Undersøgelse af radars pålidelighed til detektering af cyklister i signalanlæg, med henblik på prioritering af cyklister

Kandidatspeciale

Nikolaj Kjeldager Pedersen & Lasse Møller Pedersen

10. juni 2021

Veje og Trafik

Institut for Byggeri, By & Miljø

Aalborg Universitet

Danmark

AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

Tiende semester v/ Det Ingeniør- og Naturvidenskabelige Fakultet
Byggeri, by og miljø
Thomas Manns vej 23
9220 Aalborg Øst

Titel:

Undersøgelse af radars pålidelighed til detektering af cyklister i signalanlæg, med henblik på prioritering af cyklister

Projekt:

Kandidatspeciale

Projektperiode:

Februar 2021 - juni 2021

Forfattere:

Nikolaj Kjeldager Pedersen
Lasse Møller Pedersen

Vejleder:

Harry Lahrmann

Sidetal hovedrapport: 60
Sidetal Appendix: 21

Synopsis:

Dette kandidatspeciale undersøger pålideligheden af radar til detektering af cyklister i signalanlæg, med henblik på prioritering af cyklister.
Til indsamling af data, er der benyttet en radar fra Smartmicro af modeltypen UMRR-0C Type 40 og et kamera. Databehandlingen er udført ved, at lagre radar data til en CSV-fil, hvorefter radar data er transformeret over på videooptagelse og analyseret. Der under kandidatspecialet udført tre feltforsøg. Der er opsat krav for lokationer til feltforsøgene, således de afspejler reelle situationer, hvor radar kan benyttes til detektering af cyklister. De tre feltforsøg er udført ved to forskellige signalanlæg, mellem klokken 07:10 og 08:10 på tre forskellige dage. Radaren registrerede i alt 492 ud af 575 cyklister ved de tre feltforsøg.
Studiet konkluderer, at mængden af falsk positive registreringer som radaren laver, er for stor. Derved vurderes det, at ud fra de udførte feltforsøg, kan radar ikke anvendes til detektering af cyklister i signalanlæg, med henblik på prioritering af cyklister. Det vurderes yderligere, at feltforsøgene muligvis ikke korrekt afspejler radars potentiale til detektering af cyklister og derfor bør der laves yderligere undersøgelser på området.

Abstract

This master thesis examines the use of radar to detection of cyclists in intersections, with the intent of prioritizing cyclists. The area of interest is therefore how precise radar is to detect cyclists, where the cyclists are detected and the number of false detections the radar makes.

To gather data a radar from Smartmicro, modeltype UMRR-0C Type 40 and a camera are used. The data collecting is done by storing radar data to a CSV-file, after which the radar data is transformed upon the video material and then analyzed.

This master thesis consists of three field studies. There have been specific requirements to the locations, where the field studies have been performed, thus the studies resemble real traffic situations, where radar can be used as a detector for cyclists. The three field studies have been performed at two different intersections, between 07:10 am and 08:10 am, on different days. The radar detected a number of 492 out of 575 cyclists in the three field studies.

The study concludes that the amount of false positive detections is too high. Therefore, it is assessed, that from the field studies performed, radar cannot be recommended to detection of cyclists in intersections, with the intent of prioritizing cyclist. However, it is also assessed, that the fields studies doesn't correctly reflect radars potential to detection of cyclists and therefore more field studies should be performed.

Forord

Denne rapport er udarbejdet af to studerende, Lasse Møller Pedersen og Nikolaj Kjeldager Pedersen, som et kandidatspeciale på 10. semester af kandidatuddannelsen Veje og Trafik ved Aalborg Universitet. Der er afsat 30 ECTS point til kandidatspecialet, og det er udarbejdet i projektperioden der forløber fra d. 1. februar 2021 til d. 10. juni 2021.

Projektet omhandler brugen af radar til detektering af cyklister i signalanlæg, med henblik på prioritering af cyklister. Herunder radars evne til detektering af cyklister og kvalitet af detekteringerne. Data i projektet er anskaffet ud fra egen dataindsamling med en radar fra Smartmicro, af modeltypen UMRR-0C Type 40. Databehandling er udført i Python og ved hjælp af værktøjet FFmpeg. Data er analyseret ud fra det behandlede videomateriale.

Der rettes særlig stor tak til følgende personer, for hjælp gennem projektforløbet, hvor de har ydet en faglig assistance i forbindelse med udarbejdelsen af projektet.

- Harry Lahrmann, Lektor ved Institut for Byggeri, By og Miljø, AAU, for generel vejledning gennem projektet.
- Rasmus Øhlenschlæger, Undervisningsassistent ved Institut for Byggeri, By og Miljø, AAU, for hjælp med udlevering af udstyr, opsætning af værktøjer til databehandling og kyndig vejledning i Python script.
- Svend Tøfting, Konsulent ved ATS, for introduktion til radar detektering og vejledning i valg af forsøgslokationer.
- Anne Iversen Hansen, Strategisk planlægger ved Aalborg Kommune, for hjælp til at finde forsøgslokationer og brug af kryds i Aalborg.

Læsevejledning

Rapporten består af otte kapitler, med tilhørende underafsnit, samt tre appendix. Litteraturlisten er placeret efter hovedrapporten, hvor kilderne er angivet efter Harvard metoden.

Figurer og tabeller i projektet er hver især navngivet, og har en tilhørende tekst. De er navngivet efter det kapitel de tilhører, efterfulgt af et nummer alt efter rækkefølgen de kommer i. Hvis figurer eller tabeller ikke er udarbejdet af gruppen selv, er der refereret til en kilde, hvor figur eller tabel er fra. Figurer og tabeller uden kildeanvisning er udarbejdet af gruppen selv.

Ydermere er udførelsen af besigtigelse, testforsøg, feltforsøg og databehandling beskrevet i deres respektive kapitler, fremfor i et metode afsnittet.

Indhold

1 Indledning **1**

1.1 Cykling som attraktivt transportmiddel 5
1.2 Projektbeskrivelse 6
1.3 Problemformulering 6
1.4 Afgrænsning 6

2 Litteraturstudie om detektorer **7**

2.1 Metode ved litteratursøgning 7
2.2 Introduktion til detektorer 9
2.3 Detektorspoler 9
2.4 Radar 10
2.5 Kamera 14
2.6 Tidligere studier 16

3 Besigtigelse **21**

3.1 Aalborg 22
3.2 Aarhus 29

4 Feltforsøg **33**

4.1 Udstyr 33
4.2 Testforsøg 33
4.3 Første feltforsøg 35
4.4 Andet feltforsøg 36
4.5 Tredje feltforsøg 38

5 Dataanalyse **41**

5.1 Datahåndtering inden analyse 41
5.2 Dataanalyse af første feltforsøg 43
5.3 Dataanalyse af andet feltforsøg 46
5.4 Dataanalyse af tredje feltforsøg 48
5.5 Sammenholdning af feltforsøg 50

6 Diskussion **51**

6.1 Indvirkning af Covid-19 på projekt resultater 51
6.2 Indvirkning af signalanlæggets udformning 51
6.3 Vigtighed for korrekt opsætning af radar 51
6.4 Radarens rækkevidde og dækning 52

6.5 Antallet af falsk positive 52
6.6 Cyklister fra tværgående kørselsretning 53
6.7 Håndtering af dataanalysen 53
6.8 Radar til prioritering af cyklister i signalanlæg 54
6.9 Flere Objekt ID til enkelt cyklist 54

7 Konklusion **57**

8 Perspektivering **59**

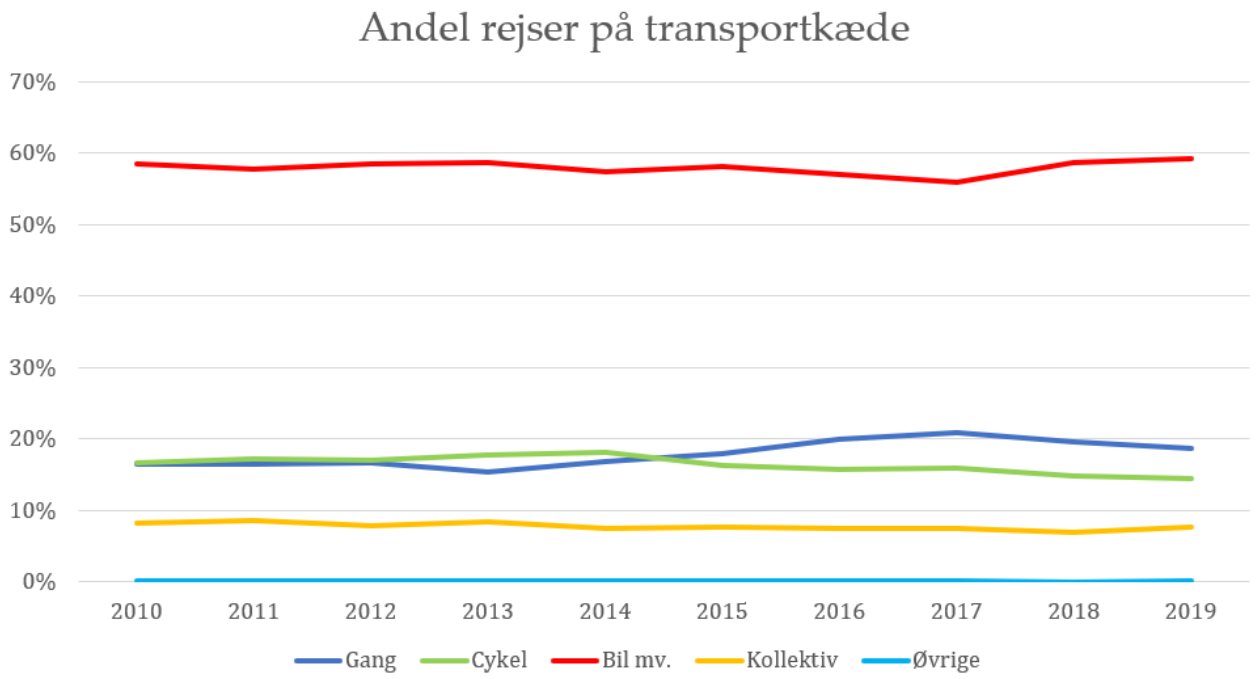
A Appendix **61**

B Appendix **76**

C Appendix **79**

1. Indledning

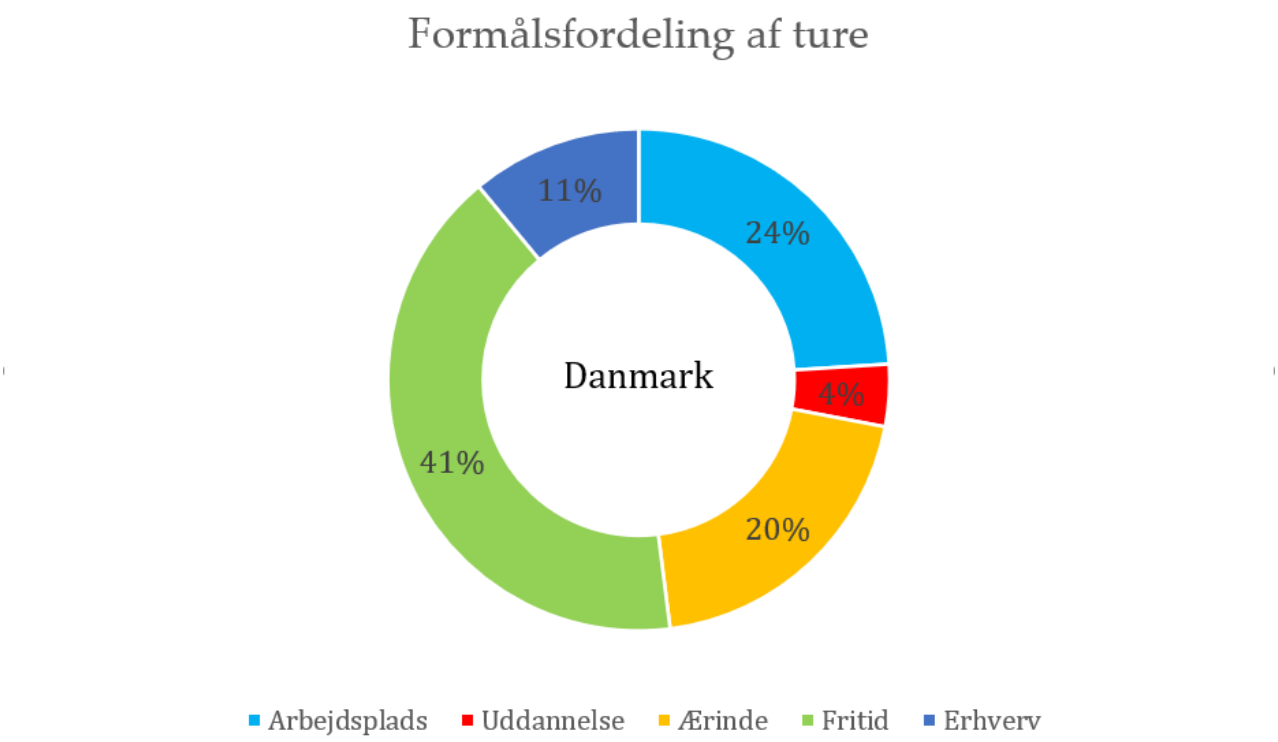
Transportmiddelvalg er et emne der er i konstant ændring, og er afhængig af flere ting, som vejr, lokation og økonomi. Den generelle tendens, for hele Danmark, er dog at størstedelen benytter bilen som det primære transportmiddel. Ud fra TU-data (Transportvane Undersøgelse) er det opgjort, at i 2019 stod biler for 84% af det samlede transportarbejde, opgivet i personkilometer, og 59,2% af rejser opgivet på transportmiddelkæde. Udviklingen over de seneste 10 år, i forhold til fordeling af rejser på transportmiddel, fremgår af figur 1.1.(Christiansen, Baescu og DTU, 2020)



Figur 1.1: Tidsserie for andel af rejser på transportmiddelkæder, over de seneste 10 år. (Christiansen, Baescu og DTU, 2020)

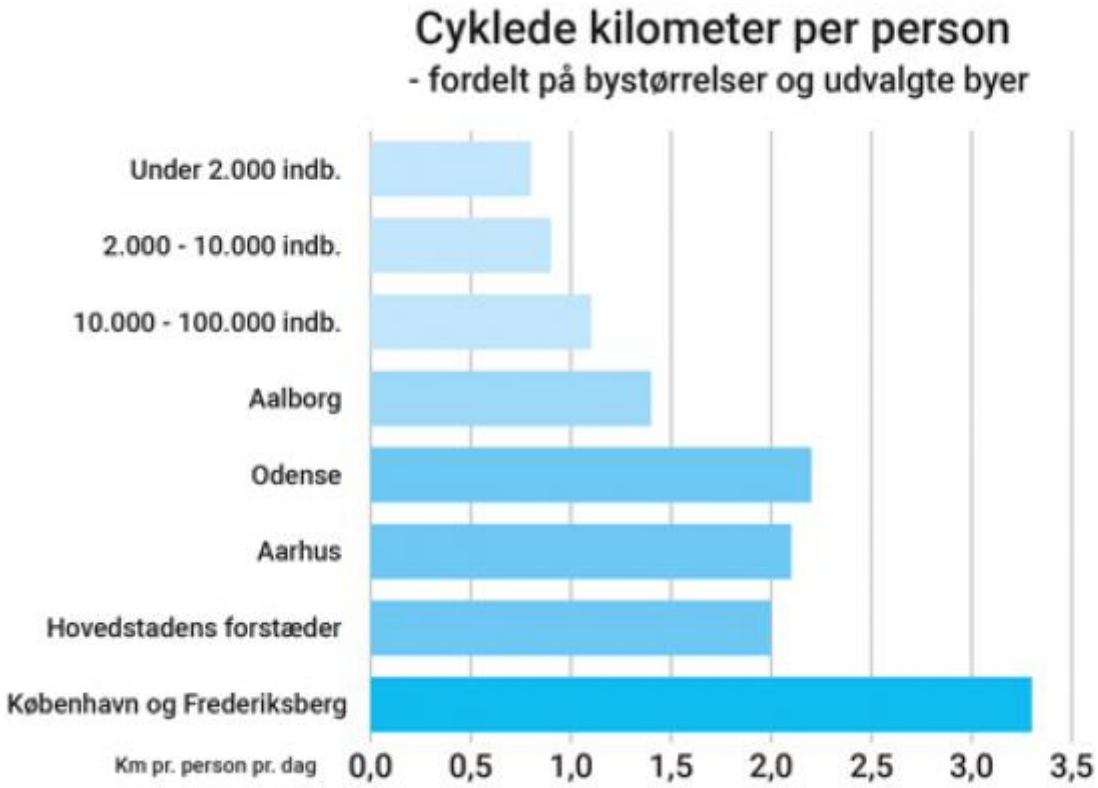
Ud fra figur 1.1 fremgår det, at der ved kollektiv transport ikke er sket nogen stor ændring over de seneste 10 år, hvorimod gang er steget og cykling er faldet. For biler skete der et fald frem til 2017, hvorefter andelen af rejser for biler steg igen. Dette afspejler hele landet ud fra TU-Data, derved afspejler det også steder, hvor cykel, gang eller kollektiv trafik ikke nødvendigvis er et attraktivt transportmiddel.(Christiansen, Baescu og DTU, 2020)

Transportvaneundersøgelsen, for hele Danmark, viser ligeledes formålsfordelingen ud fra den indsamlede data. Et diagram for turformålsfordelingen fremgår af figur 1.2. Her fremgår det at størstedelen, 41%, af turformålene er fritid og den anden største kategori er arbejdsplads. Ved dette data er erhvervstransport ekskluderet. (Christiansen, Baescu og DTU, 2020)



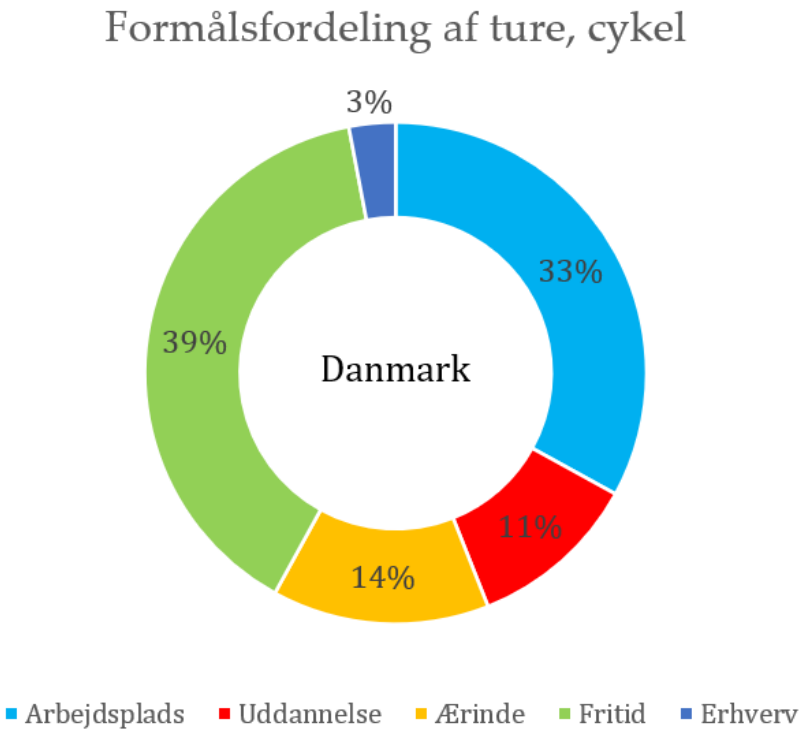
Figur 1.2: Fordeling af transportarbejde på turformål, erhvervstransport ekskluderet. (Christiansen, Baescu og DTU, 2020)

Cyklen er et transportmiddel, der bliver benyttet meget på landsplan, dog bliver cyklen benyttet mere i de større byer. Dette skyldes at cyklen er et mere attraktivt transportmiddel i de større byer, hvor afstande er mindre og cyklen har bedre fremkommelighed. Det fremgår af figur 1.3, at der i hovedstadsområdet bliver cyklet flest km. pr. person pr. dag og det derefter gradvist falder i forhold til byernes størrelse. (Vejdirektoratet, 2020)



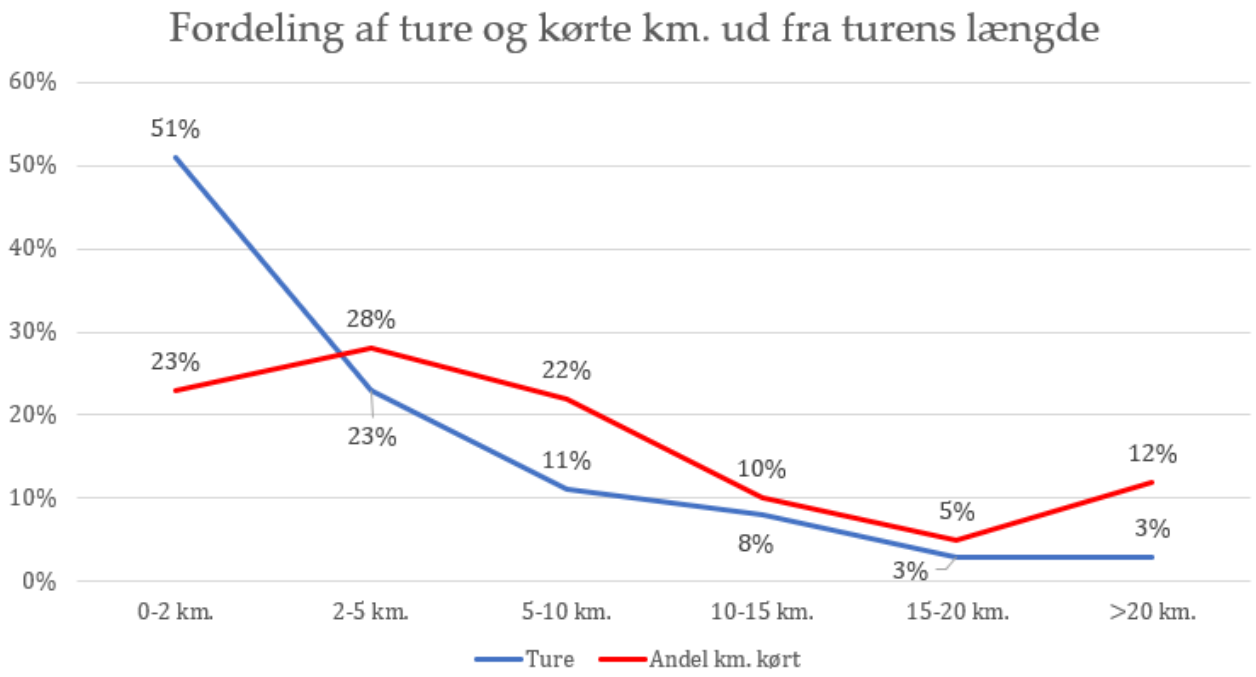
Figur 1.3: Antal cyklede km. pr. person pr. dag fordelt på bystørrelser og udvalgte byer, i Danmark. (Vejdirektoratet, 2020)

Forskellen i fordelingen af turformål for cykler, er relativ lille i forhold til den generelle formålsfordeling af ture. Ved cykling, er de største kategorier fritid og arbejdsplads, som det ligeledes er ved det overordnede transportarbejde. Dog er kategorien Uddannelse større ved cykling, end ved det overordnede transportarbejde. Dette stemmer overens med, at uddannelsesstederne hovedsageligt benyttes af unge mennesker og børn, der ikke nødvendigvis har adgang til bil eller lignende, hvor cyklen dermed er et attraktivt transportmiddel. Yderligere er skoler og andre uddannelses institutioner generelt centreret omkring større byer, hvor folk gennemsnitlig cykler flere km. pr. person pr. dag, hvilket stemmer overens med, at for cykling med turformål til uddannelse, er højere end ved det overordnede turformål til uddannelse. Ydermere fremgår det, at kategorien erhverv er relativt mindre ved turformål for cyklister, end ved det overordnede turformål, hvilket stemmer overens med at cyklen sjældent er et attraktivt transportmiddel til erhvervstransport. Af figur 1.4 fremgår fordeling af turformål for cyklister. (DTU, 2018)



Figur 1.4: Fordeling af turformål for cyklister, fra transportvaneundersøgelse 2014-2017. (DTU, 2018)

Ud fra transportvaneundersøgelsen ses det ligeledes, af figur 1.5, at størstedelen af cykelturene er indenfor intervallet 2-4 km. i luftlinje, dermed bliver cyklen benyttet mest ved korte ture. Hvis der kigges på ture og kilometer kørt, så er det ture under 5 km. der bidrager til flest kilometer kørt på cykel og ture under 2 km. der bidrager til flest ture. Dette viser ligeledes, at cyklen bliver benyttet mest på korte strækninger, på under 5 km. og brugen af cyklen gradvist falder, hvis turene er længere end det. Af figur 1.5 fremgår den procentvise fordeling af ture og kørte kilometer for cykling. (DTU, 2018)



Figur 1.5: Fordeling af ture og kørte kilometer for cykler for forskellige strækningslængder. Fra transportvaneundersøgelse 2014-2017. (DTU, 2018)

1.1 Cykling som attraktivt transportmiddel

Cykling er et miljø- og fremkommelighedsmæssigt attraktivt transportmiddel i byer, og bliver benyttet oftere i de større byer, mens det falder på landsplan. En af grundene til det stiger i de største byer, København, Aarhus og Odense, er at disse byer har arbejdet målrettet med at tilgodese cyklister i bykørsel og derved gøre cyklen til et mere attraktivt transportmiddel. Heriblandt er der benyttet infrastrukturelle tiltag, som grønne ruter, smutveje for cyklister, stiføring uden om signalanlæg og signaltekniske løsninger, som før-grønt og grøn bølge. Disse tiltag er derved med til, at øge fremkommeligheden for cyklister og ligeledes sikkerheden. (Cyklistforbundet, 2016)

Cykling er, som tidligere benævnt, et transportmiddel med mange samfunds- og miljømæssige fordele, derfor er det attraktivt at flytte trafikanter over på cyklen. Af hensyn til miljøet, er cyklen et transportmiddel som nærmest ingen CO2 udleder i forhold til bil, busser og tog. Dette gør cyklen til et miljømæssig-attraktivt transportmiddel, da miljøpåvirkning fra at cykle, ikke er eksisterende. Ved at flytte flere trafikanter over til cykler, mindskes CO2-udledningen blot yderligere. (Allison, 2017)

Af hensyn til samfund og trafik, er der mange fordele ved at få flere til at cykle. Heriblandt sundhedsmæssige fordele for hver enkelt cyklist, der leder til mindre pres på sundhedsvæsnet. Yderligere viser undersøgelser, at cykling forbedrer den mentale sundhed og den overordnede livskvalitet. Af hensyn til økonomien, giver cyklisme ligeledes en gevinst, hvor undersøgelser viser, at bilrejser koster samfundet

seks gange så meget som cykelture, hvor disse tal dækker over bilkørslens samfundsøkonomiske omkostninger. Ligeledes i forhold til trafikafvikling, er der fordele ved cyklisme. Ved at flytte flere trafikanter, specielt bilister, over til cykler, så bliver der mindre trængsel på vejene og derved bliver den overordnede fremkommelighed i trafikken øget. (Allison, 2017)

1.2 Projektbeskrivelse

Ud fra visionen om at få flere trafikanter flyttet over på cyklen, vil der i dette kandidatspeciale, blive arbejdet med at undersøge virkningen af radar til detektering af cyklister, med henblik på at benytte radar til at detektere og prioritere cyklister i signalanlæg. Med en radar af modeltypen UMRR-0C Type 40, som er produceret af Smartmicro, undersøges nogle relevante kryds i Aalborg. Arbejdet forløber i perioden februar til juni 2021 og er foretaget af to kandidatstuderende ved Aalborg universitet indenfor fagområdet Veje og Trafik.

1.3 Problemformulering

Dette kandidatspeciale har til formål at undersøge pålideligheden af radar til detektering af cyklister i signalanlæg. Kvaliteten af radar data undersøges og sammenholdes med manuelle tællinger, til vurdering af pålideligheden af radarens enkeltvise registrering af cyklister. Ydermere vurderes det om radarens data er pålideligt nok til at blive benyttet som input til en styringsenhed med henblik på prioritering af cyklister.

1.4 Afgrænsning

Der afgrænses til brug af specifikke krydstyper til benyttelse i undersøgelsen. Krydsene skal opfylde enkelte krav, for at kunne indgå i undersøgelsen. Det skal blandt andet være et signalreguleret kryds og samtidig have en vis mængde cyklister i perioder, da samtidig ankomst af flere cyklister er vigtigt for undersøgelsen. Ydermere afgrænses der fra differentiering mellem forskellige transportmidler, der benytter cykelbanen, grundet radarens egenskaber. Hermed bliver cyklister, el-cykler, el-løbehjul og knallerter noteret ens, da radaren ikke kan skelne mellem disse.

