

Udpegning af kryds ved brug af FCD

Lasse Esbech Stenstrop
Benjamin Lund H. Bønnelykke

4. Semester
Kandidatspeciale

Veje & Trafik
Aalborg Universitet
04/06/2025



**Titel: Udpegning af kryds ved brug af
FCD**

Projekt: VTT10

Projektperiode: 01/02/2025 - 04/06/2025

Deltager:

Lasse Esbech Stenstrop

Benjamin Lund Habekost Bønnelykke

Vejleder AAU:

Giulio Bianchi Piccinini

Sidetal hovedrapport: 61

Sidetal m. Bilagsrapport: 85

Afsluttet 4. Juni 2025

Synopsis:

I dette projekt har der været fokus på, at opbygge en fremkommelighedsmodel, der beskriver den relative fremkommelighed på vejnettet. På baggrund af dette har det været muligt at udføre en screening af de signalregulerede kryds på det analyserede vejnet.

Fremkommelighedsmodellen i projektet er opbygget i QGIS, hvor denne er opbygget i et område omkring Aalborg by. Modellen indeholder et vejnet, der er baseret på 41.750 vejsegmenter og 160 signalregulerede kryds, som er fastlagt ud fra Open Street Map.

I projektet er der udført et litteraturstudie. Ud fra litteraturstudiet er der opbygget en metode til opbygning af en fremkommelighedsskala. Denne beskriver forskellen mellem *Free flow* hastigheden og spidstimehastigheden. Ud fra den procentvise forskel mellem disse to hastigheder, inddeles skalaen i fem kategorier og vises grafisk.

Forord

Dette projekt er udarbejdet af Lasse Esbech Stenstrop og Benjamin Lund Habekost Bønnelykke, på 4. semester af kandidatuddannelsen Veje og Trafik på Aalborg Universitet. I projektet er det overordnede tema, *Brugen af Floatning Car Data i trafikarbejdet*, hvor der opbygges en fremkommenlighedsskala ved brug af Floatning Car Data og det grafiske program QGIS.

Der skal lyde en stor tak til vejleder, Giulio Bianchi Piccinini, for at komme med god sparring. Der skal også lyde en stor tak til COWI, for god sparring fra Lasse Høyrup Sørensen og Line Degn Laden. COWI har også bistået med adgang til Floating Car data. Projektgruppen har også haft møde med Aalborg Kommune og Århus Kommune, også stort tak til begge kommuner for at tage tiden til at bistå projektet med indsigt i kommunernes arbejde med transportnetværk.

Læsevejledning

I rapporten er den anvendte kildehåndtering Harvard-metoden. I rapporten angives kilderne derfor som (Forfatterens efternavn, år), og hvis ikke der er oplyst forfatter, angives kilderne som (Udgiver, år). For de kilder, hvor der ikke er oplyst årstal, er forkortelsen N.a. anvendt. Såfremt, at en kilde er placeret efter et punktum refererer kilden til det foranstillede afsnit, hvor en kilde placeret før et punktum refererer til den foranstillede sætning.

Tabeller, figurer og formler henvises til ved nummerering. Det første tal i nummereringen angiver kapitelnummer, hvor det andet tal angiver tabel-, figur- eller formelnummer.

Floatning Car Data anvendt i dette projekt er fra datakilden Connected Cars gennem Mobility Wizard. Data afbilledet i QGIS forkommer altid på et baggrundskort fra Dataforsyningen.

Abstract

This Project examines the usability of Floating Car data to evaluate and address signalized intersections with accessibility issues. The study investigates previous reports regarding floating car data through a literature study, to determine previously collected experience from using this type of data. The aim is to gather knowledge about issues and possibilities for floating car data to incorporating these into this project's methodology.

The methodology is structured by generating an accessibility model, which is done through QGIS. The model is structured by a road network, a comprehensive amount of signalized intersections (160), and road segments (41,750), which will be used for analyzing floating car data. The accessibility model in QGIS is represented by an accessibility scale, visualizing the relative speed reduction to enable a comparative analysis of the entire road network. Based on the scale, specific corridors will be evaluated based on low performance by the accessibility scale, and involved signalized intersections are evaluated.

There will furthermore, based on the accessibility model, be analyzed multiple cities to evaluate its application and independence from specific local traffic conditions.

Through the analysis in this study, the model has been validated through field inspections and evaluation meetings with municipalities from analyzed cities. Through these validations, it has been determined that the accessibility model has a high applicational potential within transportation planning and maintenance of signalized intersections. The strengths of the accessibility model are shown in its general evaluation of the road network to show corridors, whereas its weaknesses are by small specific analysis on a microscopic scale.

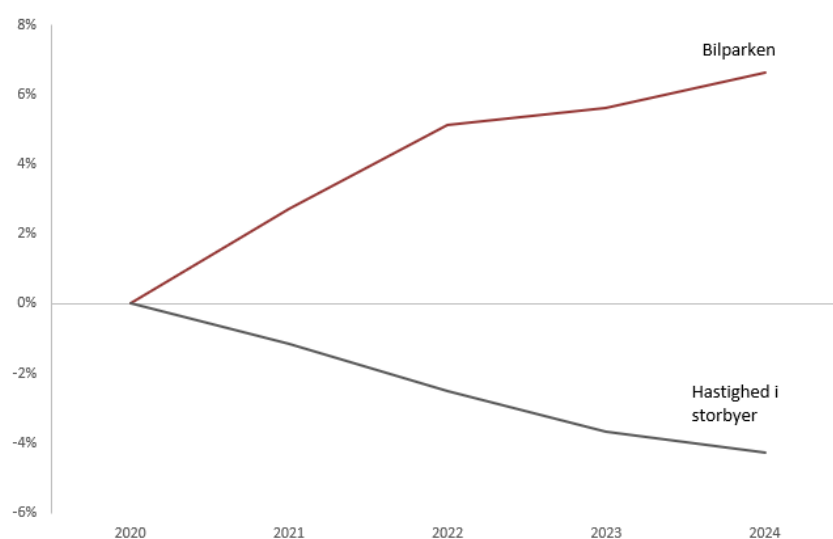
Indholdsfortegnelse

Kapitel 1	Indledning	1
1.1	Trængsel og signalregulerede kryds	2
1.1.1	Trafikmodeller	3
1.2	Floating Car Data	3
1.2.1	Mobility Wizard	4
1.3	Problemformulering	6
Kapitel 2	Litteraturstudie	7
2.1	Betydning af penetrationsrater af bilparker	7
2.2	Forsinkelser og hastigheder	9
2.3	Kø længder	11
Kapitel 3	Metode	12
3.1	Projektlokalitet	12
3.2	Datagrundlag	13
3.2.1	MobilityWizard	13
3.2.2	Periode for dataudtræk	16
3.2.3	Valideringer	17
3.3	Modelopbygning	17
3.3.1	GIS	17
3.3.2	Open Street Map	18
3.3.3	Fremkommelighedsskala	19
Kapitel 4	Analyse	22
4.1	QGIS - Model	22
4.2	Free Flow hastighed	23
4.3	Data pålidelighed	25
4.4	Beregningsgrundlag	27
4.5	Fremkommelighedsskala	28
4.5.1	1. iteration	28

4.5.2	2. iteration	29
4.5.3	3. iteration	30
4.5.4	Besigtigelser	30
4.5.5	4. iteration	32
4.5.6	5. iteration	33
4.5.7	Validering af proces	34
4.6	Udpegning og rangering af signalregulerede kryds	38
4.6.1	Opsummering	44
Kapitel 5	Diskussion	47
5.1	Modellen overordnet	47
5.2	Praksis anvendelighed	50
5.3	Nye og tidligere erfaringer	54
5.4	Datagrundlag	56
Kapitel 6	Konklusion	60
Litteratur		62
Appendiks A	Litteraturstudie	66
A.1	Systematisk litteratursøgning	66
Appendiks B	GPS	70
Appendiks C	Floating Car Data	72
Appendiks D	Map matching	74
Appendiks E	Besigtigelse	75
Appendiks F	Fremkommenlighedsskala	81
Appendiks G	Statistiske analyser	84

Indledning 1

Trængsel er et velkendt fænomen som påvirker langt størstedelen af samfundet og sættes i fokus når det opstår. Statistikken beskriver en historik, hvor trængsel fortsat er stigende og det samme gælder for bilparken. Hertil er det værd at påpege forskellen mellem stigningsgraderne, hvor trængsel har en disproportional sammenhæng til bilparkens tilførelse. Dette skyldes bl.a. at en mindre stigning i trafikken har stor betydning for et allerede højt eller opbrugt kapacitetsnet. I forhold til kapacitetsgrænser, er løsningen ofte mere kompliceret, hvor dette kan skyldes rumlige begrænsninger. Dette kommer særligt til udtryk i byerne, hvor der er tæt bebyggelse sammenlignet med landlige områder. Det er derfor i flere situationer nødvendigt at undersøge andre muligheder for, at håndtere trængsel i byområderne, hvor ny asfalt ikke nødvendigvis er løsningen eller en mulighed. Ny asfalt som løsning er ligeledes noget der er omdiskuteret i et debatindlæg fra Ingeniøren, hvor det påpeges at trængsel ikke udelukkende kan bekæmpes med udbygning af ny asfalt. Heri understreges det også at problematikken omkring byernes kapacitet ikke forekommer på de lige strækninger, men opstår i de signalregulerede kryds. (Skov, 2024) Trængselsproblematikken kan ydermere eftervises ved udviklingen i hastighedsprofilerne på vejnettet, hvor denne er faldende i takt med en stigning i bilparken. På figur 1.1 fremgår denne udvikling og indikerer en reduktion i *free flow*.



Figur 1.1. Udvikling i Personbilparken (rød linje) og hastigheder i store byer (blå linje). Indeks 100 i 2020. (Danmarks statistik, 2024; Vejdirektoratet, 2024c)

1.1 Trængsel og signalregulerede kryds

Med de stigende udfordringer ift. kapacitet i byområder bliver det ligeledes et spørgsmål om, hvordan områder som teknologi og smart-city kan integreres til løsningen. Generelt er signalregulerede kryds en krydstype, der er kendt for at sikre forsinkelser i rejsetiden på alle krydsretninger. Hertil er det nødvendigt at understrege krydstypens styrker, hvor denne kan håndtere store trafikmængder og uproportionelle retningsfordelinger i modsætning til rundkørsler. (Vejdirektoratet, 2024b) Det kan derfor være komplekst, at finde løsninger på kapacitetsproblemer ved signalregulerede kryds, når mængden af spor og øvrige fysiske tiltag er taget i brug. Hertil søges ofte mod en smart-teknologisk løsning, som trafikstyring med radar i kryds, til at understøtte kapacitetsarbejdet.

Efterspørgslen, af teknologiske løsninger, er ligeledes eksisterende hos bestyrerne af vejanlæg, som f.eks. signalregulerede kryds. Som offentlig instans står ansvaret for drift og vedligeholdelse på listen over opgaver, hvor ressourcer som økonomi og tid har en stor betydning. Det er indtrykket fra Aalborg Kommune med udtalelser, om mulighed for integrering af smarte løsninger ved brug af GPS data og lignende værktøjer. (Aalborg Kommune, 2025a) Under samtalen med Aalborg Kommune bliver det understreget at med de eksisterende processer er det ikke muligt, at detektere fremkommenlighedsproblemer som de opstår. På nuværende tidspunkt kræver det indberetninger om mistanke af fejl i signalprogrammer eller lignende, før der sættes fokus på det enkelte anlæg. Dette er ligeledes forståeligt med ca. 160 signalregulerede kryds og begrænset mængde af ressourcer. Samtidigt bliver der udtrykt et ønske om et program, teknologi eller lignende, som kan bidrage til udpegning af signalanlæg med problemer. Herved vil bestyrer have et overblik over problemerne fremfor at vente på de dukker op, hvor det kan resultere i store trafikafviklingsmæssige problematikker. (Aalborg Kommune, 2025a)

I Aalborg er de fleste signalregulerede kryds trafikstyrede, hvilket er en styreform, hvor anlægget tilpasser grøntiderne til trafikmængden i de pågældende retninger. Ved brug af trafikstyring opnås en mere effektiv afvikling af trafikken, da der ikke er unødvendigt lange grøntider. De alternative styreformer er tidsstyrede, hvor der er faste tidsintervaller i hvert omløb, eller samordnet, hvor to eller flere anlæg skifter faser sammen for at undgå tilbagestuvning i nogen af anlæggene. (Aalborg Kommune, 2025a)

1.1.1 Trafikmodeller

Af de værktøjer der forekommer, inden for trafikplanlægning ift. at undersøge trafikafviklingen gennem flere kryds og vejanlæg, er trafikmodeller en af disse. Dette værktøj bidrager til en forståelse for, hvordan en bestemt ændring i trafikmønstret kan have indflydelse på det øvrige vejnet og trafikafviklingen hertil. Det kan ligeledes være ifm. en vejlukning eller anlægning af en ny vej, hvor trafikmodeller kan bidrage til en forståelse for, hvordan disse implementering påvirker trafikmønstret.

De trafikmodeller som anvendes i Danmark er forskellige ift. størrelsesordenen af dem. Der forekommer trafikmodeller som analyserer større områder i Danmark, hvor disse er COMPASS (Region Hovedstaden) og Grøn Mobilitetsmodel (GMM), hvor denne analyserer hele Danmarks vejnet. (vejdirektoratet, 2025)

Trafikmodeller er et af de værktøjer, inden for trafikplanlægning, som giver mulighed for at anvende data fra nyere teknologier. Hertil menes anvendelse af Global Position Systems (GPS) til kalibrering af trafikmodeller, som ligeledes kan understøtte andet indsamlet data. Der er derfor et stort potentiale for at anvende realtids data aktivt i trafikplanlægning, hvor dette kræver en anvendelse af GPS data som indeholder informationer omkring trafikanternes adfærd.

1.2 Floating Car Data

Med en stigende efterspørgsel på smartere og mere effektive processer inden for infrastruktur og drift af signalregulerede kryds, er teknologi en primær motor mod dette. På nuværende tidspunkt arbejder de større byer i Danmark allerede med integrering af teknologi til, at optimere områder inden for transportsektoren. Hertil anvendes ofte større og mindre trafikmodeller til at fastslå, hvordan optimeringerne ændrer på trafikafviklingen. Dette er bl.a. ved implementering af trafikstyringer og andre prioriteringsændringer for forskellige trafikgrupper. Prioriteringsændringer kan f.eks. være busprioritering, hvor busser forsøges afviklet hurtigst muligt gennem et signalreguleret kryds. Hertil ændres faserne, så retningen bussen ankommer fra opnår grønt hurtigst muligt. (Niras, UÅ) En teknologi der fortsat har en begrænset integrering i infrastrukturen er GPS data. Dette skyldes bl.a. bekymringer ift. GDPR og den generelle *pilot-syge*, som f.eks. datapålidelighed, hvilket blev utrykt i en rapport i 2016 angående udvikling af smart-cities i Danmark. (Doody et al., 2016)

GPS er en avanceret datakilde til anvendelse inden for optimeringsarbejde ved eksempelvis

signalregulerede kryds. Når GPS data kombineres med øvrige informationer om køretøjer, bliver det bl.a. omtalt som Floating Car Data (FCD). Probe data eller FCD definerer begge data der er indsamlet ved GPS systemer med en datastruktur som indeholder informationer omkring køretøjers adfærd.(DOT, 2017) Brugen af FCD er blevet mere og mere udberedt. Det medfører flere muligheder for at kunne udnytte dataene til, at vurdere den trafikale situation, grundet større implementering af dataindsamlings anordninger. Det første store studie omkring FCD i Danmark blev udført af Aalborg Universitet. Studiet havde til formål at lave en platform til intelligente transportsystemer (ITS). Forsøget blev udført ved at montere et Global Navigation Satellite System (GNSS) i 425 biler. GNSS boksen logger bilens placering hvert sekund. De 425 biler kørte primært i området omkring Nordjylland. (Tøfting et al., 2014)

Dataindsamlingen i studiet forløb over tre år, fra 2010 til 2013. I den periode blev der undersøgt mange muligheder for brugen af FCD. De primære områder hvor brugbarheden af FCD blev undersøgt var, at se på trængsel ud fra hastigheder, parkering og kørsel afgift. Studiet kunne konkludere, at der var gode muligheder for at bruge FCD i planlægnings arbejde med trafik. (Tøfting et al., 2014)

Studiet fra Aalborg Universitet banede vejen for nye metoder og indsamling af et mere detaljeret datagrundlag for anlæg som signalregulerede kryds. Dette skyldes at studiet bl.a. fremlagde resultater for større dataregistrering gennem FCD nær signalregulerede kryds. Årsagen til dette kan forklares ved ændringer i kørselsmønstret såsom, hastigheds- og retningsændringer hos trafikanterne, hvorved der opnås en større registreringsfrekvens. (Connected Cars, 2024) Data som dette har derfor stort potentiale for at forbedre beslutningsgrundlag og andre optimeringsopgaver, idet dataene kan opbevares i perioder op til flere år. Det vil derfor være fordelagtigt med en platform, som bidrager til trafikale undersøgelser ved anvendelse af FCD.

1.2.1 Mobility Wizard

En platform der giver mulighed for at udføre trafikanalyser ved brug af FCD er Mobility Wizard. Dette er et program udviklet af COWI, i samarbejde med Connected Cars og BeMobile. Platformen giver mulighed for forskellige trafikanalyser, hvor nogle af disse er listet herunder.

- Ruteanalyse
- Hastighedsanalyse
- Segmentanalyse
- Origin/Destination-analyse (Be Mobile, 2025)

Platformen er linket op med Connected Cars database for indsamlet FCD, hvilket giver mulighed for at indsamle og analysere trafikdata 24 timer efter registreringen i køretøjerne. Analyserne der udtrækkes fra sådanne platforme er i høj grad aggregeret, hvilket betyder, at trafikanalyser er baseret på data hvor output er gennemsnitshastigheder, fraktilhastigheder og lignende.

Selvom platforme som disse er tilgængelige, er der fortsat en begrænset anvendelse af disse, hvilket medfører en undren til hvorfor. Gennem samtaler med COWI og Aalborg Kommune, er det erfaret at generelle vurderinger af signalregulerede kryds og øvrige anlæg er subjektivt præget. Subjektiviteten opstår ved at en medarbejder/person skal vurdere ud fra en parameter, hvorvidt kølængden eller anden serviceniveauparameter er problematisk. Det er ikke udelukkende én parameter der afgør tilstanden, men som oftest en kombination af kølængder og middelforsinkelse. (Aalborg Kommune, 2025a) Kølængde og middelforsinkelser er begge parametre, der er velanvendt inden for kapacitetsberegninger i Danmark ved vurdering af forskellige anlæg. Hertil kan det undre, at der ikke forekomme standarder for, hvornår anlæg som signalregulerede kryds er et problem der skal behandles eller accepteres. Det bliver derfor ofte til en subjektiv beslutningsproces hos kommunerne, idet der ikke forekommer standarder for, hvornår trafikafviklingen i et signalreguleret kryds er et problem. Dette er selvom, der i vejregler forekommer en rangering af serviceniveau. Dog giver denne rangering ikke en direkte vejledning til, hvordan niveauerne heri skal forstås ift. om der skal udføres ændringer til anlægget for at udbedre forekommende problemer. (Vejdirektoratet, 2024a)

1.3 Problemformulering

I dette projekt vil det undersøges, hvordan FCD kan understøtte arbejdet inden for transportsektoren. Mere specifikt inden for drift og vedligeholdelse af trafikale anlæg som signalregulerede kryds. Med platforme som Mobility Wizard, der bidrager med FCD som datagrundlag, foreligger der stort potentiale til at effektivisere og gøre processerne, samt optimeringerne inden for drift og vedligeholdelse af signalregulerede kryds, mere robuste.

Derfor vil det undersøges, hvorvidt det er muligt at opstille en metode til at analysere FCD med fokus på vurdering af signalregulerede kryds med fremkommelighedsproblemer. Fremkommelighedsproblemer identificeres som effekter der påvirker hastigheden på vejnettet. Der vil hertil opstilles en fremkommelighedsmodel, der tager udgangspunkt i hastighedsprofiler, hvor denne potentielt kan understøtte udpegning af områder med signifikante hastighedsforskelle.

Hertil er der opstillet følgende problemstilling som forsøges besvaret gennem projektet.

Hvordan kan FCD anvendes i en model til udpegning af signalregulerede kryds med fremkommelighedsproblemer?

Litteraturstudie 2

For at opnå en større forståelse af FCD ift. dets muligheder og begrænsninger, i anvendelse inden for trafikplanlægning, udføres et litteraturstudie heraf. Fremgangsmåden og den anvendte metode er beskrevet i Bilag A. Litteraturstudiet vil forsøge at fastlægge begrænsningerne og validering af FCD generelt og efterfølgende fremlægge tidligere studier, der undersøger anvendelsen af FCD i en praktisk anvendelighed. Det overordnede fokus for litteraturstudiet er at undersøge anvendeligheden af FCD inden for trafikplanlægning, med særligt fokus på trafikmodeller og vurdering af kørselsmønstre og fremkommelighed.

Inden for transport og planlægning af infrastruktur, er der fortsat tunge manuelle drifts processer. Dette medfører at nødvendige optimeringer ved trafikale anlæg er ineffektive i udførsel. Anvendelse af data som f.eks. FCD, er en data kilde med stort potentiale, hvis anvendelsen af dataene udføres korrekt og kan omsættes til noget brugbart i de eksisterende processer.

2.1 Betydning af penetrationsrater af bilparker

I en artikel udgivet af *Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.* er det undersøgt, hvordan FCD kan anvendes som et supplement til Loop detektor data og estimere KPI'er i signalregulerede kryds. (Gan et al., 2017) KPI'erne der undersøges her er listet herunder.

1. Køretøjstimer
2. Forsinkelse

Den første parameter som artiklen undersøger indgår ikke i de danske vejregler for vurdering af kapacitet og serviceniveau for signalregulerede kryds. (Vejdirektoratet, 2024a) Måden hvorpå parameteren køretøjstimer er fastsat, er igennem FCD. Herved er det værdier direkte afledt af data udenom forskellige antagelse,r sammenlignet med bestemmelse af parameterværdier fra kapacitetsmodeller, som bygger på opregningsfaktorer og andre parametre. Dette medfører at værdierne for køretøjstimer ikke er lige så usikre som dem der udledes gennem

kapacitetsberegninger fra f.eks. vejreglen for kapacitet og serviceniveau.(Vejdirektoratet, 2024a) Selvom følsomheden over for antagelser om udledning af parameterværdien er reduceret ved brug af FCD, understreges det stadig at estimeringerne og troværdigheden af resultaterne fra FCD er stærkt afhængige af penetrationsraten. De konkluderer at der er en signifikant forskel i estimeringsfejlen ved en penetrationsrate på under 10%. Herefter vil det kræve som minimum et FCD grundlag på 80 køretøjer pr. 15 minutter for, at kunne garantere et resultat med en fejlmargen på mindre end 10%.(Gan et al., 2017) Det fremstår tydeligt i artiklen og af konklusionen at penetrationsrater har en stor betydning for anvendelse af data som FCD og derfor en af de største problematikker. Det er derfor ikke udelukkende denne artikel som understreger det, idet øvrige artikler understøtter de samme påstande(Zhao et al., 2019; Saldivar-Carranza et al., 2021; Rompis et al., 2018).

Penetrationsrate problematikken kan forekomme komplekst at løse, idet denne afhænger af befolkningens villighed til at indgå i databaserne. FCD er data som indsamles gennem dataudbydere, hvor disse har varierende mængder af tilknyttede køretøjer til deres respektive bilpark. I Danmark opererer to bidragere primært ift. FCD, hvor dette er Connected Cars og TomTom. Disse har begge forskellige penetrationsrater, men kan diskuteres, hvor forskellige de i virkeligheden er. Connected Cars har en anslået andel af den danske bilpark på 7-10%, hvor TomTom har en andel på 25-30%(Connected Cars, 2024; TomTom Move, 2024).

