Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Krydsløsninger for cyklister

Anvendelse af konfliktteknik til vurdering af forskellige løsningers sikkerhed

Madsen, Tanja Kidholm Osmann; Lahrmann, Harry

Publication date:
2014

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

Link to publication from Aalborg University

Citation for published version (APA):
Madsen, T. K. O., & Lahrmann, H. (2014). *Krydsløsninger for cyklister: Anvendelse af konfliktteknik til vurdering af forskellige løsningers sikkerhed*. Department of Civil Engineering, Aalborg University. DCE Technical reports Nr. 179

General rights
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy
If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from vbn.aau.dk on: April 24, 2024

TRAFIKFORSKNINGSGRUPPEN
INSTITUT FOR BYGGERI OG ANLÆG

KRYDSLØSNINGER FOR CYKLISTER

ANVENDELSE AF KONFLIKTTEKNIK TIL VURDERING AF FORSKELLIGE LØSNINGERS SIKKERHED

ISSN 1901-726X
DCE Technical Report No. 179

AALBORG UNIVERSITET

Aalborg Universitet
Institut for Byggeri og Anlæg
Trafikforskningsgruppen

DCE Technical Report No. 179

Krydsløsninger for cyklister

- Anvendelse af konfliktteknik til vurdering af forskellige løsningers sikkerhed

Tanja Kidholm Osmann Madsen
Harry Lahrmann

September 2014

© Aalborg Universitet

Udgivet 2014 af
Aalborg Universitet
Institut for Byggeri og Anlæg
Sofiendalsvej 11
DK-9000 Aalborg SV, Danmark

Trykt i Aalborg på Aalborg Universitet

ISSN 1901-726X
DCE Technical Report No. 179

INDHOLDSFORTEGNELSE

INDHOLDSFORTEGNELSE 5

FORORD 7

SAMMENFATNING 8

1 INDLEDNING 9
- 1.1 KRYDSUDFORMNINGER 9
- 1.2 KONFLIKTTEKNIKKEN 12

2 METODE 15
- 2.1 DE FEM KRYDS 15
- 2.2 DETEKTERING AF POTENTIELLE KONFLIKTER VIA VIDEOANALYSE 19
- 2.3 HVORNÅR ER DET EN KONFLIKT? 23
- 2.4 DATAGRUNDLAG 30
- 2.5 ANALYSE AF LØSNINGERNES SIKKERHED 34

3 RESULTATER OG DISKUSSION 35
- 3.1 CYKLISTERS RELATIVE SIKKERHED 35
- 3.2 POLITIREGISTREREDE UHELD 37
- 3.3 DISKUSSION AF RESULTATER FRA KONFLIKTSTUDIERNE 37
- 3.4 ANALYSEVÆRKTØJET 39

4 KONKLUSION 45

5 DET VIDERE ARBEJDE 45

REFERENCER 47

BILAG A KAMERAPLACERING 49

BILAG B UDVIKLING AF ANALYSEVÆRKTØJ 54
- B.1 METODE 1: BACKGROUND SUBTRACTION TIL TRACKING AF TRAFIKANTER 54
- B.2 METODE 2: OPTISK FLOW TIL TIDSSTEMPLING AF INTERAKTIONER 61
- B.3 METODE 3: FORBEDRET FEATURE-BASERET ALGORITME 64
- B.4 ANALYSEVÆRKTØJET 68

BILAG C MANUEL EFTERBEHANDLING I T-ANALYST 73

BILAG D VALIDITET AF TRAFIKMÆNGDER 74

BILAG E VIDEOER AF KONFLIKTER 79

FORORD

Trafikforskningsgruppen har i dette projekt sammenlignet sikkerheden for en række forskellige cykelløsninger i signalregulerede kryds med cykelsti med henblik på at kunne beskrive løsningernes relative sikkerhedsniveau ved forskellige trafikmængder, for derigennem at kunne forbedre vejreglernes vejledninger omkring valg af krydsløsninger.

Projektet ligger i forlængelse af gruppens mangeårige arbejde med undersøgelser af forskellige foranstaltningers effekt på cyklisters sikkerhed.

Projektet er finansieret af Vejdirektoratets cykelpulje.

Projektet er gennemført i et samarbejde med forskningsgruppen Mobility and Tracking Technologies på Institut for Arkitektur og Medieteknologi, hvor Chris Bahnsen, Theodore Tsesmelis og Anders Jørgensen stod for softwareudviklingen i projektet med Thomas Moeslund som koordinator.

Aalborg Kommune og Viborg Kommune stillede velvilligt vejnet til rådighed for projektet.

Docent Åse Svensson og Adjunkt Aliaksei Laureshyn fra Lunds Universitet deltog i projektets følgegruppe.

Trafikforskningsgruppen takker alle, der har bidraget til projektet.

SAMMENFATNING

Formålet med dette projekt har været igennem videobaserede konfliktstudier at sammenligne sikkerheden for en række forskellige cykelløsninger i signalregulerede kryds med cykelsti med henblik på at kunne beskrive løsningernes relative sikkerhedsniveau ved forskellige trafikmængder. Målet var derigennem at forbedre vejreglernes vejledninger omkring valg af krydsløsninger.

I projektet blev der udviklet billedanalysesoftware, der både kan tælle trafik og tidsstemple potentielle konflikter på videooptagelser. Denne software blev sammen med en efterfølgende vurdering af de potentielle konflikter anvendt til at bestemme antallet af konflikter på fem dages videooptagelser fra signalregulerede kryds med fem forskellige løsninger for cyklister.

Efterfølgende blev antallet af konflikter sat i relation til antal cyklister ved hhv. lav, middel og høj intensitet for biltrafikken.

Desværre var antallet af konflikter for få til at de fem forskellige løsninger kunne rangeres efter deres sikkerhed, men selv om resultatet ikke er statistisk signifikant, tyder meget på, at løsningen *Fremført rød cykelsti med forskudt passage og fælles ligeud- og højresvingsspor* er klart sikrere end de øvrige løsninger. Resultatet er interessant, fordi udformningen er eksperimentel og så vidt vides alene findes i nogle få signalregulerede kryds i Viborg.

Resultaterne tyder også på, at en højresvingspil kan give mange konflikter, hvis der stadig er højresvingende biler, når grøntfasen begynder. *Fremført cykelsti kombineret med fælles ligeud- og højresvingsspor* har mange 312-konflikter, når antallet af højresvingende er højt. Udformningen *Afkortet cykelsti med fremført smal cykelbane kombineret med fælles ligeud- og højresvingsspor* har mange 312-konflikter ved alle trafikmængder.

Udover at bestemme potentielle konflikter kan den udviklede watch dog software til videoanalyse generelt anvendes til trafiktællinger og trafikanalyser. Softwaren er fleksibel, og brugeren kan selv indstille, hvad der skal tælles og analyseres i videobilledet.

1 INDLEDNING

En række studier har vist, at cykelstier samlet set ikke forbedrer cyklisters trafiksikkerhed. 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 (uheldssituation 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)

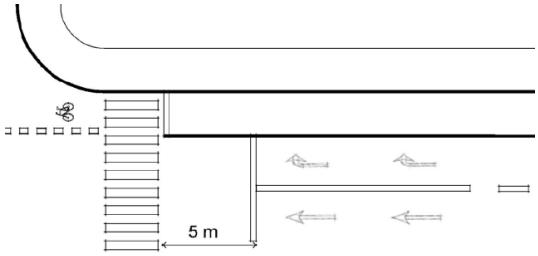
Uheld indenfor uheldssituation 410 har i samme periode kostet 5 cyklister livet, og politiet har registreret 275 alvorligt henholdsvis 222 let tilskadekomne cyklister. Også her er tilskadekomsterne koncentreret omkring kryds med cykelsti eller cykelbane i tilfartssporene, og igen er der en tendens til,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

1.1 KRYDSUDFORMNINGER

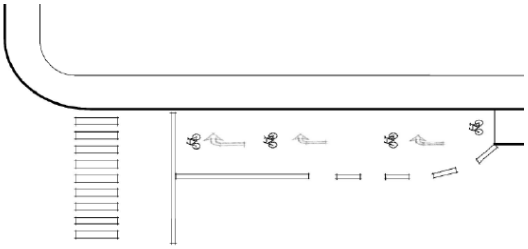
Selv om etableringen af cykelstier i signalregulerede kryds medfører flere uheld med cyklister, tyder noget på, at nogle udformninger er sikrere end andre. Vejreglen for vejkryds i byer (Vejregelrådet, 2010) angiver således, at løsningen, der skal vælges i et specifikt kryds, afhænger af krydsets udformning 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.

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

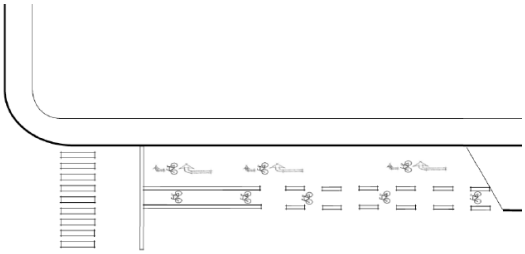
1) Fremført cykelsti kombineret med separat højresvingsbane
2) Afkortet cykelsti kombineret med separat højresvingsbane
3) Cykelbane mellem ligeud- og højresvingsbane
4) Separat regulering af ligeudkørende og højresvingende cyklister via cykelshunt
5) Fremført cykelsti/-bane kombineret med fælles ligeud-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



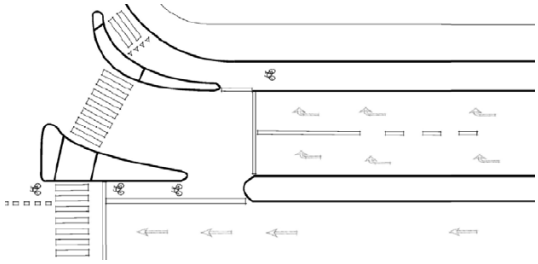
1) Fremført cykelsti kombineret med separat højresvingsbane.



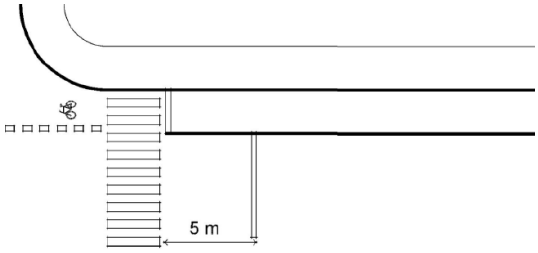
2) Afkortet cykelsti kombineret med separat højresvingsbane.



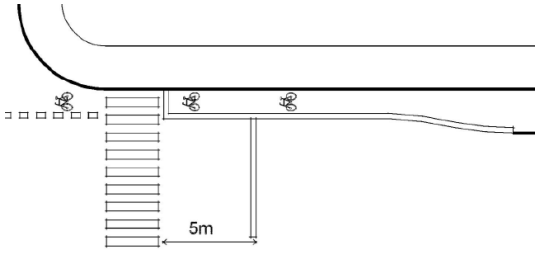
3) Cykelbane mellem ligeud- og højresvingsbane.



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)

Udformning 1 og 2 anbefales begge i vejreglen. Den fremførte cykelsti er især velegnet ved store cykeltrafikmængder. Den afkortede cykelsti muliggør på den anden side, at ligeudkørende cyklister kan placere sig på venstre side af de højresvingende biler og derved nedsætte risikoen for uheld. Udformning 3 kan give bedre fremkommelighed og bedre plads for cyklister, men kræver, at de højresvingende bilers hastighed er lav. Hvor der er mange højresvingende køretøjer, kan udformning 4 anvendes. Cyklisterne reguleres ved denne løsning separat i forhold til højresvingende biler, hvorved konflikter mellem dem undgås. Udformning 5 nævnes i vejreglen som en trafiksikkerhedsmæssig dårlig løsning, hvorfor den ikke anbefales ved nyanlæg. I kryds med få cyklister, eller hvor der af andre årsager er behov for at gøre bilister og cyklister ekstra opmærksomme på hinanden, kan udformning 6 anvendes.

Udformningsalternativerne 1-6 kan endvidere kombineres med cykelfelter og tilbagetrukne stoplinjer. Anbefalingen i vejreglen er, at cykelfelter kun etableres, hvor der er særligt behov for at markere cyklisternes vej gennem krydset. Ved udformning 1, 5 og 6 anbefales, at der etableres tilbagetrukket stoplinje for at øge synligheden af cyklister overfør højresvingende lastbiler. (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). Bevæggrundene har været at samle de svage trafikanter ét sted for at mindske antallet af konfliktpunkter og øge synligheden af cyklisterne ved at trække dem længere frem i krydset. Svagheden ved denne løsning kan være, 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.

Problemet med de viste krydsudformninger er dog, at der ikke umiddelbart synes at være klare retningslinjer for, hvornår en given krydsudformning skal anvendes, herunder om forskellige løsninger bør bruges ved forskellige trafikmængder. Dette projekt har derfor til formål at sammenligne cyklisters sikkerhed i en række kryds-

løsninger ved forskellige trafikmængder for at udbygge vejledningen til valg af krydsløsning. Det sker gennem et konfliktstudie.

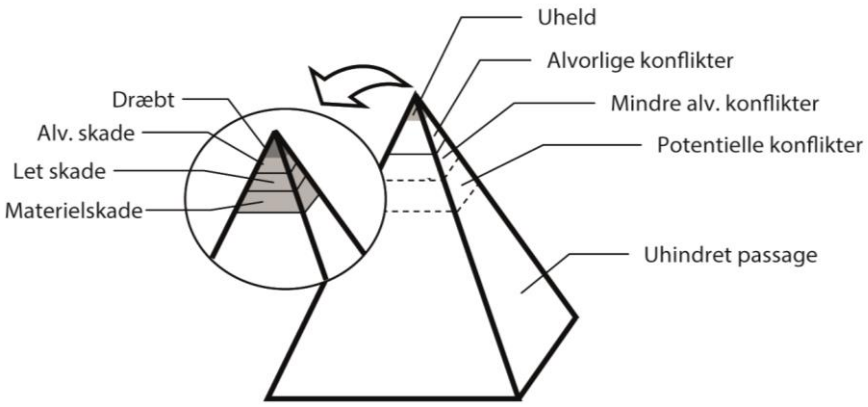
1.2 KONFLIKTTEKNIKKEN

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 stadigt 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 tilskadekomne 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 tilskadekomne cyklister, som søger behandling på sygehuse og skadesstuer. (Danmarks Statistik).
4) Uheldsstatistikkerne 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) Uheldsdata 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 kollidere, 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, hvor risikoen for uheld er ikke-eksisterende eller meget lille. 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 | Hydéns pyramide. Sammenhængen mellem alvorlighedsgraden af forskellige trafiksituationer og deres frekvens kan beskrives med en pyramideform. Hændelser med lav risiko for at udvikle sig til uheld forekommer hyppigst og er placeret nederst i pyramiden, mens de mest alvorlige hændelser – uheldene – er øverst. 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 vis risiko for, at observatørerne overser eller fejlvurderer trafikkonflikter – og når konflikten først er sket, har observatørerne ingen mulighed for at spole tilbage og gense hændelsen. (Hydén, 1987)

I de senere år er der derfor arbejdet med at erstatte denne manuelle metode med videoregistreringer, som efterfølgende analyseres automatisk med billedanalysesoftware. Fremgangsmåden ved billedanalysen er at detektere trafikanterne, undersøge om de er tæt på hinanden, mens afstanden imellem dem mindskes, og i givet fald spore trafikanternes 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)

Fordelen ved videoanalysen er, at målingerne er langt mere præcise end observatørernes observationer, samtidig med at den automatiske billedanalyse forventes at være mindre ressourcekrævende. Resultaterne af arbejdet med automatisk billedanalyse er lovende, men 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 mere kompliceret 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.

Formålet med dette projekt er at udvikle et videoanalyseværktøj til tidsstempling af interessante situationer i trafikken og igennem et konfliktstudie, hvor de potentielle konflikter detekteres med det udviklede videoanalyseværktøj og efterbehandles manuelt, sammenligne sikkerheden for en række forskellige cykelløsninger 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.

2 METODE

2.1 DE FEM KRYDS

Projektet undersøger sikkerhedsniveauet ved forskellige udformninger af cykelstier i fem signalregulerede kryds i Aalborg og Viborg:

a) Fremført cykelsti kombineret med separat højresvingsbane
b) Afkortet cykelsti kombineret med separat højresvingsbane
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

Foruden disse muligheder kan krydsløsningen udformes som en cykelbane mellem ligeud- og højresvingsbanen. Udformningen minder dermed i opbygning om krydsløsning **b**, men med den forskel, at vejmarkeringen henviser de ligeudkørende cyklister til at køre venstre om de højresvingende biler i stedet for at lade det være op til cyklisten at vælge placeringen. Det vurderes, at denne udformning sjældent forekommer i vejkryds med betydelige trafikmængder, hvorfor den ikke er inkluderet i denne undersøgelse. Ligeledes kan cykelstien udformes med separat regulering af ligeudkørende og højresvingende cyklister via en shunt og med tidsmæssig separering af ligeudkørende cyklister og højresvingende. Denne løsning er ikke undersøgt nærmere, idet den adskiller sig markant fra de øvrige ved at separere ligeudkørende cyklister og højresvingende bilister i tid. Dermed må det forventes, at konflikter mellem cyklister og bilister ikke forekommer under normale forhold. Tilsvarende kan der laves signaltekniske variationer som førgrønt for cyklister og separat grønfase for cyklister. Disse vil kunne kombineres med flere af ovenstående og vil med stor sandsynlighed give bedre trafiksikkerhed, men da de oftest må fravælges af kapacitetsmæssige årsager, vil de ikke blive behandlet yderligere.

Ved udvælgelsen af kryds til undersøgelsen blev et sæt kriterier opstillet for at sikre, at krydsene – med undtagelse af den geometriske udformning – var relativt ens, så eventuelle forskelle i sikkerhedsniveauet kunne relateres til geometrien frem for signaltekniske løsninger eller særlig vejmarkering (tilbagetrukne stopstreger, blå cykelfelter etc.). Samtidig skulle krydsene i deres opbygning være sammenlignelige med eksempler og anbefalinger fra vejreglen og have mange svingende køretøjer og cyklister for at sikre et godt datagrundlag.

Krydsene, som er fundet på baggrund af en screening af mulige kryds i Aalborg og Viborg ud fra trafiktællinger af cyklister og biler, blev valgt ud fra at de overholder størstedelen eller alle af følgende kriterier:

1) Krydset har mange svingende køretøjer og ligeudkørende cyklister
2) Krydset har ingen separat grønfase for cyklister
3) Der er ikke grøn svingpil for bilisterne
4) Krydset har separate svingbaner
5) Der er ikke farvede cykelfelter
6) Der findes lysmaster, altaner eller lignende til opsætning af videokameraer i en passende afstand fra krydset

Ikke i alle tilfælde har været muligt at finde krydsudformninger, som opfylder alle kriterier, da der ofte kun var ét eller to mulige alternativer at vælge imellem. Enkelte af de udvalgte kryds har derfor signaltekniske eller udformningsmæssige modifikationer, se Tabel 1.

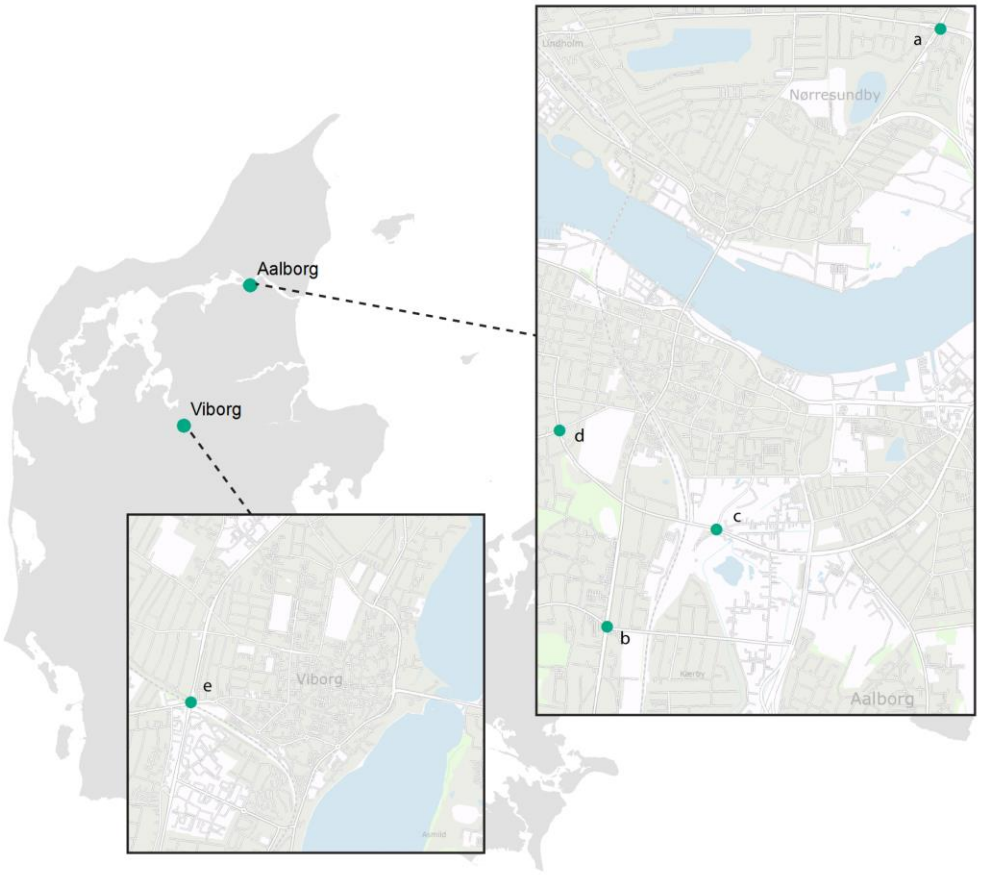
Tabel 1 | Krydskarakteristika.

	a	b	c	d	e
Cykelsti	fremført	afkortet	fremført	afkortet, med fremført smal cykelbane	fremført, med forskudt passage
Separat højresvingsbane	ja	ja	nej	nej	nej
Tilbagetrukket stoplinje	ja	nej	nej	ja (slidt af)	ja
Farvet cykelfelt	ja	nej	nej	nej	ja
Signaltekniske løsninger	førgrønt, højresvingende	ingen	ingen	ingen	ingen

I projektet benyttes følgende 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)

Krydsenes placering i de to byer ses på Figur 4, mens udformningerne af undersøgelsens fem kryds er vist i Figur 5. De undersøgte udformninger er – med undtagelse af krydsløsning **b**, hvor cyklister skal flette sammen med de højresvingende biler – karakteriseret ved, at cyklisten har prioritet igennem krydset.



Figur 4 | Lokaliteter for de fem 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 5 | Undersøgelsens kryds.

Videooptagelser 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 videooptagelser pr. kryds.

Krydsene er filmet med både termiske og RGB-kameraer, som blev monteret i toppen af belysningsmaster nær krydsene (Figur 6). I dette projekt anvende alene optagelser fra RGB-kameraet, da varmt vejr under optagelserne resulterede i, at dele af videomaterialet optaget med det termiske kamera ikke kunne bruges til analysen. Problemerne med de termiske kameraer er nærmere beskrevet i Bilag B.

Figur 6 | Kameraerne blev opsat i belysningsmaster nær krydsene med forbindelse til en ekstern strømforsyning nedenfor masten.