2. Litteraturstudie om detektorer

Dette litteraturstudie omhandler forskellige detektorer, deres funktion, deres styrker og svagheder. Ydermere vil der blive undersøgt, hvilke erfaringer og undersøgelser, der allerede er på området.

2.1 Metode ved litteratursøgning

Projektet indeholder en litteratursøgning, der har til formål at finde eksisterende viden om detektorers egenskaber og deres pålidelighed i forhold til detektering af bløde trafikanter. Disse problemstillinger ønskes belyst i både nationalt og internationalt litteratur. Således er der i projektet benyttet følgende databaser, til at finde relevant litteratur, se tabel 2.1. I tabellen er de forskellige databaser inddelt efter primær og sekundær, og det er for at visualisere, hvor det benyttede litteratur er fra. Primær anvendte litteratur er fra de steder der fundet og benyttet mest fra. Sekundær databaser betyder der er søgt i dem, men nødvendigvis ikke fundet noget brugbart litteratur til dette projekt.

	Anvendelse	
Database	***Primær***	***Sekundær***
ScienceDirect	x	
Google Scholar		x
TRID - Transportation Research Information Documentation	x	
TØI - Transportøkonomisk institutt, Norge		x
VTI - Statens Väg- og transportforskningsinstitut, Sverige		x
SWOV - Institute for road safety research, Holland		x
Trafikdage		x
Trafitec		x
Trafik og Veje	x	
Vejdirektorates Vejregelportal	x	
Primo - AAU's biblioteks søgedatabase		x

Tabel 2.1: Oversigt og anvendelse over databaser som er benyttet i projektet.

Litteratursøgningen indledes ved at lave søgninger i databaserne med nøgleord. Nøgleordene anvendes både kombineret med hinanden og enkeltvis, alt efter hvilken database som benyttes, se tabel 2.2. De primære databaser som benyttes i projektet er Sciencedirect, TRID, Trafik og Veje samt Vejdirektorates Vejregelportal. Derudover er der søgt supplerende litteratur i de sekundære databaser, se tabel 2.1. Ved søgningen benyttes boleske operatorer som AND og OR, mens der i visse tilfælde benyttes citationstegn for at ordene medtages i en sammenhæng.

Ved at anvende ordene i kombination med hinanden, forsøges det at præcisere søgningen, således der findes mest muligt relevant litteratur. Herefter er resultaterne ved søgningerne sorteret på baggrund af deres relevans af overskrift og abstract, og hvis de findes relevante, udtages de til gennemlæsning. I alt er der udtaget 23 studier til gennemlæsning. Udover søgning i databaser, er der også benyttet teknikken "Snowballing", hvor litteratur er fundet gennem studier fra litteratursøgningen, som er med til at understøtte projektets punkter.

Danske	**Engelske**
Pålidelighed	Reliability
Kryds	Intersection/Junction
Detektering	Detection
Evaluering	Evaluation
Prioritering	Priority
Cykel	Bike, Bicycle, Cycle
Sensor	Sensor
Radar	Radar
LIDAR	LIDAR
Doppler effekt	Doppler effect
Trafik	Traffic

Tabel 2.2: Danske og engelske nøgleord brugt til litteratursøgning.

2.2 Introduktion til detektorer

Detektorer har flere forskellige funktionsområder, hvor detektorernes registreringsgrad er forskellige og ligeledes er mængden af information fra de forskellige detektorer forskellige. Derved afhængig af den ønskede information der skal benyttes fra detektoren og præcisionen af data fra detektoren, kan der vælges flere forskellige sensorer. Områder hvor detektering kan anvendes kan for eksempel være: Styring af variable vejtavler, trafiksignaler eller til statistisk brug. Nogle forskellige detektorer, der kan benyttes til disse problemstillinger er: Detektorspoler, Radar og Kamera. Disse detektorer har ligeledes forskellige områder, hvor de er brugbare, i forhold til arbejdsopgaven. Detektorspoler er detektorer der bliver inkorporeret i vejens belægning og derved registrerer trafikanter der passerer spolerne i vejen. Radar og kamera tilhører kategorien "above ground detection", altså detektorer der er placeret over jorden. Disse to detektorer overser derved et område og registrerer trafikanterne i dette område området. Af tabel 2.3 fremgår nogle anvendelsesområder, hvor det fremgår hvilke detektorer der kan benyttes til de forskellige trafikale opgaver. (Vejdirektoratet, 2012)

Teknologi	Trafiksignaler	Blinksignaler	Variable færdselstavler	Variable teksttavler	Statistik
Detektorspoler	x	x	x	x	x
Radar	x	x	x	x	
Kamera	x	x	x		

Tabel 2.3: Detektor-teknologi kontra anvendelsesområder. (Vejdirektoratet, 2012)

Ved systemopbygning til detektering af trafik, skal der benyttes to hovedkomponenter, en eller flere detektorer og en signal behandlingsenhed. Detektoren/detektorerne har til formål at omsætte den lokale trafikafvikling til elektroniske signaler, der kan bearbejdes. Signalbehandlingsenheden har derefter til formål at omsætte de elektroniske signaler, til reel trafikdata, såsom hastighed, køretøjslængde eller blot registrering. Detaljeringsgraden af data, der kan uddrages fra detektorerne, er derved også afhængig af detektorernes egenskaber og evner.

2.3 Detektorspoler

Detektorspoler består af tre dele, selve detektorspolen, tilledning og detektorkort. Detektorspolen er placeret i vejens belægning, hertil er tilledningen tilkoblet, tilledningen sammenkobler så detektorspolen med detektorkortet. I en spole kan der indgå et vekselstrømskredsløb, dette vekselstrømskredsløb skaber et elektromagnetiske felt omkring ledningen, hvor metaldelene fra passerende køretøjer påvirker denne elektriske spænding. Detektorkortet registrerer denne ændring i elektricitet og derved, afhængigt af detektorkortets evner, omsætte dette til forskellige trafikdata. (Vejdirektoratet, 2012)

Detektorspoler bliver installeret i vejens belægning, hvor der bliver lavet riller i belægningen, hvorefter selve detektorspolen monteres og påfyldes således vejens overflade er hel igen. Tilledningen føres fra spolen, gennem vejkassen, til en føringsvej eller brønd i vejsiden, hvor den sammenkobles med detektorkortet. Der kan anlægges enkeltspoler eller dobbeltspoler. Enkeltspoler benyttes blot til at registrere passage og tilstedeværelse. Dobbeltspoler kan benyttes til registrering af flere data, da distancen mellem de to spoler er kendt, blandt andet kan hastigheden, afstand mellem køretøjer, længde med mere beregnes. (Vejdirektoratet, 2012)

Erfaringerne med detektorspoler viser, at det er en meget anvendelig metode, der kan bruges flere forskellige steder i det danske vejnet. Ydermere er det en teknologi der anses at være veludviklet og gennemprøvet, i så høj grad at den ofte benyttes som referencemål ved test af andre teknologier. Da detektorspoler er nedgravet i vejbelægningen, er vedligeholdelsesprocessen mere problematisk end ved andre teknologier, da der regelmæssigt skal undersøges for slidtage og andre belægningsmæssige skader. Hvis der bliver ført regelmæssig vedligeholdelse af detektoren og asfalten, så er levetiden, for spolen, generelt lige så lang som asfaltbelægningens. Af tabel 2.4 fremgår fordele og ulemper ved detektorspoler. (Vejdirektoratet, 2012)

Fordele	Ulemper
Høj kvalitet i trafikregistrering	Installationsproces
Dobbeltspolers mange detekteringsparametre	Enkeltspoler forholdsvis få detekteringsparametre
Mange erfaringer i Danmark	Vedligeholdelse

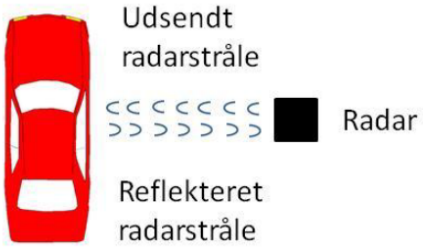
Tabel 2.4: Tabel over fordele og ulemper for detektorspoler. (Vejdirektoratet, 2012)

2.4 Radar

Radar teknologi er en metode der kan benyttes til detektering af trafikanter, teknologien placeres over jorden og detekterer trafikanter ved brug af mikrobølger. Da radarer placeres over jorden, er installation, reparation og udskiftning forholdsvis simpel, uden større indgreb i trafikafviklingen, modsat ved detektorspolen (Westhausen, 2017). Yderligere vurderes den generelle levetid for en radar til at være 10-15 år. Radar teknologien har flere formål, dog anbefales de generelt til styringsformål, derved til detektering i signalanlæg, ved trafikstyret anlæg. Radar teknologien benytter sig af mikrobølger, hvor den udsender radarstrålerne fra selve radaren, når strålerne så rammer et objekt, sendes de tilbage til radar-modtageren igen. Radaren har et detekteringsfelt, hvori radaren registrerer trafikanter og objekter. Udenfor dette detekteringsfelt, bliver der ikke registreret eller registreret med forringet kvalitet. Radaren udsender mikrobølger ud fra to forskellige former, kontinuerte stråler og impulser med givne mellemrum. De kontinuerte stråler udfører målinger ud fra Doppler-forskydningen og registrerer data ved denne metode. Radarer der benytter denne metode kaldes Doppler-radar og

placeres parallelt med kørselsretningen og er længdeskydende. Radarer der anvender impulser kaldes pulsraderer og placeres vinkelret på kørselsretningen og er derved sideskydende.(Vejdirektoratet, 2012)

Sideskydende radarer er, som tidligere beskrevet, placeret vinkelret på kørselsretningen. Derved sender radaren impulser af stråler ud, der rammer siden af et objekt, dette kan være en bil, stråler reflekteres og sendes tilbage til radaren. Den sideskydende radar benyttes generelt kun til detektering og afstandsmåling. Sideskydende radarer findes også som to sammenkoblede sideskydende radarer, som er placeret ved siden af hinanden. Ved brug af to sideskydende radarer kan hastigheden for et køretøj ligeledes beregnes. En illustration af konceptet for sideskydende radarer fremgår af figur 2.1. (Vejdirektoratet, 2012)



Figur 2.1: Illustration af sideskydende radars funktionsprincip. (Vejdirektoratet, 2012)

Længdeskydende radar er placeret parallelt med kørselsretningen, og derved sendes bølger af stråler mod den fra- eller tilkørende trafikant. Den længdeskydende radar sender kontinuerte mikrobølger ud, og ud fra frekvensen af de reflekterede radarstråler, kan køretøjets hastighed beregnes og kørselsretning med god nøjagtighed. Ydermere kan der laves køretøjsklassifikation og belægningstid, dog ved større usikkerhed i resultaterne. Disse beregninger baseres på, at det ramte objekt sender radarstrålerne tilbage til detektoren ved en anden frekvens end de udsendte stråler, medmindre objektet altså er stationært. Denne frekvensændring kaldes Doppler-forskydningen og denne forskydning kan derved omregnes til relevant trafikdata. Dopplereffekten beskriver, hvordan ændringer i mikrobølgers frekvens, har betydning for et given objekts placeret og retning. Derved hvis en detektor opfanger de reflekterede mikrobølger med en højere frekvens end de udsendte mikrobølger, så vides det at objektets retning er imod detektoren, og hvis mikrobølgerne reflekteres med en mindre frekvens end udsendte, så er objektets retning væk fra detektoren. Hvis objektet er vinkelret på detektoren eller er stillestående, så vil frekvensen af de reflekterede bølger være ens med de udsendte, og derved kan detektoren kun registrerer at der er et objekt. Hastigheden af et køretøj beregnes ud fra de reflekterede radarstråler, hvor det er frekvensændringen der benyttes til at bestemme køretøjets hastighed. En illustration af konceptet for længdeskydende radarer fremgår af figur 2.2. (Vejdirektoratet, 2012)

Figur 2.2: Illustration af længdeskydende radars funktionsprincip, hvor ændringen i bølgelængden for til- og frakørende køretøjer fremgår. (Vejdirektoratet, 2012)

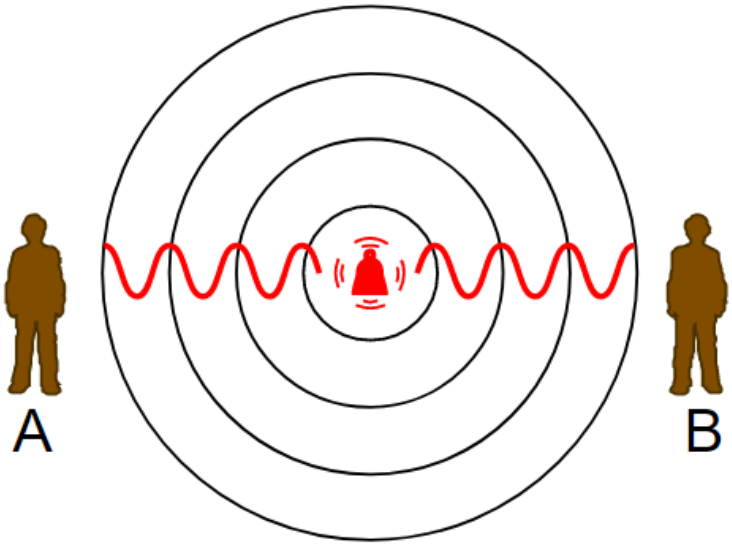
Af tabel 2.5 fremgår fordele og ulemper for radar, som trafikdetektor.

Fordele	Ulemper
Installationsproces	Nøjagtighed
Vedligeholdelse	Detekterer kun objekter i bevægelse
Stort overvågningsområde	For upræcis til at lave statistik på
Detektere mange objekter	Vejr
God til tilstedeværelsesdetektering	

Tabel 2.5: Tabel over fordele og ulemper for radar. (Vejdirektoratet, 2012)

2.4.1 Dopplereffekten

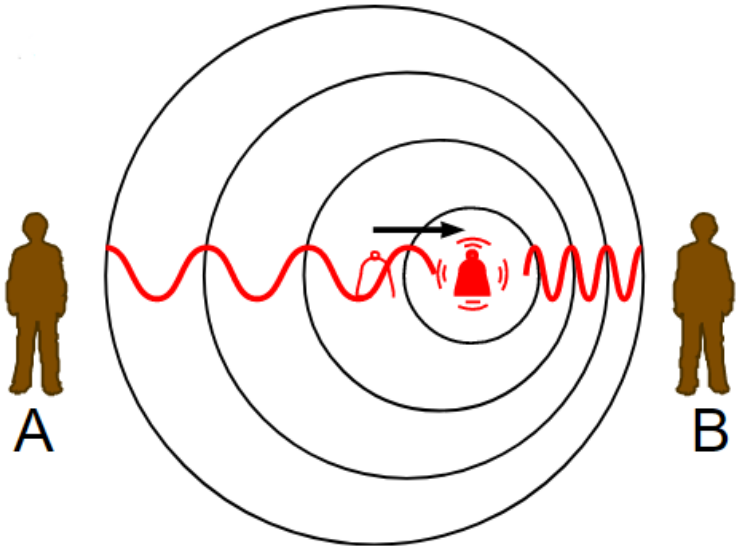
Dopplereffekten er et fysisk fænomen, som beskriver den effekt retning og hastighed har på frekvens af bølger og opfattelsen af bølgerne, for observatøren, som kan være et menneske eller en anden detektor. Derved hvis et stationært objekt udsender lydbølger, vil lyden observeres ens for modtagere, med ens afstand til lydkilden. En illustration af lydbølgernes frekvens, ved stationær lydkilde, fremgår af figur 2.3. (Elbek, 2014)



Figur 2.3: Illustration af Dopplereffekt, ved stationær lydkilde. (Elbek, 2014)

Som det fremgår af figur 2.3, ses det at bølgelængden på begge sider af lydkilden er ens, derved observeres lyden ens for person A og person B.

Hvis lydkilden derimod er i bevægelse, så er bølgelængderne ikke ens på begge sider af lydkilden. I den retning hvor lydkilden bevæges mod, vil længden mellem lydbølgerne være mindre og forekomme sammenpresset, derved vil den sidst udsendte bølge have kortere vej at tilbagelægge end den først udsendte. Frekvensen vil her blive ændret fra bølge til bølge, hvor frekvensen derved bliver højere jo tættere lydkilden kommer på observatøren. Derimod hvis observatøren står væk fra den retning lydkilden bevæges mod, så vil bølgelængden blive større og derved mindre frekvens, jo længere lydkilden er væk. En illustration af lydbølgernes frekvens, ved lydkilde i bevægelse, fremgår af figur 2.4. (Elbek, 2014)



Figur 2.4: Illustration af Dopplereffekt, ved lydkilde i bevægelse. (Elbek, 2014)

Om der benyttes lydbølger, mikrobølger eller andet, så kan der beregnes på målingerne. Dette gøres ud fra frekvensændringen og hastigheden på de udsendte bølger og de tilbagekommende bølger, derved kan hastighed for objektet og afstanden dertil beregnes.

2.5 Kamera

Kamera kan ligeledes anvendes som detektor, og som ved radar, så er kamera en detektor der placeres over jorden. Ved brug at kamera, som detektor, er det vigtigt at den er installeret korrekt, da der ved dårlig opsætning kan risikerer at registreringen af data bliver af ringe kvalitet. For at opnå det bedste resultat er det vigtigt, at sikre et optimalt billede, ordentlig udsyn, centrering i det korrekte område, belysning og kontrast. Afhængigt af formål med optagelserne, kan placeringen af kameraet variere, dog placeres det generelt højtsiddende med uhindret sigtlinje til de objekter der skal optages. Yderligere placeres kameraet helst på fast infrastruktur, for at undgå rystelser i optagelserne. (Vejdirektoratet, 2012)

Kamera som detektor har flere forskellige formål, heriblandt, nummerpladegenkendelse, tilstedeværelse evt. til trafiktællinger, køretøjshastighed og kødannelse. Dog kan et kamera sjældent benyttes til flere formål, grundet konfigureringen ofte er specifik til et bestemt formål, ud fra optik og software. (Vejdirektoratet, 2012)

Den indsamlede detektordata fra kameraer kan bearbejdes på forskellige måder, manuelt og automatiserede, hvor den automatiserede model er mere kompleks. Ved den manuelle metode bearbejdes videomaterialet først efter det er sket, derved arbejdes der ikke i realtid, hvilket gør at denne metode har en begrænset formålsområde, men kan benyttes til trafiktællinger, nummerpladeregistrering til kortlægning af ruter og lignende arbejdsopgaver. Den automatiserede metode kan bearbejde data i

realtid og efter dataindsamlingstidspunktet, afhængigt af formål og software. Kameraerne benævnes ofte som intelligente eller ej, afhængigt af om de har en indbygget videoprocessor til at producere trafikdata eller ikke har. Hvis de ikke er intelligente, kan de tilkobles en ekstern videoprocessor for at producere brugbart trafikdata i realtid. Måden hvorpå data konverterer fra billeder til brugbart trafikdata er gennem analyse af individuelle pixels i billederne. Billeder der bliver filmet digitaliseres, derved inddeles billederne i pixels, der får tilknyttet en specifik farvekode afhængigt af hvad de skal afspejle. Ud fra pixel-data kan videoen derved automatisk analyseres af en software, som kan registrer køretøjer, nummerplader, hastighed, kødannelse, fremmede objekter og spøgelsesbilister. (Vejdirektoratet, 2012)

Termiske kamera som detektorer er en teknologi, der er i stor fremdrift i de senere år. Dette skyldes at kameraerne virker uafhængigt af lysforhold og kan fungerer selv ved blænding fra solen. Ydermere er termiske kameraer gode til at skelne mellem fodgænger, cyklister og motoriserede køretøjer, derved ligeledes god til detektering af fodgængere og cyklister. Der er dog to problematikker med termiske kameraer som detektorer, hvilket er den relative korte rækkevide og varmt vejr kan give fejldetekteringer fra asfaltens varmestråling. (Vejdirektoratet, 2019)

Kamera begynder, i højere grad, at blive benyttet som detektor, ved signalanlæg hvor der benyttes ITS (Intelligente Transport Systemer). Dette skyldes at data som detektoren kan afgive er forholdsvis specifik. Der er dog en generel problematik med indsamling af trafikdata fra kameraer, hvilket er nøjagtigheden. I flere situationer er kvaliteten af data, ikke god sammenlignet med andre alternativer. Ydermere at kvaliteten af optagelserne let påvirkelige af vejr og årstid, som kan gøre optagelser ubrugelig. En tabel over fordele og ulemper, ved kamera som detektor, fremgår af tabel 2.6. (Vejdirektoratet, 2012)

Fordele	Ulemper
Installationsproces	Dårlig billedkvalitet
Vedligeholdelse	Vejrets påvirkning
Opdateringer af software	Nøjagtighed
Flere forskellige detektorformål	Lys
Visualisering af data	Hærværk
Mulighed for intelligent styring	

Tabel 2.6: Tabel over fordele og ulemper for kamera.

2.6 Tidligere studier

Dette afsnit indeholder tidligere studier, der er fundet ud fra litteratursøgninger, af forskellige detekteringsmetoder til registrering af bløde trafikanter.

2.6.1 Pedestrian recognition using micro Doppler effects of radar signals based on machine learning and multi-objective optimization

Denne artikel undersøger pålideligheden af radar som benytter doppler-effekten, til detektering af gående. I studiet undersøges blandt andet effekten af forskellige indstillinger til radaren, for at opnå det bedst mulige resultat, da doppler-effekten let kan forstyrres af støj. Radaren som benyttes kaldes en Radarlog og er lavet af firmaet INRAS. Undersøgelserne foregår i et lukket miljø, hvilket betyder at der ikke er samme forstyrrelser som, hvis det blev undersøgt i et bymiljø.

Modellerne indstilles med forskellige parametre, for at finde ud af, hvilken af dem der registrerer gående bedst. Forsøger viser det bedste resultat er ved, at benytte metoden med en radar med polynomisk kerne og et ikke normaliseret datasæt, se tabel 2.7. Studiet viser at den første model er enten bedre end de øvrige tre modeller og på nogen parametre ens med den fjerde model. Den første model har færrest falsk negative registreringer og det samme er gældende for falsk positive. Det understøtter metoden at pålideligheden for de to kategorier er lave. Samtidig er det også den model med flest rigtige registreringer og færrest fejl.

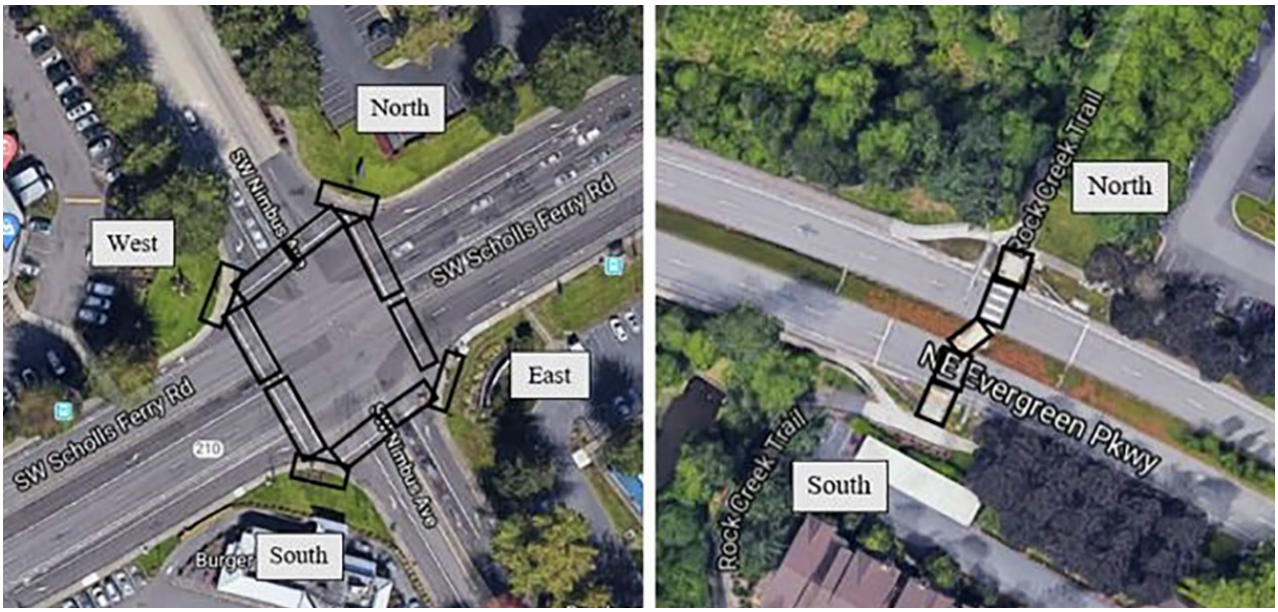
-	First model	Second model	Third model	Fourth model
False Negative (FN)	**33**	147	38	62
False Positive (FP)	**62**	93	86	41
True Negative (TN)	1425	1394	1401	**1446**
True Positive (TP)	**18454**	18340	18449	18425
Accuracy	**0.995**	0.988	0.994	**0.995**
Confusability	2.63E+07	2.53E+07	2.58E+07	**2.66E+07**
Error	**0.005**	0.012	0.006	**0.005**
Sensibility	0.997	0.995	0.995	**0.998**
Training time (s)	1017.89	796.56	816.132	**352**
Searching time (s)	**0.025**	0.026	0.033	0.032
SVM execution time (s)	**0.048**	0.068	0.068	0.066

Tabel 2.7: Sammenligning mellem de forskellige modeller i studiet. (Severino et al., 2019)

Den første model har en klassifikations pålidelighed på 99.5% med en behandlingstid på 0.0073 sekunder. Studiet konkluderer dog, at i det videre arbejde, bør overvejes at benytte flere fodgængere og andre objekter for eksempel biler eller cyklister. (Severino et al., 2019)

2.6.2 Evaluation of dynamic passive pedestrian detection

Dette amerikanske studie undersøger nøjagtigheden af optiske og termiske sensorer, under forskellige fodgænger-, vejr- og lysforhold. Studiet undersøger et signalreguleret kryds samt en fodgængerovergang på en vej, se figur 2.5



Figur 2.5: Illustration af de 2 lokationer der benyttes i studiet. Det ene et kryds og det andet en fodgængerovergang. (Larson et al., 2020)

Ved begge lokationer benyttes der både optiske og termiske sensorer. Termiske sensorer registrerer fodgængere ved at udsende bølger i miljøet, som registrerer varme. De optiske sensorer optager video fra det omkringliggende miljø og ved hjælp af behandlingsalgoritmer bliver fodgængere registreret i videoen. I studiet er sensorerne ikke tilsluttet signalprogrammet og kan derfor ikke påvirke lyssignalet på nogen af testlokationerne. Derudover registreres fodgængere som en enhed uagtet om der er mere end én fodgænger indenfor zoneområderne.

Resultatet i studiet konkluderer, at der er forskel på nøjagtigheden alt efter om der benyttes optiske eller termiske sensorer. I dette tilfælde viser studiet at termiske sensorer opnår en højere nøjagtighed end de optiske. I det signalregulerede kryds har den termiske sensor en nøjagtighed på 89% med en standardafvigelse på 10% mens den optiske sensor har en nøjagtighed på 26% og en standardafvigelse på 18%. De optiske sensorers problemer i krydset består primært af forkerte registreringer. Oftest er en person registreret, men registreringen forsvinder i et stykke tid, før den er genoptaget igen. Længden af tid fra personen frafaldt i detektering til personen er detekteret igen, varer alt fra et sekund til 30 sekunder. Derudover har sensoren også mange sent detekterede personer, så der er flere fejl der er med til det lave resultat, som studiet fik for den optiske sensor i det signalregulerede kryds. Ved fodgængerovergangen midt på vejen har de termiske sensorer en nøjagtighed på 82% med en

standardafvigelse på 8% mens den optiske sensor har en nøjagtighed på 83% og en standardafvigelse på 18%. I studiet forekommer dog en problematik omkring bløde trafikanter og detektering i forhold til signalstyrede anlæg. Ved begge lokationer krydser flere fodgængere gaden, selvom de har rødt. Ved fodgængerovergangen gik 178 personer over for rødt, hvor 59 (33%) personer har trykket på ankomst knappen, så når de reelt set ville have grønt, så er de allerede krydset og tiden i omløbet ville være spildt. (Larson et al., 2020)

2.6.3 Cycle Safe Intersections - An Evaluation of Radar Bicycle Detectors in Dublin

Fra 2006 og et årti frem, oplevede Dublin en markant stigning i cykeltrafikken. Derefter faldt mængden og byrådet i byen gennemfører en række initiativer for at mængden øges igen. Studiet oplyser, at der ønskes mere trafiksikkerhed i forhold til cyklister, samt forbedringer af serviceniveauet igennem kryds i byen. Til det formål undersøges tre forskellige teknologier til detektering af cyklister. Der benyttes termisk kamera, almindelig kamera og radarteknologi. I de indledende testforsøg konkluderes det, at alle tre teknologier kan anvendes til at detektere cyklister, samt de kan detektere tilkørsler til kryds og ved stopstregen. Radaren er dog bedre og derfor arbejdes der videre med den. I Dublin benyttes et trafiksystem, som er et koordineret adaptiv trafik system, som er med til at optimere trafik flowet i byen. Systemet opererer i real tid, og justerer på trafiksignaler som respons på den aktuelle trafik og fodgængeres behov. Der er mulighed for sammenkobling mellem kryds, hvilket reducerer forsinkelser og maksimerer kapaciteten.