Forskellen mellem TomTom og Connected Cars kan være en årsagsbeskrivelse til forskellen mellem deres respektive andele af bilparken. Connected Cars har udelukkende FCD fra køretøjer, hvorimod TomTom anvender alle enheder som har en GPS f.eks. mobiltelefoner, trafik alarm som safe-enheder, Biler, GPS-enheder osv.(TomTom Move, 2024). Der kan derfor forekomme signifikante frekvenser af dobbelt og flerregistrering af den samme person. Dette kan betyde at en bus ikke registreres korrekt eller at én person registrerer flere køretøjer i databasen pga. GPS usikkerhed. (COWI, 2025) TomTom move har en større procentdel af bilparken end Connected Cars, men Connected Cars har en mere troværdig database, da alle køretøjer har monteret en specifik GNSS boks (COWI, 2025). Det er også andre virksomheder der udbyder data som FCD. Et eksempel på dette er virksomheden INRIX(INRIX, 2024) som også udbyder FCD. Hertil udbyder virksomheden de samme analyse funktioner som TomTomMove. (INRIX, 2024)

2.2 Forsinkelser og hastigheder

Selvom penetrationsraten har en stor betydning for anvendelse og troværdigheden af resultater fra FCD, er der stadig potentiale og muligheder for, at anvende dataene inden for trafikanalyser. Der er f.eks. udformet flere studier med det formål, at kunne fastsætte målbare parametre i signalregulerede kryds, hvor en af disse er udført i USA. (Waddell et al., 2020) I denne undersøgelse blev der anvendt FCD med en penetrationsrate på 2%, hvilket er langt lavere end databasen ved Connected Cars. I undersøgelsen blev der, for hvert kryds, lavet et segment på 120 meter før og efter krydsene. Segmenterne blev vurderet enkeltvis indenfor alle parametrene som studiet havde i fokus, hvor disse fremgår af Tabel 2.1.(Waddell et al., 2020)

Tabel 2.1. KPI'er fra artikel (Waddell et al., 2020) i USA

Parameter	Definition
Forsinkelse	Forskel mellem gennemsnitshastigheden på før og efter segmentet i krydset i tidsrummet 22-6 og i spidstimen. [s]
Stop	3 målinger i streg under 8 [km/t]
Ankomst ved grøntid	3 målinger i streg over 8 [km/t]
Level of travel time	Forholdet mellem 80%- og 50%-fraktilen i hastighed.
reliability (LOTTR)	Jo højere forhold, jo dårligere er det overordnet niveau

På baggrund af parametrene fremlagde studiet et konsekvent sammenligningsgrundlag for alle signalregulerede kryds, hvilket muliggør rangering mellem anlæggene. Herved opnår studiet en metode til, at fastsætte kryds med problemer relativt ift. de kryds der indgår i sammenligningen.(Waddell et al., 2020)

Af andre studier som ligeledes udforsker anvendelsen af FCD, er udført i Tyskland. Studiet er lavet i delstaten Bavarian, hvor 2.300 signalregulerede kryds er blevet undersøgt. Undersøgelsen var et forsøg på at skulle udpege signalregulerede kryds, der ikke fungerede optimalt. Hertil ville studiet udpege de 50 værste signalregulerede kryds, på baggrund af FCD med en penetrationsrate på 1%. Ligesom det forrige studie, blev disse udpeget på baggrund af udvalgte KPI'er, hvor disse er listet herunder.(Wünsch et al., 2019)

- Forsinkelse pr. køretøj
- Total samlet forsinkelse
- Rejsetids indeks (Wünsch et al., 2019)

KPI'erne blev anvendt på segmentbasis, hvor hver krydsretning var en aggregering af segmenter på 50 meter, og segmenter inden for en radius på 100 meter blev medtaget. Ved beregning af de tre KPI'er for hvert af de 2.300 signalregulerede kryds kunne de 50 værste kryds i delstaten

fastsættes. FCD gjorde det muligt at udføre undersøgelser af store områder med signalregulerede kryds på én gang uden, at skulle efterse alle krydsene manuelt. (Wünsch et al., 2019)

En lignende undersøgelse er udført i delstaten Tennessee (Meleby et al., 2022), hvor der har været et fokus på at lave en vurderingsskala fra 1 til 10 for signalregulerede kryds. Skalaen i dette studie var baseret på tre andre parametre som KPI'er, hvor disse er listet herunder. Ud fra de tre parametre er der opbygget en server, hvor det er muligt at lave et overblik over alle de involverede signalregulerede kryds.

- Trængsel
- Værste rejsetid
- Flaskehals rangering

Trængsel i studiet fra Tennessee (Meleby et al., 2022) er defineret som forskellen mellem spidstimehastigheden og 85%-fraktil hastigheden over et døgn. Det bliver derfor ikke målt som en tidsenhed, hvor dette skyldes fokus på signalregulerede kryds fremfor frie strækninger. Den værste rejsetid bliver målt som den 95% fraktil værste rejsetid af alle rejsetider. Den sidste parameter er flaskehals som er vurderet fra organisationen RITIS. Navnet er et akronym for *Regional Integrated Transportation Information System* og er en organisation, som udfører trafikanalyser og opbevarer *bigdata* fra forskellige datakilder som TomTom move. Ved at ligge alle de tre parametre sammen, kan der laves en samlet vurdering af alle de signalregulerede kryds der er i Tennessee. (Meleby et al., 2022)

Det er ikke udelukkende uden for Danmarks grænser, hvor FCD er undersøgt. I Aalborg er der lavet et studie på baggrund af samme datasæt, som nævnt i afsnit 1.2 (Tøfting et al., 2014). Studiet tog udgangspunkt i et kryds i Aalborg, for at vurdere en trængselgrad. Trængsel blev målt ud fra forskellen i hastighed og køretid. Ved forskel i hastighed blev der set på *free flow* hastigheden og den forskel der var i hastigheden på samme lokation, men i spidstimen. Trængselgraden går fra 0 til 1, hvor 0 er ingen trængsel og 1 er sammenbrud. Ved forsinkelse bruges den målte hastighed i spidstimen, hvor *free flow* hastigheden er trukket fra, for at finde forsinkelse i sekunder. Studiet havde til formål at finde trængsel som følge af trafik mængden. (Torp and Lahrmann, 2009) Det er fundet frem til at der både i Bavarian og i Tennessee kunne laves en model, der kunne kontrollere større mængder af signalregulerede kryds ved brugen af FCD. Modellerne har visse begrænsninger i den mængde af data der har været til rådighed fra probe køretøjer. Generelt konkluderer studierne at der er muligt at udføre store undersøgelser med FCD. Studiet i Aalborg har bevist at metoden også er valid i Danmark.

2.3 Kølængder

Foruden de præsenterede studier, hvor der har været fokus på fastlægning af serviceniveau baseret på FCD, er der et omfang af studier som undersøger kølængde beregninger. (Zhao et al., 2019; Rompis et al., 2018) I en artikel (Luo et al., 2023) udgivet i 2023 er det undersøgt, hvorledes et lille datagrundlag kan verificere kølængder i et signalanlæg. Hertil er der anvendt *shockwave* teorien som beskriver, hvordan trafikflow udvikles ved ændring i kørselsmønstre ved de- og acceleration. Ved brug af teorien opstiller artiklen nogle udtryk for bestemmelse af kølængderne ved høj og lav penetrationsrate. Herudfra konkluderer artiklen ligeledes de relative fejl for penetrations rater ved 50%, 25% og 10%. Hertil fastslås det at en penetrationsrate på 10% giver en fejlestimering på op til 40% i bestemmelse af kølængderne, hvilket er en signifikant forskel fra virkeligheden. Artiklen anvender en teori for beskrivelse af trafikflow, der bringer mange muligheder ift. opsætning af metode med anvendelse af FCD. (Luo et al., 2023)

Opsummering

Baseret på de fremlagte artikler og metoder kan det konkluderes, at der er udført et stort omfang af studier vedr. brug og behandling af FCD. Datatypen har mange potentialer til at bestemme værdier for forskellige parametre, hvor disse kan sammenlignes med den virkelige verden til et begrænset omfang. Den generelle problematik med begrænset penetrationsrate ved signalregulerede kryds, medfører en tvivl omkring troværdigheden af de resultater, der udvindes af FCD. De fundne studier og artikler i dette litteraturstudie har fremlagt at der forekommer en mangel på undersøgelse vedr. faste vurderingskriterier for signalregulerede kryds ved brug af FCD. Vurderinger om hvorvidt et anlæg forekommer problematisk har i de undersøgte artikler og studier været en relativ vurdering blandt de medtagne anlæg og derfor ikke en objektiv vurdering. En del af artiklerne supplerer yderligere databehandlingen af FCD med *shockwave* teori for at opnå succes med vurdering af faktiske kølængder i signalregulerede kryds.

Der vil, på baggrund af det udførte litteraturstudie, blive opstillet en metode til vurdering af signalregulerede kryds ved brug af FCD. Erfaringer fra litteraturstudiet vil ligeledes indarbejdes med det formål, at opbygge en mere robust metode i dette projekt sammenlignet med tidligere modeller. Herudover vil det undersøges til metoden, hvilke parametre der vælges at have fokus på i dette studie, og hvorvidt *shockwave* teorien kan anvendes. Der vil derfor opstilles en metode til vurdering af signalregulerede kryds, hvor denne er objektiv og udpeger anlæg som et problem ved udvalgte kriterier.

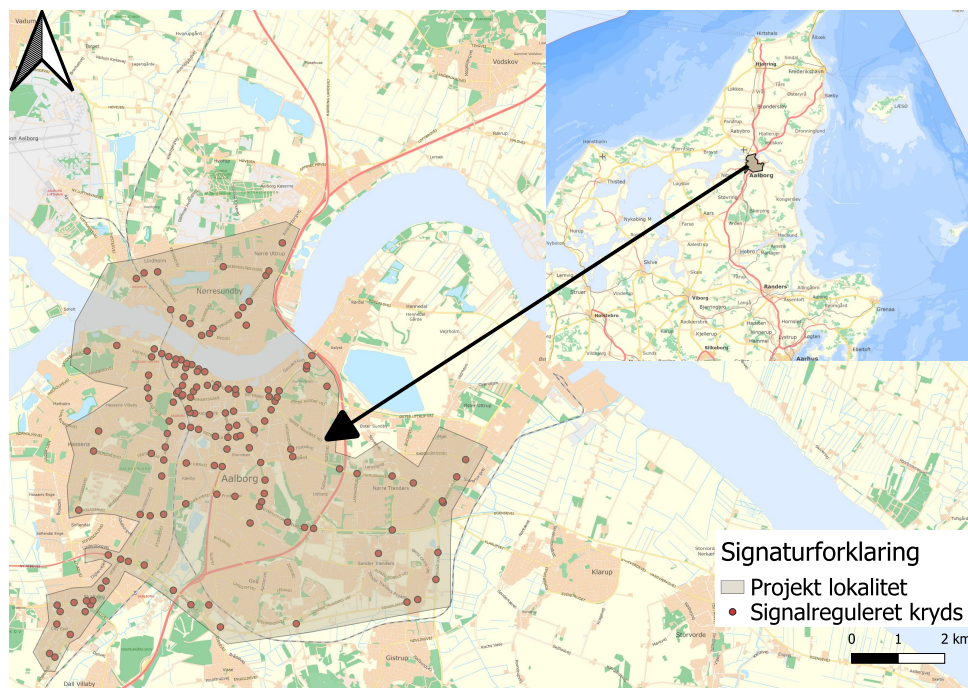
Metode 3

Til besvarelse af projektets problemformulering, vil der i dette kapitel blive opstillet en metode til opbygning af en fremkommelighedsmodel. Kapitlet bliver inddelt i tre dele: Projektlokalitet, datagrundlag og modelopbygning. Fremkommelighedsmodellen vil blive opbygget som en *geografisk informationssystem* (GIS)-model og har til formål at udpege signalregulerede kryds med fremkommelighedsproblemer. Modellen vil blive baseret på hastighedsdata fra FCD hvor fremkommelighedsproblemerne bliver visualiseret som en skala, hvor denne er baseret på reduktionen mellem free flow hastighederne og den aktuelle spidstime hastighed. Skalaen anvendes til udpegning af korridorer på vejnettet med fremkommelighedsproblemer. Herudfra er det muligt at vurdere de signalregulerede kryds med størst problemer.

3.1 Projektlokalitet

I forbindelse med opbygning af projektets metode, vil der blive taget udgangspunkt i et geografisk afgrænset område. Formålet med et afgrænset område er, at kunne opbygge modellen til et specifikt område. Herefter er det muligt at undersøge, hvordan modellen eventuelt passer på øvrige lokaliteter. Hertil er det valgt at anvende Aalborg, grundet mulighed for besigtigelser og kendskab til området. Aalborg er en større by med flere bydele og forstæder, hvor dette område er afgrænset yderligere. Afgrænsningen er fastsat ud fra en inklusion af så mange signalregulerede kryds som muligt. Området der anvendes fremgår af figur 3.1. Projektområdet omfatter 160 signalregulerede kryds, hvor størstedelen af krydsene er placeret i byzoner og enkelte i landzoner. De inkluderede områder i projektet er listet herunder og udgør et samlet areal på 51 km².

- Aalborg by
- Nørresundby
- Skalborg
- Gug
- Nørre Tranders



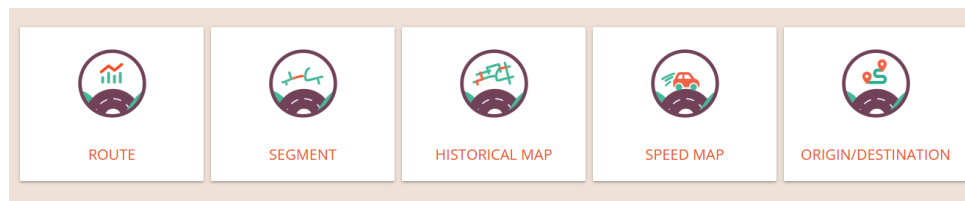
Figur 3.1. Projekt lokaliteten

3.2 Datagrundlag

I projektet vil der blive anvendt FCD som datagrundlag, hvor denne type data er indsamlet af organisationer/virksomheder ved brug af fysiske anordninger, der implementeres i køretøjer. For at få adgang til FCD er der i projektet indgået en aftale med COWI, hvor virksomheden har oprettet en platform med navnet Mobility Wizard som nævnt i kapitel 1.

3.2.1 MobilityWizard

Mobility Wizard er en platform der er udviklet af COWI i samarbejde med Connected Cars og BeMobile. Platformen muliggør oprettelse af trafikanalyser med hastigheder, ruter, oprindelse/destination (OD) og andre funktioner, hvor disse er vist på figur 3.2. Platformen giver mulighed for at udføre analyser med opdateret data, idet databasen i Mobility Wizard er koblet direkte til databasen ved Connected Cars. Herved er det muligt at inddrage FCD i analyser 24 timer efter dataene er registreret i bilerne. Mobility Wizard udfører samtidigt behandling af rå FCD, så mapmatching og lignende allerede er udført. Måden hvorpå Connected Cars indsamler FCD og, hvordan dette er muligt grundet GPS egenskaber er nærmere beskrevet i Bilag C. En mere detaljeret beskrivelse af GPS og mapmatching af GPS data er hhv. beskrevet i Bilag B og D.



Figur 3.2. Funktioner i Mobility Wizard

Funktionerne der fremgår af figur 3.2 giver en bred mulighed for forskellige analyser. En beskrivelse af funktionerne er udført i tabel 3.1, hvor dette giver et indblik i mulighederne og forskellene mellem funktionerne.

Tabel 3.1. Beskrivelse af funktioner i Mobility Wizard

Funktion	Beskrivelse
Route	Route funktionen giver mulighed for at analysere mulige ruter med en start og slut destination. Denne kan tilrettes med koblingspunkter mellem start og slut destination
Segment	Segment funktionen giver mulighed for at analysere trafikafgreningen for et specifikt segment. Analysen oplyser, hvordan trafikken fordeles på det omkringliggende vejnet. Både hvilke veje trafikken bruger til segmentet og væk fra segmentet.
Historical Map	Historical Map funktionen giver mulighed for at analysere trafikudviklingen på strækninger. Det er muligt at se udviklingen af hastigheden på strækninger over forskellige år. Perioden er begrænset til det dataindsamlingsperioden.
Speed Map	Speed Map funktionen giver mulighed for at analysere vejstrækninger ift. hastighedsprofiler. Det giver mulighed for at se, hvor på strækningerne der er reduceret hastighed.
Origin/Destination	Origin/Destination funktionen giver mulighed for at analysere, hvor køretøjerne kører hen. Herudover giver den en analyse af, hvor mange køretøjer befinder sig på forskellige strækninger.

Til opbygning af GIS-modellen anvendes *Speed Map* funktionen. Begrundelsen for anvendelse af disse data, er muligheden for indsigt i køretøjernes hastighed. Det giver herved mulighed for at sammenligne hastighedsprofiler i forskellige tidsrum. Hertil er det ligeledes muligt at sammeligne hastighedsprofilerne i et bestemt tidsrum over en længere datoperiode. Det vil sige at hastighedsprofilerne bliver gennemsnitsværdier for det pågældende tidsrum over flere dage. For at kunne udføre et udtræk af disse data indsendes en forespørgsel, hvor figur 3.3 giver en indikation af de mulige variable der kan anvendes til data udtrækket.

Figur 3.3. Dataudtræk fra Mobility Wizard i funktion Speed Map.

Baseret på den oprettede forespørgsel er det muligt at få hastighederne udtrukket og anvende disse til detaljerede analyser gennem GIS værktøjer. Udskrivning af dataene til yderligere analyse udtrækkes i excel formater, hvor strukturen af dataene fremgår af Tabel 3.2

Tabel 3.2. Datastruktur fra *Speed Map* analyse

SegmentID	AvgSpeed	v85	Probes	Speed*	Speed2**	WKTLineString	RoadClass
6394142	13.62	31.37	14	50.00	45.01	—	4
6253245	23.41	42.90	12	49.99	45.00	—	4

* MaxSpeed

** OptimalSpeed

Som beskrevet er dataene der udtrækkes, for en længere datoperiode, baseret på gennemsnitsværdier. Det betyder at dataene der udtrækkes som gennemsnits-, 85 %-fraktil-, maks- og optimal hastigheder er gennemsnitsværdier for det valgte tidsrum. Det betyder f.eks. at 85%-fraktil hastigheden for et segmentID er en gennemsnitlig 85%-fraktil hastighed over flere dage. I tabel 3.3 fremgår en beskrivelse af dataene der er visualiseret i Tabel 3.2

Tabel 3.3. Beskrivelse af data fra *Speed Map* analyse i Mobility Wizard

Data	Beskrivelse
AvgSpeed	Gennemsnitshastighed over hele perioden
v85	85%-fraktil hastigheden over perioden
probes	Antallet af GPS registreringer i udtrækket for det enkelte segment
Speed	Maks hastigheden over perioden
Speed1	Planlægnings hastigheden for segmentet
WKTLineString	Geometrilinje for segmentet
Roadclass	Vejklassen

Som det fremgår af tabel 3.2 forekommer der forskellige hastigheder ved et udtræk fra Mobility Wizard. Hertil er det valgt i projektet at anvende to hastighedstyper; *gennemsnitshastighed* og *85%-fraktil hastigheden*. Dette skyldes at disse hastigheder beskriver hvordan hastighedsadfærden er for det gennemsnitlige køretøjer og majoriteten af køretøjerne på vejene. Hvordan disse hastigheder behandles ift. udpegning af fremkommelighedsproblemer bliver beskrevet mere i afsnit 3.3.

3.2.2 Periode for dataudtræk

I forbindelse med udtræk af data fra Mobility Wizard, er det nødvendigt at anvende en periode, hvor dataene ønskes udtrukket fra. Det er vurderet at perioden for dataudtrækket som minimum skal være på en måned, for at få et tilstrækkeligt datagrundlag. Hertil er der også en begrænsning for, hvor stort tidsperioden kan være, da et helt år vil medtage ferie- og helligdage. For at fastsætte en datoperiode, hvor et udtræk er mest repræsentativ ift. den gennemsnitlige trafikafvikling, er det valgt at fastsætte perioden ud fra vejreglen "*Trafiktællinger Planlægning, udførelse og efterbehandling*" (Vejdirektoratet, 2006). Begrundelsen for at anvende denne vejregel er den empiriske indsamlet viden omkring opregning af tælldata til generelle trafikafviklingsmønstre ift. årsdøgntrafik og hverdagsdøgntrafik. Til dette anvendes opregningsfaktorer, hvor disse tager højde for at trafikken afviger fra gennemsnittet forskelligt over årets uger. Det betyder at en udført trafiktælling skal opregnes med en faktor, der tager højde for en kendt afvigelse i trafikbilledet for den enkelte uge sammenlignet med gennemsnittet. For at få et trafikbillede der afspejler gennemsnittet bedst, skal der anvendes en uge, hvor opregningsfaktoren er tættest på 1. Dette er gældende i perioden uge 2 til 9 eller uge 22 til 25. Da der arbejdes med hastighed vælges perioden uge 22 til 25, 27. maj til 21. juni. Denne periode vælges fremfor uge 2 til 9, grundet minimal chance for sne eller is på vejene i maj og juni måned. Dette har særlig betydning, idet der i projektet anvendes hastigheder til at vurdere og udpege signalregulerede kryds med problemer i. Forekommer der perioder med sne og is, kan dette tilføje usikkerheder ift. den faktiske afvikling i anlæggene.

3.2.3 Valideringer

Usikkerheden der forekommer ift. valg af dato periode er ikke den eneste usikkerhed der tages højde for i projektet. Der vil derfor ligeledes forekomme valideringer af datagrundlaget generelt, og validering af den model der senere opbygges og beskrives i afsnit 3.3.

Til at validere datagrundlaget i projektet er det valgt at anvende trafiktællinger, hvor disse fungerer som kvalitetssikring for anvendelse af FCD i projektet. Kvalitetssikringen sker i form af en vurdering af datapålideligheden og udføres i afsnit 4.3. Trafiktællingerne udtrækkes fra Mastra som er et trafikdatasystem og anvendes af Vejdirektoratet såvel som kommuner. Systemet anvendes i høj grad som database for udførte trafikregistreringer, men indeholder ligeledes andre elementer, der beskriver trafikafviklingen på det danske vejnet.(Vejdirektoratet, 2020)

Besigtigelser er en anden valgt metode, der har til formål at validere projektets model ift. modellens udpegning af kryds med problemer i. Det skal derfor anvendes til at kontrollere, at modellens udpegning er konsistent med det trafikale billede på lokaliteterne i virkeligheden. Metoden er valgt grundet dets effektivitet sammenlignet med indsamling af videomateriale og lignende. Besigtigelsen vil foregå ved udvalgte lokaliteter i projektområdet, hvor disse fremlægges i Kapitel 4. Ved udførsel af besigtigelserne, vil der blive indsamlet materiale i form af billeder. Dokumentationen fra besigtigelserne vedlægges i Bilag E.

3.3 Modelopbygning

Til at undersøge hvordan FCD fra Mobility Wizard kan anvendes til at vurdere og udpege signalregulerede kryds, vil der blive opbygget en model hertil. Modellen har til formål at udføre en detaljeret analyse af FCD fra Mobility Wizard, hvor denne udpeger segmenter med fremkommelighedsproblemer. I dette afsnit vil modellens opbygningen blive gennemgået med fokus på processerne og inkluderede elementer.

3.3.1 GIS

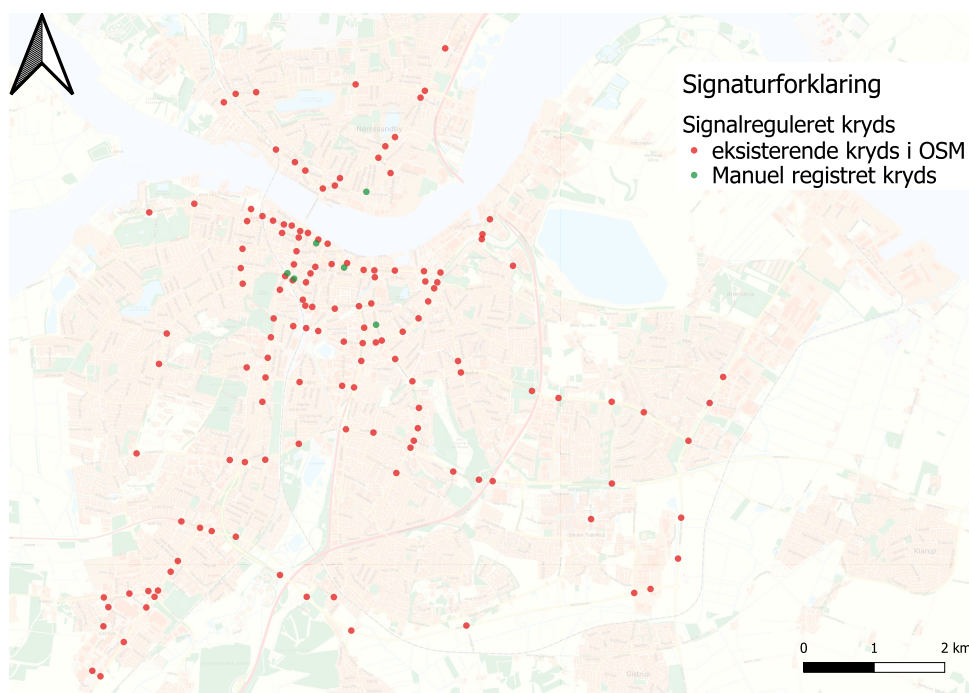
Til opbygning af modellen anvendes *geografisk informationssystem* (GIS) programmet QGIS. Programmet giver mulighed for at udføre visuelle analyser med data som indeholder geografiske data. Det har derudover forskellige funktioner som giver mulighed for at analysere dataene detaljeret i relation til hinanden og andre geografiske data. Dette er bl.a. gennem vektor funktioner, hvor der kan udføres *buffer-* og *skæringsanalyser*.

Foruden de indbyggede funktioner i QGIS, er der ligeledes mulighed for at importere andet geografisk data som kan visualiseres. Hertil er Dataforsyningen og Vejman større udbydere af data ift. eksisterende infrastruktur og informationer vedr. transportinfrastruktur. Udover disse dataudbydere er der ligeledes andre open source data, der indeholder informationer omkring vejnetværket i Danmark, hvor en af disse er Open Street Map (OSM)

3.3.2 Open Street Map

Open Street Map anvendes i modellen for at kunne kortlægge informationer på vejstrækningerne i projektområdet. Nogle af de informationer OSM indeholder er bl.a. hastighedsgrænse, antal spor og kryds placering. OSM gør det også muligt at dele trafikken i to spor så der både er indkørende og udkørende trafik. Det giver muligheden for at præcisere, hvor ændringer i hastighedsprofilerne forekommer.

Anvendelse af OSM i modellen gør det muligt at kortlægge alle registrerede signalanlæg i projektområdet. Alle 160 registrerede signalregulerede kryds fremgår af Figur 3.4.



Figur 3.4. Signalregulerede kryds udpeget ved brug af OSM

På baggrund af Figur 3.4, kan det konkluderes at der forekommer et vist omfang af mangel på registrerede anlæg. Derfor er det nødvendigt at udføre en manuel kvalitetskontrol, så modellen inkludere alle krydsanlæg. Hertil sikres det at vurderingen og udpegningen sker retmæssigt blandt de eksisterende anlæg i hele projektområdet.