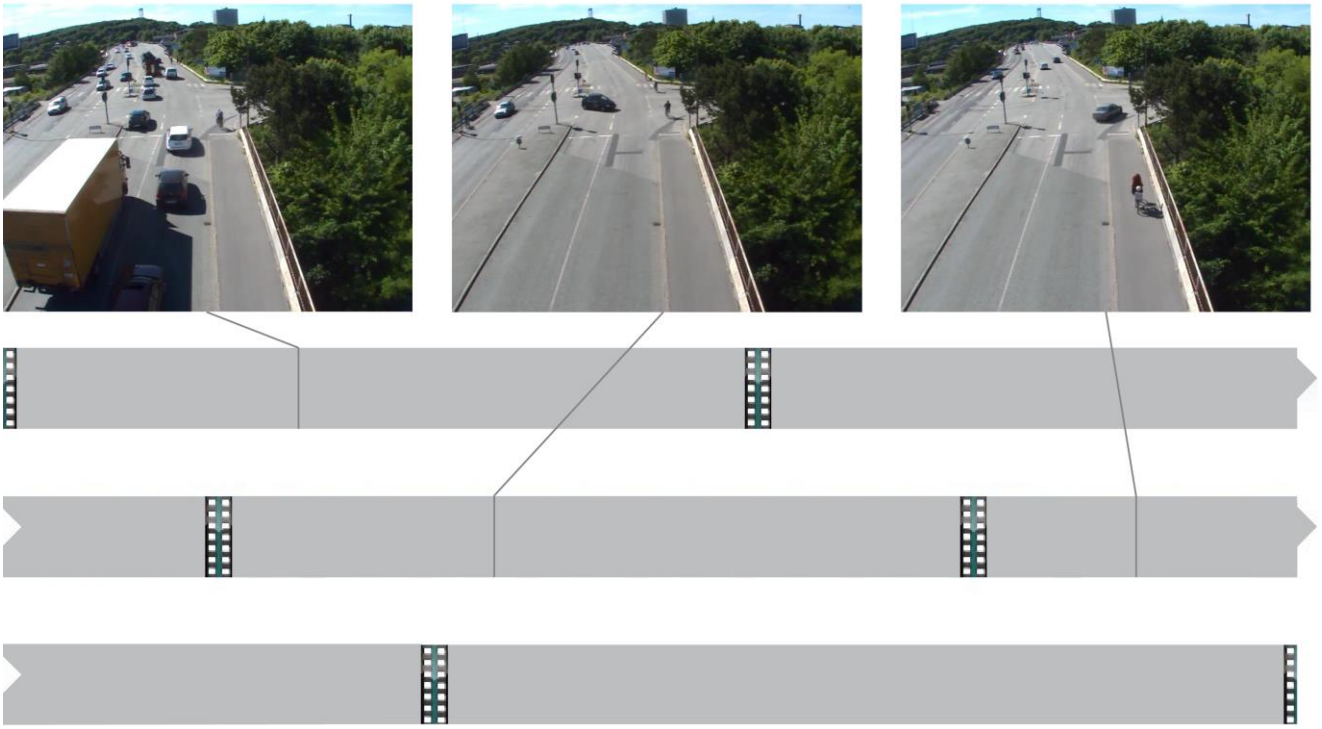
Placeringen af kameraerne i forhold til krydset er vist i Bilag A. Kameraerne var under optagelserne ubemandede og var forbundet til en ekstern strømforsyning og en computer, som blev placeret i en lukket boks nedenfor lysmasten. Systemet kan på tre store bilbatterier (à 180 AH) optage i omkring én uge. Trods synligheden af optageudstyret formodes det ikke at have påvirket trafikanternes adfærd betydeligt.

2.2 DETEKTERING AF POTENTIELLE KONFLIKTER VIA VIDEOANALYSE

Videoanalyse er en teknik, hvor man ud fra videooptagelser udtrækker oplysninger om objekter i billedet. En video består af en række billeder, som er taget med kort mellemrum; typisk vil videoerne indeholde 25 eller 30 billeder – frames – for hvert sekund. Hver frame analyseres enkeltvist, og udviklingen mellem to eller flere efterfølgende frames beskrives. Manuel videoanalyse er derfor ofte meget tidskrævende, og det er ikke usædvanligt, at tidsforbruget til manuel videoanalyse i forhold til videoens længde er i størrelsesordenen 10:1 (Laureshyn, 2005).

Til at sammenligne sikkerheden ved de forskellige krydsudformninger er der i projektet blevet udviklet software til delvist at automatisere en triviel og tidskrævende manuel analyse af videoerne. Udviklingsprocessen er beskrevet i Bilag B.

Formålet med softwaren er at udpege interessante hændelser i videooptagelser og tidsstemple disse, så de kan efterbehandles manuelt; en såkaldt watch dog. Herved undgås, at de passager af videoen, hvor der ikke er relevant aktivitet, skal kigges igennem manuelt. Princippet er vist på Figur 7, hvor eksempler på trafiksituationer, som er blevet tidsstemplet af watch dog-funktionen, er angivet sammen med deres placering i videoen.



Figur 7 | Udpegning af interessante hændelser fra videoen sker for at undgå at skulle kigge video uden aktivitet igennem.

Undersøgelsen fokuserer på konflikter svarende til uheldssituationerne 312 (højresvingende bil ind foran medkørende cyklist) og 410 (venstresvingende bil ind foran modkørende cyklist). Relevant aktivitet forekommer derfor, når ligeudkørende cyklister og højre- hhv. venstresvingende køretøjer mødes. 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 konflikter vil forekomme i svingbanen inden krydset. Konflikttyperne er illustreret på Figur 8.

1) højresving ind foran cyklist (312)

2) venstresving ind foran cyklist (410)

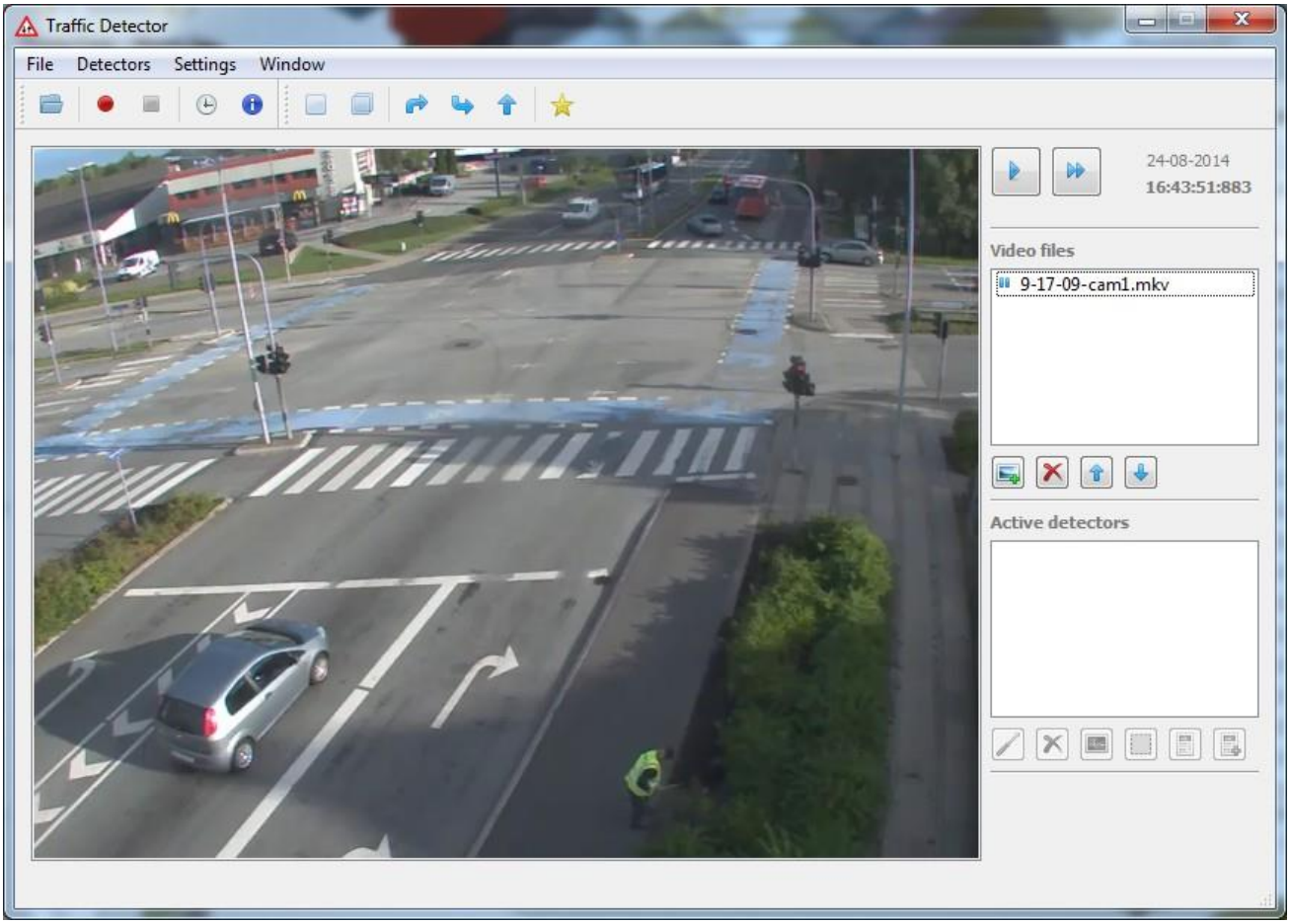
3) indfletning til højre – bil kører ind i svingbanen (152)

Figur 8 | Konflikttyper. Projektet undersøger konflikter svarende til uheldssituationerne 312 og 410 samt 152.

Der foreligger et uheldspotentiale i ethvert møde, hvor trafikanterne befinder sig på omtrent samme sted samtidig, og der findes derfor to typer situationer, som er relevante at udpege:

1) Tidsafstanden mellem to trafikanter, hvis bevægelsesbaner krydser hinanden, er lille.
2) Den ene trafikant stopper op tæt på konfliktpunktet for at overholde sin vigepligt/undgå kollision med den anden trafikant.

Den udviklede software, som er illustreret på Figur 9, er opbygget af tre typer detektorer, som gør det muligt at registrere trafikanten i billedet under forskellige forhold; trafikanten passerer gennem et specifikt felt i billedet, trafikanten færdes med en given retning, eller trafikanten holder stille i et område.

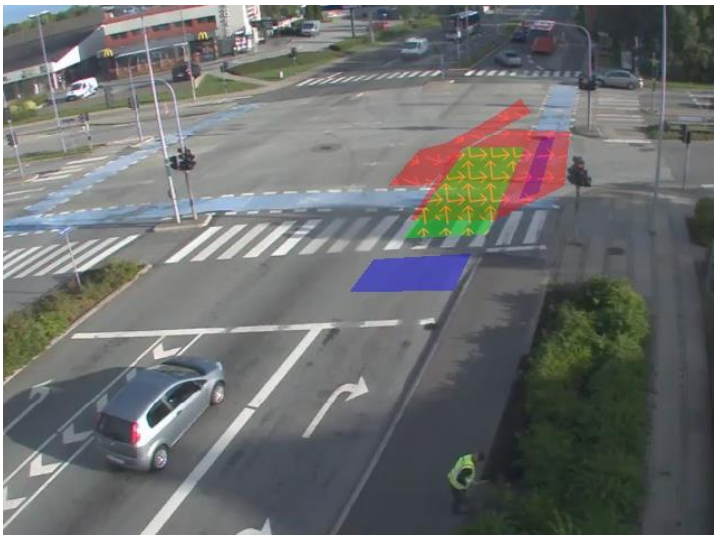


Figur 9 | Den udviklede software til udpegning af potentielle konflikter mellem ligeudkørende cyklister og højre- hhv. venstresvingende bilister.

Detekteringen af trafikanterne foretages ved at kombinere de tre detektor-typer i moduler. Modulerne foretager 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 10-12.

Analyseværktøjet kan ikke skelne mellem forskellige trafikanttyper, men detekterer aktiviteten for ethvert objekt, som passerer gennem modulet. 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. Beregningen af cyklisternes relative risiko baseres således både på konflikter med cykel og knallert 30. Da uheldsrisikoen for knallert 30 er højere end for cyklister (Hansen & Jensen, 2012), vil den fundne risiko for cyklisterne være højere i kryds med mange knallerter, end hvis undersøgelsen udelukkende beskæftigede sig med cyklister. Knallert-andelen i undersøgelsens fem kryds er ukendt, men formodes at udgøre en lille del af det samlede antal lette trafikanter.

Figur 10 | Eksempel på udformning af detektorer i modul for ligeudkørende cyklister. Modulet er opbygget af tre detektorer, som registrerer aktivitet i feltet (blå), og én detektor, som registrerer passage i en given retning (rød).



Figur 11 | Eksempel på udformning af detektorer i modul for højresvingende køretøjer. Modulet er opbygget af to detektorer til registrering af bevægelse gennem feltet (blå), to detektorer, som registrerer bevægelse i en specifik retning (rød), og én detektor, som registrerer, når noget holder stille eller bevæger sig langsomt gennem feltet (grøn).

Figur 12 | Eksempel på udformning af detektorer i modul for venstresvingende køretøjer. Modulet er opbygget af to detektorer til registrering af bevægelse gennem feltet (blå) og fire detektorer til registrering af bevægelse i en given retning (rød).

Hver gang der detekteres en trafikant i ét af de tre detekteringsmoduler, skrives et tidsstempel til en logfil. Ud fra disse tidsstempler undersøges, om der har været potentielle konflikter mellem trafikanterne. 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.

Potentielle konflikter udpeges ud fra begrebet '*samtidig ankomst*'. Samtidig ankomst defineres ud fra modsætningen af det, der kan betegnes som separat ankomst. Adfærdsobservationer har vist, at de involverede trafikanter passerer hinanden uden problemer, når cyklisten ankommer til konfliktpunktet mere end 2,5 sekunder efter eller mere end 1,0 sekund før bilen, og ingen af de to trafikanter foretager en undvigemanøvre. Er disse kriterier ikke opfyldt, er der tale om samtidig ankomst. Samtidige ankomster kan inddeles i fire hændelsesforløb: (Nielsen, 1994)

1) Tidligt samspil: mindst én af parterne viser en adfærdsændring, som løser konflikten, før uheldet ville være sket. Normalt sker det ved at bremse kontrolleret, så afstanden mellem trafikanterne er passende.
2) Sent samspil: en eller begge parter foretager en afværgemanøvre, før uheldet ville være sket. Manøvren er dog ikke af dramatisk karakter.
3) Alvorlig konflikt: afværgemanøvren er af dramatisk karakter og sker kort før uheldet ville være sket.
4) Ingen konflikt og intet samspil: samspillet mellem trafikanterne er ikke synligt. Den vigepligtige viger, og den anden kører i tillid hertil. Det er ikke synligt for medtrafikanter, at vigepligten agtes overholdt, men bliver vigepligten ikke overholdt, vil en alvorlig konflikt eller et uheld forekomme.

Ved tidligt samspil er risikoen for kollision lille, men danske erfaringer viser, at det næppe er muligt at opstille generelle retningslinjer for, hvornår noget er et samspil (tidlig/sen) eller en konflikt ud fra bestemte tidsafstande (Jørgensen, 1994). Denne inddeling og frasortering af situationer med tidligt samspil må derfor foretages manuelt ud fra det konkrete hændelsesforløb.

I dette projekt udpeges potentielle konflikter i analyseværktøjet ud fra en tidsafstand i programmet, der svarer til, at de hændelser, som vil blive fundet ved en manuel identificering af interaktionerne, genfindes. Den manuelle identificering af de potentielle konflikter baseres delvist på tidsafstanden mellem trafikanterne, delvist på synlig interaktion mellem trafikanterne.

> Potentielle konflikter forekommer, når cyklisten ankommer til konfliktpunkt-et op til 2,5 sekunder efter eller op til 1,0 sekunder før motorkøretøjet. Trafikanterne interagerer også med hverandre, 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.

2.3 HVORNÅR ER DET EN KONFLIKT?

Sammenligningen af de fem cykelstiudformninger foretages ud fra et konfliktstudie. For at kunne definere, hvornår et møde mellem to trafikanter kan betegnes som en konflikt, er det nødvendigt at tildele forskellige hændelser et mål for deres alvorlighedsgrad og fastsætte en grænse mellem konflikter og ikke-konflikter. Målet skal relatere sig til, hvor tæt trafikanterne er på at kollidere og kan eksempelvis tage udgangspunkt i distancen mellem trafikanterne i kollisionspunktet, tidsafstanden mellem trafikanterne i forhold til kollision, eller den nødvendige decelerationskraft for at undgå en kollision.

Ofte benyttes et tidsbaseret mål til angivelse af alvorligheden, da tidsafstanden giver det bedste billede af, hvor tæt trafikanterne har været på at blive involveret i en ulykke. Benyttes distancen mellem trafikanterne, tages der

ikke hensyn til hastigheden, og en konflikt vil således være lige alvorlig uanset om hastigheden er 20 eller 50 km/t, forudsat at deres indbyrdes afstand er den samme. Dertil kommer, at afstanden kan måles på forskellige måder, afhængig af om trafikanterne passerer vinkelret på hinanden, kører frontalt imod hinanden eller kører efter hinanden. Også decelerationskraften kan være vanskelig at benytte i praksis, da den nødvendigvis skal knyttes til andre variable, herunder føre og belægningstype.

Forskellige metoder til analyse af, om trafikanterne er i konflikt med hinanden, er gennem årene blevet udviklet. Den mest anvendte og veldokumenterede metode for konfliktteknikken er den svenske trafikkonfliktteknik, som er udviklet på Lunds Universitet gennem en række projekter i 1970'erne og 80'erne (Hydén, 1987). Metoden er sidenhen blevet udvidet med andre mål til angivelse af alvorlighedsgraden og en automatisering af analysen ud fra videooptagelser gennem en række forskningsprojekter.

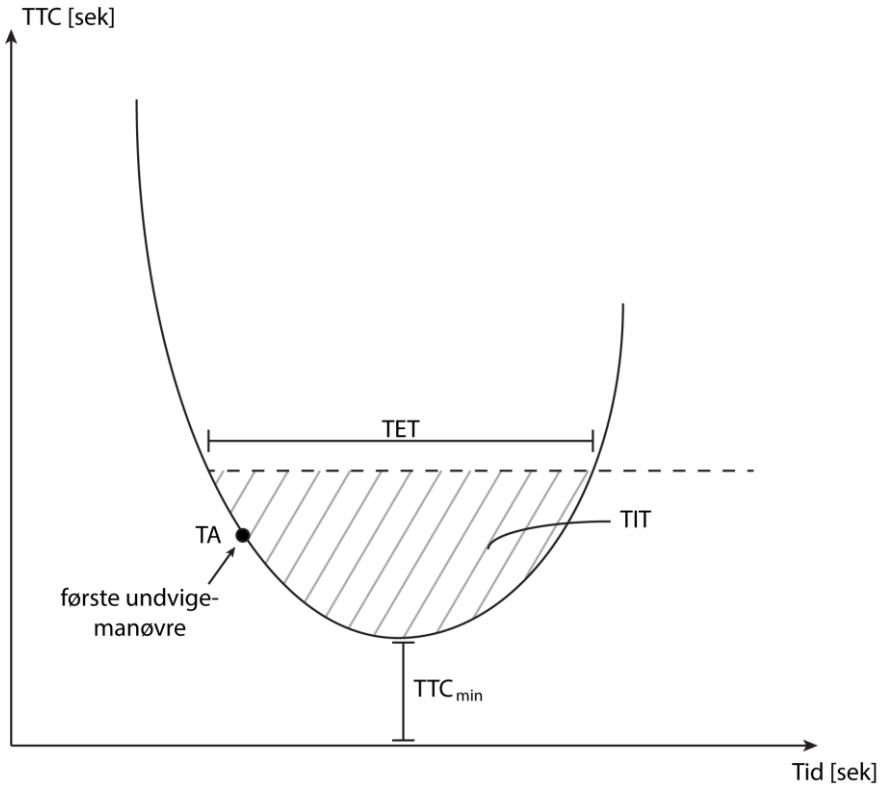
Den svenske konfliktteknik sigter i sin oprindelige form mod at udpege alvorlige konflikter mellem trafikanter ud fra en antagelse om, at der er en sammenhæng mellem antallet af alvorlige konflikter og antallet af ulykker. Hypotesen er, at alvorlige konflikter er tegn på et sammenbrud i interaktionen mellem to trafikanter. Trafikanternes opfattelse af sandsynligheden for, at interaktionen vil resultere i en ulykke er så høj, at mindst den ene af trafikanterne ikke frivilligt vil udsætte sig for denne risiko og reagerer derefter. En vigtig del af udviklingen af konfliktteknikken har derfor været at definere og finde en let anvendelig udpegningsmetode af grænsen mellem alvorlige konflikter (ulykker og nær-ulykker) og mindre alvorlige konflikter. (Hydén, 1987)

Det tidsbaserede mål "Time-to-Accident" (TA) blev valgt som indikator i den svenske konfliktteknik. TA-værdien beskriver tiden fra en undvigende manøvre foretages, til et sammenstød ville have forekommet, såfremt trafikanterne var fortsat med uændret hastighed og kurs. Hvis begge trafikanter undviger, er det TA-værdien for den trafikant, som reagerede tidligst (og dermed den største værdi), som er gældende i bestemmelsen af alvorligheden. TA-værdien beskriver således det mest kritiske øjeblik i interaktionen; dér hvor trafikanten opdager konflikten og forsøger at undvige. (Hydén, 1987)

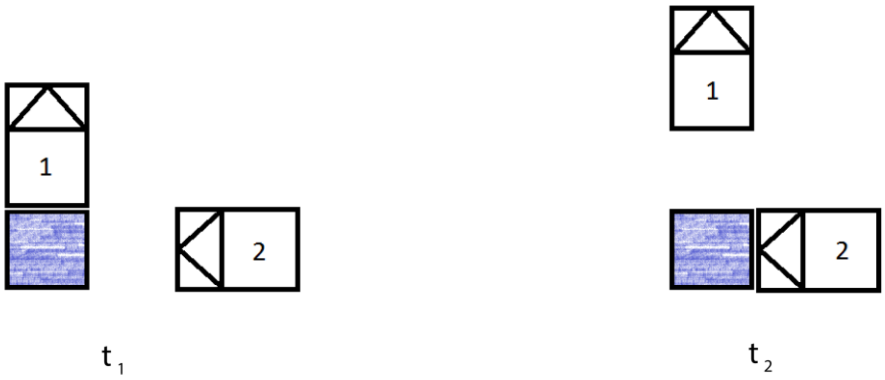
Ud fra en sammenligning mellem TA-værdierne for konflikter og trafikanternes reaktioner og handlinger blev en grænseværdi for alvorlige konflikter, hvor mindst ét motorkøretøj er involveret, og hvor konflikten finder sted i byområder med en hastighedsgrænse på maksimalt 50 km/t, fastlagt. Konklusionen var, at ingen trafikanter frivilligt ville være mindre end 1,5 sekunder fra at blive involveret i en konflikt. Denne værdi så ud til at angive, hvornår en afværgemanøvre ville være i sidste øjeblik; en praksis som især professionelle chauffører benyttede for ikke at gøre unødige ophold, hvis det alligevel viste sig at modparten ville undvige. (Hydén, 1987)

Senere blev det erkendt, at grænseværdien på 1,5 sekunder til at adskille alvorlige og mindre alvorlige konflikter var for simpel. Grænsen skulle i stedet være hastighedsafhængig – jo højere hastigheden er, des alvorligere er konflikten, forudsat at TA-værdien er den samme. Da størstedelen af konflikterne involverer bremsning som undvigemanøvre – for konflikter mellem cyklister og bilister er andelen, som bremser og evt. ændrer kurs, mere end 90 % – bestemmes grænseværdien mellem konflikter og ikke-konflikter ud fra, at den til en given hastighed svarer til den nødvendige bremsetid; tiden, som skal være til stede til at bringe køretøjet/trafikanten til fuldt stop lige ved kollisionspunktet, plus en sikkerhedsmargin på 1 sekund. (Hydén, 1987)

Foruden TA-værdien findes der en række andre tidsbaserede mål til angivelse af interaktionernes alvorlighed, se Tabel 2. Målene er illustreret på Figur 13 og 14.



Figur 13 | Time-to-Collision (TTC) og afledte tidsbaserede mål. Forudsætningen for at benytte TTC er, at de to trafikanter er på kollisionskurs.



Figur 14 | Post-Encroachment Time (PET). Beskriver hvor tæt trafikanterne er på at være på kollisionskurs.