Herefter benyttes radar teknologien i 12 forskellige kryds til detektering af cyklister. Der opsættes videokameraer til sammenspil med radaren, således data fra radaren kan kvalitetssikres. I de 12 eksisterende kryds er cyklister detekteret med induktionsspoler, men der opleves sommetider problemer med registrering af cyklister. Problemerne består af fejl i detektering af cyklister som ikke passerer tæt nok på spolen, køretøjer som kører over spolerne til cykler, samt spolerne har problemer med at registrere cykler der er lavet af karbon. Mange trafikanter, herunder cyklister, forstår ikke at nogle trafiklys er køretøjsaktivitetsbaseret og de derfor skal krydse detektoren for at blive registreret og der kan blive grønt lys.

Et casestudie foretaget i et af krydsene viser gode resultater ved brug af radar til detektering af cyklister. Forsøget viste at radaren havde en pålidelighed på 90% sammenlignet med manuelle tællinger i krydset. Artiklen skriver det er et tilfredsstillende resultat, og det tyder på radarteknologi er en mere præcis registrering end induktionsspoler. Der er opsat radarteknologi i 12 kryds men det forventes at det øges til 25 kryds i fremtiden, men selvom radarer allerede er udbredte, konkluderer artiklen at, selvom forsøget er lovende, kræves der yderligere undersøgelser til at præcisere metoden og den anvendelse. (Devilly et al., 2019)

2.6.4 Ny og revolutionerende detektering af køretøjer og cyklister

Denne artikel undersøger radars evne til at erstatte induktionspoler, både i forhold til pålidelighed indenfor anmeldelse, forlængelse af grøntid og tælling. På strækningen, der er benyttet i studiet, er der både spoler i vejen og opsat radar i masterne i krydset. Radar har flere fordele end induktionsspoler ifølge artiklen. Induktionsspoler har den ulempe, at de er sårbare over for sporkøring, asfaltarbejde og gravearbejde i kørebaner og fortov. Derimod har radar intet gravearbejde at tage højde for, dvs. de er ikke udsatte i forhold til grave- og asfaltarbejde. Samtidig kan de detektere op til 240 meter alt efter deres indstilling og behov mens de har en høj nøjagtighed i udmåling af afstand, hastighed og spor. Radar har også en præcis detektering og kan adskille de forskellige køretøjstyper fra hinanden samt den kan estimere, hvornår bilisten ankommer til krydset og derved kan afvikle trafikken på en sikker måde. Detekteringen sker ikke kun i en kort periode som med induktionsspoler, men kan fastholde en konfigurérbar tid, oftest på et par minutter, i hele radarens dækningsområde. Studiet viser en god overensstemmelse mellem detektering med induktionsspoler og radar og det er derfor muligt at foretage en detektering svarende til den traditionelle ved brug af radaren. Derudover viser studiet, at der er mulighed for grøntidsforlængelse og afslutning af grøn på en sikker måde. Ved hjælp af radar er det muligt at anvende andre kriterier end induktionsspolerne gør, i forhold til afslutning af grønt. Der kigges derfor på dilemma/valgzonen, hvor det forsøges undgået at der skiftes fra grønt til gul, da det kan være kritisk for den enkelte trafikant (Jakobsen og Knudsen, 2013). I artiklen af (Westhausen, 2017), medgiver den at muligheden for et mere effektivt dilemma/valgzone kan implementeres med brug af radar. Med de nye muligheder vil områdets begyndelse ikke være i en bestemt afstand til krydset, men derimod være en fast tidsmæssig afstand til krydset, afhængig af køretøjets hastighed. Med køretøjets hastighed, kan det således blive muligt at differentiere dilemma/valgzonen og dermed gøre det mere trafiksikkert og med mindre risiko for at programmet løber mod maksimal grøntid, når signalskiftet skifter fra grønt til gul. Ved induktionsspoler, hvor køretøjet ikke kører hurtigt nok mellem de to spoler, vil køretøjet komme unødigt tæt på stoplinjen før den bringes til standsning. Det er ikke kritisk for trafikanten men det er spild af tid for dem. Med radar ville det være muligt at skifte signalet før, idet det ville registrere at køretøjet ikke ville kunne nå hen til stoplinjen, inden der skulle ske et signalskifte. Det medfører en kortere ventetid for trafikanterne, både i den tværgående retning men også for trafikanten som får rødt i den første retning. Det interessante i dette aspekt er, at samme teknologi kan bruges ved detektering af cyklister med radar. Det kan både benyttes til anmeldelse af cyklister samt til forlængelse af grøntid, og dermed prioritere cyklister. (Jakobsen og Knudsen, 2013)

2.6.5 Frederiksberg Kommune - Cykelprioritering i signalregulerede kryds

Frederiksberg kommune ønsker det skal være trygt, trafiksikkert og let at være cyklist i deres kommune. Der ønskes et forbedret flow og fremkommelighed for cyklisterne, så ved hjælp af radar, er der etableret cykelprioritering i fire kryds. I krydsene er der opsat radar som detekterer cyklister på vej hen mod krydset. Radarerne kan forlænge grønttiden for cyklisterne, hvis signalet er ved at skifte til rødt. Cyklisterne kan derved opnå et bedre trafikflow og færre cyklister kommer til at holde for rødt.

Der er dog enkelte problematikker i forhold til om det er trafikstyrede kryds eller samordnede kryds. I trafikstyrede kryds er der ikke store problematikker i forhold til, at forlænge grøntiden for cyklister uden at det får store konsekvenser for den øvrige trafik. I samordnede anlæg skal der derimod findes ekstra grøntid for cyklisterne. Dette kan gøres ved for eksempel at afkorte sideretningens grøntider eller ved at gøre næste omløbstid kortere, for derved at genskabe den oprindelige omløbstid om samordning. Samtidig kan busser og cykler hjælpe hinanden med forlængelse af grøntiden. Mulighederne er forskellige alt efter krydsets størrelse, trafikmængde og hvor meget cykeltrafikken ønskes prioriteret. Frederiksberg kommune er kommet frem til det facit, at etablering af cykelprioritering med radar, har vist sig at have en god effekt for prioriteringen af cyklisters fremkommelighed, uden at indvirkningen på den øvrige trafik er for stor. (Jørgensen og Bjerregaard, 2020)

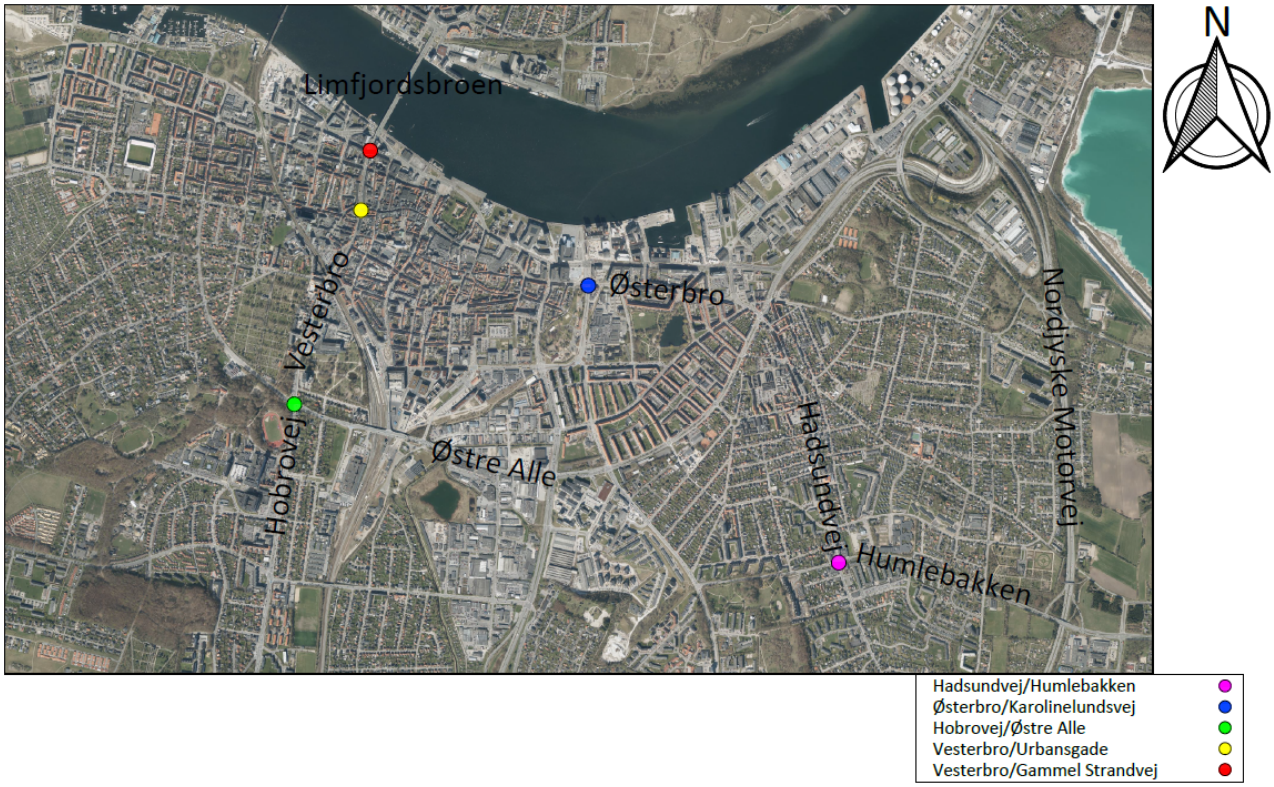
3. Besigtigelse

Formålet med dette projekt er, at undersøge radars evner til at detektere tilkomne cyklister ved et signalanlæg. For at lave disse feltundersøgelser, besigtiges forskellige lokationer i Aalborg og Aarhus. Disse to byer er valgt, grundet deres placering og andelen af cyklister i bymiljøet. Besigtigelserne har til formål at finde de rette lokationer til feltundersøgelserne, således data fra undersøgelserne er brugbare til vurdering af detektorens evner. Fokus ved disse besigtigelser er, at observere cyklister i signalanlæggene, vurdere intensiteten af ankomsten af cyklister og generelt se udformningen af signalanlægget. For at lokationerne kan være brugbare til feltundersøgelserne, kræver det en varieret ankomst af cyklister og udformningen af signalanlægget passer til radar opsætning. Dette er ønsket, grundet der kan undersøges for forskellige cyklist mængder og præcisionen af udstyret kan undersøges.

Under normale omstændigheder vil det være forholdsvis let at finde brugbare lokationer, til at lave feltundersøgelserne ved. Dog grundet COVID-19, lukning af samfundet og specielt uddannelsesinstitutioner, er det noget sværere at finde signalanlæg, som passer til kriterierne for feltforsøgene. I Aalborg er der flere cykelruter, der leder ud til Aalborg Universitets campus. Normalvis benyttes ruten af mange cyklister, specielt om morgenen, men grundet nedlukningen af universitetet, er mængden af cyklister ved disse kryds nedsat. Efter en samtale med Aalborg kommune er der udset nogle kryds, der stadig kan være aktuelle at besigtige.

3.1 Aalborg

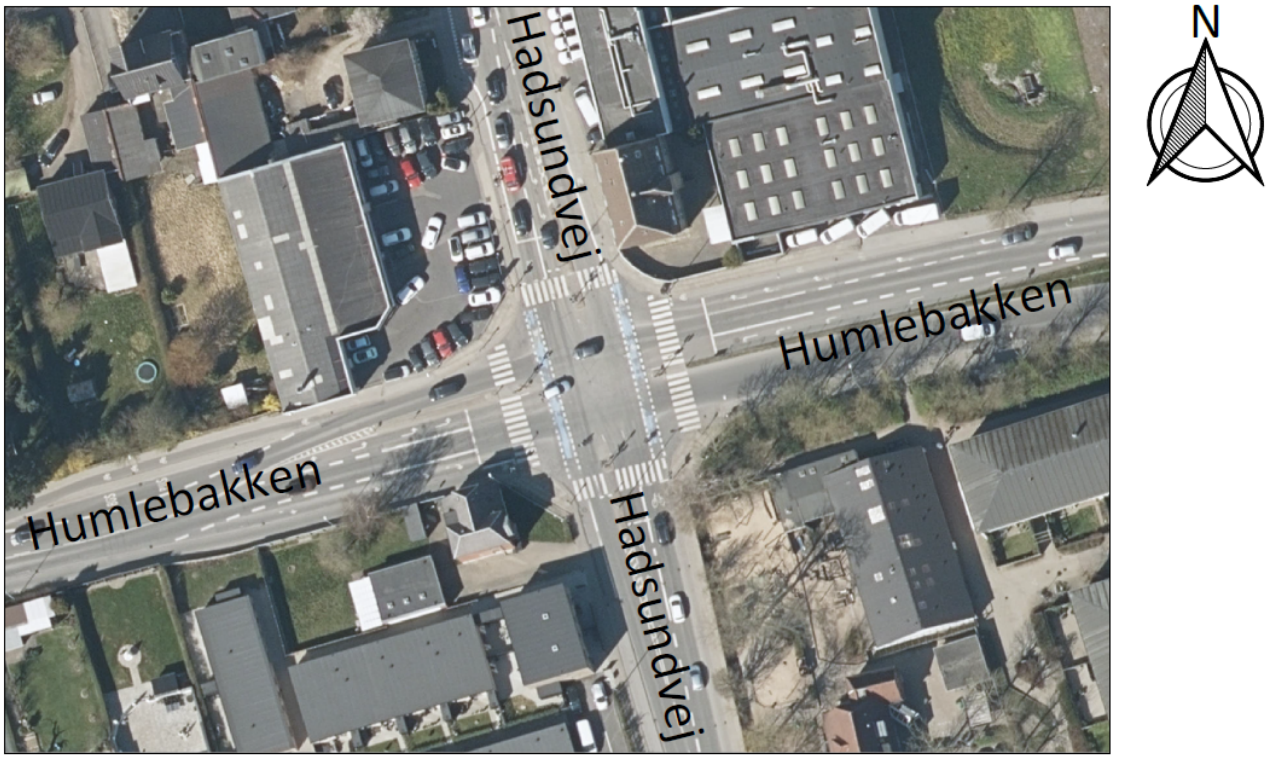
I Aalborg er der lavet besigtigelser af fem forskellige kryds, der er valgt i samråd med Aalborg kommune. De fem valgte kryds fremgår af figur 3.1.



Figur 3.1: Placering af kryds til besigtigelsen i Aalborg.

Hadsundvej/Humlebakken

Det første kryds er krydset mellem Hadsundvej og Humlebakken. Dette kryds er placeret på en af cykelruterne til Aalborg Universitets campus og under normale forhold benytter mange cyklister denne rute og større mængder samles ved dette signalanlæg. På trods af COVID-19's indvirkning, vælges det stadig at undersøge om krydset er brugbart. Besigtigelsen er lavet tirsdag d. 23/3-2021 kl 07.00 til 08.15. Det er valgt at kigge i morgenspidstimen, grundet det normalt er på dette tidspunkt mængden af cyklister er størst. Af figur 3.2 fremgår et satellitfotografi af krydset Hadsundvej og Humlebakken.



Figur 3.2: Satellitfotografi af krydset Hadsundvej og Humlebakken.

Ud fra besigtigelsen fremgår det tydeligt, at cykelruten er mindre benyttet end under normale omstændigheder. Der er forholdsvis få cyklister på hele Hadsundvej-strækningen og ligeledes i signalanlægget, hvor der maksimalt holder fire cyklister og venter på grønt signal. Dette er generelt for alle retninger i signalanlægget.
Efter den delvise genåbning af Danmark er krydset besigtiget igen. Denne gang er mængden af cyklister større end første gang og de ankommer i større grupper. Af den grund vurderes krydset brugbart til yderligere feltforsøg til indsamling af data.

Østerbro/Karolinelundsvej

Krydset mellem Østerbro og Karolinelundsvej er et kryds placeret centralt i Aalborg. Krydset leder Karolinelundsvej til og fra Havnefronten mens Østerbro leder henholdsvis til centrum og Vejgaard, og derved generer krydset en forholdsvis stor mængde trafik. Ydermere er krydset placeret på en central cykelrute fra Øgadekvarteret og Vejgaard mod byens centrum og gågade. Af figur 3.3 fremgår et satellitfotografi af krydset.

Figur 3.3: Satellitfotografi af krydset Østerbro og Karolinelundsvej.

Besigtigelsen er foretaget d. 14/4-2021 kl 7.00 til 8.00. Ved besigtigelsen er der observeret mindre cyklistmængder, med enkelte grupper af cyklister, på tre til seks cyklister, i fuld stilstand ved signalanlægget. Det vurderes, at krydset ikke er ideelt til feltundersøgelserne.

Hobrovej/Østre Alle

Krydset mellem Hobrovej og Østre Alle er et forholdsvis stort kryds, der forbinder Aalborg centrum, Aalborg syd og Østre Alle, der forløber omkring Aalborg centrum. Derved er der mange trafikanter som benytter dette signalanlæg, også fordelt på flere forskellige transportmidler. Et satellitfotografi af krydset fremgår af figur 3.4.

Figur 3.4: Satellitfotografi af krydset Hobrovej og Østre Alle.

Besigtigelse er udført torsdag d. 25/3-2021 kl 7.00 til 8.30 i morgenspidstimen. Morgenspidstimen er valgt, grundet signalanlægget er placeret på en rute mellem arbejdspladser og skoler. Ud fra besigtigelsen fremgår det, at mange cyklister stadig benytter dette signalanlægget, på trods af COVID-19. Derved er der forholdsvis mange cyklister i hele krydset, specielt fra Hobrovej i sydgående retning og Østre Alle i vestgående retning. Af figur 3.5 fremgår et billede fra besigtigelse, hvor der ses flere cyklister der lige har fået grønt signal.

Figur 3.5: Foto fra besigtigelse ved krydset Hobrovej/Østre Alle.

Ud fra besigtigelsen vurderes det, at signalanlægget kan benyttes til feltundersøgelserne. Under besigtigelsen er der observeret større grupper cyklister der ankommer til signalanlægget, hvilket er ideelt til undersøgelserne.

Vesterbro/Urbansgade

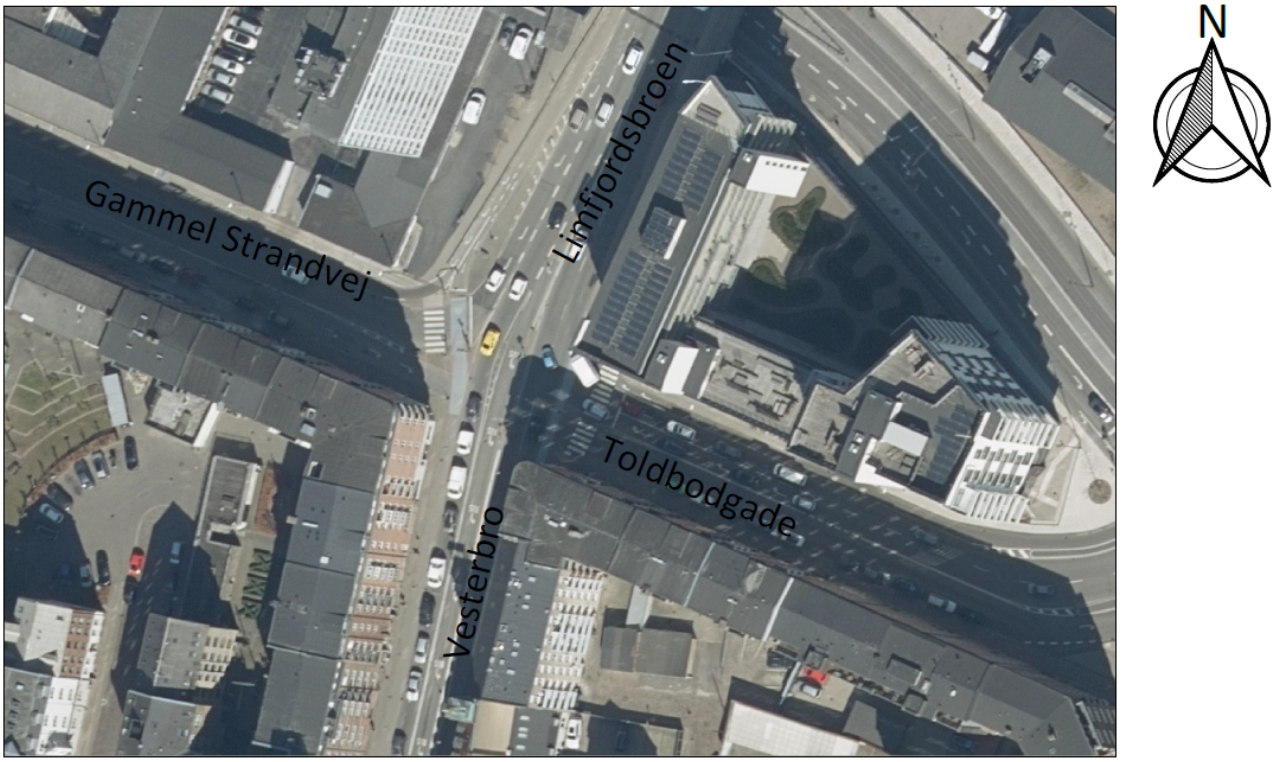
Krydset mellem Vesterbro og Urbansgade er placeret på strækningen mod Limfjordsbroen. Derved er det et kryds der bliver benyttet af trafikanter til og fra Nørresundby, der benytter Limfjordsbroen til at krydse Limfjorden. Krydset er valgt til besigtigelse ud fra anbefaling fra Aalborg kommune, der vurderer at dette kryds kan være aktuelt til feltundersøgelserne. Krydset fremgår af et satellitfotografi af figur 3.6.

Figur 3.6: Satellitfotografi af krydset Vesterbro og Urbansgade.

Besigtigelsen er foretaget i morgenspidstimen onsdag d. 24/3-2021, og er lavet sideløbende med besigtigelsen ved Vesterbro/Gammel Strandvej. Ud fra besigtigelsen er det vurderet, at mængden af cyklisterne i krydset er minimal og krydset ikke er ideelt til feltforsøget.

Vesterbro/Gammel Strandvej

Krydset mellem Vesterbro og Gammel Strandvej er placeret ved Limfjordsbroens landing, på Aalborg siden. Det er det første kryds efter Limfjordsbroen og derved kommer alle trafikanter, der krydser Limfjordsbroen, igennem dette kryds. Ud fra dette er krydset valgt til en besigtigelse. Krydset fremgår af et satellitfotografi af figur 3.7



Figur 3.7: Satellitfotografi af krydset Vesterbro og Gammel Strandvej.

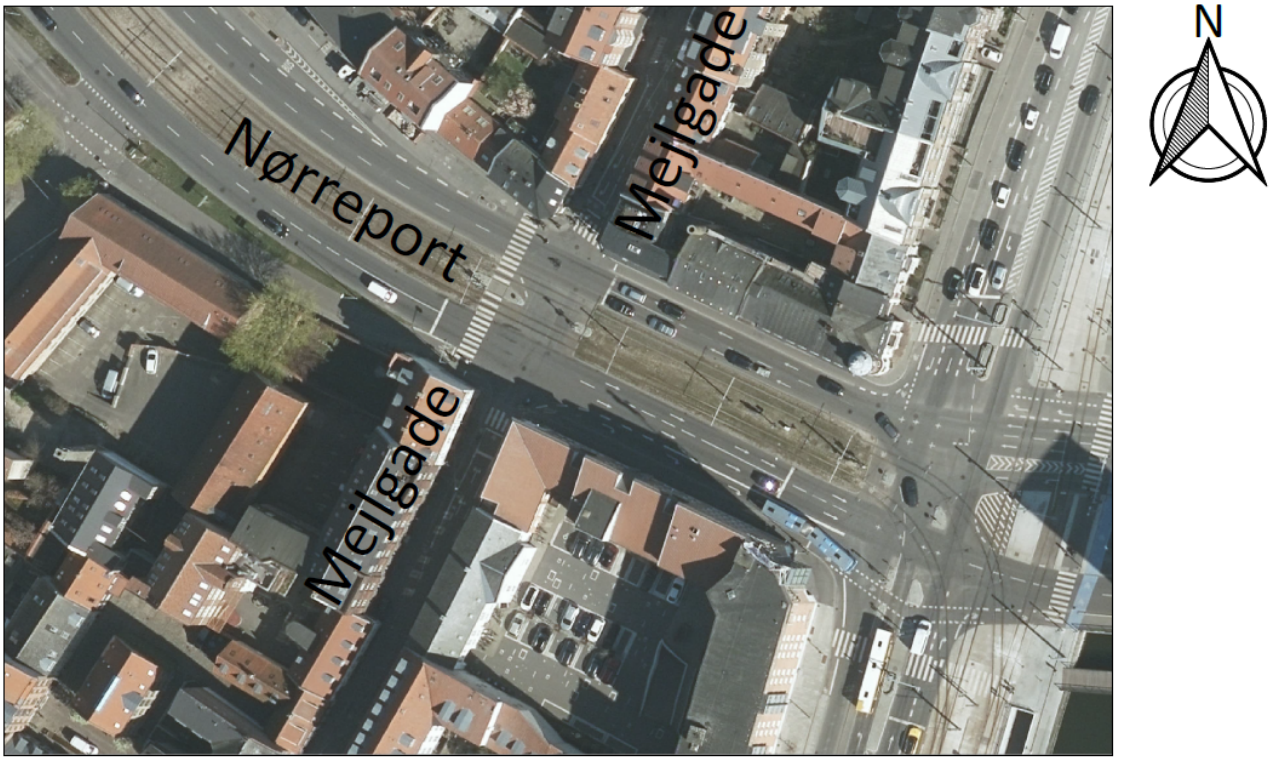
Det vurderes ved dette kryds, at det ikke er ideelt til feltundersøgelserne. Dette er vurderet ud fra udformningen af signalanlægget og mængden af cyklister der benytter krydset.

3.2 Aarhus

I Aarhus er der lavet besigtigelse af et kryds. Dette kryds er diskuteret i sammenråd med ATS (Advanced Traffic Systems), der fortalte om udformningen af signalanlægget og potentialet krydset har til feltundersøgelserne. Krydsets placering fremgår af figur 3.8

Figur 3.8: Placering af kryds ved besigtigelsen i Aarhus.

Det valgte kryds til besigtigelse i Aarhus, er krydset mellem Nørreport og Mejlgade. Krydset er placeret nær Kystvejen i et område med forholdsvis meget trafik. Nørreport er en vej der udløber fra Randersvej og Nørrebrogade, der begge er fordelingsveje. Mejlgade er primært en cykelgade, med få bilister der benytter den. Derved bliver Mejlgade benyttet af forholdsvis mange cyklister, til at komme til og fra centrum, i nord- og sydgående retning. Et satellitfotografi af krydset Nørreport og Mejlgade fremgår af figur 3.9



Figur 3.9: Satellitfotografi af krydset Mejlgade og Nørreport.

Besigtigelsen er udført fredag d. 26/3-2021 kl 7.00-8.30 i morgenspidstimen. Ud fra besigtigelsen fremgår det, at en tilstrækkelig mængde cyklister benytter dette signalanlæg i morgenspidstimen. Der er flere gange i spidstimen observeret større mængder cyklister ankomne til signalanlægget. Derved vurderes det, at signalanlægget er ideelt til feltundersøgelsen. Af figur 3.10 fremgår et billede fra besigtigelsen, hvor der ses flere cyklister der afventer grønt signal. Krydset er dog valgt fra grundet manglende tilbagemelding fra Aarhus kommune i forhold til at måtte benytte deres kryds til undersøgelse.

Figur 3.10: Foto fra besigtigelse ved krydset Mejlgade/Nørreport.

4. Feltforsøg

For at undersøge kvaliteten af trafikdata der kan indsamles fra radar, udføres der feltforsøg. Målet med feltforsøgene er at undersøge præcisionen af radar til detektering af cyklister. Indledningsvist laves testforsøg, for at sikre kalibrering af radar er korrekt, således udstyret virker bedst muligt under feltforsøgene.

