

Metoder til detektering og vurdering af trafiksikkerhedsproblemer i vejnettet

Dorte Vistisen

Carl Bro as, IMM/CTT på DTU

M.Sc., PhD – studerende

1 Indledning

Selvom der årligt anvendes mange millioner på at gøre det danske vejnet mere sikkert at færdes i, er ressourcerne til trafikikkerhed i danske vejforvaltninger begrænsede. Det er derfor vigtigt, at de ressourcer, som benyttes på trafikikkerhed, anvendes så effektivt som overhovedet muligt.

De anvendte, eksisterende metoder til overvågning og analyse af trafikikkerheden på danske veje er udviklet for 20-30 år siden, hvor datamængden var mere begrænset og edb og statistiske metoder ikke så udviklede.

Foranlediget af dette påbegyndte *Carl Bro as* i juni 1999 et erhvervsforskerprojekt med det formål at vurdere og evt. forbedre de eksisterende modeller og metoder i sortpletarbejdet.

Sortpletarbejdet på de danske veje består i at udpege og udbedre uheldsbelastede steder i vejnettet - de såkaldte "sorte pletter". Dette arbejde kan inddeles i tre faser:

1. Udpegning af sorte pletter i vejnettet.
2. Prioritering af hvilke af de udpegede sorte pletter der skal søges udbedret ved implementering af trafikikkerhedsfremmende tiltag.
3. Før-/efteranalyse af det enkelte tiltags effekt på trafikikkerheden.

En forbedring af sortpletarbejdet i Danmark vil med fordel bestå i en styrkelse af alle tre delelementer i processen. Nedenfor gives en kort gennemgang af de eksisterende modeller og metoder benyttet på stats- og amtsveje inden for udpegning og før-/efteranalyser, og der gives forslag til forbedringer. Nye forbedrede metoder til prioriteringsfasen ventes udviklet inden for det næste års tid.

De nye modeller og metoder er sammenlignet med de eksisterende ved simulation. Simulationerne er baseret på vejdata for 3- og 4-benede signalregulerede kryds på stats- og amtsveje. Data er stillet til rådighed af Vejdirektoratet, der også har været meget behjælpelig med rådgivning igennem processen.

2 Modellering af variationen i uheld

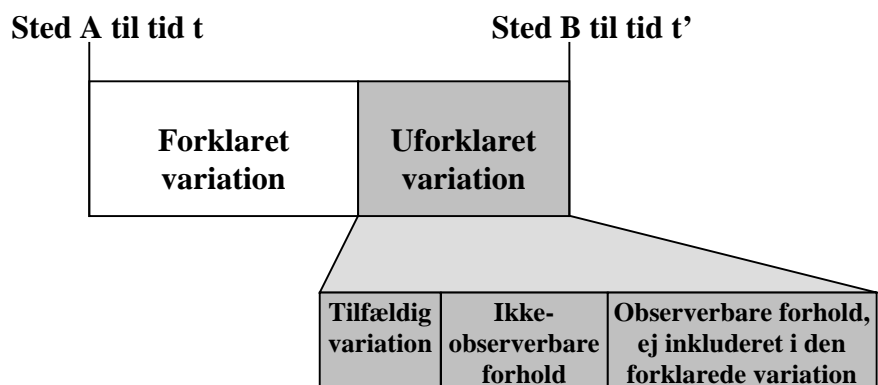
Basis for det systematiske sortpletarbejde er de opstillede modeller til beskrivelse af variationen i trafikuheld på vejnettet.

Det observerede uheldstal varierer fra sted til sted og over tid. Denne variation opdeles begrebsmæssigt i forklaret og uforklaret variation:

- Forklaret variation i uheld beskrives med forskelle i steds karakteristika på vejnettet, som f.eks. geografiske, geometriske, miljømæssige og trafikale forskelle, samt den generelle udvikling i uheld over tid. Al variation, der ikke kan beskrives med disse observerbare forskelle kaldes uforklaret.
- Uforklaret variation i uheld er det fænomen, at uheldstallet varierer mellem steder og over tid, uden at der er forskelle i de forklarende steds karakteristika.

