

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



Krydsløsninger for cyklister

Anvendelse af konfliktteknik til vurdering af forskellige løsnings sikkerhed

Tanja Kidholm Osmann Madsen^a, tkom@civil.aau.dk

Chris Bahnsen^b, cb@create.aau.dk

Anders Jørgensen^b, andjor@create.aau.dk

Thomas B. Moeslund^b, tbm@create.aau.dk

Anne Vingaard Olesen^c, avo@business.aau.dk

Harry Lahrman^a, hsl@civil.aau.dk

^a Trafikforskningsgruppen, Institut for Byggeri og Anlæg, Aalborg Universitet

^b Visual Analysis of People Laboratory, Institut for Arkitektur og Medieteknologi, Aalborg Universitet

^c Institut for Økonomi og Ledelse, Aalborg Universitet

Abstrakt

Antallet af uheld mellem svingende motorkøretøjer og ligeudkørende cyklister i signalregulerede kryds stiger, når der etableres cykelstier, men noget tyder på, at nogle former for krydsudformninger er bedre end andre. Formålet med dette projekt er at undersøge sikkerheden for en række forskellige cykelstiudformninger i signalregulerede kryds med henblik på at kunne beskrive løsningernes relative sikkerhedsniveau ved forskellige trafikmængder og derigennem undersøge, hvornår de forskellige løsninger skal anvendes for at forbedre cyklisternes sikkerhed. Det gøres gennem et konfliktstudie, hvor potentielle konflikter detekteres med et nyudviklet videoanalyseværktøj, der kan tælle trafikken og tidsstemple interessante hændelser i trafikken. Selv om resultatet ikke er statistisk signifikant, tyder meget på, at udformningen *Fremført rød cykelsti med forskudt passage* er sikrere end de øvrige undersøgte løsninger. Undersøgelsen indikerer også, at en højresvingsspil giver mange konflikter, hvis der stadig er højresvingende køretøjer, når grønfasen begynder.

Indledning

En række studier har vist, at cykelstier samlet set ikke forbedrer cyklisters trafikikkerhed. Problemet er, at selv om der er færre uheld på strækningerne, hvor der anlægges cykelstier, sker der en stigning i uheldstallet i krydsene på strækninger med cykelstier, herunder i særlig grad i de signalregulerede kryds (Agerholm et al., 2006; Jensen, 2006). Stigningen i krydsene dækker blandt andet over signifikante stigninger på henholdsvis 129 % og 48 % i uheld mellem højresvingende biler og ligeudkørende cyklister/knallerter (uheldssi-

tuation 312) og uheld mellem venstresvingende biler og ligeudkørende cyklister/knallerter (uheldssituation 410) (Jensen, 2006).

I perioden 2007-2011 har 27 cyklister mistet livet i 312-uheld, mens politiet har registreret 340 alvorligt og 256 let tilskadekomne cyklister i 312-uheldene. Størstedelen af disse dødsfald (74 %) kan henregnes til kryds, hvor der i tilfarten frem mod krydsene er etableret enten cykelsti eller -bane. Mindst 44 % af dødsfaldene er sket i signalregulerede kryds med cykelsti eller cykelbane i tilfartssporene. (Vejdirektoratet, 2012)

Uheld indenfor uheldssituation 410 har i samme periode kostet 5 cyklister livet, og politiet har registreret 275 alvorligt henholdsvis 222 let tilskadekomne cyklister. Også her er tilskadekomsterne koncentreret omkring kryds med cykelsti eller cykelbane i tilfartssporene, og igen er der en tendens til, at de alvorligste af uheldene indtræffer i signalregulerede kryds med cykelsti eller -bane etableret i tilfartssporene. (Vejdirektoratet, 2012)

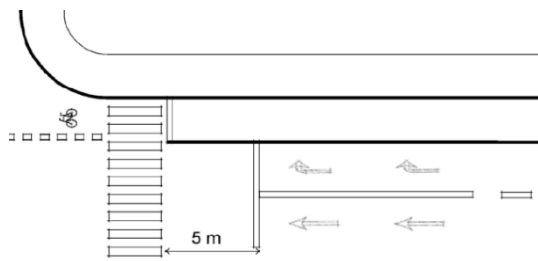
Selv om etableringen af cykelstier i signalregulerede kryds medfører flere uheld med cyklister, tyder noget på, at nogle udformninger er sikrere end andre. Vejreglen for vejkryds i byer (Vejregelrådet, 2010) angiver således, at løsningen, der skal vælges i et specifikt kryds, afhænger af krydsets udformning og trafikmængden, herunder især antallet af cyklister og fodgængere samt højresvingende bilister. Spørgsmålet er så blot, hvornår man skal anvende de forskellige løsninger for at få den bedste sikkerhed.

Krydsudformninger

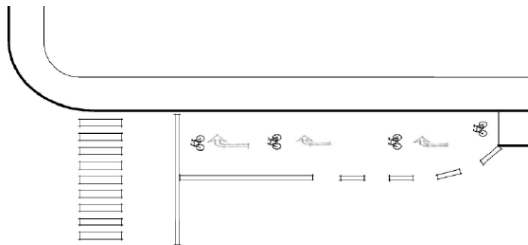
Den trafikikkerhedsmæssigt bedste krydsudformning er en konfliktfri regulering af cyklisterne i forhold til biltrafikken, eksempelvis i form af niveaufri skæring eller separering i tid. Løsningen finder dog sjældent anvendelse i kryds i byområder som følge af geometriske bindinger eller hensynet til trafikafviklingen. Vejreglen nævner derudover seks eksempler på udformningen af cykelstier gennem signalregulerede kryds. (Vejregelrådet, 2010). Udformningerne er illustreret på Figur 1.

- 1) Fremført cykelsti kombineret med separat højresvingsbane
- 2) Afkortet cykelsti kombineret med separat højresvingsbane
- 3) Cykelbane mellem ligeud- og højresvingsbane
- 4) Separat regulering af ligeudkørende og højresvingende cyklister via cykelshunt
- 5) Fremført cykelsti/-bane kombineret med fælles ligeud- og højresvingsbane
- 6) Afkortet cykelsti med fremført, smal cykelbane, kombineret med fælles ligeud- og højresvingsbane

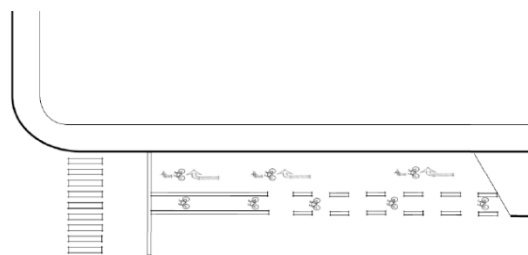
Udformningsalternativerne 1-6 kan kombineres med cykelfelter og tilbagetrukne stoplinjer (Vejregelrådet, 2010).



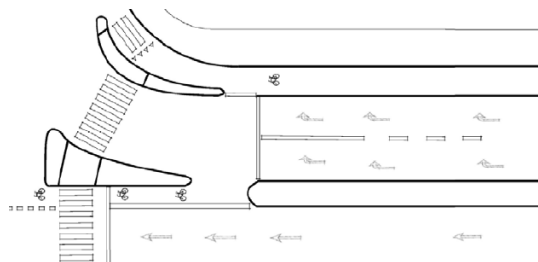
1) Fremført cykelsti kombineret med separat højresvingsbane.



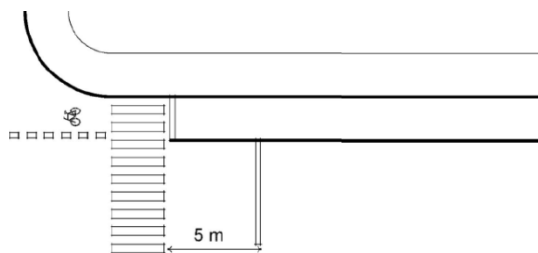
2) Afkortet cykelsti kombineret med separat højresvingsbane.



