

Denne artikel er publiceret i det elektroniske tidsskrift
Udvalgte Artikler fra Trafikdage på Aalborg Universitet
(Selected Proceedings from the Annual Transport Conference
at Aalborg University)
ISSN 1903-1092
www.trafikdage.dk/artikelarkiv
Modtaget: 11.09.2013
Godkendt: 20.10.2014

Vejkarakteristika og ulykkestæthed

Ph.d.-studerende Camilla Sloth Andersen, csa@plan.aau.dk, Trafikforskningsgruppen Aalborg Universitet

Adjunkt Anne Vingaard Olesen, avo@business.aau.dk, Aalborg Universitet

Lektor Lars Bolet, bolet@plan.aau.dk, Trafikforskningsgruppen Aalborg Universitet

Abstract

Udpegning, analyse og udbedring af sorte pletter på det danske vejnet har været en af de primære aktiviteter i det stedbestede trafikikkerhedsarbejde de sidste 40 år. Imidlertid er sortpletarbejdet med årene blevet vanskeligere af to grunde: Dels er de mest markante sorte pletter identificeret og afhjulpet, de resterende er mindre markante og effekten af foranstaltninger mindre (SWOV, 2010). Dels baseres sortpletarbejde på en stadig mindre del af det reelle antal trafikulykker. Hvad skal tage over i stedet for det traditionelle sortpletarbejde?

Som et delprojekt under et forskningsprojekt med det formål at udvikle en ikke-ulykkesbaseret metode til udpegning af risikolokaliteter på det sekundære tosporede vejnet i Danmark analyseres hvilke vejkarakteristika, der er associeret med ulykkesrisiko på det sekundære tosporede vejnet i Danmark.

Analysen er baseret på ulykkesdata fra perioden 2004-2011 samt data om et 180 km langt vejnet i Aalborg Kommune. De 180 km vej er fordelt på 145 strækninger, og for hver strækning findes data om årsdøgnstrafik, kørebanebredde, kantbanebredde, bredden af blød rabat, krydstæthed, adgangstæthed, tilstedeværelse af cykelsti samt data om omfanget af længdemarkering.

Analysen er foretaget som en Poissonregression med antal ulykker som afhængig variabel og strækningslængde som offset variabel for at tage højde for strækningernes varierende længde. Resultaterne viser, at der er en signifikant sammenhæng mellem ulykkestæthed og årsdøgnstrafik, krydstæthed samt adgangstæthed. Dertil konkluderes det, at resultaterne er interessante og vil indgå i en lignende analyse af et større vejnet.

1. Indledning

I det stedbestede trafikikkerhedsarbejde har udpegning og udbedring af sorte pletter siden 1970'erne været en af de primære aktiviteter. Imidlertid er sortpletarbejdet med årene blevet vanskeligere af to grunde: Dels er de mest markante sorte pletter identificeret og afhjulpet, de resterende er mindre markante og effekten af

foranstaltninger mindre (SWOV, 2010). Dels baseres sortpletarbejde på en stadig mindre del af det reelle antal trafikulykker. Mørketallet er steget, og registreringsgraden er faldet fra 18,5 % af de tilskadekomne i 2001 til 10 % i 2011 (Danmarks Statistik, 2012).

Der er derfor brug for ny viden om, hvordan vejbestyrelserne skal gribe det stedbestede trafikikkerhedsarbejde an. Der kan være flere løsninger på vejbestyrelsernes problem med ikke at kunne udpege sorte pletter med de nuværende metoder: 1) Udpegning og udbedring af sorte pletter eller risikolokaliteter indstilles, 2) Det eksisterende datagrundlag udvides med data om trafikulykker fra for eksempel landets skadestuer eller 3) Andre typer af data benyttes som grundlag for udpegning af risikolokaliteter. To forskningsprojekter er igangsat ved Trafikkerhedsgruppen på Aalborg Universitet, i begge forskningsprojekter undersøges muligheden for at benytte andre typer af data end ulykkesdata til at udpege risikolokaliteter. Udgangspunktet er GPS-data fra biler i det ene projekt og data omkring vejens karakteristika i det andet projekt. Denne artikel omhandler projektet hvori muligheden for at bruge data om vejens karakteristika undersøges. (Andersen og Agerholm, 2012).

Udgangspunktet for denne artikel er et delprojekt under forskningsprojektet, hvori muligheden for at bruge data omkring vejens karakteristika til udpegning af risikolokaliteter undersøges. I artiklen belyses hvilke vejkarakteristika, der er associeret med ulykkesrisiko på det sekundære tosporede vejnet i åbent land i Danmark. I forskningsprojektet deltager 6 danske kommuner: Hjørring, Aalborg, Viborg, Ringkøbing-Skjern, Haderslev samt Vordingborg Kommuner. I artiklen afrapporteres forsøg foretaget på et udsnit af vejnettet i Aalborg Kommune; i efteråret 2013 og foråret 2014 foretages analyser af dele af vejnettet i yderligere 2 kommuner.