Udover registrering af signalregulerede kryds i modellen, bliver vejnettet ligeledes opsat på baggrund af OSM data. Vejnettet bliver opdelt på mindre segmenter, hvor størrelsen af disse varierer fra 0-50 meter. Den endelige beslutning ift. længden af hvert segment, er primært styret af ændring i retningen på vejene. Forekommer der en kurve i vejforløbet, så vil segmenterne under denne kurve være mindre, idet segmenterne skal afbillede et kurveforløb og er en lineær regression mellem to punkter. Disse vejsegmenter bliver ligeledes grundlaget for, hvordan fremkommelighedsskalaen bliver visualiseret på.

3.3.3 Fremkommelighedsskala

Fremkommelighedsskalaen er en beskrivelse af den relative hastighedsnedsættelse på vejnettet. Hastighedsnedsættelsen kan beskrives ud fra udtryk 3.1, hvor denne som tidligere skrevet er en sammenligning mellem den aktuelle spidstime hastighed og en fastsat *free-flow* hastighed. Dette gøres for hvert enkelte segment på projektets vejnet.

$$V_{rs} = \frac{V_{st}}{V_{ff}} \cdot 100 \quad (3.1)$$

Hvor:

V_{rs}	Tilbageværende andel af free flow hastigheden [%]
V_{st}	Den gennssintlige spidstime hastighed i beregningsperioden [km/t]
V_{ff}	Den gennemsnitlige <i>free-flow</i> hastighed i beregningsperioden[km/t]

Ud fra det ovenstående udtryk er det muligt at udføre en analyse der visualisere relativ hastighedsnedsættelse i spidstimerne. Dette udføres i QGIS modellen, hvor det er muligt at udføre tematiseringer hertil. I tabel 3.4 fremgår en visualisering af hastighedsperioderne der sammenlignes med og den relative hastighedsnedsættelse.

Tabel 3.4. Struktur i attribut tabel

FID	SegmentID	...	V_{st} [km/t]	V_{ff} [km/t]	...	V_{rs} [%]
1	6394145	...	24,69	33,22	...	74
2	6253242	...	25,89	55,32	...	47

Ved anvendelse af udtryk 3.1 er det muligt at inddele vejnettet efter en farveskala som er anvist herunder i tabel 3.5. Denne er illustreret med farver fra lilla til grøn, hvor disse visualisere henholdsvis lav og høj fremkommelighed.

Tabel 3.5. Grundlæggende farveskala til vurdering af fremkommeligheden

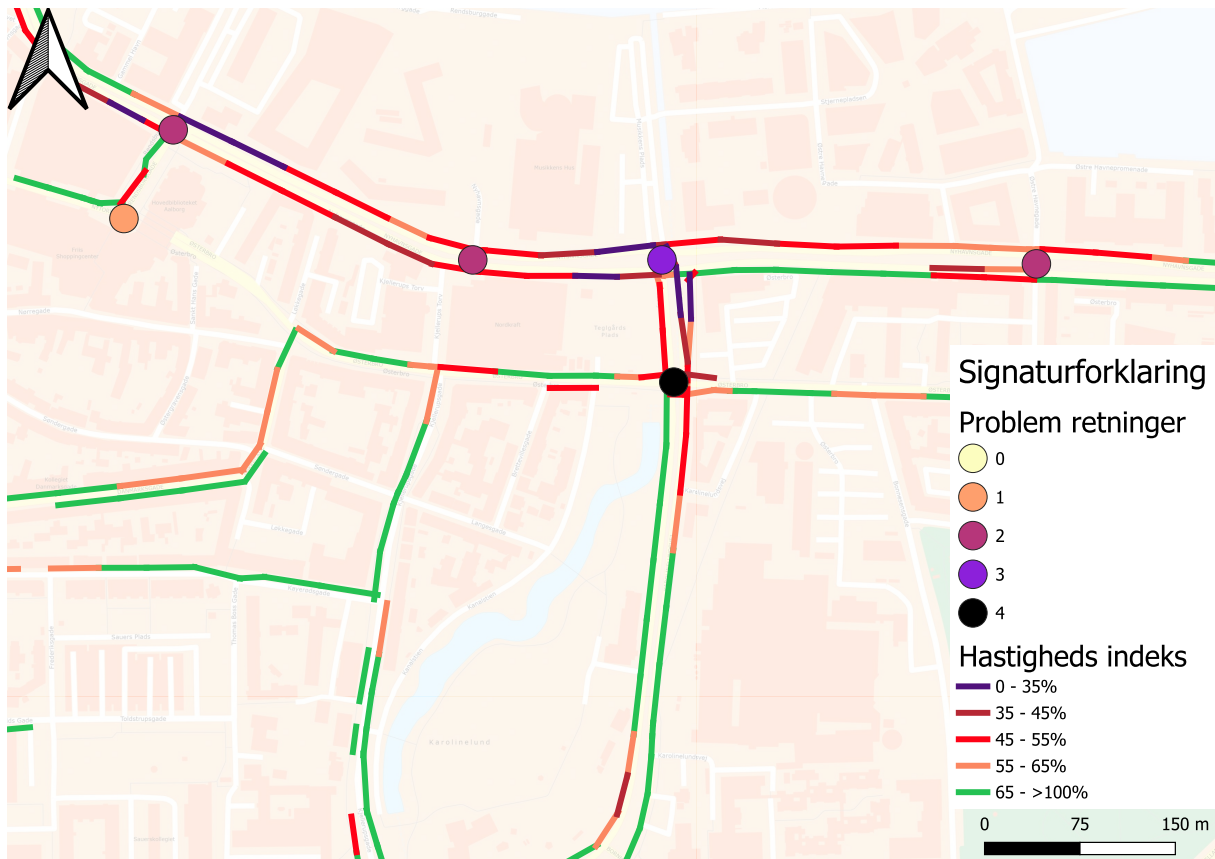


Denne farveskala anvendes og itereres, så farvernes procent intervaller afspejler den relative fremkommelighed på vejnettet. Farveskalaen anvist i tabel 3.5 er et resultat af projektets iterations process, idet farveskalaen indledningsvist var opbygget af i alt fire niveauer. Dette vil ligeledes fremgå af iterationerne i kapitel 4.

Måden hvorpå iterationerne udføres, er ved brug af data indsamlet fra besigtigelser. Hertil udvælges et repræsentativt udsnit af lokaliteter i projektområdet, hvor dette omfatter kendte lokaliteter med høje og lave trafikmængder. Ud fra dette er det muligt at fastsætte hvilke lokaliteter som bør udpeges i modellen og, hvilke der ikke bør udpeges. Herved er det muligt at have kontrol lokaliteter, når farveskalaen korrigeres, hvor det vides hvilke kryds der skal udpeges fremfor andre.

Efter modellen er korrigeret ift. farveskalaen er det muligt at udpege korridorer på vejnettet, hvor fremkommeligheden er lavest. Herudfra er det muligt at udføre en detaljeret analyse af fremkommelighedsproblemerne i de involverede signalregulerede kryds, hvor det udføres ved en rangering.

Rangeringen vil blive udført internt på hver korridor, således der vil være flere signalregulerede kryds med samme vurdering. Dette har til formål at modellen vil visualisere det signalregulerede kryds der er værst i hvert enkelte korridor på vejnettet. Måden hvorpå dette vurderes er ud fra antallet af retninger med lav fremkommelighed. Det vil sige de segmenter, der ligger i den røde ende af skalaen. Rangeringen vil blive visualiseret ved brug af en kategorisering i modellen. Funktionen er med til at give et bedre overblik af, hvor store problemerne der er indbyrdes for de signalregulerede kryds i hver korridor. Et eksempel på denne visualisering fremgår af figur 3.5.



Figur 3.5. Eksempel på visualisering af rangering for signalregulerede kryds i en korridor.

Af figur 3.5 fremgår der en tydelig forskel mellem fremkommelighedsproblemerne blandt krydsene. Eksemplet her er fra en korridor på Nyhavnsgade / Karolinelundsvej. På baggrund af sådanne visualiseringer er det muligt at vurdere, hvilke signalregulerede kryds bør være i fokus, hvis en prioritering skal udføres blandt alle signalregulerede kryds.

Analyse 4

I dette kapitel vil modellen blive opbygget ved anvendelse af fremgangsmåden som er beskrevet i det forrige kapitel 3. Efterfølgende vil der blive udført en udpegning og rangering af signalregulerede kryds i modellen, hvortil der udføres en opsummering af modellens pålidelighed. I kapitlet gennemgås metoden ud fra punkterne i listen herunder.

4.1 QGIS - Model

4.2 Free Flow hastighed

4.3 Data pålidelighed

4.4 Beregningsgrundlag

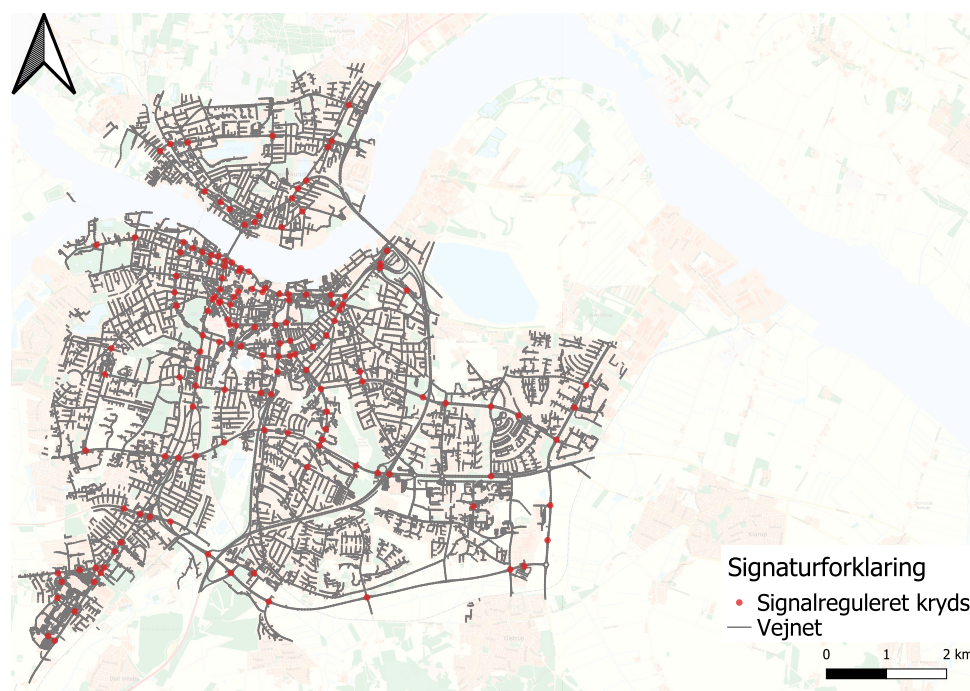
4.5 Fremkommelighedsskala

4.6 Udpegning og rangering af signalregulerede kryds

4.6.1 Opsummering

4.1 QGIS - Model

I forbindelse med opbygning af projektets QGIS-model er det den grundlæggende kortmodel, der danner grundlaget for visualiseringen af FCD. På figur 4.1 fremgår en visualisering af modellen, hvor denne omfatter vejnettet i projektområdet, der består af 41.750 segmenter, samt de 160 registrerede signalregulerede kryds.

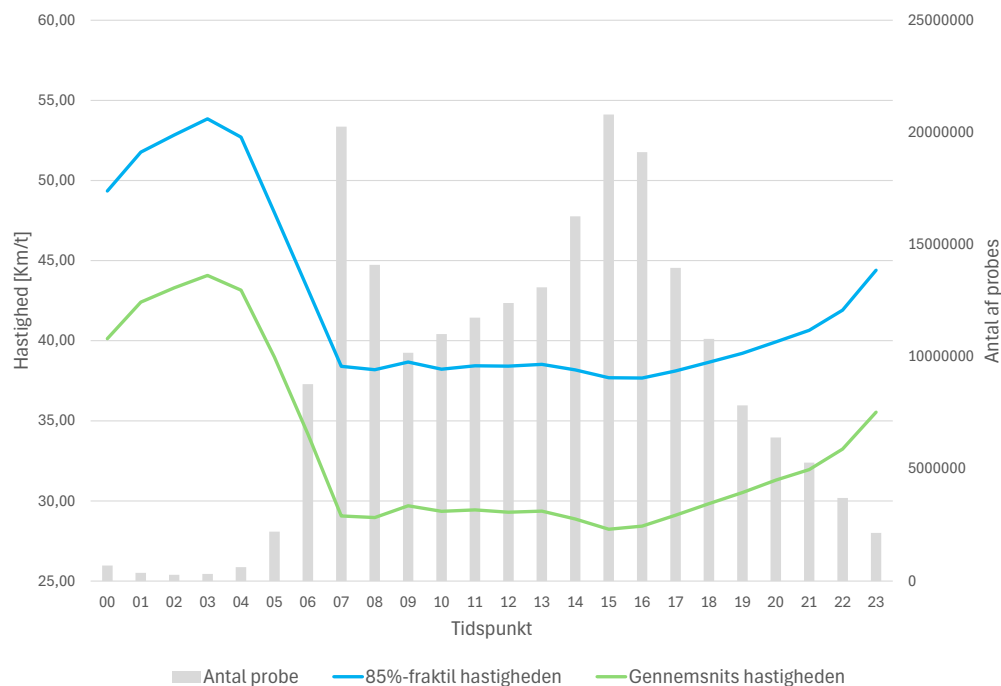


Figur 4.1. QGIS - kortmodel

Kortmodellens opbygning med antallet af segmenterne er forudbestemt, idet dataene der udtrækkes fra Mobility Wizard forekommer på prædefinerede segmenter. Ved anvendelse af segmenterne er det ligeledes muligt at fastlægge *free-flow* hastigheden, hvor denne er en central del af beregningsmetoden for fremkommelighedsskalaen.

4.2 Free Flow hastighed

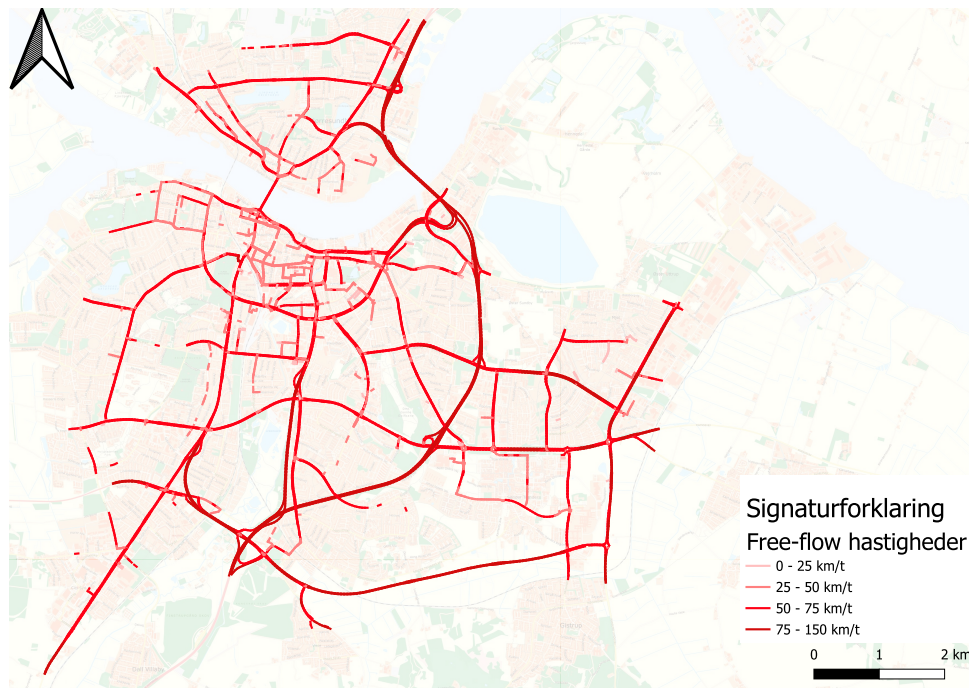
Free flow hastigheden er defineret som den hastighed en bilist vælger at køre med når der ikke er hastighedsnedsættende forhold på vejene. For at fastsætte *free-flow* hastigheden for hver vejsegment, undersøges den gennemsnitlige hastighedsudvikling i døgnet for hele projektområdet. I undersøgelsen anvendes alle segmenter i modellen. Til bestemmelse af *free-flow* hastigheden er det valgt at anvende 85 %-fraktil hastigheden fra køretøjerne. Dette skyldes at der ved brug af 85 %-fraktilen, tages højde for eventuelle stop pga. rødtid i omløbstiden. Disse variationer i hastigheden, i omløbene, er ligeledes forsøgt taget højde for ved at anvende data for et helt år til analysen. Det vil sige at analysen bygger på data fra perioden den 1. januar 2024 til den 31. december 2024. På figur 4.2 er hastighedsudviklingen gennemsnitligt i døgnet visualiseret.



Figur 4.2. Gennemsnit af 85 %-fraktil- og gennemsnits hastigheden for alle segmenter over hver time hen over et år. Sekundær akse er antal probes for hver time i et helt år.

Af figur 4.2 fremgår det at tidsrummet fra klokken 2-4 er der, hvor der er højest hastighed. Der vil tages udgangspunkt i klokken 3, da det er midten af natteperioden og det er den time hvor hastigheden er absolut højest med 53,8 km/t. Det fremgår af grafen på figur 4.2, at bestemmelse af *free flow* hastigheden er baseret på et lille datagrundlag, idet antallet af probes stiger fra klokken fem til syv og igen fra klokken ni til klokken tre om eftermiddag. Hertil er det vurderet at hastigheden til *free flow* tidspunktet fortsat er retvisende, grundet den lange perioden der er anvendt. I perioden klokken 3 til klokken 4 er der registeret 317.549 probes, hvorfor datagrundlaget vurderes retvisende.

Af figur 4.3 fremgår fordelingen af hastighed over hele projektområdet, hvert segment har hver deres 85%-fraktil hastighed over tidsperioden 03-04 for hele 2024. Det fremgår at hastigheden i bymidten, hvor der er flere kryds, har en lavere hastighed på mellem 0-50 km/t, imens indfaldsvej og motorveje primært har en hastighed på over 50 km/t.

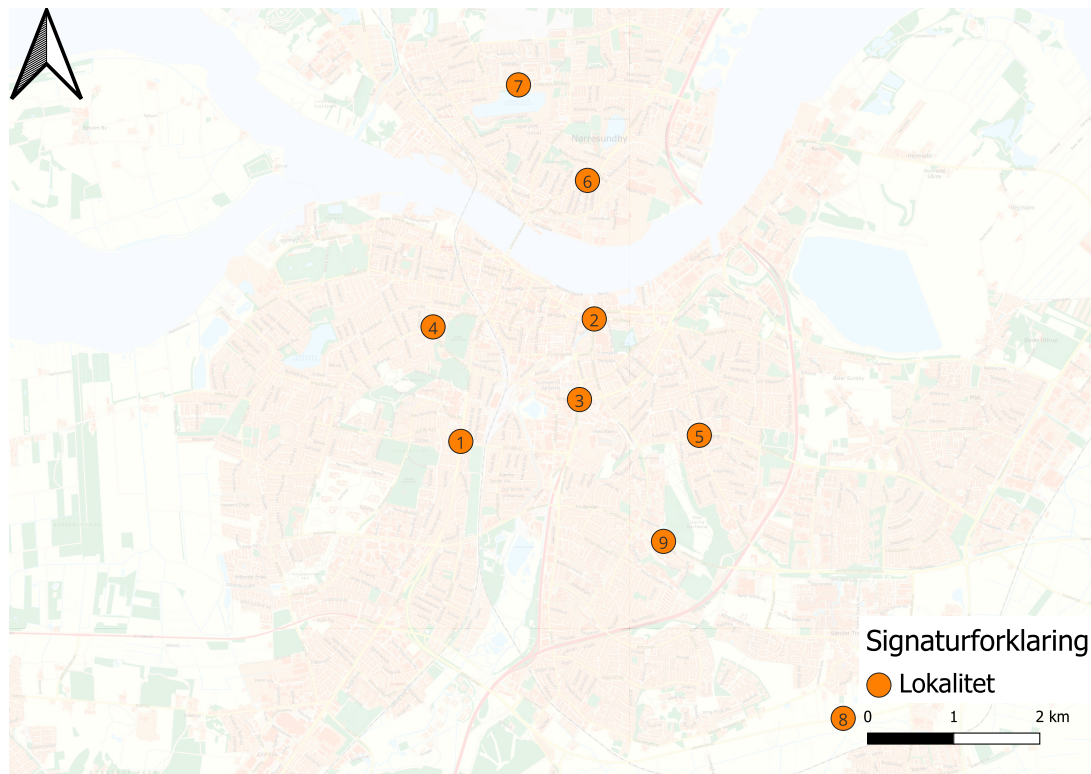


Figur 4.3. Free flow hastigheden i km/t fordel på segmenter i tidsperioden 03-04 for 2024.

Udover at figur 4.3 giver en indikation af hastighedsprofilerne på segmenterne i nattetimerne, giver det ligeledes en repræsentation af datagrundlaget. Det fremgår af figuren at der forekommer manglende segmenter på vejene. Dette skyldes bl.a. et lille datagrundlag i den pågældende tidsperiode. Det lille datagrundlag i tidsrummet skyldes bl.a. databasens andel af den danske bilpark.

4.3 Data pålidelighed

I forbindelse med anvendelse af FCD er det nødvendigt at evaluere pålideligheden af dataene. Det skyldes, som det ligeledes er erfaret i litteraturstudiet, at FCD ofte ikke kan udtrækkes for hele bilparken i et geografisk område. Til at evaluere dataene til rådighed, bliver der udført en stikprøve kontrol ved 9 lokaliteter. Herfra sammenholdes tælledata fra Mastra og FCD for den samme periode på samme vejstrækning. Lokaliteterne der anvendes fremgår af Figur 4.4, hvor disse er valgt ud fra tilgængelige Mastra tællinger efter perioden 2022. Perioden er valgt ud fra indsamling af så ny data som muligt.



Figur 4.4. Lokalteter til vurdering af penetrationsraten af FCD

Ud fra lokaliteterne og udtræk af dataene er der udført en beregning af penetrationsraten fra FCD, hvor resultaterne herfra fremgår af tabel 4.1. Det kan hertil konkluderes at FCD udgør 4,4% af bilparken i Aalborg.

Tabel 4.1. Resultater af penetrationsrater for lokaliteterne i Figur 4.4.

Lokation	Mastra [-]			FCD [-]	Penetrationsrate [%]
	Køretøjer	Dage	År		
1	72148	7	2024	3381	4,7
2	29648	7	2022	1505	5,1
3	275622	28	2024	12033	4,4
4	22128	7	2022	1612	7,3
5	24304	7	2025	680	2,8
6	494821	70	2025	13270	2,7
7	337234	68	2025	8042	2,4
8	179001	43	2023	8185	4,6
9	44761	7	2024	1704	3,8
Gennemsnit					4,4

Resultaterne af penetrationsraten fra Tabel 4.1 understøtter ligeledes et argument for at der anvendes en stor periode for dataudtrækkene af FCD. Med en begrænset mængde af køretøjer der registreres, er det valgt at anvende det størst mulige dataudtræk, som er et år.

4.4 Beregningsgrundlag

Efter at have opbygget den grundlæggende QGIS-model og fastsat fremgangsmåden for fastsættelse af *free-flow* hastigheden, er det nu muligt at bestemme fremkommelighedsskalaen. Dette gøres som en iterativ proces igennem afsnittet, hvor *free-flow* hastigheden undersøges ud fra gennemsnitshastigheder og 85%-fraktil hastigheder fra FCD.

Bestemmelse af fremkommelighedsskalaen ud fra hastighedsværdierne udtrukket fra FCD vil udtryk 4.1 blive anvendt. Udtrykket beskriver den reduktion i hastigheden der forekommer i den aktuelle spidstime, sammenholdt med *free-flow* hastigheden. Hastigheden vises herved som en tilbageværende andel af *free-flow* hastigheden.

$$V_{rs} = \frac{V_{st}}{V_{ff}} \cdot 100 \quad (4.1)$$

Hvor:

V_{rs}	Tilbageværende andel af free flow hastigheden [%]
V_{st}	Den gennemsnitlige spidstime hastighed i beregningsperioden [km/t]
V_{ff}	Den gennemsnitlige <i>free-flow</i> hastighed i beregningsperioden [km/t]

Anvendelse af det ovenstående udtryk medfører en tabel i QGIS-modellen, hvor strukturen af denne fremgår af tabel 4.2.

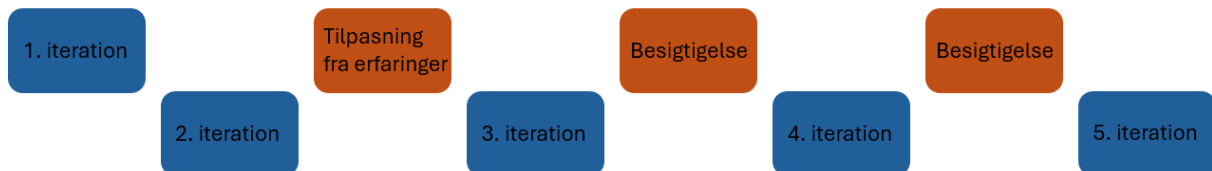
Tabel 4.2. Eksempel på QGIS Attribut struktur for hastighedsberegning ved brug af udtryk. 4.1

SegmentID	Tidsrum	V_{st}	V_{ff}	V_{rs}
138762	16:00-16:15	24,69	33,22	74
211288	16:00-16:15	21,11	32,45	65
211787	07:45-08:00	77,85	93,13	84
211788	07:45-08:00	78,28	93,46	84
247879	15:30-15:45	34,16	44,8	76
6387040	15:30-15:45	25,89	55,32	47
6387041	15:30-15:45	25,11	55,22	45
6387042	15:30-15:45	22,28	54,91	41

På baggrund af beregningen er det muligt at opstille en skala der afspejler fremkommeligheden på vejnettet. Baseret på denne skala, vil det være muligt at fastlægge korridorer som har de største problematikker. Disse korridorer er herved begrundelsen for udpegning af relevante signalregulerede kryds, hvor disse kan rangeres.