Uheldsmodeller antager, at uheld på et sted varierer tilfældigt omkring stedets såkaldte uheldsniveau. Eventuelle forskelle i uheldsniveauer på forskellige steder og tidspunkter søges beskrevet ved den forklarede variation, det vil sige med forklarende steds karakteristika. Den resterende uforklarede variation fortolkes som værende tilfældig og modelleres traditionelt ved en Poissonfordeling.

Det er i praksis umuligt at inddrage alle stedsspecifikke forhold i modellerne. Enten fordi de ikke er observeret, eller fordi økonomiske begrænsninger og lignende hindrer en systematisk indsamling af sådanne data. Det er derfor vigtigt at påpege, at den uforklarede variation i uheldstallet mellem steder og over tid også dækker over andet end tilfældig variation. Herunder forskelle forbundet med såvel ikke-observerbare forhold, som observerbare forhold, der blot ikke er medtaget som steds karakteristika i den forklarede variation. Figur 1 illustrerer denne forskel for to forskellige steder på to forskellige tidspunkter.



Figur 1. Forskel i observerede uheldstal på to forskellige steder til to forskellige tidspunkter.

Eksisterende danske modeller benyttet på stats- og amtsveje tager udgangspunkt i, at den uforklarede variation i uheld kan beskrives ved homogene Poissonprocesser. For et bestemt sted (kryds eller strækning) ser modellen således ud:

$$X \in Poiss(\mu) \quad (1)$$

hvor X er antal uheld pr. år på det pågældende sted, og uheldsniveauet, μ , er det forventede antal uheld pr. år på steder med samme steds karakteristika som det pågældende. Forventningsværdien afhænger af de trafikale forhold på stedet (trafikmængden), og parameter værdierne i modellen estimeres under eet for hver vejtype¹.

Ved opbygning af uheldsmodellerne har man traditionelt antaget at stedsspecifikke karakteristika, såsom trafik og vejgeometriske forhold, er konstante på de enkelte steder indenfor observationsperioden (på 3-5 år). Modellerne er opstillet på baggrund af disse steds karakteristika og de tilhørende totale uheldstal for hele perioden.

Vejdirektoratet er begyndt at registrere årlige målinger af årsdøgntrafikken på strækninger. Et studium af disse målinger viser, at trafikken over f.eks. en 5-årig periode ikke er konstant. Enkelte strækninger har endog ret drastiske ændringer i årsdøgntrafikken. Ved store ændringer afkorter Vejdirektoratet derfor perioden til kun at dække tidsrummet efter ændringen. Det er velkendt at forskelle i trafikmængder forklarer en stor del af forskellene i uheldsniveauer stederne imellem. Selv mindre årlige ændringer i trafikmængder på ét sted vil derfor også have indflydelse på uheldsniveauet det pågældende sted.

Derudover har udenlandske og hjemlige studier vist, at Poissonantagelsen ofte ikke giver et dækkende billede af uheldsprocessen, idet faktiske uheldsdata for steder med samme karakteristika har vist sig at have en større variation end den Poissonprocessen angiver. Denne ekstra variation skyldes primært forskelle mellem steder i vejnettet, der ikke er forklaret ved forskelle i steds karakteristika.

2.1 Udvidet model til modellering af variationen

Modellen udviklet hos Carl Bro er en udbyggelse af den eksisterende model. For hver strækning og kryds i vejnettet er der indført et ekstra element, s , i modellen. Dette element repræsenterer netop de stedsspecifikke forhold, der ikke er inkluderet i den forklarede variation. Elementet s er en såkaldt dispersionseffekt, hvis variation modelleres ved en gammafordeling med middelværdi 1. Variationen i uheld kan for et bestemt sted (kryds eller strækning) beskrives ved:

$$\begin{aligned} X|s &\in Poiss(\mu') \\ S &\in gamma(\alpha, \alpha) \\ \mu' &= \mu s \end{aligned} \quad (2)$$