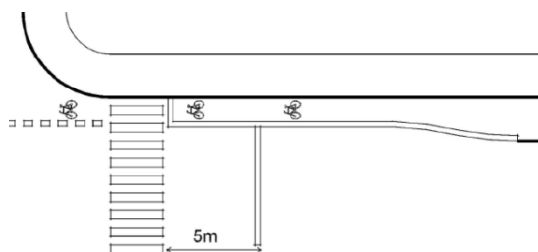
3) Cykelbane mellem ligeud- og højresvingsbane.



4) Separat regulering af ligeudkørende og højresvingende cyklister via cykelshunt.



5) Fremført cykelsti eller -bane kombineret med fælles ligeud- og højresvingsbane.



6) Afkortet cykelsti med fremført, smal cykelbane, kombineret med fælles ligeud- og højresvingsbane.

Figur 1 | Krydsudformninger, som kan anvendes i signalregulerede kryds. (Vejregelrådet, 2010)

En anden mulighed er at udforme krydsløsningen som en fremført cykelsti med forskudt passage (Figur 2). Løsningen er blandt andet blevet anvendt i Viborg Kommune (Vestergaard, 2013). Formålet har været at samle de svage trafikanter ét sted for at mindske antallet af konfliktpunkter og øge synligheden af cyklisterne ved at trække krydsningen længere frem i krydset. Til gengæld er der ved denne udformning risiko for, at bilisten fejlagtigt tror, at den ligeudkørende cyklist agter at dreje til højre.



Figur 2 | I Viborg er adskillige cykelstier gennem signalregulerede kryds udformet som fremførte cykelstier med forskudt passage.

Vejreglen for vejkryds i byer (Vejregelrådet, 2010) indeholder en række anbefalinger til, hvilke udformninger der kan anvendes, hvis krydset eksempelvis har store cykeltrafikmængder eller mange højresvingende køretøjer. Problemet er dog, at anbefalingerne ikke indeholder klare retningslinjer for, hvornår en given krydsudformning skal anvendes, herunder ved hvilke trafikmængder de forskellige krydsløsninger bør anvendes. Dette projekt har derfor til formål at sammenligne cyklisters sikkerhed i en række krydsløsninger ved forskellige trafikmængder for at udbygge vejledningen til valg af krydsløsning. Det sker gennem et konfliktstudie.

Konfliktteknikken

Traditionelt beskrives sikkerheden i vejtrafiksystemet ud fra forekomsten af uheld. Det har dog en række ulemper:

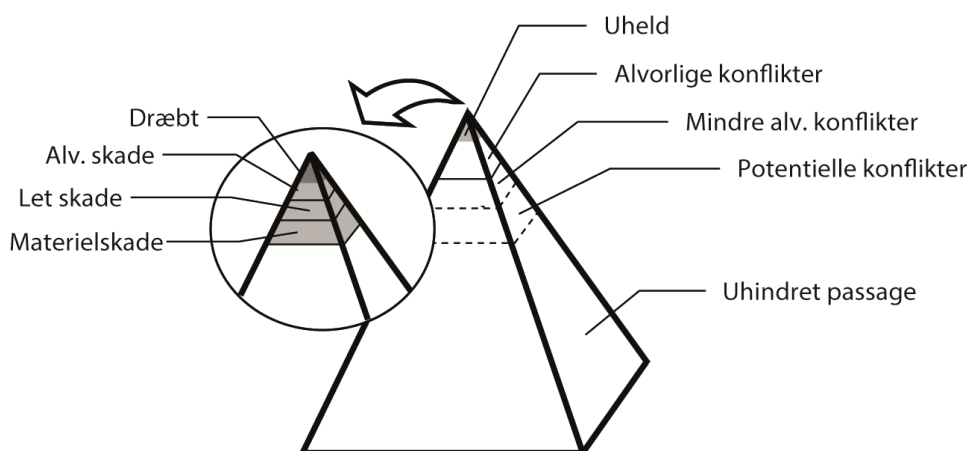
- 1) Uheld er sjældne, og det er derfor nødvendigt at benytte uheldsdata for en lang årrække, før generelle tendenser i uheldene på en specifik lokalitet kan findes. Imidlertid medfører dette en risiko for, at der er sket fysiske ændringer på lokaliteten, at trafikmængden er ændret, eller at trafikantadfærden er ændret, så uheldsbilledet har ændret karakter med tiden.
- 2) Antallet af politiregistrerede uheld har været faldende igennem mange år, hvilket har gjort det stadig vanskeligere at finde signifikante forskelle igennem uheldsstudier.
- 3) Kun en lille andel af uheldene kommer til politiets kendskab. De seneste opgørelser viser således, at politiet blot registrerer omkring 15 % af de tilskadedkomne trafikanter, som sygehuse og skadestuer registrerer. Mørketallet er særligt udtalt for mindre alvorlige uheld og uheld med fodgængere og cyklister. For uheld, der involverer cyklister, omfatter politiets registreringer således kun knap 5 % af de tilskadedkomne cyklister, som søger behandling på sygehuse og skadestuer. (Danmarks Statistik, 2014).

- 4) Uhedsstatistikkerne beskriver kun selve sammenstødet, men ikke de adfærds- og situationsmæssige aspekter, som leder op til uheldet, og som potentielt kan bidrage til at forklare faktorer ved uheldets opståen.
- 5) Uhedsdata er historiske, og vi må derfor vente på at et antal uheld sker – med risiko for at trafikanter kommer til alvorligt til skade eller bliver dræbt – før sikkerheden kan evalueres og forebyggende tiltag iværksættes.

Derfor er der igennem årene udviklet alternative mål for trafiksikkerheden. Et eksempel er konfliktteknikken, hvor antallet af konflikter observeres og bruges som et surrogat for uheld. Den mest anvendte og anerkendte metode indenfor konfliktteknikstudier er udviklet på Lunds Universitet (Hydén, 1987).

En konflikt er defineret som en situation, hvor to eller flere trafikanter er så tæt på hinanden i tid og rum, at de vil kolliderer, hvis de fortsætter med uændret retning og hastighed. Konflikter formodes at have et forløb, der minder om forløbet op til et uheld. Forskellen er blot, at trafikanterne ved konflikter når at afværge, inden kollisionen indtræder. Derfor kommer ingen til skade i konflikterne. (Hydén, 1987)

Metoden bygger på en antagelse om, at der er en sammenhæng mellem antallet af konflikter og antallet af uheld. Grundtanken er, at ethvert møde mellem trafikanter indebærer en vis sandsynlighed for, at de kolliderer. Forskellige begivenheder i trafikken kan derved inddeles ud fra sandsynligheden for at de resulterer i et uheld. Opstilles hændelserne på baggrund af deres alvorlighedsgrad og frekvens, vil de ifølge Hydén (1987) danne en pyramide (Figur 3). Den nederste og største del af pyramiden repræsenterer den uhindrede passage mellem trafikanterne. Alvorlighedsgraden stiger op gennem pyramiden, hvor man i toppen finder først konflikterne og dernæst uheldene. Ved at anvende konflikter frem for uheld kan en given lokalitets sikkerhedsniveau derved bedømmes med rimelig statistisk sikkerhed igennem observationsstudier af kortere varighed. Den nødvendige tidshorisont afhænger af konflikttypen og lokalitetens trafikmængde.



Figur 3 | Hydén's pyramide for sammenhængen mellem alvorlighedsgraden af forskellige trafiksituationer og deres frekvens. Oversat fra (Laureshyn, 2010).

Oprindeligt blev der anvendt specialuddannede observatører til at registrere antallet af alvorlige konflikter på en given lokalitet. Problemet med observatørmetoden har været, at den både kræver specialuddannet personale, er meget tidskrævende og indebærer en risiko for, at observatørerne overser eller fejlvurderer konflikter – og når konflikten først er sket, har observatørerne ingen mulighed for at spole tilbage og gense hændelsen (Hydén, 1987). Derfor er det nærliggende at erstatte manuelle observationer med videooptagelser. Problemet er imidlertid, at tidsforbruget til manuel videoanalyse i forhold til videoens længde ofte er i størrelsesordenen 10:1 (Laureshyn, 2005).