Formålet med det samlede forskningsprojekt er at formulere en praktisk anvendelig ikke-ulykkesbaseret metode til udpegning af risikolokaliteter på det tosporede sekundære vejnet i det åbne land i Danmark. At metoden skal være praktisk anvendelig, betyder blandt andet, at de nødvendige input til metoden skal være data, der allerede eksisterer i vejbestyrelsernes databaser eller kan tilvejebringes uden store omkostninger. Ifølge Ole Thorsen, ophavsmanden til det danske sortpletarbejde, foretages udpegning af risikolokaliteter ideelt set ud fra viden om vejens karakteristika og trafikregulering, idet tilstedeværelsen af lokale risikofaktorer stammer fra netop disse forhold (Thorsen, 1970; 1967). I 1960'erne, da Ole Thorsen udviklede metoden til udpegning af risikolokaliteter, var det en enorm opgave at indsamle data om vejens karakteristika, og Thorsen udviklede i stedet en metode med udgangspunkt i data om de ulykker der registreres. Ideen i forskningsprojektet er at undersøge muligheden for at bruge data om vejen til at udpege risikolokaliteter, da data om vejen nu, 50 år senere, er lettere tilgængelige. Siden 1960'erne har Vejdirektoratet løbende udarbejdet uheldsmodeller for stats- og de tidligere amtsveje, de seneste modeller er tilgængelige i (Hemdorff, 2012). Modellerne er søgt forbedret både i 2002, hvor Vistisen forbedrede metodernes beskrivelse af den tilfældige variation (Vistisen, 2002) og i 2005 hvor Madsen søgte at inddrage ulykkernes alvorlighed i modellerne (Madsen, 2005). Imidlertid er uheldsmodellerne udelukkende udarbejdet for stats- og amtsveje, hvor denne artikel søger at bidrage med viden om sammenhængen mellem vejkarakteristika og ulykker på kommuneveje.

Et nødvendigt videns-grundlag for at kunne udpege på baggrund af vejens karakteristika er sammenhængen mellem vejkarakteristika og ulykkesrisiko. Artiklen undersøger sammenhængen mellem ulykkesforekomst og følgende data omkring vejen: Årsdøgnstrafik, kørebanebredde, kantbanebredde, bredden af blød rabat, krydstæthed, adgangstæthed, tilstedeværelse af cykelsti samt omfanget af længdeafmærkning. Der er i artiklen udarbejdet en statistisk model for ovennævnte sammenhæng baseret på ulykkesdata i årene 2004-2011.

Risiko for ulykker langs vejen kunne også være undersøgt ved at sammenligne vejkarakteristika med indikatorer på ulykker for at imødegå problemet med underrapportering i den officielle uheldsstatistik. Disse indikatorer kunne for eksempel være ryk (Agerholm og Larhmann, 2012; Bagdadi og Várhelyi, 2011) eller trafikforseelser (Jiaxing m. fl., 2010). Der er taget udgangspunkt i ulykker i denne artikel, fordi data for indikatorerne ikke er tilgængeligt på det samlede kommunale vejnet i åbent land i Danmark. Tilgængelighed er nødvendig, da formålet med det samlede forskningsprojekt, som tidligere nævnt, er at formulere en praktisk anvendelig udpegningsmetode.

2. Viden om sammenhæng mellem vejkarakteristika og ulykkesrisiko

Sammenhængen mellem vejkarakteristika og ulykkesforekomst er undersøgt i flere internationale studier. Studierne har forskellig karakter i form af undersøgte vejtyper, omfanget af vejkarakteristika samt analysemetoder. Samlet giver litteraturen dog et overblik over, hvilke sammenhænge der kan forventes også på danske veje, og er dermed en del af grundlaget for valg af vejkarakteristika i artiklens undersøgelse. På grundlag af denne litteratur er ligeledes opstillet en række hypoteser for de vejkarakteristika der indgår i denne artikel.

Årsdøgntrafikken er et udtryk for den eksponering, der er på en given strækning og dermed også for sandsynligheden for, at der sker en ulykke. Det er derfor forventeligt, at denne variabel har en betydning for ulykkesforekomsten. I nogle internationale undersøgelser er sammenhængen forudsat at være lineær, og ulykkesfrekvensen anvendes som den afhængige variabel (Lee og Mannering, 2002; Othman m. fl., 2009; Polus m. fl., 2005). Andre undersøgelser inddrager årsdøgntrafikken som en uafhængig variabel, hvor sammenhængen mellem ulykkesforekomsten og årsdøgntrafikken ikke nødvendigvis er lineær. Disse undersøgelser finder alle, at større trafikmængder fører til højere ulykkesforekomst (Hadi m. fl., 1995; Karlaftis og Golias, 2002; Milton og Mannering, 1998).

Kørebanebredde og køresporsbredde er et udtryk for, hvor stort et manøvreareal trafikanterne har på den givne vej. Jo bredere manøvreareal, des større synes muligheden for at rette op på et køretøj der er kommet ud af kontrol. De fleste undersøgelser, der finder en sammenhæng mellem køresporsbredde og ulykkesforekomst, viser, at ulykkesforekomsten falder, jo bredere vejen er (Hadi m. fl., 1995; Karlaftis og Golias, 2002; Nielsen og Nielsen, 1998; Polus m. fl., 2005; Zegeer og Council, 1995). I to undersøgelser fra henholdsvis Sverige og USA findes et lidt andet mønster, hvor ulykkesforekomsten stiger op til en køresporsbredde på ca. 3,5 m eller en kørebanebredde på omkring 5,8 m, hvorefter den enten flader ud eller falder som følge af bredere kørebane eller kørespor (Milton og Mannering, 1998; Othman m. fl., 2009).

Kantbanen og rabatten giver trafikanterne et yderligere manøvreareal hvor køretøjet kan rettes op eller bremses ned i tilfælde af mistet kontrol. Flere studier har undersøgt, hvilken betydning rabatten, enten med eller uden kantbane, har for ulykkesforekomsten. I de undersøgelser hvor der kan konstateres en sammenhæng, findes i alle tilfælde, at ulykkesforekomsten falder når rabatbredden eller kantbanebredden øges (Hadi m. fl., 1995; Lee og Mannering, 2002; Milton og Mannering, 1998; Polus m. fl., 2005; Zegeer og Council, 1995).

Jo flere adgange, der er langs en vej, des flere muligheder er der for potentielle konflikter og ulykker, idet krydsende trafikstrømme mødes. Disse adgange kan være i form af kryds, eller det kan være vejadgange fra marker eller private ejendomme. I nogle undersøgelser skelnes mellem kryds og vejadgange, og i andre undersøgelser ses disse som en samlet variabel i analysen. Fælles for undersøgelserne er, at de viser, at jo tættere

kryds og vejadgange ligger langs en strækning, des højere er ulykkesforekomsten (Hadi m. fl., 1995; Karlaftis og Golias, 2002; Polus m. fl., 2005; Vejdirektoratet og Trafitec, 2011).