Uheldsniveauet på et givet sted, μ' , er nu opbygget af to elementer. Et element, μ , der angiver det forventede antal uheld pr. år på steder med samme steds karakteristika som det givne (svarende til forventningsværdien i Vejdirektoratets model (1) ovenover), samt et element, s , der udtrykker ekstra stedsspecifikke forhold. Dispersionseffekten, s , beskriver altså, hvorledes det pågældende sted afviger fra steder af samme type. Herved får man den ønskede mulighed for at beskrive den ekstra variation i uheld, som den rene Poissonmodel ikke giver. Elementet μ indeholder desuden geometriske såvel som trafikale

¹ Trafikale steder inddeles traditionelt i såkaldte ap-typer baseret på fælles karakteristika (jvf. Hemdorff [1990]).

steds karakteristika, hvilket giver mulighed for en grovere inddeling af steder end ved de traditionelle ap-grupper. Parametrene i modellen estimeres for hver vejtype².

For et givet sted i vejnettet, estimeres dispersionseffekten, s , ved:

$$s = \frac{\alpha + x_{\bullet}}{\alpha + \mu_{\bullet}} \quad (3)$$

hvor μ_{\bullet} er det forventede totale antal uheld over observationsperioden på steder med samme steds karakteristika som det pågældende, og x_{\bullet} er det observerede totale antal uheld på stedet. Elementet α er parameteren i gammafordelingen af dispersionseffekten. Udfra estimatet i (3) kan det forventede totale antal uheld på stedet over observationsperioden beregnes som:

$$\mu'_{\bullet} = w\mu_{\bullet} + (1-w)x_{\bullet} \quad (4)$$

Uheldsniveauet på det pågældende sted over observationsperioden, μ'_{\bullet} , er beregnet som et vejet gennemsnit mellem det forventede niveau i gruppen, μ_{\bullet} , og observationerne på stedet, x_{\bullet} . Vægtene, w , afhænger af variationen mellem dispersionseffekterne i gruppen.

I model (2) benyttes tidsenheder på eet år. Herved kan steder med forskellige totale periodelængder inddrages i den samme analyse. Opdelingen på årsniveau giver samtidig mulighed for at tage højde for såvel ændringer i årsdøgntrafikken som andre stedsspecifikke forhold på de enkelte steder over perioden. Generelle årlige udviklingstrends i uheldstallet kan ligeledes inddrages i modellen.

Simulationer, baseret på vejdata for 3- og 4-benede signalregulerede kryds på stats- og amtsveje, har vist, at den nye model estimerer det reelle uheldsniveau på de enkelte steder bedre³ end de p.t. benyttede modeller i Vejdirektoratet og amterne. Den nye model giver således en bedre beskrivelse af uheldsvariationen end den, man har i dag.

3 Udpegning af sorte pletter

En sort plet defineres generelt som et sted i vejnettet (et kryds eller en strækning) med et højere uheldsniveau end forventet på steder med samme steds karakteristika som det pågældende sted. Det er velkendt, at der er stor forskel på de forventede uheldsniveauer på forskellige vejtyper. Eksempelvis er motorveje generelt mindre risikofyldte end landeveje. Ovenstående sortpletdefinition bevirker, at man ikke udpeger de samme vejtyper hver gang.

I dag udpeger Vejdirektoratet og amter i praksis sorte pletter, som steder med et højt observeret uheldsantal, der samtidig er signifikant højere end forventet på steder med samme steds karakteristika⁴. Denne udpegning opdeler steder i sorte og ikke-sorte pletter, og de sorte pletter rangordnes efter deres førsteårsforrentning af det bedst egnede tiltag på stedet:

² I Lee og Nelder [1996] og [1998] er der opstillet metoder til estimation af modellen indenfor en gruppe.

³ Målt i *middel kvadreret estimationsfejl*.

⁴ Metoden gennemgås i Hemdorff [1996].

$$F = \frac{U}{A} \quad (5)$$

hvor U er de sparede uheldsomkostninger det første år, og A er et skøn over trafikikkerhedstiltagets anlægsudgifter. De sparede årlige uheldsomkostninger beregnes på baggrund af de observerede uheld på stedet⁵.