4.1 Udstyr

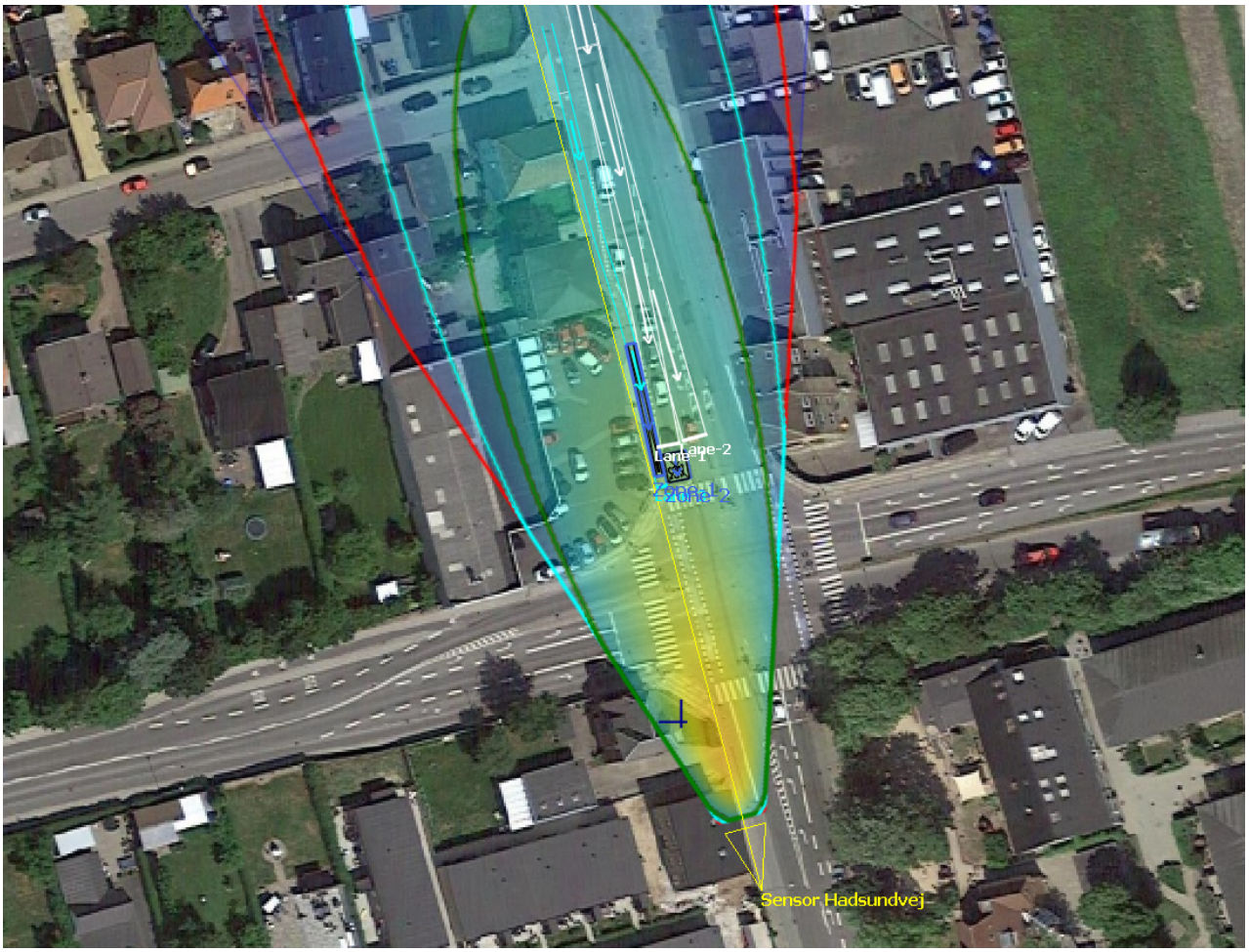
Udstyret der benyttes til forsøgene er bestående af en radar og et kamera. Kameraet benyttes til at få et billede af de trafikale situationer. Der er ikke været specifikke krav til kameraet, udover at det skal kunne filme i minimum en time og 15 min uafhængigt af vejrforhold og kunne monteres sammen med radaren. Derfor er der valgt et actionkamera, der giver et tilfredsstillende billede af de trafikale situationer og kan holde til de skiftende vejrforhold.

Radaren der er benyttet, i projektet, er fra producenten Smartmicro og modellen hedder UMRR-0C Type 40. Modellen er en universal mellem rækkevidde radar, der ikke nødvendigvis er specificeret til detektering af cyklister. Det er dog muligt at opsætte radaren til kun at detektere cykler. Modellen er lånt af Aalborg universitet, hvor opsætningsstativ er fastsat radaren. Ligeledes blev der lånt et bilbatteri, for at sikre strømtilførelse til radaren under forsøgene.

4.2 Testforsøg

Der foretages forskellige testforsøg med udstyret. Dette gøres for at sikre kalibreringen af udstyret er korrekt og for at få forståelse for korrekt opsætning.

Det første testforsøg fortages i krydset ved Hadsundvej og Humlebakken i tidsrummet mellem kl. 06.30 og 08.30, d. 12/4-2021, da det vides fra besigtigelsen, at der er cyklister på strækningen i dette tidsrum. Radaren opsættes først i programmet TMConfigurator, således opsætningen passer til placeringen i krydset, dette gøres inden selve testforsøget. Radaren er ved dette testforsøg opsat i 2,8 meters højde, med en vertikal vinkel på -2 grader, derefter er den horisontale vinkel indstillet således, at radaren peger direkte mod cykelbanen. Af Appendix A fremgår en guide til hvordan en generel opsætning i TMConfigurator forløber. Af figur 4.1 fremgår den færdige omsætning af radaren i TMConfigurator. Opsætningen af radaren i konfigurationsprogrammet, er lavet så specifik som muligt, således det passer med den reelle opsætning af radaren i krydset.



Figur 4.1: Den færdige opsætning af radar i Smartmicro's konfigureringsprogram, TMConfigurator, ved første testforsøg.

Målet med testforsøget er, at undersøge om radaren detekterer trafikken korrekt, lagring af data fungerer og om sammenspil med videooptagelse virker. Grundet batteriproblemer med computeren blev testforsøget stoppet kl 07.15, derved lykkes det ikke at undersøge alle punkter. Detektering af trafik og ligeledes kalibrering af radar lykkedes, hvor det fremgår af TMConfigurator, at radaren detekterer trafikanterne med en acceptabel præcision. Konklusionen på det første testforsøg er, at selve opsætningen af radar, sammenspil med TMConfigurator og detektering virker efter hensigten. Derved mangler der test af datadumper (notering af detekteringer) og test af sammenspil mellem radardata og videodata.

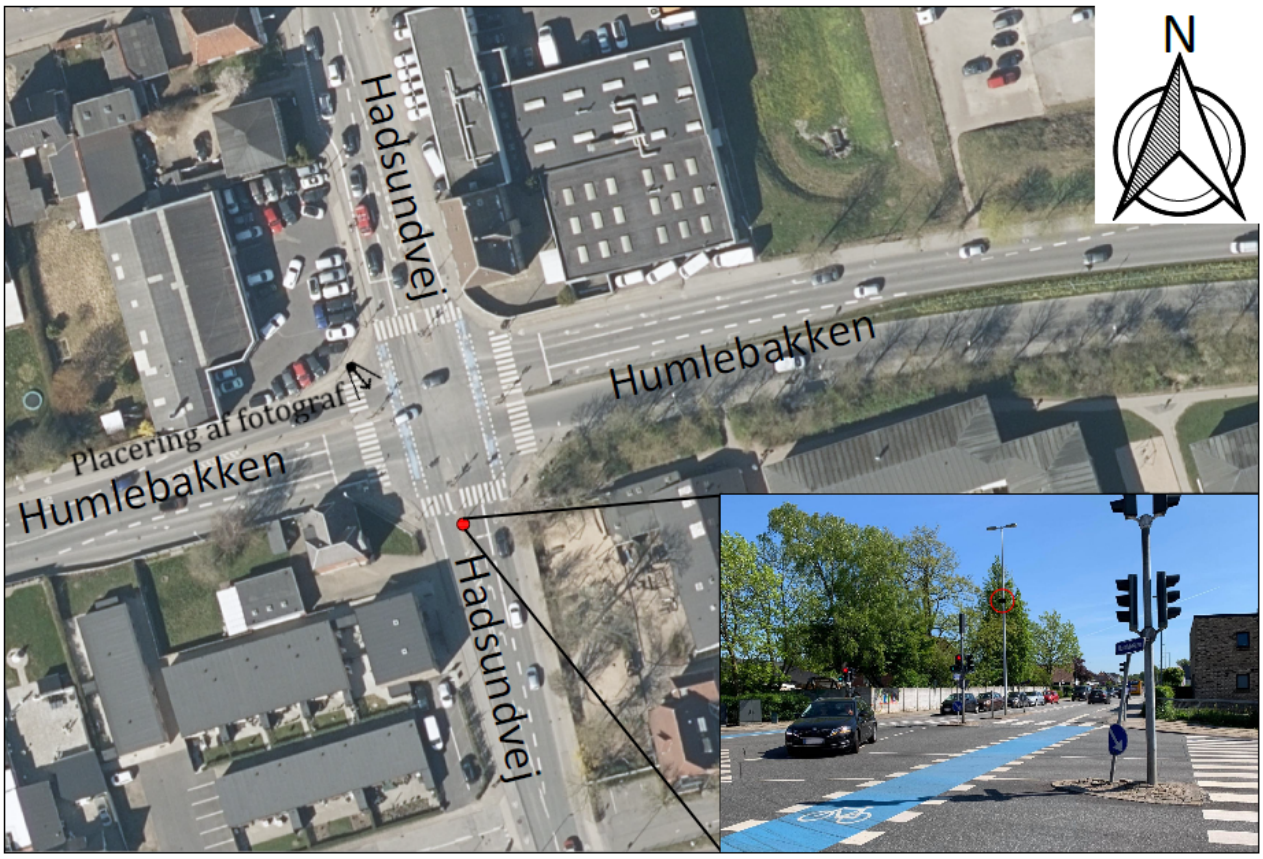
Det andet testforsøg udføres på samme lokation, som det første testforsøg. Af nye tiltag vælges det, at medbringe en omformer til bilbatteriet, således der kan sikres strøm til radar og computer under hele forsøget. Opstilling af testforsøget bliver lignende det første, dog med ændring i højden af radarens

placering. Ved det første forsøg er radaren placeret i 2,8 meters højde, og ved det andet forsøg er radaren placeret i fem meters højde.

Det andet testforsøg forløber bedre end det første testforsøg. Ved forsøget lykkes det at registrere trafikanter og få noteret data til en csv-fil, hermed at få lagret data fra målingerne. Ud fra dette testforsøg vurderes det, at der kan påbegyndes reelle feltforsøg, da registrering og lagring af data virker efter hensigten.

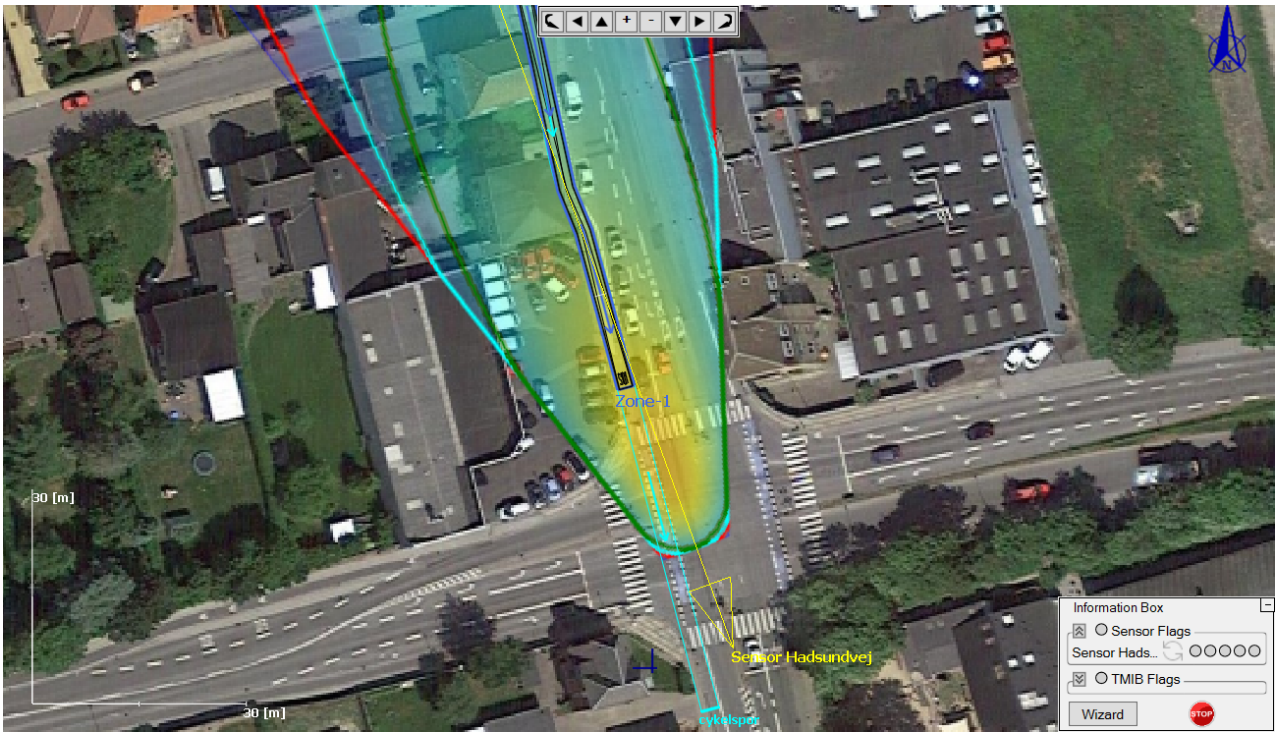
4.3 Første feltforsøg

Det første feltforsøg bliver udført i samme kryds som testforsøgene, Hadsundvej/Humlebakken. Ved udførelsen af det første feltforsøg, er der lavet nogle ændringer i opsætningen. Radaren er flyttet tættere på krydset og ud mellem køresporerne, for derved at få bedre udsyn til detektering af cyklisterne. Radaren er opsat i fem meters højde, med en vertikal vinkel på -2 grader og den horisontale vinkling er mod cykelbanens stoplinje. Radaren er opsat i en lysmast, ved et helleanlæg, dette fremgår af figur 4.2.



Figur 4.2: Krydset Hadsundvej/Humlebakken og radarens placering ved første feltforsøg.

Inden opsætningen af selve feltforsøget, er opsætningen i TMConfigurator fuldendt, således radar position og registreringsfelt er fastsat. Opsætningen i konfigurationsprogrammet udføres med stor præcision, for at få bedst mulige resultater for selve dataregistreringen. Her er der specielt fokus på, højde, vinkel, tid og indlægning af registreringsområder, da dette er grundlaget for kvaliteten af dataregistreringen. I konfigurationsprogrammet indsættes et registreringsspor, som følger cykelstien langs Hadsundvej, dette spor definerer registreringsområdet. Af figur 4.3 fremgår radarens placering og registreringsområde, efter fuldendt opsætning i konfigurationsprogrammet.



Figur 4.3: Den færdige opsætning af radar, ved første feltforsøg, i TMConfigurator.

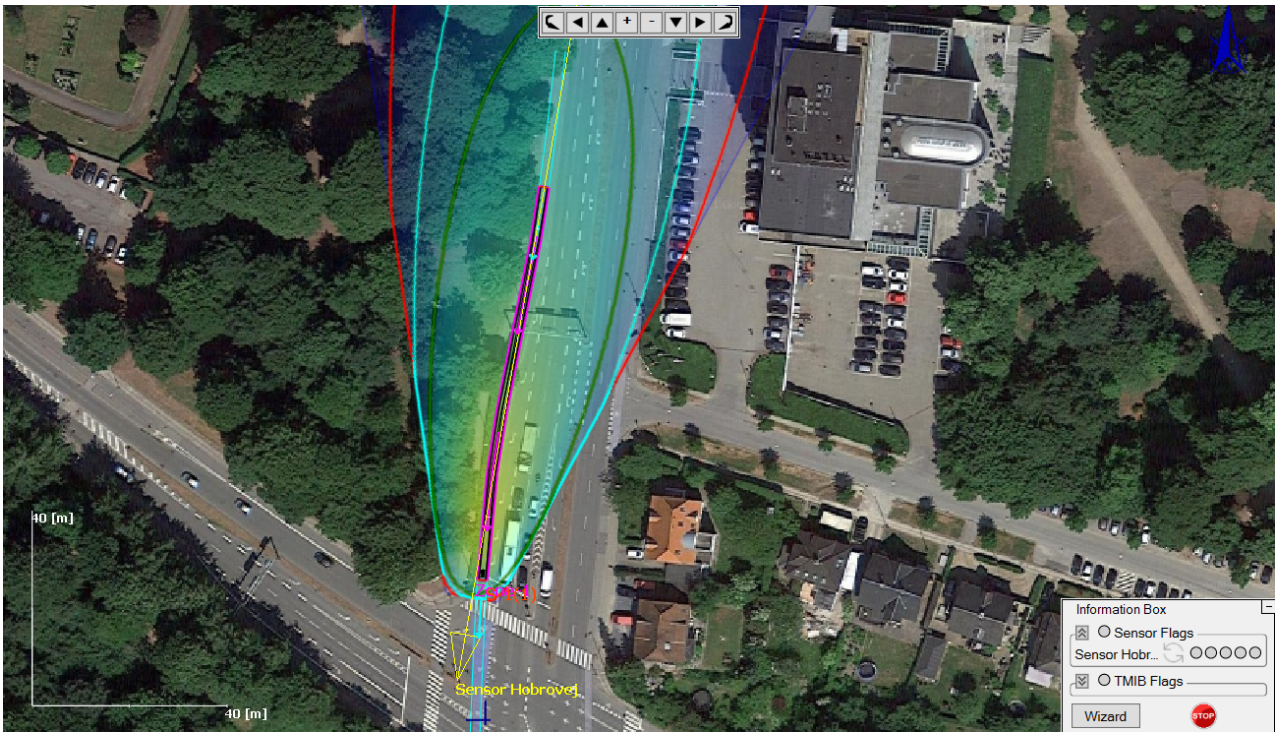
Feltforsøget er udført mandag d. 3 Maj 2021, klokken 07:10 til 08:10, i skiftevis småregn og tørvejr. Under selve forsøget er cyklistmængden nogenlunde lignende den ved testforsøgene, derved ideelt til feltforsøget. Konklusionen på det første feltforsøg er, at forsøget forløb uden store problemer og kan benyttes til databehandling.

4.4 Andet feltforsøg

Det andet feltforsøg er udført i krydset Hobrovej/Østre Alle. Ud fra besigtigelsen, der er lavet i dette kryds, er der udset nogle positioner, hvor radar og kamera kan opsættes. Her er der valgt en signalmast, placeret ved et helleanlæg, med godt udsyn til de ankommende cyklister fra Hobrovej fra nord. Af figur 4.4 fremgår krydset Hobrovej/Østre Alle, og billede af signalmast med opsat radar.

Figur 4.4: Krydset Hobrovej/Østre Alle og placering af signalmast til opsætning af radar ved andet feltforsøg.

Opsætningen af radaren er ligeledes lavet i TMConfigurator, således det passer til lokation og krydset. Ved dette kryds er det valgt at detektere mod Hobrovej nord, da besigtigelsen viser, at cyklistmængden og ankomstraten passer til kriterierne for feltforsøget. Da der ikke er nogle faste sigthindrende genstande mellem radarens position og cyklisterne, vælges det at placere radaren i 4,4 meters højde, med en vertikal vinkel på -2 grader, og vinklet horisontalt direkte mod cykelstien. Registreringszonen er placeret således den følger cykelstien fra stoplinjen og 75 meter videre langs cykelstien, for derved at registrere de tilkommende cyklister. Af figur 4.5 fremgår fuldendt opsætning af radaren i programmet TMConfigurator.

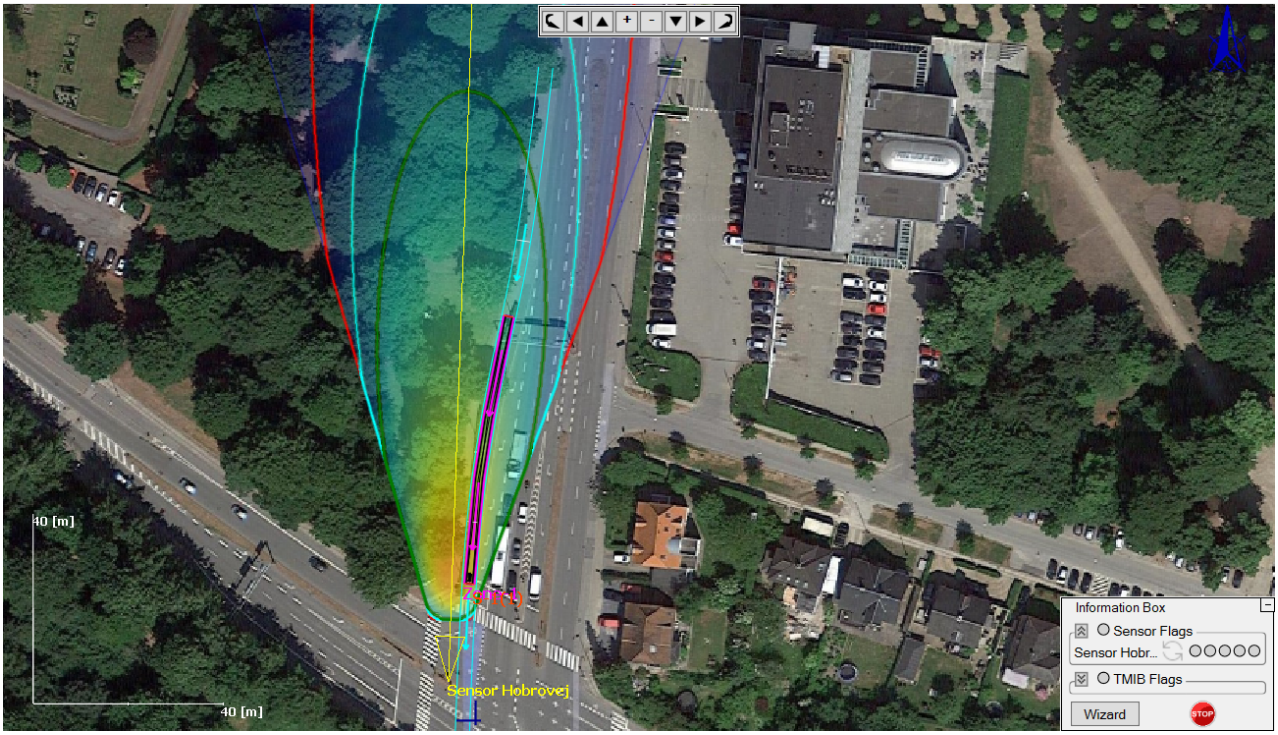


Figur 4.5: Den færdige opsætning af radar, ved andet feltforsøg, i TMConfigurator.

Feltforsøget er udført onsdag d. 12 Maj 2021, klokken 07:10 til 08:10, i konstant regnvejr. Ved feltforsøget er cyklistmængden nogenlunde ens med besigtigelsen, trods regnen. Konklusionen på det andet feltforsøg er, at feltforsøget er brugbart og kan benyttes til databehandling.

4.5 Tredje feltforsøg

Lokationen for det tredje feltforsøg, er den samme som ved andet feltforsøg, lokationen fremgår derved af figur 4.4. Opsætningen ved det tredje feltforsøg, er nogenlunde ens med det andet feltforsøg, dog med en mindre justering af radarens opsætning, ud fra erfaringerne fra det andet feltforsøg. Ændringerne der er foretaget mellem andet og tredje feltforsøg er radarens horisontale vinkel mod cykelstien og vertikale vinkel. Radaren er ved dette feltforsøg vendt nærmest direkte mod nord, for derved at mindske mængden af bilister i registreringsfeltet. Yderligere er radarens vertikale vinkel ændret fra -2 grader til -5 grader. Ud fra disse ændringer, bliver registreringsområdet og registreringszonen derved ændret. Registreringszonen forløber dermed fra stoplinjen og 57 meter videre langs cykelstien. Af figur 4.6 fremgår den fuldendte opsætning af radaren, ved tredje feltforsøg, i programmet TMConfigurator.



Figur 4.6: Den færdige opsætning af radar, ved tredje feltforsøg, i TMConfigurator.

Feltforsøget er udført onsdag d. 19 Maj 2021, klokken 07:10 til 08:10, i solskin. Mængden af cyklister ved det tredje feltforsøg er nogenlunde ens med det andet feltforsøg. Konklusionen af det tredje feltforsøg er, at optagelserne og radar registreringerne er brugbare og kan benyttes til databehandling.

5. Dataanalyse

Dataanalyse omhandler tre hovedpunkter, en beskrivelse af hvordan selve håndteringen af data inden data analyse foregår, dernæst selve analysen af målt data og sidst sammenholdning af resultater.

5.1 Datahåndtering inden analyse

Som beskrevet i kapitlet 4, er der lavet feltforsøg i to udvalgte kryds. Ved feltforsøget er der lavet registrering med radar og ligeledes er trafikken videooptaget, i radarens registreringsområde. Formålet med registrering både med kamera og radar er, at kunne sammenligne registreringerne fra radaren med de reelle cyklistmængder, og at transformere radar registreringerne over på video. Metoden med at transformere radar registreringer over på videobillede er undersøgt af Rasmus Øhlenschlæger i hans kandidatspeciale kaldet "Metodeudvikling til udvidet Site Acceptance Test af SmartMicro Radar"(Øhlenschlæger, 2019). I dette speciale bliver det undersøgt og beskrevet, hvordan radar data kan plottes på videooptagelser, og derefter kan benyttes til analyse og verificering af radar data. Metoden beskrevet i Rasmus Øhlenschlægers kandidatspeciale er derved benyttet til analyse af radar data i dette projekt.

Metoden for dataanalysen foregår ved hjælp af python og FFmpeg, der gør det muligt at transformere koordinaterne over på videobillederne. Processen bag dette indebærer først at lave videooptagelserne om til individuelle billeder, hertil er benyttet FFmpeg, hvor der vælges, hvor mange billeder der skal være pr. sekund video. Videooptagelser er optaget med 30 billeder pr. sekund, men da det er for omfangsrigt at have 30 billeder pr. sekund ændres dette til et billede pr. sekund. Derved haves der et billede pr. sekunds videooptagelse, hvilket er tilstrækkeligt til den videre vurdering af radar optagelserne. Dernæst importeres csv-datafilen og billeder til en mappe tilgængelig fra Python scriptet. Af appendix B fremgår scriptet benyttet til datahåndtering i dette projekt og af figur C.3 på side 81 i appendix C, er der et udklip af en CSV-fil fra et af feltforsøgene. I Python scriptet tilføjes der først en ny kolonne til csv-filen, unix-tidspunkt, der haves allerede en tidshorisont, angivet i millisekunder, i csv-filen og der tilføjes så en kolonne der indikerer unix tid, for derved bedst muligt at synkronisere billederne med csv-data. Dernæst specificeres radarens UTM32N koordinator og vinkel. Dette gøres for at kunne transformere radar koordinaterne til UTM32N koordinator. Ud fra den angivne radar position og vinkel, tilføjes der to nye kolonner, X-UTM og Y-UTM, hvor radarens registreringer bliver transformeret til UTM32N koordinater.