4.5 Fremkommelighedsskala

Til vurdering af fremkommeligheden i Aalborg opbygges en fremkommelighedsskala. Som beskrevet tidligere (jf. kapitel 3) er denne opbygning en iterativ proces, hvor denne indebærer fastsættelse af procentintervaller for fremkommelighedsskalaen og derefter validering af procentintervallerne ved brug af besigtigelser. På figur 4.5 fremgår en visualisering af processen, hvor denne indebærer fem iterationer og tre besigtigelser.



Figur 4.5. Iterationsprocessen

I de følgende underafsnit herunder bliver de enkelte iterationer gennemgået ift. hvordan fremkommelighedsskalaen er opbygget og, hvilke overvejelser der danner grundlag for den enkelte iteration.

4.5.1 1. iteration

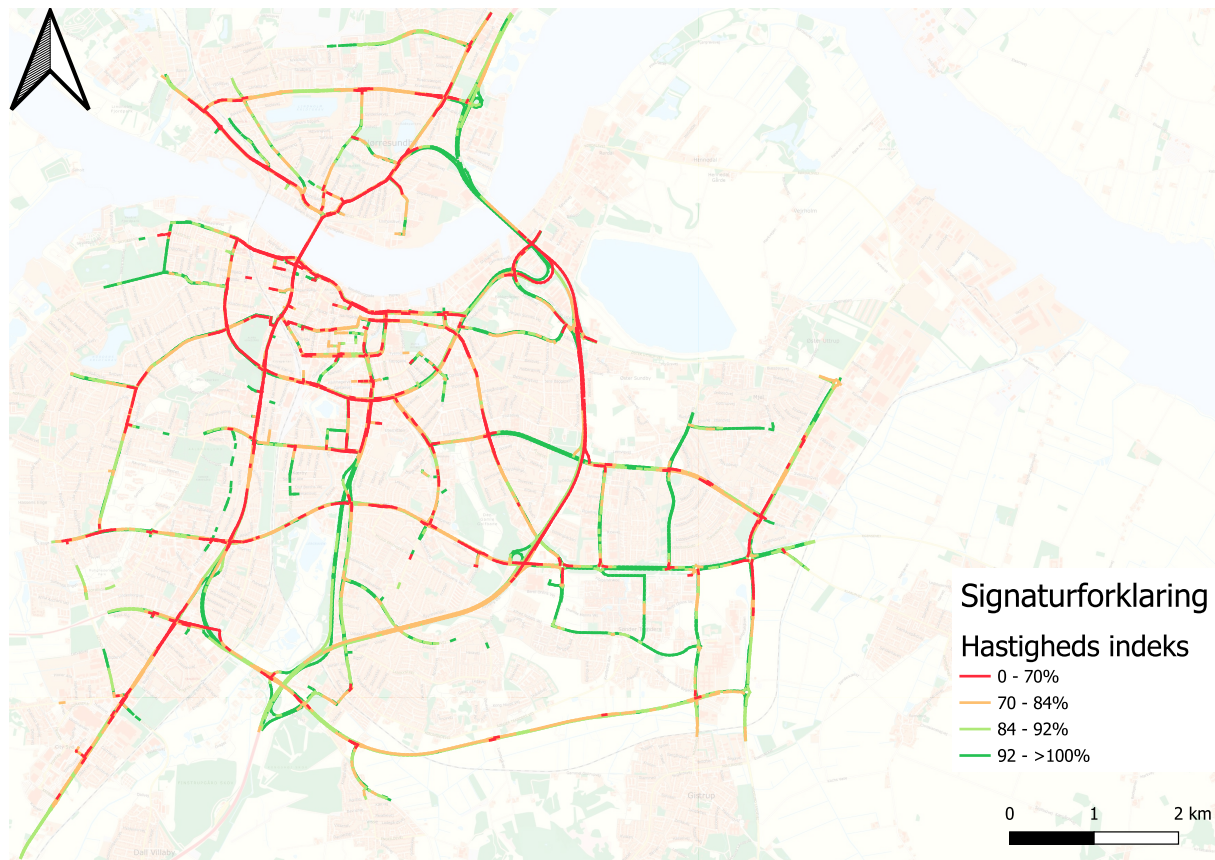
Til opbygning af fremkommelighedsskalaen i 1. iteration er der anvendt fire niveauer til at differentiere fremkommeligheden på vejsegmenterne. Procentintervallerne hertil er fastlagt ved brug af QGIS, hvor det er muligt at oprette intervallerne ud fra, at hvert niveau skal indeholde det samme antal segmenter. Det har resulteret i at hvert niveau indeholder 1820 segmenter, hvilket giver procentintervallerne i tabel 4.3.

Tabel 4.3. Fremkommenlighedsskalaen udelt på 4 niveauer

Rank	Procent	Farve
1	0 % - 70 %	Red
2	70 % - 84 %	Yellow
3	84 % - 92 %	Light Green
4	92 % - >100 %	Dark Green

Af tabellen fremgår det ligeledes at en stor andel af vejnettet vil blive kategoriseret som værende lav fremkommelighed, idet alle segmenter med et hastigheds indeks på under 70% vil blive kategoriseret som værende med lav fremkommelighed. For at visualisere dette er modellen ligeledes blevet visualiseret grafisk på figur 4.6. Det kan ligeledes konkluderes at procentintervallerne ikke er retvisende ift. de faktiske trafikale forhold i Aalborg by. Det skyldes

bl.a. at procentintervallerne er fastsat ud fra en ligefordeling af segmenter på hvert niveau, frem for en fordeling baseret på signifikante hastighedsreduktioner og få niveau inddelinger.



Figur 4.6. Projekt området med farveskala i 4 niveauer

4.5.2 2. iteration

På baggrund af den første iteration blev det besluttet at tilføje nogle ændringer til modellen for at fremkommeligheden vil blive mere retvisende for de faktiske trafikale forhold. Hertil blev der tilført et ekstra niveau på fremkommelighedsskalaen, hvilket betyder at skalaen er baseret på fem niveauer. Det er ligeledes denne opbygning der blev beskrevet i kapitel 3.

Fastsættelse af procentintervallerne for hvert niveau er på samme fremgangsmåde som første iteration, hvor hvert niveau har lige mange segmenter. Det medfører at hvert niveau indeholder 1456 segmenter og derved opnås nye procentintervaller for fremkommelighedsskalaen. De nye procentintervaller, er mindre ved der er kommet 5 niveauer og det gør at hvert interval også er mere specifikke. Denne fremgår af tabel 4.4 herunder, hvor der i Bilag F fremgår en visualisering af iterationen.

Tabel 4.4. Fremkommenlighedsskalaen udelt på 5 niveauer

Rank	Procent	Farve
1	0 % - 65 %	
2	65 % - 80 %	
3	80 % - 87 %	
4	87 % - 94 %	
5	94 % - >100 %	

4.5.3 3. iteration

Efter det femte niveau er blevet tilføjet på fremkommelighedsskalaen er det vurderet at niveauerne danner et grundlag for at kunne differentiere tilstrækkeligt mellem fremkommeligheden på vejnettet. I forhold til procentintervallerne i iteration to, er det vurderet at disse fortsat er misvisende ift. andelen af vejnettet der kategoriseres som værende med fremkommelighedsproblemer. Det er derfor i iteration tre valgt at ændre på procentintervallerne ud fra gruppens kendskab til de trafikale forhold i Aalborg by. Intervallerne er herved ændret, så der forekommer færre segmenter i den lave ende af fremkommelighedsskalaen. Procentintervallerne for iteration tre fremgår af tabel 4.5.

Tabel 4.5. Fremkommenlighedsskalaen udelt på 5 niveauer

Rank	Procent	Farve
1	0 % - 40 %	
2	40 % - 50 %	
3	50 % - 60 %	
4	60 % - 70 %	
5	70 % - >100 %	

I den nye fordeling er der tre intervaller, som er røde, rank 1,2 og 3. De segmenter er fra procent interval 60 % og ned. Med den nye fordeling afspejler modellen bedre det trafikale billede i Aalborg. Der er blevet færre røde segmenter og de er blevet koncentreret omkring lokationer, hvor der forventeligt vil være fremkommenlighedsproblemer. Denne visualisering fremgår ligeledes i Bilag F.

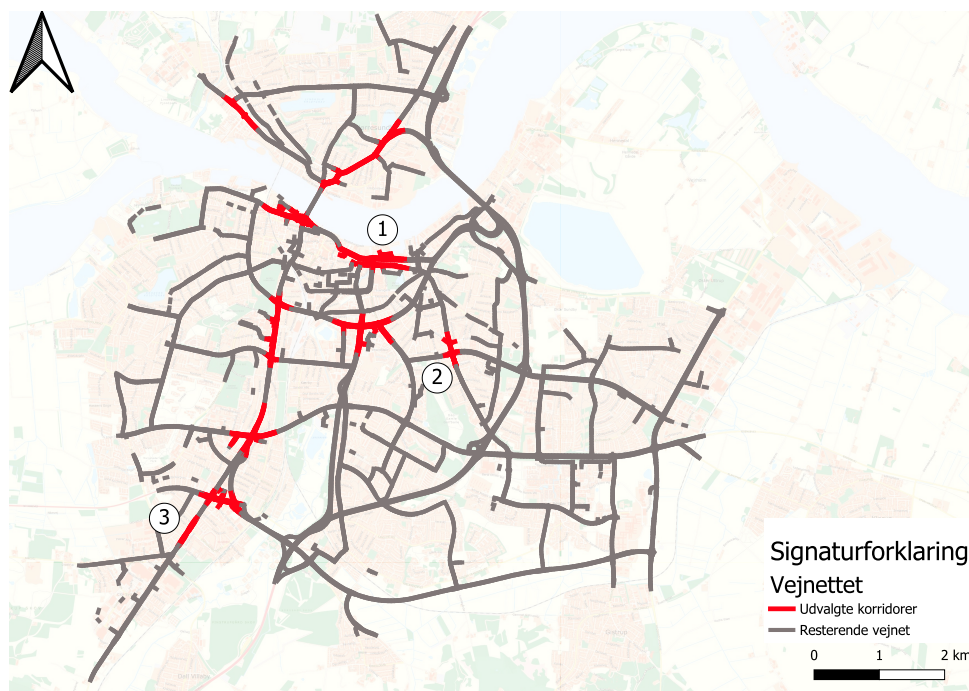
For at vurdere om den tredje iteration afspejler de faktiske trafikale forhold i Aalborg, er det valgt at udføre besigtigelser på udvalgte lokaliteter. Disse er udført mellem iterationerne efter iteration tre.

4.5.4 Besigtigelser

Besigtigelserne er som beskrevet en del af den iterative proces, hvor disse anvendes til at validere procentintervallerne for fremkommelighedsskalaen. Til dette er der udvalgt nogle kontrol

lokaliteter, hvor disse er bestemt ud fra en udpegning af korridorer på vejnettet, hvor modellens tredje iteration vurderer de største fremkommelighedsproblemer forekommer. En korridor er et område med et eller flere signalregulerede kryds.

På figur 4.7 fremgår en udvælgelse af korridorer på vejnettet, hvor der forekommer signifikante hastighedsreduktioner på mere end 40% - korresponderende til rank et, to og tre. Herudfra er der udvalgt 3 korridorer som anvendes til besigtigelse. Korridor et og to er vurderet som værende signifikante ift. fremkommelighedsproblemer, hvor korridor tre er uden problemer og valgt som en kontrol korridor.



Figur 4.7. Trængsel korridorer for morgen- og eftermiddagsspidttime

For at danne et overblik over vejene der indgår i hver korridor som anvendes til besigtigelserne, er disse opstillet i listen herunder.

- 1 Nyhavnsgade / Karolinelundsvej
- 2 Hadsundvej / Humlebakken
- 3 Hobrovej / Stationsmestervej

Udbyttet af besigtigelserne på disse korridorer fremgår af Bilag E. På baggrund af besigtigelserne er det vurderet nødvendigt at tilføje ændringer til fremkommelighedsskalaen, som blev opstillet i iteration tre. Dette skyldes at modellens vurdering af fremkommeligheden afviger i høj grad

fra de trafikale forhold. Disse afvigelser har været mangel på fremkommelighedsproblemer på segmenter, hvor modellen har udpeget fremkommelighedsproblemer. Herved har der været inkonsistente fakta mellem observationer ved besigtigelserne og modellens udpegning. Dette fører til en fjerde iteration for at opnå større konsistens mellem besigtigelser og model.

4.5.5 4. iteration

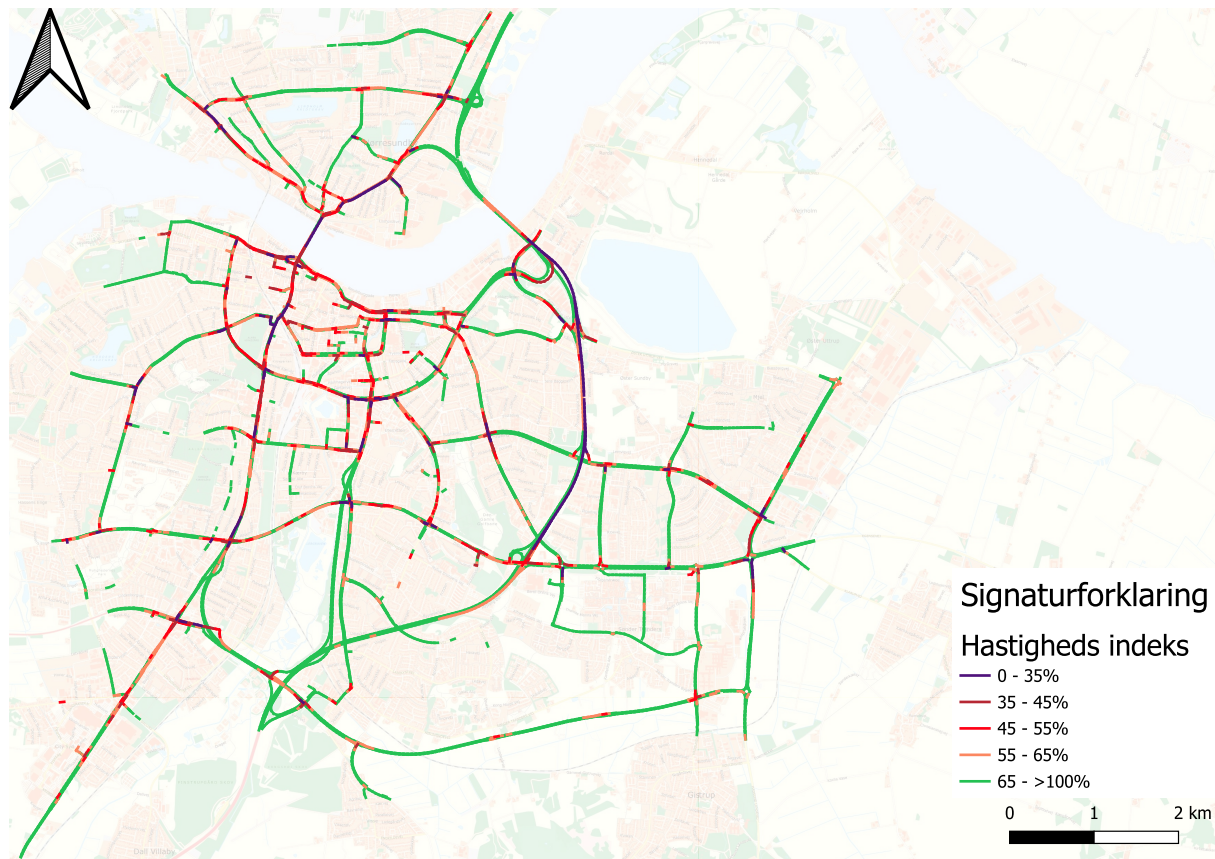
På baggrund af besigtigelserne blev det vurderet nødvendigt at tilføje ændringer til fremkommelighedsskalaen. I de foregående iterationer er hastigheds indekset blevet beregnet ud fra en sammenligning mellem *free flow* hastigheden og den aktuelle spidstime hastighed, hvor gennemsnitshastigheden er anvendt til *free flow*. Hertil er det vurderet fordelagtigt at ændre hastighedstypen til bestemmelse af *free flow* hastigheden til 85%-fraktil hastigheden i *free flow* tidspunktet.

Ændring af hastigheden fra gennemsnitshastigheden til 85%-fraktil hastigheden medfører at *free flow* hastigheden stiger, idet køretøjer med lave hastigheder har en lavere påvirkning på hastighedsprofilerne. Det er derfor vurderet at procentintervallerne i skalaen skal tilpasses, hvor de nye procentintervaller fremgår af tabel 4.6.

Tabel 4.6. Fremkommenlighedsskalaen udelt på 5 niveauer

Rank	Procent	Farve
1	0 % - 35 %	
2	35 % - 45 %	
3	45 % - 55 %	
4	55 % - 65 %	
5	65 % - >100 %	

Ud fra de nye procentintervaller er modellen opdateret herefter, hvor vejnettet har en større differentiering mellem niveauerne. Dette fremgår af figur 4.8, hvor det kan konkluderes at der forekommer en tydeligere markering af områder, med større signifikante fremkommelighedsproblemer.



Figur 4.8. Projekt området med farveskala i 5 niveauer

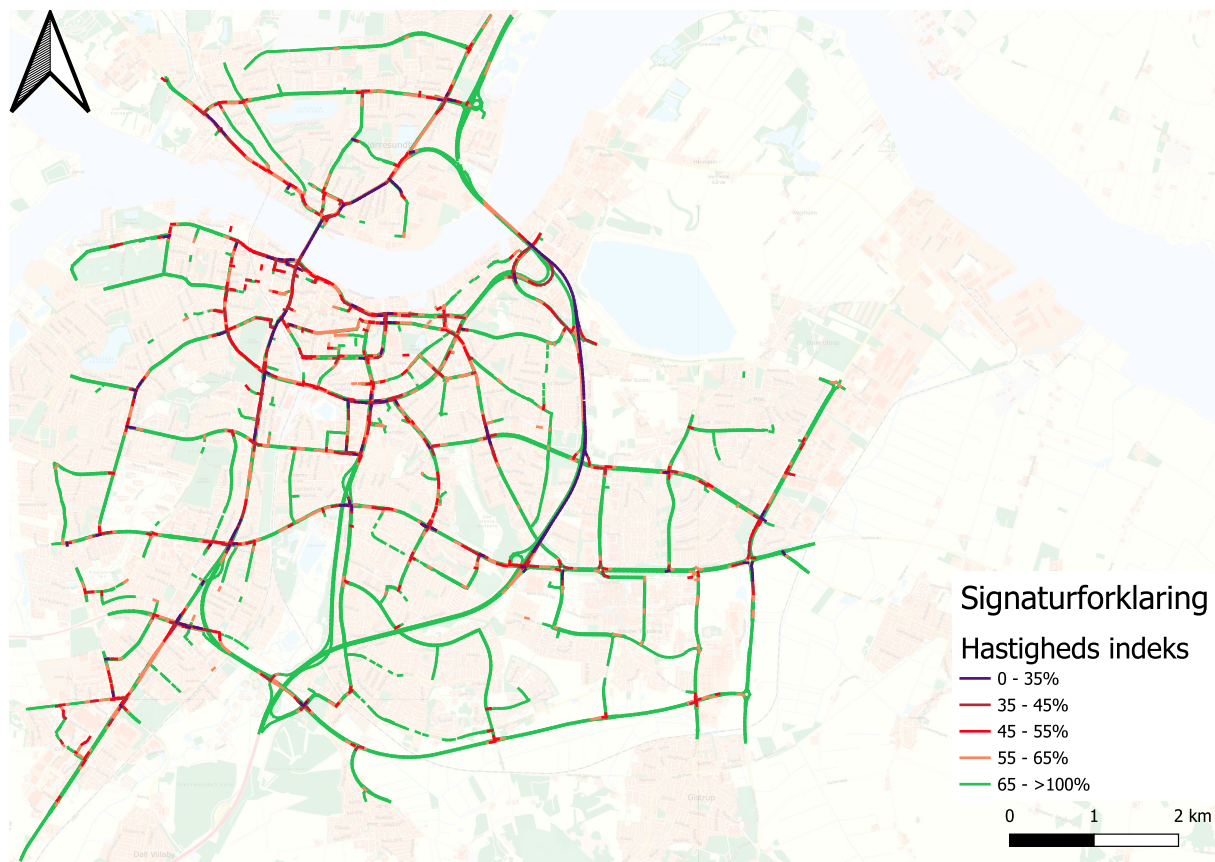
Modellen som fremgår af figuren herover er efterfølgende blevet valideret med besigtigelser som ved de øvrige iterationer, hvor disse ligeledes er fundet sted på de udvalgte kontrol korridorer.

Efter besigtigelsen for iteration fire, er det vurderet at fremkommelighedsskalaen forekommer retvisende ift. de trafikale forhold i Aalborg by. Modellen er hertil vurderet ift. dens analyse omfang, hvor det er forsøgt at undersøge en yderligere iteration for at opnå flere vejsegmenter i modellen.

4.5.6 5. iteration

I den femte og sidste iteration, gøres der brug af et større datagrundlag for at etablere *free flow* hastigheden. I de foregående iterationer var *free flow* hastigheden fastsat ud fra tidsrummet med den højeste hastighed over et døgn, hvor dette var fra kl. 03 til kl. 04. I denne iteration er det valgt at udvide tidsintervallet, idet sammenligningsgrundlaget, til fastsættelse af hastigheds indekset, bliver større grundet et større datagrundlag. Herved er der taget udgangspunkt i tidsintervallet 01-05. Ved at gøre brug af flere timer om natten tages der et gennemsnit af 85%-fraktilen for at finde *free flow* hastigheden. Ved at bruge et større datagrundlag er QGIS modellen gået fra

7281 til 8389 segmenter. Dette medfører samtidig at datagrundlaget i form af antallet af probes til fastlæggelse af *free flow* hastigheden, er gået fra 317.549 til 1.575.496 probes. På figur 4.9 fremgår en visualisering af modellen med fremkommelighedsskalaen efter iteration fem.



Figur 4.9. Fremkommenlighedsskalaen i iteration 5, hvor vejnettet er blevet udvidet.

Ved udvidelse af tidsrummet til bestemmelse af *free flow* hastigheden, har dette ligeledes medført en større andel af kortmodellens vejnet analyseret. Andelen af analyseret vejnet i hele projektområdet stiger fra 16% til 20%, hvor de tilførte strækninger i fremkommelighedsskalaen er primært bestående af mindre vejklasser. Hvordan den femte iteration og udvidelse af antallet af segmenter der analyseres vil blive diskuteret senere i kapitel 5, hvor modellen generelt ligeledes vil blive diskuteret.

4.5.7 Validering af proces

I forbindelse med fastsættelse af de endelige procentintervaller for fremkommelighedsskalaen, er det fordelagtigt at have fokus på iterationernes betydning for modellen. For at skabe et overblik over ændringerne for hver iteration, er der udført en beskrivelse af de væsentligste ændringer mellem iterationerne i tabel 4.7. I tabellen fremgår det ligeledes hvordan ændringerne

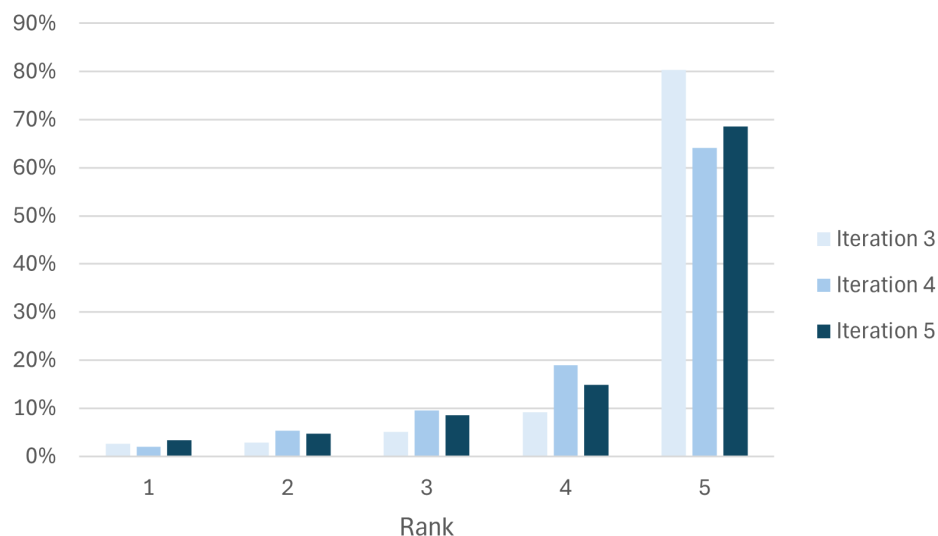
har påvirket omfanget af vejnettet der indgår i modellen. Dette er oplyst med *Andel af vejnettet*.