I de senere år er der derfor arbejdet med at erstatte denne manuelle metode med videoregistreringer, som efterfølgende analyseres automatisk med billedanalyse software. Fremgangsmåden ved billedanalysen er at detektere trafikanterne, undersøge om de er tilstrækkeligt tæt på hinanden, og i givet fald spore trafikan-

ternes bevægelse. Ud fra disse spor – trajectories – udtrækkes informationer om trafikanternes position, hastighed og kurs. Herudfra analyseres, om trafikanterne er i konflikt med hinanden. (Saunier & Sayed, 2007)

Fordelene ved videoanalysen er, at målingerne er mere præcise end observatøernes observationer og forventes at være mindre ressourcekrævende end en manuel analyse. Udviklingen af fuldautomatiske systemer, som kan analysere trafikken under alle trafikale forhold og i al slags vejr, er dog yderst kompliceret. Foreløbig er systemerne under udvikling og hovedsageligt tilgængelige som prototyper. Kvaliteten af resultaterne fra disse systemer afhænger af hvad der undersøges, kameraplaceringen samt vejr- og lysforhold. Det er eksempelvis vanskeligere at analysere trafikken i byområder end på motorveje, da antallet af trafikanttyper er større og trafikken mere kompleks (Buch et al., 2011). De nuværende metoder finder derfor primært anvendelse som watch dog systemer, hvor softwaren tidsstempler mulige konflikter, der efterfølgende analyseres manuelt (Laureshyn, 2010; Saunier & Sayed, 2007). For at lette databehandlingen i konfliktstudiet har dette projekt til formål at udvikle et watch dog system til udpegning af potentielle konflikter, som efterfølgende behandles manuelt.

Metode

Undersøgte krydsudformninger

Projektet undersøger sikkerhedsniveauet ved forskellige udformninger af cykelstier i fem signalregulerede kryds i Aalborg og Viborg. De undersøgte krydsudformninger og deres karakteristika fremgår af Tabel 1. Enkelte af de undersøgte kryds har signaltekniske eller udformningsmæssige modifikationer. Det skyldes, at udvalget af kryds, hvor der fandtes lysmaster eller lignende til opsætning af videokameraer i en passende afstand fra krydset, og hvor antallet af svingende motorkøretøjer og ligeudkørende cyklister var højt, var begrænset. Udformningerne af de fem kryds er vist i Figur 4.

Tabel 1 | Kryds og udformningstype inkluderet i undersøgelsen.

	Kryds	Type	Tilbage-trukket stoplinje	Farvet cykelfelt	Signal-tekniske løsninger
a	Hjørringvej / Sundsholmen / Forbindelsesvejen (Nørresundby)	fremført cykelsti kombineret med separat højresvingbane	ja	ja	førgrønt for højresvingende
b	Hobrovej / Ny Kærvej / Vestre Allé (Aalborg)	afkortet cykelsti kombineret med separat højresvingbane	nej	nej	ingen
c	Østre Allé / Dag Hammarskjölds Gade (Aalborg)	fremført cykelsti kombineret med fælles ligeud- og højresvingsspor	nej	nej	ingen
d	Kong Chr. Allé / Hasserisvej (Aalborg)	afkortet cykelsti med fremført smal cykelbane kombineret med fælles ligeud- og højresvingsspor	ja (nedslidt)	nej	ingen
e	Indre Ringvej / Vesterbrogade / Holstebrovej (Viborg)	fremført rød cykelsti med forskudt passage og fælles ligeud- og højresvingsspor	ja	ja	ingen

Videoptagelser

Videoptagelser af de fem kryds blev gennemført i maj, juni og september 2013. Nærværende undersøgelse bygger på optagelser for fem dage (mandag-fredag) i tidsrummet 5-21, i alt 80 timers videoptagelser pr. kryds.



a) Hjørringvej / Sundsholmen / Forbindelsesvejen, Nørresundby.



b) Hobrovej / Ny Kærvej / Vestre Allé, Aalborg.



c) Østre Allé / Dag Hammarskjölds Gade, Aalborg.



d) Kong Chr. Allé / Hasserisvej, Aalborg.



e) Indre Ringvej / Vesterbrogade / Holstebrovej, Viborg.

Figur 4 | Undersøgelsens kryds.

Konflikttyper

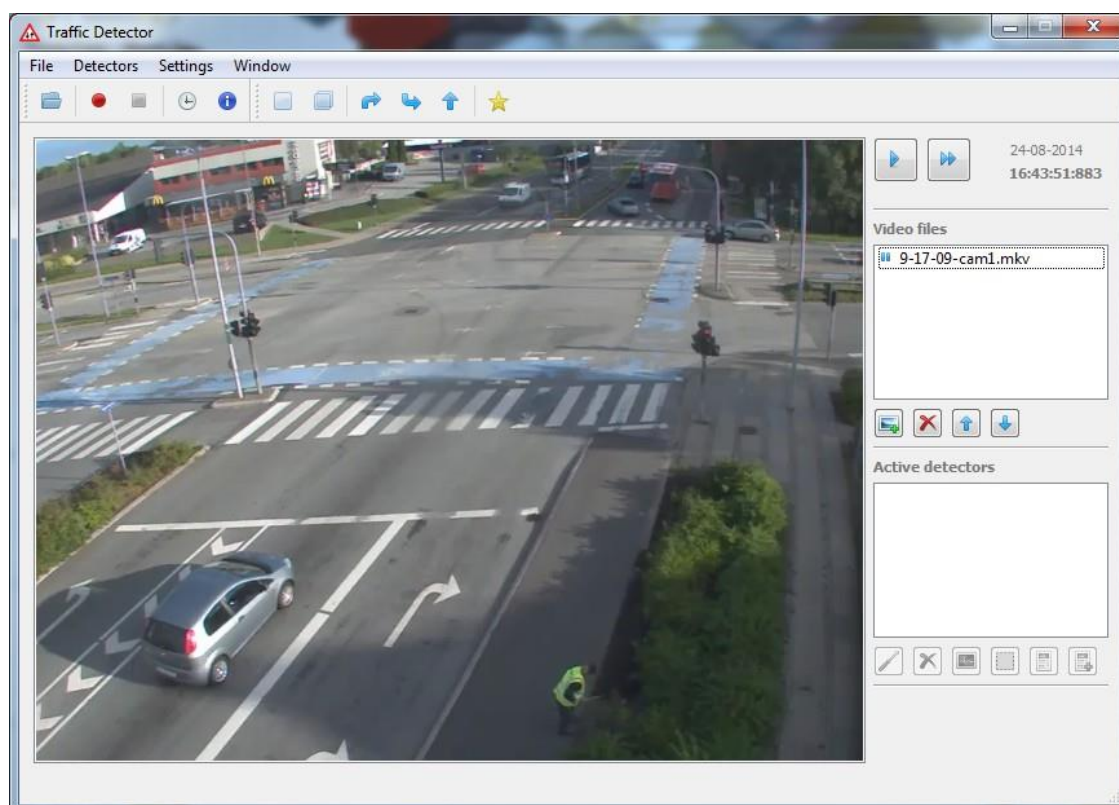
Undersøgelsen fokuserer på konflikter svarende til uheldssituationerne 312 (højresvingende bil ind foran medkørende cyklist) og 410 (venstresvingende bil ind foran modkørende cyklist). For krydsløsningen bestående af afkortet cykelsti kombineret med separat højresvingsbane (krydsudformning **b**) inkluderes konflikter i forbindelse med flettesituationer mellem cyklister og højresvingende biler, da det må forventes, at de fleste af disse konflikter vil forekomme i svingbanen. Konflikttyperne er illustreret på Figur 5.



Figur 5 | Konflikttyper. Projektet undersøger konflikter svarende til uheldssituationerne 312 og 410 samt 152.

Detektering af potentielle konflikter vha. semiautomatisk videoanalyse

Der er blevet udviklet software (illustreret på Figur 6) til at udpege interessante hændelser i videooptagelser og tidsstemple disse, så de kan efterbehandles manuelt; en såkaldt watch dog. Værktøjet fungerer ved, at brugeren tegner et antal felter over videoen, hvorefter programmet behandler videoen frame for frame.