De fleste undersøgelser omkring cykelstiers effekt på ulykkesforekomsten er foretaget i byområder. Dette skyldes blandt andet, at det er her der er langt de fleste cyklistere, hvilket giver datamateriale til at undersøge om der er en positiv eller negativ effekt på trafikikkerheden ved at anlægge en cykelsti. I trafikikkerhedshåndbogen fra Transportøkonomisk Institut i Norge er en række undersøgelser af effekten af at anlægge cykelsti samlet i en metaanalyse. Analysen viser, at antallet af ulykker med cyklistere langs med strækningen falder, mens antallet af ulykker med cyklistere i kryds stiger (Elvik m. fl., 2009) ved anlæggelse af cykelsti. Metaanalysen er dog primært foretaget på cykelstier i byer, og det skal samtidig iagttages, at der i de fleste undersøgelser ikke er taget højde for, om der er en ændring i cyklistmængden på lokaliteterne før og efter etableringen af cykelstien. I håndbog for effekt af vejtekniske virkemidler fra Vejdirektoratet angives en positiv sikkerhedsmæssig effekt på alle ulykker både på strækninger og i kryds ved at anlægge cykelsti langs vej i åbent land (Jensen m. fl., 2010). I Danmark findes flere steder cykelstier langs veje i åbent land, typisk adskilt fra vejen med en græsabat, det vil derfor være interessant at undersøge om datamaterialet i denne artikel kan understøtte vurderingen i den danske håndbog, om at tilstedeværelsen af en cykelsti har en positiv betydning for ulykkesforekomsten på en strækning i det åbne land.

Undersøgelser af hvorvidt længdemarkeringen påvirker ulykkesforekomsten, er for hovedpartens vedkommende af ældre dato. I Trafikkerhedshåndbogen fra Transportøkonomisk Institut i Norge er der foretaget en metaanalyse med disse data. Analysen viser, at man kan forvente et beskedent fald i ulykkesforekomsten ved indførelsen af midterlinjer eller kantlinjer hvor disse ikke tidligere var til stede (Elvik m. fl., 2009). Nyere undersøgelser vedrørende længdemarkering er i høj grad koncentreret omkring effekten af rumleriller eller rumlestribes i forskellige udformninger set i forhold til almindelige striber. Nærværende artikels undersøgelse omhandler imidlertid det sekundære kommunale vejnet, hvor der kun i sjældne tilfælde er benyttet rumlestribes, hvorfor datagrundlaget for rumlestribes vil være for spinkelt til at opnå holdbare resultater med statistiske analyser.

På baggrund af den internationale litteratur er opstillet en række hypoteser om de vejkarakteristika, der indgår i undersøgelsen, disse kan ses i tabel 1.

Tabel 1: Hypoteser om hvorledes vejkarakteristika påvirker ulykkestætheden langs tosporede veje i åbent land. Hypoteserne er baseret på litteraturstudie.

Variabel	Hypotese
Årsdøgnstrafik	Stigende ulykkestæthed ved stigende årsdøgnstrafik
Kørebanebredde	Faldende ulykkestæthed jo bredere kørebane
Kantbanebredde	Faldende ulykkestæthed jo bredere kantbane
Bredden af blød rabat	Faldende ulykkestæthed jo bredere blød rabat
Krydstæthed	Stigende ulykkestæthed jo højere krydstæthed
Adgangstæthed	Stigende ulykkestæthed jo højere tæthed af vejadgange
Cykelsti	Faldende ulykkestæthed ved tilstedeværelse af cykelsti
Længdemarkering	Faldende uheldstæthed jo mere længdemarkering

Omkring betydningen af årsdøgnstrafikken, rabat og kantbanebredde, krydstæthed og tæthed af vejadgange er litteraturen entydig, og for disse vejkaraktistika er hypotesen formuleret som et direkte udtryk for resultaterne fra tidligere undersøgelser. I forbindelse med kørebanebredden viser de fleste undersøgelser en sammenhæng, hvor ulykkesrisikoen falder med bredden af kørebanen eller køresporet er. To internationale undersøgelser finder et knæk i denne kurve, idet de helt smalle veje har den laveste ulykkesforekomst, hvorefter ulykkesforekomsten stiger brat for herefter at falde i takt med at bredden øges. Som hypotese i denne artikel vælges at ulykkestætheden falder i takt med bredden øges, da denne hypotese har bredest opbakning i litteraturen.

3. Metode

I forbindelse med modellering af ulykkesdata er det interessant at modellere ulykkesforekomsten over en periode på en given vejstrækning. Vejstrækningerne kan være defineret som lige lange strækninger eller som strækninger med varierende længde, men med et homogent design. I ulykkesmodellering er der gennem tiden benyttet forskellige typer af statistiske metoder, herunder er Poisson- og den negative binomialfordeling eller varianter af disse de mest fremherskende.

Ulykkesforekomst på vejstrækninger set over en periode kan ikke være andet end hele, ikke-negative tal. Dermed er sandsynlighedsfordelinger som Poisson- og den negative binomialfordeling oplagte, hvilket også er udgangspunktet i denne artikel.

Regressionsanalysen er foretaget i STATA version 12. I artiklen er valgt homogene strækninger med varierende længde, og vejlængden er derfor taget med i regressionsanalysen med regressionsparameteren sat fast til 1 som korrektion for, at ulykkesrisikoen er proportional med vejlængde.