Tabel 4.7. Beskrivelse af ændringer i modellen for hver iteration

Iteration	Beskrivelse	Andel af vejnettet [%]
1	Modellen opbygges med funktionen <i>equal-count</i> i fire kategorier	17,4
2	Modellen opbygges med funktionen <i>equal-count</i> i fem kategorier	17,4
3	Modellens procentintervaller ændres til mindre andele i rank 1,2 og 3 ud fra erfaringer.	16,2
4	Modellens <i>free flow</i> hastighed ændres fra gennemsnits-hastighed til 85%-fraktil hastigheden	16,2
5	Modellens <i>free flow</i> hastighed ændres så datagrundlaget udvides fra kl. 03-04 til kl. 01-05	20,0

I analysen af iterationernes betydning for fordeling af segmenter i de fem rank, er det valgt at undlade iteration 1 og 2, idet segmentinddelingerne er fordelt lige på alle niveauerne i fremkommelighedsskalaen. Derfor tages der udgangspunkt i de efterfølgende iterationer. I forhold til segmenternes fordeling på fremkommelighedsskalaen for de øvrige iterationer, er det forventeligt at der vil forekomme en stigning fra rank 1 mod rank 5. Dette forventes da det vil indikere at en lille andel af vejnettet er påvirket af signifikante fremkommelighedsproblemer.

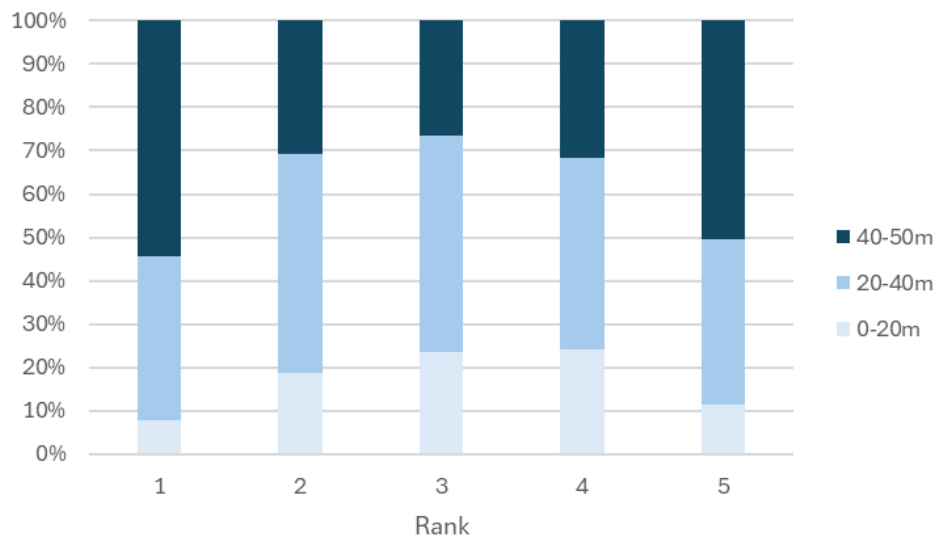
Til at undersøge dette udtrækkes segmenterne for hver iteration, hvorefter disse undersøges ift. placering på fremkommelighedsskalaen. Resultatet af udtrækket fremgår af figur 4.10.



Figur 4.10. Andelen af segmenter i hver rank på fremkommelighedsskalaen efter iteration

Foruden segmenternes fordeling over fremkommelighedsskalaen, er der ligeledes et spørgsmål vedr. segmentlængdernes betydning ift. registrerede hastigheder. Dette skyldes at der kan

forekomme små segmentlængder, hvor disse kan medføre meget lave hastighedsprofiler og bidrage til en lav klassificering på fremkommelighedsskalaen. Derfor er det fordelagtigt at undersøge, hvordan segmenterne, ift. deres længder, er placeret på fremkommelighedsskalaen. Dette er visualiseret på figur 4.11.



Figur 4.11. Segmenters fordeling på fremkommelighedsskalaen efter længdeinddeling, efter iteration 5.

På figuren fremgår det at der forekommer en generel tendens blandt segmentlængderne, at andelen er stigende fra rank et til fem, hvor dette er forventeligt. Dette betyder samtidigt at der ikke forekommer en generel større andel af de mindre segmenter i den lave ende af fremkommelighedsskalaen. Dette er ligeledes visualiseret i tabel 4.8, hvor det ses at segmentlængderne mellem nul og 20 meter er primært placeret i den røde skala (rank 3).

Tabel 4.8. Segmenters andel af hvert niveau på fremkommelighedsskalaen ift. respektive segment længder. Segmenternes totale andel af hele modellen fremgår i kolonnen *Længde*.

Længde	Iteration 3					Iteration 4				
0 - 20 (15%)	4%	18%	21%	20%	14%	10%	13%	22%	22%	12%
20 - 40 (38%)	26%	50%	48%	49%	37%	56%	51%	43%	43%	35%
40 - 50 (47%)	70%	32%	31%	31%	49%	34%	36%	35%	35%	53%
I alt	100%					100%				

Længde	Iteration 5				
0 - 20 (15%)	8%	19%	24%	24%	12%
20 - 40 (40%)	38%	50%	50%	44%	38%
40 - 50 (45%)	54%	31%	26%	32%	50%
I alt	100%				

I tabel 4.8 er det fremstillet, hvor stor en andel, hvert segmentlængde udgør for hver rank. Det fremgår ligeledes af tabellen, hvad *ground truth* værdien er for hver segmentlængde. Med *ground truth* henvises der til segmentlængdernes generelle andel af alle segmenter i hele modellen og er fremgår af kolonnerne *Længde* i tabellen. Sammenligning mellem *ground truth* værdierne og de øvrige værdier i tabellerne er særlig relevant, da dette kan give en indikation på segmenternes indflydelse i modellen. Ved at beregne standard afvigelsen af segmentlængderne i fremkommelighedsskalaen, kan det vurderes, hvor meget andelen varierer til andelen i hele modellen. I tabel 4.9 fremgår standard afvigelsen for iteration 5 for de tre segmentlængde kategorier.

Tabel 4.9. Standard afvigelsen for segmentlængderne mellem fremkommelighedsskalaen og *ground truth* for iteration 5.

0-20m	8%
20-40m	8%
40-50m	14%

Af tabel 4.9 fremgår det at der forekommer en standardafvigelse for segmentlængderne 0-20 og 20-40 meter på 8% mellem den gennemsnitlige andel i fremkommelighedsskalaen og segmentlængdernes generelle andel i modellen. Dette er en mindre afvigelse sammenlignet med afvigelsen for segmentlængderne 40-50 meter.

Fastsættelse af standardafvigelsen bidrager dog ikke til direkte evidens for at afvigelserne for segmentlængdernes andel i modellen sammenlignet med fremkommelighedsskalaen er signifikante. Derfor er det fordelagtigt at udføre en *z-test*. Denne undersøger om forskellen mellem *ground truth* og fremkommelighedsskalaen er signifikante eller ej. Resultaterne af disse test fremgår af tabel 4.10.

Segmentlængder	p-værdi	Vurdering
0-20m	0.29	Ikke signifikant
20-40m	0.0494	Signifikant
40-50m	0.0852	ikke signifikant

Tabel 4.10. Statistisk test for kontrol af signifikans for segmentlængde i QGIS modellen.

Under *z-testen* er det valgt at anvende nul-hypotesen der siger at segmentlængdernes gennemsnitlige andel på fremkommelighedsskalaen er lig med *ground truth* værdierne for segmentlængderne. Hertil fremgår det af resultaterne i tabel 4.10 at der kun forekommer en signifikant forskel mellem *ground truth* og fremkommelighedsskalaen for segmentlængderne 20-40m. Det betyder at disse segmentlængder forekommer i større omfang og kan herved have en overrepræsentation i andelen af segmenterne der placeres i de forskellige rank.

Yderligere er der udført en Chi2 test, hvor dette skal indikerer hvorvidt fordelingen af segmentlængderne har en påvirkning på klassificeringen af fremkommeligheden. Resultatet af denne test indikerede at p-værdien er meget lille. Dette betyder også at forskellene mellem *ground truth* værdierne og værdierne i fremkommelighedsskalaen er signifikante store, så det ikke kan forklares som en tilfældighed. Hertil forkastes hypotesen som ligger til grund for en Chi2 test, som konstaterer at segmentlængde og rank er uafhængige, idet testen konkluderer at de er afhængige. Resultaterne af ovenstående udførte statistiske analyser fremgår af Bilag G.

De ovenstående analyser har primært undersøgt segmenternes påvirkning på klassificeringen af fremkommeligheden på et generelt niveau i modellen. Herefter er det undersøgt, hvordan andelen af de forskellige segmentlængder påvirker modellens hovedformål - at udpege og rangere signalregulerede kryds. Til dette er længderne på segmenterne i modellen undersøgt i en afstand op til 50 meter fra krydsene. Dette skyldes at det er i denne afstand, som anvendes til at udføre rangeringen af de signalregulerede kryds. I tabel 4.11 fremgår en oversigt over, hvor stor en andel de forskellige segmentlængder udgør i modellen under rangeringen af de signalregulerede kryds.

Tabel 4.11. Oversigt over andelen af segmentlængder ved kryds inden for 50 meter.

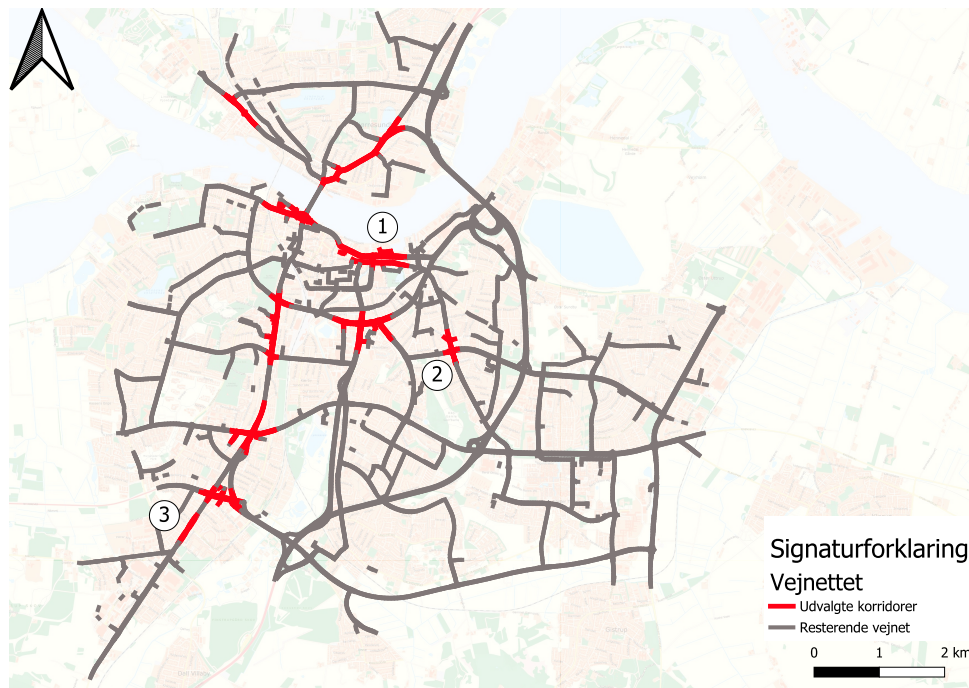
Længde	Andel
0 - 20 m	29%
20 - 40 m	48%
40 - 50 m	23%

Sammenlignes resultaterne i tabel 4.11 med *ground truth* værdierne for den overordnede model, kan det konkluderes at der forekommer en underrepræsentation af de store segmenter. Yderligere forekommer der en overrepræsentation når der udføres rangering af de involverede signalregulerede kryds i modellen. Dog skal det pointeres at segmentlængderne 20-40 meter forekommer med en lavere afvigelse fra *ground truth*.

4.6 Udpegning og rangering af signalregulerede kryds

Den opbyggede QGIS model med den dertilhørende fremkommelighedsskala, giver nu mulighed for at kunne undersøge anvendeligheden ift. udpegning og rangering af signalregulerede kryds. Som beskrevet tidligere i afsnittet om besigtigelse vil der blive undersøgt udvalgte korridorer, hvor de signalregulerede kryds i hver korridor vil blive rangeret. Der er tre korridorer i alt der bliver undersøgt, hvor to er valgt, grundet fremkommeligheds problemer der fremgår af QGIS modellen. Den sidste korridor er valgt ud fra paramenterne at der ikke var nogen fremkommeligheds problemer i modellen, da denne korridor er et kontrol område. Kontrollen

bruges for at se om modellen både kan udpege områder med fremkommeligheds problemer og områder der ikke er problematiske. Figuren af de udvalgte korridorer til denne undersøgelse er gengivet i figur 4.12 herunder.

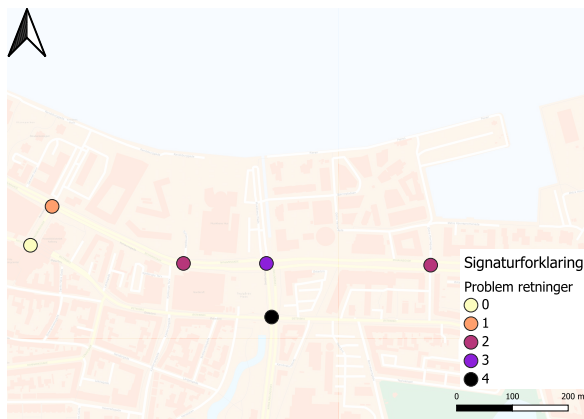


Figur 4.12. Trængsel korridorer for morgen- og eftermiddagsspidtime

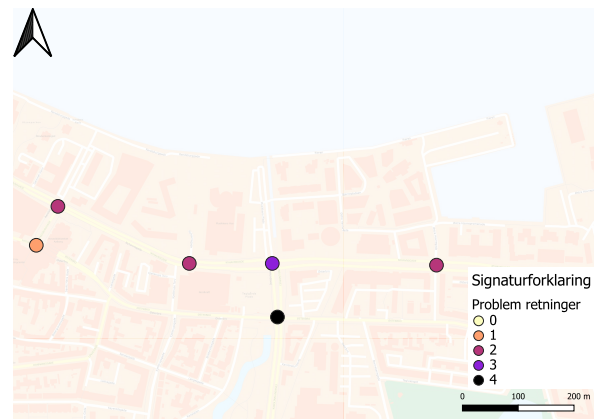
Til at udføre rangeringen anvendes antallet af retninger med fremkommelighedsproblemer. Hvert signalreguleret kryds undersøges i alle retninger, hvor der er fokus på segmenter inden for 50 meter. Forekommer der en markant stor andel af segmenter, hvor fremkommelighedsskalaen har en tilbageværende andel af hastigheden på under 55%, så vurderes retningen til at have fremkommelighedsproblemer. I forbindelse med disse vurderinger forekommer der sekundærretninger i modellen, hvor disse ikke kan vurderes. Dette skyldes et manglende datagrundlag på retninger og det vil derfor ikke kunne være muligt at vurdere alle retninger i et kryds.

Nyhavnsgade / Karolinelundsvej

Korridoren som er udvalgt ved Nyhavnsgade og Karolinelundsvej består af i alt 6 signalregulerede kryds, hvor Nyhavnsgade består som primærretningen i størstedelen af krydsene. I figur 4.13 og 4.14 fremgår en rangering af korridorens signalregulerede kryds ud fra den opstillede metode.



Figur 4.13. Kryds kategorisering for korridor Nyhavnsgade / Karolinelundsvej i morgenspidstid 07:45-08:00.



Figur 4.14. Kryds kategorisering for korridor Nyhavnsgade / Karolinelundsvej i eftermiddagsspidstid 15:30-15:45.

Det fremgår af figur 4.13 at der i morgenspidstimen er fire ud af i alt seks signalregulerede kryds, som har en tilbageværende hastighed på 55% eller under på minimum to af vejgrenen.

De samme kryds er ligeledes udpeget om eftermiddagen, men hvor disse er suppleret med yderligere et kryds på Nyhavnsgade. Det vil sige at der om eftermiddagen er fem ud af i alt seks signalregulerede kryds, som har en tilbageværende hastighed på 55% eller under på minimum to af vejgrenen. I både morgen- og eftermiddagsspidstimen har de to centrale kryds hhv. tre og fire retninger, hvor der er en tilbageværende hastighed på under 55%.



Figur 4.15. Mellem krydset Nyhavnsgade / Karolinelundsvej og krydset Karolinelundsvej / Ørsterbro, 07:30-08:00



Figur 4.16. Mellem de to vestlige kryds på Nyhavnsgade, 15:00-15:45

For at verificere rangeringerne fra modellen, så er disse sammenlignet med besigtigelser fra lokaliteten. På figur 4.15 vises trafikken om morgenen, hvor billedet bekræfter udpegnen i denne for krydsene mellem Nyhavnsgade / Karolinelundsvej og Karolinelundsvej / Østrebros. Sammenlignes modellens rangering med figur 4.16 ses det at der ligeledes bekræftedes modellen,

at der i eftermiddagsspidstimen at der er kø i den østlige retning af Nyhavnsgade. I modellen er der udpeget en tilbageværende hastighed på 55% eller under i den retning.

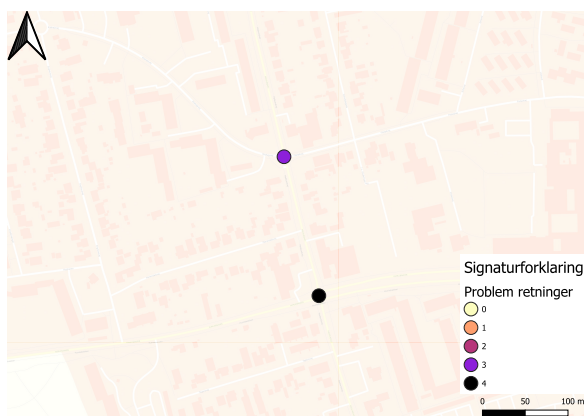
I korridoren er der valgt at se nærmere på hovedretningen med den største trafik. I tabel 4.12 er nøgletal for de trafikale forhold på Nyhavnsgade vestgående, hvor der er taget udgangspunkt i det vestlige kryds i korridoren. Der er blevet observeret flere køretøjers gennemkørsel af krydset og har opstillet nøgletal for dette. Ved omløb er det antallet af omløb et køretøj skal bruge for at kunne komme gennem krydset.

Tabel 4.12. Nøgletal for retningen Nyhavnsgade vestgående

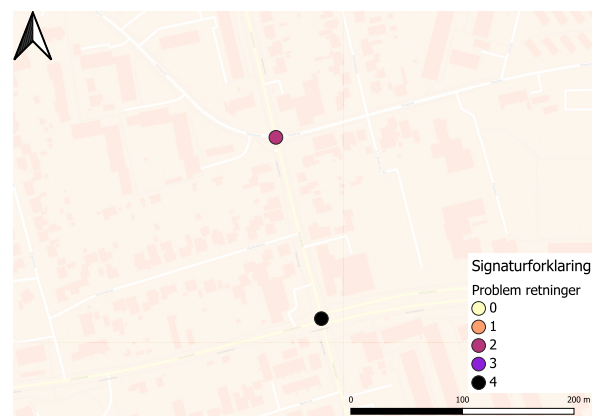
Retning	Nyhavnsgade vestgående
Kø længde	ca. 380 m
Antal omløb	2-4 omløb
ÅDT	15.200

Hadsundvej / Humlebakken

Korridoren ved Hadsundvej og Humlebakken er den anden korridor som er udvalgt pga. trængselsindikationer ved den opsatte fremkommelighedsskala i modellen. Korridoren består kun af to signalregulerede kryds, hvor dette er en del mindre end korridoren ved Nyhavnsgade og Karolinelundsvej. På Korridoren er det Hadsundvej der fungerer som primærvejen gennem begge de omfattede signalregulerede kryds. På figur 4.17 og 4.18 fremgår rangeringen af de omfattede signalregulerede kryds.



Figur 4.17. Kryds kategorisering for korridor Hadsundvej / Humlebakken i morgenspidstimen 07:45-08:00.



Figur 4.18. Kryds kategorisering for korridor Hadsundvej / Humlebakken i eftermiddagsspidstimen 15:30-15:45.

På baggrund af figur 4.17 og 4.18 kan det konkluderes at det signalregulerede kryds ved Hadsundvej og Humlebakken er det mest belastede af de to kryds. Hertil skal det pointeres

at krydset Hadsundvej og Humlebakken er rangeret dårligere end det andet kryds, idet denne har fire retninger med problemer i og der er også trafik fra alle fire retninger i QGIS modellen.

Denne rangering kan forekomme uhensigtsmæssigt, idet alle retningerne i det nordlige kryds i denne korridor, ikke har alle vejgrene med i fremkommelighedsmodellen, da der ikke er nok probes til at danne et trafikgrundlag. Det vil sige at hvis alle grenene var medtaget er der en potentiel mulighed for at flere af disse grene vil have en tilbageværende hastighed på 55% eller under og derved have samme rangering som det sydlige signalregulerede kryds.



Figur 4.19. Mellem det nordlige kryds og sydlige kryds, 15:00-15:45



Figur 4.20. Humlebakken øst, 07:30-08:00

Efter en besigtigelse på lokaliteten kan det bekræftes at der forekommer kø ved krydset Hadsundvej / Humlebakken i den østlige retning, se figur 4.20. Herudover erfarede besigtigelserne at det nordlige kryds havde nogle problematikker ift. sekundærretningen mod øst. Årsagen til dette kan skyldes en nedprioritering, da trafikmængden fra denne retning er betydeligt mindre end hovedretningen. Den mindre grøntid i signalprogrammet kan gøre at der opstår kø, hvorfor det ikke er entydigt, hvorvidt at denne retning bør anses som et problem.

I korridoren er der valgt at se nærmere på hovedretningen med den største trafik. I tabel 4.13 er nøgletal for de trafikale forhold på Humlebakken østgående. Nøgletal er fundet på baggrund af observationer af gennemkørsler af køretøjer i krydset.

Tabel 4.13. Nøgletal for retningen Humlebakken østgående

Retning	Humlebakken østgående
Kø længde	ca. 350 m
Antal omløb	5+ omløb
ÅDT	9.200

Hobrovej / Stationsmestervej

Korridoren ved Hobrovej / Stationsmestervej er udtaget som kontrol, da det er en vej hvor der ud fra FCD ikke er nogen reduktion af hastighed. Af figur 4.21 ses det at ingen af de signalregulerede kryds har nogen vejgrene med hvor den tilbageværende hastighed er under 55 %. Ved krydset er der samme rangering for både morgen- og eftermiddagsspidsstimen.



Figur 4.21. Kryds kategorisering for korridor Hobrovej / Stationsmestervej i morgen- og eftermiddagsspidsstimen

Ved Hobrovej / Stationsmestervej er der lavet en besigtigelse, hvor den viste at der på hovedretningen Hobrovej var rømning af alle trafikanter i hver omløb. Dog var der kø på stationsmestervej, se figur 4.22. Køen kunne ikke observeres i modellen, da denne retning ikke har nok probes til at blive medtaget i modellen.



Figur 4.22. Stationsmestervej øst, 15:00-15:45



Figur 4.23. Hobrovej syd, 15:00-15:45

I korridoren er der valgt at se nærmere på hovedretningen med den største trafik. I tabel 4.14 er nøgletal for de trafikale forhold på Hobrovej sydgående. Nøgletal er fundet på baggrund af observationer af gennemkørsler af køretøjer i krydset.

Tabel 4.14. Nøgletal for retningen Hobrovej sydgående

Retning	Hobrovej sydgående
Køllængde	ca. 50 m
Antal omløb	1 omløb
ÅDT	23.700

Ud fra tabel 4.14 kan det ses at trafikken bliver afviklet i første omløb hver gang. Denne afvikling medfører at den opstuede køllængde i den pågældende retning afvikles til ende.

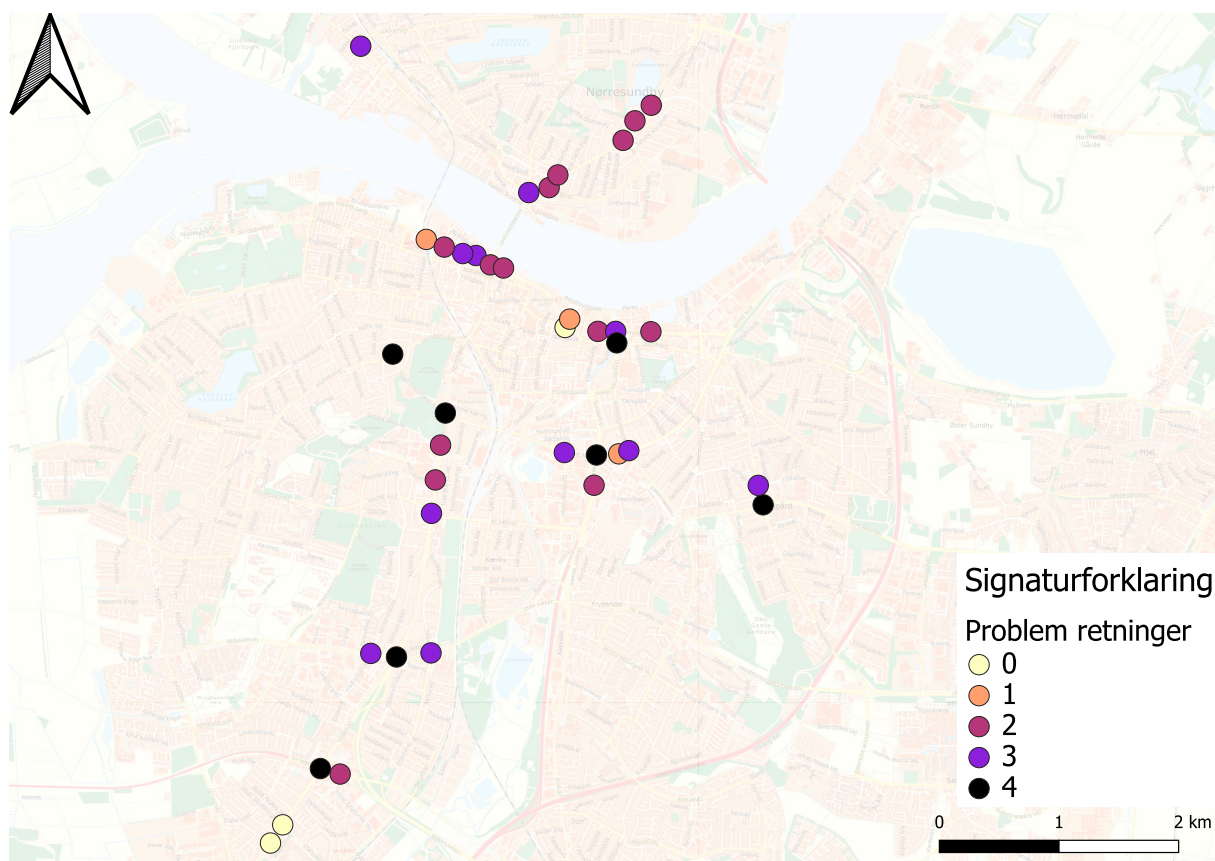
4.6.1 Opsummering

På baggrund af den gennemførte analyse af de tre korridorer — *Nyhavnsgade/Karolinelundsvej*, *Hadsundvej/Humlebakken* og *Hobrovej/Stationsmestervej* — er det muligt at vurdere modellens anvendelighed til udpegning og rangering af signalregulerede kryds. De tre korridorer repræsenterer forskellige typer fremkommelighedssituationer: to med identificerede fremkommelighedsproblemer og én uden, anvendt som kontrol.