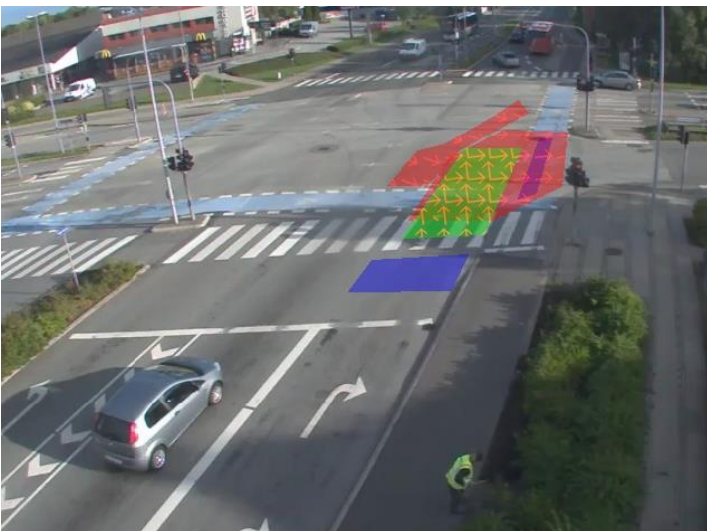
Figur 6 | Den udviklede videoanalysesoftware.

I programmet findes tre typer detektorer, som gør det muligt at registrere trafikanten i billedet, uanset om trafikanten passerer krydset (blå detektor), færdes med en given retning (rød detektor) eller holder stille (grøn detektor). Detekteringen af trafikanterne foretages ved at kombinere de tre typer detektorer i moduler. Herved foretages en form for sporing af trafikanterne; hvis et objekt har bevæget sig gennem en række

felter, som svarer til det forventede bevægelsesmønster for en højresvingende bilist, formodes objektet at være et højresvingende køretøj. For at sikre, at trafikanter fra andre retninger ikke aktiverer detektorerne, placeres et antal felter omkring detektoren til frafiltrering af disse trafikanter. For hver af de tre interessante trafikanttyper; ligeudkørende cyklister, højresvingende motorkøretøjer og venstresvingende motorkøretøjer, er der oprettet et særskilt modul, hvis udformning er illustreret på Figur 7-9.



Figur 7 | Eksempel på udformning af detektorer i modul for ligeudkørende cyklister.



Figur 8 | Eksempel på udformning af detektorer i modul for højresvingende køretøjer.



Figur 9 | Eksempel på udformning af detektorer i modul for venstresvingende køretøjer.

Analyseværktøjet detekterer aktiviteten for ethvert objekt, som passerer gennem modulet, men kan ikke skelne mellem forskellige trafikanttyper. Betegnelsen 'ligeudkørende cyklister' dækker således over både cyklister og små knallerter på cykelstien, mens antallet af svingende motorkøretøjer udgøres af både motorcykler, personbiler, lastbil, busser og øvrige motoriserede køretøjer, som færdes på kørebanen.

Hver gang der detekteres en trafikant i ét af de tre detekteringsmoduler, skrives et tidsstempel til en logfil. Hvis der både er detekteret en ligeudkørende cyklist og en svingende bilist indenfor et kort tidsinterval, formodes trafikanterne at være ankommet samtidig og har interageret med hinanden. Derved kan det ikke afvises, at en trafikkonflikt har fundet sted, og tidsstemplet skrives til en logfil over potentielle konflikter.

Der er tale om samtidig ankomst – og dermed en potentiel konflikt – når cyklisten ankommer til konflikt-punktet op til 2,5 sekunder efter eller op til 1,0 sekunder før motorkøretøjet (Nielsen, 1994). Trafikanterne interagerer også med hinanden, når cyklisten eller bilisten viger for den anden. Hvis en bil viger for en gruppe af cyklister, tæller hændelsen kun som én interaktion (mellem bilen og den forreste cyklist), medmindre adfærden hos en eller flere af de øvrige cyklister i hoben afviger fra hobens generelle adfærd.

Hvornår er det en konflikt?

Cyklisternes sikkerhed undersøges ud fra to forskellige definitioner på konflikter; én med udgangspunkt i tidsbaserede mål for afstanden mellem trafikanterne, og én som baseres på en vurdering af trafikanternes reaktioner på hændelsen.

Det tidsbaserede mål fokuserer på to typer relationer mellem de involverede trafikanter:

- 1) Trafikanterne er på kollisionskurs. Hvis ikke én eller begge trafikanter foretager en undvigemanøvre – bremser, accelererer, ændrer retning eller en kombination heraf – vil de kolliderer.
- 2) Trafikanterne er på krydsningskurs. Hvis trafikanterne fastholder deres aktuelle kurs og hastighed, krydser de hinanden med en vis tidsmargin. Ændres kurs eller hastighed, er der mulighed for, at de kolliderer.

Når trafikanterne er på kollisionskurs, bestemmes alvorligheden af mødet ud fra deres mindste indbyrdes tidsafstand, *Minimum Time-to-Collision* (TTC_{min}). Målet angiver den resterende tid til at forhindre en kollision i det øjeblik, hvor trafikanterne er tættest på hinanden. Jo lavere værdien er, des senere har trafikanterne reageret på faren. Hvis TTC_{min} er over 0, vil et sammenstød aldrig forekomme. Grænseværdien er valgt, så også mindre alvorlige konflikter medtages, og i overensstemmelse med praksis i (Laureshyn, 2005).

Møder, hvor trafikanterne ikke er på kollisionskurs, kan ligeledes indebære en stor risiko for kollision, hvis kurs eller hastighed blot skal ændres en smule, før trafikanterne kommer på kollisionskurs. Af denne årsag inkluderes hændelser, hvor den første trafikants forspring er lille – og de to trafikanter dermed er tæt på at være på kollisionskurs – samtidig med at den bagerste trafikant er tæt på kollisionspunktet og derfor kun har begrænset tid til at reagere på en eventuelt forestående kollision. Det sker gennem en kombination af de tidsbaserede mål *Time Advantage* ($Tadv$) og T_2 (Laureshyn, 2010). $Tadv$ angiver, hvor tæt trafikanterne er på at være på kollisionskurs, hvis deres hastighed og kurs forbliver uændret, på baggrund af den forreste trafikants forventede forspring ved passage af konfliktzonen. T_2 angiver den resterende tid, før den anden trafikant ankommer til det forventede kollisionspunkt. Målet beskriver dermed, hvor lang tid den bagerste trafikant har til rådighed til at reagere, hvis de to trafikanter kom på kollisionskurs.

Definition 1

En konflikt er en hændelse, hvor en ligeudkørende cyklist/knallert 30 og et højre- eller venstresvingende motor-køretøj er på kollisionskurs med $TTC_{min} \leq 2,0$ sek, eller krydser hinanden med $Tadv_{min} \leq 0,2$ sek og $T_{2,min} \leq 0,5$ sek.

Ved at benytte et tidsbaseret mål til udpegningen af konflikter er udfordringen at bestemme, hvilken værdi der skal gælde som grænse mellem konflikter og ikke-konflikter. Vælges værdien for høj, vil der blive udpeget hændelser, som blot indikerer en effektiv trafikafvikling. Vælges værdien for lav, vil ikke alle konflikter blive fundet. Derfor benyttes i undersøgelsen ligeledes en udpegningsmetode, som baseres på en vurdering af, hvorvidt trafikanterne synligt har foretaget en undvigemanøvre nær konfliktpunktet. Denne reaktion indikerer, at mindst én af trafikanterne ikke frivilligt har ønsket at udsætte sig for faren. Reaktionen kan skyldes, at trafikanterne har opdaget hinanden sent, eller at der er usikkerhed om, hvorvidt den vigepligtige vil overholde sig vigepligt. Det betyder, at der kan medtages konflikter, hvor trafikanternes indbyrdes afstand er højere end ved det tidsbaserede mål, mens hændelser med lave tidsafstande ikke nødvendigvis opfattes som konflikter. For at frasortere situationer, hvor sandsynligheden for konflikter er lav, foretages vurderingen kun for hændelser med en lille tidsafstand mellem trafikanterne.