Tabel 2 | Tidsbaserede mål til angivelse af en hændelses alvorlighedsgrad. (Laureshyn, 2010)

Navn	Beskrivelse
Time-to-Collision (TTC)	Kontinuert mål for, hvor lang tid der er tilbage til at forhindre en kollision, under antagelse af at de to trafikanter fortsætter med deres nuværende hastighed og kurs. En forudsætning er derfor, at de to trafikanter er på kollisionskurs. TTC beregnes ud fra afstanden S til kollisionspunktet, divideret med hastigheden for trafikant nr. 2, dvs. S/V_2. Herudfra kan der optegnes en kurve, se Figur 13.
Minimum Time-to-Collision (TTC_{min})	"Toppunkt" på TTC-kurven. Angiver den mindste tidsafstand mellem trafikanterne. Hvis TTC_{min} er over 0, vil et sammenstød aldrig forekomme. Ulempen ved TTC_{min} er, at det ikke ud fra værdien alene kan afgøres, om trafikanten med vilje skaber en konflikt ved at vente til sidste øjeblik med at foretage den undvigende manøvre, eller om det reelt er en konflikt, som opstår som følge af manglende samspil mellem trafikanterne.
Time-to-Accident (TA)	Punkt på TTC-kurven svarende til tidspunktet for trafikantens undvigemanøvre. TA-værdien beskriver det mest kritiske øjeblik, nemlig hvor trafikanten opdager konflikten og forsøger at undvige. Ved små værdier af TA kan sammenstød forekomme. Når undvigemanøvren finder sted, vil der (i teorien) komme et knæk på kurven. I praksis er TA-værdien vanskelig at aflæse direkte ud fra TTC-kurven.
Time Exposed TTC (TET)	Varigheden af den periode, hvor TTC-værdien har været under en fastsat grænse. Målet angiver varigheden af den mest kritiske del af hændelsen, hvor TTC er lav og trafikanterne dermed er tæt på at kollidere.
Time Integrated TTC (TIT)	Arealet mellem TTC-kurven og en fastsat værdi for TTC, som er valgt således, at den angiver kritisk lave tider for en potentiel kollision. Målet repræsenterer dels varigheden af hændelsens kritiske del (ligesom TET), dels omfanget af hvor langt TTC kommer under den fastsatte grænse.
Post-Encroachment Time (PET)	Målet kan benyttes til at analysere situationer, hvor trafikanterne ikke er på kollisionskurs. Omkring skæringspunktet mellem trafikanternes bevægelsesbaner laves et område – konfliktzonen – som svarer til det areal de to trafikanter har tilfælles. PET angiver tidsafstanden fra den første trafikant forlader konfliktzonen, til den anden trafikant ankommer til konfliktzonen (Figur 14). En ulempe ved PET er, at det ikke er velegnet til analyser i bytrafik, eftersom det ikke kan benyttes, når én af trafikanterne stopper op.
Time Advantage (Tadv)	Kontinuert version af PET. Angiver for hver tidsenhed hvor tæt trafikanterne er på at være på kollisionskurs, hvis deres hastighed og kurs forbliver uændret, på baggrund af den forreste trafikants forspring ved passage af konfliktzonen. Hvis forspringet indhentes/tabes, vil trafikanterne være på kollisionskurs. Ulempen ved Tadv er, at mens lave værdier reflekterer sikkerhedsaspektet, vil højere værdier – eksempelvis 2-3 sekunder – beskrive normale trafiksituationer. Forholdsvis lave værdier kan være en indikation af en høj effektivitet i trafikafviklingen, uden at der er en forhøjet risiko for kollision. Ved skæve vinkler er det desuden muligt, at begge trafikanter befinder sig i konfliktzonen – hvorved Tadv = 0 – skønt trafikanterne ikke støder sammen.
Time to arrival of second road user to collision point (T_2)	Kontinuert version af PET, som angiver den resterende tid tilbage, 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. T_2 er sammenlignelig med TTC, men kræver ikke, at trafikanterne er på kollisionskurs. I det øjeblik, hvor TTC ophører, fordi trafikanterne ikke mere er på kollisionskurs, vil T_2 antage samme værdi som TTC, hvorimod Tadv vil stige fra værdien 0.

Det er endnu uvist, hvilket mål der bedst beskriver hændelsernes alvorlighed. Undersøgelser tyder dog på, at Time-to-Collision (TTC) er bedre end Post-Encroachment Time (PET). De øvrige mål er kun i begrænset omfang blevet undersøgt, men det er ikke utænkeligt, at disse vil kunne afspejle alvorligheden endnu bedre, ligesom kombinationer af flere tidsbaserede mål muligvis bør anvendes. (Laureshyn, 2010)

Ligeledes er en af udfordringerne ved konfliktteknikken 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 antallet af fundne konflikter falde og mulighederne for signifikante resultater i konfliktanalyserne reduceres. (Laureshyn, 2010)

Selv om antallet af alvorlige konflikter er højere end antallet af uheld, udgør disse hændelser fortsat kun en lille andel af møderne mellem to trafikanter. Trafiksikkerhedsarbejdet – uanset om det baseres på uheldsanalyser eller konfliktteknikken – tager således udgangspunkt i et begrænset udsnit af alle hændelser i trafikken. Man kan derfor overveje, om ikke også de mindre alvorlige konflikter kan bidrage med informationer om trafiksikkerheden, enten ved at inkludere hændelser, hvor trafikanterne ikke er på kollisionskurs (Laureshyn, 2010) eller ved at vurdere trafiksikkerheden ud fra trafikanternes normale adfærd, som kan give indsigt i forudsætningerne for at en specifik adfærd kan betegnes som sikker eller usikker (Svensson, 1997).

Differentieringen mellem konflikter og ikke-konflikter kan også baseres på, hvordan samspillet mellem trafikanterne forløber (Nielsen, 1994, Linderholm, 1992). Linderholm (1992) inddeler interaktioner i fire grupper baseret på et tids- og lovmæssigt aspekt. I en interaktion mellem en svingende bil og en ligeudkørende cyklist i et lysreguleret kryds er reglen, at bilisten skal holde tilbage for cyklisten, når begge har grønt på samme tid, forudsat at vejmarkeringen ikke påbyder andet. Interaktionerne kan derfor opdeles ud fra om bilisterne overholder denne vigepligt, eller om cyklisterne må vige for at lade bilisten passere først. Desuden inddeles efter, om tilpasningen mellem trafikanterne sker tidligt eller sent under passagen. Tidlig interaktion er ofte et tegn på, at trafikanterne i god tid har fået øje på hinanden og løbende har tilpasset deres bevægelser til hinanden. På den anden side kan sen interaktion indikere, at trafikanterne først i sidste øjeblik får øje på hinanden, eller at de ikke ønsker at tage hensyn til den anden trafikant.

I Danmark er der tilsvarende udviklet en metode til adfærdsstudier, hvor man registrerer en række adfærdsparametre, der antages at have sammenhæng med risikoen – eksempelvis om trafikanten orienterer sig, og om bilisten kører før eller efter cyklisten (Nielsen, 1994).

Endelig kan sandsynligheden for, at trafikanter kolliderer, benyttes til at opstille hændelser efter hvor alvorlige de er. Hvis der blot er den mindste mulighed for, at en række hændelser kan lede til en kollision – eksempelvis at der er mere end én trafikant på vejen – kan sandsynligheden for, at de vil kollidere bestemmes. Sandsynligheden for kollision bestemmes ud fra en række hypoteser for, hvordan trafikanterne vil bevæge sig fremover. Eksempelvis vil en trafikant, der ankommer til et T-kryds via sekundærvejen, kunne dreje til højre eller venstre. En bilist, der kommer fra højre side på primærvejen, kan enten fortsætte ligeud eller dreje til venstre. Sandsynligheden for, at de to bilister kolliderer svarer så til summen af sandsynlighederne for at første bilist drejer til venstre, mens anden bilist kører ligeud, og at begge bilister drejer til venstre. (Saunier & Sayed, 2009)

2.3.1 DEFINITIONEN PÅ EN KONFLIKT I DETTE PROJEKT

I dette projekt beskrives cyklisternes sikkerhed ud fra to forskellige definitioner på konflikter; én som tager udgangspunkt i tidsbaserede mål, og én som fokuserer på trafikanternes opfattelse af risikoen for kollision på baggrund af iagttagelser af deres reaktioner under 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 af en hastigheds- og en retningsændring – vil de kollidere.

2) Trafikanterne er på krydsningskurs. Hvis trafikanterne fastholder deres aktuelle kurs og hastighed, vil de krydse hinanden med en vis tidsmargin. Ændres kurs eller hastighed, er der mulighed for, at de kolliderer.

I begge tilfælde findes et skæringspunkt mellem de to trafikanters bevægelsesbaner (Figur 15), og trafikanterne vil ankomme til kollisionspunktet med en given tidsafstand – en kollision sker i givet fald, når tidsafstanden er 0 sekunder.

Figur 15 | Trafikanternes bevægelsesbaner skærer hinanden (tv) eller ligger så tæt, at trafikanterne vil have fysisk kontakt, hvis de passerer samtidig (th).

Når trafikanterne er på kollisionskurs, bestemmes alvorligheden af mødet ud fra deres mindste indbyrdes tidsafstand, TTC_{min}. Målet angiver den resterende tid til at forhindre en kollision, da trafikanterne var tættest på hinanden. Jo lavere værdien er, des senere har trafikanterne reageret på faren. Grænseværdien er valgt, så også mindre alvorlige konflikter medtages, og i overensstemmelse med praksis i (Laureshyn, 2005).

Også møder, hvor trafikanterne ikke er på kollisionskurs, kan indebære en stor risiko for kollision, hvis trafikanterne blot skal ændre kurs eller hastighed en smule for at komme 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, hvis de kommer på kollisionskurs. Det sker gennem en kombination af Tadv og T_2. Tidsafstandene bestemmes ud fra en manuel efterbehandling af de potentielle konflikter i programmet T-Analyst (Trafvid, 2014).

Definition 1

En konflikt er en hændelse, hvor en ligeudkørende cyklist/knallert 30 og et højre- eller venstresvingende motorkøretøj 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.

I den anden definition foretages en vurdering af, hvor ofte trafikanterne synligt har reageret med ubehag mod hændelser ved at udføre en undvigemanøvre nær konfliktpunktet. Denne reaktion indikerer, at mindst én af trafikanterne ikke frivilligt har ønsket at udsætte sig for denne fare. Reaktionen kan skyldes, at trafikanterne har opdaget hinanden sent, eller at der er usikkerhed om, hvorvidt den vigepligtige vil overholde sig vigepligt.

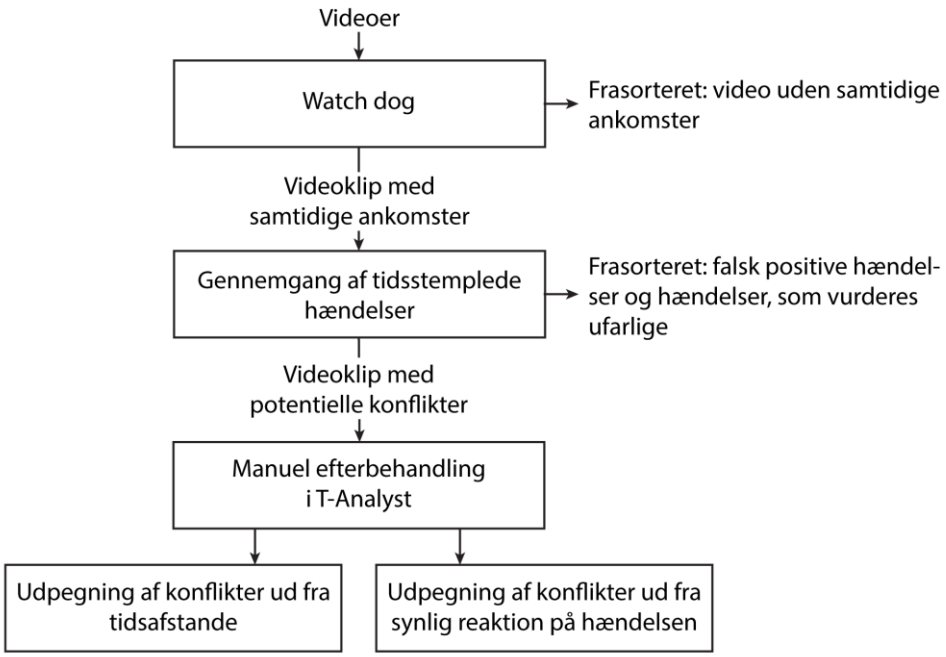
Definition 2

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.

2.3.2 UDPEGNING AF KONFLIKTER

Udpegningen af konflikter blev foretaget i flere trin, se Figur 16. De optagne videoer blev importeret i den udviklede watch dog, som indstilles, så programmet udtrækker hændelser med samtidig ankomst. Herved reduceres datamaterialet på 80 timers video pr. kryds til et antal videoklip à 20 sekunders varighed med trafiksituationer, hvor svingende motorkøretøjer og ligeudkørende cyklister og knallerter passerer krydset samtidig. I dette projekt er datamaterialet for hvert kryds derved reduceret til 3-25 timer, afhængig af trafikmængden i krydset og sværhedsgraden af at frafiltrere uvedkommende trafik - især krydsløsning **b**, hvor biler og cyklister færdes på samme areal op til krydset, gav udfordringer med at isolere de potentielle hændelser og derved reducere datamængden. Den samlede datamængde er blevet reduceret fra 400 timer til omkring 64 timer. Kun en lille andel af de samtidige ankomster indebærer en stor sandsynlighed for, at trafikanterne vil kollidere, 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 mellem at 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, hvorved en eller begge trafikanter bremser op i sidste øjeblik eller foretager undvigemanøvre (accelererer, bremser, ændrer retning) for at undgå kollision.
3) Hændelsen føles *ikke ok* eller føles *farlig*. Det vurderes, at der er noget, som gør det interessant at undersøge interaktionen nærmere. Herunder hører eksempelvis hændelser, hvor det ser ud som om der nemt kan forekomme en kollision, hvis der sker noget uventet.



Figur 16 | Fremgangsmetode ved databehandlingen.

Gennemsyn og manuel efterbehandling af hændelserne foretages i programmet T-Analyst (Trafvid, 2014). En skematisk fremstilling af fremgangsmåden trin for trin er vist i Bilag C. I programmet placeres bokse omkring trafikanterne på hver frame, så trafikanternes bevægelse gennem krydset bliver registreret (Figur 17). Herudfra beregner programmet automatisk værdier for TTC, Tadv og T_2 for frames, hvorpå begge trafikanter er blevet markeret. Ud fra minimumsværdierne for disse mål – jf. projektets første definition på en konflikt – udpeges konflikterne.

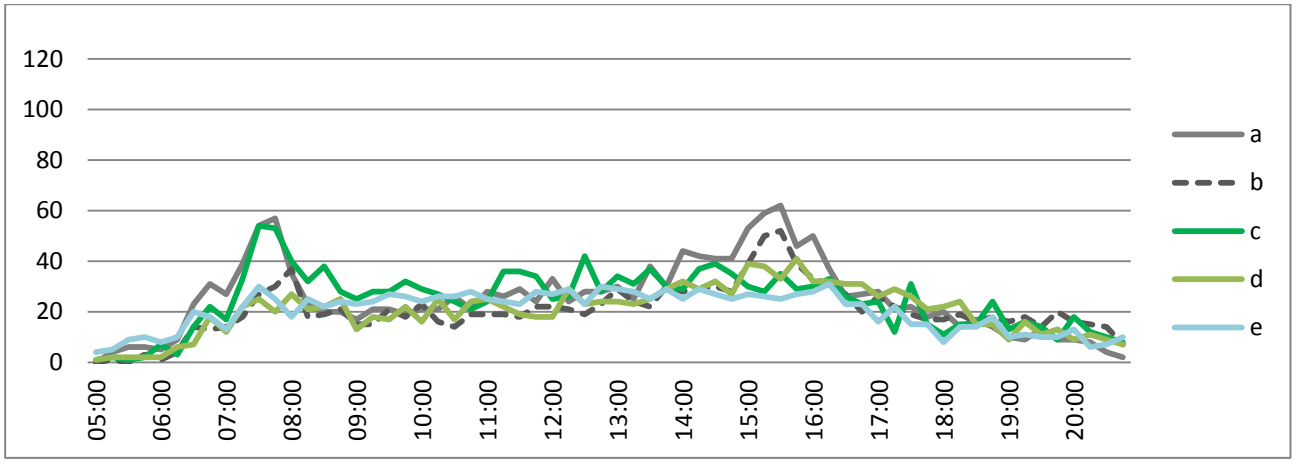
Udpegningen af konflikter i definition 2 baseres på tilstedeværelsen af en synlig reaktion på hændelsen, men sker desuden på baggrund af de beregnede tidsafstande. Alle hændelser, hvor TTC ≤ 2,0 sekunder eller Tadv ≤ 1,0 sekunder, analyseres manuelt.

Figur 17 | Manuel efterbehandling i T-Analyst. For hver frame placeres en boks omkring trafikanterne for at følge deres bevægelse gennem krydset. Hver prik på billedet svarer til hvor trafikanterne er på de næste frames.

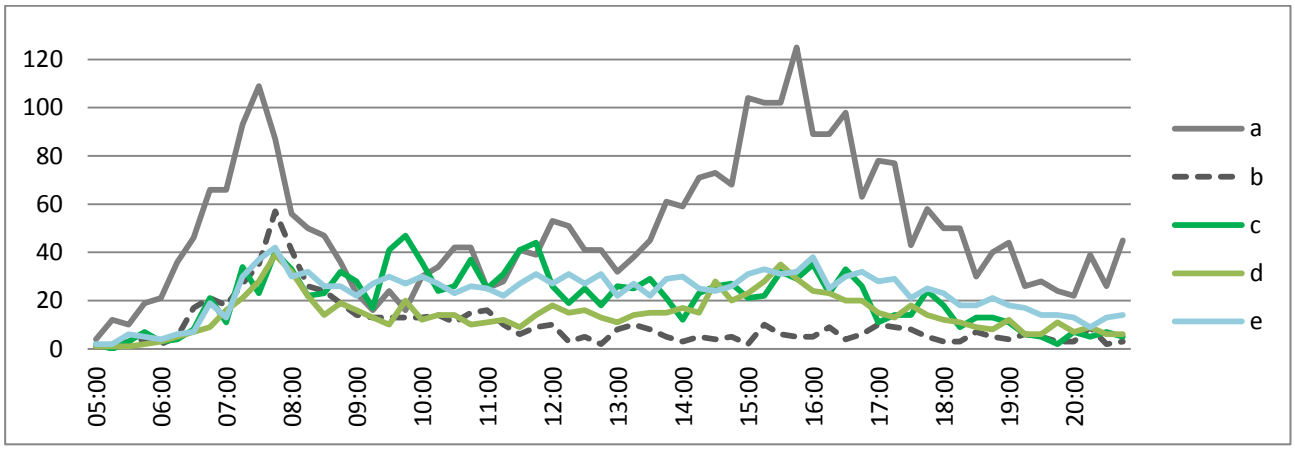
2.4 DATAGRUNDLAG

Forudsætningen for, at det udviklede analyseværktøj kan udpege potentielle konflikter mellem motorkøretøjer og cyklister, er, at trafikanterne bliver detekteret og tidsstemplet. Softwaren fungerer dermed også som et trafiktællingsredskab, hvor trafikken gennem hvert detektormodul tælles og inddeles i tidsintervaller. I dette projekt er trafikken opgjort i intervaller à 15 minutter for hver af de tre trafikstrømme; ligeudkørende cyklister/knallerter, højresvingende motorkøretøjer og venstresvingende motorkøretøjer.

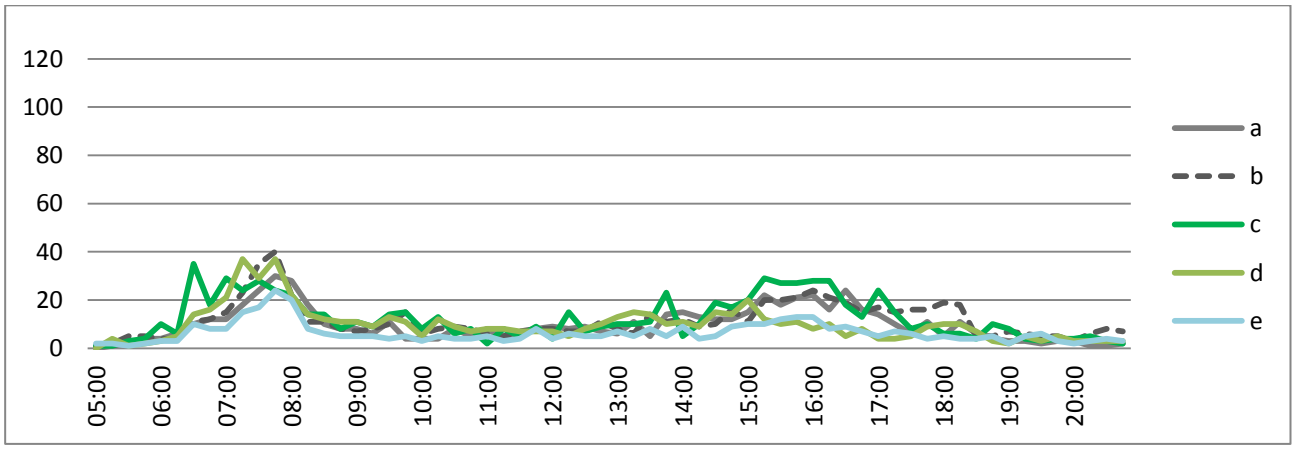
Algoritmens præcision ved trafiktællingen afhænger af forholdene under optagelserne. For minimere sandsynligheden for at perioder, hvor eksempelvis vanskelige vejrforhold (regn, skygger mv.) har resulteret i detekteringen af aktivitet, som ikke stammer fra trafikanter, estimeres trafikmængden i et givet tidsinterval ud fra medianen og ikke gennemsnittet af de trafikmængder, som analyseværktøjet har talt på de fem dage. Eksempelvis har softwaren registreret 37, 34, 28, 37 og 39 højresvingende motorkøretøjer i perioden 7.30-7.45 for de fem dages optagelser af krydsløsning **e**. Medianen af disse trafiktal giver 37, og denne værdi 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. Trafikmængderne i krydsene – opgjort på 15-minutters intervaller – fremgår af Figur 18-20.



Figur 18 | Antal venstresvingende motorkøretøjer pr. kvarter pr. dag i hvert af de fem kryds. Bogstaverne a-e repræsenterer de fem krydsudformninger.



Figur 19 | Antal højresvingende motorkøretøjer pr. kvarter pr. dag i hvert af de fem kryds. Bogstaverne a-e repræsenterer de fem krydsudformninger.



Figur 20 | Antal ligeudkørende cyklister pr. kvarter pr. dag i hvert af de fem kryds. Bogstaverne a-e repræsenterer de fem krydsudformninger.

For at undersøge, om variationer i antallet af motorkøretøjer, som passerer igennem krydset i løbet af en given tidsperiode, kan have betydning for cyklisternes risiko for at blive involveret i en konflikt, opdeles dagen i perioder, hvor trafikkens intensitet er nogenlunde konstant. Opdelingen sker på baggrund af antallet af motorkøretøjer pr. kvarter. Med udgangspunkt i trafikmængderne i krydsene (Figur 18 og 19), blev 15-minutters-perioderne delt i tre grupper med henholdsvis lav, middel og høj trafikintensitet. Grænserne mellem de tre grupper er vist i Tabel 3.

Tabel 3 | Inddeling af biltrafikken ud fra trafikintensiteten.

Trafikintensitet for biltrafik	Højre- eller venstresvingende motorkøretøjer
Lav	0-15
Middel	16-35
Høj	36+

Antallet af ligeudkørende cyklister, som passerede krydsene ved de forskellige trafikintensiteter for biltrafikken er angivet i Tabel 4, og af Tabel 5 fremgår det totale antal trafikanter, som har passeret krydset i løbet af en uges optagelser.

Tabel 4 | Antal cyklister/små knallerter i alt pr. kryds i optagerperioden ved forskellige trafikintensiteter for motorkøretøjer. Da antallet af svingende trafikanter fra de to retninger varierer, vil samme tidsperiode ikke nødvendigvis have samme niveau for trafikintensiteten for de to svingretninger. Antallet af cyklister, der passerer ved en given trafikintensitet, er derfor forskelligt for højre- hhv. venstresvingende.

Krydsløsning	Cyklister Lav intensitet	Cyklister Middel intensitet	Cyklister Høj intensitet
Højresvingende			
a	15	405	2.695
b	2.700	660	310
c	970	2.590	415
d	1460	1.500	185
e	260	1.525	270
Venstresvingende			
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 5 | 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

Det samlede antal konflikter fra hhv. den tidsbaserede metode og vurderingsmetoden i de fem kryds fordelt på konflikttype er angivet i Tabel 6. Links til videoer med konflikterne findes i Bilag E.

Tabel 6 | Antal konflikter ved de to konfliktmål fordelt på konflikttype.

Krydsløsning	312-konflikter		410-konflikter	
	Tidsbaseret	Vurdering	Tidsbaseret	Vurdering
a	26	13	1	1
b	14	3	5	3
c	11	4	2	1
d	10	4	8	6
e	1	2	1	1

Cyklisternes risiko for at blive involveret i en konflikt ved passage af krydset afhænger af mængden af motorkøretøjer i krydset, primært de trafikstrømme, som krydser cyklistens bane og derved kan kollidere med cyklisten. Cyklistens gennemsnitlige risiko ved de forskellige krydsudformninger sættes derfor i forhold til antallet af højre- og venstresvingende bilister i krydset. Det gøres i dette projekt ved at inddele optagelserne i grupper på baggrund af trafikmængden for højre- og venstresvingende motorkøretøjer for at tage hensyn til variationer i løbet af dagen. Herved opdeles datamaterialet i grupper, hvor trafikmængden er nogenlunde konstant. Det gør det muligt at sammenligne cyklisternes sikkerhed i de fem krydsløsninger ved forskellige intensiteter af motorkøretøjerne og dermed afgøre, hvorvidt der er forskel på den bedste krydsudformning afhængig af trafikkens omfang. I tabel 7 er konflikterne derfor opdelt efter biltrafikkens størrelse. Det ses, at der med det tidsbaserede mål med få undtagelser udpeger flere konflikter end ved det vurderingsbaserede mål, hvor der forudsættes en synlig reaktion fra mindst en af de involverede parter. Ved begge konfliktmål er antallet af fundne konflikter i de fleste tilfælde dog små, især når antal konflikter opdeles på de tre kategorier af biltrafik.