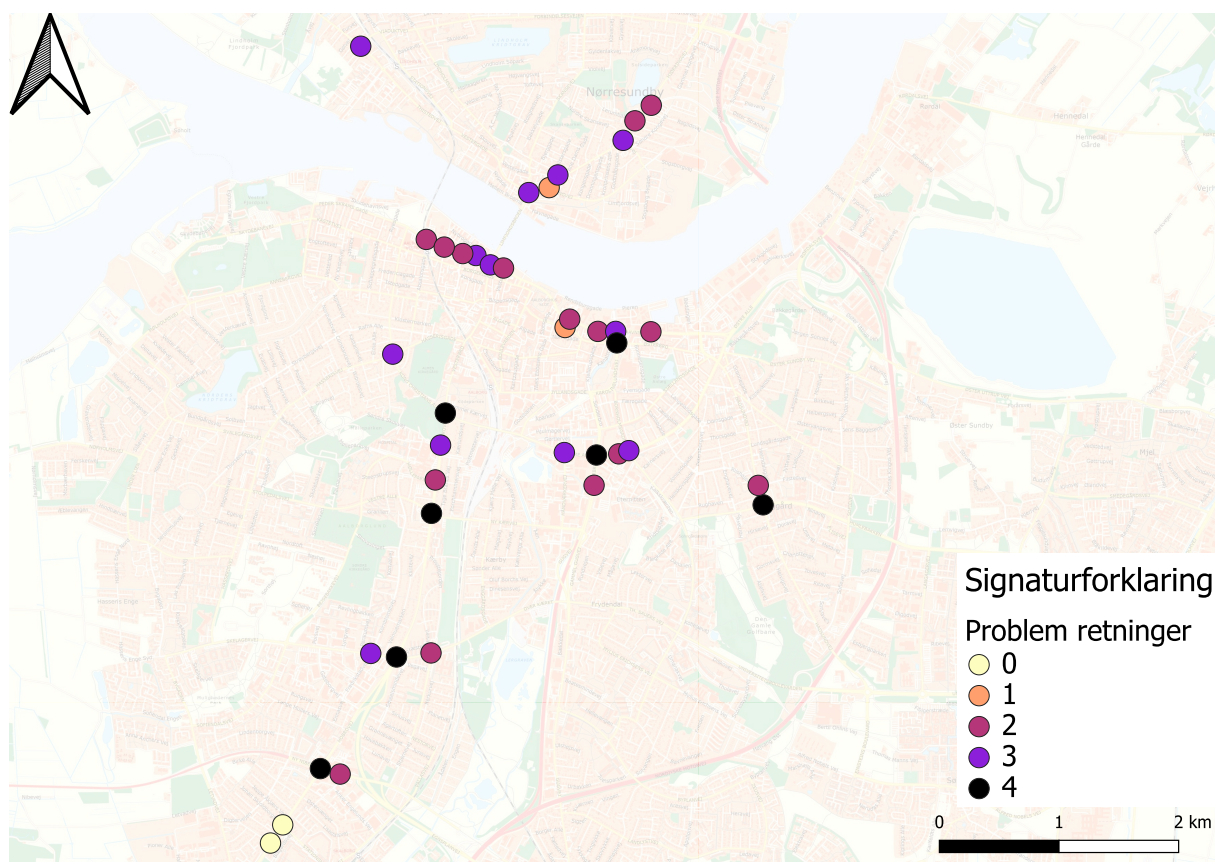
Resultaterne fra disse analyser er anvendt som grundlag for en samlet rangering af de resterende signalregulerede kryds i modellen. Rangeringen er foretaget for både morgen- og eftermiddagsspilstimerne, og resultaterne er visualiseret i figur 4.24 og 4.25.

Figureerne danner et overblik over, hvor på vejnettet der forekommer betydelige fremkommelighedsproblemer. Modellen muliggør dermed ikke blot en individuel vurdering af korridorer, men også en samlet identifikation af de mest belastede signalregulerede kryds i hele analyseområdet. Herved er det muligt at kunne have fokus på disse anlæg, fremfor øvrige anlæg der ikke indeholder betydelige fremkommelighedsproblemer.

Af figureerne fremgår det, at fremkommelighedsproblemerne generelt er størst i eftermiddagsspilstimen. Denne observation underbygges af tabel 4.15, som viser antallet af signalregulerede kryds i hver rangering for henholdsvis morgen- og eftermiddagsspilstimen. Tabellen viser en tydelig tendens til højere belastning og lavere fremkommelighed i eftermiddagstrafikken.



Figur 4.24. Rangering af signalregulerede kryds i udvalgte vejkorridorer om morgenen



Figur 4.25. Rangering af signalregulerede kryds i udvalgte vejkorridorer om eftermiddagen

Tabel 4.15. Tabel over antallet af signalregulerede kryds i morgen- og eftermiddagsspidskvarteret i forskellige rangeringer.

	Rangering	Morgen	Eftermiddag
	4	7	7
	3	11	12
	2	14	15
	1	3	2
	0	3	2

Samlet set danner den opbyggede model et grundlag for at kunne analysere et interesse område, hvor der ønskes anlæg analyseret ift. forekommende fremkommelighedsproblemer. I tabel 4.15 fremgår som beskrevet en opgørelse over de størst belastede signalregulerede kryds, i spidstimerne. Selvom dette suppleret med de ovenstående figur, danner et grundlag for at fokusere på bestemte anlæg individuelt, er det nødvendigt at forholde sig til visse begrænsninger. Dette er bl.a. nærliggende anlægs betydning for den faktiske reducerede fremkommelighed i de udpege signalregulerede kryds. Dette vil ligeledes blive diskuteret yderligere i kapitel 5, hvor der vil være fokus på modellen overordnet, forbedringsmuligheder og begrænsningerne der forekommer i modellen.

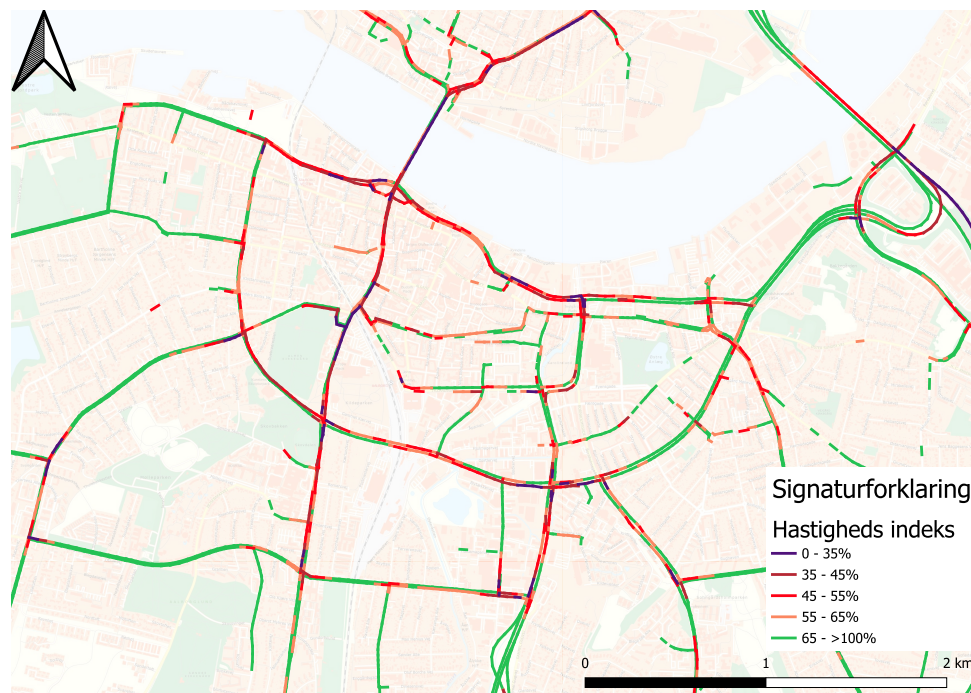
Diskussion 5

Ved brugen af FCD er der opstillet en model, som kan udpege korridorer med fremkommenlighedsproblemer i områder med signalregulerede lyskryds. QGIS modellen er lavet ud fra data, som er segment baseret, så dataene er inddelt i vejsegmenter fra 1-50 meter. For at lave en fremkommenlighedsskala er der blevet sammenlignet *free flow* hastigheden, for hvert segment med spidstime hastigheden. Skalaen er en procent af tilbageværende hastighed af *free flow*, som bliver afbillede grafisk i en QGIS model. Med den visuelle model er der udpeget korridorer, hvor der forekommer størst fremkommeligheds problemer i projektområdet.

Modellen har mange styrker, til at se på den gennemsnitlige trafik over en længere periode. Der er dog begrænsninger ved brugen af FCD både i hvilken data der er tilgængelig og hvilken datatype det kommer i. Følgende problemstillinger for modellen og det datagrundlag der er brugt bliver diskuteret i det følgende kapitel.

5.1 Modellen overordnet

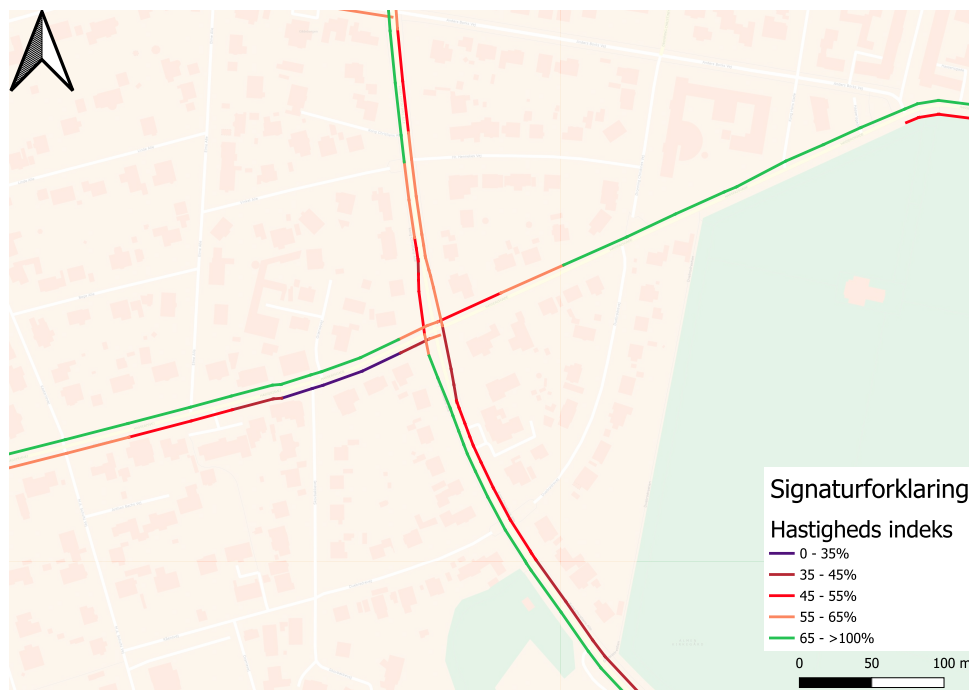
Modellen har to overordnede funktioner: Korridor udpegning og udpegning, samt rangering af signalregulerede kryds. Det er derfor nødvendigt at evaluere modellen separat for disse funktioner. I modellens overordnede niveau, er denne generelt retvisende ift. afspejling af det trafikale mønster på vejnettet. Herved har modellen mulighed for at give indikationer på, hvordan helhedsbilledet er på vejnettet og muliggør derfor udpegning af korridorer. Idet der er fokus på det generelle trafikale billede på et overordnet plan, har det lille trafikgrundlag en lille betydning for dets integritet. Dette skyldes at der ikke er fokus på trafikale mønstre på et mikroskopisk plan, ved eksempelvis et omløb. Modellens udpegning af korridorer er visualiseret med et eksempel på figur 5.1



Figur 5.1. Fremkommenlighedsmodel i 5. iteration

Af figur 5.1 kan det ses at der er tydelige områder med fremkommelighedsproblemer. De vejgrene hvor der er problemer, forekommer der en aftagende graduering, hvor det er værst tættest på kryds lokationerne. Herfra bliver det gradvist bedre jo længere væk fra krydset segmenterne forekommer. Ved korridorer, hvor der er mange tætliggende kryds er der en konstant reduktion i fremkommeligheden, hvilket giver modellen en større usikkerhed. I disse situationer er det ikke muligt at kunne identificere hvilke områder der specifikt skal være i fokus og bliver derfor komplekst og problematisk at vurdere. Dog skal det påpeges at modellen forsat udpeger disse korridorer. Det betyder derfor at projektets model har en større svaghed ifm. detaljerede analyser af enkelte signalregulerede kryds, samt udpegning af, hvilke kryds der bør være i fokus i den enkelte korridor.

Når modellen bliver brugt til at analysere et enkelt signalreguleret kryds på tæt hold, begynder der at komme huller i datagrundlaget. Dette medfører at der godt kan forkomme u hensigtsmæssige visualiseringer. Af figur 5.2 kan man se, hvordan QGIS modellen udtegner de enkelte veje.



Figur 5.2. Fremkommenlighedsmodel i 5. iteration, for krydset Kong Christians Allé / Hasserisgade

Det fremgår af figur 5.2, at den østlige retning ud af krydset ikke er vurderet i modellen, men alle de indkørende retningen er. Der er flere steder i modellen, hvor der er dele af vejnette, som ikke er inkluderet i modellen grundet et for lille datagrundlag. Dette har særlig betydning når det kommer til analyse af en korridor ift. hvilke anlæg der bør prioriteres ift. allokation af midler og ressourcer. Herved opnår den opbyggede model ikke et robust grundlag til objektivt at kunne vurdere og rangere signalregulerede kryds på et bærende grundlag.

Det kan diskuteres, hvorvidt projektets model har formået at inddrage tidligere erfaringer i et tilstrækkeligt omfang, idet der fortsat er dele af modellen som indeholder store usikkerheder. Modellen har formået at fastholde evnen til at kunne bidrage til analyser omkring det overordnede trafikale billede på et vejnet.

Nogle af de undersøgte studier inddrager supplerende datakilder ud over FCD for at opnå højere nøjagtighed. En supplerende kilde kunne f.eks. være spole data fra vejene. Da projektets model bygger på et procentvis større datagrundlag, der er to eller fire gange så stort, vurderes det dog ikke nødvendigt at anvende yderligere kilder i samme omfang. En mulig udvidelse af data kunne være at skelne mellem trafikstyrede, tidsstyrede og sammenordnet signalanlæg. Dette kunne danne grundlag for en mere nuanceret analyse af fremkommelighedsproblemer på udvalgte korridorer.

5.2 Praksis anvendelighed

Et væsentlig aspekt at fastholde for projektet er modellens opbygning og anvendelighed. Modellen har gennem projektets forløb været korrigeret, struktureret og opbygget ud fra de lokale trafikale forhold i Aalborg by. Ved opbygning af modellen er det nødvendigt at forstå dets potentiale og begrænsninger ift. bred anvendelse. Formålet med modellen var at kunne bistå drift og vedligeholdelses mæssige opgaver hos bestyrer ved at udpege interesse områder med trafikale anlæg, der fungerede uhensigtsmæssige. I det foregående afsnit er modellen overordnet blevet diskuteret og vurderet, hvor der i dette afsnit vil blive diskuteret en bredere anvendelighed af modellen.

Med modellens opbygning og grundlæggende struktur er der potentiale for at den kan anvendes i andre byer. Dette skyldes at metoden der er anvendt, er baseret på relative hastighedsreduktioner mellem *free flow* hastigheden og den aktuelle spidstime hastighed. Derfor er det undersøgt, hvorledes modellen udpeger korridorer i andre byer, der afviger demografisk fra Aalborg. Det er valgt at undersøge større og mindre byer ift. Aalborg, da dette kan bidrage til en forståelse for modellens begrænsninger. Disse begrænsninger har en forventelig lokation til mindre byer, idet modellens datagrundlag er FCD og har en meget lille penetrationsrate. Datagrundlagets begrænsninger vil blive diskuteret mere dybdegående i afsnit 5.4.

I listen herunder fremgår byerne der er anvendt til at undersøge anvendeligheden af modellen. Det er forsøgt at undersøge byer i alle regioner i Danmark og forskellige by størrelser, hvor formålet er at undersøge, hvordan lokalitetsbestemte forhold medvirker til afvigelser i modellen.

- | | | |
|-----------|------------|------------|
| • Randers | • Århus | • Aalborg |
| • Viborg | • Varde | • Esbjerg |
| • Odense | • Birkerød | • Hillerød |

Byerne der er undersøgt er yderligere visualiseret ved figur 5.3 herunder, hvor dette giver en bedre indikation af bredden på undersøgelsen. Dette er ift. den geografiske vidde af Danmark, hvor det ses at denne strækker sig over flere regioner.



Figur 5.3. Byer i Danmark som er blevet analyseret med fremkommelighedsmodellen.

På baggrund af undersøgelsen er det valgt at kontakte Århus og Aalborg Kommune med det formål at fremlægge modellens udpegning i deres by. Disse byer er markeret med en rød prik i ovenstående figur 5.3. Under møderne blev projektets metode samt resultater i form af den endelige fremkommelighedsmodel præsenteret.

På baggrund af interviewet med Aalborg Kommune blev det udtrykt at der som bestyrer forekommer andre anvendelsesmuligheder af modellen. Hvis modellen vil blive udført på årsbasis og sammenlignede i en sammenhængende årrække, ville det være anvendeligt som et evalueringsværktøj. Samtidig vil der ligeledes være mulighed for at kunne dokumentere ændringer i kørselsmønstre efter vejarbejde eller øvrige ændringer i anlæg og områder, hvor en trafikflytning vil kunne blive dokumenteret på hastighedsdataene. Denne form for dokumentation vil ligeledes kunne bistå planlægningsarbejde ift. hvordan der udføres skiltning af omkørsel til vejarbejde, prioritering af midler ift. optimeringsarbejde og generelt hvor der skal indsættes fokus ift. hvordan byrum skal indrettes - som f.eks. ændring i prioritering for forskellige trafikantgrupper. (Aalborg Kommune, 2025b)

I forbindelse med mødet afholdt med Århus Kommune, blev det diskuteret hvilke styrker og svagheder som FCD har i det driftsmæssige arbejde. Århus Kommune er generelt længere fremme ift. anvendelse af FCD som understøttelse til forskellige drifts processorer, sammenlignet med Aalborg Kommune. Generelt var responsen på projektets models anvendelighed konsistente mellem Aalborg og Århus Kommune, hvor de så stort potentiale i at understøtte nogle driftsmæssige processor. Hertil påpegede Århus Kommune, at fremkommelighedsmodellen særligt kunne bruges til at evaluere henvendelser ift. reduceret fremkommelighed. Århus Kommune kunne derfor, sammenlignet med Aalborg Kommune, se større potentiale i det daglige driftsmæssige arbejde, hvorimod Aalborg Kommune havde et større planlægningsperspektiv på fremkommelighedsmodellen. (Århus Kommune, 2025)

Modellens anvendelighed, ifm. drifts- og vedligeholdelsesmæssige opgaver, har i sin struktur visse begrænsninger. Gennem projektets analyse, og det foregående afsnit 5.1, blev det konkluderet at modellens primære anvendelighed afgrænses til det overordnede niveau. Det vil sige at modellen, med den grundlæggende opbygning ved brug af hastighedsdata, giver mulighed for at vurdere vejnettet på et overordnet niveau. Modellen bliver hertil begrænset ift. mere detaljerede analyser, hvor der er fokus på en mindre korridor. Hertil menes det, at det ikke er muligt at kunne differentiere mellem fremkommelighedsproblemer ift. problemernes oprindelse. Årsagen til fremkommelighedsproblemer kan skyldes, at strækningerne i den udvalgte korridor har store trafikmængder og generelt har opbrugt kapacitet på vejstrækningen. Det kan ligeledes skyldes at der forekommer uhensigtsmæssig signalstyring i de enkelte anlæg. Differentiering mellem disse fremkommelighedsproblemer står uden for modellens opbygning, hvorfor det ikke er muligt at kunne direkte skelne mellem disse situationer. For at kunne anvende modellen i en detaljeret analyse ift. lokalisering af fremkommelighedsproblemerne, er det nødvendigt at understøtte modellen med flere informationslag. Dette kan eksempelvis være ved brug af informationer vedr. signalanlæg omkring styringsformen der anvendes. Herved kan det være muligt at vurdere om der forekommer tidsstryrede anlæg med en uhensigtsmæssig fase opbygning. Samtidig er det muligt at udelukke anlæg, hvor der forekommer trafikstyring på signalanlægget. Ofte vil fremkommelighedsproblemerne hertil være komplekse at løse, idet styringen tager højde for trafikefterspørgslen sammen med en generel prioritering efter retning eller køretøjstype.

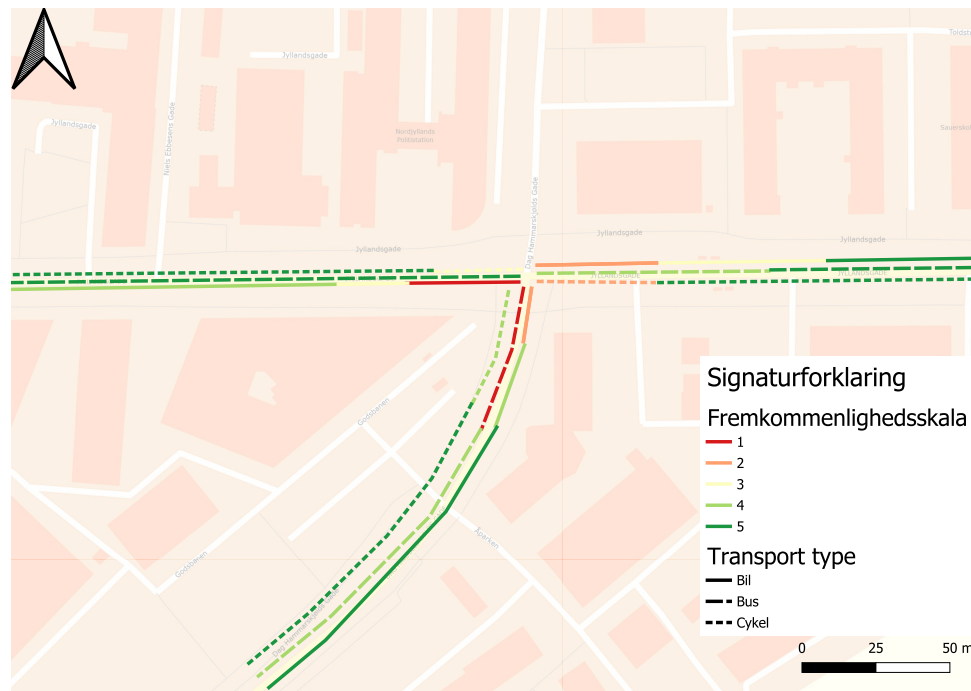
Overordnet er det vurderet at der forekommer stort potentiale for projektets model, hvor det kan bistå arbejde i infrastrukturen ift. mobilitet og optimering af fysiske anlæg. Dette er både fra et bestyrer perspektiv, men ligeledes rådgivningsperspektiv, hvor modellen kan bistå arbejdsprocessorer i trafikanalyser og andet arbejde. Under fremlægning af modellen for Aalborg

Kommune og Århus Kommune blev modellen verificeret af fagpersoner, hvor modellen blev accepteret ift. at udpege de korrekte korridorer, hvor de oplever fremkommelighedsproblemer. Århus Kommune udtrykte yderligere at en fremkommelighedsmodel kan foruden at bistå optimeringsarbejde for signalregulerede kryds, ligeledes understøtte screening ift. hvorvidt der skal indsættes ressourcer ift. fremme af kollektiv og mikromobilitets trafik. (Århus Kommune, 2025)

Modellen i dette projekt er opbygget på FCD fra primært personbiler, hvilket gør at vurderingerne af fremkommeligheden udelukkende er gældende for de trafikanter der opholder sig på kørebanen - dette udelukker således bløde trafikanter som cyklister, fodgænger og andre mikromobilitetsformer. Selvom modellen ikke tager højde for de bløde trafikanter i samfundet, er der fortsat potentiale for at kunne anvende modellen med fokus på mikromobilitetens fremkommelighed. Hertil er det nødvendigt at påpege andre GPS-data indsamlinger - herunder data indsamlet fra *Cork by FINDRS*. Dette er en organisation der indsamler data fra cyklister ved brug af anordninger - hvor disse er implementeret i almen cykeludstyr som f.eks. cykellygter og cykelstyrs anordninger. Dataene herfra giver ligeledes information omkring hastighed og muliggør derfor brugen af projektets modelopbygning.(FINDRS, 2025) Hertil forekommer der dog elementer der er nødvendige at undersøge for at data herfra kan anvendes direkte i modellen - som f.eks. fastsættelse af *free flow* hastigheden. Da denne hastighed i modellen er fastsat ud fra hastigheden om natten kan det blive problematisk at indsamle reelt data fra cyklister om natten. Det kan derfor blive nødvendigt at anvende andre tidspunkter eller fastsætte *free flow* hastigheden gennem en anden kilde.