Definition 2

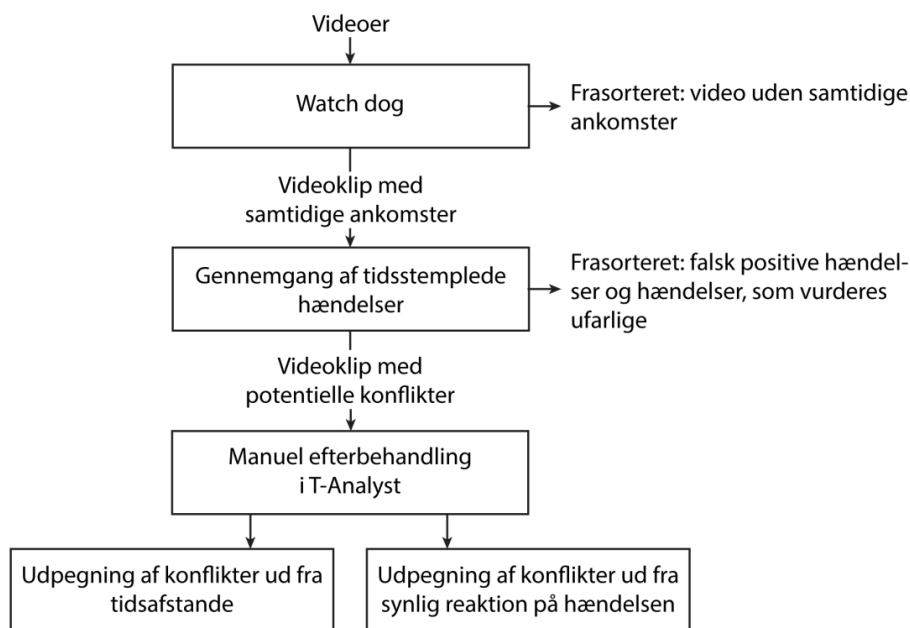
En konflikt er en hændelse, hvor mindst én af de involverede parter viser tydelige tegn på, at vedkommende har fundet hændelsen farlig og reagerer på situationen umiddelbart omkring kollisionspunktet ved eksempelvis at lave fagter, bremse eller ændre kurs. Kun situationer, hvor $TTC_{\min} \leq 2,0$ sekunder eller $Tadv_{\min} \leq 1,0$ sekunder, vurderes.

Udpegning af konflikter

Udpegningen af konflikter blev foretaget i flere trin, se Figur 10. Videomaterialet blev analyseret vha. den udviklede watch dog-software, hvorved potentielle konflikter udtrækkes. Herved reduceres datamaterialet på 80 timers video pr. kryds til et antal videoklip à 20 sekunders varighed. Datamaterialet er herved reduceret til 3-25 timer pr. kryds, og den samlede datamængde er blevet reduceret fra 400 timer til omkring 64 timer. Kun en lille andel af de samtidige ankomster indebærer en høj risiko for, at trafikanterne vil kolliderer, men da hver hændelse er unik og forløbet af hændelsen af betydning for, om situationen ender som en konflikt, må hændelserne gennemses manuelt for at vurdere, om der er belæg for at efterbehandle dem og derigennem afgøre, hvorvidt de er konflikter. Hændelser efterbehandles, hvis

- 1) Der er kort tidsafstand fra den første trafikant forlader de to trafikanters fælles skæringspunkt til den næste trafikant ankommer til samme punkt.
- 2) Der ser ud til at være manglende samspil mellem trafikanterne, hvorfor en eller begge trafikanter bremser op i sidste øjeblik eller foretager undvigemanøvre (accelererer, bremser, ændrer retning).
- 3) Hændelsen føles *ikke ok* eller føles *farlig*. Herunder hører eksempelvis hændelser, hvor det ser ud som om der nemt kan forekomme en kollision, hvis der sker noget uventet.

Gennemsyn og manuel efterbehandling af hændelserne foretages i programmet T-Analyst (Trafvid, 2014). I programmet placeres bokse omkring trafikanterne på hver frame, så trafikanternes bevægelse gennem krydset bliver registreret. Herudfra beregner programmet automatisk værdier for TTC, Tadv og T_2 .

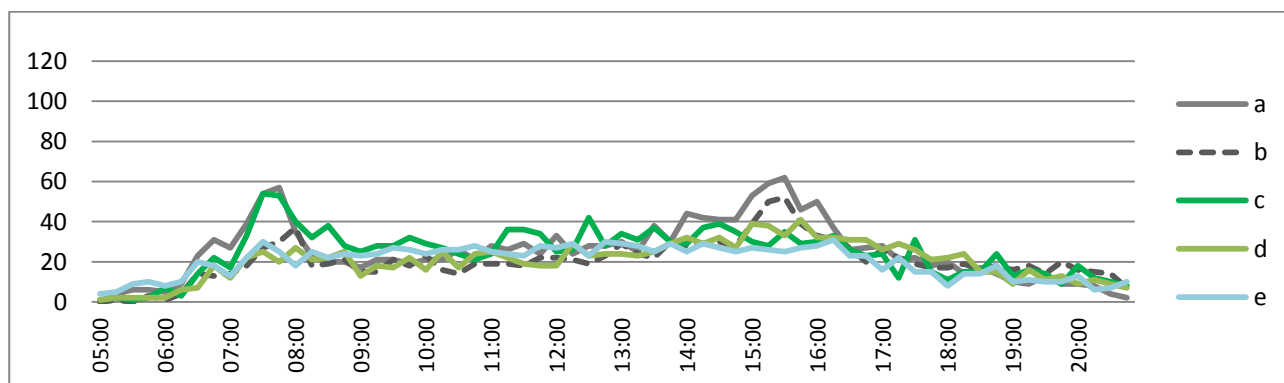


Figur 10 | Fremgangsmetode ved databehandlingen.

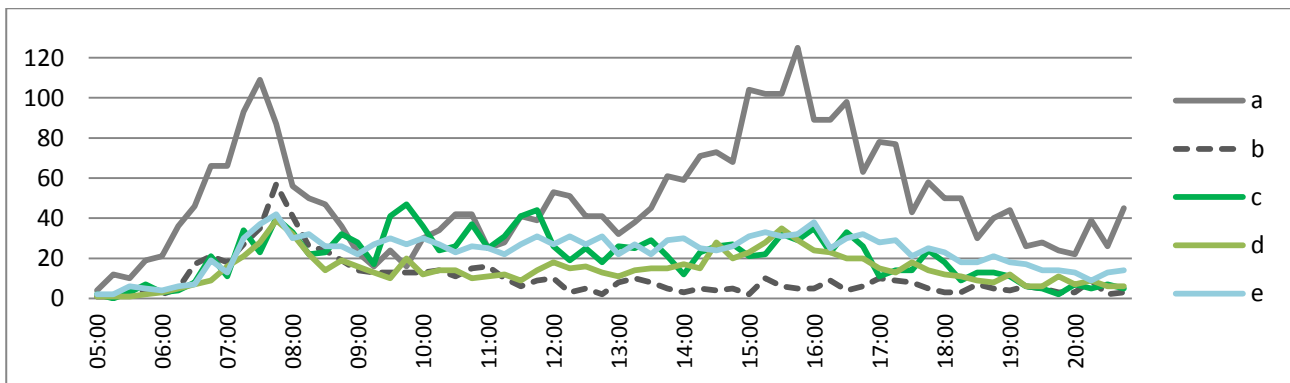
Datagrundlag

Forudsætningen for, at det udviklede analyseværktøj kan udpege potentielle konflikter mellem motorkøretøjer og cyklister, er, at trafikanterne bliver detekteret og tidsstempled. Softwaren fungerer dermed også som et trafiktællingsredskab, hvor trafikken gennem hvert detektormodul tælles og inddeles i tidsintervaller.