I midlertid har nogle af de udpegede steder større statistisk sikkerhed for at være sorte pletter end andre. Man forventer, at steder med stor "sikkerhed for sorthed" har større potentiale for uheldsreduktion end steder med lille "sikkerhed for sorthed". Det kunne derfor være ønskeligt, at den statistiske sikkerhed for sorthed også tilgodeses ved prioriteringen af de sorte pletter.

3.1 Forslag til ny metode til udpegning af sorte pletter

I henhold til ovenstående definition af sorte pletter, giver model (2) umiddelbar mulighed for at udpege sorte pletter ud fra de enkelte steders sikkerhed for at være en sortplet.

I modellen angiver μ' det forventede antal uheld på et bestemt sted, mens μ angiver uheldsniveauet på steder med samme steds karakteristika som det pågældende (gruppeniveauet). Iflg. sortpletdefinitionen, er stedet altså en sort plet hvis $\mu' > \mu$. Man kan evt. indføre et niveau, c , så sortpletkravet bliver $\mu' > c\mu$. Men da $\mu' > c\mu \Leftrightarrow s > c$ (jvf. model (2)), er det pågældende sted en sort plet såfremt dets dispersionseffekt er større end en fastlagt grænse c . Dispersionseffekten er således et udtryk for stedets grad af "sorthed".

Estimatet for dispersionseffekten i (3) er forbundet med en del usikkerhed på grund af den tilfældige variation i uheld. Baserer man sin udpegning alene på estimatets værdi underlægges udpegningen også denne usikkerhed. I stedet benyttes et udtryk for den statistiske sikkerhed for at dispersionseffekten er større end c . Denne værdi udregnes som halesandsynligheden svarende til punktet c i gammafordelingen med parametre $(\alpha + x_*, \alpha + \mu_*)$, og er stedets "sikkerhed for sorthed".

Dette svarer til at opdatere gammafordelingen i model (2) med x_* og μ_* . Dermed tages der hensyn til størrelsen af datagrundlaget på de enkelte steder. Datagrundlaget på et sted afhænger af længden af observationsperioden og det årlige observerede antal uheld. En stigning eller et fald i antal observerede uheld vil, alt andet lige, øge henholdsvis mindske stedets sikkerhed for at være en sort plet. Yderligere vil steder med samme μ og med samme årlige observerede antal uheld have forskellig sikkerhed for sorthed, såfremt der er forskel på længden af observationsperioderne. I det tilfælde, hvor der er observeret flere uheld end forventet på steder med samme steds karakteristika, vil der være størst sikkerhed for at stedet med den længste observationsperiode er en sort plet.

Sikkerhed for sorthed er således et sammenligneligt mål, efter hvilke beslutningstageren kan rangordne vidt forskellige steder. Eksempelvis kan strækninger sammenlignes med kryds, som illustreret i figur 2.

⁵ Metoden gennemgås i Højgaard m.fl. [1996].



Figur 2. Sorte pletter i vejnettet. Diameteren af cirklen angiver størrelsen af stedets "sikkerhed for sorthed".

I prioriteringen af hvilke steder der skal udbedres og med hvilke midler, er det dog nødvendigt med en nøjere analyse af hvilke tiltag, der er bedst egnede mod uheldene. Der arbejdes p.t. i Carl Bro på at udvikle en metode, der inddrager stedets grad af "sorthed" i prioriteringsfasen. Dette kan f.eks. opnås ved at basere førsteårsforrentningen i (5) på stedets estimerede uheldsniveau, $\mu' = \mu s$, fremfor på de observerede antal uheld.

Simulationer, baseret på vejdata for 3- og 4-benede signalregulerede kryds på stats- og amtsveje, viser at den nye metode er bedre til at udpege de sande sorte pletter i vejnettet end den eksisterende metode⁶. Dette gør sig især gældende for 4-benede signalregulerede kryds, hvor der er stor variation i uheldstallene mellem de enkelte steder.