En tredje datakilde der kunne indrages kunne være forsinkelser fra den kollektive trafik, i form af gps rejsetider fra busser. Der vil det på samme måde, som med FCD være muligt at se forsinkelserne i spidstimerne.

I figur 5.4 herover fremgår en visualisering af en mulig opsætning af projektets model, hvor der inddrages flere GPS databaser. Herved er det muligt for et enkelt anlæg at undersøge, hvordan fremkommeligheden er for forskellige trafikantgrupper. Dette kan ligeledes bidrage til en forståelse for, hvorfor f.eks. biltrafikanter har en lavere fremkommelighed, idet busserne muligvis er prioriteret i det enkelte anlæg. Denne opsætning og ændring i datagrundlaget ville være særlig relevant og det næste skridt i projektet, hvis modellen skulle viderebygges.



Figur 5.4. Fremkommenlighedsskala på tværs af mobilitetsformer

5.3 Nye og tidligere erfaringer

I projektet var formålet at opbygge en model der kunne udpege signalregulerede kryds med fremkommelighedsproblemer. Hertil var der yderligere et underformål, hvor det blev tilstræbt at opbygge en model baseret på en metode, hvor tidligere erfaringer blev inddraget. Dette skulle bidrage til en model som er mere robust ift. tidligere opbyggede modeller. Hertil er det relevant at reflektere over forskellene mellem denne model og tidligere opbyggede modeller præsenteret i litteraturstudiet fra kapitel 2.

Efter projektets analyse arbejde i kapitel 4, er der udført yderligere undersøgelser af modellen ift. undersøgelse af modellens anvendelighed og pålidelighed. Dette er gjort for at undersøge, hvorvidt projektets model har formået at være mere robust ift. tidligere modeller og inkorporere disse erfaringer. Det er undersøgt, hvorvidt modellen kan anvendes som en objektiv kilde på vurdering af et områdes signalregulerede kryds. Hertil er det konkluderet at den er opbygget med visse begrænsninger ift. objektiviteten, idet der forekommer en del subjektive vurderinger. Dette er særligt gældende i korrektions fasen, hvor modellen skal korrigeres for de lokale trafikale forhold for det pågældende område. Dette udelukker dog ikke modellen ift. dens objektivitet, da modellen fortsat er brugbar på overordnede niveauer og kan herved understøtte arbejdet inden for drifts- og vedligeholdelsesmæssige opgaver hos bestyrerne.

I forbindelse med samtalen afholdt med Århus Kommune, blev det ligeledes diskuteret, hvordan modellens beregningsgrundlag kunne anvendes ift. hovedbyens lokal trafikale forhold. Hertil blev det diskuteret hvorvidt fastsættelse af visse hastigheder var valide ift. fremlægning af modellens udpegning. I dette projekt er *free flow* hastigheden fastsat ud fra 85%-fraktil hastigheden om natten, idet denne fastsættelse antages at være den ønskede hastighed. Dette valg i metoden er besluttet ud fra erfaringer med fastsættelse af *free flow* hastigheden i USA (jf. kapitel 2).

Århus Kommune udtrykte at anvendelse af 85%-fraktilen ikke er misvisende, men anvendelse af planlægningshastigheden ville være mere retvisende. Dette skyldes at det i største delen af tilfælde ikke er muligt at anvende planlægningshastigheden gennem en længere strækning grundet anvendelse af signalanlæg. Hertil vil det også være muligt at kunne sammenholde en tidsmæssig KPI mellem planlægningshastigheden og projektets *free flow* hastighed. Dette giver også mulighed for at sammenholde fremkommelighedsproblemerne i nattetimerne med fremkommelighedsproblemerne i spidstimerne.

Et andet aspekt af modellen, hvor det i projektet er delvist lykkedes med at gøre modellen mere robust er ift. andelen af datakilder. I tidligere erfaringer (jf. kapitel 2), forekommer de tidligere modeller med bredere viden af virkeligheden end det som FCD alene kan bidrage med. De tidligere modeller kan anvendes, hvis der forekommer et fuldstændigt kendskab til penetrationsraten for alle vejsegmenter, samt viden fra andre datakilder som f.eks. spolere i vejene. Herved er dette projekts model opbygget på en mere simplificeret struktur, hvor der udelukkende anvendes én datakilde til at vurdere fremkommelighedsproblematikkerne på vejnettet.

På trods af at dette projekt har formået, til et begrænset omfang, at opbygge en anvendelig model til vurdering af signalanlæggene i et interesseområde, er det nødvendigt at forholde sig til dertilhørende usikkerheder. Tidligere erfaringer har vist, at der kræves en betydelig indsigt i den faktiske mængde trafik på vejnettet, for at kunne anvende FCD til vurdering af forskellige KPI'er. Derfor kan det argumenteres at projektets model har større usikkerheder tilknyttet resultaterne, idet der ikke tages højde for penetrationsraterne i fremkommelighedsskalaen og kan derfor være misvisende.

5.4 Datagrundlag

Den opbyggede model er baseret, som tidligere skrevet, på GPS-data - nærmere bestemt FCD, hvor dette er indhentet fra Connected Cars. I forbindelse med anvendelse af FCD til opbygning af fremkommelighedsmodellen er det nødvendigt at forholde sig til datagrundlagets begrænsninger og generelle anvendelighed. Dette er særligt relevant når dataene anvendes til bestemmelse af vurderings parametre, hvor der udføres antagelser om specifikke og generelle trafikale forhold.

En væsentlig udfordring ved brug af FCD er datagrundlagets penetrationsrate – en problematik, der også fremgår af projektets litteraturstudie (jf. kapitel 2). Tidligere studier har påpeget, at FCD-data kan have en begrænset anvendelighed ved lave penetrationsrater, særligt under 10%, da dette påvirker nøjagtigheden af fysiske parametre såsom kølængder og gennemsnitlige forsinkelser.

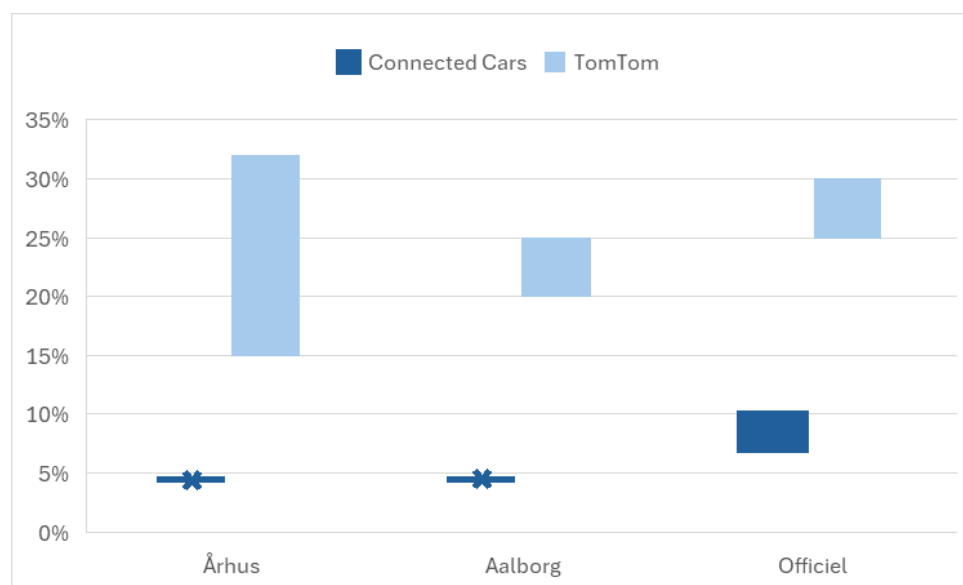
På baggrund af dette blev det undersøgt, hvilken penetrationsrate der forekommer i projektområdet. Ifølge Connected Cars repræsenterer deres landsdækkende database omkring 8–10% af den danske bilpark. Undersøgelse påpegede at penetrationsraten i Aalborg ligger omkring 4%, hvilket er markant lavere end det landsdækkende gennemsnit. Denne afvigelse har betydning for datagrundlagets anvendelighed, især ved udledning af KPI'er, grundet tilførte usikkerheder og lavere præcision med lave penetrationsrater for lave størrelsesordner. Det kan derfor diskuteres hvorvidt dataene er anvendelige i beregning af KPI'er på et detaljeret og operationelt niveau, grundet betydelige usikkerheder hertil. Det skal hertil understreges, at en lav penetrationsrate ikke udelukker dataenes anvendelighed i andre sammenhæng. Ved at aggregere dataene og analysere dem på et mere overordnet niveau kan de stadig bidrage med brugbare indikationer på trafikale forhold og tendenser. Denne tilgang er i overensstemmelse med metoder fra tidligere projekter omtalt i litteraturstudiet (kapitel 2), hvor FCD blev anvendt med penetrationsrater helt ned til 1%.

Litteraturstudiet fra kapitel 2 erfarede at tidligere studier anvendte FCD med markant lavere penetrationsrater sammenlignet med dette projekt. Penetrationsraterne der blev anvendt i disse projekter var på 1%, hvorfor der i disse projekter var samme udfordringer ift. pålideligheden af udledte KPI'er som i dette projekt.

På trods af at de tidligere projekter havde lignende udfordringer med pålideligheden af datagrundlaget, blev det fortsat anvendt til fastsættelse af og vurdering af trafikale forhold som kølængder og forsinkelser. Det blev argumenteret, at selv med lav dækning kunne datagrundlaget

være tilstrækkeligt, særligt i områder med en stor bilpark, hvilket kunne kompensere for den lave penetrationsrate og dermed sikre et vis niveau af repræsentativitet. Hertil skal det påpeges at resultaterne af disse vurderinger blev anvendt i mere overordnede vurderinger, hvor der var fokus på komparative analyser mellem trafikale anlæg. Dette er lignende dette projekt, hvor der er blevet opbygget en model der udfører en komparativ analyse mellem de omfattede trafikale anlæg.

Med en lav penetrationsrate i datagrundlaget kan det argumenteres for, hvorvidt dataene kan fremskaffes gennem øvrige organisationer med større penetrationsrate for at opnå et mere robust datagrundlag. Sammenholdes databasen fra Connected Cars med TomTomMove, forekommer der en markant større angivet penetrationsrate hos TomTom (Jf. kapitel 2) med en penetrationsrate på 25-30%. Dog skal databasen fra Connected Cars ikke undervurderes, idet dataene herfra indsamles gennem monterede anordninger i køretøjerne. Hos TomTomMove er dataene indsamlet fra mange forskellige enheder og der kan derfor forekomme dobbeltregistreringer og lignende. På figur 5.5 fremgår et boksplot over penetrationsraterne målt i forskellige byer for databaserne ved Connected Cars og TomTom. Resultaterne for penetrationsraterne ved TomTom er indsamlet gennem samtalerne med Aalborg og Århus Kommune, hvor de har indsigt fra deres respektive adgang til TomTom Move.(Aalborg Kommune, 2025b; Århus Kommune, 2025)



Figur 5.5. Boksplot over penetrationsrate målinger i Århus og Aalborg for hhv. Connected Cars og TomTom. (TomTom Move, 2024; Connected Cars, 2024)

De forskellige databaser kan konstateres at have forskellige størrelsesordner ift. den reelle bilpark. Hertil er det nødvendigt at forholde sig til den reelle penetrationsrate, da de gennemgået penetrationsrater for Connected Cars og TomTomMove er det landdækkende gennemsnit og kan derfor variere afhængig af den geografiske lokalitet. Som beskrevet gennem projektet er det fastsat at databasen fra Connected Cars, som er anvendt i projektet, har en penetrationsrate på 4,4%. I løbet af den tidligere diskussion har der været fokus på den generelle anvendelighed i praksis, og hvorvidt modellen kan anvendes i andre byer. Hertil er det undersøgt, hvordan databasens penetrationsrate varierer mellem større og mindre byer ift. Aalborg. I tabellen herunder fremgår resultaterne af penetrationsraterne for udvalgte byer.

Tabel 5.1. Penetrationsrate for udvalgte byer i Danmark. (Vejdirektoratet, 2020)

By	Penetrationsrate	Antal lokaliteter	Antal dage	Probes i alt	Probes pr. dag
Aalborg	4,4%	9	315	62.567	199
Århus	4,2%	3	17	10.990	647
Varde	2,2%	2	37	5.695	154

Ud fra tabellen herover fremgår det at der forekommer lidt variation i penetrationsraten mellem byerne. Varde har en lidt lavere penetrationsrate sammenlignet med Århus og Aalborg, hvor Århus har en lavere penetrationsrate end Aalborg. Hertil kan det diskuteres hvorvidt penetrationsraten i Århus er repræsentativ ift. at være mindre en i Aalborg. Der er anvendt færre lokaliteter i Århus til at vurdere penetrationsraten og herved kan en lokalitet med lav penetrationsrate have en væsentlig betydning i gennemsnits beregningen.

I forbindelse med undersøgelse af penetrationsraternes størrelse i de forskellige byer, er det ligeledes relevant at undersøge omfanget af disse. Her henvises til, hvor stor en trafikmængde som penetrationsraten faktisk omfatter. Det er derfor undersøgt og visualiseret i tabel 5.1, hvor mange probes der gennemsnitligt indsamles gennem FCD i hver by, hvor dette er baseret på antal dage på lokaliteterne og deres samlede registrerede antal probes. Hertil ses det at Århus har en væsentlig større mængde probes registeret sammenlignet med Aalborg og Varde. I Århus er der registreret mere end tre gange så mange probes på væsentlig kortere tid. Dette er særligt betydende ift. anvendeligheden af dataene til at vurdere og konkluderer fremkommeligheden for den generelle bilpark i undersøgelsesområdet. Det er også erfaret gennem litteraturstudiet, hvor der er fokus på betydning af lave penetrationsrater og den nødvendige mængde af biler registreret til at kunne anvende dataene til generelle antagelser.

Anvendes modellen i byer større end Aalborg som f.eks. Århus kan det konkluderes at der forekommer et mere robust belæg på vurderingerne, grundet den større mængde trafik

registreret. Dette er dog med antagelsen om at antallet af probes og biler er en til en. Dette kan dog være i særlige tilfælde, da der kan forekomme områder i byerne, hvor penetrationsraten er lavere og dermed er trafikmængden ligeledes reduceret. Der vil derfor stadig kunne forekomme lokaliteter, hvor vurdering af disse områder ift. fremkommeligheden, vil være mindre repræsentative grundet et lavere datagrundlag. Dette er ligeledes gældende for mindre byer, sammenlignet med Aalborg, hvor Varde har en lavere penetrationsrate på 2,2 procent point. Dog er det værd at pointerer det gennemsnitlige antal probes pr. dag, hvor denne er højere end forventeligt. Det forventelige kunne være at eftersom Varde har den halve penetrationsrate ift. Aalborg, så ville trafikmængden være den tilsvarende samme andel. Dog udgør den gennemsnitlige probe registrering i Varde 77,3% af registrerede probes i Aalborg. Det kan derfor diskuteres, at selv ved mindre byer i udkants kommunerne kan FCD fortsat være anvendeligt ved generelle vurderinger af fremkommeligheden ved brug af dette projekts opbyggede model.

Foruden datagrundlaget i form af dets datatype og fordele, samt ulemper heraf, er det ligeledes nødvendigt at forholde sig til platformen anvendt til at fremskaffe dataene. Projektets anvendelse af platformen Mobility Wizard medfører visse begrænsninger, idet dataene udtrækkes på prædefinerede segmenter i overensstemmelse med OSM vejnettet. Samtidig bliver dataene på disse segmenter aggregeret, hvilket udelukker muligheden for at udføre detaljeret og dybdegående analyser på enkeltstående omløb i et signalanlæg.

Mobility Wizards anvendelse af prædefinerede segmenter medfører ligeledes en mangel af data registrering, idet logningsfrekvensen af GPS anordningen varierer under et kørselsforløb. I byer er der generelt en større logningsfrekvens grundet flere ændringer i kørselsmønstret, som medfører nyt data til registrering. Forekommer der ingen betragtelige ændringer kan det forekomme at ét køretøj udelukkende bliver registreret én gang på et segment, hvilket ikke medfører meget data for det enkelte segment.

Konklusion 6

På baggrund af projektets metode opbygning, analyse og diskussion, er der dannet et grundlag til at besvare projektets problemformulering, som er:

Hvordan kan FCD anvendes i en model til udpegning af signalregulerede kryds med fremkommelighedsproblemer?

Gennem projektets metodeopbygning er det forsøgt at udforme en modelopbygning, hvor tidligere erfaringer fra andre studier, er implementeret. Dette havde til formål at oprette en fremkommelighedsmodel, der er mere robust og ekskluderede subjektive holdninger ift. vurderingen af fremkommeligheden. Modellens robusthed er blevet dokumenteret gennem valideringsprocessorer ved besigtigelser og samtaler med Aalborg og Århus Kommune. Bekræftelse på modellens retvisende udpegninger og vurderinger fastholder, at den opstillede metode er anvendelig på tværs af geografiske områder. Dette kan bl.a. skyldes valget i projektet ift. fastsættelse af *free flow* hastigheden, hvor der tages højde for trafikanternes respektive lokale trafikale forhold. Det bliver derfor mere robust, idet 85%-fraktil hastigheden afspejler trafikanternes ønskede hastighed fremfor anvendelse af den generelle planlægningshastighed for vejtypen. Herved formår fremkommelighedsskalaen at bibeholde den relative vurdering mellem de involverede vejsegmenter og signalregulerede kryds.

Gennem projektets analyse var der yderligere fokus på, hvorledes fremkommelighedsmodellen kunne anvendes til vurdering og rangering af signalregulerede kryds. Hertil kunne analysen konkludere, at grundet modellens begrænsninger, forekommer der store usikkerheder på rangering af specifikke signalregulerede kryds. Hertil var det yderligere ikke muligt at identificere specifikke signaltekniske årsager eller fremkommelighedsmæssige problematikker på den enkelte lokalitet, som retfærdiggør rangeringen af de involverede signalregulerede kryds. Dette er ligeledes diskuteret gennem rapportens kapitel 5, hvor det fastholdes at den opbyggede model fortsat har sine begrænsninger på trods af større robusthed sammenlignet med visse tidligere

erfaringer.

Det kan hertil konkluderes at projektets opbyggede fremkommelighedsmodel har sine primære styrker ift. udpegning af korridorer i vejnettet, hvor der forekommer betydelige fremkommelighedsproblemer. Styrken henstilles således til at kunne understøtte bestemte processorer inden for trafik planlægning, samt drift og vedligeholdelse af signalregulerede kryds og arbejde med borgerinteraktioner. FCD kan derfor antages som værende anvendelig i overordnede trafikmodeller, hvor de bidrager til en forståelse af helhedsbilleder af trafikken, fremfor mikroskopiske analyser af specifik adfærd. På trods af datatypens anvendelighed, der if. dette projekt er begrænset til overordnede vurderinger af vejnettet, er det fortsat muligt at fastlægge hvilke signalregulerede kryds der er involveret i fremkommelighedsproblemer.

Herudover er det nødvendigt at tage højde for projektets konklusion omkring anvendeligheden af FCD, idet der i projektet udelukkende er anvendt data fra Connected Cars. Projektet har gennemgående vist at penetrationsraten herfra er på mindre end 5%, hvor andre databaser har større penetrationsrater på bilparken i Danmark. Det vil derfor være nødvendigt at udføre en analyse af projektets fremkommelighedsmodel med enten anvendelse af en større database, eller sammenkobling af flere databaser.

Litteratur

Aalborg Kommune. Samtale, Januar 2025a.

Aalborg Kommune. Samtale, Maj 2025b.

Aarhus Universitet. Hvad er en systematisk litteratursøgning?, 2024. URL <https://library.au.dk/forskere/systematisklitteratursogning>. (Tilgået:04-02-2025).

Be Mobile. Mobility wizard, 2025. URL <https://be-mobile.com/>. (Tilgået:26-05-2025).

Damir Budimir, Niko Jelušić, and Mile Perić. Floating car data technology, 2019. URL https://kjdk-aub.primo.exlibrisgroup.com/discovery/fulldisplay?docid=cdi_proquest_journals_2250579914&context=PC&vid=45KBDK_AUB:AUB&lang=da. (Tilgået:21-01-2025).

Connected Cars. Connected cars, 2024. URL <https://connectedcars.io/>. (Tilgået:21-01-2025).

COWI. Samtale, Januar 2025.

CSS Electronics. Can bus explained, 2025. URL <https://www.csselectronics.com/pages/can-bus-simple-intro-tutorial>. (Tilgået:20-05-2025).

Danmarks statistik. Connected cars, 2024. URL <https://www.statistikbanken.dk/statbank5a/SelectVarVal/saveelections.asp>. (Tilgået:22-01-2025).

Léan Doody, Nicola Walt, Ina Dimireva, and Anders Nørskov. Growing smart cities in denmark, 2016. URL https://gate21.dk/wp-content/uploads/2023/07/Growing-Smart-Cities-in-Denmark_lowres.pdf. (Tilgået:22-01-2025).

US DOT. Work zone performance measurement using probe data, 2017. (Tilgået:11-02-2025).

Keld Dueholm, Mikkel Laurentzius, and Anna B.O. Jensen. *GPS*. Nyt Teknisk Forlag, 2005.

FINDRS. Cork, 2025. URL <https://findrs.net/language/da/shop/cork-by-findrs-2/>. (Tilgået:19-05-2025).

- Quijan Gan, Gabriel Gomes, and Alexandre Bayen. Estimation of performance metrics at signalized intersections using loop detector data and probe travel times, 2017. (Tilgæt:11-02-2025).
- INRIX. Inrix iq, 2024. URL <https://inrix.com/products/iq-location-intelligence-solutions/>. (Tilgæt:27-02-2025).
- Huidan Luo, Mingjun Deng, and Jia Chen. Queue length estimation based on probe vehicle data at signalized intersections, 2023. URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1155/2023/3241207>. (Tilgæt:11-02-2025).
- Piro A. J. D. Meleby, Christopher Winfrey, and Ph.D. Lei Miao. Development of a traffic signal performance ranking online database for the state of tennessee, 2022. (Tilgæt:11-02-2025).
- Niras. Fremtidens byer er smart-cities. men hvad er smart city egentlig?, UÅ. URL <https://www.niras.dk/sektorer/data-digitalisering/fremtidens-byer-er-smart-cities-men-hvad-er-smart-city-egentlig/>. (Tilgæt:22-01-2025).
- Open Street Map. Open street map, 2025. URL <https://www.openstreetmap.org/#map=7/56.188/11.617>. (Tilgæt:13-02-2025).
- Francisco Câmara Pereira, Hugo Costa, and Nuno Martinho Pereira. An off-line map-matching algorithm for incomplete map databases, 2009. URL https://www.academia.edu/1869728/An_off_line_map_matching_algorithm_for_incomplete_map_databases. (Tilgæt:13-02-2025).
- Samuel Y. Rompis, Mecit Cetin, and Filmon Habtemichael. Probe vehicle lane identification for queue length estimation at intersections, 2018. URL <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85017034159&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-KEY%28Probe+vehicle+lane+identification+for+queue+length+estimation+at+intersections%29>. (Tilgæt:18-02-2025).
- Enrique Saldivar-Carranza, Howell Li, Jijo Mathew, Margaret Hunter, James Sturdevant, and Darcy M Bullock. Deriving operational traffic signal performance measures from vehicle trajectory data, 2021. URL <https://trid.trb.org/Results?txtKeywords=Deriving+Operational+Traffic+Signal+Performance+Measures+from+Vehicle+Trajectory+Data#/View/1760070>. (Tilgæt:18-02-2025).