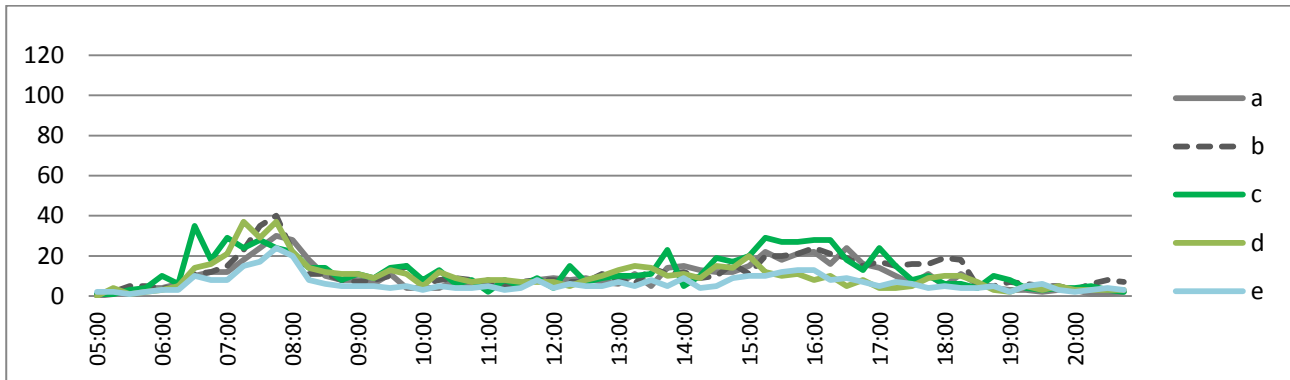
For at tage højde for perioder, hvor eksempelvis vanskelige vejrforhold (regn, skygger mv.) har påvirket tællingen, estimeres trafikmængden i et givet tidsinterval ud fra medianen af målingerne for de fem dages optagelser. Eksempelvis har softwaren i et kryds registreret 37, 34, 28, 37 og 39 højresvingende motorkøretøjer i perioden 7.30-7.45. Medianen (37) repræsenterer således trafikmængden i det pågældende tidsrum pr. dag. Det vurderes, at værdien beskriver den daglige trafikmængde tilstrækkeligt præcist sammenlignet med gængse metoder til opregning af trafikken og beskrivelse af døgnvariationen. Dagsvariationen fremgår af Figur 11-13. Af Tabel 2 fremgår det estimerede antal trafikanter, som har passeret krydset i løbet af de fem dages optagelser.



Figur 11 | Antal venstresvingende motorkøretøjer pr. kvarter pr. dag.



Figur 12 | Antal højresvingende motorkøretøjer pr. kvarter pr. dag.



Figur 13 | Antal ligeudkørende cyklister pr. kvarter pr. dag.

Tabel 2 | Antal trafikanter, som passerer hvert kryds i optageperioden.

Krydsløsning	Cyklister (total)	Venstresvingende motorkøretøjer	Højresvingende motorkøretøjer
a	3.115	8.075	16.015
b	3.670	6.545	3.240
c	3.975	7.825	6.625
d	3.145	6.525	4.685
e	2.055	6.510	7.360

Cyklisternes risiko for at blive involveret i en konflikt ved passage af krydset afhænger primært af mængden af svingende motorkøretøjer. Cyklisterens gennemsnitlige risiko ved de forskellige krydsudformninger sættes derfor i forhold til antallet af højre- og venstresvingende køretøjer ved at inddele datamaterialet i grupper, hvor biltrafikken er nogenlunde konstant. Det gør det muligt at sammenligne cyklisterens sikkerhed i de fem krydsløsninger ved forskellige intensiteter af motorkøretøjerne og dermed afgøre, hvorvidt der er forskel på den bedste krydsudformning afhængig af trafikens omfang. Med udgangspunkt i trafikmængderne i krydsene (Figur 11 og 12), blev 15-minutters-perioderne delt i tre grupper med henholdsvis lav (0-15 køretøjer pr. kvarter), middel (16-35 køretøjer pr. kvarter) og høj trafikintensitet (> 35 køretøjer pr. kvarter).

Antallet af ligeudkørende cyklister, som passerede krydsene ved de forskellige trafikintensiteter for biltrafikken er angivet i Tabel 3. Tabel 4 viser antallet af konflikter opdelt efter biltrafikens størrelse.

Tabel 3 | Antal cyklister/små knallerter pr. kryds ved forskellige trafikintensiteter for motorkøretøjerne. Trafikintensiteten for de to svingretninger kan variere, hvorfor antallet af cyklister, der passerer ved en given trafikintensitet, er forskelligt for højre- og venstresvingende.

Krydsløsning	Cyklister Lav biltrafik	Cyklister Middel biltrafik	Cyklister Høj biltrafik
Højresvingende motorkøretøjer			
a	15	405	2.695
b	2.700	660	310
c	970	2.590	415
d	1.460	1.500	185
e	260	1.525	270
Venstresvingende motorkøretøjer			
a	250	1.650	1.215
b	545	2.655	470
c	630	2.605	740
d	465	2.465	215
e	360	1.695	0

Tabel 4 | Konflikter fordelt på konflikttype og trafikintensitet for biltrafikken. For krydsløsning b indgår konflikter i højresvingbanen (svarende til uheldssituation 152) i antallet af 312-konflikter.

		312-konflikter		410-konflikter	
		Tidsbaseret	Vurdering	Tidsbaseret	Vurdering
a	Lav biltrafik	1	1	0	0
	Middel biltrafik	1	0	0	0
	Høj biltrafik	24	12	1	1
b	Lav biltrafik	12	1	0	0
	Middel biltrafik	1	0	4	2
	Høj biltrafik	1	2	1	1
c	Lav biltrafik	0	0	1	0
	Middel biltrafik	8	2	1	0
	Høj biltrafik	3	2	0	0
d	Lav biltrafik	3	1	0	0
	Middel biltrafik	6	2	8	6
	Høj biltrafik	1	1	0	0
e	Lav biltrafik	0	0	0	1
	Middel biltrafik	1	2	1	1
	Høj biltrafik	0	0	0	0

Analyse af løsningernes sikkerhed

Sammenligningen af krydsudformningerne sker på baggrund af cyklisternes relative risiko. Som eksponering ved hvert af de tre niveauer for biltrafikens intensitet benyttes antallet af ligeudkørende cyklister/ knallerter, der har passeret krydset i de perioder af dagen, som tilhører biltrafikniveauet. Det giver en direkte sammenligning af den enkelte cyklists gennemsnitlige sikkerhed ved de forskellige krydsløsninger og tager højde for, at antallet af cyklister og motorkøretøjer i krydsene varierer.

Resultater

Cyklisters relative sikkerhed

Tabel 5 er projektets hovedresultattabel og beskriver cyklisternes relative risiko for at blive involveret i en konflikt på baggrund af antallet af ligeudkørende cyklister gennem krydsene og opdelt efter hhv. lav/middel/høj intensitet for biltrafikken. Jo lavere risiko, des sikrere er krydsløsningen, idet der antages at være en sammenhæng mellem antallet af konflikter og antallet af uheld. De fem udformninger er for hver trafikintensitet blevet sammenlignet parvist. Kun i et enkelt tilfælde er der fundet en statistisk signifikant forskel ($p < 0,05$): krydsudformning **c** har signifikant færre 410-konflikter end krydsudformning **d** ved middel trafikintensitet ud fra det tidsbaserede mål. Endvidere er der tendens til ($p < 0,10$), at krydsløsning **e** har færre 312-konflikter end krydsløsning **d** ved middel trafikintensitet, når der ses på det tidsbaserede mål.

Tabel 5 | Cyklisters risiko fordelt på trafikintensitet og konflikttype. Risikoen er angivet som antal konflikter pr. 1000 cyklister. Endvidere er antal konflikter angivet i parentes. Celler med en streg (-) betyder, at der ikke er registreret trafikanter (cyklister og/eller biler) for perioden, eller at det samlede antal cyklister er under 100.