Dernæst skal UTM32N- og pixel-koordinator for billederne homogeniseres. Dette gøres ved at opsætte nogle faste punkter, her er valgt otte punkter, hvor der fastsættes UTM32N koordinat for punkterne udført i Qgis og pixel-koordinat på billederne, hvor billedredigeringsprogrammet Gimp benyttes. Dette fremgår ligeledes af figur C.1 på side 79 og figur C.2 på side 80 i appendix C. Derved haves der en korrelation mellem pixel-koordinat på billederne og UTM32N-koordinat på lokationen. Ud fra dette laves der yderligere to nye kolonner, X-cam og Y-cam, der definerer radarens x- og y-koordinator som

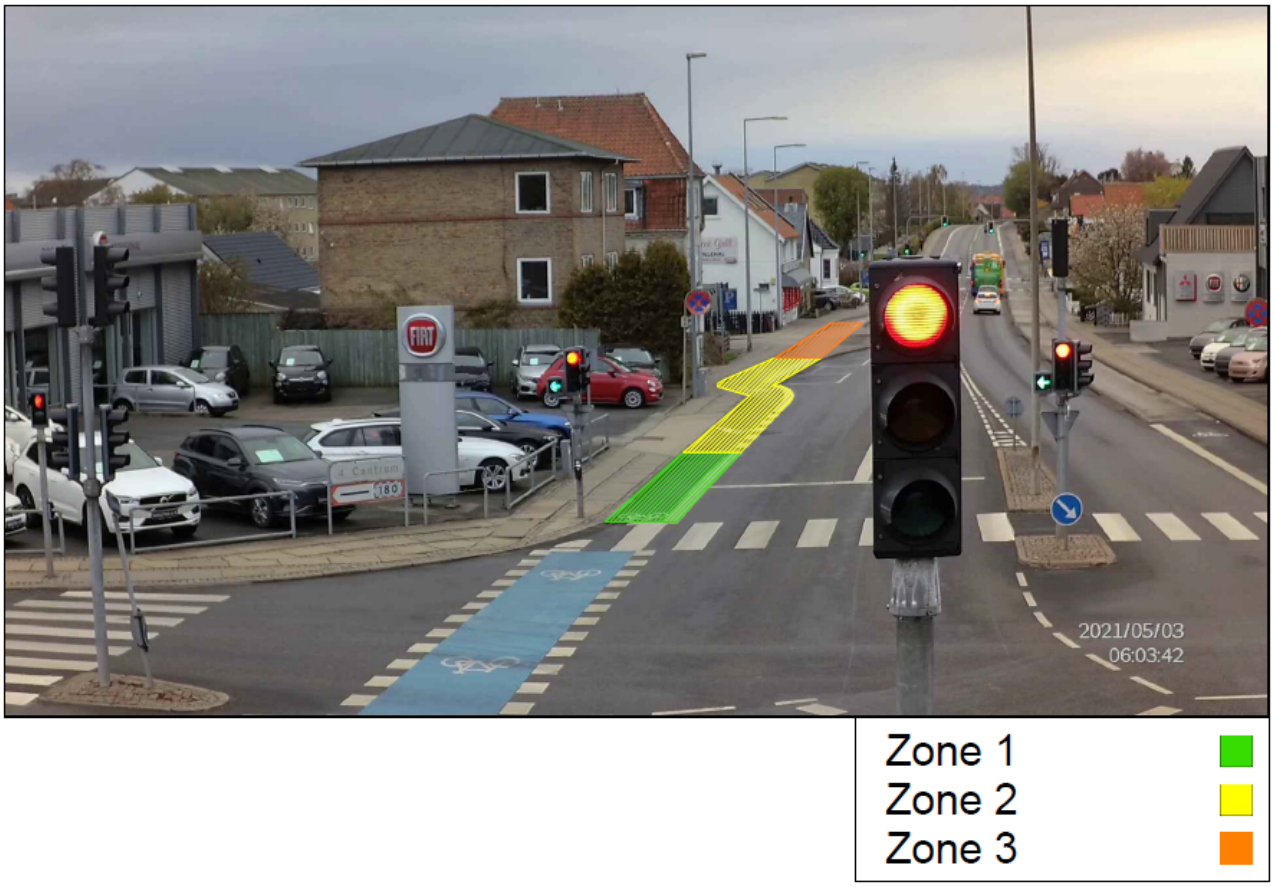
pixel-koordinator. Derved er radarens originale målinger transformeret over på et koordinatsystem, der passer til videooptagelsens billeder.

Efter dette er gjort, opsættes et starttidspunkt i unix tid og det angives, hvor mange nye billeder der skal laves pr. sekund, her vælges ligeledes et billede pr. sekund. Python scriptet plotter dernæst koordinaterne ud fra tidspunkt og de transformerede koordinator på billederne, og derved haves radar registreringerne på billederne. Til sidst benyttes FFmpeg til at lave billederne om til video igen og derefter haves der en video, med radar registreringerne til analyse. En mere uddybet beskrivelse af fremgangsmåden og Python script fremgår af Rasmus Øhlenschlægers Kandidatspeciale (Øhlenschlæger, 2019).

For at bearbejde den registrerede data fra det færdige videomateriale, så inddeles registreringerne i flere forskellige kategorier, hvorefter de noteres. Kategorierne er: Objekt ID, falsk positiv, Udenfor zonerne, zone 3, zone 2, zone 1, cykler og falsk negativ. Kategorierne har til formål at definere den aflæste data, således den kan bearbejdes. Objekt ID definerer det ID en registrering har fået, og hvis et objekt har fået flere ID, så kan det ligeledes defineres herved. Falsk positiv indikerer en registrering af radaren, der er falsk, derved at der ikke er nogen cyklist, men radaren har alligevel noteret en registrering. Udenfor zonerne og de tre zoner, indikerer forløbet for objekt ID'erne, derved hvilke zoner de er noteret i og om de forsvinder i enkelte zoner. Kategorien "cykler"definerer blot objektet der er registreret, ved falsk positiv noteres derved intet i denne kategori. Kategorien falsk negativ benyttes til at notere de cyklister, der ikke bliver registreret af radaren. Det samlede data bearbejdes dernæst således datasættet kan analyseres.

5.2 Dataanalyse af første feltforsøg

Efter der er lavet den indledende databehandling på data fra feltforsøget, kan det færdige videomateriale analyseres. Cykelstien frem til signalanlægget inddeles i tre zoner, formålet med disse zoner er at definere, hvilke zoner cyklisterne bliver registreret i og om de mister registreringen i en eller flere zoner. Af figur 5.1 fremgår zoneinddelingen for det første feltforsøg.



Figur 5.1: Inddeling af zoner til analyse af første feltforsøg. Billedet er fra selve videooptagelsen.

Fra radarens placering til stopstregen for cyklister er der 35 meter. Zone 1 strækker sig i intervallet 35-45 meter fra radarens placering. Zone 2 strækker sig fra 45-73 meter, hvilket svarer til et detekteringsområde på 28 meter. Zone 3 strækker sig fra 73-102 meter, hvilket er et detekteringsområde på 29 meter. Det relevante bearbejdede data, fra datasættet, sættes på tabelform og fremgår af tabel 5.1.

Antal noteringer	Mængde	Andel
Antal korrekte noteringer	254	83%
Antal falsk positive noteringer	53	17%
Antal noteringer total	307	100%
Objekt ID fordeling for registrerede cykler		
Antal cykler noteret med singulær ID	75	51%
Antal cykler noteret med 2 forskellige ID	45	31%
Antal cykler noteret med 3 forskellige ID	19	13%
Antal cykler noteret med 4 eller flere forskellige ID	7	5%
Antal cykler noteret af radar	146	100%
Zone placering for falsk positive		
Antal falsk positive noteret kun udenfor zonerne	29	55%
Antal falsk positive noteret kun i zone 3	0	0%
Antal falsk positive noteret kun i zone 2	8	15%
Antal falsk positive noteret kun i zone 1	9	17%
Antal falsk positive noteret i mere end en zone	7	13%
Totale antal af falsk positive	53	100%
Zone placering for registrerede cyklister		
Cyklister kun noteret i zone 3	0	0%
Cyklister kun noteret i zone 2	8	5%
Cyklister kun noteret i zone 1	64	44%
Cyklister noteret i zone 1 og zone 2	74	51%
Antal cyklister noteret af radar	146	100%
Radar registrerede cyklister og falsk negative noteringer		
Antal cyklister noteret af radar	146	77%
Antal cyklister ikke noteret af radar	44	23%
Total antal cyklister	190	100%

Tabel 5.1: Tabel over resultater for første feltforsøg.

Ud fra tabel 5.1 fremgår det, at radaren har lavet 307 registreringer, ud af dem er 254 af registreringerne korrekte og 53 af dem er falsk positive, derved er 83% er registreringerne korrekte.

Ud fra objekt ID fordelingen, fremgår det at 75 af de 146 registrerede cyklister, er registreret med singulær ID. Derved har 75 af cyklisterne, svarende til 51% blot haft et ID i alt den tid, de er registreret af radaren. Det fremgår ligeledes, at 45 af de registrerede cyklister har fået tildelt to forskellige ID i det forløb, hvor radaren har registreret dem, svarende til 31%. 19 cyklister har fået tildelt tre forskellige objekt ID af radaren og syv cyklister har fået tildelt fire eller flere forskellige objekt ID i forløbet, hvor radaren har registreret dem. Derved blev størstedelen af cyklisterne registreret med blot et objekt ID.

Af tabellen fremgår ligeledes zonefordelingen af de falsk positive, hvor det fremgår at størstedelen er registreret udenfor zonerne, 29 hvilket svarer til 55% af alle falsk positive. I zone 3 er der registreret 0 falsk positive, i zone 2 er der registreret 8 falsk positive og i zone 1 er der registreret 9. Derved er størstedelen af de falsk positive registreret udenfor zonerne. Ligeledes fremgår det, at 7 af de falsk positive, svarende til 13%, er registreret i mere end en zone, derved er de registreret af radaren i en længere periode.

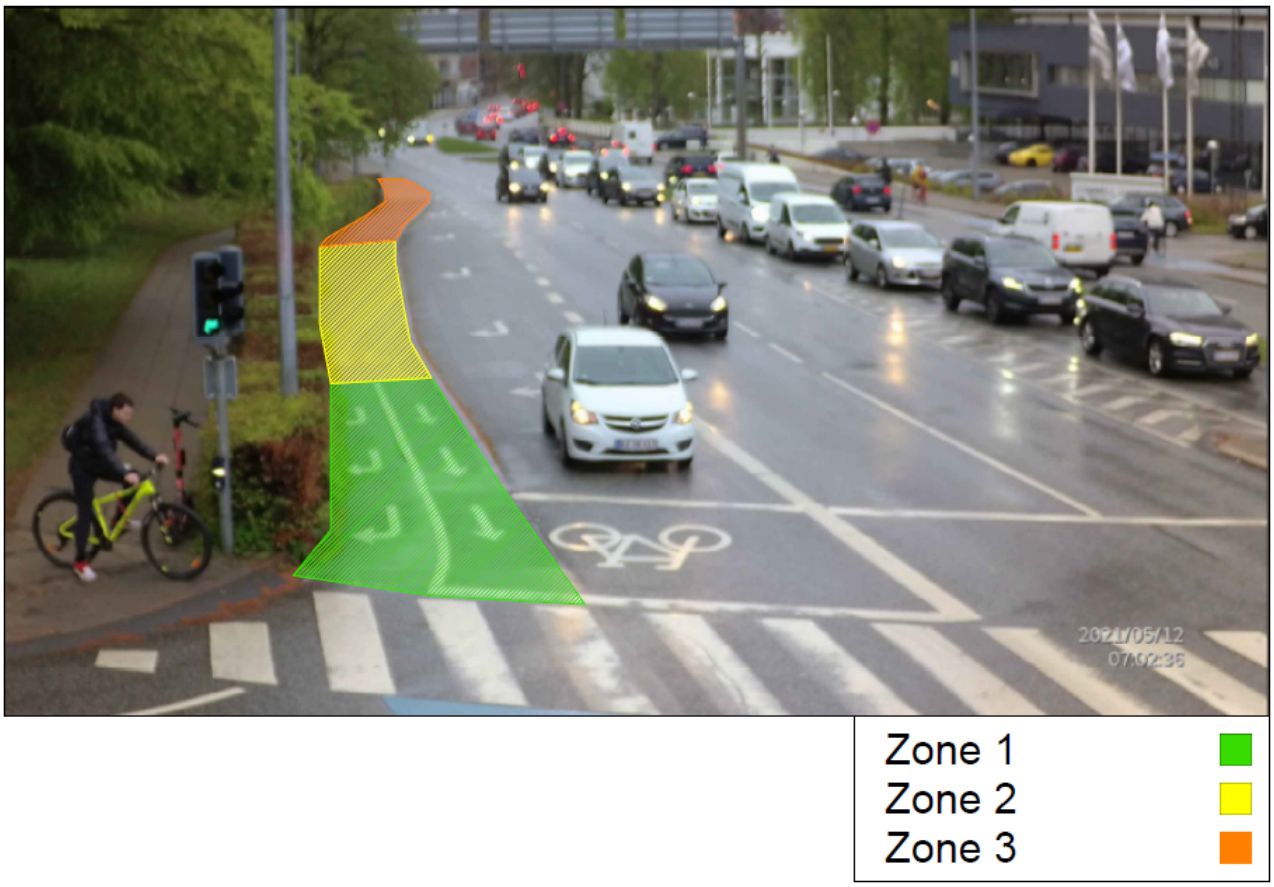
Af henhold til placering af registreringerne for cyklisterne noteret af radaren, registrerer radaren ingen cyklister i zone 3, derudover er der 8 cyklister der kun er registreret i zone 2, 64 cyklister der kun er registreret i zone 1, hvilket svarer til 44% af alle cyklister registreret. Af cyklister, der både er registreret i zone 1 og zone 2, er der 74, svarende til 51%. Derved er størstedelen af de registrerede cyklister registreret i både zone 1 og zone 2.

I forhold til, hvor mange cyklister radaren registrerer, kontra hvor mange cyklister der reelt passerer radaren i forsøgsperioden, så registrerer radaren 146 cyklister, hvilket svarer til 77%. Derved er der 44 cyklister radaren ikke har registreret.

5.3 Dataanalyse af andet feltforsøg

Ved andet feltforsøg benyttes samme fremgangsmåde som tidligere. Cykelstien er blevet inddelt i tre zoner således der kan undersøges, hvor pålidelig radaren er, alt efter distance til objektet.

Af figur 5.2 fremgår et billede fra videooptagelserne, hvor zonerne er inddelt.



Figur 5.2: Inddeling af registreringszonerne til analyse af andet feltforsøg. Billedet er fra selve videooptagelsen.

Fra radarens placering til stopstregen for cyklisterne, er der 18 meter. Zone 1, som er det grønne område, forløber fra 18-32 meter fra radaren, derved er zone 1's detekteringsområde 14 meter. Zone 2 forløber fra 32-55 meter fra radaren, derved er detekteringsområdet 23 meter langt. Den tredje zone forløber fra 55-75 meter fra radaren, derved er detekteringsområdet 20 meter langt. De 75 meter dækker derved over det område, hvor cyklister og registreringer let kan sammenkobles. Ved afstande længere væk end 75 meter, så er udsyn samt udformning af svingbanen, med til at besværliggøre vurdering af sammenkobling mellem radar registrering og cyklist. Resultatet af feltforsøget fremgår af tabel 5.2.

Antal noteringer	Mængde	Andel
Antal korrekte noteringer	244	17%
Antal falsk positive noteringer	1182	83%
Antal noteringer total	1426	100%
Objekt ID fordeling for registrerede cykler		
Antal cykler noteret med singulær ID	79	53,4%
Antal cykler noteret med 2 forskellige ID	49	33,1%
Antal cykler noteret med 3 forskellige ID	14	9,5%
Antal cykler noteret med 4 eller flere forskellige ID	6	4%
Antal cykler noteret af radar	148	100%
Zone placering for falsk positive		
Antal falsk positive noteret kun udenfor zonerne	1107	93,7%
Antal falsk positive noteret kun i zone 3	5	0,4%
Antal falsk positive noteret kun i zone 2	7	0,6%
Antal falsk positive noteret kun i zone 1	9	0,8%
Antal falsk positive noteret i mere end én zone	54	4,6%
Totale antal af falsk positive	1182	100%
Zone placering for registrerede cyklister		
Cyklister kun noteret i zone 3	5	3,4%
Cyklister kun noteret i zone 2	2	1,3%
Cyklister kun noteret i zone 1	14	9,5%
Cyklister noteret i zone 1, zone 2 og zone 3	39	26,3%
Cyklister noteret i mere end én zone men ikke alle 3 zoner	88	59,5%
Antal cyklister noteret af radar	148	100%
Radar registrerede cyklister og falsk negative noteringer		
Antal cyklister noteret af radar	148	84%
Antal cyklister ikke noteret af radar	29	16%
Total antal cyklister	177	100%

Tabel 5.2: Tabel over resultater af andet feltforsøg.

I andet feltforsøg har radaren registreret 1426 noteringer i alt. 1182 af dem er registreret som falsk positive, hvilket svarer til hele 83%. Ud af de falsk positive der er registreret, er hele 93,7% registreret udenfor zonen, det vil sige mindst 75 meter væk fra radaren. Samtidig er størstedelen af de falsk positive, der er noteret i mere end én zone, biler som benytter svingbanen. De bliver registreret af radaren, da det indlagte registreringsfelt er tæt på deres svingbane og derfor kan der opstå falsk positive registreringer.

I alt har radaren registreret 148 cyklister, fordelt på 244 noteringer. I 53% af tilfældene, svarende til 79 cyklister, har de singulær ID mens der i de resterende 47% forekommer noteringer med to eller flere ID. I størstedelen af tilfældene får en cyklist to forskellige ID, men der forekommer også tilfælde med henholdsvis tre, fire eller fem forskellige ID til samme cyklist.

I 39 af tilfældene, svarende til 26% er cyklisten noteret i alle tre zoner. I næsten 60% af resultaterne, er en cyklist noteret i mindst to af zonerne, men ikke i dem alle tre. I lige knap 10% af noteringerne er cyklisten først noteret i zone 1. I meget få tilfælde er cyklisten kun registreret i zone 2 eller zone 3. I alt noterer radaren 148 cyklister men har også 29 falsk negative i tidsrummet. Radaren har oftest problemer med notering af cyklister, når der bliver kørt tæt på hinanden op til lyskrydset. I alt er der 177 cyklister i tidsrummet og radaren har registreret 148 af dem, hvilket svarer til en pålidelig på 84% af de korrekte noteringer.

5.4 Dataanalyse af tredje feltforsøg

Det tredje feltforsøg er udført med samme radar placering, samme højde af radaren og samme zone inddeling som ved det andet feltforsøg, se figur 5.2. Forskellen på andet og tredje feltforsøg er, ændringen på den vertikale vinkel af radaren. Dette er gjort i et forsøg på at mindske mængden af falske positive, der er placeret langt fra radaren, samt undersøge om radaren kan være bedre til at følge det samme objekt med samme ID. Resultatet fra tredje feltforsøg fremgår af tabel 5.3.

Antal noteringer	Mængde	Andel
Antal korrekte noteringer	292	23%
Antal falsk positive noteringer	951	77%
Antal noteringer total	1243	100%
Objekt ID fordeling for registrerede cykler		
Antal cykler noteret med singulær ID	127	64%
Antal cykler noteret med 2 forskellige ID	50	25%
Antal cykler noteret med 3 forskellige ID	20	10%
Antal cykler noteret med 4 eller flere forskellige ID	1	1%
Antal cykler noteret af radar	198	100%
Zone placering for falsk positive		
Antal falsk positive noteret kun udenfor zonerne	896	94,2%
Antal falsk positive noteret kun i zone 3	4	0,4%
Antal falsk positive noteret kun i zone 2	14	1,5%
Antal falsk positive noteret kun i zone 1	8	0,8%
Antal falsk positive noteret i mere end én zone	29	3,1%
Totale antal af falsk positive	951	100%
Zone placering for registrerede cyklister		
Cyklister kun noteret i zone 3	1	0,5%
Cyklister kun noteret i zone 2	3	1,5%
Cyklister kun noteret i zone 1	3	1,5%
Cyklister noteret i zone 1, zone 2 og zone 3	182	91,9%
Cyklister noteret i mere end én zone men ikke alle 3 zoner	9	4,6%
Antal cyklister noteret af radar	198	100%
Radar registrerede cyklister og falsk negative noteringer		
Antal cyklister noteret af radar	198	95%
Antal cyklister ikke noteret af radar	10	5%
Total antal cyklister	208	100%

Tabel 5.3: Tabel over resultater af tredje feltforsøg.

I tredje feltforsøg har radaren registreret 1243 noteringer, hvor 951 af, svarende til 77% er falsk positive registreringer. Af de falsk positive noteringer, er 94,2% af dem noteret udenfor zonen. Ligesom i det andet feltforsøg bliver enkelte biler, som benytter svingbanen, registreret af radaren og indgår derfor i de falsk positive, som er registreret i mere end én zone.

I feltforsøget er 198 cyklister noteret af radaren, fordelt på 292 noteringer. I 64% af tilfældene har cyklisterne singulær ID gennem hele noteringen, hvilket svarer til 127 cyklister. Af de resterende 36%, er der i 25% af tilfældene cyklister som er noteret med to forskellige ID, i 10% af tilfældene er de noteret med 3 forskellige ID mens der er én som blevet noteret med 4 eller flere forskellige ID.

I hele 91,9% af tilfældene er cyklisterne noteret i alle tre zoner. I 4,6% af tilfældene er en cyklist noteret i mere end én zone men ikke alle tre zoner. I få tilfælde er en cyklist kun noteret i en enkelt af zonerne.

I alt noterer radaren 198 cyklister. I 10 tilfælde er der cyklister som ikke blev noteret af radaren, så de er registreret som falsk negative. I alt er der 208 cyklister i tidsrummet, og da radaren registrer 198 af dem, svarer det til en pålidelighed på 95% af de korrekte noteringer.

5.5 Sammenholdning af feltforsøg

I feltforsøget, foretaget på Humlebakken/Hadsundvej, er der noteret markant færre noteringer og også færre falsk positive end der er i de to øvrige feltforsøg på Østre Alle/Hobrovej. I det første feltforsøg er der noteret flere korrekte noteringer end falsk positive, hvor det er omvendt i de to øvrige feltforsøg. Årsager til forskellen i det to kryds kan være selve udformningen af strækningen op til krydset, opsætningen af TMConfigurator eller opsætningen af selve radaren. Samtidig lader det til mængden af trafik er lidt mindre på Humlebakken/Hadsundvej i modsætning til krydset på Østre Alle/Hobrovej. Størstedelen af de falsk positive er objekter, som registreres udenfor zonen. Idet det forsøges kun at registrere cyklister, kan der opstå konflikter i forhold til den registreringszone som indlægges i TMConfigurater, da udformningen på strækningen op til krydset kan have en medvirkende årsag til at andet end cyklister bliver noteret af radaren.

Ved sammenligning af andet og tredje feltforsøg observeres det i tredje feltforsøg, at der er færre falsk positive tilfælde end i det andet feltforsøg. Derudover er der noteret flere med singulær ID i tredje feltforsøg end i det andet. Ligeledes er mængden af cyklister større i tredje feltforsøg end i det andet feltforsøg. Samtidig er der også markant flere i tredje feltforsøg, hele 91,9%, som bliver registreret i alle tre zoner, hvorimod det kun er 26,3% som er det i andet feltforsøg. I første feltforsøg noterer radaren 77% af de cyklister som kører igennem krydset. Det er gradvist bedre i feltforsøg to, hvor pålideligheden stiger til 84%, mens den i tredje feltforsøg noterer 95% af cyklisterne som kommer igennem registreringsområdet. Opsætningen af radaren, og specielt vinklingen af radaren må derfor have en indflydelse på, hvor stor pålidelighed radaren har i praksis.

6. Diskussion

I dette kapitel vil der blive diskuteret og reflekteret over nogle af elementerne, der har haft en betydning ved dette projekt. Der vil ligeledes blive vurderet, hvilken indvirkning elementerne har haft og om det muligvis har påvirket de endelige resultater.

6.1 Indvirkning af Covid-19 på projekt resultater

Som benævnt tidligere i dette projekt, så har Covid-19 haft en indvirkning på projektet. Denne indvirkning har dog hovedsagelig påvirket valg af kryds og processen bag at finde kryds, der kunne været brugbare til feltforsøgene. På trods af færre cyklister på de valgte strækninger, lykkes det dog stadig at finde kryds med tilstrækkelige cyklistmængder. Ydermere blev der åbnet for det meste af samfundet, omkring samme tidspunkt, hvor selve udførelsen af feltforsøgene fandt sted, dermed blev cyklistmængderne og datagrundlaget blot større end først antaget. Det vurderes dermed, at Covid-19 ikke har haft indvirkning på resultaterne for test af radars evne til detektering af cyklister.

6.2 Indvirkning af signalanlæggets udformning

Udformningen af signalanlægget og linjeføringen frem dertil, har betydning for det endelige resultat. For eksempel ved krydset Hadsundvej og Humlebakken, hvor testforsøgene og det første feltforsøg er lavet, har udformningen været problematisk. Placeringen af cykelbanen og lyssignalerne omkring, gør det svært at få et direkte udsyn fra radaren til cykelbanen. Dette resulterer i, at radaren er placeret skævt på cykelbanens retning og ikke er direkte længdeskydende. Denne løsning fungerer nogenlunde, dog ved høje trafikanter, lastbiler og busser, har radaren ikke ordentlig udsyn til cyklisterne og derved er nogle cyklister ikke noteret.

Udformningen af vejbaner op til signalanlægget har ligeledes betydning for resultaterne, som det fremgår af feltforsøg to og tre. Ved disse feltforsøg har en svingbane for billisterne, gjort det svært at notere cyklisterne korrekt, hvorved flere billister kortvarigt er blevet noteret som cyklister, derved falsk positive. Dette er i sidste ende problematisk for radar registreringerne, da radaren noterer cyklister der ikke er til stede.

Ydermere har besigtigelse og testforsøg vist, at det ikke er alle kryds der er udformet således, at radar kan benyttes som detektorer for cyklister. Dette skyldes, at nogle kryds ikke er udformet således radaren kan placeres ordentligt, eller udsynet i krydset simpelthen ikke er tilstrækkeligt til detektering med radar.

6.3 Vigtighed for korrekt opsætning af radar

Opsætning af radar, både i TMConfigurator og på forsøgslokationen, er vigtig i forhold til de endelige resultater. Dette skyldes at sammenspillet mellem disse to elementer, direkte dikterer, hvor gode radarens målinger er. Problematikken her er, at få radarens horisontale og vertikale vinkel til passe

så præcist som muligt, med de angivne vinkler i TMConfigurator. Ved den horisontale vinkel kan det være svært at finde nogle faste punkter, som radaren kan opsættes ud fra. Dette er tilfældet ved første feltforsøg, derved skete indstilling af den horisontale vinkel ud fra en cirka vurdering. Dette er ikke optimalt, da hvis den reelle opsætningsvinkel ikke er ens med den opsatte horisontale vinkel i TMConfigurator, registreres cyklisterne ikke nødvendigvis de korrekte steder. Dog er der en indbygget funktion i TMConfigurator, der nogenlunde tilpasser radarens registreringer med de indlagte cykelspor, dette giver dog stadig anledning til falsk positive og negative.

Indstilling af vertikal vinkel på radaren, er forholdsvis enkelt, da radarens vinkel er angivet på selve ophænget til radaren. Problematikken opstår ved selve opsætningen af radaren. Dette skyldes ophænget ikke har passet til nogle af signalmasterne der er brugt i projektet, derved skal radaren spændes ekstra fast, for at sikre den vertikale vinkel er holdt korrekt. Der er dog et indbygget hjælpeværktøj i TMConfigurator, der gør det muligt at aflæse den opsatte radars vertikale vinkel, hvorefter vinklen så kan rettes om nødvendigt. Derved kan der opstår tilfælde, hvor den angivet vinkel på selve radaren, ikke passer med den reelle vinkel og derved skal ændres i enten TMConfigurator eller på selve radaren, afhængigt af, hvor fastlåst registreringsfeltet i TMConfigurator er.

6.4 Radarens rækkevidde og dækning

Radarens rækkevide og dækning til detektering af cyklister er afhængig af flere forskellige ting, men hovedsageligt udformning af signalanlægget og udformningen af de tilkomne veje og cykelbaner. Som det fremgår ved det første feltforsøg, er udformningen ikke optimalt til detektering af cyklister. Dette fremgår ligeledes af resultaterne, hvor det fremgår at en stor andel af cyklisterne kun er detekteret i zone 1, hvilket maksimalt er 45 meter fra radarens placering. De cyklister der er noteret længst væk, ved første feltforsøg, er 73 meter fra radarens position. Ved andet og tredje feltforsøg er cyklister registreret op til 75 meter væk, og mere hyppigt end ved det første feltforsøg. Der er ikke den store forskel mellem hvor langt væk radaren har registreret cyklister, i de tre feltforsøg. Dog er der ved andet og specielt tredje feltforsøg en større kvalitet af registreringerne længest væk, hvor cyklisternes forløb kan følges bedre gennem zonerne. Derved kan det vurderes at dækningen af området er bedre ved de sidste to feltforsøg, hvilket er et produkt af bedre udformning, radar position og opsætning.

6.5 Antallet af falsk positive

Ved andet og tredje feltforsøg er størstedelen af radarens registreringer falsk positive. Dette er en stor problematik, da der i mange tilfælde er registreret et objekt, som ikke viste sig at være en cyklist. Som benævnt tidligere skyldes det hovedsageligt udformningen af signalanlægget, dog kan denne problemtik muligvis afhjælpes. Ud fra resultaterne for andet og tredje feltforsøg fremgår det, at cirka 94% af de falsk positive er placeret udenfor zonerne. Dette indikerer, at ved en ændring i opsætning af radaren og/eller ændring i registreringszonerne, i TMConfigurator, så kan flere af disse falsk positive muligvis fjernes.

6.6 Cyklister fra tværgående kørselsretning

Under andet og tredje feltforsøg observeres der yderligere en problematik, der omhandler de venstresvingende cyklister fra tværgående kørselsretning. Disse cyklister gør et stop ved registreringsretningen og afventer grønt inden de fortsætter ud i krydset. En illustrering af dette fremgår af figur 6.1.