Tabel 7 | Konflikter fordelt på konflikttype og trafikintensitet for biltrafikken. For krydsløsning b indgår konflikter i højresvingsbanen (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

2.5 ANALYSE AF LØSNINGERNES SIKKERHED

For at kunne sammenligne kryds, som ikke har ens cykeltrafikmængder, må der også tages højde for denne ved bestemmelsen af cyklisternes sikkerhed ved passagen af en given krydsudformning. Derfor foretages sammenligningen ikke kun på baggrund af antallet af konflikter, men primært ud fra risikoen for at blive involveret i en konflikt – den relative risiko for cyklisterne. Den sikreste krydsudformning er dermed den, hvor cyklisternes risiko for at blive involveret i en trafikkonflikt er lavest. Risikoen beskrives som antallet af uønskede hændelser (konflikter) i forhold til antallet af mulige hændelser; eksponeringen.

$$\text{risiko} = \frac{\text{antal konflikter}}{\text{eksponering}}$$

Brugen af trafiktal er dog ikke problemfri, når der skal tages hensyn til trafikmængderne for forskellige trafikstrømme; skal der bruges summen, produktet eller en potens af de to strømmes trafikmængder for bedst at beskrive cyklisternes eksponering overfor konflikter?

I projektet opdeler vi biltrafikken i tre grupper på baggrund af trafikintensiteten. Som eksponering ved hvert af de tre niveauer for biltrafikkens 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.

3 RESULTATER OG DISKUSSION

3.1 CYKLISTERS RELATIVE SIKKERHED

Tabel 8 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. Ved sammenligningen af cyklisternes risiko i Tabel 8 er der fundet en enkelt statistisk signifikant forskel ($p < 0,05$), idet krydsudformning **c** har signifikant færre 410-konflikter end krydsudformning **d**. Endvidere er der tendens til, at krydsløsning **e** har færre 312-konflikter end krydsløsning **c**.

Tabel 8 | Cyklisters risiko fordelt på trafikintensitet og konflikttype. Risikoen er angivet som antallet af konflikter pr. 1000 cyklister. Endvidere er antal konflikter angivet i parentes. Celler angivet med en streg (-) betyder, at der ikke er registreret trafikanter (cyklister og/eller biler) for perioden, eller at det samlede antal cyklister i perioderne er under 100.

Risiko ved tidsbaseret mål

	Lav	Middel	Høj
a	-	2,5 (1)	8,9 (24)
b	4,4 (12)	1,5 (1)	3,2 (1)
c	0,0 (0)	3,1(8)	7,2 (3)
d	2,1(3)	4,0 (6)	5,4 (1)
e	0,0 (0)	0,7 (1)	0,0 (0)

312-konflikter

	Lav	Middel	Høj
a	-	0,0 (0)	0,8 (1)
b	0,0 (0)	1,5 (4)	2,1 (1)
c	1,6 (1)	0,4 (1)	0,0 (0)
d	0,0 (0)	3,2 (8)	0,0 (0)
e	0,0 (0)	0,6 (1)	-

410-konflikter

Risiko ved vurderingsbaseret mål

	Lav	Middel	Høj
a	-	0,0 (0)	4,5 (12)
b	0,4 (1)	0,0 (0)	6,5 (2)
c	0,0 (0)	0,8 (2)	4,8 (2)
d	0,7 (1)	1,3 (2)	5,4 (1)
e	0,0 (0)	1,3 (2)	0,0 (0)

312-konflikter

	Lav	Middel	Høj
a	-	0,0 (0)	0,8 (1)
b	0,0 (0)	0,8 (2)	2,1 (1)
c	1,6 (1)	0,0 (0)	0,0 (0)
d	0,0 (0)	2,4 (6)	0,0 (0)
e	0,0 (0)	0,6 (1)	-

410-konflikter

a) Fremført cykelsti kombineret med separat højresvingsbane
b) Afkortet cykelsti kombineret med separat højresvingsbane
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 8 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 højresvingspil som betyder, at den højresvingende biltrafik ved middel trafikintensitet er afviklet inden cykeltrafikken får grønt.
Udformningen har en relativ lav risiko for 410-konklikter sammenlignet med udformning **b** og **d**, måske fordi udformning **a** har venstresvingspil, så 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, og det bemærkes, at det også er ved lav biltrafik, at langt de fleste af konflikterne er sket. Ses på trafiktallene i Figur 19, bemærkes, at der er meget få højresvingende i dette kryds gennem store dele af dagen, og derfor kommer mange af 15-minutters intervallerne for denne udformning til at ligge i biltrafikkategorien lav. 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 højresvingsbane.
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.

3.2 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 (Bilag A). Tabel 9 viser fordelingen af uheld for de fem krydsløsninger.

Tabel 9 | 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 uheld udgjort den motoriserede part, mens knallert 30 i tre af uheldene har været modpart i uheldene. I krydsløsning **c** har der været et uheld mellem en venstresvingende personbil og en ligeudkørende cyklist.

Den lave forekomst af uheld i alle fem kryds indikerer, at ingen af de udvalgte kryds er særligt uheldsbelastede hvad angår 312- og 410-uheld. Det tyder på, at resultaterne fra denne undersøgelse ikke blot er et udslag af enkelte lokaliteters høje uheldsforekomst som følge af særlige forhold, som ikke skyldes udformningen af cykelstien.

3.3 DISKUSSION AF RESULTATER FRA KONFLIKTSTUDIERNE

Cyklisternes risiko er i dette projekt beregnet ud fra både et vurderings- og et tidsbaseret konfliktmål. Dette er valgt for at sikre, at de fundne resultater ikke udelukkende er en konsekvens af en effektiv trafikafvikling, som fortolkes som en øget risiko for kollision, selv om trafikanterne har kontrol over situationen. 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 uheld, 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 således 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 havde reageret derefter ved at foretage en undvigemanøvre eller ved at markere, at modparten har foretaget en farlig manøvre. Det tidsbaserede mål har dog 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 dog at afgøre, hvorvidt den manglende reaktion skyldes, at trafikanterne er opmærksomme på hinanden og krydser med så lille tidsmargin som muligt uden at kollidere, eller om de er uopmærksomme og måske ikke kan nå at undvige, hvis en af trafikanterne pludseligt stopper op eller vælter.

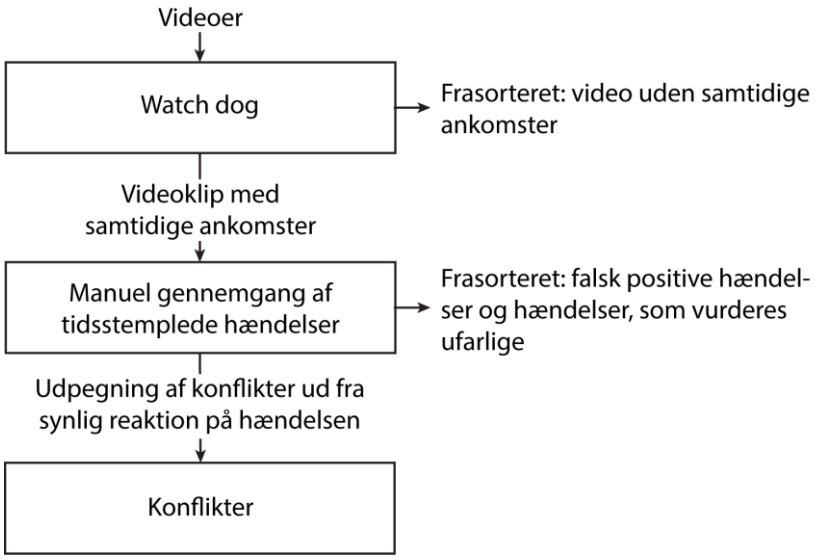
Hvilket mål, der er det bedste surrogat for uheld, kan ikke fastlægges igennem dette projekt. Det situationsvurderende mål, hvor der kræves en synlig reaktion mod faren for kollision fra mindst en af parterne, minder meget om Christer Hydéns (1987) brug af undvigemanøvrer til angivelse af tidspunktet, hvorfra konfliktens alvorlighed bedømmes. Forskellen er blot, at vi ikke definerer forskellige niveauer for alvorlighedsgraden af en konflikt. Det hænger sammen med, at undersøgelser indikerer, at der ikke findes en tydelig grænse mellem alvorlige og mindre alvorlige konflikter, i hvert fald ikke en grænse, som trafikanterne selv er i stand til at udpege (Hydén, 1987). I stedet fastlægges grænsen mellem en konflikt og en ikke-konflikt ud fra forekomsten af en reaktion fra trafikantens side; hvis trafikanten reagerer på hændelsen med en undvigemanøvre kort inden en kollision muligvis ville have forekommet, så tyder det på, at hændelsen har været alvorlig nok til at kunne betegnes som en konflikt. Ulempen ved dette mål er dog, at vi ikke registrerer de hændelser, som er farlige, men hvor faren ikke

registreres af trafikanten på grund af uopmærksomhed eller manglende erkendelse af risikoen for kollision. Disse hændelser medtages i det tidsbaserede mål, men medfører til gengæld, at der inkluderes hændelser med en effektiv trafikafvikling, hvor trafikanterne tilpasser deres bevægelser til hinanden uden at udgøre en egentlig fare for kollision.

Ved vurderingen af de to metoder skal også metodernes tidsomkostninger tages i betragtning. Programmet T-Analyst, der anvendes i den tidsbaserede metode, kræver i dag en manuel registrering af trafikanternes spor og indebærer dermed et betydeligt ressourceforbrug. Vurderingen er, at så længe vi ikke har automatiske konfliktanalyseprogrammer, ville dette ressourceforbrug være bedre anvendt til at øge registreringstiden og gå direkte fra watch dog funktionens output til vurderingsmetoden – jf. Figur 21.

Det overordnede mål med dette projekt var igennem anvendelse af konfliktstudieteknikken som surrogat for uheld at gennemføre en undersøgelse, der sammenligner sikkerheden for en række forskellige cykelløsninger i signalregulerede kryds med cykelsti, med henblik på at kunne beskrive løsningernes relative sikkerhedsniveau ved forskellige trafikmængder, for derigennem at kunne forbedre vejreglernes vejledninger omkring valg af krydsløsninger.

Vurderes resultaterne i afsnit 3.1 er hovedkonklusionen, at antallet af registrerede konflikter er for lavt til at medføre sikre konklusioner. Vores forhåndsskøn over, hvor mange konflikter en dags optagelse ville give, var for højt, og desværre var der hverken tids- eller budgetmæssige muligheder for at udvide registreringsomfanget. Til gengæld er det vurderingen, at det udviklede watch dog programmel er velegnet til at tidsstemple potentielle konfliktsituationer, der så efterfølgende vil kunne behandles manuelt. Ved små trafikmængder vil watch dog funktionen kunne reducere det manuelle gennemsyn af optagelserne til nogle få procent af optagelsernes oprindelige længde. Ved store trafikmængder er fordelen mindre, men selv ved de største trafikmængder i dette projekt blev optagelsernes længde stadig reduceret med 69 %.



Figur 21 | Forslag til metode for udpegning af konflikter ved brug af watch dog funktion. Med softwaren reduceres videomaterialet til et antal klip med stor sandsynlighed for, at der forekommer relevant aktivitet. Disse videoklip gennemgås manuelt, idet konflikter udpeges på baggrund af en vurderingsbaseret metode.

På trods af at vi således ikke har 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 højresvingspil 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 højresvingspil problemer, hvis der stadig er biler, når hovedretningen får grønt, sandsynligvis fordi der ved overgangen mellem højresvingspilen og hovedretningens grønfase sker en ændring i, hvem der har prioritet i krydset. Udformningen havde næsten ingen 410-konflikter – måske fordi den aktuelle udformning af typen også har venstresvingspil, og at den venstresvingende trafik primært afvikles i denne fase.
3. Udformning **b** *Afkortet cykelsti kombineret med separat højresvingsbane* har to ligeudspor, der giver relativt mange 410-konflikter. Et resultat der 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.

3.4 ANALYSEVÆRKTØJET

Ved projektets start var målet at udvikle en watch dog funktion, men i løbet af projektets første del blev målet udvidet til at udvikle et analyseseværktøj, som kunne følge trafikanternes bevægelse gennem krydset og herudfra bestemme/udtrække data om trafikanternes type, svingretning, hastighed og tidsafstanden imellem krydsende trafikanter ud fra videooptagelser fra et termisk kamera. Det lykkedes ikke indenfor projektets rammer, jf. Bilag B. Det skyldes blandt andet, at kvaliteten af videomaterialet varierede så meget, at analyseværktøjets algoritmer enten registrerede for meget støj i billedet og dermed detekterede trafikanter, som ikke fandtes (falsk positive detekteringer), eller overså trafikanterne helt eller sporadisk, så deres bevægelse gennem krydset derved ikke kunne spores. En analyse har vist, at hovedårsagen til problemet dels var temperaturudsving, dels ændringer i lysforholdene i løbet af dagen. På dage, hvor temperaturen var høj og vejen så varm, at trafikanterne ikke skiller sig ud fra omgivelserne, var udtrækningen af trafikanter vanskelig, og det vil ofte kun være muligt at detektere dele af trafikanterne. Selv hvis der havde været ideelle forhold under optagelserne er det dog langt fra sikkert, at det ville være lykkedes at udvikle et værktøj, som med rimelig sikkerhed kunne følge trafikanternes spor gennem krydset. Ses på udenlandske erfaringer med udviklingen af software til analyse af trafikkonflikter, er vore erfaringer i tråd med disse, idet de også har vist, at det er yderst vanskeligt at udvikle systemer, som med rimelig sikkerhed kan spore alle trafikanter i et vejmiljø, som naturligt er kompleks, dynamisk og udsat for mange forskellige vejrforhold (Laureshyn, 2010, Saunier & Sayed, 2007). Derfor endte vi i projektet med at udvikle den fra projektstart planlagte watch dog funktion.

Det var heller ikke muligt at benytte videoerne fra det termiske kamera til at detektere trafikanterne i specifikke områder af krydset, da informationerne om trafikanterne ud fra billedet i perioder var for begrænsede til at algoritmens kunne registrere deres tilstedeværelse. Selv om algoritmen i mange tilfælde kunne detektere trafikanterne ud fra en meget lille kontrastforskel mellem disse og vejmiljøet, var der tilfælde, hvor trafikanterne var usynlige på de termiske videoer og derfor ikke blev detekteret. Undersøgelsen antyder, at især ved lufttemperaturer fra omkring 20 °C bliver temperaturen på asfalten så høj, at det giver problemer for det termiske kamera

pga. manglende temperaturforskelle mellem baggrund og trafikant. Kameratypen er derfor mindre velegnet til optagelser udendørs med temperaturer højere end 20 °C, da det ikke kan garanteres, at trafikanterne temperaturmæssigt skiller sig ud fra baggrunden. Da det termiske kamera registrerer varmeforskelle, er det afgørende, at der er forskel på trafikanternes og omgivelsernes varmestråling.

Trods dette vurderes der at være adskillige fordele ved at benytte videooptagelser fra det termiske kamera som supplement til optagelser fra almindelige RGB-kameraer. Det bør blot gøres på en måde, så de to kameraer supplerer hinanden ved at udnytte hvert kameras stærke sider frem for kun det ene kamera. Tabel 10 viser RGB- og termiske kameraers styrker og svagheder. En hensigtsmæssig udnyttelse af begge kameraer vil være en analysemetode, som baserer sig på optagelser fra de termiske kameraer i dårligt vejr, om natten og når der forekommer skygger, men som samtidig kan benytte RGB-kameraer, når det er varmt, og til at indsamle mere information om objekterne, som er registreret ud fra de termiske kameraer.

Tabel 10 | Styrker og svagheder ved de to anvendte kameratyper i projektet.

	RGB-kamera	**Termisk kamera**
Styrker	Mere information i billedet pga. tre farvekanaler Ikke følsomt overfor varme/kulde	Kan detektere trafikanter i mørke Skygger ses sjældent Nem detektering af personer (fodgængere og cyklister), da disse typisk er varmere end omgivelserne Påvirkes ikke af dårligt vejr (regn, tåge)
Svagheder	Skygger er meget tydelige Kan ikke detektere trafikanter i mørke Følsomt overfor regn/tåge	Ustabilt ved store temperaturvariationer Kræver supplement fra RGB-kamera, hvis optagelserne efterfølgende skal kigges igennem manuelt Forudsætter synkronisering mellem kameraerne, hvis optagelserne skal benyttes sammen med RGB-video

Den udviklede watch dog funktion er i stand til at detektere og tidsstemple trafikanters adfærd. Analyseværktøjet er beskrevet i afsnit 0. Værktøjet fungerer ved, at brugeren tegner et antal felter over videoen, hvorefter programmet behandler videoen frame for frame. I dette projekt er softwaren benyttet til at udpege potentielle konflikter mellem svingende motorkøretøjer og ligeudkørende cyklister og derved reducere videomaterialet fra 400 timers optagelser til 64 timers videoklip indeholdende situationer, hvor analyseværktøjet har detekteret samtidige ankomster mellem trafikanterne. Disse situationer er derefter blevet efterbehandlet manuelt for at afgøre, hvorvidt hændelserne var konflikter eller falsk positive detekteringer.

Derudover giver softwaren mulighed for at placere 1-2 felter vilkårlige steder i billedet, definere en tidsmæssig afhængighed mellem felterne og herudfra tælle og tidsstemple trafikanternes adfærd. 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. Analyseværktøjet har sin største styrke ved lave trafikmængder, fordi der her vil være længere mellem de situationer, som ønskes tidsstemplet – eksempelvis samtidige ankomster, som udgør en potentiel konflikt. Værktøjet kunne også tænkes brugt til verificering af uheldshypoteser i det stedbestemte trafiksikkerhedsarbejde.

Analyseværktøjet fungerer ligeledes som en tællefunktion, der kan tælle trafikken for en given retning. I projektet er der oprettet funktioner til at tælle antallet af trafikanter for tre trafikstrømme; højresvingende motorkøretøjer, venstresvingende motorkøretøjer og ligeudkørende cyklister. Softwaren adskiller trafikken fra forskellige retninger ved at foretage en form for sporing af trafikanterne gennem krydset. Det betyder, at hvis der registre-

res aktivitet i en række felter efter hinanden, svarende til den bevægelse et venstresvingende køretøj vil foretage, vil der blive detekteret en venstresvingende bil. Softwaren fungerer ved at detektere bevægelse, men registrerer ikke størrelsen af trafikanten. Det medfører, at der ikke skelnes mellem forskellige køretøjstyper; personbiler, motorcykler, lastbiler og busser, ligesom værktøjet heller ikke kan skelne cyklister fra knallerter på cykelstien.

For at kontrollere de fundne trafikmængder fra analyseværktøjets tællefunktion er en manuel tælling på forskellige tidspunkter af døgnet for hvert kryds foretaget. Ved sammenligningen benyttes medianen af de fem dages tællinger. Bilag D viser resultatet af denne sammenligning. Det ses, at tællefunktionen i de fleste tilfælde har været i stand til at tælle antallet af trafikanter for hver trafikstrøm med en acceptabel nøjagtighed.

Det bemærkes, at der er en tendens til, at værktøjet undervurderer antallet af cyklister, når intensiteten kommer over 30 cyklister pr. kvarter, hvilket især forekommer i myldretiden. Det skyldes, at analyseværktøjet ikke kan 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 (Figur 22). Ved kørsel i grupper vil risikoen for gruppen som helhed svare til risikoen for at en enkelt cyklist passerer krydset alene, og risikoen for den enkelte cyklist i gruppen vil derfor være reduceret. Det vurderes derfor, at forskellen mellem det reelle antal cyklister og det fundne antal cyklister er af mindre betydning og muligvis bidrager 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.

Figur 22 | Cyklister kører ofte så tæt, at analyseværktøjet ikke kan separere dem, men opfatter gruppen af cyklister som én cyklist. De fundne trafikmængder for cyklister angiver derfor antallet af cyklistgrupper – indeholdende en eller flere cyklister – i stedet for det reelle antal cyklister.

Det er sandsynligt, at denne optælling på gruppeniveau opvejer en eventuel ”safety in numbers” effekt. Begrebet ”safety in numbers” dækker over, at risikoen for den enkelte trafikant falder, når antallet af trafikanter stiger (Elvik, 2009). Konsekvensen for denne undersøgelse er, at det ikke kan afvises, at cyklisternes relative risiko vil være lavere i kryds med mange cyklister og højere i kryds med få cyklister, end den havde været, hvis antallet af cyklister havde været ens. Årsagen er med stor sandsynlighed, at øvrige trafikanter er mere opmærksomme på cyklisterne, når der færdes mange, frem for når cyklister kun sjældent er til stede. På samme vis vil det være sværere at overse en gruppe af cyklister frem for en cyklist, der færdes alene.

Bilag D viser, at trafikmængden for højre- og venstresvingende motorkøretøjer kun i to tilfælde varierer meget fra med den manuelle optælling af trafikken:

1) Antallet af højresvingende køretøjer ved krydsløsning **a** undervurderes om formiddagen og i særdeleshed i eftermiddagsmyldretiden.
2) Antallet af højresvingende køretøjer i krydsudformning **b** undervurderes i myldretiden.

Den manuelle trafiktælling for højresvingende biler i de to kryds antyder, at algoritmen ikke har været i stand til at bestemme antallet af biler korrekt i myldretiden. Det kan blandt andet skyldes vanskelige vejrforhold; regn, skygger, pludseligt skiftende lysforhold mv., se Figur 23, som har påvirket softwarens ydeevne.

Figur 23 | Vejmiljøet er dynamisk, og lysforholdene kan ændre sig meget i løbet af dagen. Hvis disse ændringer sker pludseligt, kan analyseværktøjet ikke altid nå at tilpasse sig til ændringerne, før lysforholdene når at ændre sig igen. Det påvirker tællefunktionen.

Til beskrivelse af cyklisternes risiko benyttes trafikmængderne for cyklister og svingende motorkøretøjer som eksponering for at sammenligne kryds med forskellige trafikmængder. Det gøres, fordi en højere trafikmængde vil resultere i et højere antal konflikter.

Et alternativ til trafikmængden er at benytte antallet af interaktioner mellem ligeudkørende cyklister og svingende bilister som eksponering. Antallet af interaktioner 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 en interaktion, selv om der er mange cyklister. Det var i projektet 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 eller interaktioner 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 ud fra den udviklede metode til videoanalyse af trafikken. En sammenligning mellem antallet af interaktioner fundet vha. analyseværktøjet og manuelt viser, at det ikke er usædvanligt, at op til halvdelen af de fundne interaktioner er falsk positive og slet ikke burde være blevet detekteret. Brugen af interaktioner som mål for cyklisternes eksponering overfor konflikter blev derfor fravalgt. Såfremt der kan findes en metode til optælling af antallet af samtidige ankomster, må det dog formodes, at dette mål i højere grad end trafiktallet beskriver cyklisternes reelle risiko for at komme i konflikt med en svingende trafikant.

4 KONKLUSION

Resultaterne fra dette projekt sandsynliggør, at konfliktstudier baseret på automatisk billedanalyse af videooptagelser kan være et brugbart surrogat for uheld, og selv om resultatet ikke er statistisk signifikant, viser projektet, at udformningen *Fremført rød cykelsti med forskudt passage og fælles ligeud- og højresvingsspor* er klart sikrere end de øvrige løsninger.

Resultaterne tyder også på, at en højresvingspil kan give mange konflikter, hvis der stadig er højresvingende biler, når grøntfasen begynder – et resultat der – hvis kapacitetsmæssigt muligt – peger på anvendelse af bundet højresving. Både *Fremført cykelsti kombineret med fælles ligeud- og højresvingsspor* og *Afkortet cykelsti med fremført smal cykelbane kombineret med fælles ligeud- og højresvingsspor* har mange 312-konflikter – et resultat der understreger vigtigheden af højresvingsspor i signalregulerede kryds.

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, hvad der skal tælles og analyseres i videobilledet.

5 DET VIDERE ARBEJDE

Som det er diskuteret i rapporten, er der stadig lang vej igen, før konflikter kan detekteres med tilstrækkelig sikkerhed igennem automatisk billedanalyse, men der vurderes at være stort potentiale i videreudviklingen af den udviklede watch dog funktion. Både igennem en kombination af RGB-kameraer og termiske kameraer, men også igennem videreudvikling af watch dog funktionen til andre anvendelser indenfor adfærdsregistreringer i trafikken.

REFERENCER

Agerholm, Niels, Caspersen, Sofie, Madsen, Jens C. O. & Lahrmann, Harry (2006): *Cykelstiers trafiksikkerhed - en før-efterundersøgelse af 46 nye cykelstiers sikkerhedsmæssige effekt.* Dansk Vejtidsskrift, 83:12, pp. 52-57.

