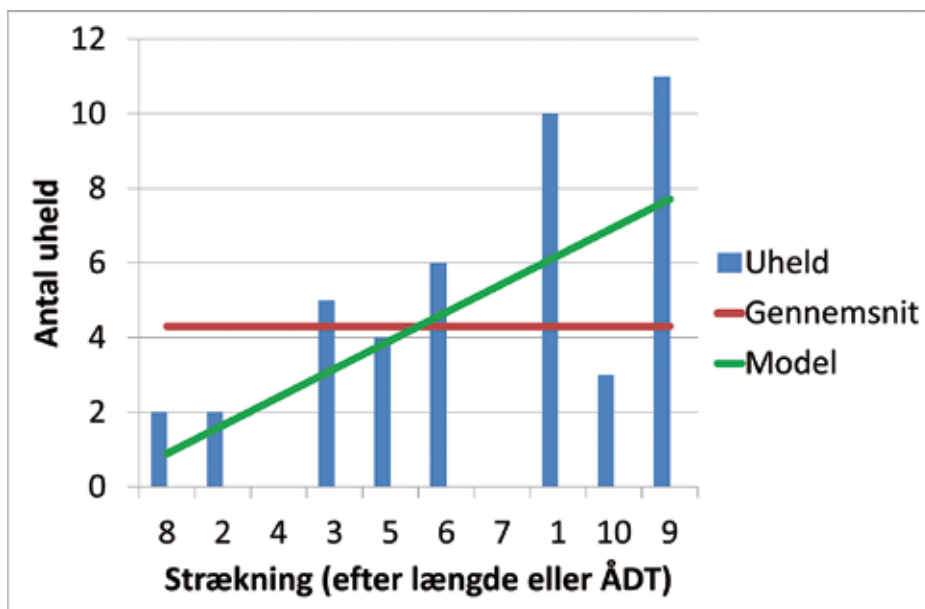
I faktormodeller indgår konstanterne  $b_i$  og variablene  $x_i$ , der beskriver stedets udformning. Faktormodeller kan være hensigtsmæssige at benytte, hvis der er stor variation i design. Oftest kan kun en eller to faktorer indgå i modellen, og det er særdeles usædvanligt, at mere end tre faktorer for design kan indgå, da flere faktorer sjældent øger modellens forklaringskraft i et nævneværdigt omfang. Disse faktorer er ikke kausale, dvs. de beskriver ikke en sikkerhedseffekt

– en årsag-virkning-sammenhæng. Tænk hvis tavlen ”Farligt vejkryds” var en faktor. Tavlen er jo ikke årsag til de mange uheld i krydset.

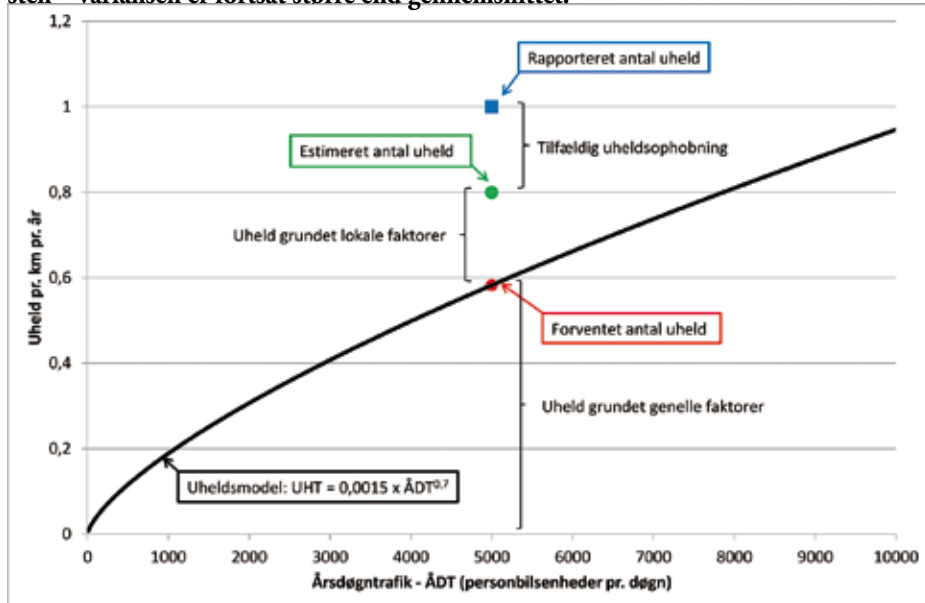
Indenfor de seneste år er der også udviklet uheldsmodeller med års- og områdefaktorer. Derved kan man beregne forventede og estimerede uheldstal i de enkelte år beliggende i forskellige områder. Disse uheldstal kan således være forskellige for steder fx i Nordjylland og Hovedstadsområdet, selvom trafikmængder og design for stederne er ens. Det kræver ca. 75-100 uheld i et år eller et område for, at det er muligt at angive pålidelige års- og områdefaktorer.