Teoretisk baggrund: Poisson og negativ binomial regression

Poisson modellen er defineret som (Hilbe, 2011):

$$P(n_i) = \frac{e^{-\lambda_i} \cdot (\lambda_i)^{n_i}}{n_i!},$$

hvor $P(n_i)$ er sandsynligheden for, at n ulykker indtræffer på strækning i , og λ_i er det forventede antal ulykker på strækning i . λ er defineret som:

$$\lambda_i = e^{(\beta X_i)},$$

hvor X_i er en vektor af forklarende variable for strækning i , og β er en vektor af koefficienter, der kan estimeres ved hjælp af standard maksimum-likelihoodmetoder. Poissonregression kan benyttes til at estimere β , så længe variationen i data ikke er meget større end den gennemsnitlige ulykkestæthed. Er dette tilfældet, kan i stedet benyttes negativ binomial regression. I dette tilfælde er λ givet ved:

$$\lambda_i = e^{(\beta X_i + \varepsilon_i)},$$

hvor der er tilføjet et fejllid, ε_i , der er gammafordelt med en middelværdi på 1 og en varians α . Er α lig 0 reduceres en negativ binomialfordeling til en Poissonfordeling. Poissonmodellen er et specialtilfælde af den negative binomialmodel, hvor α er lig med 0. Man kan teste, om data kan antages Poissonfordelte svarende til nulhypotesen $\alpha = 0$ med den såkaldte "boundary maximum likelihood test" (Hilbe, 2011).

Ulykkesdata fordelt på et antal strækninger vil indeholde en række strækninger uden ulykker, såkaldte 0-strækninger. Andelen af 0-strækninger kan blive så stor, at dette ikke kan håndteres af en generel Poisson- eller negativ binomialregression. Det kan i stedet være nødvendigt at bruge "zero-inflated" Poisson eller "zero-inflated" negativ binomial regression (Hilbe, 2011). Det kan imidlertid diskuteres, om det giver logisk mening, at benytte en "zero-inflated" model til at modellere ulykkesdata, da et forventet ulykkestal på 0 for en strækning eller kryds ikke er realistisk (Jensen, 2011; Lord m. fl., 2007; Reurings m. fl., 2005). Nyere forskning finder desuden, at en variation af negativ binomialmodellen: "negative binomial-Lindley generalized linear model" bedre beskriver overspredte ulykkesdata med en stor andel af 0-strækninger end "zero-inflated" negativ binomialmodeller (Geedipally m. fl., 2012). Det såkaldte Vuongs test kan benyttes til at teste, hvorvidt en zero-inflated model passer bedre til data (Vuong, 1989). Vuongs test er benyttet i denne artikel for at få en indikation af, om der er for mange 0-strækninger i forhold til en generel Poisson- eller negativ binomialmodel.

Variabler i regressionsanalysen

Den funktionelle form af de uafhængige variable er i artiklen afprøvet som kvadreret, kvadratroden af variabelen, den inverse kvadratrode af variabelen, den naturlige logaritme til variabelen samt variabelen i ren form for at afgøre, hvorledes variablerne skulle indgå i analysen. I forbindelse med gennemgangen af variablerne viste det sig at nogle kontinuerte variable var mere egnede som kategorivariabler, og de indgik derfor i regressionsanalysen som kategorivariabler.

4. Datagrundlag

Analysen er foretaget på et analysevejnet, der består af 179 km sekundære tosporede veje i åbent land i Aalborg Kommune. Analysevejnettet består af gennemfarts- og fordelingsveje og er delt i 145 strækninger, således at hver strækning er homogen i forhold til følgende karakteristika: vejklasse, årstdøgnstrafik, kørebanebredde, randbebyggelse, randbevoksning, cykelfaciliteter og længdemarkering, dertil er strækningerne delt i kryds med anden gennemfarts- eller fordelingsvej. På alle strækninger gælder den generelle hastighedsbegrænsning på 80 km/t. Dette er valgt for til dels at tage højde for hastighedens betydning for ulykkesforekomsten. Det optimale ville være at inddrage hastigheden som en variabel i analysen, men disse data er ikke generelt tilgængelige på hele det sekundære vejnet. Som alternativ kunne den skilte hastighed være benyttet som variabel, men karakteren af strækninger med lokal hastighedsbegrænsning afviger ofte en del fra de generelle strækninger i åbent land, og derfor er i stedet valgt kun at inddrage veje, hvor den generelle hastighedsbegrænsning gælder.

Grundlaget for analysen er data om ulykker og vejkarakteristika på analysevejnettet. Ulykkesdata stammer fra Vejdirektoratets ulykkesdatabase. Denne indeholder politiregistrerede trafikulykker, der alle er stedfæstet på vejnettet. Ulykkesdata i Vejdirektoratets database udgør kun en delmængde af de samlede antal ulykker, der sker på vejnettet. Som tidligere nævnt registreres omkring 10 % af de tilskadekomne i trafikken af politiet, mens registreringsgraden af ulykker udelukkende med materielskade formentlig er mindre. Grunden til at disse data alligevel benyttes som grundlag for analysen, er, at dette er de eneste tilgængelige landsdækkende data om ulykker, som er stedfæstet rimeligt præcist på vejnettet. En præcis stedfæstelse er nødvendig i analysen, da ulykkerne skal tilknyttes de strækninger, der indgår i analysen. Samtidig forventes politiets registreringsgrad at være højere i åbent land, idet ulykkerne ofte er mere alvorlige grundet høj hastighed, hvilket gør, at politiet oftere involveres. Dertil er transportmiddelsammensætningen på landet således, at langt størstedelen er motoriserede køretøjer fremfor bløde trafikanter. Generelt er registreringsgraden af tilskadekomne i motorkøretøjer højere end for bløde trafikanter. Sammenlignes registreringsgraden for personbiler og cyklister, er den 14 % for tilskadekomne i personbiler og kun 4,6 % for tilskadekomne på cykel. I analysen anvendes person- og materielskadeulykker fra perioden 2004-2011. En sammenligning af ulykkesdata for analysevejnettet med ulykkesdata for det kommunale vejnet i åbent land generelt i Danmark viser, at ulykkesdata på analysevejnettet kan anses for repræsentative, da de ikke afviger væsentligt fra det generelle billede.