Beymer, David, McLauchlan, Philip, Coifman, Benn & Malik, Jitendra (1997): *A Real-Time Computer Vision System for Measuring Traffic Parameters .* Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE, 17.-19. juni 1997, 495.

Buch, Norbert, Velastin, Sergio A. & Orwell, James (2011): *A Rewiev of Computer Vision Techniques for the Analysis of Urban Traffic.* IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 12:no. 3, pp. 920-939.

Canny, John (1986): *A computational approach to edge detection.* Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 6, pp. 679-698.

Danmarks Statistik *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.

DMI (2013): *DMI's Vejrarkiv.* Tilgængelig på: http://www.dmi.dk/vejr/arkiver/vejrarkiv/ Opdateret: Opdateres dagligt. Besøgt: 15-08-2013-2013.

Elvik, Rune (2009): *The non-linearity of risk and the promotion of environmentally sustainable transport.* Accident Analysis and Prevention, 41:4, pp. 849-855.

Farnebäck, Gunnar (2003): "Two-Frame Motion Estimation Based on Polynomial Expansion" i *Image Analysis*, eds. Josef Bigun & Tomas Gustavsson, Springer Berlin Heidelberg, , pp. 363-370.

García, Raúl Ignacio Ramos & Shu, Dule (2010): *Vision based Vehicle Tracking using a high angle camera.* Clemson University, .

Guangquan, Lu, Miaomiao, Liu, Shaojun, Xia & Cheng, Deng (2010): *Vehicles' Motion Parameters Detection in Intersection Based on Videos of Low View Angle .* 2010 International Conference on Optoelectronics and Image Processing (ICOIP), IEEE, 11.-12. november 2010, 718-721.

Hansen, Allan S. & Jensen, Carsten (2012): *Risiko i trafikken 2007-2010.* DTU Transport, Kgs. Lyngby.

Hydén, Christer (1987): *The development of a method for traffic safety evaluation: The Swedish Traffic Conflicts Technique.* , Lund Institute of Technology. Department of Traffic Planning and Engineering, Lund, Sweden.

Jensen, Søren 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.* Trafitec, Kgs. Lyngby.

Jørgensen, Anders (2012): *TwoCameraRecorder.* Visual Analysis of People Laboratory, Aalborg Universitet, Aalborg.

Jørgensen, Niels O. (1994): *Cyklister i kryds - afprøvning af nye reguleringsformer.* Nordisk Ministerråd, København.

Kanhere, Neeraj K., Pundlik, Shrinivas J. & Birchfield, Stanley T. (2005): *Vehicle Segmentation and Tracking from a Low-Angle Off-Axis Camera.* IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE, San Diego, California, 20.-25. juni 2005, 1152-1157.

Laureshyn, Aliaksei (2010): *Application of automated video analysis to road user behaviour*, Lund University.

Laureshyn, Aliaksei (2005): *Automated video analysis and behavioural studies based on individual speed profiles.* 18th ICTCT workshop, Lund University, Lund, Sweden, October.

Linderholm, Leif (1992): *Traffic Safety Evaluation of Engineering Measures - Development of a Method and its Application to How Physical Lay-Outs Influence Bicyclists at Signalized Intersections*, Lunds Institute of Technology. Department of Traffic Planning and Engineering.

Nielsen, Michael A. (1994): *Nye evalueringsmetoder, Konfliktteknik og Adfærdsstudier.* Vejdirektoratet, København K.

Saunier, Nicolas & Sayed, Tarek (2009): "A probabilistic framework for vision-based safety analysis" i *Efficient Transportation and Pavement Systems*, eds. Al-Quadi, Sayed, Alnuaimi*, et al*, Taylor & Francis Group, London, UK, pp. 227-239.

Saunier, Nicolas & Sayed, Tarek (2007): *Automated Road Safety Analysis Using Video Data.* TRB 2007 Annual Meeting, Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C., USA, January 21-25.

Saunier, Nicolas & Sayed, Tarek (2006): *A feature-based tracking algorithm for vehicles in intersections.* Proceedings of the 3rd Canadian Conference on Computer and Robot Vision, IEEE, 7-9. juni 2006.

Svensson, Åse (1997): *A method for analysing the traffic process in a safety perspective.* Proceedings of the ICTCT 97, Lund University, Lund, Sweden, 5-7. november 1997.

Trafvid (2014): *T-Analyst.* Lunds Universitet, Lund, Sverige.

Tuohy, S., O'Cualain, D., Jones, E. & Glavin, M. (2010): *Distance Determination for an Automobile Environment using Inverse Perspective Mapping in OpenCV.* Signals and Systems Conference (ISSC 2010), IET, Cork, Irland, 23.-24. juni 2010, 100-105.

Vejdirektoratet (2012): *Uheldsudtræk fra VIS/vejman.dk.* Vejdirektoratet, København.

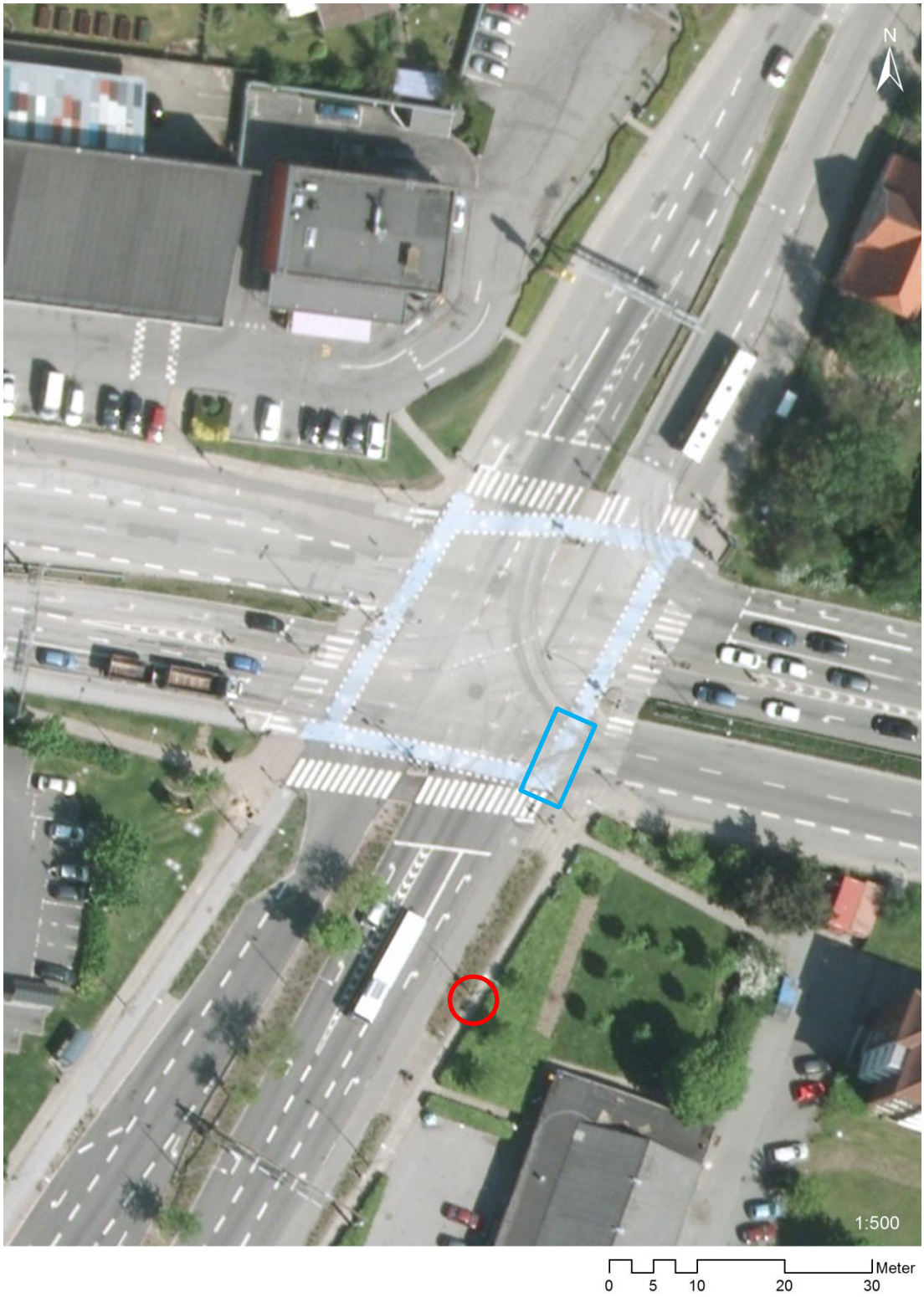
Vejregelrådet (2010): *Byernes trafikarealer, Hæfte 4, Vejkryds.* Vejdirektoratet.

Vestergaard, Thorkild (2013): *Ny udformning af cykelstier i signalanlæg.* Trafik & veje, 90:5, pp. 46-48.

Zivkovic, Zoran & van der Heijden, Ferdinand (2006): *Efficient adaptive density estimation per image pixel for the task of background subtraction.* Pattern Recognition Letters, 27:7, pp. 773-780.

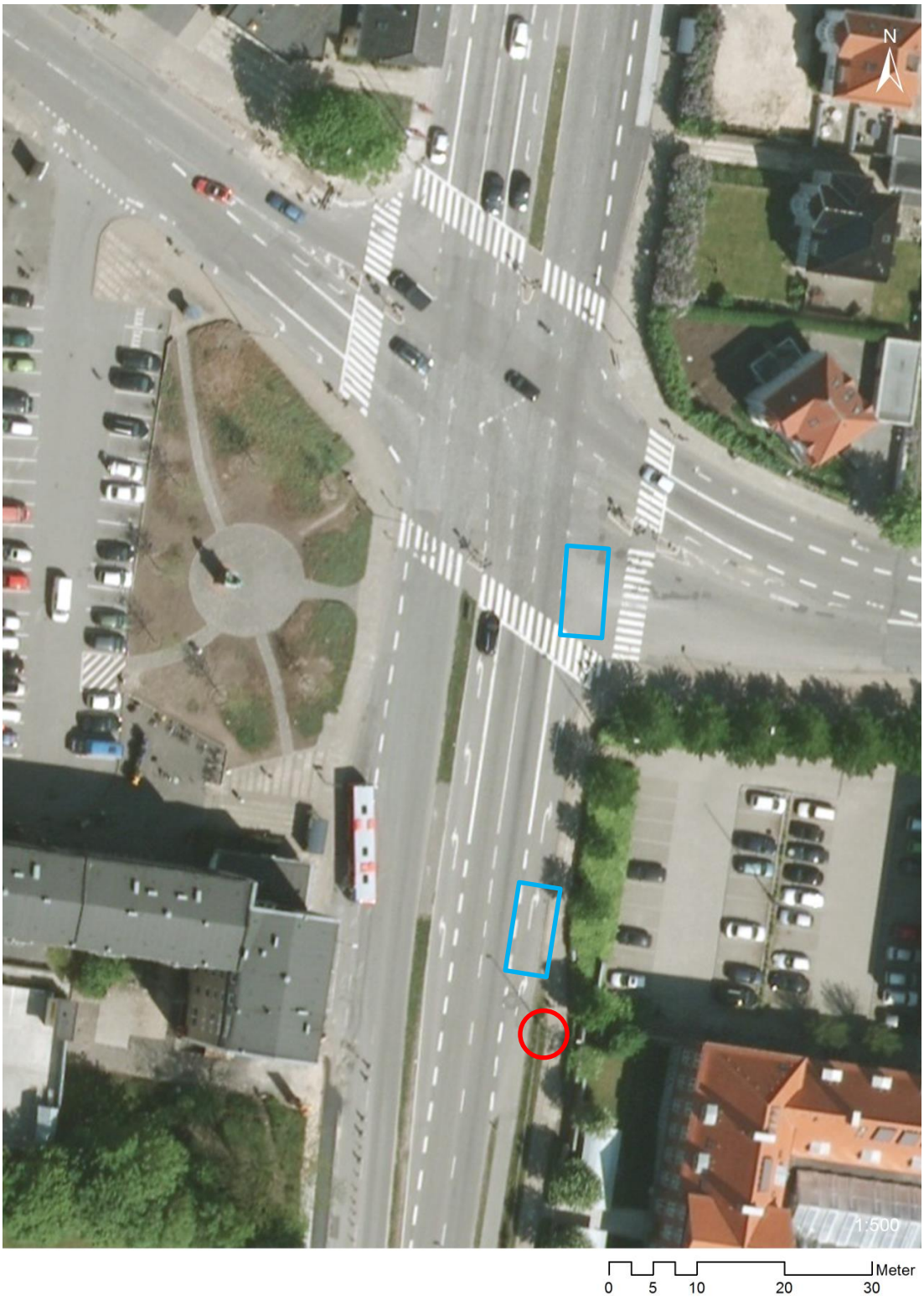
Bilag A KAMERAPLACERING

Krydsudformning a: Hjørringvej/Sundsholmen/Forbindelsesvejen, Nørresundby



Figur 24 | Hjørringvej/Sundsholmen/Forbindelsesvejen. Ortofoto med angivelse af kameraernes placering (rød ring) og konfliktområdet (blåt rektangel).

Krydsudformning b: Hobrovej/Ny Kærvej/Vestre Allé, Aalborg

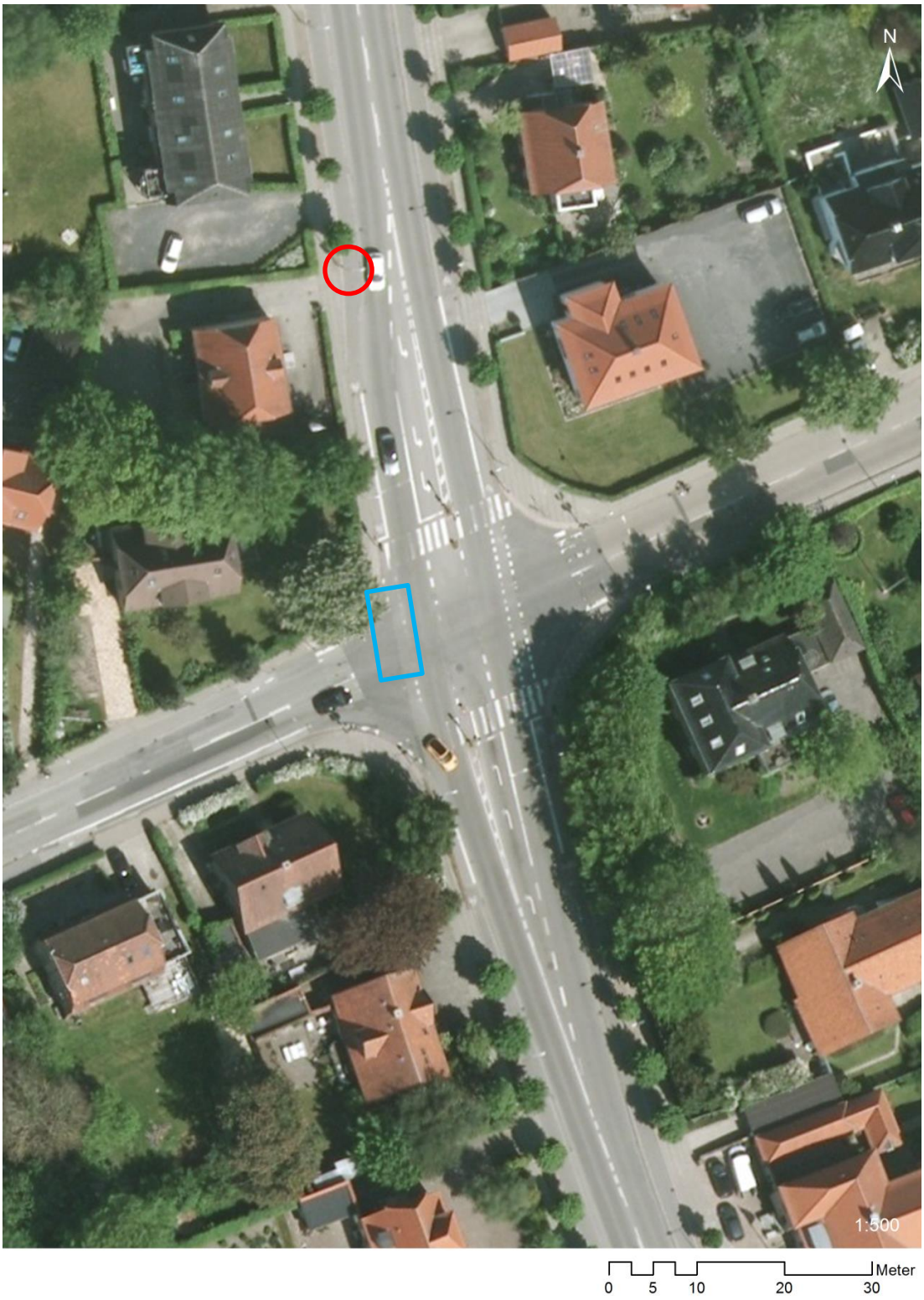


Figur 25 | Hobrovej/Ny Kærvej/Vestre Allé. Ortofoto med angivelse af kameraernes placering (rød ring) og konfliktområder (blå rektangler). Konflikter kan både forekomme i sammenfletningen og i selve krydset.

Krydsudformning c: Østre Allé/Dag Hammarskjölds Gade, Aalborg

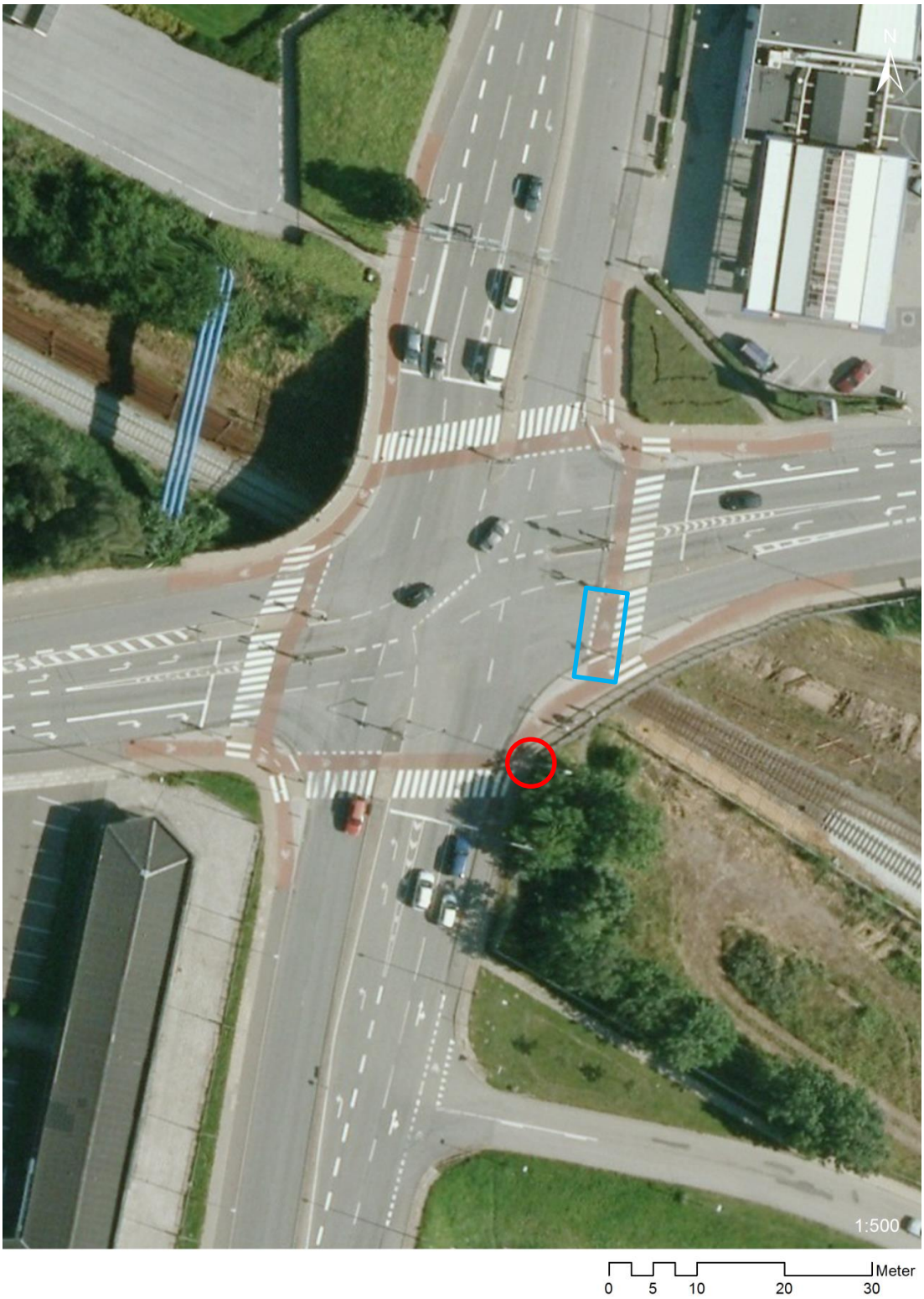
Figur 26 | Østre Allé/Dag Hammarskjölds Gade. Ortofoto med angivelse af kameraernes placering (rød ring) og konfliktområdet (blåt rektangel).

Krydsudformning d: Kong Chr. Allé/Hasserisvej, Aalborg



Figur 27 | Kong Chr. Allé/Hasserisvej. Ortofoto med angivelse af kameraernes placering (rød ring) og konfliktområdet (blåt rektangel).

Krydsudformning e: Indre Ringvej/Vesterbrogade, Viborg



Figur 28 | Indre Ringvej/Vesterbrogade/Holstebrovej. Ortofoto med angivelse af kameraernes placering (rød ring) og konfliktområdet (blåt rektangel).

Bilag B UDVIKLING AF ANALYSEVÆRKTØJ

Til at sammenligne sikkerheden ved de forskellige krydsudformninger er et analyseværktøj i form af software til videoanalyse blevet udviklet. Formålet med softwaren er at udpege interessante hændelser i videooptagelser – i dette tilfælde interaktioner mellem ligeudkørende cyklister og højre- hhv. venstresvingende køretøjer – og tidsstemple disse, så de kan efterbehandles manuelt; en såkaldt watch dog. Flere algoritmer er blevet udviklet og testet for at nå frem til det endelige analyseværktøj. I det følgende beskrives denne proces og de erfaringer, der blev gjort undervejs.

B.1 METODE 1: BACKGROUND SUBTRACTION TIL TRACKING AF TRAFIKANTER

Trafikken gennem et signalreguleret kryds er kompleks; personbiler, lastbiler, busser, knallerter, cyklister og fodgængere ankommer fra flere retninger, mødes i krydset, færdes med kort afstand imellem sig og krydser hinandens bane. Omgivelserne er dynamiske, hvilket kan resultere i støj i billedet; vejr og lysforhold varierer, lys reflekteres på regnvåde veje, huse og træer nær krydset danner skygger ved solskin, og skyggerne fra træerne bevæger sig i takt med vinden. Kompleksiteten og støjen i billedet, se Figur 29, vanskeliggør behandlingen af dataene i den computerbaserede videoanalyse og derved påvirke algoritmens ydelse og i sidste ende kvaliteten af analysen.

Figur 29 | Vejmiljø med stor kompleksitet. Hvis skyggen fra træet bevæger sig i vinden, kan det medføre støj og fejlagtig detektering af bevægelse.

For at imødekomme udfordringerne med dynamiske variable i form af skiftende vejrforhold og skygger blev det som udgangspunkt valgt at analysere trafikanternes færdsel gennem krydset ud fra videoer optaget med et termisk kamera. Denne kameratype danner billeder ud fra objekters varmestråling og kan dermed adskille kolde og varme objekter fra hinanden, hvilket letter identificeringen af trafikanter, som ofte vil være varmere end omgivelserne. Figur 30 viser et eksempel på video optaget med et termisk kamera. De termiske kameraer har yderligere den fordel, at de sammenlignet med almindelige videokameraer er mindre følsomme overfor forskellige vejrforhold (regn, sne, tåge) og skygger og ikke er afhængige af lys ved optagelserne. Det er derfor muligt at lave optagelser, selv om det er mørkt.