4 Estimering af tiltagens sikkerhedsmæssige effekter

I før-/efteranalyserne undersøges effekten af de trafikikkerhedstiltag, der er etableret på lokaliteterne. Denne viden er meget vigtig for fremtidige prioriteringer af tiltag, samt ved trafikikkerhedsrevision.

I dag foretages før-/efteranalyserne ved at sammenligne de observerede uheld i perioderne før og efter udbedring⁷. Der korrigeres i nogen grad for udvikling i trafik og for generelle udviklinger i uheldsniveauet, samt for eventuelle forskelle i periodelængder før og efter implementering. Derudover justeres der for det faktum, at steder, udvalgt på baggrund af et højt observeret uheldstal, ofte får en nedgang i uheldstallet i den efterfølgende periode, selvom der ingen ændringer er foretaget. Dette benævnes også som regressionseffekten. Den estimerede procentvise nedgang i uheldsniveauet som følge af tiltaget beregnes som:

$$\varepsilon = 1 - \frac{x_{\bullet, \text{efter}}}{k \cdot x_{\bullet, \text{før}}} \quad (6)$$

⁶ Svarende til at en sort plet i gennemsnit har større sandsynlighed for at blive udpeget af den nye metode.

⁷ Eksempler er givet i Nielsen og Jensen [1999].

hvor $x_{\bullet, \text{før}}$ og $x_{\bullet, \text{efter}}$ er de observerede totale antal uheld på stedet henholdsvis før og efter implementering af trafikikkerhedstiltag. Parameteren k er korrektionsfaktoren, og justering for regressionseffekten sker i praksis ved at før-tallene reduceres med 20-30%.

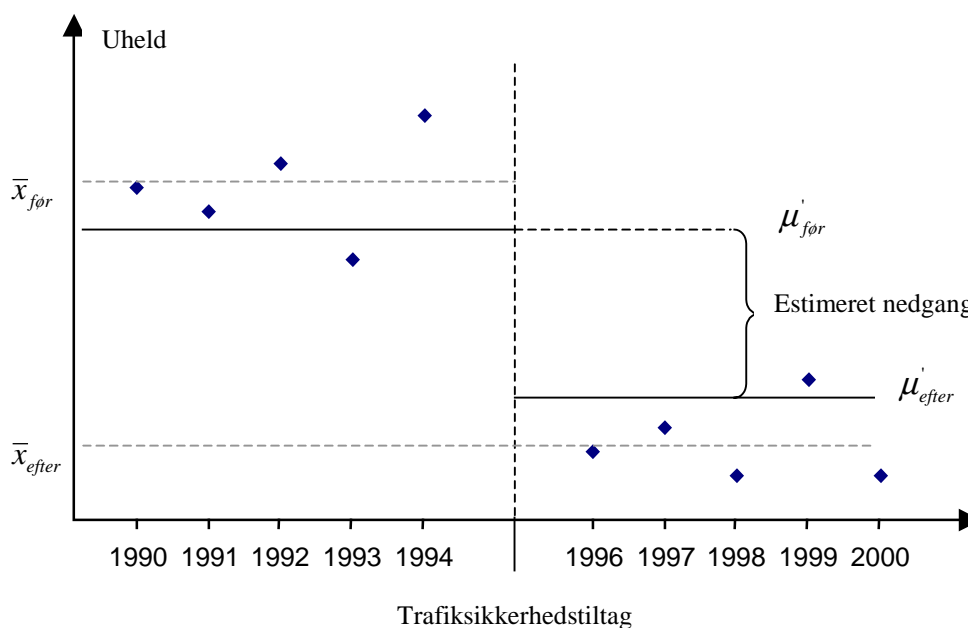
Regressionseffekten fremkommer på grund af den tilfældige variation i uheld. Den afhænger blandt andet af de forklarede forhold på det enkelte sted (stedskarakteristika), og er således ikke konstant indenfor en gruppe. Uheldene i perioden efter udbedring varierer ligeledes tilfældigt, hvilket der ikke tages højde for i (6).