Tabel 2: Beskrivende data omkring de 145 strækninger der indgår i analysen.

	Minimum	Maximum	Middelværdi	Standard afvigelse	Sum
Længde (m)	112	6548	1233	976	178783
Årsdøgnstrafik	96	10361	1899	2227	
Kørebanebredde (m)	4,4	11,6	6,4	1,4	
Blød rabat (m)	1	6,7	2,7	1,3	
Kantbane (m)	0	1,2	0,01	0,02	
Kryds (antal/km)	0	5,4	0,5	0,8	
Vejadgange (antal/km)	0	29,1	9,2	5,9	
Cykelsti	Ingen cykelsti	Cykelsti			
Længdemarkering	Ingen markering	Midter- og kantstrib			
Ulykker (antal/strækning)	0	12	0,97	1,67	141
Ulykkesfrekvens (ulykker/år/trafikarbejde)	0	7,70	0,15	0,95	

Data om vejkarakteristika stammer fra flere forskellige datakilder. Årsdøgnstrafikken er hentet fra databasen k-mastra, hvori en række kommuner har deres trafikmålinger liggende, heriblandt Aalborg Kommune. På omkring halvdelen af strækningerne findes der ingen trafikmålinger. I disse tilfælde er årsdøgnstrafikken vurderet ud fra niveau på tilstødende strækninger på samme vej, hvis en sådan information er tilgængelig. I enkelte tilfælde eksisterede der ingen trafikmålinger på hele vejen, i disse tilfælde er årsdøgnstrafikken vurderet i samarbejde med den ansvarlige for trafikmålinger ved Aalborg Kommune. Data om køresporbredde og kørebanebredde stammer fra databasen vejman.dk, hvori tilmeldte kommuner kan have data omkring sine veje liggende. De resterende karakteristika er registreret ved gennemkørsel af analysevejnettet. I tabel 2 ses en oversigt over de forskellige vejkarakteristika samt længden af strækningerne.

5. Modelspecifikationer

Poissonmodellen passer data bedst, idet spredningsparameteren, α , ikke er signifikant forskellig fra 0 ($p=0,500$). Dertil viste Vuongs test at en "zero-inflated" Poissonregression ikke er et bedre valg end den generelle Poissonregression ($p=0,268$). Dette anses for en indikation på, at mængden af 0-strækninger i datasættet ikke er større, end at det kan håndteres med en Poissonregression.

I tabel 3 ses resultatet af gennemgangen af variablerne i analysen. Resultatet blev, at tre variabler ændrede karakter fra kontinuert variabel til kategorivariabel. Fire variabler forblev kontinuerte og to variabler forblev kategorivariabler.

Tabel 3: Beskrivelse af de forklarende variable der indgår i analysen.

Variabel	Beskrivelse
Antal ulykker	Afhængig variabel angivet i antal ulykker over en periode på 8 år
Årsdøgnstrafik	Uafhængig kontinuert variabel. Indgår som $\ln \text{ÅDT}$
Kørebanebredde	Uafhængig kategorivariabel, 0/1, hvor 0 er strækninger med en kørebanebredde på under 6,5 m og 1 er strækninger med en kørebanebredde på 6,5 m eller derover.
Blød rabat	Uafhængig kontinuert variabel. Indgår som $\frac{1}{\sqrt{\text{blød rabatbredde}}}$
Kantbane	Uafhængig kategorivariabel, 0/1, uden/med kantbane
Krydstæthed	Uafhængig kontinuert variabel. Indgår som $\sqrt{\text{Krydstæthed}}$
Adgangstæthed	Uafhængig kontinuert variabel. Indgår som Adgangstæthed
Cykelsti	Uafhængig kategori variabel, 0/1, uden/med cykelsti
Længdemarkering	Uafhængig kategorivariabel, 0/1/2. 0 er strækninger uden længdemarkering, 1 er strækninger med midterstriber, 2 er strækninger med både midterstriber samt kantstriber.

Kørebanebredde indgår som kategorivariabel med to kategorier, men data for kørebanebredde findes som kontinuerte værdier. I data findes et spring i ulykkesfrekvens ved en kørebanebredde på 6,5 m, således at ulykkesfrekvensen er lavest på de smalle veje. Derfor blev variabelen defineret som kategorivariabel. Dermed genfindes resultater fra to undersøgelser i henholdsvis Sverige (Othman m. fl., 2009) og USA (Milton og Mannering, 1998) i gennemgangen af variablerne.

Variablen kantbane er ligeledes omformet fra kontinuert til kategorivariabel med 2 værdier – med og uden kantbane. Det betyder, at resultaterne fra den efterfølgende regressionsanalyse kun vil kunne sige noget om, hvorvidt tilstedeværelsen af en kantbane har betydning for antallet af ulykker, men ikke om bredden af kantbanen har en betydning. Kantbane eksisterer på 29 % af strækningerne i analysevejnettet og varierer i bredde fra 10 cm til 120 cm. Dette betyder, at datamaterialet omkring bredden af kantbaner bliver spinkelt, hvilket er et yderligere argument for kun at sammenligne tilstedeværelse af kantbane versus ingen kantbane. De kontinuerte variable: årsdøgnstrafik, blød rabat, krydstæthed og adgangstæthed indgår i den funktionelle form, der giver det bedste lineære fit op imod den naturlige logaritme til antal ulykker og ulykkesfrekvens.

Tilstedeværelse af cykelsti er registreret som kategorivariabel – med og uden cykelsti. Cykelstier i analysevejnettet var i alle tilfælde cykelstier langs vejen adskilt fra kørebanen med en græsrapat.