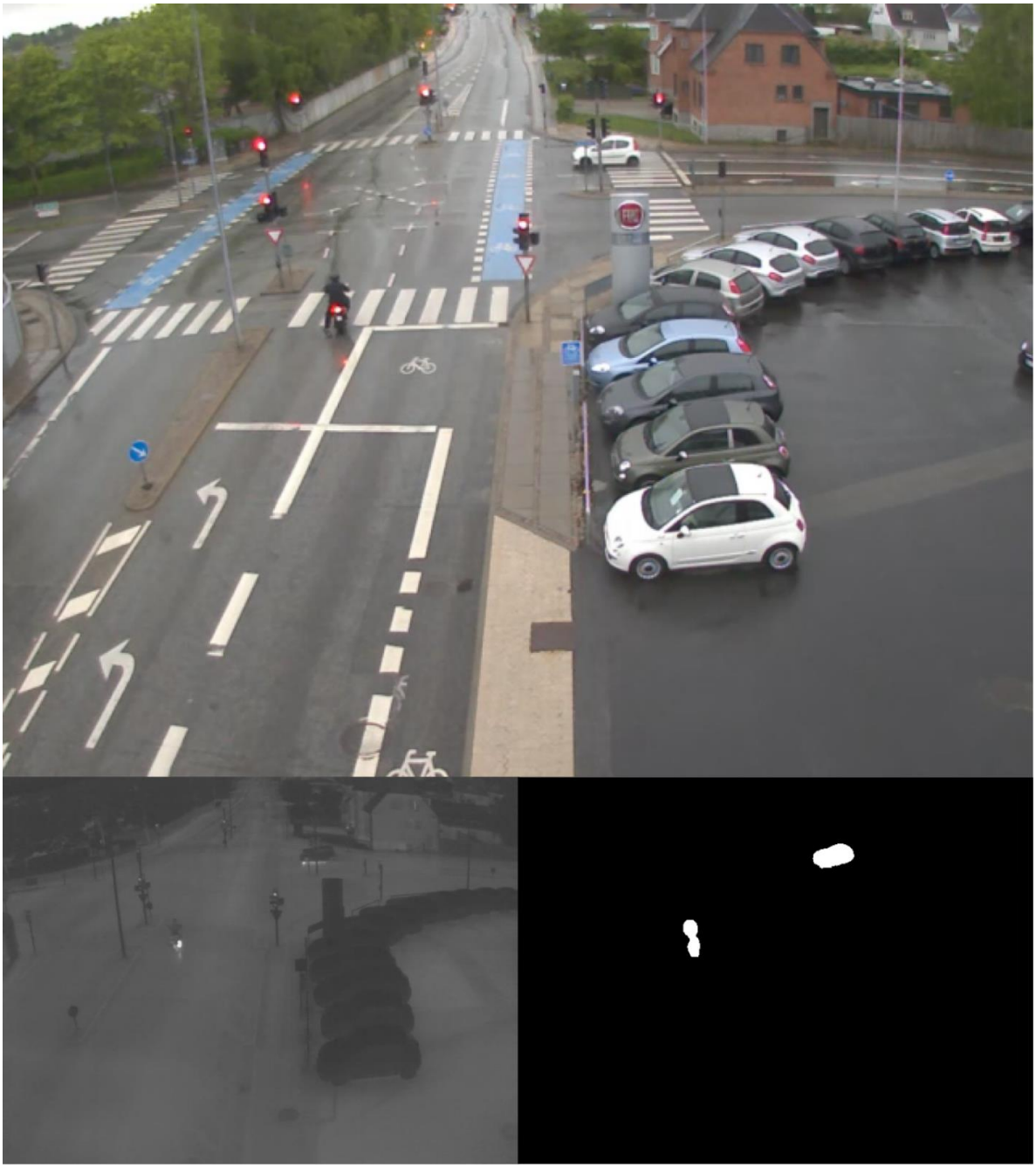
Figur 30 | Video fra termisk kamera. Forskelle i varmestrålingen gør trafikanterne synlige i billedet.

Videoanalysen blev baseret på background subtraction teknikker. Denne metode er tidligere blevet anvendt i forbindelse med analyse af trafikken, se eksempelvis (Guangquan *et al.*, 2010, García *et al.*, 2010, Tuohy *et al.*, 2010). Metoden går ud på at identificere baggrunden (vejen, vejens omgivelser, vejskilte, parkerede biler) i billedet, så objekter i forgrunden (trafikanterne) kan detekteres. Det gøres ved at danne en model af baggrunden ud fra billeder, hvor der ikke er trafikanter på vejen. Baggrundsmodellen sammenlignes efterfølgende med hver frame i videoen for at identificere objekter, som ikke er en del af baggrunden. Ud fra de identificerede objekter – ofte kaldet blobs – kan der udtrækkes information om trafikanternes aktivitet i videoen, herunder hvornår noget har bevæget sig gennem billedet, tælling af trafikanter, hastighedsbestemmelse, tracking af trafikanter og identifikation af trafikanttype.

I sin simpleste form foregår background subtraction ved, at den første af to efterfølgende frames trækkes fra den sidste, hvorved forskellene mellem de to frames står tilbage. Det er også muligt at danne baggrundsbilledet ud fra flere frames fra et givet tidsrum, så den følgende frame sammenholdes med gennemsnittet af de foregå-

ende frames. Disse metoder er imidlertid følsomme overfor komplekse miljøer samt små ændringer i baggrunden og bør ikke anvendes på udendørsoptagelser.

Algoritmen bygger derfor på en avanceret identificeringsmetode, *Mixture of Gaussians (Zivkovic & van der Heijden, 2006)*, hvor en statistisk faktor benyttes ved sammenligningen mellem baggrundsmodellem og de enkelte frames. Det giver en mere robust og præcis bearbejdning af videodataene og reducerer eventuelle problemer som følge af mindre ændringer i billedet. Hver pixel beskrives ud fra en tæthedsfunktion (probability density function), som dannes ved at lade algoritmen gennemgå frames for en defineret tidsperiode. For at tage højde for ændringer i bagrunden, eksempelvis biler, som parkerer, opdateres baggrunden løbende. For hver ny frame undersøger algoritmen, om den enkelte pixelværdi er en inlier (ikke signifikant forskellig fra tæthedsfunktionens pixelværdi) eller en outlier (signifikant forskellig fra tæthedsfunktionens pixelværdi). Pixels, der klassificeres som outliers, betragtes som en del af forgrunden. Ud fra dette – og ved at anvende filtre til at frasorte støj og blobs, som er for små til at kunne repræsentere trafikanter – dannes et binært (sort/hvid) billede, hvor de hvide områder svarer til de udtrukne objekter i forgrunden – trafikanterne. Figur 31 viser resultatet af omdannelsen af informationer i det termiske billede til et binært billede.



Figur 31 | Detektering af trafikanter. De hvide områder i det binære billede (nederst th) repræsenterer bilen og knallerten, som kan genfindes på billederne fra det termiske kamera (nederst tv) og RGB-kameraet (øverst).

På baggrund af de identificerede objekter i forgrunden – svarende til trafikanterne i krydset – spores trafikanternes bevægelse gennem krydset. Sporingen sker så længe elementet kan detekteres i billedet og foretages med et Kalman filter; en algoritme, som ud fra en serie observationer af eksempelvis objektets massemidtpunkt og under hensyntagen til støj, unøjagtighed og udfald af observationer, estimerer og udglatter trafikanternes bane gennem krydset.

Ud fra denne bane – trafikantens trajectory – udtrækkes de ønskede data om trafikanterne og samspillet imellem dem: tilbagelagt distance, hastighedsprofiler for trafikanterne, antallet af trafikanter fordelt på retning og ikke mindst tidsstempling af interaktioner, dvs. potentielle alvorlige konflikter.

Den tilbagelagte distance bestemmes ved at konvertere billedets afstande (i pixels) mellem to efterfølgende billeders blobs til metriske mål ud fra en opmåling af krydset og indlejring af målene i videoen af krydset. Herudfra bestemmes trafikanternes hastighed mellem to frames. Til at tælle antallet af trafikanter i et givet tidsinterval tegnes felter over billedet, som repræsenterer det område den pågældende trafikanttype vil passere. En trafikant registreres først i det øjeblik trafikantens trajectory er komplet, dvs. er begyndt ved starten af det markerede felt og afsluttet ved enden af det markerede felt. Tidspunktet for potentielle interaktioner registreres, når et svingende køretøj og en ligeudkørende cyklist har passeret en fælles konfliktzone indenfor et givet tidsinterval.

B.1.1 EVALUERING AF METODEN

For at teste algoritmen og sikre, at den kunne detektere interaktioner mellem trafikanterne, blev der gennemført videooptagelser i et enkelt kryds 3. januar 2013. Figur 32 viser et udklip af disse optagelser. Det ses, at trafikanterne tydeligt adskiller sig fra baggrunden. Imidlertid viste testen også, at kameraets autoindstillinger til justering af kontrast og belysning gav problemer, når et stort køretøj passerede tæt på kameraet, idet dette resulterede i at hele billedet ændredes. Det fik algoritmen til at fejle, idet den – indtil baggrundsmodellen blev opdateret – identificerede hele billedet som forgrund. Baseret på denne test blev det vurderet, at algoritmen havde potentiale til at udtrække informationer om trafikanterne og interaktionerne mellem dem, se Figur 33, men en nærmere evaluering af systemet og en justering af kameraindstillingerne var nødvendig for at sikre, at algoritmen var robust på tværs af trafikale forhold, lokaliteter og vejrforhold.

Figur 32 | Video optaget i vinterperioden (3.1.2013).

Figur 33 | Detektering og sporing af trafikanter.

Et nyt datasæt blev indsamlet 13. maj 2013 for at teste algoritmen igen, inden de endelige optagelser til brug for analysen blev gennemført. Ændringen af kameraindstillingerne løste de pludselige kontrastændringer af billedet, når busser og lastbiler passerede, men synes at have øget følsomheden overfor ændringer i lysforholdene og ikke mindst direkte sol på overflader i billedet, som blev benyttet til at indstille kontrasten efter. Ved optagelserne var lufttemperaturen sammenlignelig med forholdene under indsamlingen af første datasæt, se Tabel 11, men varmestrålingen fra vejen og omgivelserne større i løbet af dagen som følge af solens påvirkning. Det medførte, at baggrunden ændrede sig markant i løbet af dagen (Figur 34). På trods af forsøg med at ændre frekvensen for, hvor hyppigt baggrunden skulle opdateres, detekterede algoritmen enten en masse støj, som gav falsk positive detekteringer, eller ignorerede trafikanter. Resultaterne fra videoanalysen var således ikke nær så gode som ved det første datasæt.

Tabel 11 | Vejrforhold ved de to testfilmninger. Temperaturerne er relativt ens de to dage på trods af, at optagelserne er foretaget om vinteren hhv. forsommeren. (DMI, 2013)

	3. jan 2013	**13. maj 2013**
Laveste temperatur [°C]	4	4,5
Middeltemperatur [°C]	7	8
Højeste temperatur [°C]	9,5	12
Nedbør [mm]	4,5	2,5
Solskinstimer	3	3

Figur 34 | Video optaget i forsommeren (13.5.2013). I de tidlige morgentimer (tv) er kontrasten og detaljeringsgraden i billedet lav, men især køretøjernes hjul fremstår tydeligt. Ved middagstid samme dag (th) er billedet detaljerigt og gør det muligt at se køretøjerne tydeligt med det blotte øje. Forskellen skyldes ændringer i lysforhold og en øget varmestråling fra baggrunden ved solskin.

I juni 2013 – mens justeringer af algoritmen blev foretaget på baggrund af resultaterne fra det seneste datasæt – blev de første optagelser til projektet gennemført og anvendt til at undersøge, om den varierende ydeevne ved andet datasæt var tilfældig. Denne test viste, at resultaterne fra algoritmen fortsat var uacceptable. En nærmere analyse viste, at hovedårsagen til problemet dels var temperaturudsving, dels ændringer i lysforholdene, som medførte, at algoritmen enten registrerede for meget støj i billedet og dermed falsk positive detekteringer, eller overså trafikanterne. På dage, hvor temperaturen er høj og vejen bliver så varm, at trafikanterne ikke skiller sig ud fra omgivelserne, er udtrækningen af trafikanter vanskelig, og det vil ofte kun være muligt at detektere dele af trafikanterne, se Figur 35. Under disse forhold er det derfor ikke muligt at følge trafikanterne gennem krydset, og det blev erkendt, at udviklingen af en anden algoritme til videoanalysen var nødvendig.

Figur 35 | Termisk video optaget ved normal temperatur (tv) og høj temperatur (th). Vejen bliver hvid og ensartet – og trafikanterne næsten usynlige – når temperaturen er høj om sommeren.

B.2 METODE 2: OPTISK FLOW TIL TIDSSTEMPLING AF INTERAKTIONER

Strategien for udviklingen af den anden algoritme var at fortsætte brugen af videoer fra de termiske kameraer, men ændre metoden for udtrækning af informationer, så det, trods variation i videoernes kvalitet, blev muligt at detektere trafikanterne.

Den udviklede algoritme bygger på en feature-baseret teknik kaldet *dense optical flow estimation* (Farnebäck, 2003). Metoden er tidligere blevet anvendt indsamling af trafikdata (Beymer *et al.*, 1997, Kanhere *et al.*, 2005, Saunier & Sayed, 2006). Metoden går ud på at identificere specifikke punkter (features) i billedet og genfinde punkterne i de efterfølgende frames. Mellem disse punkter dannes vektorer – såkaldte optisk flow vektorer – og på baggrund af vektorerne kan det afgøres, om der er bevægelse eller ej i billedet. Der kan dannes op til én vektor pr. pixel. Herudfra udtrækkes information om trafikanterne i videoen. Der kan udtrækkes data om, hvor i billedet der er bevægelse, hastigheden af objekter, objekters tilbagelagte distance mellem to frames, bevægelsens retning etc.

For at frasortere bevægelse, som ikke stammer fra ligeudkørende cyklister eller højre- og venstresvingende køretøjer, markeres to områder på billedet; ét som svarer til cyklisternes bane gennem krydset og ét, der dækker det areal, de svingende køretøjer fra begge retninger passerer. Kun i disse markeringer udtrækkes optisk flow vektorer.

Vektorerne er kendetegnet ved at have en længde og en vinkel. Længden beskriver, hvor kraftig bevægelsen er – og fungerer dermed som et mål for objektets hastighed – mens vinklen angiver bevægelsens retning. Dis-

se karakteristika benyttes til detektering af trafikanterne. For hvert af de markerede områder oprettes et histogram ud fra vektorernes retning og længde; vinklen (0-360°) på x-aksen og antallet af vektorer pr. vinkelgrad på y-aksen. Histogrammet inddeles i fire dele, som repræsenterer forskellige intervaller for bevægelsens retning; eksempelvis vil bevægelse i intervallet 45-135° angive ligeudkørende trafikanter, mens vektorer med vinkler mellem 135-225° optræder ved bevægelse mod højre, se Figur 36.

Figur 36 | Når en trafikant bevæger sig gennem det undersøgte område af krydset, registreres retningen af bevægelsen i et histogram (th). Histogrammets lodrette røde streger angiver vinklerne og svarer til bevægelse med vinkelgrader i intervallerne (fra venstre mod højre) 0-45, 45-135, 135-225, 225-315 og 315-360. Disse intervaller er illustreret på et billede af et af undersøgelsens kryds (tv).

Hvis antallet af for vektorer for det pågældende område overstiger en på forhånd defineret grænseværdi, der medvirker til at fjerne støj I billedet (kamerarystelser, træer i bevægelse), antages bevægelsen at stamme fra en trafikant. Afhængig af i hvilket markeret område bevægelsen forekommer, klassificeres trafikanten enten som en ligeudkørende cyklist eller et svingende motorkøretøj. For motorkøretøjerne registreres svingbevægelsens art (højre- hhv. venstresving) ud fra, om bevægelsen finder sted i øverste eller nederste halvdel af områdemarkeringen. Trafikanterne detekteres dog først endeligt, hvis grænseværdien nås på et givet antal efterfølgende frames.

To kriterier skal være opfyldt for at resultere i tidsstemplingen af en potentiel interaktion mellem trafikanterne: 1) både en ligeudkørende cyklist og et svingende motorkøretøj skal være detekteret. 2) forskellen mellem tidsstemplerne for de to trafikanter ligger inden for et defineret tidsinterval.

B.2.1 Evaluering af metoden

Sideløbende med implementeringen af algoritmen blev størstedelen af videomaterialet til undersøgelsen indsamlet, og algoritmen blev derfor testet på disse videoer. Denne test viste, at algoritmen var i stand til at detektere en stor andel af de motorkøretøjer og cyklister, som passerede de markerede områder i krydset. Algoritmens detekteringer blev nu sammenlignet med en manuel registrering af videoen, og der viste sig en god overensstemmelse, selv om algoritmen også gav mange falsk positive interaktioner, eksempelvis ved af at der ikke forekommer ligeudkørende cyklister eller knallerter, eller at trafikanterne ikke er tæt nok på hinanden til, at krydsningen udgør en risiko for kollision. Disse falsk positive interaktioner opstår blandt andet, hvis træer eller skygger går ind i undersøgelsesområdet.

Algoritmen kan ikke skelne mellem forskellige trafikanttyper, men fungerer ud fra, at cyklister og bilister normalt færdes i hver deres del af vejen (biler på kørebanen, cyklister på cykelstien). Konsekvensen er, at et køretøj, som kommer ind i feltet på cykelstien, kan blive detekteret som en cyklist. Hurtige eller store cykler/knallerter kan også detekteres som drejende biler, hvis vedkommende drejer til højre. Det vil typisk medføre, at der detekteres falsk positive interaktioner. I de fleste tilfælde bliver trafikanterne dog identificeret korrekt som motorkøretøj eller let trafikant.

Det blev erfaret, at algoritmen ikke kan benyttes til at bestemme trafikmængderne i krydsene. Ligeudkørende motorkøretøjer fra venstre bliver ikke frasorteret og tælles derfor med i det samlede antal svingende motorkøretøjer, se Figur 37, og opdelingen i højre- og venstresvingende ud fra deres placering i forhold til det markerede område medfører, at mange køretøjer bliver klassificeret forkert. Det resulterer i, at trafiktallene ikke opgøres korrekt. Endvidere kan algoritmen ikke separere tætkørende trafikanter, og disse tælles derfor som én trafikant. Trafikmængden underestimeres derfor især i myldretid. Det gælder hovedsageligt for cyklister, som ofte passerer krydset i grupper og med meget kort afstand imellem sig. For at forbedre nøjagtigheden af trafiktallene blev det undersøgt, om det var muligt at lave markeringen, så den kun registrerede én trafikanttype – eksempelvis de højresvingende motorkøretøjer – mens de øvrige trafikanter passerede udenfor markeringen og dermed ikke blev registreret. Denne ændring betød, at trafiktallet kunne bestemmes med stor præcision og ofte varierede ganske lidt fra den manuelle optælling – typisk var afvigelsen 1-2 køretøjer pr. kvarter. Dette ville imidlertid kræve en ændring af algoritmen, så det blev muligt at tilføje flere felter til separering af trafikstrømmene, og det blev vurderet, at det i nogle tilfælde fortsat ville være vanskeligt at frasortere uvedkommende køretøjer helt, ikke mindst i tilfælde hvor der ikke er separate kørespor for de svingende.

Figur 37 | Biler fra venstre bliver ikke frasorteret og tæller derfor med som en svingende bil.

En gennemgang af videooptagelserne indikerer, at forholdene med store temperaturudsving, direkte sol på de flader, som blev brugt til at sikre kontrast i billedet, og meget høje vejtemperaturer har påvirket kvaliteten af optagelserne i endnu større grad end forventet for de kryds, der blev filmet hen over sommeren og efteråret 2013. En analyse af algoritmens ydeevne på disse videoer viste, at selv om algoritmen i mange tilfælde kunne detektere trafikanterne på trods af en meget lille kontrastforskel mellem disse og vejmiljøet, var der tilfælde, hvor trafikanterne var usynlige på de termiske videoer og derfor ikke blev detekteret, se Figur 38. Undersøgelsen antyder, at især temperaturer fra omkring 20 °C ser ud til at give problemer for det termiske kamera pga. manglende temperaturforskelle mellem baggrund og trafikant.

Figur 38 | Termisk video optaget ved høj temperatur (tv) og ved kraftig sol på omkringliggende bygninger (th). Kontrasten mellem trafikanterne og vejen er for lille til at algoritmen kan detektere dem.

Brugen af videoerne fra det termiske kamera i algoritmen nødvendiggør desuden, at en hændelse fundet ud fra de termiske videoer skal kunne genfindes i den tilsvarende video fra RGB-kameraet for at kunne gennemføre den manuelle efterbehandling af hændelsen. Dette kræver, at de to videoer er synkroniserede. Testen af algoritmen viste imidlertid, at dette ikke var tilfældet, og at tidsforskydningen mellem de to videoer ikke var konstant. Det medførte, at det ikke kunne garanteres, at en interaktion ville blive fundet i videoen, uanset om et antal sekunder på hver side af tidsstemplet blev undersøgt.

På baggrund af denne evaluering blev det vurderet, at en justering af algoritmen var påkrævet, dels for at gøre det muligt at foretage analysen på baggrund af RGB-videoer i de tilfælde hvor der ikke var brugbar termisk video til rådighed, dels for at forbedre måden hvorpå trafikanterne detekteres og tælles.

B.3 Metode 3: Forbedret feature-baseret algoritme

Med udgangspunkt i erfaringerne fra den feature-baserede algoritme blev det besluttet at videreudvikle algoritmen for at gøre den mere fleksibel og robust overfor forskellige kameraplaceringer, optageformer, vejudformninger, trafiksituationer og vejrforhold. Strategien for den forbedrede algoritme var derfor at implementere muligheden for at markere flere områder af videoen, gøre det muligt at benytte forskellige videoformater (RGB og termisk), forbedre klassifikationen af trafikanterne, samt gøre det nemmere at bruge og indstille værktøjet til en specifik opgave.

Med dette for øje blev en revideret algoritme derfor opbygget af tre typer detektorer, som gør det muligt at registrere trafikanten ud fra forskellige karakteristika for trafikantens bevægelse. Detektorerne, som beskrives i det følgende, sikrer, at trafikanter kan detekteres, hvad enten de passerer et markeret område, bevæger sig igennem området i en given retning eller holder stille i et område.

B.3.1 DE TRE DETEKTORER

Edge detektoren undersøger, om der er aktivitet i et givent område af videoen vha. *Canny edge background subtraction* (Canny, 1986). Metoden går ud på, at der udtrækkes objekter (køretøjer, trafikanter), som ikke er en del af baggrunden (vejen, vejomgivelserne). Det gøres ved at konvertere billedet til gråskala og finde kanter (kontinuerte linjer), hvor der sker store spring/udsving i billedets kontrast. Dette gøres for alle videoens frames. For to efterfølgende frames dannes der vektorer mellem de fundne linjer, og disse vektorer summeres op. Der fås derved et mål for aktiviteten, som dels baseres på størrelsen af objektet, dels på hastigheden, hvormed et objekt bevæger sig gennem området.

Flow detektoren undersøger, om der er aktivitet i en specifik retning i et givent område af videoen vha. *Farnebäck dense optical flow estimation* (Farnebäck, 2003). I flow detektoren identificeres og matches punkter i to på hinanden følgende frames. Objekter, som bevæger sig gennem feltet, resulterer i dannelsen af vektorer, hvis udformning afhænger af objektets bevægelsesretning og hastighed. Jo større hastigheden for objektet er, des større vil vektoren være. Antallet af vektorerne fordelt på retningen af disse summeres op for de vektorer, der er større end en fastsat værdi for objektets hastighed. Vektorer under denne værdi medtages ikke.

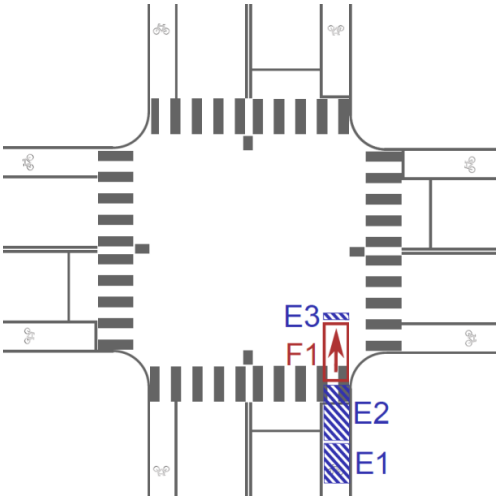
Algoritmens *stationary detektor* registrerer, hvis et objekt holder stille eller bevæger sig langsomt gennem et område af videoen vha. en kombination af algoritmens edge og flow detektorer. For at kunne resultere i en hændelse skal modulets edge detektor være udløst, samtidig med at modulets flow detektor ikke er udløst. Det viser, at et objekt befinder sig i området uden at bevæge sig, eller at objektet bevæger sig langsomt gennem området.

For at tage hensyn til støj i billedet – eksempelvis fra små ændringer i kontrast, fugle, bevægelser fra blade og grene eller skygger – justeres detektorernes følsomhed via en række parametre, ligesom et objekt kun registreres, hvis der er tilstrækkelig stor tiltro til, at der er relevant aktivitet indenfor detektorens område.