Figur 6.1: Illustration af venstresvingende cyklister, ved andet og tredje feltforsøg.

Problematikken er, at de venstresvingende tværgående cyklister ikke bliver registreret af radaren. Dette skyldes radarens registreringsfelt er placeret bag stoplinjen, og disse cyklister stopper ude i signalanlægget. Der er mange cyklister der benytter denne metode, og derved mange cyklister der ikke bliver registreret af radaren. Dette er dog en problematik der ikke nødvendigvis kan løses af andre detektorer, for eksempel detektorspoler der ligeledes er placeret bag stoplinjen og kan derved heller ikke registrerer disse cyklister.

6.7 Håndtering af dataanalysen

Ved selve dataanalysen er der en fejlmargin i forhold til aflæsning af data. Dette skyldes at data fra feltforsøgene aflæses manuelt og bliver i flere tilfælde vurderingssager. Når videomateriale aflæses, bliver det gjort ud fra en subjektiv vurdering, af hvilke cyklister registreringerne følger og om en falsk positiv/negativ vurdering reelt set er falsk positiv eller negativ. Dette er vurderet med så stor nøjagtighed som muligt, men der kan dog være tilfælde, hvor vurderingen er lavet ud fra et skøn, da

videokvalitet kan have været dårlig eller registreringen har været kortvarig. Ydermere er det færdige videomateriale lavet med et billede pr. sekund, hvilket er valgt grundet analysens omfang. Dette gør at videomaterialet er mindre flydende, og derved kan placering af registreringerne i enkelte tilfælde virke malplaceret, da det så skal vurderes, hvilken cyklist en registrering tilhører. Dette kunne afhjælpes ved at tilføje flere billeder pr. sekund, men for der er en mærkbar ændring, skal der tilføjes 10-30 billeder pr sekund. Sådanne filer fylder meget og bearbejdsningstiden er stor, derved vurderes det at udbyttet af processen ikke ville være resultatet værd.

6.8 Radar til prioritering af cyklister i signalanlæg

Muligheden for at benytte radar til prioritering af cyklister i signalanlæg er, som tidligere benævnt, afhængig af mange forskellige parametre. Hvis metoden skal være brugbar, så skal mængden af falsk positive og falsk negative være minimal, således signalanlægget ikke prioriterer cyklister der ikke er der, eller overser cyklister. Af feltforsøgene fremgår to generelle forskelle mellem dem, mængden af falsk positive og falsk negative. Det første feltforsøg har en minimal mængde af falsk positive og en stor mængde af falsk negative. Ved det andet og tredje feltforsøg er dette billede modsat, her er der en stor mængde falsk positive og en mindre mængde falsk negative. Hvis det specifikt er det første feltforsøg der undersøges, så er langt de fleste af radarens registreringer korrekte, og derved vil radarens signal, til styringsenheden, i de fleste tilfælde være korrekt. Dog vil der være en del cyklister der ikke bliver registreret. Størstedelen af de falsk negative observeres, når en gruppe ankommer samtidig, og derved ikke ved ankomst alene. Således er der detekteret andre cyklister af radaren, og styringsenheden er informeret om der er cyklister der afventer grønt signal.

Ud fra andet og tredje feltforsøg, er der for mange falsk positive, til at det kan vurderes, om radaren kan sende korrekte signaler til styringsenheden. Derved vil radaren i mange tilfælde sende et signal om at der er en cyklist, hvor der ikke nødvendigvis er en cyklist. Det er dog benævnt tidligere i dette diskussionskapitel, at ved en ændring i opsætningen af radar og registreringsfelt, kan problematikken med falsk positive muligvis reduceres. Derved kan metoden muligvis blive brugbar, til prioritering af cyklister i signalanlæg.

6.9 Flere Objekt ID til enkelt cyklist

Det fremgår ved de tre feltforsøg, at en stor andel af cyklisterne, radaren registrerer, bliver noteret med to eller flere objekt ID. Hvilken betydning dette har, er afhængig af hvordan styringsenheden håndterer data fra radaren. Hvis styringsenheden kan sammenkoble objekt ID'erne ud fra position og hastighed, så bør dette ikke lede til nogen problematik, da de forskellige ID'er derved bliver tilknyttet en specifik cyklist. Hvis styringsenheden ikke kan sammenkoble objekt ID'erne, vil der ske en overestimering af antal af cyklister registreret, og radaren vil dermed give et fejlagtigt billede af den trafikale situation. Dette kan dog muligvis afhjælpes, ved at styringsenheden opsætter en minimum tidshorisont, som objekt ID'er skal være registreret i, for at cyklisterne registreres til prioritering.

Dette afhjælper dog ikke situationer med falsk positive, der bliver registreret i længere tid, altså i flere zoner, som det er observeret ved feltforsøg to og tre.

7. Konklusion

Et overordnet mål på den politiske agenda, i Danmark, er at fremme brugen af cyklen som transportmiddel. Dette er specielt ønsket i de større byer, hvor reducering af trængsel og CO2-udledning er vægtet højt. En måde hvorpå cyklisme kan fremmes, er ved at gøre det mere fordelagtigt for trafikanten, at vælge cyklen fremfor bilen. En af metoderne til at fremme cyklisme i bymiljøet, er ved prioritering af cyklister i signalanlæg. Dette vil reducere ventetiden i signalanlæg og øge den overordnede fremkommelighed for cyklister. I størstedelen af eksisterende signalanlæg, der kan detekterer cyklister, benyttes der detektorspoler. Dette skyldes at detektorspoler er meget pålidelige og der er mange erfaringer med værktøjet. Detektorspoler har dog nogle mangler, i form af detektionsparametre, da den hovedsageligt kun detekterer tilstedeværelse og passage af et specifikt punkt. Et andet detektorværktøj, der muligvis kan benyttes til detektering af cyklister, er radar. Radar er et værktøj der placeres over jorden, i en signalmast eller lignende, og har overblik over en større andel af krydset end en detektorspole. Det er i dette kandidatspeciale valgt, at undersøge radars evne til detektering af ankomne cyklister til et signalanlæg, med henblik på om data fra radar er brugbar til prioritering af cyklister.

Til at undersøge radars evne til detektering af cyklister i signalanlæg, er der benyttet en radar fra Smartmicro, af modeltypen UMRR-0C Type 40 og et kamera. Radar og kamera er benyttet i sammenspil til databehandlingen, hvor radarens registreringer er blevet transformeret over på videooptagelserne. Dette er gjort i et Python script, hvor sammenkobling mellem CSV-data fra radaren og videobillederne er automatiseret.

I undersøgelsesprocessen er der udført to testforsøg og tre feltforsøg. Testforsøgene er benyttet til at afklare korrekt opsætning af radar og kalibrering, samt udtræk af data. Ydermere er testforsøgene benyttet til at indsamle erfaringer om, hvilken påvirkning udformningen af signalanlægget har på resultaterne. De tre feltforsøg er lavet i to forskellige kryds i morgenspidstimen, mellem 07:10 og 08:10 på tre forskellige dage. Under de tre feltforsøg er der i alt 575 cyklister der har passeret radaren, hvor radaren har formået at detektere 492 af cyklisterne, svarende til 85,6%.

Under databehandlingen, af de tre feltforsøg, er registreringsområdet inddelt i tre zoner. Formålet med inddelingen er, at definere hvilke områder cyklisterne bliver registreret eller registreringen bortfalder. Ved det første feltforsøg er ingen cyklister registreret i zonen længst væk, derudover er 51% af cyklisterne detekteret i begge zoner tættest på stoplinjen. De resterende 49% er kun detekteret i én zone og bortfaldet i de andre zoner. Ved andet feltforsøg er der detekteret cyklister i alle zoner. 26,3% af cyklisterne er detekteret i hele deres forløb gennem alle zoner. 59,5% af cyklisterne er detekteret i mere end én zone, men ikke alle tre, og de resterende 14,2% er kun detekteret i én zone. Ved tredje feltforsøg er hele 91,9% af cyklisterne detekteret i hele deres forløb gennem zonerne. 4,6% er detekteret i mere end én zone, men ikke alle tre, og de resterende 3,5% er kun detekteret i én zone. Ud fra dette

kan det konkluderes, at ved det sidste feltforsøg, observerer radaren cyklisterne bedst. Dette er et resultat af en mere præcis radar opsætning og definering af registreringsområde.

Ydermere har radaren ligeledes lavet falsk positive detekteringer. Ved det første feltforsøg er 17% af radarens detekteringer falsk positive. Ved andet og tredje feltforsøg er der skiftet kryds, hvilket har påvirket resultatet fra undersøgelserne. Ved det andet feltforsøg er 83% af radarens detekteringer falsk positive og ved tredje feltforsøg er 77% af radarens detekteringer falsk positive. Derved kan det konkluderes, at opsætningen og udformningen ved andet og tredje feltforsøg resulterede i en markant stigning af falsk positive. Ydermere kan det konkluderes at mængden af falsk positive registreringer, specielt i andet og tredje feltforsøg, skal reduceres, hvis metoden skal kunne benyttes til detektering af cyklister i signalanlæg, med henblik på prioritering af cyklister.

Slutteligt konkluderes det, at resultaterne fra feltforsøgene ikke appellerer til benyttelse af radar, som detektor til prioritering af cyklister i signalanlæg. Det vurderes dog, at feltforsøgene, udført i dette kandidatspeciale, ikke korrekt afspejler det fulde potentiale for radar som detektorer til cykeldetektering. Dette vurderes på baggrund af analyse af videomaterialet fra tredje feltforsøg. Resultatet viser, at radaren detekterer cyklister med høj præcision, 95% korrekte noteringer af de tilstedeværende cyklister, dog er mængden af falsk positive stadig for stor. Ved ændring af opsætning af radaren og registreringsområdet, fra andet feltforsøg til tredje feltforsøg, observeres det at antallet af falsk positive reduceres. Således vurderes det, at der er belæg for at dette kan reduceres yderligere. Derved konkluderes det, at der bør laves flere undersøgelser af radar til detektering af cyklister, for at korrekt kunne vurdere om metoden, er brugbar.

8. Perspektivering

I litteraturstudiet er der benævnt to studier, lignende undersøgelsen foretaget i dette kandidatspeciale, et studie foretaget i Dublin og et foretaget i Frederiksberg kommune.

Ved en sammenholdning af resultaterne fra studiet i Dublin og kandidatspecialet, er der en generel sammenlignelighed i resultaterne. I studiet i Dublin fik de en pålidelighed, til detektering af cyklister, på 90% kontra manuelle tælling, hvor der ved det tredje feltforsøg, i kandidatspecialet, er en pålidelighed på 95% af de tilstedeværende cyklister. Ved studiet i Dublin nævnes der intet om mængden af falsk positive. Studiet finder resultaterne tilfredsstillende og radar er vurderet bedre til detektering af cyklister end ved brug detektorspoler. Dog menes der, at der skal indsamles yderligere empiri på området.

Ud fra studiet fortaget i Frederiksberg kommune, er det testet hvorvidt radar kan benyttes til prioritering af cyklister, i et trafikstyret signalanlæg. Resultaterne fra disse test har været tilfredsstillende, og resulteret i prioriteringer af cyklister og forlænget grøntider for cyklister, uden den store indvirkning på den resterende trafik. Derved har Frederiksberg kommune formået, at benytte radar til detektering og prioritering af cyklister i et trafikstyret signalanlæg.

Der er dog enkelte problematikker med sammenholdning af resultaterne fra kandidatspecialet og studierne. Dette indebærer selve udførelsesprocessen, da der ikke er opgivet nogen information om radaren der er benyttet, signalanlægs udformning og databehandlingsprocessen. Således vides der intet om omstændighederne for studierne, og derved er en direkte sammenligning mellem kandidatspecialet og studierne risikabelt.

Referencer

Allison, Seamus (2017). *10 gode grunde til at cykle*. URL: https://videnskab.dk/kultur-samfund/10-gode-grunde-til-at-cykle.

Christiansen, Hjalmar, Oana Baescu og DTU (2020). „TU årsrapport for Danmark 2019“. I: april, s. 1–29.

Cyklistforbundet (2016). *Byer og cykling*. URL: https://www.cyklistforbundet.dk/det-vil-vi/cyklistforbundet-mener/cykling-i-byer/.

Devilly, Oisín et al. (2019). „Cycle Safe Intersections - An Evaluation of Radar Bicycle Detectors in Dublin“. I: September.

DTU (2018). „Transportvaneundersøgelsen - Faktaark om cykeltrafik i Danmark“. I: *Transportvaneundersøgelsen*, s. 2. URL: https://www.cta.man.dtu.dk/transportvaneundersoegelsen/tu-udgivelser/faktaark-om-cykeltrafik-i-danmark-2014.

Elbek, Bent (2014). *Dopplereffekt*. URL: https://denstoredanske.lex.dk/Dopplereffekt.

Jakobsen, Lars H. og Knud D. Knudsen (2013). „Ny og revolutionerende detektering af køretøjer og cyklister“. I: *Trafik og Veje*, s. 31–33. URL: http://asp.vejtid.dk/Artikler/2013/09%5C6694.pdf.

Jørgensen, Lars Kamp og Ulrik Bjerregaard (2020). „Cykelprioritering i signalregulerede kryds“. I: December, s. 6–8.

Larson, Travis et al. (2020). „Evaluation of dynamic passive pedestrian detection“. I: *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives* 8.November, s. 100268. ISSN: 25901982. DOI: 10.1016/j.trip.2020.100268. URL: https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100268.

Severino, João Victor Bruneti et al. (2019). „Pedestrian recognition using micro Doppler effects of radar signals based on machine learning and multi-objective optimization“. I: *Expert Systems with Applications* 136, s. 304–315. ISSN: 09574174. DOI: 10.1016/j.eswa.2019.06.048.

Vejdirektoratet (2012). „Håndbog - Detektorer for Trafikregistrering“. I: December.December.

– (2019). „Håndbog - Styring af trafiksignalanlæg ved brug af Above Ground Detection (AGD)“. I:

– (2020). *Cykler på vejene*. URL: https://www.vejdirektoratet.dk/tema/cykler-paa-vejene.

Westhausen, Bo (COWI) (2017). „Detektering til brug for trafikstyring af trafiksignalanlæg“. I: april, s. 1–17.

Øhlenschlæger, Rasmus (2019). „Metodeudvikling til udvidet Site Acceptance Test af SmartMicro Radar“. I:

A. Appendix

Dette appendix omhandler opsætning af radar i konfigureringsprogrammet TMConfigurator. Programmet er en software lavet af Smartmicro, til opsætning af deres radar. I dette appendix bliver det beskrevet hvordan selve opsætningsprocessen forløber i programmet, således der er styr på det foreliggende arbejde, inden selve dataindsamlingen i felten. En basal opsætning af en radar, et cykelspor og en registreringszone, som er det der er benyttet i dette projekt, bliver introduceret. Processen følger 9 trin, hvorefter radaren kan opsættes og registrer data.

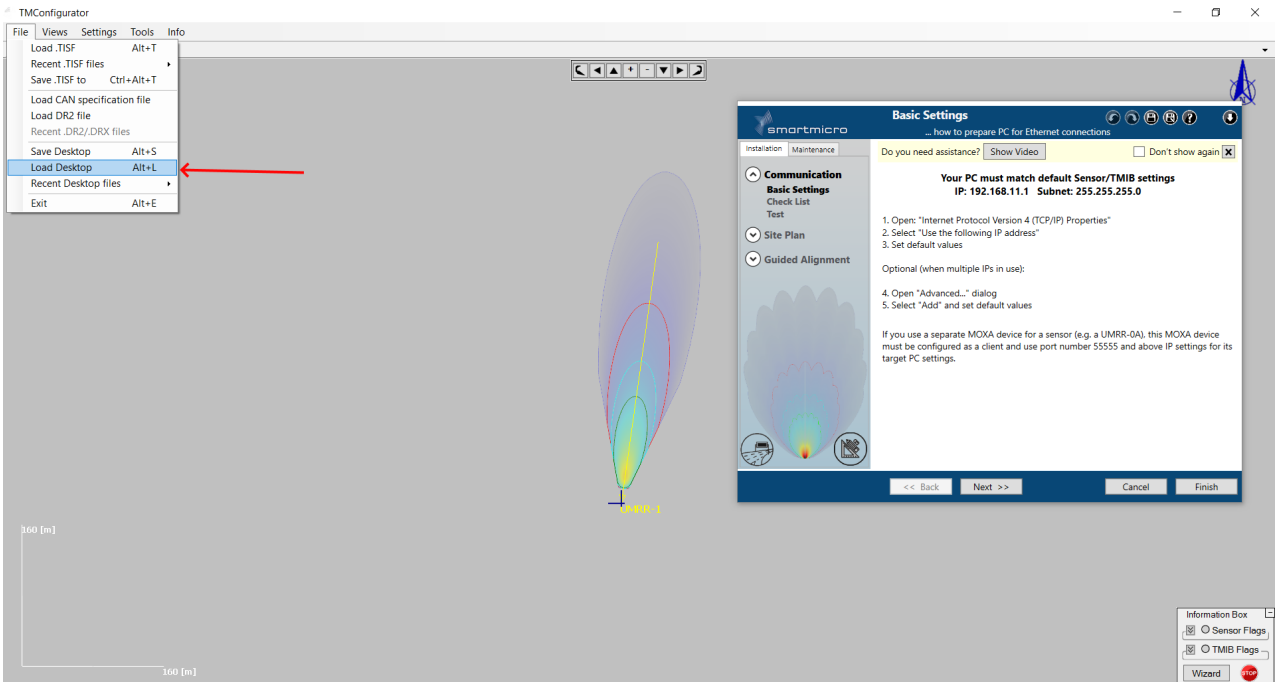
Trin 1

Først åbnes programmet TMConfigurator. Ved første opstart af programmet eller med ny radar, skal en registreringskode tilsendes af Smartmicro. Efter registreringskoden er indtastet, kan selve opsætningsprocessen startes. Når programmet åbnes popper en "wizard"op, denne wizard er tilnærmelsesvis guiden igennem den korrekt opsætning i programmet. Her kan vælges flere forskellige muligheder afhængigt af formål. Der vælges "New Single Sensor"(1), for at opsætte en enkelt radar og derefter vælges "Next"(2), for at komme videre i opsætningsprocessen. Af figur A.1 fremgår et billede af trin 1 i opsætningsprogrammet.

Figur A.1: Trin 1 i radar opsætningen

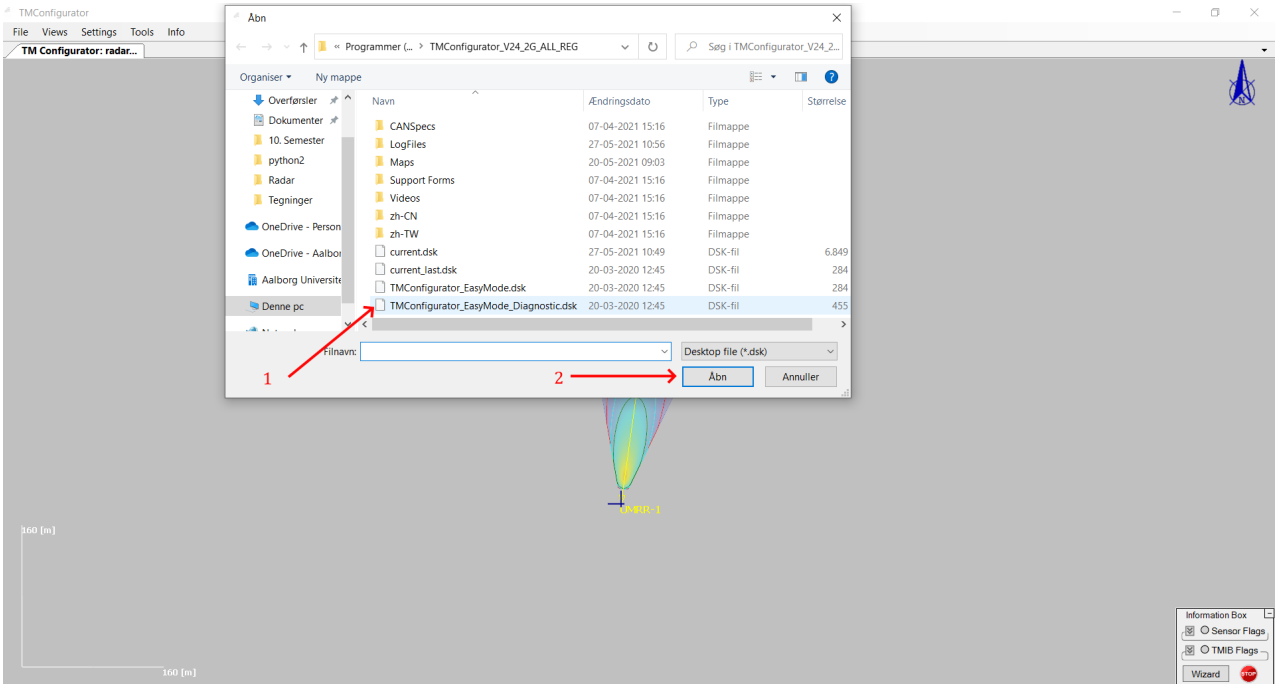
Trin 2

Ved trin 2 opsættes en ny "desktop", som er layout'et for programmet. I TMConfigurator er der to standard layouts, en simpel, "EasyMode"og en mere beskrivende, "EasyMode_Diagnostic". Her vælges den mere beskrivende metode. Af figur A.2 fremgår funktionen hvor der indhentes ny "desktop".



Figur A.2: Indhentning af ny desktop, til trin 2

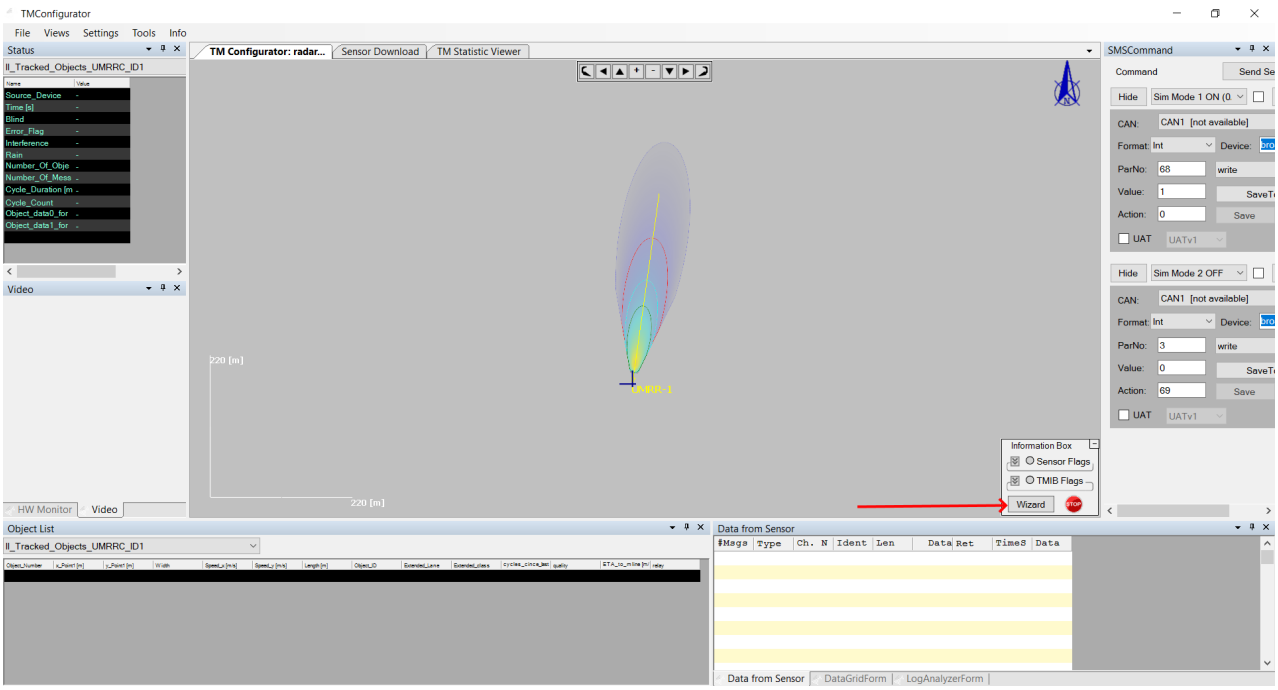
Dernæst skal selve "desktop"(1) vælges og åbenes (2). Denne process fremgår af figur A.3.



Figur A.3: Valg af desktop og åbning af filen, til trin 2

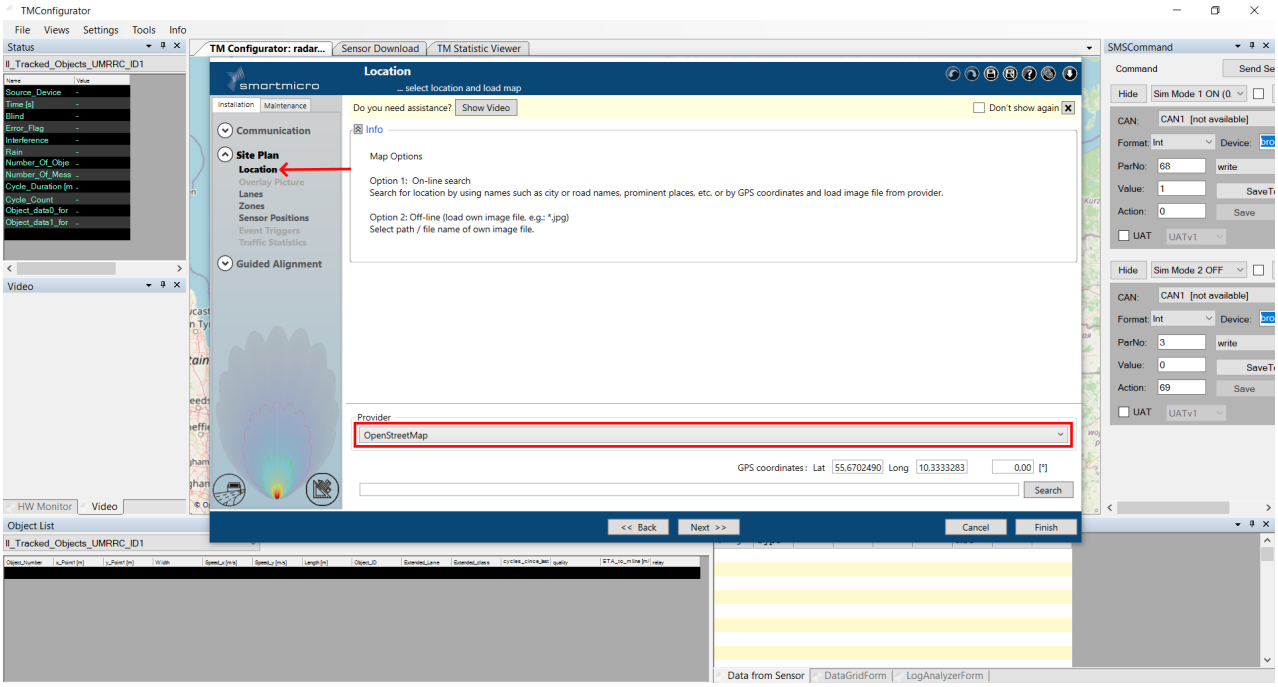
Trin 3

Ved trin 3 haves det nye layout nu. Dernæst fortsættes opsætningsprocessen og "wizard"åbnes. Dette fremgår af figur A.4.