Samvariationen blandt de 8 uafhængige variabler er undersøgt ved at bestemme korrelationskoefficienter med tilhørende p-værdier, resultatet ses i tabel 4. ÅDT er samvarierende med 6 (kørebanebredde, blød rabat, kantbane, adgangstæthed, cykelsti og længdemarkering) ud af de øvrige 7 variabler. Dette er forventeligt, da mange af vejens karakteristika er afhængige af den forventede trafikmængde, når vejen projekteres. Omvendt er variabelen krydstæthed kun samvarierende med variabelen længdemarkering. Graden af samvariation bør tages med i betragtning, når der konkluderes på resultaterne.

Tabel 4: Oversigt over samvariation mellem variabler i analysen. I tabellen er korrelationskoefficienten angivet samt tilhørende p-værdi i parentes.

	Kørebane- bredde	Blød rabat	Kantbane	Kryds- tæthed	Adgangs- tæthed	Cykelsti	Længde- markering
ÅDT	0,794 (0,000)	0,612 (0,000)	0,438 (0,000)	0,052 (0,534)	0,170 (0,041)	0,607 (0,000)	0,575 (0,000)
Kørebanebredde		0,544 (0,000)	0,467 (0,000)	0,128 (0,124)	0,166 (0,046)	0,530 (0,000)	0,576 (0,000)
Blød rabat			0,277 (0,001)	0,130 (0,119)	-0,153 (0,067)	0,850 (0,000)	0,504 (0,000)
Kantbane				0,153 (0,066)	-0,133 (0,111)	0,266 (0,001)	0,648 (0,000)
Krydstæthed					-0,027 (0,747)	0,060 (0,474)	0,201 (0,015)
Adgangstæthed						-0,116 (0,164)	-0,146 (0,079)
Cykelsti							0,471 (0,000)

6. Resultater fra regressionsanalyse

I tabel 5 ses resultaterne fra regressionsanalysen. Estimatet for koefficienten til årsdøgnstrafikken er med 0,517 og en standard error på 0,135 signifikant ($p=0,000$). Stigende årsdøgnstrafik bidrager til en stigende ulykkestæthed, som det også var forventet i hypotesen opstillet i tabel 1. Ulykkestæthedsratio er 1,68 hvilket angiver at ulykkestætheden stiger med 68 % når $\ln\text{ÅDT}$ stiger med 1, dvs. hvis ÅDT stiger fra f.eks. 500 ($\ln\text{ÅDT}=6,22$) til 1360 ($\ln\text{ÅDT}=7,22$).

Ved en kørebanebredde på 6,5 m eller mere stiger ulykkestætheden med 64 % i forhold til en kørebanebredde under 6,5 m, estimatet for koefficienten er dog ikke signifikant med en p-værdi på 0,209. Resultatet er derfor usikkert og bekræfter ikke hypotesen opstillet tidligere. Resultatet svarer dog til en svensk og en amerikansk undersøgelse nævnt tidligere (Milton og Mannering, 1998; Othman m. fl., 2009). Disse undersøgelser er netop foretaget på datasæt med forholdsvis smalle veje, ligesom det er tilfældet i denne artikel.

Ulykkesratio for koefficienten til bredden af kantbane er 1,22, dvs. at når der er kantbane langs vejen, øges ulykkestætheden med 22 %. Standard error for dette estimat er mere end det dobbelte af estimatet, og p-værdien er 0,671 og derfor langt fra signifikant. Dette tyder på, at det førromtalte problem med for få data vedrørende kantbane har en betydning. Dette resultat kan derfor ikke bruges til at forkaste en hypotese om at kantbane langs vejen øger sikkerheden.

Tabel 5: Estimerede koefficienter for alle variable i Poissonregressionen med antal ulykker som afhængig variabel og strækningens længde som eksponeringsvariabel. For hver variabel angives ligeledes standard error for at vurdere estimatets præcision. P-værdi

angives for test af, hvorvidt variabelen bidrager signifikant til at forklare variationen i antal ulykker. Ulykkestæthedratio (eksp(estimat)) angives for hver variabel og hertil 95 % konfidensinterval. Nagelkerke og McFadden's pseudo R² angives som en indikation på, hvor stor en del af den totale variation i antal ulykker variableerne forklarer.

Variabel	Estimat	Standard error	P-værdi	Ulykkestætheds ratio	95 % konf.
<i>ln</i> ÅDT	0,517	0,135	0,000	1,68	1,29 – 2,18
Kørebanebredde (0/1)	0,494	0,393	0,209	1,64	0,76 – 3,54
Kantbane (0/1)	0,195	0,459	0,671	1,22	0,49 – 2,99
1	-3,271	10,720	0,760	0,04	$2,85 \cdot 10^{-11} - 5,06 \cdot 10^7$
$\sqrt{\text{Bredden af blød rabat}}$					
$\sqrt{\text{Krydstæthed}}$	0,659	0,193	0,001	1,93	1,32 – 2,82
Adgangstæthed	0,052	0,017	0,002	1,05	1,02 – 1,09
Cykelsti (0/1)	-0,191	0,543	0,667	0,83	0,45 – 1,53
Længdemarkering, 1 (midt)	-0,277	0,299	0,354	0,76	0,42 – 1,36
Længdemarkering, 2 (midt+kant)	-0,489	0,485	0,314	0,61	0,24 – 1,59
Konstant	-11,669	1,209	0,000	$8,56 \cdot 10^{-6}$	$8,00 \cdot 10^{-7} - 9,16 \cdot 10^{-5}$
Nagelkerke R ²	0,488				
McFadden's R ²	0,231				

Estimatet for koefficienten til bredden af blød rabat er -3,271 og standard error mere end 3 gange så stor som selve estimatet og p-værdien er 0,760. Konfidensintervallet på rate ratio er meget stort. Alt dette indikerer at resultatet er meget usikkert, og der kan derfor ikke konkluderes ud fra dette resultat.