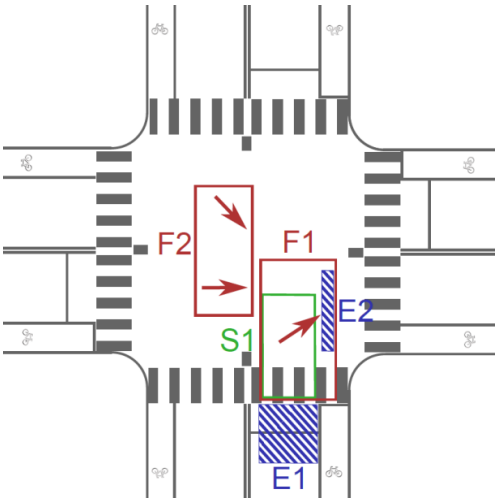
B.3.2 DETEKTERING AF TRAFIKANTER

Detekteringen af trafikanterne foretages ved at kombinere de tre detektor-typer i moduler. Modulerne efterligner metoden til sporing af trafikanter, som blev anvendt ved udviklingen af den første algoritme; 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 overordnede opbygning er angivet på Figur 39-41. Eksempler på den konkrete udformning af modulerne i et af undersøgelsens kryds er vist på Figur 10-12.

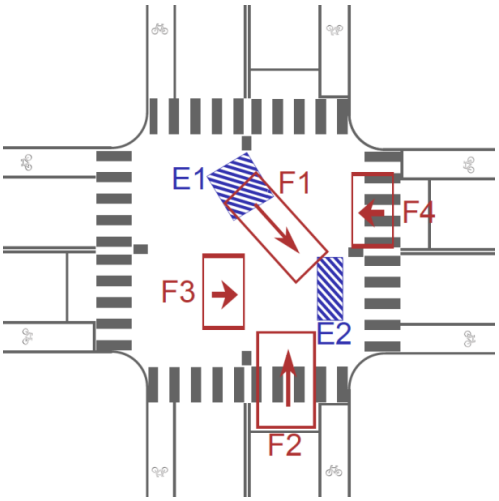
Hver gang der detekteres en trafikant i ét af de tre detekteringsmoduler, bliver der skrevet et tidsstempel til en logfil. Ud fra disse tidsstempler undersøges, om der forekommer interaktion – og dermed hvorvidt der har været potentielle konflikter – mellem trafikanterne. Hvis der både er detekteret en ligeudkørende cyklist og en svingende bilist indenfor et kort tidsinterval, kan det ikke afvises, at en trafikkonflikt har fundet sted, og tidsstemplet skrives til en logfil.



Figur 39 | Detektering af ligeudkørende cyklister. For at blive registreret kræves, at detektorerne aktiveres i rækkefølgen E1, E2, F1 og E3. Hver detektor er åben for aktivering i et begrænset antal sekunder efter den foregående detektor har registreret aktivitet. En cyklist bliver noteret med de tidspunkter aktiviteten i E3 begynder hhv. stopper.

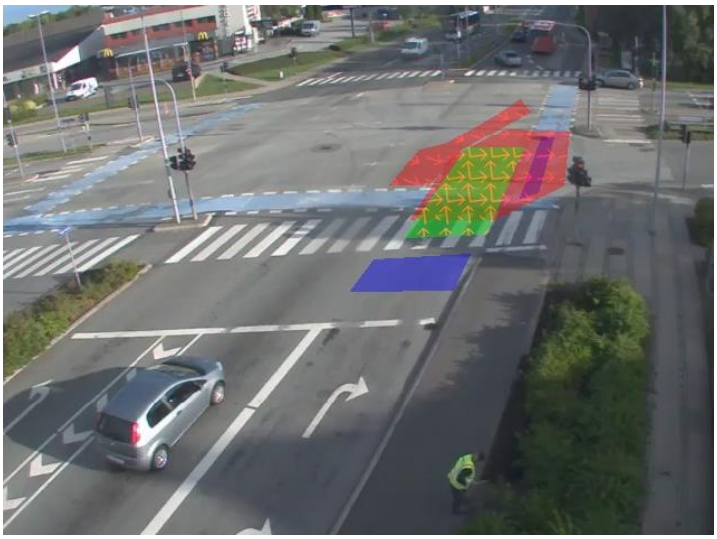


Figur 40 | Detektering af højresvingende bilister. Bilisten registreres, hvis detektorerne er blevet aktiveret i rækkefølgen E1, F1 og E2. Hvis et højresvingende køretøj holder stille i krydset før svingmanøvren foretages, registreres dette af S1, som forlænger åbningen af F1. Feltet F2 frasorterer aktivitet fra trafikanter fra venstre og venstresvingende, modkørende trafikanter. Det sker for at undgå falsk positive registreringer i situationer, hvor E1 aktiveres af køretøjer, som holder på arealet.



Figur 41 | Detektering af venstresvingende bilister. Bilisten registreres, hvis detektorerne aktiveres i rækkefølgen E1, F1 og E2. Felterne F2-4 frafiltrerer aktivitet fra øvrige motorkøretøjer for at mindske risikoen for falsk positive detekteringer.

Figur 42 | Eksempel på udformning af detektorer i modul for ligeudkørende cyklister. Modulet er opbygget af tre edge detektorer (blå) og en flow detektor (rød).



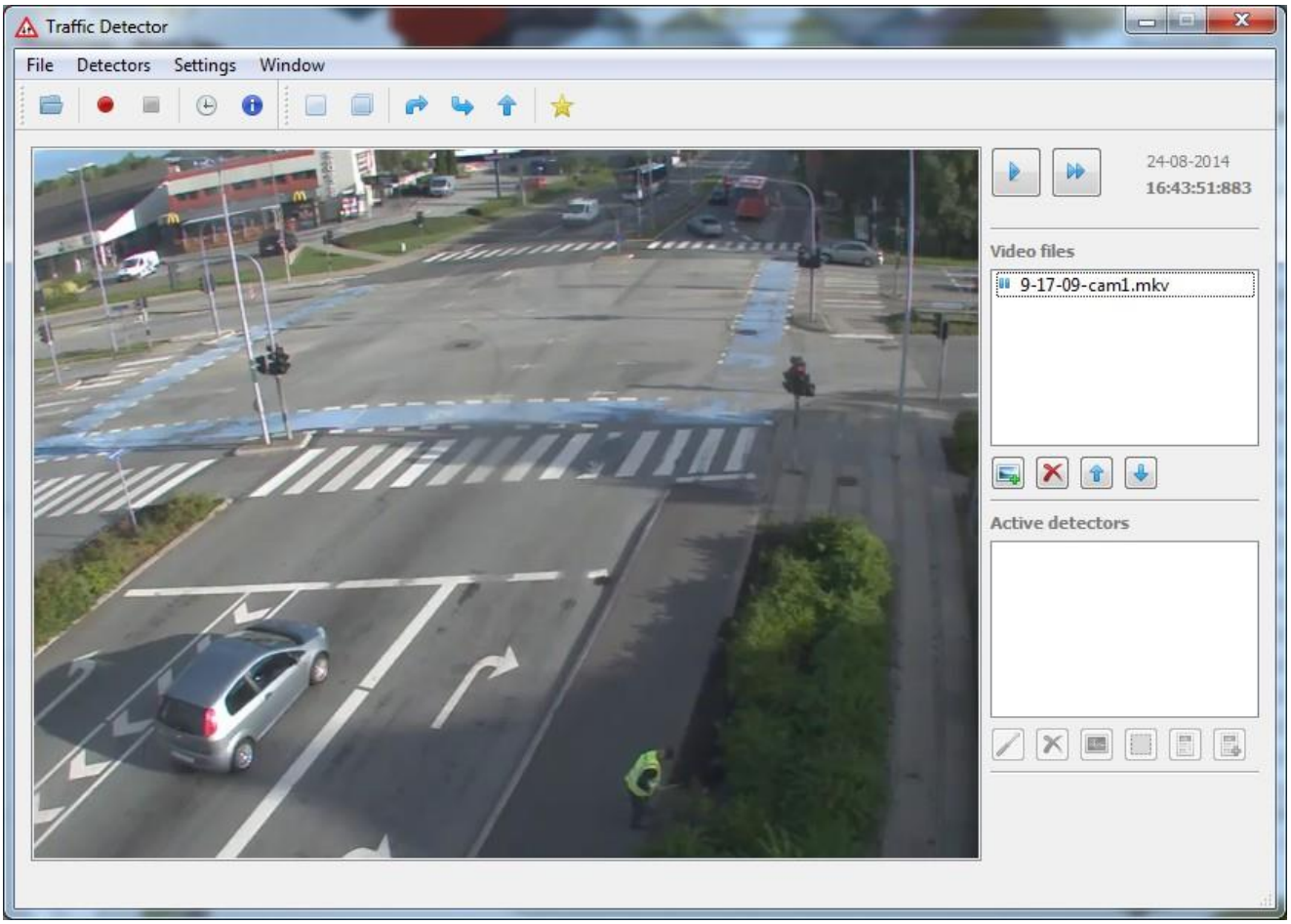
Figur 43 | Eksempel på udformning af detektorer i modul for højresvingende køretøjer. Modulet er opbygget af to edge detektorer (blå), to flow detektorer (rød) og en stationary detektor (grøn).

Figur 44 | Eksempel på udformning af detektorer i modul for venstresvingende køretøjer. Modulet er opbygget af 2 edge detektorer (blå) og fire flow detektorer (rød).

B.4 ANALYSEVÆRKTØJET

Det endelige analyseværktøj til udpegning af interessante hændelser i projektet bygger på den forbedrede feature-baserede algoritme. Værktøjet er opbygget med en grafisk brugergrænseflade (Figur 45), der indeholder funktioner og indstillingsmulighed til at foretage videoanalysen.

Programmet lader brugeren tegne områder for detektorerne ind over videoen ved hjælp af et simpelt klik-baseret tegneværktøj. Detektorernes følsomhed overfor bevægelse i billedet indstilles ud fra en række parametre i programmet.



Figur 45 | Analyseværktøjets brugergrænseflade.

På baggrund af de detekterede trafikanter danner programmet en række logfiler med tidsstempler for trafikanternes passage af krydset (Figur 46), antallet af trafikanter, som har passeret krydset i et givent tidsrum (Figur 47), samt tidsstempler for potentielle konflikter (Figur 48).

	A	B	C	D	E
1	File	Date	IsTriggeredTime	Entering CZ	Leaving CZ
2	6-26-05-cam1	26-06-2013	05:12:45.350	05:12:45.350	05:12:46.000
3	6-26-05-cam1	26-06-2013	05:12:53.200	05:12:53.200	05:12:53.850
4	6-26-05-cam1	26-06-2013	05:16:41.600	05:16:41.600	05:16:42.400
5	6-26-05-cam1	26-06-2013	05:18:55.150	05:18:55.150	05:18:55.850
6	6-26-05-cam1	26-06-2013	05:26:17.550	05:26:17.550	05:26:18.300
7	6-26-05-cam1	26-06-2013	05:37:33.350	05:37:33.350	05:37:34.100
8	6-26-05-cam1	26-06-2013	05:44:32.750	05:44:32.750	05:44:33.250
9	6-26-05-cam1	26-06-2013	05:48:35.550	05:48:35.550	05:48:36.300
10	6-26-05-cam1	26-06-2013	05:50:56.100	05:50:56.100	05:50:57.250
11	6-26-06-cam1	26-06-2013	06:00:21.350	06:00:21.350	06:00:22.900
12	6-26-06-cam1	26-06-2013	06:08:31.350	06:08:31.350	06:08:31.900
13	6-26-06-cam1	26-06-2013	06:08:36.000	06:08:36.000	06:08:36.750
14	6-26-06-cam1	26-06-2013	06:15:10.800	06:15:10.800	06:15:11.500
15	6-26-06-cam1	26-06-2013	06:18:51.000	06:18:51.000	06:18:51.700

Figur 46 | Logfil med tidsstempler for hver trafikant af en given type, som har passeret krydset. I logfilen registres tidspunkterne for, hvornår trafikanten har aktiveret den sidste af modulets detektorer, og hvornår trafikanten har forladt detektoren.

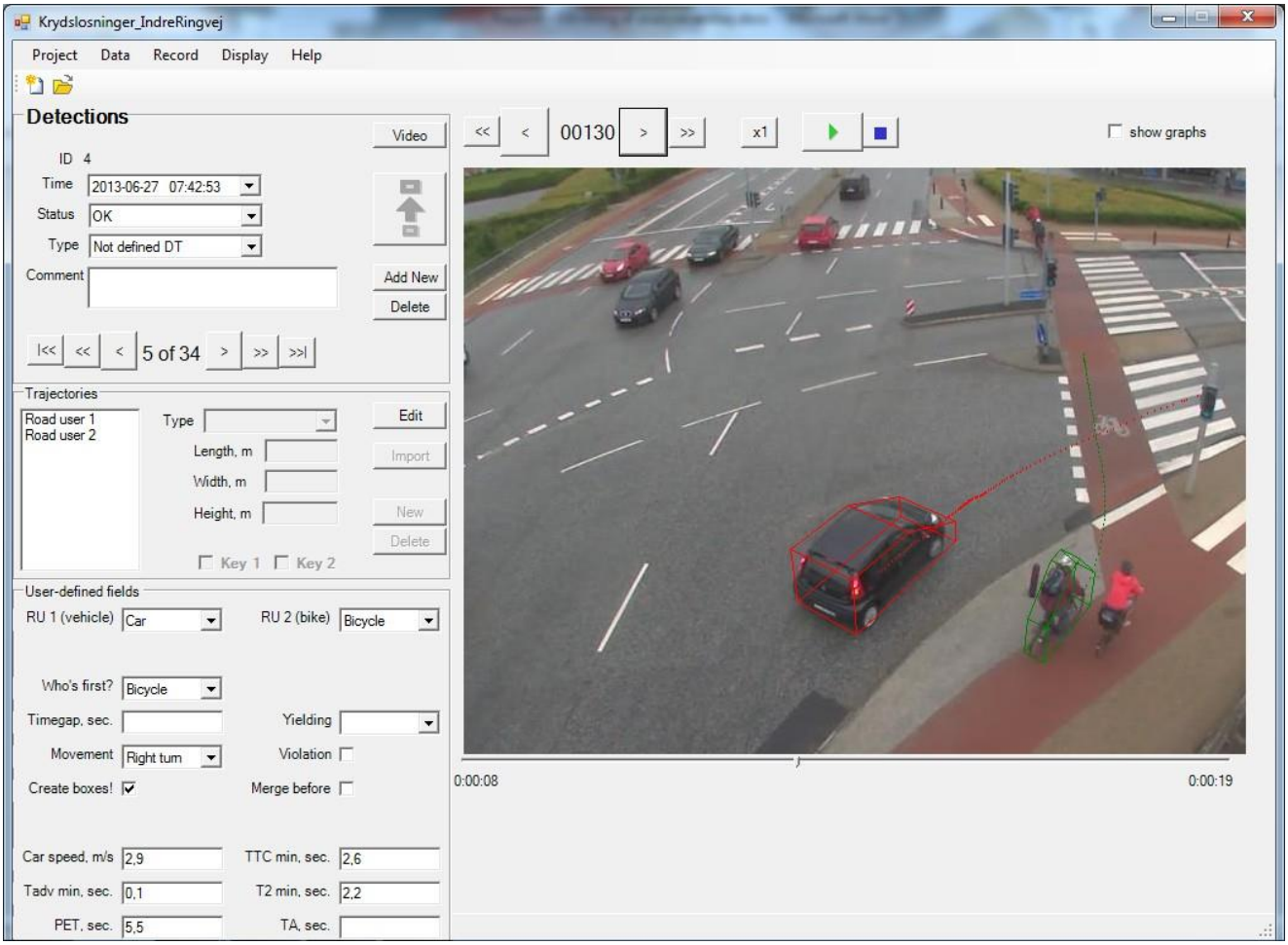
	A	B	C	D	E
1	File	Date	TimeStart	TimeEnd	RightTurningCars
2	6-26-05-cam1	26-06-2013	05:00:00.000	05:15:00.000	2
3	6-26-05-cam1	26-06-2013	05:15:00.000	05:30:00.000	3
4	6-26-05-cam1	26-06-2013	05:30:00.000	05:45:00.000	2
5	6-26-05-cam1	26-06-2013	05:45:00.000	06:00:00.000	2
6	6-26-06-cam1	26-06-2013	06:00:00.000	06:15:00.000	3
7	6-26-06-cam1	26-06-2013	06:15:00.000	06:30:00.000	5
8	6-26-06-cam1	26-06-2013	06:30:00.000	06:45:00.000	7
9	6-26-06-cam1	26-06-2013	06:45:00.000	07:00:00.000	12
10	6-26-07-cam1	26-06-2013	07:00:00.000	07:15:00.000	14
11	6-26-07-cam1	26-06-2013	07:15:00.000	07:30:00.000	32
12	6-26-07-cam1	26-06-2013	07:30:00.000	07:45:00.000	28
13	6-26-07-cam1	26-06-2013	07:45:00.000	08:00:00.000	42

Figur 47| Logfil med trafiktal. Ud fra detekteringerne af trafikanter opretter analyseværktøjet en logfil over trafiktallet inddelt i tidsintervaller.

	A	B	C	D	E	F
1	File	Date	Timestamp	TimegapInMsec	WhoIsFirst	InteractionType
2	6-26-06-cam1	26-06-2013	06:31:21.050	1250	Cyclist	312
3	6-26-07-cam1	26-06-2013	07:13:10.450	200	Car	312
4	6-26-07-cam1	26-06-2013	07:14:23.950	550	Car	312
5	6-26-07-cam1	26-06-2013	07:15:32.300	1350	Cyclist	312
6	6-26-07-cam1	26-06-2013	07:23:24.400	1400	Car	312
7	6-26-07-cam1	26-06-2013	07:23:26.400	1550	Cyclist	312
8	6-26-07-cam1	26-06-2013	07:25:38.250	200	Car	312
9	6-26-07-cam1	26-06-2013	07:25:44.400	300	Car	312
10	6-26-07-cam1	26-06-2013	07:39:09.400	1750	Cyclist	312
11	6-26-07-cam1	26-06-2013	07:41:19.850	1000	Cyclist	312
12	6-26-07-cam1	26-06-2013	07:45:09.950	50	Car	312
13	6-26-07-cam1	26-06-2013	07:46:10.750	1050	Car	312
14	6-26-07-cam1	26-06-2013	07:46:13.250	550	Cyclist	312
15	6-26-07-cam1	26-06-2013	07:56:15.600	1650	Cyclist	312
16	6-26-07-cam1	26-06-2013	07:59:39.850	1650	Cyclist	312
17	6-26-08-cam1	26-06-2013	08:05:19.800	950	Cyclist	312
18	6-26-08-cam1	26-06-2013	08:13:23.750	800	Cyclist	312
19	6-26-08-cam1	26-06-2013	08:13:25.750	600	Cyclist	312

Figur 48 | Logfil med tidsstempler for potentielle konflikter. I logfilen angives et estimat på tidsafstanden mellem de to trafikanter. Denne tidsafstand er sammenlignelig med konfliktmålet Post-Encroachment Time (PET), som er beskrevet i Tabel 2, dog med den forskel, at konfliktzonen er defineret på forhånd i stedet for at knytte sig til den enkelte trafiksituation. Det medfører, at tidsafstanden varierer fra den aktuelle tidsafstand, hvis trafikanternes bevægelsesmønster afviger fra det forventede. Ligeledes kan det af logfilen aflæses, hvem der passerede konfliktzonen først og om interaktionen involverede et venstresvingende (410) eller højresvingende (312) motorkøretøj.

Softwaren er udformet, så det fungerer som watch dog og detekterer potentielle konflikter mellem ligeudkørende cyklister og højre- samt venstresvingende bilister, som krydser cyklisternes bevægelsesbane. Det er derfor nødvendigt at efterbehandle de fundne hændelser manuelt. Til facilitering af den manuelle efterbehandling benyttes programmet T-Analyst (Trafvid, 2014). Deri markerer brugeren køretøjet med en kasse for hver (eller hver fjerde) frame. Herudfra beregner programmet for hver frame hastighederne for trafikanterne, deres relative hastighed og forskellige parametre til at beskrive faren ved hændelsen; TTC, Tadv og T_2.



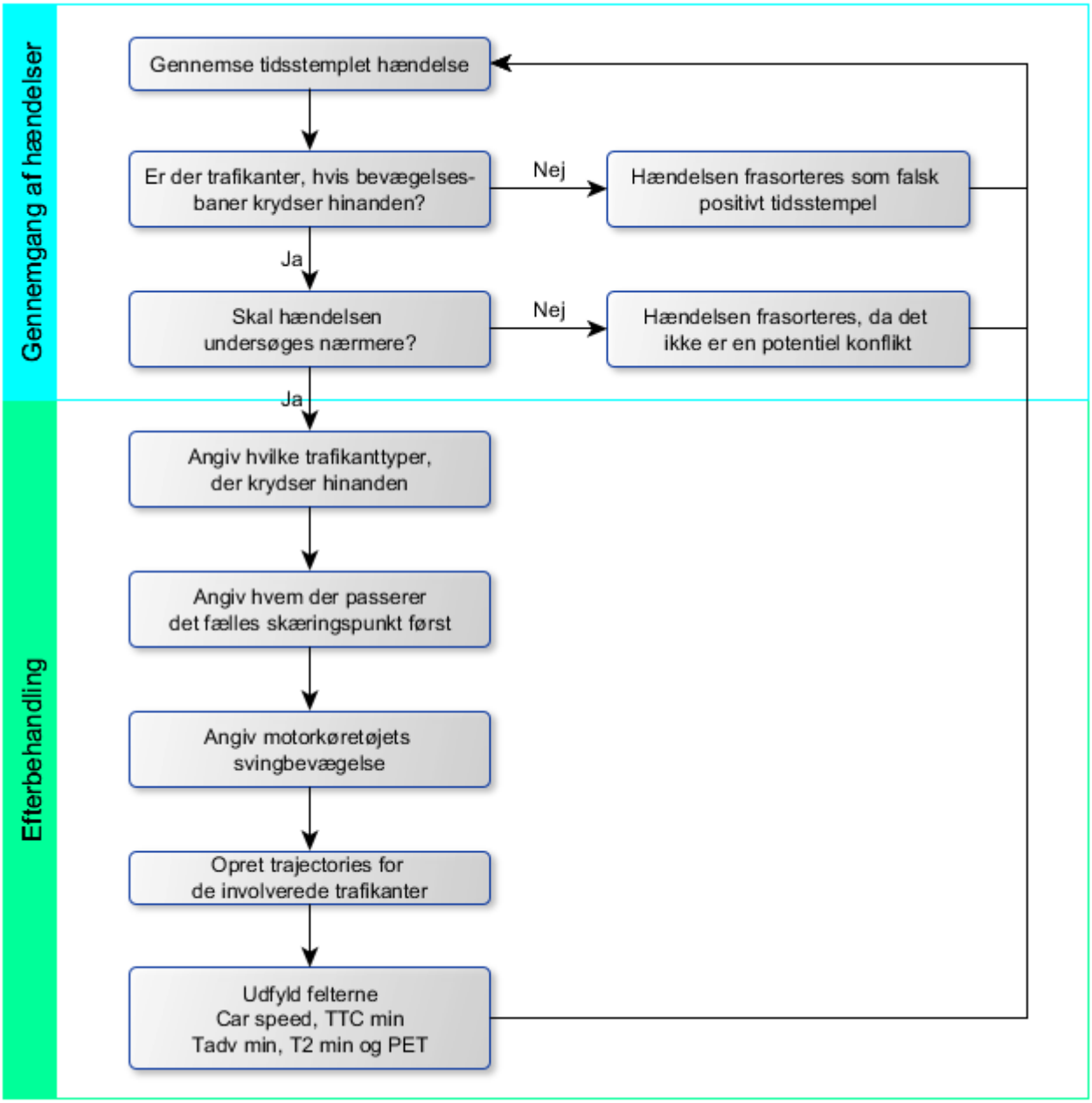
Figur 49 | Manuel efterbehandling i T-Analyst. Der placeres kasser omkring de involverede trafikanter på hver frame, hvorefter programmet beregner en række parametre, der beskriver faren ved hændelsen.

For at kunne overføre de potentielle konflikter til T-Analyst må videoerne konverteres til individuelle billeder, navngives og pakkes i zip-komprimerede mapper. Til dette formål er der udviklet et hjælpeprogram, Extract-Frames. I programmet indlæses logfilen med tidsstempler for potentielle konflikter, og der udtrækkes herefter billedserier for et defineret antal sekunder omkring tidsstemplet.