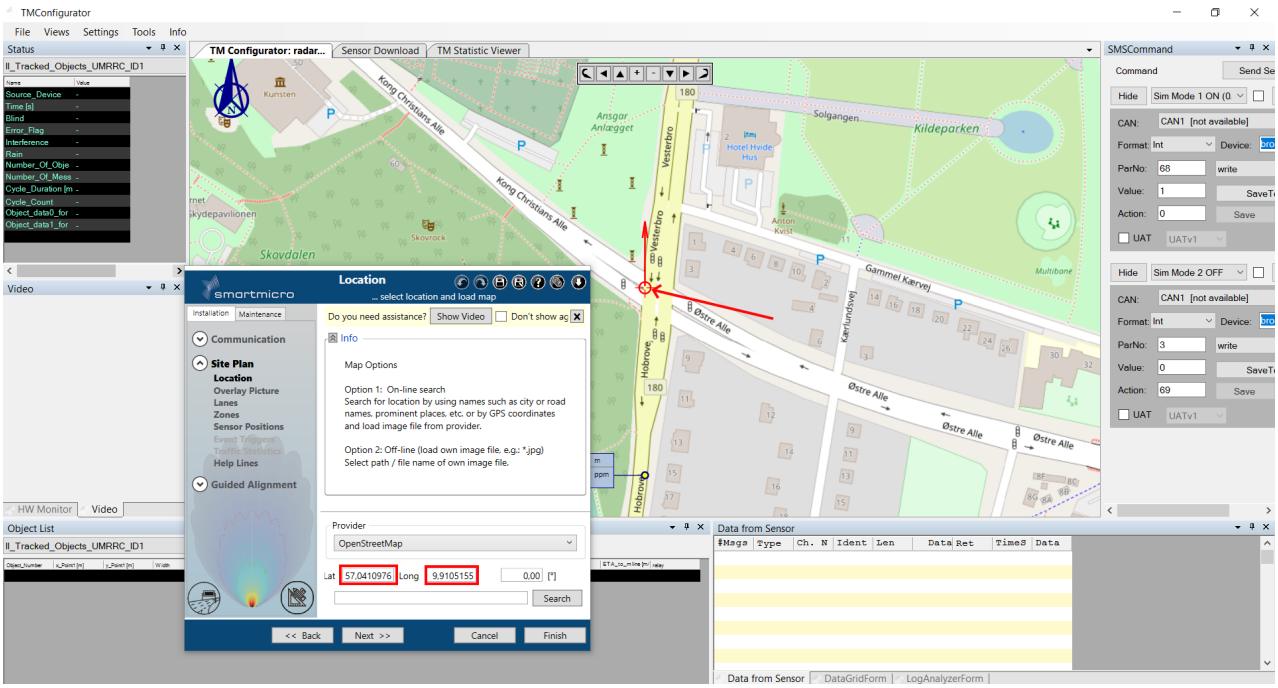
Figur A.4: Genåbning af wizard, til trin 3

Efter dette påbegyndes selve opsætningen af lokation. Først navigeres der til "Site plan"og derefter til "location". Her vælges et baggrundskort, i dette projekt er der brugt OpenStreetMap. Opsætning af bagrundskort fremgår af figur A.5.



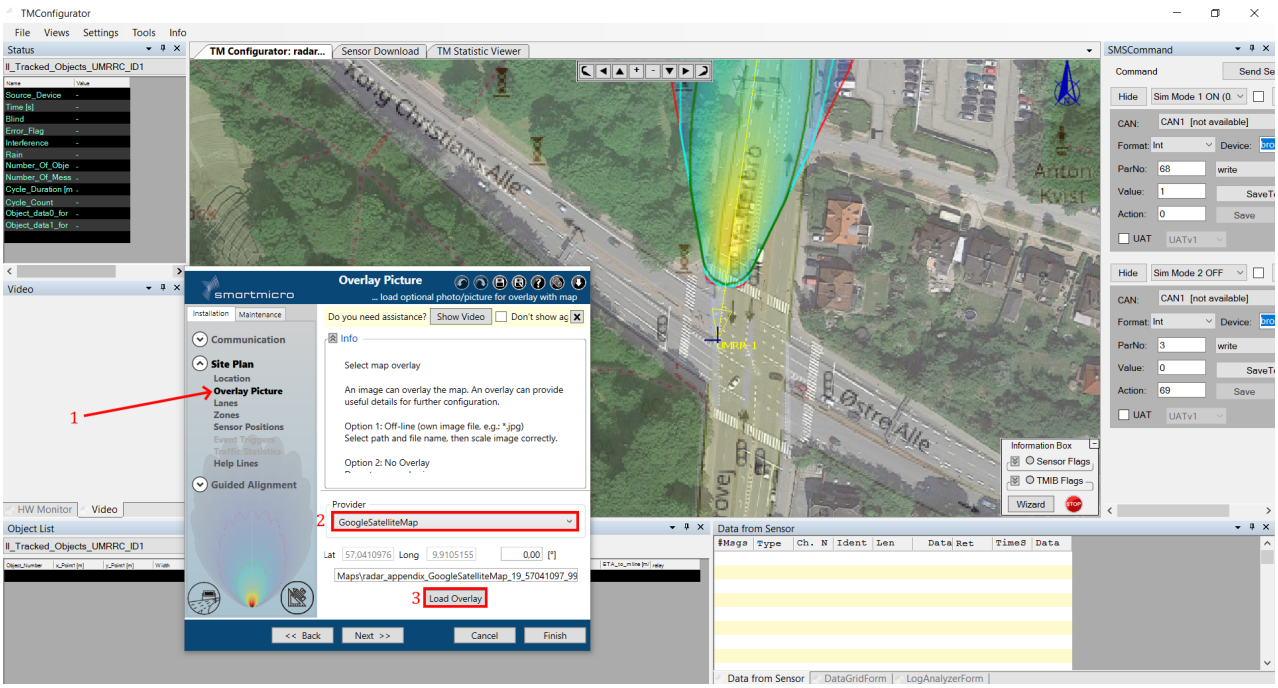
Figur A.5: Opsætning af baggrundskort, trin 3

Derefter kan der navigeres rundt på baggrundskortet, hvor den valgte forsøgslokation nogendlunde vælges, dette behøver ikke være præcis, da det bliver specificeret senere. Forsøgslokationen findes ved blot at rykke programmets markering til lokationen, eller ved at indtaste Lat og Long koordinater. Dette fremgår af figur A.6.



Figur A.6: Overordnet valg af lokation på baggrundskort, til trin 3

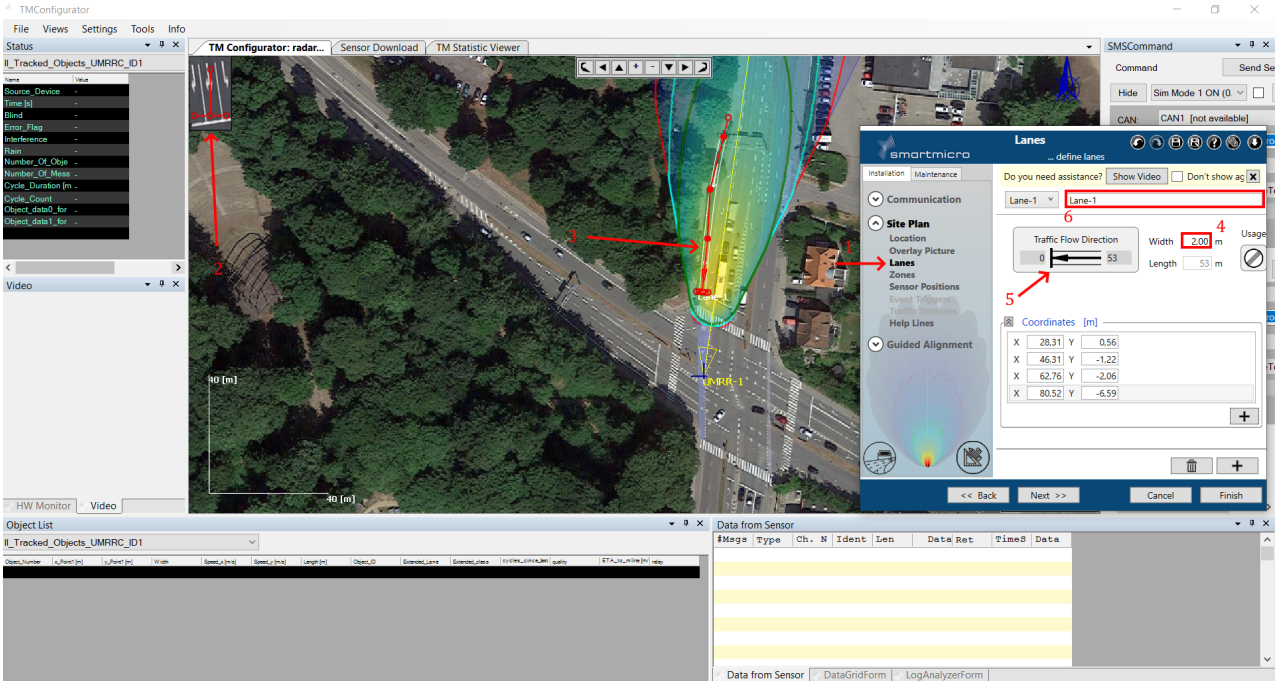
Dernæst indlægges et satellitfotografi af lokationen. Først vælges kategorien "Overlay picture"(1), dernæst vælges det hvor det ønskes at få billedet fra (2) og sidst indhentes billedet så (3). Denne proces fremgår af figur A.7.



Figur A.7: Indhentning af satellitfotografi, til trin 3

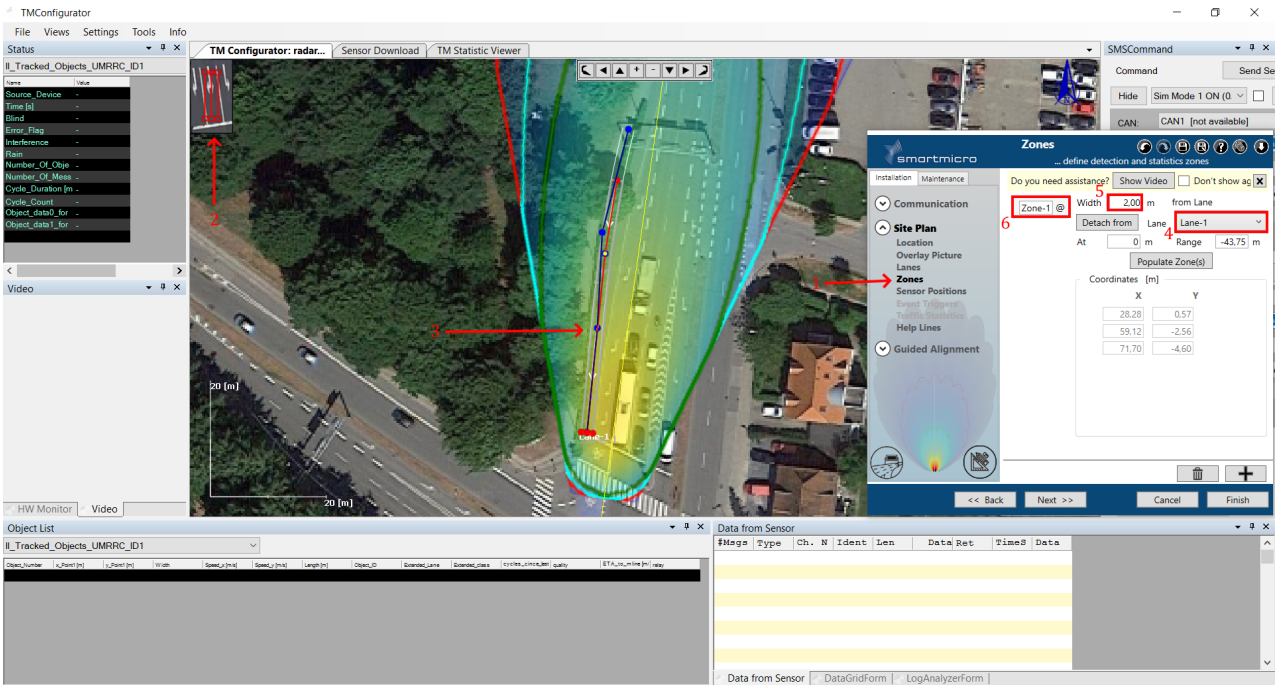
Trin 4

Ved trin 4 indlægges cykelstien på satellitfotografiet. Først vælges kategorien "Lanes"(1), dernæst trækkes et spor ind (2). Sporet placeret på satellitfotografiet, således det følger cykelstien (3), her kan tilføjes flere fikspunkter ved at dobbeltklikke på sporet. Dernæst vælges bredden af af cykelstien (4) og retningen for cykelstien (5). Sidste er det muligt at navngive sporet (6), hvilket kan være behjælpelig hvis der er mere end et spor. Af figur A.8 fremgår udførelsesprocessen.



Figur A.8: Opsætning af cykelsti, til trin 4

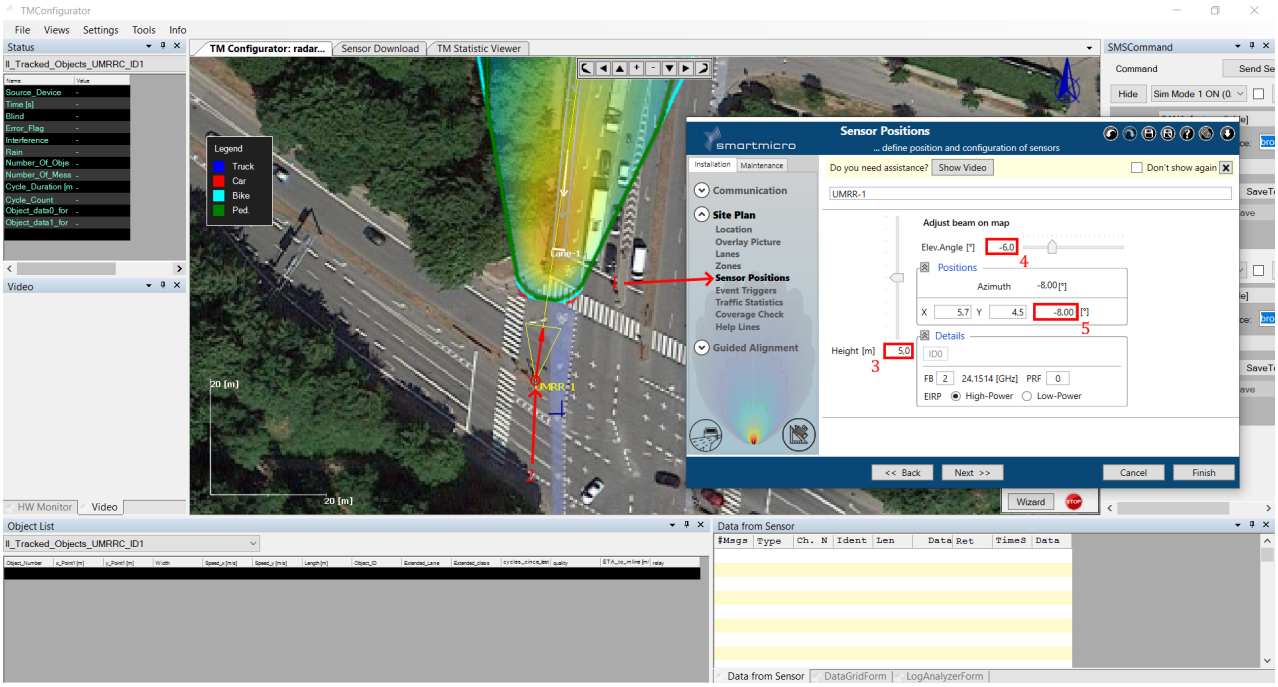
Efter cykelstien er lagt ind, kan der indlægges et registreringsfelt. først vælges kategorien "zones"(1). Dernæste indtrækkes zonen (2) og placeres på cykelstien, hvor zonen automatisk vedhæftes cykelstien. Registreringsområdet tilpasses dernæste til det ønskede område den skal dække af cykelstien (3). Hvis der er flere spor, så kan det vælges i "wizard"hvilket spor den skal tilknyttes til (4). Dernæst vælges bredden (5), der i dette projekt har været den samme som for selve cykelstien. Sidst kan registreringszonen navngives (6). Opsætning af registreringszone fremgår af figur A.9.



Figur A.9: Opsætning af registreringszone, til trin 4

Trin 5

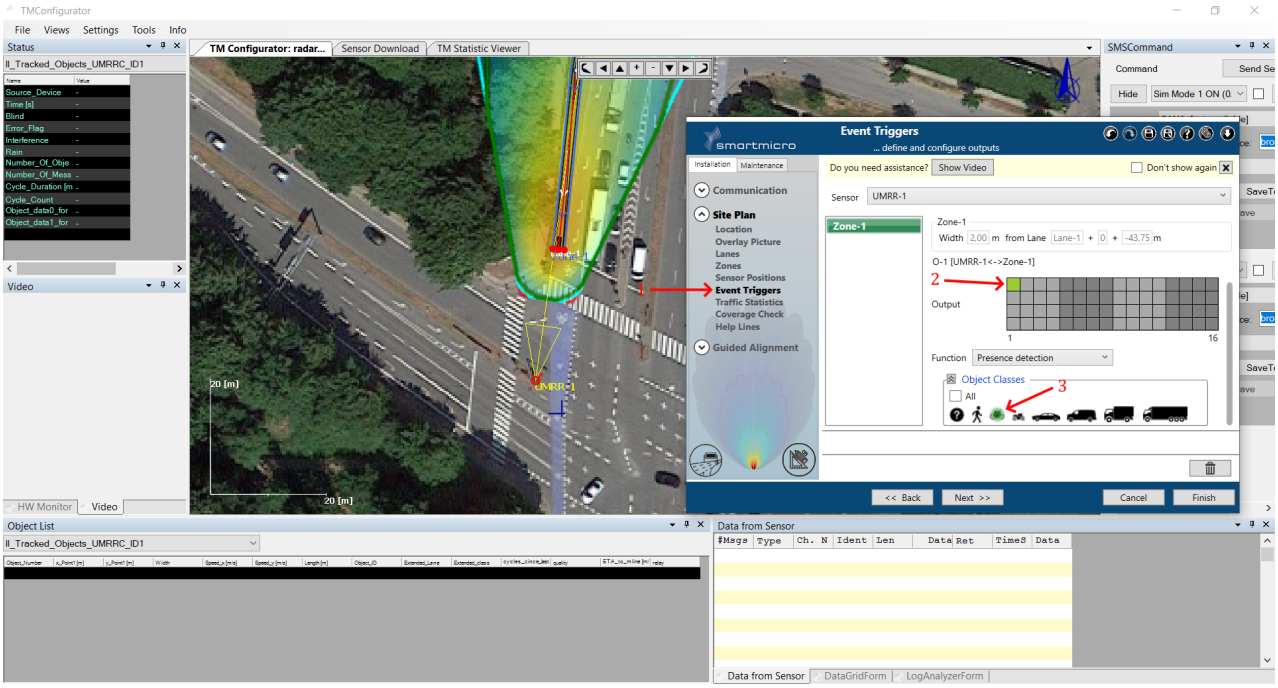
Ved trin 5 laves opsætningen af selve radarens position i TMConfigurator. Her er det vigtigt at gøre det så præcist som muligt, ift. den virkelige opsætning af radaren. Først findes kategorien "Sensor Positions"(1) og radaren flyttes på satellitfotografiet (2), således det passer med den reelle opsætningsposition. Dernæst vælges højden radaren skal placeres i (3). Derefter vælges den vertikale vinkel for radaren (4), som ligeledes skal indstilles på selve radaren. Sidste punkt er den horisontale vinkel for radaren (5), derved hvilken retning radaren peger. Opsætningen af dette fremgår af figur A.10.



Figur A.10: Opsætning af radar, til trin 5

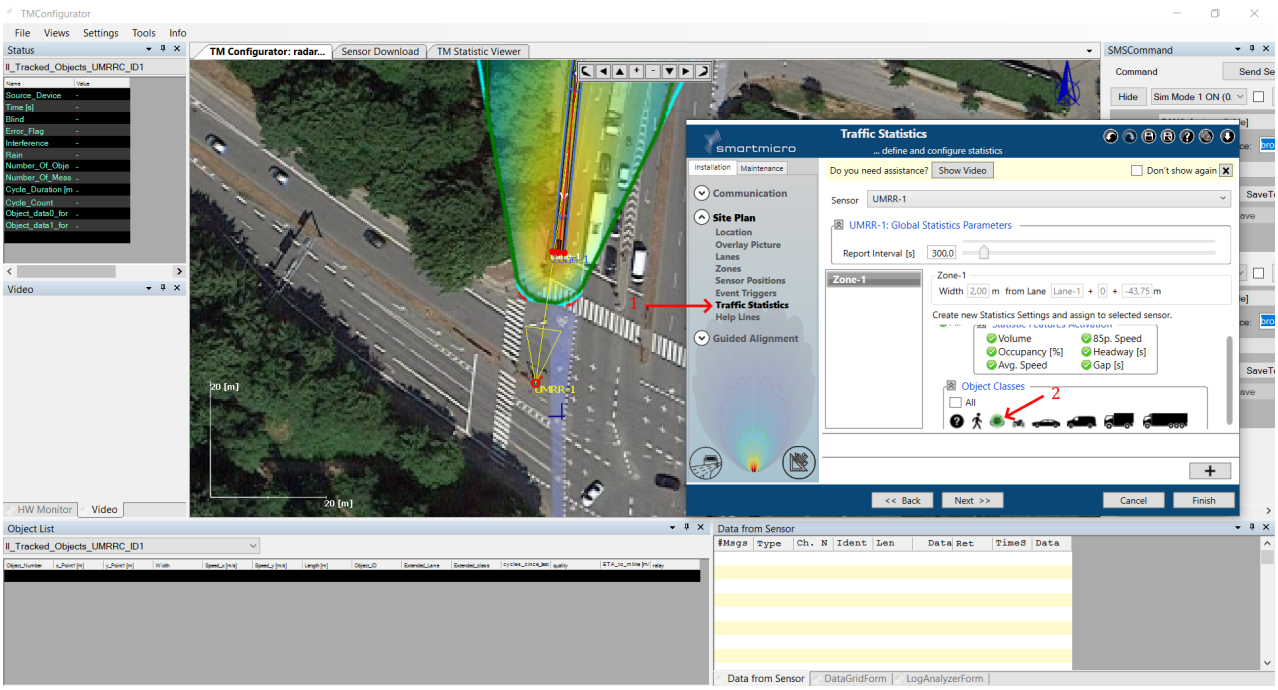
Trin 6

Ved trin 6 vælges hvad der skal registreres. Her vælges kategorien "Event triggers"(1), en boks markeres (2) og dernæst vælges hvilke typer trafikanter der ønskes noteret (3). Af figur A.11 fremgår denne process.



Figur A.11: Opsætning af registreringsobjekter, til trin 6

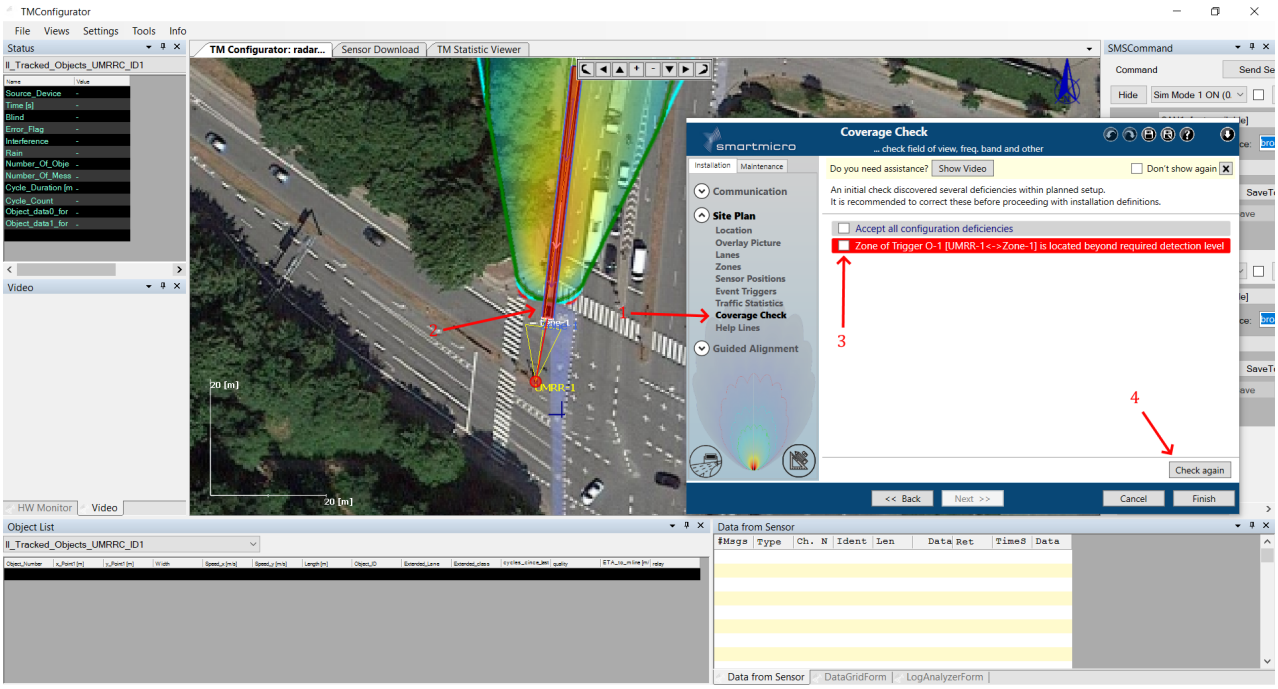
Dernæst vælges kategorien "Traffic Statistics"(1), hvor cyklister ligeledes vælges igen (2). Dette fremgår af figur A.12.



Figur A.12: Opsætning af registreringsobjekter fortsat, til trin 6

Trin 7

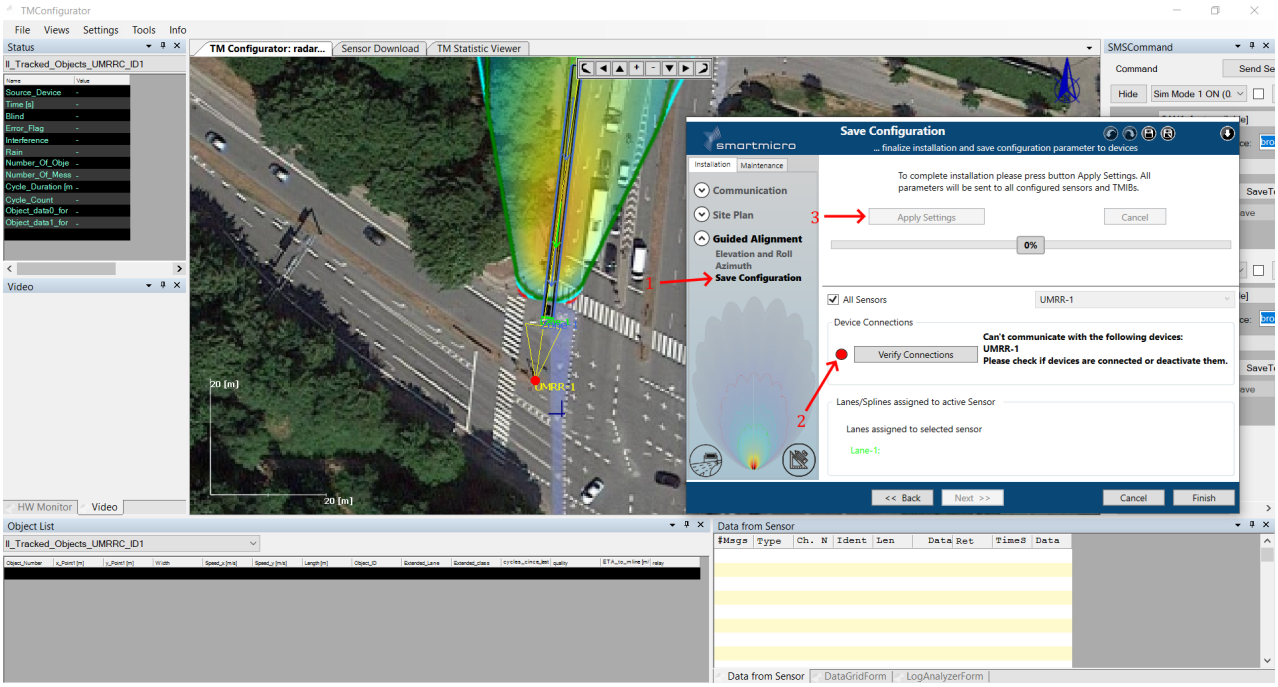
Ved trin 7 tjekkes dækning af radar kontra de indtegnede zoner og registreringsområder. Her vælges kategorien "Coverage Check"(1). Hvis alt er opsat korrekt, kan denne kategori ikke findes, da opsætningen er i orden. Hvis kategorien kan findes, fremgår røde markeringer af de zoner der er problematiske (2). Problemet fremgår af dialogboksen (3), hvor der er givet en forklaring på problemet. Efter ændring i zonerne kan "Check again"(4) funktionen benyttes til at undersøge om problemet er løst. Dette fremgår af figur A.13.