I Danmark har amterne og Vejdirektoratet anvendt basismodellerne primært til sortpletudpegning, og til det formål er modellerne gode. Men da designet har varieret meget for mange af vej- og krydstyperne, kan disse modeller ikke anvendes til at beregne et pålideligt forventet antal uheld for et specifikt vej- eller krydsdesign. Skal man bygge en omfartsvej, kan man altså ikke få pålidelige resultater for, hvor mange uheld man kan forvente på omfartsvejen ved at bruge disse modeller. Og disse modeller kan slet ikke anvendes til at afgøre, om et design er mere sikkert end et andet.

Uheldsmodeller til brug i forbindelse med fx VVM-undersøgelser, valg af vej- og krydstype, o. lign. må opbygges på anden vis. Her kan i stedet for benyttes grundmodeller med sikkerhedsfaktorer. En grundmodel angiver sammenhængen mellem uheldsforekomst og trafikmængde for en specificeret variant af en vej- eller krydstype, fx 130 km/t motorvej med 4 kørespår, med nødspår, uden vejbelysning, osv. En sikkerhedsfaktor angiver den kausale sammenhæng mellem uheldsforekomst og design, og er baseret på pålidelige uheldsevalueringer.



Figur 3. Med model – tilfældig og uforklaret systematisk variation i uheldsforekomsten – variansen er fortsat større end gennemsnittet.



Figur 4. Uheld for en strækning opdelt i uheld grundet hhv. lokale og generelle faktorer samt tilfældig uheldsophobning (regressionseffekt).

En sikkerhedsfaktor kan angive, hvordan fx vejbelysning, kantbaner, fortove, kurver, midterheller, svingbaner, osv. påvirker sikkerheden. Kombinationen af grundmodel og sikkerhedsfaktorer (SF) kan se således ud: Strækning:  $UHT = a \times N^P \times SF_1 \times SF_2 \times \dots \times SF_i$   
 Kryds:  $UHT = a \times N_{pri}^P \times N_{sek}^P \times SF_1 \times SF_2 \times \dots \times SF_i$

Amerikanerne har i et par år brugt grundmodeller og sikkerhedsfaktorer i deres trafikikkerhedsarbejde. De har gode erfaringer, men der er også problemer. Et problem er, at der forekommer at være synergieffekter mellem designelementer, fx kan vejbelysning have forskellig sikkerhedsmæssig betydning afhængig af vejens tværprofil. Derfor må designet af den vej eller det kryds, som man ønsker beregnet et forventet uheldstal for, ikke være meget anderledes end den specificerede variant, som indgår i grundmodellen.

### Uheldsmodeller i fremtiden

I dag er der kun tilstrækkeligt med vej- og trafikdata til at opstille uheldsmodeller for motorveje. Med Landstrafikmodellen (LTM) vil der indenfor den nærmeste tid være pålidelige trafikdata på et rimeligt detaljeret vejnet (typisk statsveje og kommunale trafikveje), som muliggør, at uheldsmodeller for flere vej- og krydstyper kan opstilles. Men manglende vejdata vil fortsat være et problem. Til at opstille modeller til fx sortpletudpegning er kun få vejdata nødvendige for at inddele vejnettet i vej- og krydstyper fx oplysninger om antal kørespor, midterrabat, hastighedsbegrænsning og krydsets reguleringsform. Derimod vil

det kræve ganske detaljerede vejdata at opstille grundmodeller.