Krydstæthed har en signifikant betydning for ulykkestætheden på strækninger. Estimatet for koefficienten er 0,659, standard error 0,193 og p-værdien 0,001. Rate ratio er 1,93, dvs. at stiger kvadratroden af krydstætheden med 1 (Hvis krydstætheden stiger fra f.eks. 4 kryds/km til 9 kryds/km) stiger den forventede ulykkestæthed med 93 %. Som forventet i hypotesen betyder en højere krydstæthed en højere ulykkestæthed.

Ligeledes ser tætheden af vejadgange ud til at have en signifikant (p=0,002) betydning for ulykkestætheden. Hypotesen lød, at ulykkestætheden ville stige i takt med at tætheden af vejadgange steg, og dette bekræfter regressionsanalysen, idet ulykkestætheden stiger med 5 % hver gang adgangstætheden stiger med 1 adgang pr. km.

Vores hypotese var, at tilstedeværelsen af cykelsti ville betyde et fald i antal ulykker. Estimatet for denne variabel er dog langt fra signifikant med en p-værdi på 0,667. Resultatet kan altså ikke benyttes til hverken at be- eller afkræfte hypotesen. Omkring en fjerdedel af strækningerne i analysevejnettet er med cykelsti, og den manglende statistiske signifikans kan derfor skyldes, at datamaterialet er for lille.

Resultaterne fra regressionsanalysen tyder på, at jo mere længdemarkering, des færre ulykker, hvilket svarer til den hypotese, der blev opstillet. Den relative betydning af midterstriber i forhold til ingen striber er, at ulykkestætheden falder med 24 % (p=0,354), og den relative betydning af midterstriber kombineret med kantlinjer i forhold til ingen striber er, at ulykkestætheden falder med 39 % (p=0,314). Som p-værdierne angiver, er resultatet er imidlertid ikke statistisk signifikante, og der kan derfor ikke konkluderes på en sammenhæng mellem ulykkesrisiko og omfanget af længdemarkering på en strækning.

6. Konklusion og diskussion

I denne artikel er sammenhængen mellem ulykkesforekomster på tosporede sekundære veje i åbent land og en række vejkarakteristika undersøgt. Der er udarbejdet en statistisk model for ulykkestæthed som funktion af årsdøgnstrafikken, kørebanebredde, kantbanebredde, bredden af blød rabat, krydstæthed, tæthed af vejadgange, tilstedeværelse af cykelsti samt omfanget af længdemarkering. Som model er valgt Poisson-regression med antal ulykker som afhængig variabel og strækningens længde som offset variabel for at tage højde for strækningernes varierende længde.

Det er fundet, at der er signifikant sammenhæng mellem ulykkestæthed og årsdøgnstrafik, krydstæthed samt tæthed af vejadgange. Betydningen af årsdøgnstrafikken og krydstæthed er allerede veldokumenteret i den internationale litteratur, men det er sparsomt med undersøgelser, hvor betydningen af vejadgange er dokumenteret, idet vejadgange sjældent er taget med som variabel. Det vil derfor være væsentligt at undersøge om denne signifikante sammenhæng kan genfindes i andre større datasæt.

Den statistiske analyse viste, at brede veje over 6,5 m har en højere ulykkesforekomst end veje, der er smallere end 6,5 m. Resultatet er ikke signifikant ($p=0,209$), men det er interessant idet to internationale undersøgelser har fundet samme spring i analyse af smalle veje. Det vil være interessant at undersøge dette nærmere i et større datasæt med sekundære veje i Danmark.

De øvrige variabler var ikke signifikante. Dette kan betyde, at der ikke er nogen sammenhæng mellem disse variabler og risikoen for ulykker, men det kan også skyldes størrelsen af datagrundlaget og den høje grad af samvariation mellem de resterende variabler. Det vil derfor være væsentligt at undersøge disse variabler i større datasæt.

Som tidligere nævnt er denne artikel en del af et større forskningsprojekt med det formål at formulere en ikke-ulykkesbaseret metode til udpegning af risikolokaliteter på strækninger i det tosporede sekundære vejnet i åbent land. Næste skridt er at udvide analysevejnet til at omfatte yderligere tre kommuner. På det udvidede vejnet foretages en statistisk analyse af sammenhængen mellem ulykkesforekomst og fem variable: ÅDT, krydstæthed, tæthed af vejadgange, kørebanebredde samt omfanget af længdemarkering. Disse variable er valgt ud på baggrund af analysen i denne artikel.

Senere vil der dermed blive arbejdet på at be- eller afkræfte sammenhængen mellem ulykkestæthed og ÅDT, krydstæthed, tæthed af vejadgange, kørebanebredde samt omfanget af længdemarkering på det tosporede sekundære vejnet i Danmark, samt justere estimater på regressionskoefficienterne. Artiklens analyse tyder på, at der kunne være muligheder i at udpege risikolokaliteter på baggrund af vejkarakteristika i Danmark, som oprindeligt blev fremlagt som den mest optimale måde til udpegning af Ole Thorsen, ophavsmanden til sortpletarbejdet i Danmark.

Kan sammenhængen mellem ulykkestæthed og vejkarakteristika i dansk kontekst bekræftes på et større analysevejnet, ser artiklens forfattere en fremtid i at udarbejde en landsdækkende udpegningsmodel for tosporede sekundære veje ud fra en mindre del af det samlede vejnet. Der er flere fordele ved brug af data om vejkarakteristika frem for ulykkesdata som udpegningsgrundlag, blandt andet har vejmyndighederne selv kontrol over data og data kvalitet og er ikke afhængige af eksterne leverandører. Derudover har udpegning på baggrund af vejkarakteristika en forebyggende karakter i modsætning til udpegning på baggrund af registrerede ulykker.