4.1 Forslag til ny metode til estimering af tiltagens sikkerhedsmæssige effekter

I forbindelse med erhvervsforskerprojektet er der undersøgt en ny metode til at estimere effekten af tiltag. Den nye metode benytter modelestimer for stedets uheldsniveau i såvel perioden før som efter implementering af sikkerhedsforanstaltninger. Den procentvise nedgang i uheldsniveauet estimeres som:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\mu'_{\text{efter}}}{\mu'_{\text{før}}} \quad (7)$$

Uheldsniveauerne estimeres på baggrund af model (2) til beskrivelse af variationen i uheld. Estimererne er, for uheldsniveauerne henholdsvis med og uden udbedring, givet som et vejet gennemsnit af uheldsobservationerne på det pågældende sted og uheldsniveauet på steder med samme stedskarakteristika (jvf. (4)). De beregnes for den samme tidsperiode. Derved tilgodeses både ændringer i eksogene faktorer (trafik m.m.), regressionseffekten og den tilfældige variation i uheldstallene efter udbedring. Figur 3 illustrerer før-/efteranalysen af effekten af et trafikikkerhedstiltag. Af illustrationsgrunde antages stedskarakteristika at være konstante i henholdsvis perioden før og efter implementering af trafikikkerhedstiltaget.



Figur 3. Observerede uheld før og efter udbedring, samt den estimerede nedgang i uheldsniveauet.

Den nye metode giver iflg. simulationer, baseret på vejdata for 3- og 4-benede signalregulerede kryds på stats- og amtsveje, langt bedre og mere robuste estimater for effekten af trafikikkerhedstiltag, end den metode der benyttes i dag⁸.

5 Konklusion

Ved at udvide de eksisterende uheldsmodeller med de såkaldte dispersionseffekter fås en bedre beskrivelse af uheldsvariationen i vejnettet. Ud fra dispersionseffekterne kan man beregne hvert steds sikkerhed for at være en sort plet. Udpeges steder på baggrund af de estimerede værdier af "sikkerhed for sorthed", rammer man flere af de sande sorte pletter end ved den eksisterende metode. I før-/efteranalyserne af effekten af trafikikkerhedstiltag bør man benytte modelestimer for uheldsniveauerne både før og efter tiltaget. Dette giver langt bedre effektestimater af foranstaltningerne end den hidtidig benyttet metode.

En forbedring af modeller og metoder, indenfor sortpletudpegning og før-/efteranalyser, vil styrke sortpletarbejdet generelt.

De udviklede modeller i Carl Bro er indtil videre kun estimeret for stats- og amtsveje, idet der ikke eksisterer en samlet database med vejinformationer for kommuneveje. Når modelarbejdet er færdiggjort, er det dog projektets mål at gøre de nye modeller og metoder operationelle i såvel Vejdirektoratet og amternes sortpletarbejde, som lokalt hos de kommunale vejbestyrelser. I Carl Bro arbejdes der blandt andet med at udvikle en uheldsdatabase i vejadministrationssystemet RoSy. Her kan modellerne indgå som en facilitet til sortpletudpegningen.

6 Litteratur

Hemdorff, S. [1990] **Trafikkerhed, vurdering af inddeling i ap-typer til brug ved sortpletudpegning**. VDL-rapport 90, Vejdatalaboratoriet, Vejdirektoratet.

Hemdorff, S. [1996] **Introduktion til VISplet: AP-parametre baseret på 1989-93**. Notat 29, Vejdirektoratet.

Højgaard, H., P. B. Mathiasen og S. Rasmussen [1996] **Sortpletprioritering 1995. Vurdering af trafikikkerhedsprojekter på hovedlandeveje**. Rapport 31, Vejdirektoratet.

Lee, Y. og J. A. Nelder [1996] Hierarchical generalized linear models. **J. R. Statistical Society B**, 58 (4), 619-678.

Lee, Y. og J. A. Nelder [1998] Generalized linear models for the analysis of quality-improvement experiments. **The Canadian Journal of Statistics**, 26(1), 95-105.

Nielsen, M. A. og Jensen, S. U. [1999] **Avanceret signalstyring i signalreguleret kryds**. Notat 61, Vejdirektoratet.

⁸ Målt i *middel kvadreret estimationsfejl*.