Set alene ud fra antallet af uheld, der sker på veje og i kryds af forskellig type, kan man formentligt opstille uheldsmodeller til fx sortpletudpegning for i tabel 1 viste typer i det åbne land.

Mængden af uheld i rundkørsler og signalregulerede T-kryds i det åbne land er dog så beskedent, at det evt. er nødvendigt at opstille modeller, hvor steder i både land- og byzone indgår. Antallet af potentielle uheldsmodeller er rimeligt få. Det vil eksempelvis ikke være muligt at opstille en rimelig god uheldsmodel for motortrafikveje og heller en model veje med midterrabat, der ikke er motorveje. Antallet af uheld på disse vejtyper er simpelthen for få.

I byområder vil det formentligt være muligt at opstille uheldsmodeller for de samme krydstyper, som angivet for det åbne land. På strækninger vil der kunne opstilles modeller for hhv. 1-2-sporede veje og veje med 3-6 kørespor. Det er tvivlsomt om disse strækningsmodeller for byområder kan opdeles i veje med og uden midterrabat.

Det vil også være muligt at opstille modeller, der kan bruges til at opgøre det forventede og estimerede antal dræbte, alvorlige og lette skader. Da antallet af personskader er langt færre end antallet af uheld, vil det være nødvendigt, at personskademodeller går på tværs af vej- og krydstyper, se tabel 2. Vej- og krydstype vil derfor i stedet indgå som uafhængig variabel i disse modeller. Det kan vise sig hensigtsmæssigt at lade hastighedsbegrænsning indgå som uafhængig

variabel i personskademodeller frem for at opstille modeller for hhv. land- og byzone.

Det vil formentligt være muligt at opstille grundmodeller for 4-sporede motorveje, 2-sporede landeveje og 2-sporede byveje, samt for hhv. bestemte designs af 3-benede kryds med ubetinget vigepligt hhv. i by- og landzone, 4-benede kryds med ubetinget vigepligt i byzone samt 4-benede signalregulerede kryds i byzone. Det vil dog kræve mange vejdata.

### Afslutning

Vi ved i dag, hvordan uheldsmodeller bedst kan skrues sammen. Problemet er blot, at de nødvendige vej- og trafikdata ikke er tilgængelige. Det er relativt få steder i Danmark, at der sker så mange uheld, at en traditionel sortpletanalyse kan lede frem til fornuftige sortpletprojekter. Med relativt få steder menes ca. 1.000 kryds og strækninger, hvoraf typisk en fjerdedel vil blive udpeget som sorte pletter.

Men de tusindvis af steder, hvor der sker ingen eller kun få uheld, kan uheldsmodeller også være nyttige. Her kan man beregne et estimeret antal uheld, så der tages højde for den tilfældige variation i forekomsten af uheld. Derved kan der udføres en langt mere pålidelig vurdering af den uheldsbesparselse, som et tiltag i et kryds eller på strækning kan medføre.

Ønskes et videre indblik i uheldsmodellernes verden kan rapporten "Uheldsmodeller for veje i åbent land" hentes på [www.trafitec.dk](http://www.trafitec.dk).



Strækninger:	Kryds:
Motorveje	Prioriterede T-kryds
Flettestrækninger-ramper ved motorveje	Prioriterede F-kryds
2-sporede veje med/uden midterrabat	Rundkørsler
3-4-sporede veje med/uden midterrabat	Signalregulerede T-kryds
	Signalregulerede F-kryds

Tabel 1. Mulige uheldsmodeller i det åbne land, hvis vej- og trafikdata bliver tilgængelige.

Strækninger:	Kryds:
Dræbte – alle strækninger	Dræbte – alle kryds
Alvorlige skader – motorveje	Alvorlige skader – alle kryds
Lette skader – motorveje	Lette skader – alle kryds
Alvorlige skader – andre vejstrækninger	
Lette skader – andre vejstrækninger	

Tabel 2. Mulige personskademodeller i det åbne land, hvis vej- og trafikdata bliver tilgængelige.