Figur A.13: Undersøgelse af om opsætning er korrekt, til trin 7

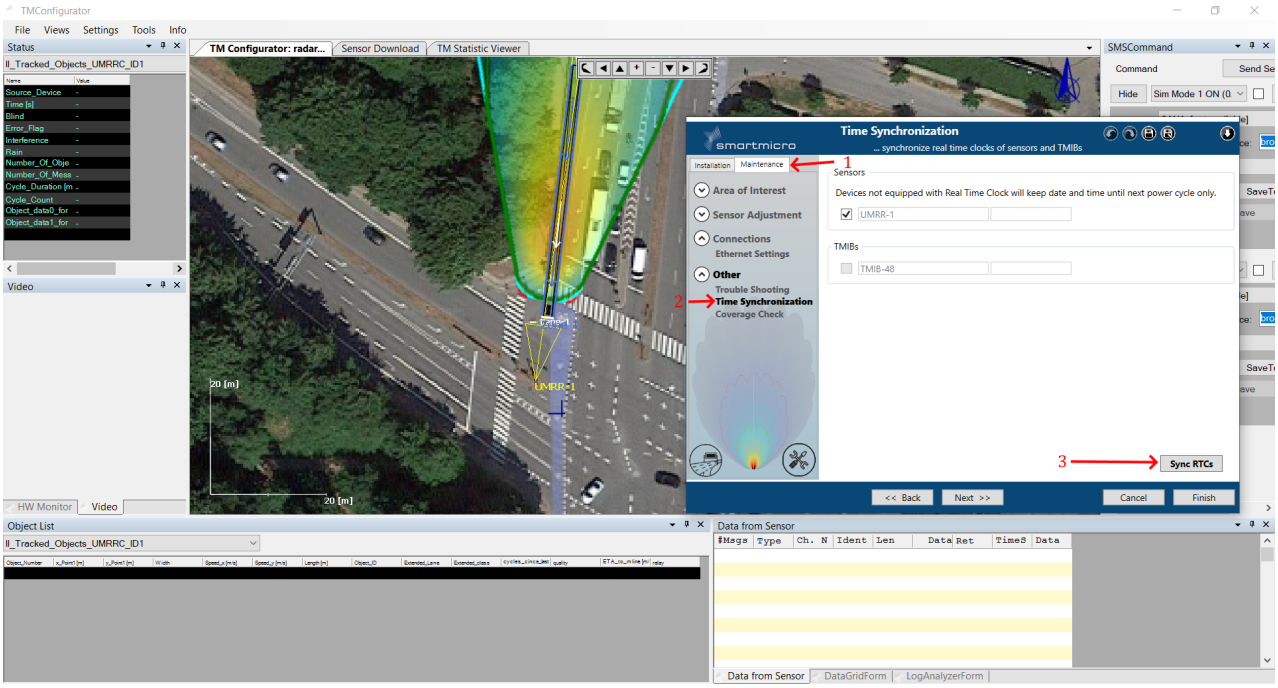
Trin 8

Ved trin 8 afsluttes opsætningen i "wizard". Først vælges overkategorien "Guided allignment"og dernæst "Save Configuration"(1), her er det muligt at upload opsætningen til radaren, hvis den er tilknyttet computeren. Hvis der er signal mellem computeren og radaren, så vil cirkelen ved siden af "Verify Connections"være grøn, hvilket ikke er tilfældet på det næstkommende billede (2). Hvis der er forbindelse mellem radar og computer, så kan konfigureringen overføres til radaren, ved at trykke på "Apply Settings"(3). En billede af processen fremgår af figur A.14.



Figur A.14: Overførsel af konfigurering til radar, til trin 8

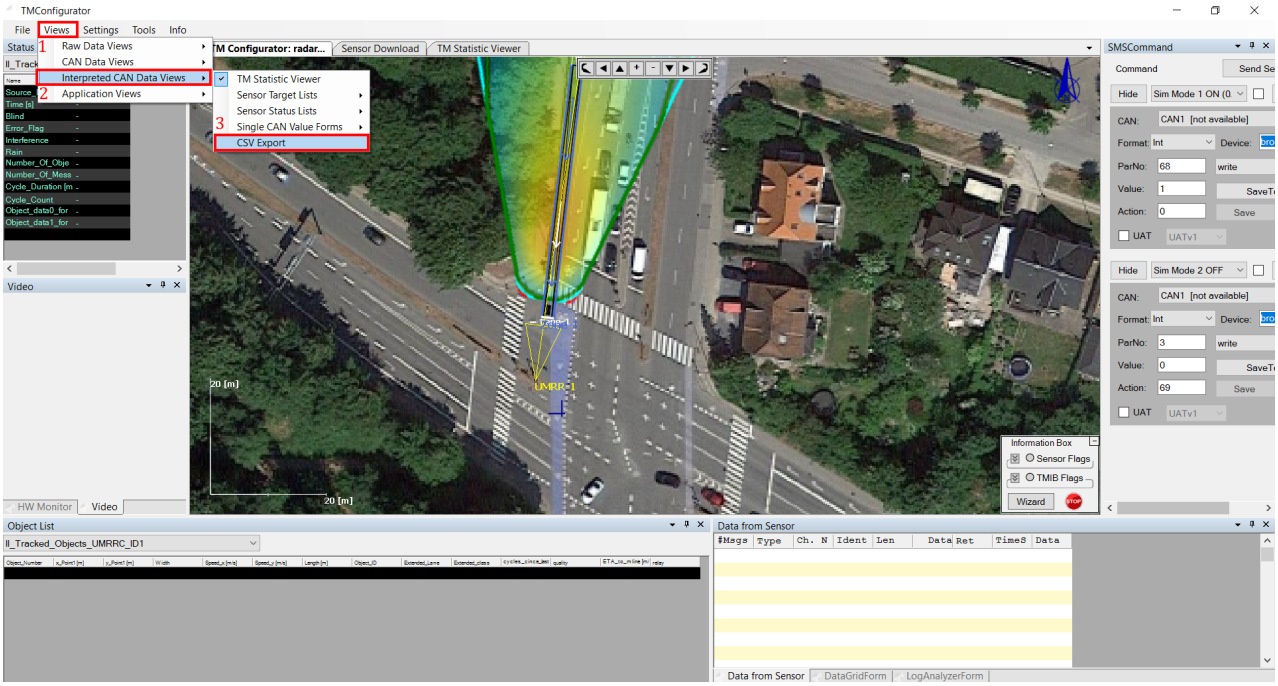
Registreringstidspunkt for radaren synkroniseres ligeledes når opsætningen overføres. For størst præcision gøres det igen lige inden selve registreringen. Først navigeres der over til "Maintenance"vinduet (1) i "wizard", dernæst vælges "Time synchronization"(2) og sidst vælges "Sync RTC's"(3). Derved synkroniseres radaren med reel tidspunkt. Denne proces fremgår af figur A.15.



Figur A.15: Synkronisering af tidspunkt, til trin 8

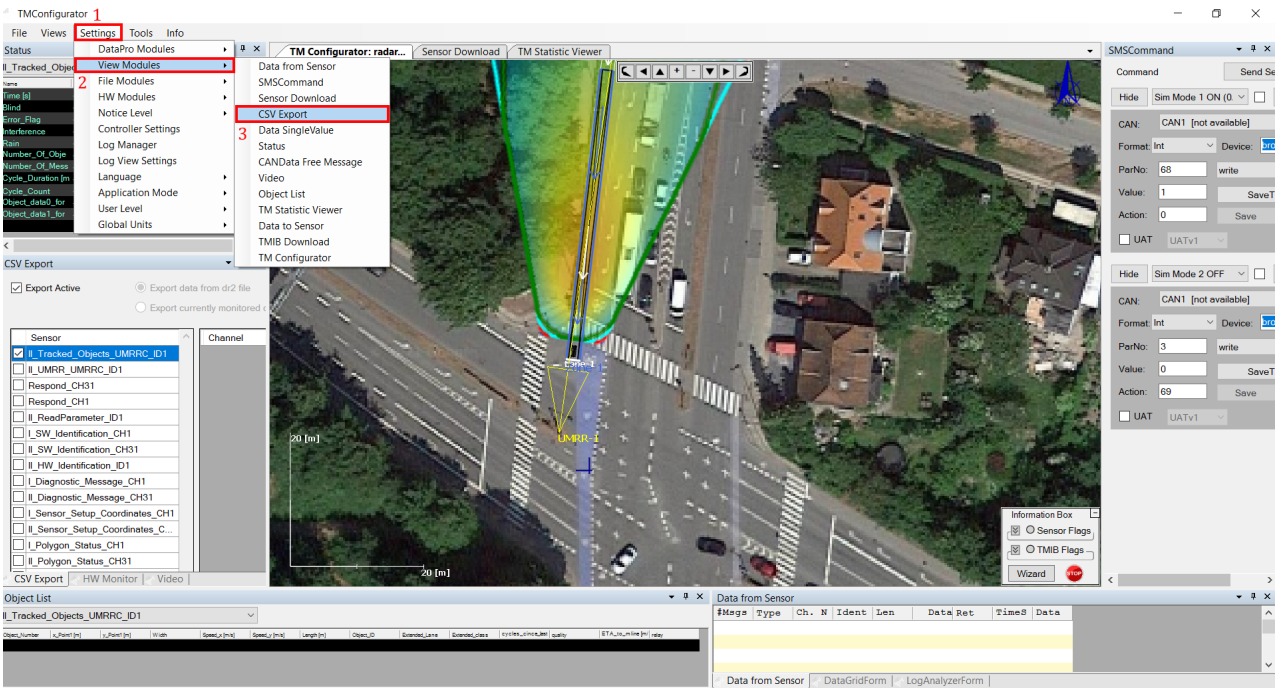
Trin 9

Ved trin 9 konfigureres eksporten af CSV-fil. Først hentes et vindue til visning af data-eksport mulighederne, dette gøres via fanen "Views"(1), dernæst "Interpreted CAN Data Views"(2) og sidst vælges CSV export (3). Dette fremgår af figur A.16.



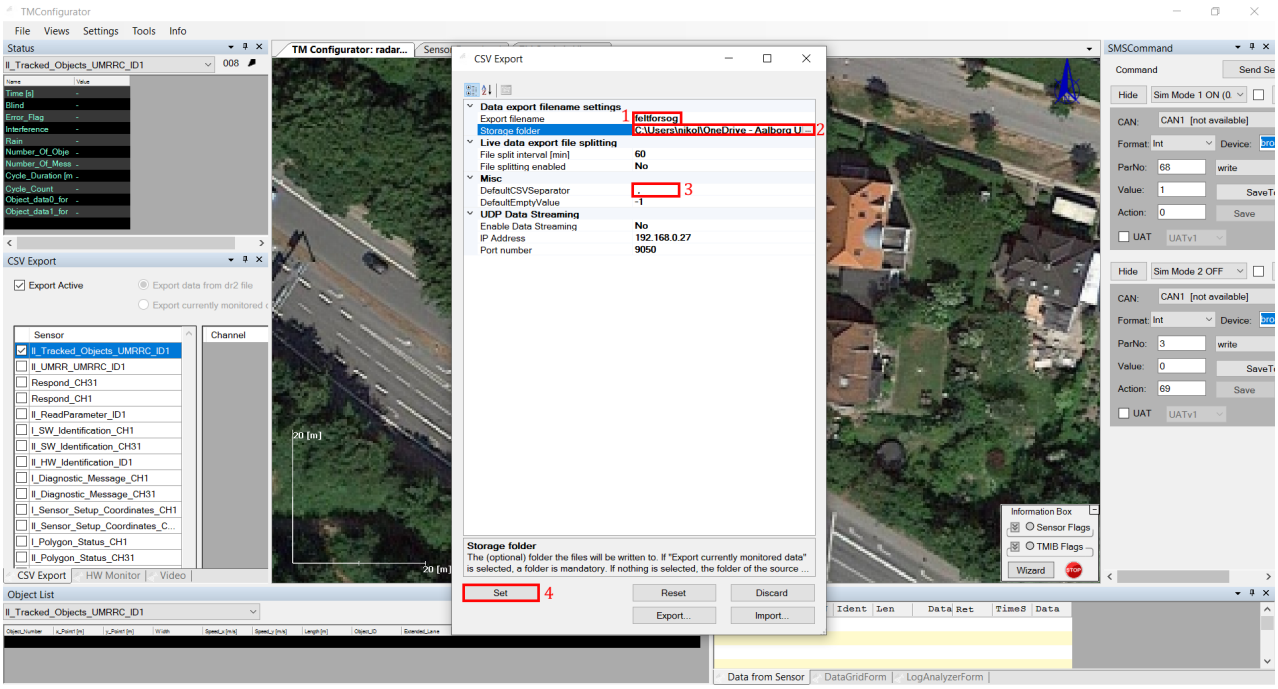
Figur A.16: Indhentning af CSV-vindue, til trin 9

Dernæst findes indstillingerne for CSV-eksport. Via fanen "Settings"(1), dernæst "View Modules"(2) og sidst CSV-export (3). dette fremgår af figur A.17.



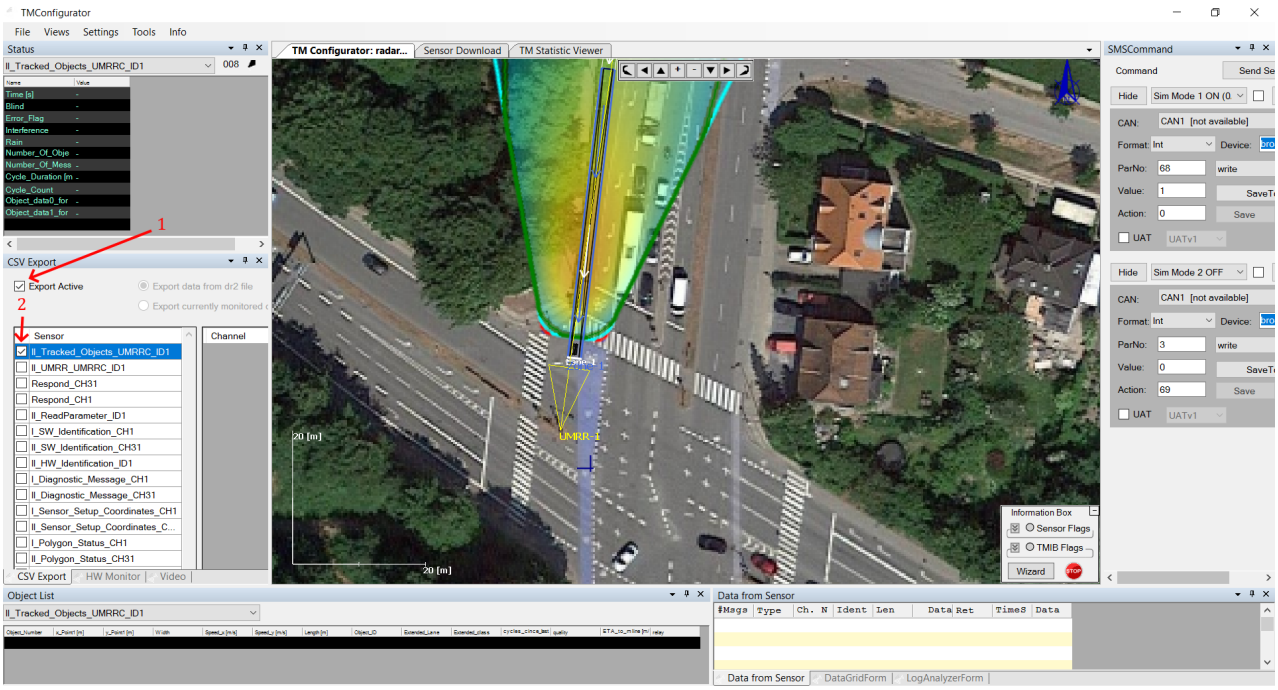
Figur A.17: Åbning af vindue til indstillinger til CSV-eksport, til trin 9

Derved kan indstillingerne nu redigeres. Først opsættes et CSV-eksport filnavn (1), dernæst lokationen for hvor filen skal gemmes (2) og sidst valg af CSV-seperator (3), her er der valgt at bruge komma. Dernæst gemmes indstillinger (4). Dette fremgår af figur A.18.



Figur A.18: Redigering af CSV-eksport indstillinger, til trin 9

Når selve dataregistreringen så skal påbegyndes vælges "Export Active"(1) i "CSV Export"vinduet. Yderligere vælges det data der skal eksporteres, her vælges "II_Tracked_Objects_UMRRC_ID1"(2). Derefter eksporterer programmet en CSV-fil af registreret data under forsøgsperioden. Fremgangsmåden til at få eksporteret data, fremgår af figur A.19.



Figur A.19: Udtræk af CSV-data, til trin 9

B. Appendix

Nedenstående Python script er benyttet til at plotte punkter med koordinater i UTM32N på et billede

```
# Først importeres de pakker, som skal burges
import numpy as np #Denne pakke håndtere arrays
import pandas as pd #Denne pakke håndterer datafiler, bl.a. csv.
import math #Denne pakke indeholder matematiske funktioner
import imageio #Denne pakke bruges til at læse billedfiler
import cv2 #Denne pakke anvendes til at approximere en homografi
import os #Denne pakke håndterer windows stier
import matplotlib.pyplot as plt #Denne pakke håndterer plots
import matplotlib.cm as cm #Denne pakke indeholder en farveskala


#Følgende fire linjer indeholder forskellige parametre visningsparametre.
#Kun den sidste anvendes til slutproduktet
pd.set_option('display.max_columns', 500)
pd.set_option("display.float_format", lambda x: '%.3f' % x)
np.set_printoptions(precision=25, suppress=False)
plt.rcParams["figure.figsize"] = (16, 9) #Denne sætter billedformatet til 16:9,
    angivet i tommer, med 80 pixels pr. tomme

df = pd.read_csv('Hobrovej_Del2.csv', delimiter=',') #Her indlæses data fra radaren.
     csv-filen skal ligge i samme folder som python scriptet.

#unix0 er datoen og klokkeslættet radaren starter op med. 29/4-21- 11:34:11
#Derefter regnes en ny unix tid, hvor unix0 benyttes samt tiden fra csv-filen
    omregnes til sekunder og lægges til unix0.
unix0 = 1619688851

df['unix'] = unix0+df['pc_time']/1000
#print(df['unix'])


# Radar koordinater, UTM32N, EPSG:25832 : (555244.06 , 6322333.32)
# Radar rotation: x aksen er roteret 84 grader i positiv omløbsretning
origo_x = 555244.06
origo_y = 6322333.32
vinkel = 84.0

#grader omregnes til radianer
rotation = vinkel*2*math.pi/360

#Nye søjler med UTM32 koordinater
df['x_utm'] = origo_x+df['xpoint']*math.cos(rotation)-df['ypoint']*math.sin(rotation
    )
```

```
df['y_utm'] = origo_y+df['xpoint']*math.sin(rotation)+df['ypoint']*math.cos(rotation
    )


# Punkter fra baggrundskortet, målt i qgis
pts_utm = np.array([[555247.52, 6322351.16], [555251.96, 6322349.20], [555254.99,
    6322352.64],
[555249.11, 6322355.42],
[555253.40, 6322365.84], [555253.85, 6322382.21], [555269.05, 6322403.91],
[555253.13, 6322404.68]])


# punkter fra video målt i pixels i programmet gimp.
# Bemærk når der måles i pixels er (0,0) i billedets øverste venstre hjørne.
pts_camera = np.array([[650, 1080-885], [1482, 1080-929], [1662, 1080-776], [783,
    1080-741],
[942, 1080-542], [678, 1080-407],
[1113, 1080-299], [536, 1080-260]])


#beregn homografi
h, status = cv2.findHomography(pts_utm, pts_camera)

#ny x og y kolonne med camera koordinater. Beregnet som h*[x,y,1]=[x'*w, y'*w, w]
df['x_cam'] = (h[0, 0]*df['x_utm']+h[0, 1]*df['y_utm']+h[0, 2])/(h[2, 0]*df['x_utm'
    ]+h[2,
1]*df['y_utm']+h[2, 2])
df['y_cam'] = (h[1, 0]*df['x_utm']+h[1, 1]*df['y_utm']+h[1, 2])/(h[2, 0]*df['x_utm'
    ]+h[2,
1]*df['y_utm']+h[2, 2])

# Her laves en liste over alle billeder, der skal tegnes på
filenames = []
path_in = 'D:/Universitet/VIDEO TIL SPECIALE/Test/' #Her angives stien til mappen
    med billeder

image_folder = os.fsencode(path_in)
for file in os.listdir(image_folder):
    filename = os.fsdecode(file)
    if filename.endswith('.png'):
        filenames.append(filename)

#Denne løkke tegner radarens observationer på alle billederne
# 19/5/2021- 07:10:00 svarer til 1621403253 unix. Bemærk tiden er i utc+2
start_tid = 1621403253 #Starttid målt i unix time
k = 1 #Antal billeder pr. sekund
```

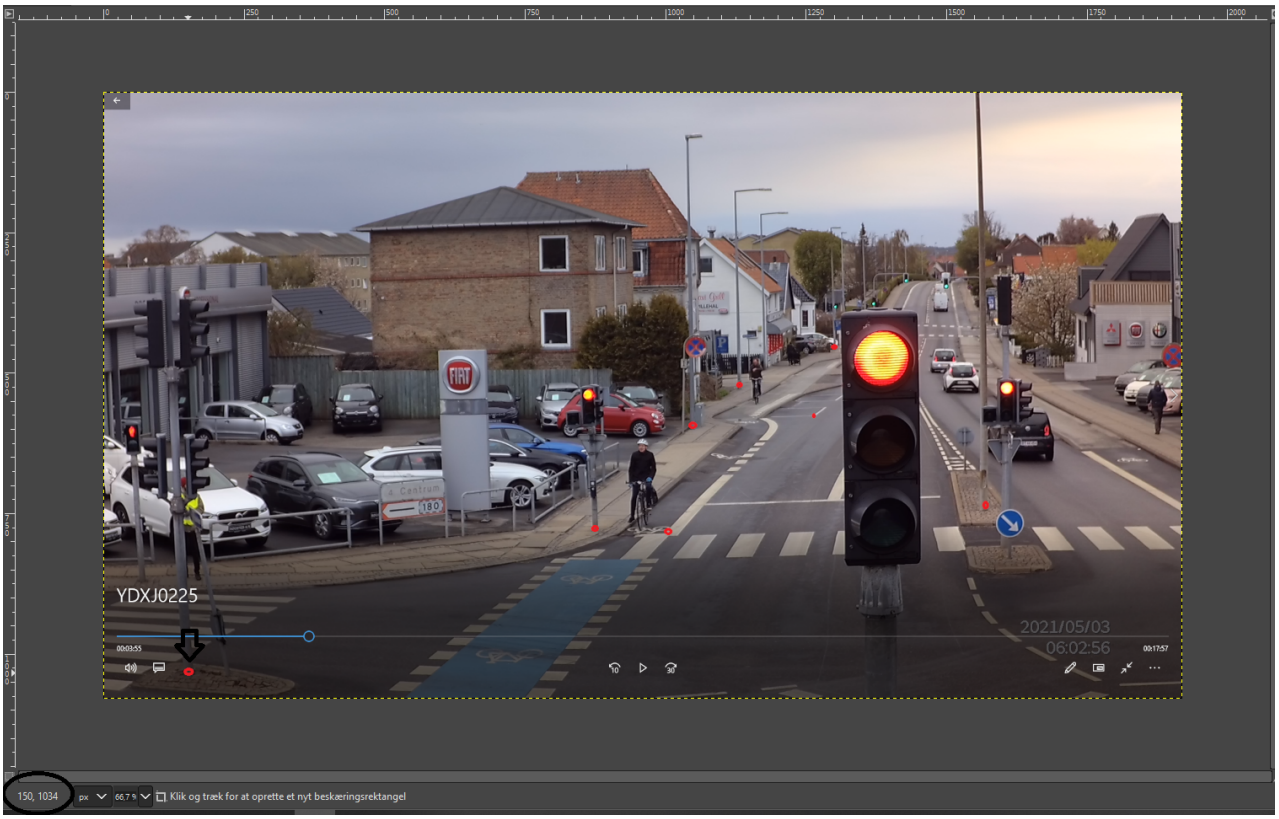
```
path_out = 'D:/Universitet/VIDEO TIL SPECIALE/Testud/' #Sti til mappe hvor billederne skal gemmes.

for n, filename in enumerate(filenames):
    j = n/k #Her beregnes hvor mange sekunder, der skal lægges til starttiden for hvert billede
    plt.clf()
    plt.tight_layout()
    data = df[['unix', 'x_cam', 'y_cam', 'object_id']].query('@start_tid+@j < unix< @start_tid+@j+0.5') #Her udvælges punkterne, der skal plottes
    print(len(data), filename) #Denne linje skriver i konsollen, hvor mange punkter der
#er udtaget og billedet de plottes på.
    object_ids = data['object_id'].unique() #Her udtages de unikke IDs, der skal plottes
    object_ids.sort() #Sortering af IDs
    colors = cm.rainbow(np.linspace(0, 1, len(object_ids))) #Tildeling af farver til IDs
    for x, c in zip(object_ids, colors): #Denne løkke plotter punkterne
        data_color = data.query('object_id==@x')
        plt.scatter(x=data_color['x_cam'], y=data_color['y_cam'], s=30, color=c)
        for i in range(0, len(data_color['object_id'])):
            if i % 5 == 0:
                plt.annotate(str(data_color.iloc[i, 3]), (data_color.iloc[i, 1], data_color.iloc[i, 2]))
    imgpath = path_in + str(filename) #Her oprettes stien til det billede, der skal tegnes på
    img = imageio.imread(imgpath) #Her indlæses billedet, som der tegnes på
    plt.imshow(img, zorder=0, extent=[0, 1920, 0, 1080]) #billedet lægges ind bag punkterne
    plt.legend(object_ids, loc='upper left', bbox_to_anchor=(1, 1)) #Der tilføjes en signaturforklaring
    name = path_out + str("frame%05d" % n) + ".png" #Billedet navngives
    plt.savefig(name) #billedet gemmes
```

C. Appendix

Figur C.1 viser udsnit af Qgis, hvor punkter fra et baggrundskort er fundet. Den røde ring viser de aktuelle koordinater for punktet, som den røde pil peger på. For hvert af de gule punkter, indskrives deres respektive koordinat i Python scriptet.

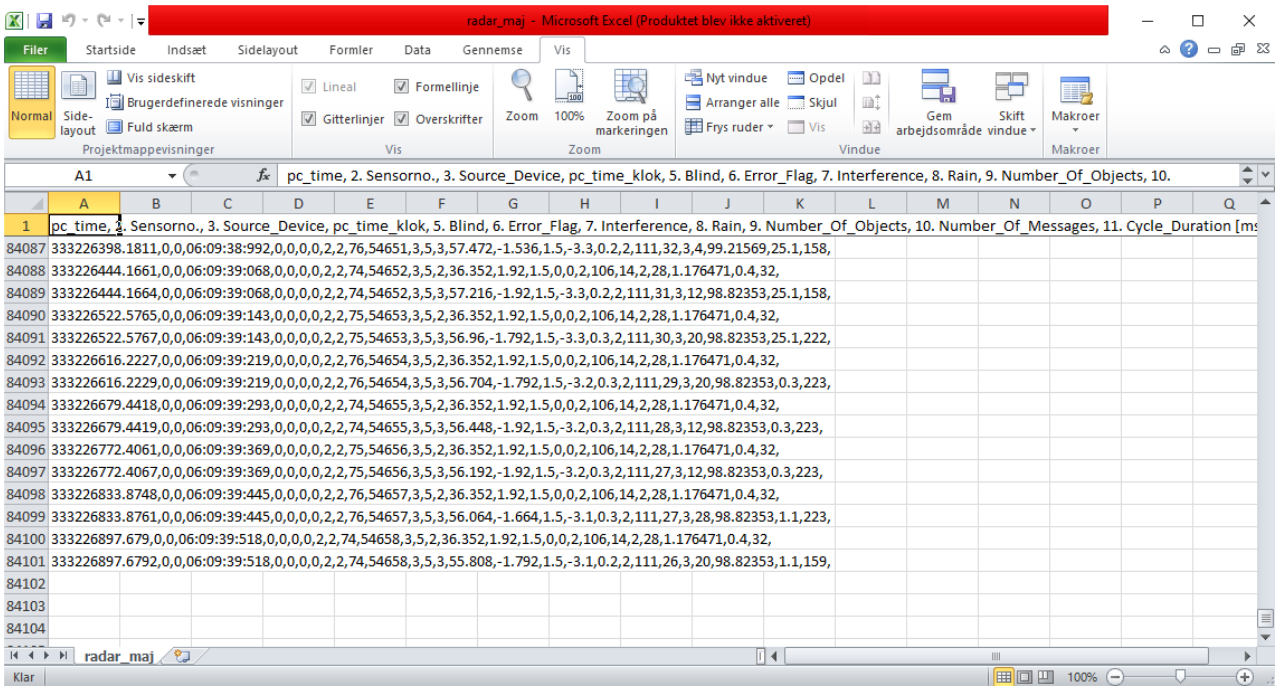
Figur C.1: Udsnit af Qgis til at finde koordinater til Python scriptet

Figur C.2 viser udsnit af Gimp, hvor punkter målt i pixels er fundet, ved hjælp af et billede fra en af feltoptagelserne. Den sorte ring viser de aktuelle koordinater for punktet, som den sorte pil peger på. For hvert af de røde punkter, indskrives deres respektive punkt i Python scriptet.



Figur C.2: Udsnit af Gimp til at finde koordinater til Python scriptet

Efter endt dataindsamling ved hvert af feltforsøgene, bliver en CSV-fil, magen til C.3, eksporteret. Filen indeholder over 84.000 linjer information, og den øverste linje viser noget af den information som indsamles.



Figur C.3: Udsnit af eksporteret CSV-fil fra dataindsamling med radar