Risiko ved tidsbaseret mål [konflikter pr. 1000 cyklister]				Risiko ved vurderingsbaseret mål [konflikter pr. 1000 cyklister]			
	Lav	Middel	Høj		Lav	Middel	Høj
a	-	2,5 (1)	8,9 (24)	a	-	0,0 (0)	4,5 (12)
b	4,4 (12)	1,5 (1)	3,2 (1)	b	0,4 (1)	0,0 (0)	6,5 (2)
c	0,0 (0)	3,1(8)	7,2 (3)	c	0,0 (0)	0,8 (2)	4,8 (2)
d	2,1(3)	4,0 (6)	5,4 (1)	d	0,7 (1)	1,3 (2)	5,4 (1)
e	0,0 (0)	0,7 (1)	0,0 (0)	e	0,0 (0)	1,3 (2)	0,0 (0)
312-konflikter				312-konflikter			
	Lav	Middel	Høj		Lav	Middel	Høj
a	-	0,0 (0)	0,8 (1)	a	-	0,0 (0)	0,8 (1)
b	0,0 (0)	1,5 (4)	2,1 (1)	b	0,0 (0)	0,8 (2)	2,1 (1)
c	1,6 (1)	0,4 (1)	0,0 (0)	c	1,6 (1)	0,0 (0)	0,0 (0)
d	0,0 (0)	3,2 (8)	0,0 (0)	d	0,0 (0)	2,4 (6)	0,0 (0)
e	0,0 (0)	0,6 (1)	-	e	0,0 (0)	0,6 (1)	-
410-konflikter				410-konflikter			
a) Fremført cykelsti kombineret med separat højresvingbane b) Afkortet cykelsti kombineret med separat højresvingbane c) Fremført cykelsti kombineret med fælles ligeud- og højresvingsspor d) Afkortet cykelsti med fremført smal cykelbane kombineret med fælles ligeud- og højresvingsspor e) Fremført rød cykelsti med forskudt passage og fælles ligeud- og højresvingsspor							

I det følgende er resultaterne i Tabel 5 vurderet. Med i denne vurdering er også den usikkerhed, som et lavt antal konflikter i den enkelte gruppe giver.

Udformning **a** giver mange 312-konflikter – særligt ved høj biltrafik. Forskellen på høj og middel/lav biltrafik kan skyldes, at udformning **a** har en højresvingpil, som bevirker, at den højresvingende biltrafik ved middel trafikintensitet er afviklet, inden cykeltrafikken får grønt. Udformningen har en relativt lav risiko for 410-konflikter sammenlignet med udformning **b** og **d**. Det kan muligvis skyldes, at udformning **a** har venstresvingpil, hvorfor den venstresvingende trafik primært afvikles her. Det vurderingsbaserede mål ligger lavere end det tidsbaserede mål, men fordelingen er nogenlunde den samme.



Udformning **b** har med det tidsbaserede mål den højeste risiko for 312-konflikter ved lav biltrafik. Det bemærkes, at langt de fleste af konflikterne er sket ved lav trafikintensitet, hvilket skyldes, at der er meget få højresvingende i dette kryds gennem store dele af dagen. Ses på vurderingsmålet bemærkes, at der her er langt færre konflikter, hvilket tyder på, at det tidsbaserede mål ikke er velegnet til at finde konflikter, når trafikanterne fletter sammen op til krydset. Udformningen har relativt mange 410-konflikter ved middel biltrafik – måske fordi udformning **b** har to gennemgående ligeudspor, som kan gøre det vanskeligt for de venstresvingende at overskue venstresvinget og eventuelt skjulte cyklister bag strømmen af ligeudkørende.



Udformning **c** har relativ høj risiko for 312-konflikter, højest ved middel og høj biltrafik. Dette kan forklares med, at der ikke er separat højresvingsspor. Der er kun meget få 410-konflikter og dermed også lav risiko her. Det vurderingsbaserede mål ligger lavere end det tidsbaserede mål, men fordelingen er nogenlunde den samme.



Udformning **d** har ligeledes relativ høj risiko for 312-konflikter ved alle trafikmængder, men også udformning **d** mangler en højresvingbane. Udformningen har også høj risiko for 410-konflikter baseret på mange konflikter ved middel biltrafik. Det kan muligvis skyldes, at krydsets kapacitet for de venstresvingende er relativt lav, og at de venstresvingende derfor føler sig pressede til at passere, selv om tidsgabet er lille. Det vurderingsbaserede mål ligger lavere end det tidsbaserede mål, men fordelingen er nogenlunde den samme.



Udformning **e** har markant lavere risiko end alle andre udformninger, både ved det tidsbaserede mål og ved det vurderingsbaserede mål. Samtidig er det absolutte konflikttal for både 312-konflikter og 410-konflikter lavt. Dog skal det bemærkes, at det samlede antal cyklister igennem krydset er mindst 50 % lavere end i nogen af de øvrige kryds.



Politiregistrerede uheld

Ses på uheldsbilledet for projektets fem kryds, har politiet i perioden 1.1.2004-31.12.2013 sammenlagt indrapporteret 70 uheld. Fire af disse uheld er sammenlignelige med fokusområdet for dette projekt, dvs. de er af typerne 312 og 410 og er forekommet i den del af krydsene, som er blevet undersøgt i projektets konfliktstudie. Tabel 6 viser fordelingen af uheld for de fem krydsløsninger.

Tabel 6 | 312, 410 og 152-uheld for perioden 1.1.2004-31.12.2013.

Krydsløsning	Uheld
a: Hjørringvej / Sundsholmen / Forbindelsesvejen	2
b: Hobrovej / Ny Kærvej / Vestre Allé	0
c: Østre Allé / Dag Hammarskjölds Gade	2
d: Kong Chr. Allé / Hasserisvej	0
e: Indre Ringvej / Vesterbrogade / Holstebrovej	0

For hver af krydsløsningerne **a** og **c** er der indtruffet ét 312-uheld og ét 410-uheld. Personbiler har i alle fire ulykker udgjort den motoriserede part, mens knallert 30 i tre af ulykkerne har været modpart i ulykkerne. I krydsløsning **c** har der været en ulykke mellem en venstresvingende personbil og en ligeudkørende cyklist. Den lave forekomst af ulykker i alle fem kryds indikerer, at ingen af de udvalgte kryds er særligt ulykkesbelastede hvad angår 312- og 410-ulykker. Det tyder på, at resultaterne fra denne undersøgelse ikke blot er et udslag af enkelte lokaliteters høje ulykkesforekomst som følge af særlige forhold, som ikke skyldes udformningen af cykelstien.

Diskussion

Konfliktmål

Cyklisternes risiko er i dette projekt beregnet ud fra både et vurderings- og et tidsbaseret konfliktmål. Når trafikanterne kører tæt – og derved bidrager til en høj udnyttelse af krydsets kapacitet ved spidsbelastninger – vil der ofte kun være kort tid til at undvige en forestående kollision, hvis en af trafikanterne reagerer anderledes end forventet. En effektiv trafikafvikling indebærer dermed en forhøjet risiko for ulykker, hvis der sker noget uventet. I langt de fleste tilfælde er handlingen dog kontrolleret, og trafikanterne har tilpasset deres bevægelser for at sikre en smidig krydsning. Vurderingskonfliktmålet repræsenterer de situationer, hvor samspillet mellem trafikanterne har fungeret dårligt, og hvor en kollision ville have forekommet, hvis ikke en af trafikanterne havde været opmærksom på faren og reageret derpå. Det tidsbaserede mål har den fordel, at der også medtages situationer, hvor faren for kollision er høj, selv om trafikanterne ikke umiddelbart reagerer på faren ved at undvige. Det vanskelige ved denne metode er imidlertid at afgøre, hvorvidt den manglende reaktion skyldes, at trafikanterne er opmærksomme på hinanden og krydser med så lille tidsmargin som muligt, eller om de er uopmærksomme og måske ikke kan nå at undvige, hvis en af trafikanterne pludseligt stopper op eller vælter. Hvilket mål, der er det bedste surrogat for ulykker, kan ikke fastlægges igennem dette projekt.