Watch dog-programmet er konstrueret, så det kan læse både almindelige og termiske videoer. I den manuelle analyse benyttes altid almindelige videoer, da disse er nemmere at aflæse information fra for brugeren. En af udfordringerne ved at kombinere data, som er indsamlet med to forskellige kameraer, er at sikre at de to videoer er synkroniserede. Det gør det muligt at genfinde en hændelse i én video ud fra et tidsstempel fundet ud fra den tilsvarende video optaget med et andet kamera. Ved optagelsen af trafikvideoerne benyttes et hjælpeprogram, hvori to kameraer kan startes samtidig (Jørgensen, 2012). Programmet sørger for, at de to videoer er synkroniserede, hvis de optagne videoer har en konstant og ens framerate (målt i frames per second, fps). Det sker imidlertid ofte, at antallet af frames i de to videoer er forskellige, fordi dataoverførslen mellem kameraerne og harddisken varierer i hastighed, så der ikke overføres eksempelvis 25 fps som defineret, men ofte mindre.

Da tidspunktet for overførslen af data er tilfældigt, vil det medføre forskydning mellem videoerne, så en given frame på det termiske ikke har samme nummer på RGB-videoen. Et hjælpeprogram, EncodeVideoes, er derfor blevet udviklet. I programmet udpakkes videoen til frames, hvorefter videoen igen pakkes, idet programmet sørger for at der holdes en fast framerate ved at fjerne hhv. dublere frames. Da analyseværktøjet forudsætter en konstant framerate for at kunne frembringe tidsstempler, som svarer til det reelle tidspunkt for hændelsen, foretages denne ompakning af videoerne altid, inden analysen påbegyndes.

Bilag C MANUEL EFTERBEHANDLING I T-ANALYST

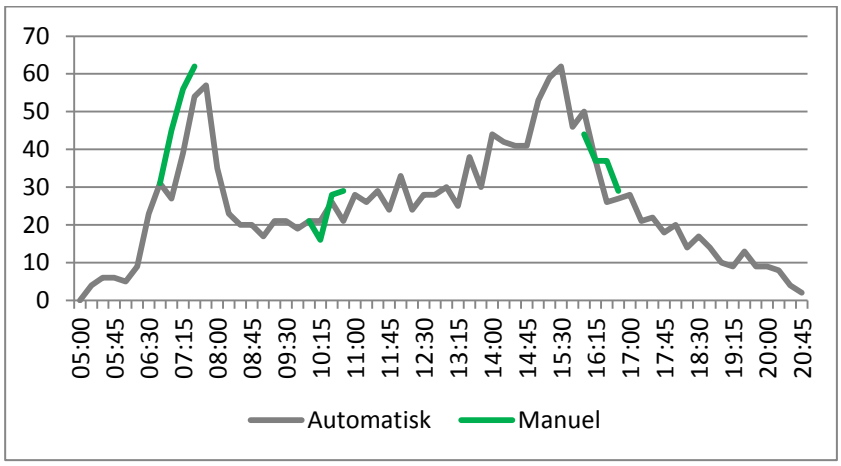


Figur 50 | Fremgangsmåde for den manuelle efterbehandling i programmet T-Analyst (Trafvid, 2014). For hver af de hændelser, som den udviklede watch dog har udpeget, følges denne procedure.

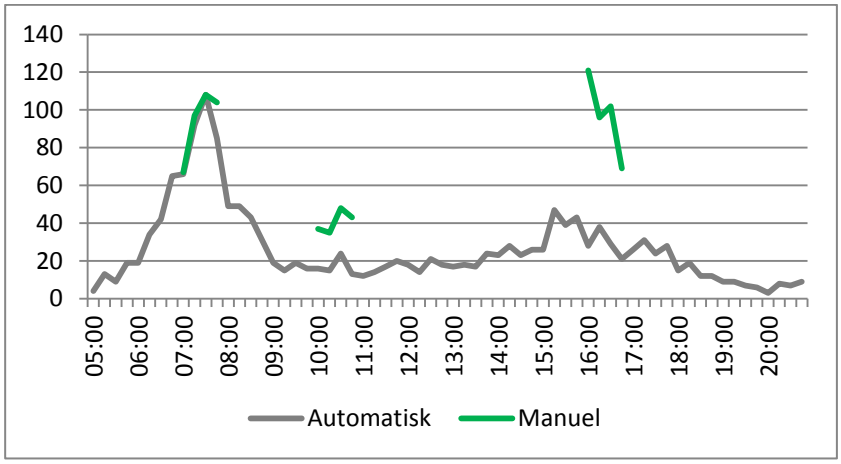
Bilag D VALIDITET AF TRAFIKMÆNGDER

Sammenligning af trafiktal fundet ved hjælp af det udviklede analyseværktøj og en manuel optælling.

Krydsløsning a: Hjørringvej

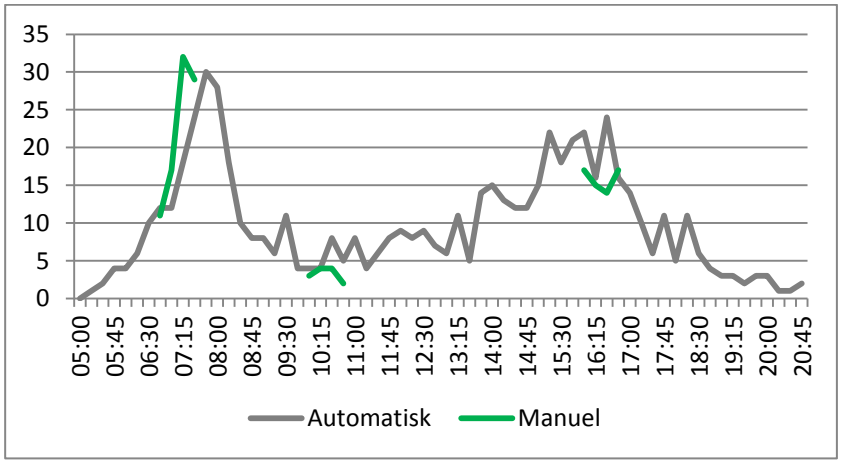


Venstresvingende motorkøretøjer



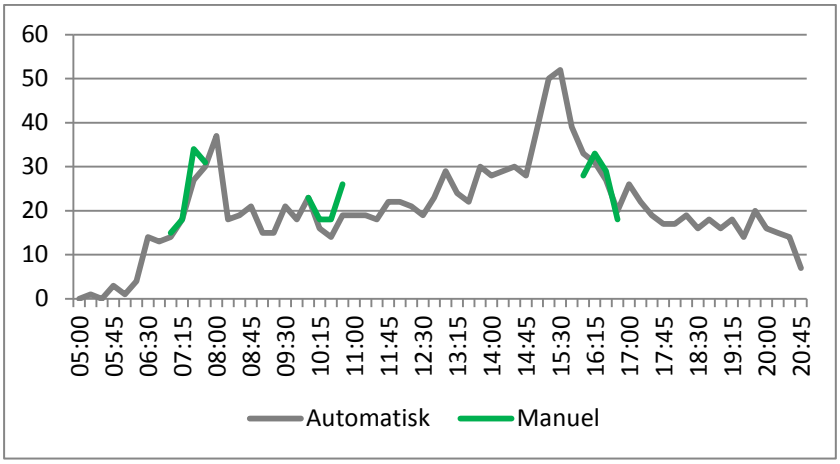
Højresvingende motorkøretøjer

Den manuelle trafiktælling antyder, at softwaren ikke har været i stand til at bestemme antallet af biler korrekt om eftermiddagen. Det formodes at være forårsaget af vanskelige vejrforhold; regn, skygger og skiftende vejrforhold.
For at tilpasse trafiktallene til den reelle forekomst benyttes medianen for den automatiske optælling indtil kl. 10, hvorefter tirsdagens trafiktal anvendes som det generelle trafiktal for ugen.

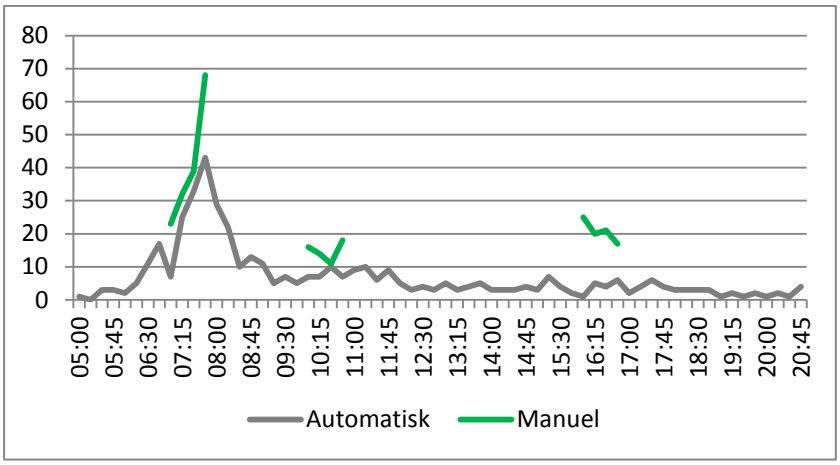


Ligeudkørende cyklister/knallerter

Krydsløsning b: Ny Kærvej

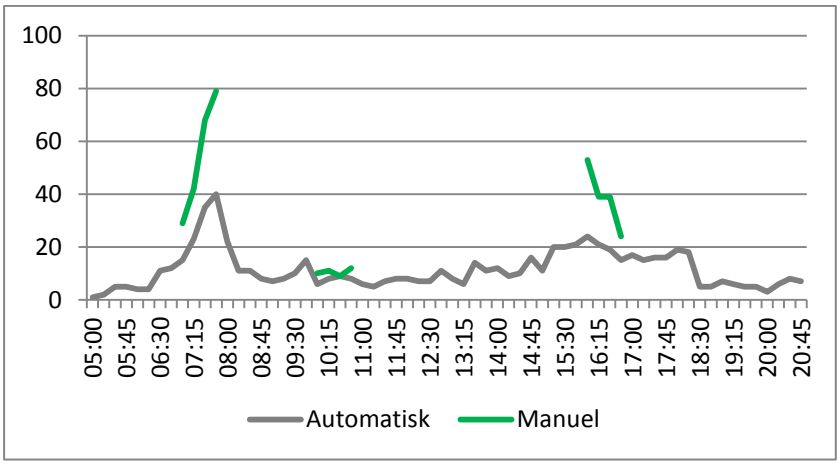


Venstresvingende motorkøretøjer



Højresvingende motorkøretøjer

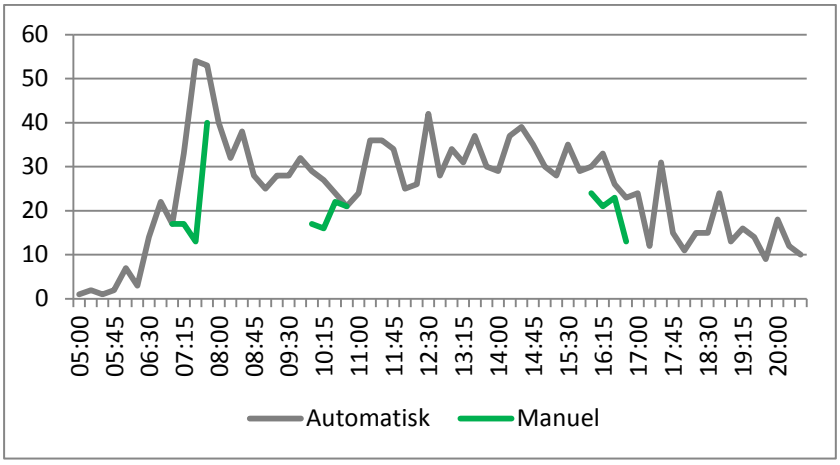
Den manuelle trafiktælling antyder, at softwaren ikke har været i stand til at bestemme antallet af biler korrekt i myldretiden. Det kan skyldes, at trafikanterne kører så tæt, at de ikke alle bliver registreret.
Trafiktallene for torsdag og fredag adskiller sig fra de øvrige om formiddagen og viser generelt meget små trafikmængder. Disse frasorteres derfor, inden den daglige trafikmængde beregnes som medianværdien.



Ligeudkørende cyklister/knallerter

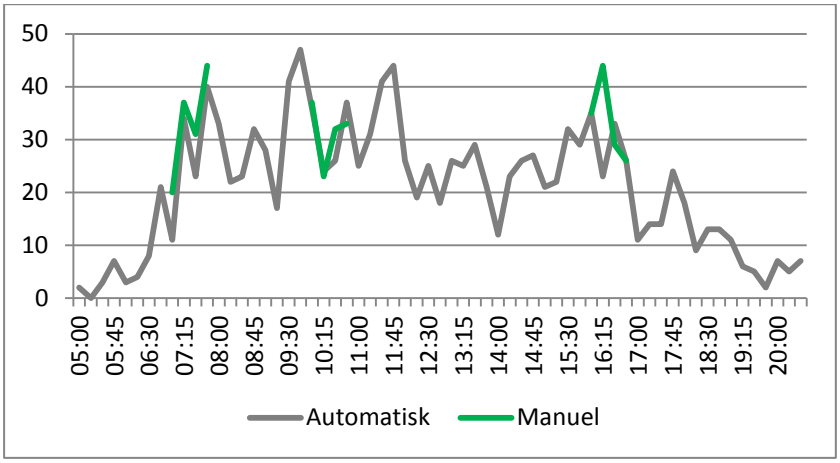
Antallet af ligeudkørende cyklister i krydset undervurderes i myldretiden. Det kan skyldes, at cyklister på disse tidspunkter har kørt i grupper, hvorved flere cyklister er talt som én. Risikoen for den enkelte cyklist i sådanne hobe vil tilsvarende være reduceret, hvorfor forskellen vurderes at være acceptabel.

Krydsløsning c: Østre Allé

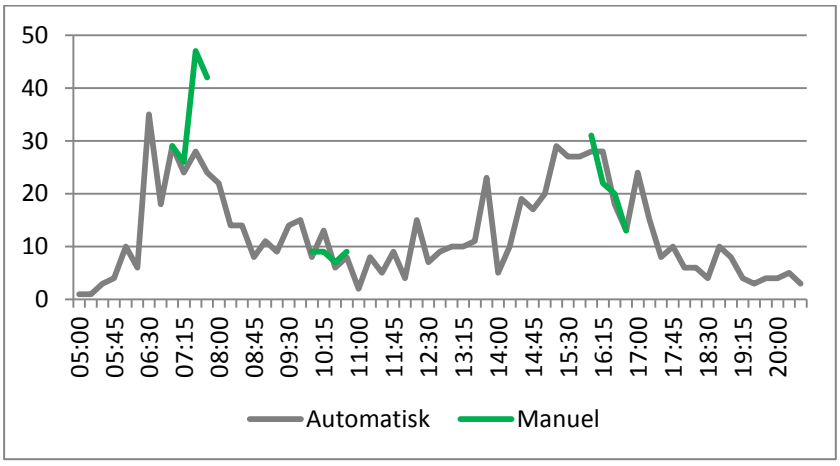


Venstresvingende motorkøretøjer

En fejl under videoanalysen medførte, at der kun findes trafiktal for Østre Allé for mandag. Disse stemmer nogenlunde overens med den manuelle trafiktælling, som er foretaget ud fra optagelser for tirsdag.



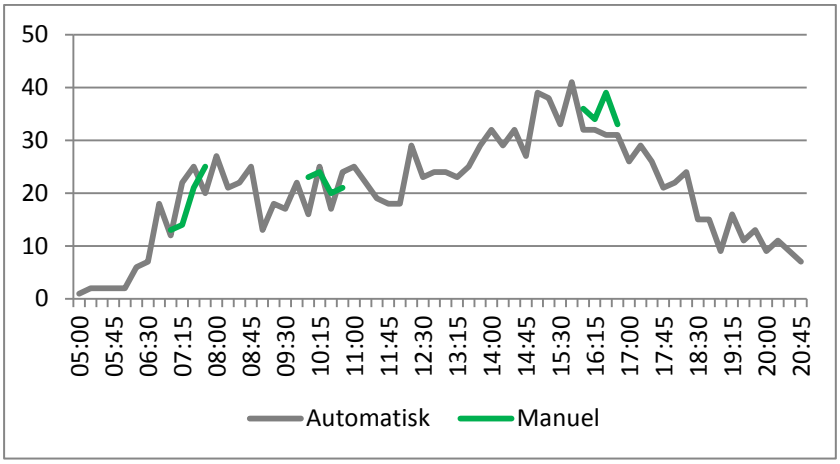
Højresvingende motorkøretøjer



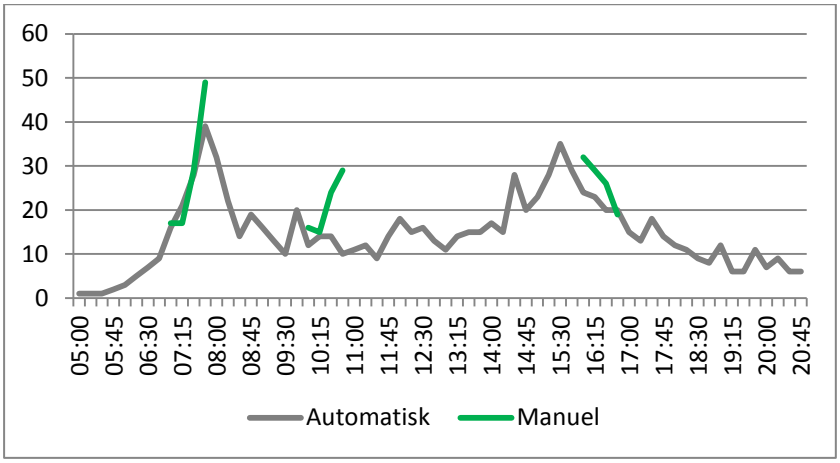
Ligeudkørende cyklister/knallerter

Antallet af ligeudkørende cyklister i krydset undervurderes i morgenmyldretiden. Det kan skyldes, at cyklister på disse tidspunkter har kørt i grupper, hvorved flere cyklister er talt som én. Risikoen for den enkelte cyklist i sådanne hobe vil tilsvarende være reduceret, hvorfor forskellen vurderes at være acceptabel.

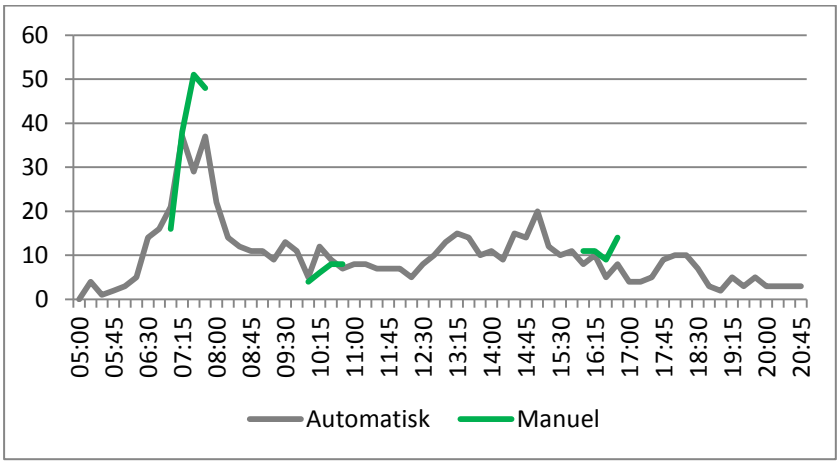
Krydsløsning d: Kong Chr. Allé



Venstresvingende motorkøretøjer



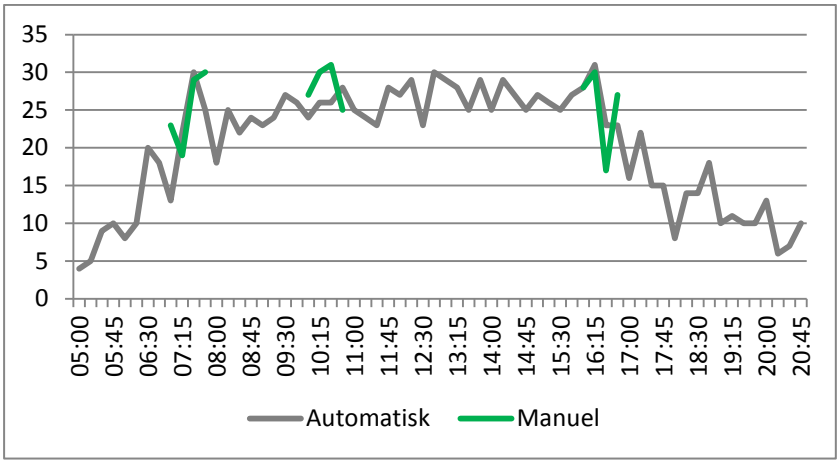
Højresvingende motorkøretøjer



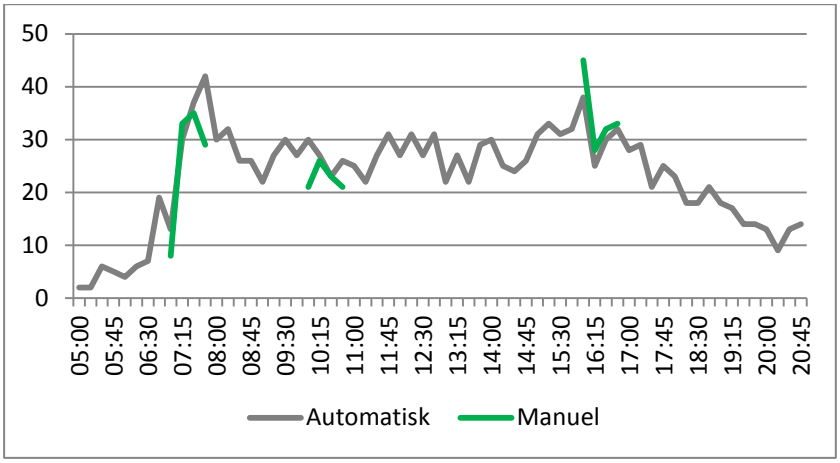
Ligeudkørende cyklister/knallerter

Antallet af ligeudkørende cyklister i krydset undervurderes i morgenmyldretiden. Det kan skyldes, at cyklister på disse tidspunkter har kørt i grupper, hvorved flere cyklister er talt som én. Risikoen for den enkelte cyklist i sådanne hobe vil tilsvarende være reduceret, hvorfor forskellen vurderes at være acceptabel.

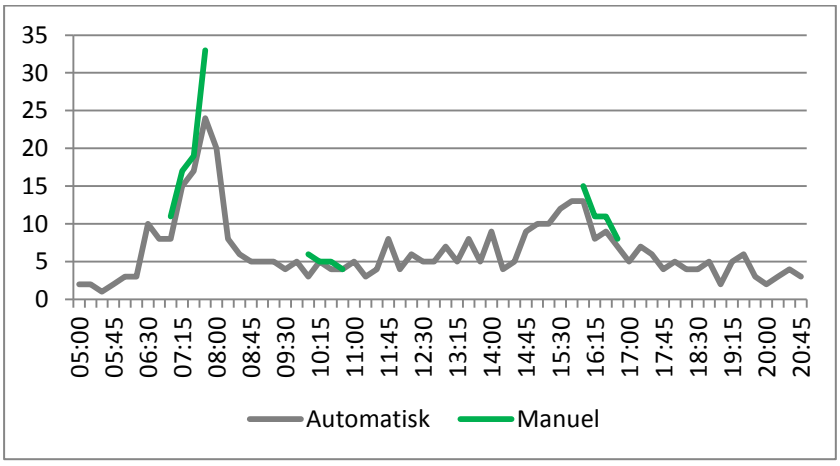
Krydsløsning e: Indre Ringvej



Venstresvingende motorkøretøjer



Højresvingende motorkøretøjer



Ligeudkørende cyklister/knallerter

Antallet af ligeudkørende cyklister i krydset undervurderes i morgenmyldretiden. Det kan skyldes, at cyklister på disse tidspunkter har kørt i grupper, hvorved flere cyklister er talt som én. Risikoen for den enkelte cyklist i sådanne hobe vil tilsvarende være reduceret, hvorfor forskellen vurderes at være acceptabel.

Bilag E VIDEOER AF KONFLIKTER

Krydsløsning a:

Konflikter (vurdering): http://youtu.be/TcRUNyqvtls
Konflikter (tidsbaseret): http://youtu.be/73JXcEHrkxc

Krydsløsning b:

Konflikter (vurdering): http://youtu.be/DyESNaOpNlw
Konflikter (tidsbaseret): http://youtu.be/x91EqaTs6z0

Krydsløsning c:

Konflikter (vurdering): http://youtu.be/hTjgrVXh7T4
Konflikter (tidsbaseret): http://youtu.be/SXY9rth3NcU

Krydsløsning d:

Konflikter (vurdering): http://youtu.be/0UFHLrlojU8
Konflikter (tidsbaseret): http://youtu.be/wQ9XXHYZuPM

Krydsløsning e:

Konflikter (vurdering): http://youtu.be/kYrBIeUjTlE
Konflikter (tidsbaseret): http://youtu.be/iRo2Xg80U5U