Udpegning på baggrund af karakteristika vil sandsynligvis resultere i lokaliteter, hvor der på nogle er registreret ulykker, og andre, hvor der ikke er inden for de seneste 5 år, men det vil være lokaliteter, hvor der er karakteristika til stede, der udgør en risiko. Forbedres disse lokaliteter, vil det forbedre risikoniveauet generelt set på vejnettet.

7. Tak

Artiklens forfattere vil gerne takke Aalborg Kommune for at stille data samt medarbejdere til rådighed i forbindelse med dataindsamling til undersøgelsen.

8. Referencer

Agerholm, N., Larhmann, H., 2012. Identification of Hazardous Road Locations on the basis of Floating Car Data: method and first results. In: Road Safety in a Globalised and More Sustainable World - Current Issues and Future Challenges. 25th ICTCT Workshop 2012.

Andersen, C.S., Agerholm, N., 2012. Nye tilgange til udpegning af risikolokaliteter, Trafik og Veje 89 (3), s.14-17.

Bagdadi, O., Várhelyi, A., 2011. Jerky driving—An indicator of accident proneness? Accident Analysis & Prevention 43 (4), s.1359-1363.

Danmarks Statistik, 2012. Personskader i færdselsuheld indberettet af politi, skadestuer og sygehuse efter tid og indberetter, (hentet 2/13 2012), Tilgængelig på: <http://www.statistikbanken.dk/442>.

Elvik, R., Høye, A., Vaa, T., Sørensen, M., 2009. The handbook of road safety measures, Second ed. Emerald Group Publishing, UK.

Geedipally, S.R., Lord, D., Dhavala, S.S., 2012. The negative binomial-Lindley generalized linear model: Characteristics and application using crash data, Accident Analysis & Prevention 45, s.258-265.

Hadi, M.A., Aruldas, J., Chow, L.F., Wattleworth, J.A., 1995. Estimating safety effects of cross-section design for various highway types using negative binomial regression, Transportation Research Record 1500, s.169-177.

Hemdorff, S., 2012. AP-Parametre til uheldsmodeller - Baseret på data for 2007-2011 - med figurer. Vejdirektoratet, København, Danmark.

Hilbe, J.M., 2011. Negative binomial regression. Cambridge University Press, New York, USA.

Jensen, S.U., 2011. Uheldsmodeller for veje i åbent land. Trafitec, København, Danmark.

Jensen, S.U., Andersson, P.K., Herrstedt, L., 2010. Håndbog, Trafiksikkerhed, Effekter af vejtekniske virkemidler. Vejdirektoratet, København, Danmark.

Jiaxing, H., Yan, C., Zhanquan, S., Wei, L., 2010. Study on the forecasting method of traffic violation black spot. In: 2nd International Conference on Industrial and Information Systems (IIS), Dalian, China, s. 30-33.

Karlaftis, M.G., Golias, I., 2002. Effects of road geometry and traffic volumes on rural roadway accident rates, Accident Analysis & Prevention 34 (3), s.357-365.

- Lee, J., Mannering, F., 2002. Impact of roadside features on the frequency and severity of run-off-roadway accidents: an empirical analysis, *Accident Analysis & Prevention* 34 (2), s.149-161.
- Lord, D., Washington, S., Ivan, J.N., 2007. Further notes on the application of zero-inflated models in highway safety, *Accident Analysis & Prevention* 39 (1), s.53-57.
- Madsen, J.C.O., 2005. Skadesgradsbaseret Udpegning af Sorte Pletter - Fra Crash Prevention til Loss Reduction i de danske vejbestyrelses stedbundne trafiksikkerhedsarbejde. Trafikforskningsgruppen, Institut for Samfundsudvikling og Planlægning, Aalborg Universitet, Aalborg, Danmark.
- Milton, J., Mannering, F., 1998. The relationship among highway geometrics, traffic-related elements and motor-vehicle accident frequencies, *Transportation* 25 (4), s.395-413.
- Nielsen, M.A., Nielsen, E., 1998. Uheld på veje i åbent land. Rapport nr. 174. Vejdirektoratet, København, Danmark.
- OECD, 2012. Sharing Road Safety: Developing an International Framework for Crash Modification Functions. OECD publishing.
- Othman, S., Thomson, R., Lanner, G., 2009. Identifying critical road geometry parameters affecting crash rate and crash type. In: 53rd AAAM Annual Conference, *Annals of Advances in Automotive Medicine*, s. 155-165.
- Polus, A., Pollatschek, M.A., Farah, H., 2005. Impact of infrastructure characteristics on road crashes on two-lane highways, *Traffic Injury Prevention* 6 (3), s.240-247.
- Reurings, M., Janssen, T., Eenink, R., Elvik, R., Cardoso, J., Stafan, C., 2005. Accident Prediction Models and Road Safety Impact Assessment: a state-of-the-art. RIPCORD-ISEREST, Sustainable Surface Transport, sixth framework programme.
- SWOV, 2010. The high risk location approach - SWOV Fact sheet. SWOV - Institut for road safety research, Leidschendam, Netherlands.
- Thorson, O., 1970. Metoder til udpegning af sorte pletter på vejnettet og til prioritering af uheldsbekæmpende foranstaltninger. Rådet for Trafiksikkerhedsforskning, København, Danmark.
- Thorson, O., 1967. Traffic Accidents and Road Layout: The use of electronic data processing on accident information. The Technical University of Denmark (DTU), København, Danmark.
- Vejdirektoratet, Trafitec, 2011. Årsrapport - Dødsulykker 2010. Vejdirektoratet.
- Vistisen, D., 2002. Models and methods for hot spot safety work. Institute of Mathematical Modelling, Technical University of Denmark (DTU), København, Danmark.
- Vuong, Q.H., 1989. Likelihood ratio tests for model selection and non-nested hypotheses, *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, s.307-333.
- Zegeer, C., Council, F., 1995. Safety relationships associated with cross-sectional roadway elements, *Transportation Research Record* (1512), s.29-36.