Eksposering

Til beskrivelse af cyklisternes risiko benyttes trafikmængderne for cyklister og svingende motorkøretøjer som eksposering for at sammenligne kryds med forskellige trafikmængder, fordi en højere trafikmængde vil resultere i et højere antal konflikter. Et alternativ til trafikmængden er at benytte antallet af samtidige ankomster mellem ligeudkørende cyklister og svingende biler som eksposering. Antallet af samtidige ankomster svarer til antallet af situationer, som kan resultere i en kollision og afspejler derved cyklisternes reelle risiko, uanset hvordan og hvornår de ankommer til krydset – kører cyklisterne i klynger, vil der normalt kun blive registreret én hændelse, selv om der er mange cyklister.

Det var i projektet også hensigten at sætte antallet af konflikter i relation til såvel trafiktal som antallet af samtidige ankomster for at vurdere, om antallet af samtidige ankomster er bedre end trafiktal, når cyklisternes relative risiko skal opgøres. At bestemme antallet af samtidige ankomster mellem trafikanterne via videoanalysesoftware er dog vanskeligt, idet det ikke alene kræver, at trafikanterne detekteres, men også at deres indbyrdes tidsafstand og forløbet op til krydsningen analyseres korrekt. Skønt softwaren har vist sig anvendelig til trafiktællinger, er det endnu ikke lykkedes os at beregne tiden mellem to trafikanters passage af deres bevægelsesbaners skæringspunkt med tilstrækkelig stor præcision. En sammenligning mellem antallet af samtidige ankomster fundet vha. analyseværktøjet og manuelle observationer viser, at det ikke er usædvanligt, at op til halvdelen af de fundne hændelser slet ikke burde være blevet detekteret. Brugen af samtidige ankomster som mål for cyklisternes eksposering overfor konflikter blev derfor fravalgt.

Analyseværktøjet kan ikke separere trafikanter fra hinanden, hvis de kører tæt. Problemet er især stort for cyklister, da de typisk kører med kortere afstand imellem sig end motorkøretøjer og derfor bliver opfattet som én cyklist, når de kører i grupper. Det vurderes imidlertid, at denne forskel kan bidrage til en bedre opgørelse af cyklisternes risiko, da det i højere grad afspejler det samlede antal af muligheder for kollision mellem et svingende køretøj og en ligeudkørende cyklist.

Konklusion

Resultaterne fra dette projekt sandsynliggør, at konfliktstudier baseret på automatisk billedanalyse af videooptagelser kan være et brugbart surrogat for uheld. På trods af, at der ikke blev opnået statistisk signifikante resultater på hovedspørgsmålet – en rangordning af de fem udformningers sikkerhedsniveau – er der alligevel en række delresultater, der peger fremad:

1. Udformning **e** *Fremført rød cykelsti med forskudt passage og fælles ligeud- og højresvingsspor* synes at være klart sikrere end de andre udformninger. Dog bemærkes, at antallet af cyklister er lavere end i de andre kryds. Resultatet er interessant, fordi udformningen er eksperimentel og så vidt vides alene findes i nogle få signalregulerede kryds i Viborg. Det kan anbefales at undersøge denne udformning nærmere, dels ved længerevarende konfliktstudier af forskellige krydsben ved denne udformning, og dels ved et uheldsstudie af alle kryds med denne udformning.
2. Resultatet fra udformning **a** *Fremført cykelsti kombineret med separat højresvingsbane* indikerer, at en højresvingsspil kan være en sikkerhedsmæssig gevinst, hvis den højresvingende trafik kan nå at afvikles i løbet af den tid pilen er tændt. Til gengæld giver en højresvingsspil problemer, hvis der stadig er biler, når hovedretningen får grønt. Det peger på, at en højresvingsspil alene bør benyttes, hvis den højresvingende trafik kan afvikles i perioden, hvor pilen er tændt – ellers bør der anvendes bundet højresving. Udformningen havde næsten ingen 410-konflikter – måske fordi den aktuelle udformning af typen også har venstresvingsspil, og at den venstresvingende trafik primært afvikles i denne fase.
3. Udformning **b** *Afkortet cykelsti kombineret med separat højresvingsbane* har i det undersøgte kryds to ligeudspor. Denne udformning giver relativt mange 410-konflikter og viser, at venstresving over to ligeudspor er en krævende opgave.
4. Udformning **c** *Fremført cykelsti kombineret med fælles ligeud- og højresvingsspor* har mange 312-konflikter, når antallet af højresvingende stiger, hvilket viser, at man skal være varsom med fælles ligeud- og højresvingsspor.
5. Udformning **d** *Afkortet cykelsti med fremført smal cykelbane kombineret med fælles ligeud- og højresvingsspor* giver mange 312-konflikter ved alle trafikmængder – igen gælder, at fælles ligeud- og højresvingsspor ikke kan anbefales. Udformningen viser også, at kapacitetsproblemer for de venstresvingende giver flere 410-konflikter, muligvis fordi de venstresvingende føler sig pressede.

Det lykkedes i projektet at udvikle billedanalysesoftware i form af en watch dog, der henter information om trafikken ud fra videooptagelser. Softwaren er fleksibel, og brugeren kan selv indstille, hvilke trafikstrømme der skal tælles, og hvilken adfærd der skal registreres i videobilledet. Det kan eksempelvis anvendes til at tidsstemple situationer, hvor køretøjer holder stille på den forkerte side af stopstregen, hvor et venstresvingende køretøj holder i krydset, når den krydsende strøm kører frem for grønt, når trafikanter foretager en U-vending og generelt registrere, om trafikanterne benytter infrastrukturen som tiltænkt. Værktøjet kunne også tænkes brugt til verificering af uheldshypoteser i det stedbestemte trafiksikkerhedsarbejde. Analyseværktøjet har sin største styrke ved lave trafikmængder, fordi der her vil være længere mellem de situationer, som ønskes tidsstemplet.

Anerkendelse

Projektet er finansieret af Vejdirektoratets cykelpulje. Forfatterne vil gerne takke docent Åse Svensson og adjunkt Aliaksei Laureshyn fra Lunds Universitet for vejledning og support i forbindelse med dataindsamling, softwareudvikling og databehandling. Ligeledes rettes en stor tak til Aalborg og Viborg Kommuner, som velvilligt stillede vejnet til rådighed for undersøgelsen.

Referencer

- Agerholm, N., Caspersen, S., Madsen, J. C. O., & Lahrman, H. (2006). Cykelstiers trafiksikkerhed - en før-efterundersøgelse af 46 nye cykelstiers sikkerhedsmæssige effekt. *Dansk Vejtidskrift*, 83(12), 52-57.
- Buch, N., Velastin, S. A., & Orwell, J. (2011). A review of computer vision techniques for the analysis of urban traffic. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 12(3), 920-939.
- Danmarks Statistik (2014). Personskader i færdselsuheld indberettet af politi, skadestuer og sygehuse efter indberetter, uheldssituation, transportmiddel, køn, alder og skadens type. Tilgængelig på: <http://www.statistikbanken.dk/moerke>
- Hydén, C. (1987). *The development of a method for traffic safety evaluation: The Swedish traffic conflicts technique*. Lund, Sweden: Lund Institute of Technology. Department of Traffic Planning and Engineering.
- Jensen, S. U. (2006). *Effekter af cykelstier og cykelbaner: Før-og-efter evaluering af trafiksikkerhed og trafikmængder ved anlæg af ensrettede cykelstier og cykelbaner i Københavns Kommune*. Kgs. Lyngby: Trafitec.
- Laureshyn, A. (2005). Automated video analysis and behavioural studies based on individual speed profiles. *18th ICTCT Workshop*,
- Laureshyn, A. (2010). *Application of automated video analysis to road user behaviour*. (Doctoral Thesis, Lund University).
- Saunier, N., & Sayed, T. (2007). Automated road safety analysis using video data. *TRB 2007 Annual Meeting*,
- Trafvid (2014). *T-analyst*. Lund, Sverige: Lunds Universitet.
- Vejdirektoratet (2012). *Uheldsudtræk fra VIS/vejman.dk*. København: Vejdirektoratet.
- Vejregelrådet (2010). *Byernes trafikarealer, hæfte 4, vejkryds*. Vejdirektoratet.
- Vestergaard, T. (2013). Ny udformning af cykelstier i signalanlæg. *Trafik & Veje*, 90(5), 46-48.