- Michael Knørr Skov. Trængslen tøjles ikke med veje alene, 2024. URL <https://ing.dk/holdning/traengslen-toejles-ikke-med-veje-alene>. (Tilgået:21-01-2025).
- TomTom Move. Data source & quality, 2024. URL <https://support.move.tomtom.com/faq-data-source-quality/>. (Tilgået:21-01-2025).
- Kristian Torp and Harry Lahrman. Metode til beregning af køretider, trængsel og forsinkelser i kryds vha. gps data, 2009. URL <https://vbn.aau.dk/da/publications/metode-til-beregning-af-k%C3%B8retider-tr%C3%A6ngsel-og-forsinkelser-i-kryd>. (Tilgået:19-03-2025).
- Svend Tøfting, Harry Lahrman, Niels Agerholm, Brian Jørgensen, and Lone Varn Johansen. Its platform - development og intelligent traffic, 2014. (Tilgået:19-02-2025).
- Vejdirektoratet. Trafiktællinger planlægning, udførelse og efterbehandling, 2006. URL https://www.vejdirektoratet.dk/sites/default/files/publications/trafiktlinger__planlgning_udfrsel_og_efterbehandling.pdf. (Tilgået:12-03-2025).
- Vejdirektoratet. Viden om ydelser - mastra, 2020. URL <https://www.vejdirektoratet.dk/side/viden-om-ydelser-mastra>. (Tilgået:17-03-2025).
- Vejdirektoratet. Kapacitet og serviceniveau, 2024a. URL <https://vejregler.dk/h/7e0fba84-06dd-483b-898a-c7b3e3affaa1/d9472c612cce4bcfb37f197d0bd39633?showExact=true>. (Tilgået:17-03-2025).
- Vejdirektoratet. Vejkryds i byer, 2024b. URL <https://vejregler.dk/h/7e0fba84-06dd-483b-898a-c7b3e3affaa1/0d38141947ab42cf9d2e862d092f9fca?showExact=true#page=20&dest=XYZ,85,440,0>. (Tilgået:14-02-2025).
- Vejdirektoratet. Trafikkens udvikling i tal, 2024c. URL <https://www.vejdirektoratet.dk/side/trafikkens-udvikling-i-tal>. (Tilgået:17-03-2025).
- vejdirektoratet. Grøn mobilitetsmodel, 2025. URL <https://www.vejdirektoratet.dk/segment/groen-mobilitetsmodel/om-modellen>. (Tilgået:02-06-2025).
- Jonathan M. Waddell, Stephen M. Remias, Jenna N. Kirsch, and Stanley E. Young. Scalable and actionable performance measures for traffic signal systems using probe vehicle trajectory data, 2020. URL <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0361198120941847?icid=int.sj-abstract.similar-articles.5>. (Tilgået:14-02-2025).

Gregor Wunsch, Frank Bölling, Andreas von Dobschütz, and Peter Mieth. Bavarian road administration's use of probe data for large-scale traffic signal evaluation support, 2019. URL <https://journals.sagepub.com/doi/epdf/10.3141/2487-08>. (Tilgæt:11-02-2025).

xmwiki. Utm coordinate system, 2017. URL https://www.xmwiki.com/wiki/UTM_Coordinate_System. (Tilgæt:22-01-2025).

Yan Zhao, Jianfeng Zheng, Wai Wong, Xingmin Wong, Yuan Meng, and Henry X Liu. Various methods for queue length and traffic volume estimation using probe vehicle trajectories, 2019. URL <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85070520945&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-KEY%28Various+methods+for+queue+length+and+traffic+volume+estimation+using+probe+vehicle+trajectories%29&sessionSearchId=d5458e423b1754503bf7a7e751ed2ec0&relpos=1>. (Tilgæt:18-02-2025).

Århus Kommune. Samtale, Maj 2025.

Litteraturstudie A

Projektets litteraturstudie har til formål at indsamle relevant litteratur omkring emnet Floating Car Data. Kilderne der indsamles heraf bliver anvendt som vidensgrundlag for udarbejdelsen af litteraturstudiet i kapitel 2. Det overordnede formål for litteraturstudiet er, at undersøge erfaringer fra andre relevante projekter ift. dette projekts problemstilling. Herudfra vil der være fokus på kildernes metodevalg og undersøge, hvorledes succeser og problematikker er håndteret og kan inddrages i dette projekt.

A.1 Systematisk litteratursøgning

Ved brug af systematisk litteratursøgning er der følgende flere trin til processen. Rækkefølgen for litteraturstudiet er at starte bredt, hvor der efter hvert trin bliver søgning mere og mere afgrænset. Processen er for kun at have relevant litteratur tilbage. (Aarhus Universitet, 2024)

1. Projekt afgrænsning
2. Finde relevante søgeord ud fra projekt emne
3. Søge i udvalte relevante databaser med de fundne søgeord
4. Overordnet gennemgang af de fundne resultater for at frasortere ikke relevante resultater på baggrund af titler, keywords og abstracts.
5. Grundig gennemlæsning af det udvalte relevante litteratur.

I dette projekt vil der undersøges muligheden for brugen af Floating Car Data til at undersøge trafikale forhold i byområder. For at have et konkret område at arbejde med kommer litteraturstudiet til at have fokus på:

Hvordan kan FCD anvendes i en model til udpegning af signalregulerede kryds med fremkommelighedsproblemer?

For at kunne finde litteratur der er relevant er der udvalte specifikke databaser. Der er valgt

databaser der har et videnskabeligt, ingeniør og trafikalt fokus.

- Scopus
- TRID
- Engineering Village

Som en del af den strukturerede søgning, bliver der opstillet enkelte søgeord, der sammensættes ved brug af booleske operatorer. Dette gør at søgningen på litteratur bliver fokuseret mod projektets problem afgrænsning og fastholder relevante kilder. Søgeordene opdeles i tre kategorier ved brug af bloksøgning; variabel, tilføjelse og lokalitet. Søgningen er opbygget ved der er en variabel der undersøges og det gøres for en specifik lokation, og til sidst tilføjes hvilken gruppe der gerne vil undersøges for. Ved brug af den opstilling sikres det at litteraturen der findes har relevans for projektets problemformulering. Herved undersøges det, hvordan FCD er undersøgt i tidligere projekter og udnytte indsamlede erfaringer heraf til dette projekt. I Tabel A.1 fremgår de fastsatte søgeord. (Aarhus Universitet, 2024)

Tabel A.1. Bloksøgninger opbygning

Variabel	Lokalitet			Tilføjelse
Søgning 1				
Speed OR Incident	AND	Intersection	AND	Probe OR "Probe vehicle"
Søgning 2				
"Level of Service"OR LOS OR Incident	AND	Intersection	AND	Probe OR "Probe vehicle"
Søgning 3				
Validation OR Incident	AND	Intersection	AND	Probe OR "Probe vehicle"

På baggrund af bloksøgningen i de udvalgte databaser er der fundet frem til litteratur indenfor projektets overordnede emne om FCD. Mængden af resultater varierer fra den enkelte database, hvor dette fremgår af Tabel A.2 hvor mange resultater hver databaser har. Litteraturen som søgningen resulterede i, skal yderligere igennem en filtrering. Dette skyldes eventuelle dubletter, idet kilderne kan foreligge på alle databaser og dermed fremgå flere gange.

Tabel A.2. Antal af resultater fra de forskellige databaser.

Database	Resultater
Scopus	167
TRID	52
Engineering Village	286

Der er fundet 505 resultater fra tre databaser med de nævnte søgeord i tabel A.1. Ud af 505 resultater var der 173 dubletter, hvilket reducerer mængden af kilder fra de tre databaser til 332. Disse kilder er efterfølgende blevet filtreret manuelt ved gennemlæsning af abstract og titel på kilden. Grundet nogle af søgeordene, var det muligt at filtrere kilderne fra pga. deres irrelevans til et trafikfagligt område. Ordet der forventes at have haft en særlig betydning er *Probe*, som har betydning indenfor biologi, hvorved der var mange søgeresultater indenfor dette fagområde. Denne filtrering har reduceret mængden af kilder fra 505 til 20 brugbare kilder, som er efterfølgende gennemlæst af gruppen. Af disse kilder er der udvalgt de bedste til at tage med i litteraturstudiet i kapitel 2. Ud fra gennemlæsningen er antallet af anvendte kilder i litteraturstudiet reduceret til 8, hvor dette er vurderet som de bedste kilder til undersøgelsen. Kildernes titel er listet herunder.

1. *Bavarian Road Administration's Use of Probe Data for Large-Scale Traffic Signal Evaluation Support*
2. *Development of a Traffic Signal Performance Ranking Online Database for the State of Tennessee*
3. *Queue Length Estimation Based on Probe Vehicle Data at Signalized Intersections*
4. *Estimation of Performance Metrics at Signalized Intersections Using Loop Detector Data and Probe Travel Times*
5. *Deriving Operational Traffic Signal Performance Measures from Vehicle Trajectory Data*
6. *Probe vehicle lane identification for queue length estimation at intersections*
7. *Various methods for queue length and traffic volume estimation using probe vehicle trajectories*
8. *Link travel time estimation based on large-scale low-frequency floating car data*

På grund af den begrænset mængde brugbare kilder fra den struktureret litteratursøgning, er det valgt at udvide kildesøgningen med *snowballing*. Det betyder at de fundne kilder fra den systematiske litteratursøgning bliver anvendt ift. deres referencekilder. Formålet af *snowballing* til kapitel 2 er at udvide erfarings/videns indsamlingen indenfor FCD og øge robustheden i emnerne i kapitel 2. Kilderne som snowballing har bidraget med er listet herunder, hvor udvælgelsen er sket på en subjektiv vurdering fra gruppemedlemmerne. Den subjektive vurdering er sket ved kig på kildelister og vurdere, hvilke titler der med stor sandsynlighed er relevant for dette projekts problemstilling. Kilder markeret med "*" er kilder der er fundet i litteratur søgning, men bliver brugt i andre kapitler.

1. *Scalable And Actionable Performance Measures for Traffic Signal Systems using Probe Vehicle Trajectory Data*
2. **ITS Platform - development of intelligent traffic*
3. *Metode til beregning af køretider, trængsel og forsinkelser i kryds vha. GPS Data*

Metoderne anvendt fra den systematiske litteratursøgning og *snowballing* har primært medført udlandserfaringer. Årsagerne hertil kan bl.a. være at søgeordene er ddefineret på engelsk og databaserne anvendes på et internationalt niveau. Derfor er litteratursøgningen suppleret med en yderligere søgning, hvor der er fokuseret på dansk indsamlet erfaringer. Til indsamling af indlandserfaringer er der anvendt databasen Primo med *Research Assistant*. Hertil er der anvendt søgeordene angivet i Tabel A.3.

Tabel A.3. Litteratursøgning for indlandserfaringer

Database	Søgeord
Primo Research Assistant	(Floating Car Data Denmark)
	OR (FCD applications in urban planning)
	OR (real-time traffic data Denmark)
	OR (Floating Car Data Danmark)
	OR (FCD anvendelse i Danmark)
	OR (probe køretøjer i dansk trafik)
	OR (dataindsamling med FCD)
	OR (mobilitetsdata fra probe køretøjer)
	OR (jeg vil gerne have en kilde der omhandler Floating Car Data eller FCD eller probe køretøjer i danmark)

GPS B

Global Positioning System (GPS), er et verdensomspændende system til positionering. Systemet bygger på 24 satellitter der køre i 6 baner omkring jorden, så der er 4 satellitter i hver bane. GPS er bygget og ejet af det amerikanske forsvar. (Dueholm et al., 2005)

For at GPS kan kortlægge et ukendt punkt gør systemet brug af tre kendte punkter og tre kendte afstande, som vist på figur B.1.

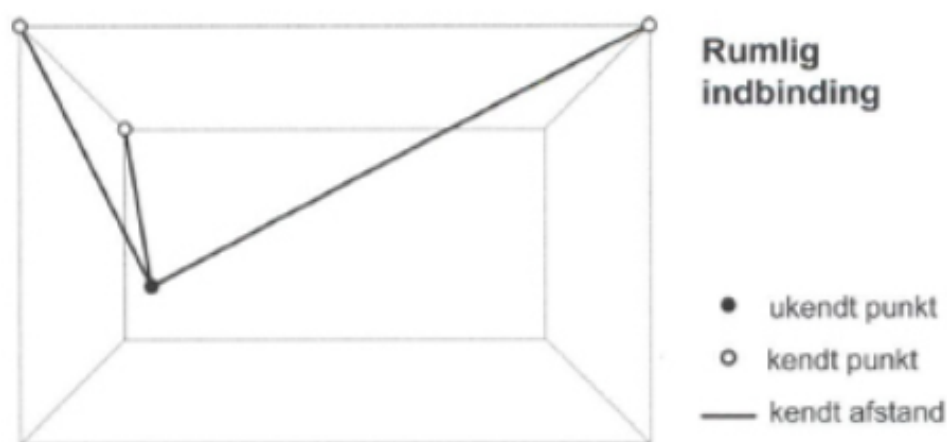
For at finde det ukendte punkt i figur B.1 kan formel B.1 bruges.

$$s = c \cdot t \quad (\text{B.1})$$

Hvor:

s	Afstanden
c	Hastigheden af signalet ($3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$)
t	Tiden, som signalet er undervejs

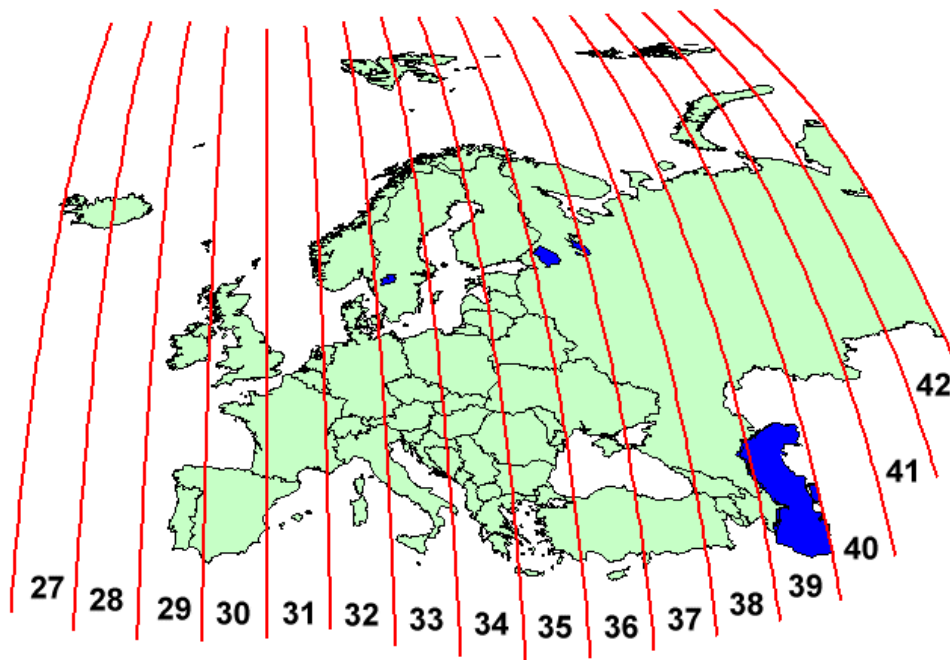
For at kunne bruge det GPS koordinat, der er fundet på et kort, skal der bruges et datum.



Figur B.1. Princippet i rumlig indbinding, hvor afstande til tre kendte punkter fastlægger koordinaterne til et punkt. (Dueholm et al., 2005)

Et datum består af en referenceellipsoide samt ellipsoidens placering i forhold til jordens tyngdepunkt. Det datum der bliver brugt er World Geodetic System 1984(WGS84). Når et datum er fastlagt, kan ethvert punkt på jordens overflade beskrives med geografiske koordinater som en længdegrad og breddegrad samt en højde i forhold til referenceellipsoiden. (Dueholm et al., 2005)

Når det rigtige datum er valgt skal der bruges en kortprojektion af GPS punkterne og da jordens overfalde er dobbelkrum, kan den ikke umiddelbart fremstilles grafisk på et plant landkort. Der findes en række forskellige kortprojektioner, men til landkort bruges der typisk Universal Transverse Mercator(UTM). For at få de mindste fortegninger ved brug af UTM er den opdelt i 60 zoner, som hver har en størrelse på seks længdegrader. Af figur B.2 kan det ses fordeling af UTM zoner for Europa. Man kan se at Danmark er beliggende i Zone 32 og 33.



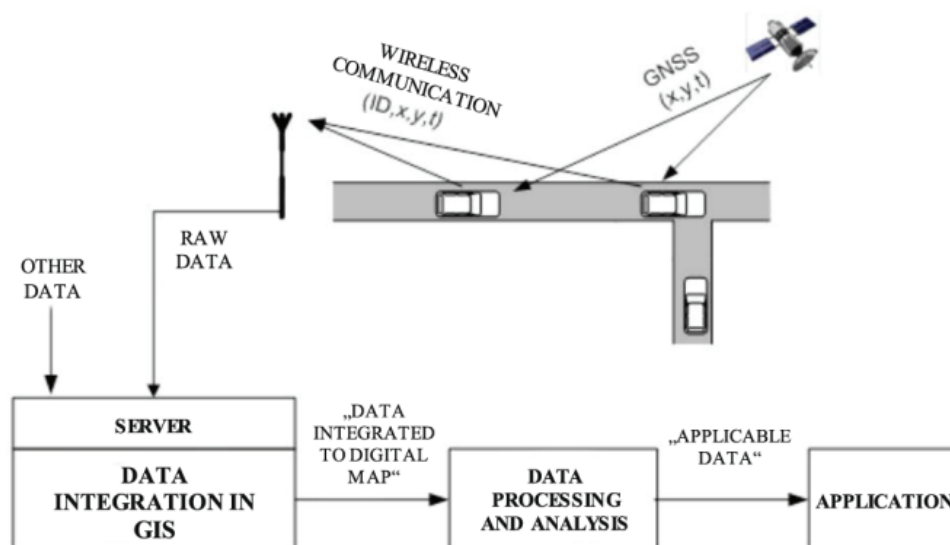
Figur B.2. UTM zoner for Europe. (xmswiki, 2017)

Der kan forekomme usikkerhed ved brug af GPS, der vil være en spredning på positionsbestemmelser af størrelseorden 0,3-3 m. En fejlkilde kan være det ur der sidder i satellitten, en fejl på 10^{-9} sekund medføre en forskydning på 0,3 m.

Floating Car Data



Når der bruges Floating Car Data (FCD) gøres der brug af probe køretøjer, som er et køretøj der er udstyret med en GPS sender, som er koblet sammen med Controller Area Network(can-bus), så der kan ses data på alt fra brændstof forbrug til antal passagerer i køretøjet.(CSS Electronics, 2025) Probe køretøjer har ofte været taxier, da de køretøjer har været udstyret med en GPS sender, men normale køretøjer er begyndt at være en del af bestanden af probe køretøjer. Systemet bag et probe køretøj fremgår af figur C.1, hvor der ses hvordan køretøj afgivet sin placering i form af GPS koordinater og tidspunkt. Det data bliver så overført til en server, hvor det alle de data punket det enkel køretøj har givet på en tur bliver aggregeret så det danner en tur for det enkel køretøj. (Budimir et al., 2019)



Figur C.1. Probe køretøj data indsamlings system. (Budimir et al., 2019)

En vigtig parameter i brugen af FCD er hyppigheden der bliver overført data til serverne. Ved brug af FCD data der bliver logget hver 30 sekund eller hyppigere er det vist ud fra studier at der kan dannes et billede af det trafik flow der forekommer. Når der bruge probe køretøjer til at vurdere trafik flow i byområder, viser tidligere studier, at der mindst skal være mellem 3-10 % dækning af bilparken på de kørte veje.(Budimir et al., 2019)

I dette projekt vil der bliver gjort brug af FCD data fra virksomheden Connected Cars. Connected Cars har et samarbejde med Semler gruppen, som er importør af biler, de importere primært biler fra Volkswagen Group. Connected Cars har installeret deres hardware i 30+ bilmærker på tværs af 150+ modeller. Hvilket giver dem over 300.000 biler der er koblet op på deres system. Connected Cars gør brug af to metoder til at indhente data fra biler, nyere biler er installeret med en OEM API, der indbygget fra fabrikken. Det er biler fra Semler gruppen der har indbygget det fra fabrikken. Ved en ældre bil helt ned til en bil fra 2010 kan der indsættes et retrofitted modul der kan sende dataene, se figur C.2.



Figur C.2. Conneted Cars forhånds installeret hardware(OEM API) eller retrofit hardware. (Connected Cars, 2024)

Der bliver indsamlet meget data fra de biler der er udstyret med hardware fra Connected Cars, et udkast af det data er:

- GPS lokation, hvert 1-30 sek
- Hastighed
- Accelerationer
- Drejninger
- brændstofforbrug

(Connected Cars, 2024)

Map matching D

Ved brug af FCD, så forekommer der store datamængder i form af GPS punkter, som skal bearbejdes. Disse punkter indeholder ofte usikkerheder ift. deres eksakte placering geografisk. For at kunne anvende dataene i trafikarbejde er det nødvendigt at kunne placere dataene på de korrekte vejstrækninger. Hertil er Map matching den metode der bliver brugt til at samle GPS punkter til at passe på et specifikt vej netværk. (Pereira et al., 2009) For at kunne bruge FCD skal der laves en map matching af dataene så det kommer til et vej netværk, hvor der i dette projekt anvendes Open Street Map (OSM) som vej netværk. OSM er et open source vejnet med information omkring de infrastruktur elementer der er på vejnettet f. eks. Signalreguleret kryds. (Open Street Map, 2025)

Ved at gøre brug af map matching kan GPS punkterne fra FCD ændres fra at være punktskyer til at ligge som linjer der følger OSM. Den simple form for map matching er at rykke GPS punktet ind til nærmeste vej. Den metode kan dog give fejl, da der ikke tages højde for det forrige punkt for køretøjet. Hvis der bruges map matching og et id nummer for køretøjet, kan der sikres at alle køretøjer bliver map matchet rigtigt. Ved brugen af id nummer giver det mulighed for at lave en rute for hvert enkel køretøj. (Pereira et al., 2009)

Besigtigelse E

I dette kapitel fremgår dokumentation i form af billeder, der er indhentet ved lokalitetsbesigtigelse under projektet. Formålet er at få dokumenteret det trafikale billede på udvalgte lokaliteter, hvor disse anvendes til at korrigere projektets model beskrevet i Afsnit 3.3. Da besigtigelsen er kun en dag kan der være store afvigelser i dag til dag variation af det trafikale billede, for at imødekomme dette bliver besigtigelsen også vurderet sammen med den kendskab der er til det trafikale billede i Aalborg.

Nyhavnsgade / Karolinelundsvej

Der er udført en besigtigelse i tidsrummet 07:30-08:00 og 15:00-15:45 den 26-03-2025.

Ved besigtigelsen for morgenspidstimen, blev der observeret, at der i de fleste tilfælde var en god trafikafvikling. Dog med perioder hvor der enten ikke var rømning af alle spor i hvert omløb. Det største problem var mellem krydset Nyhavnsgade/Karolinelundsvej og krydset Karolinelundsvej/Østerbro, hvor der kun er 65 meter mellem de to kryds og det skabte problemer, som også kan ses på figur E.3 og E.4



Figur E.1. Nyhavnsgade øst, 07:30-08:00.



Figur E.2. Østerbro vest, 07:30-08:00.



Figur E.3. Karolinelundsvej syd, 07:30-08:00.



Figur E.4. Karolinelundsvej nord, 07:30-08:00.

Ved besigtigelse i eftermiddagsspidsstimen, blev der observeret at der var en dårligere end i morgenspidstimen trafik afvikling. Begge retningen Nyhavns-gade er med dårlig trafik afvikling. Det er især omkring krydset mest imod vest, se figur E.6. I krydset ved Karolinelundsvej er der også observeret kortvarige kødannelser.



Figur E.5. Nyhavns-gade øst, 15:30-15:45.



Figur E.6. Nyhavns-gade vest, 15:30-15:45.



Figur E.7. Nyhavnsgade vest, 15:30-15:45.



Figur E.8. Karolinelundsvej nord, 15:30-15:45.

Hadsundvej/ Humlebakken

Der er udført en besigtigelse i tidsrummet 07:30-08:00 og 15:00-15:45 den 31-03-2025.

Ved besigtigelsen morgenspidstimen er der observeret at der at der mellem de to kryds var store fremkommelighedsproblemer, så retningen Hadsundvej har problemer på alle fire indkørende retninger til krydsene. De store problemer ved Hadsundvej var grundet det store antal cykel der kører i krydsene, se figur E.9. Der er også blevet observeret af der dannes en lang kø på humlebakken øst, som vist på figur E.11.



Figur E.9. Hadsundvej syd, 07:30-08:00.



Figur E.10. Hadsundvej syd, 07:30-08:00.



Figur E.11. Humlebakken øst, 07:30-08:00.



Figur E.12. Filstedvej øst, 07:30-08:00.

Ved besigtigelsen om eftermiddag, blev der observeret nogen af de samme trafikale tendenser, som om morgen. Det sted med størst fremkommenligheds problemer er mellem de to kryds i den sydlige retningen, se figur E.13 & E.14. Et af de steder hvor problemet ikke har så stort længere var på Humlebakken øst, se figur E.15.



Figur E.13. Hadsundvej syd, 15:00-15:45.



Figur E.14. Hadsundvej syd, 15:00-15:45.



Figur E.15. Humlebakken øst, 15:00-15:45.



Figur E.16. Hadsundvej Syd, 15:00-15:45.

Hobrovej / Stationsmestervej

Der er udført en besigtigelse i tidsrummet 15:00-15:45 den 1-04-2025.

I besigtigelsen, blev der observeret at der var mange biler, dog var der fuld rømning af alle biler i hver omløb på Hobrovej, som vist på figur E.17 & E.19. Sidevejen Stationsmester vej blev observeret til at have lidt problemer med fremkommenligheden, da der var flere biler der skulle vente et eller to omløb før de kunne passere, det ses af figur E.18. Sidevejen er ikke med i GIS-modellen da der ikke er nok trafik på vejen til den er medtaget. Overordnet havde de to kryds ikke nogen fremkommigheds problemer i den observeret periode.



Figur E.17. Hobrovej Nord, 15:00-15:45.



Figur E.18. Stationsmestervej, 15:00-15:45.



Figur E.19. Hobrovej Nord, 15:00-15:45.



Figur E.20. Hobrovej Syd, 15:00-15:45.

Fremkommenlighedsskala



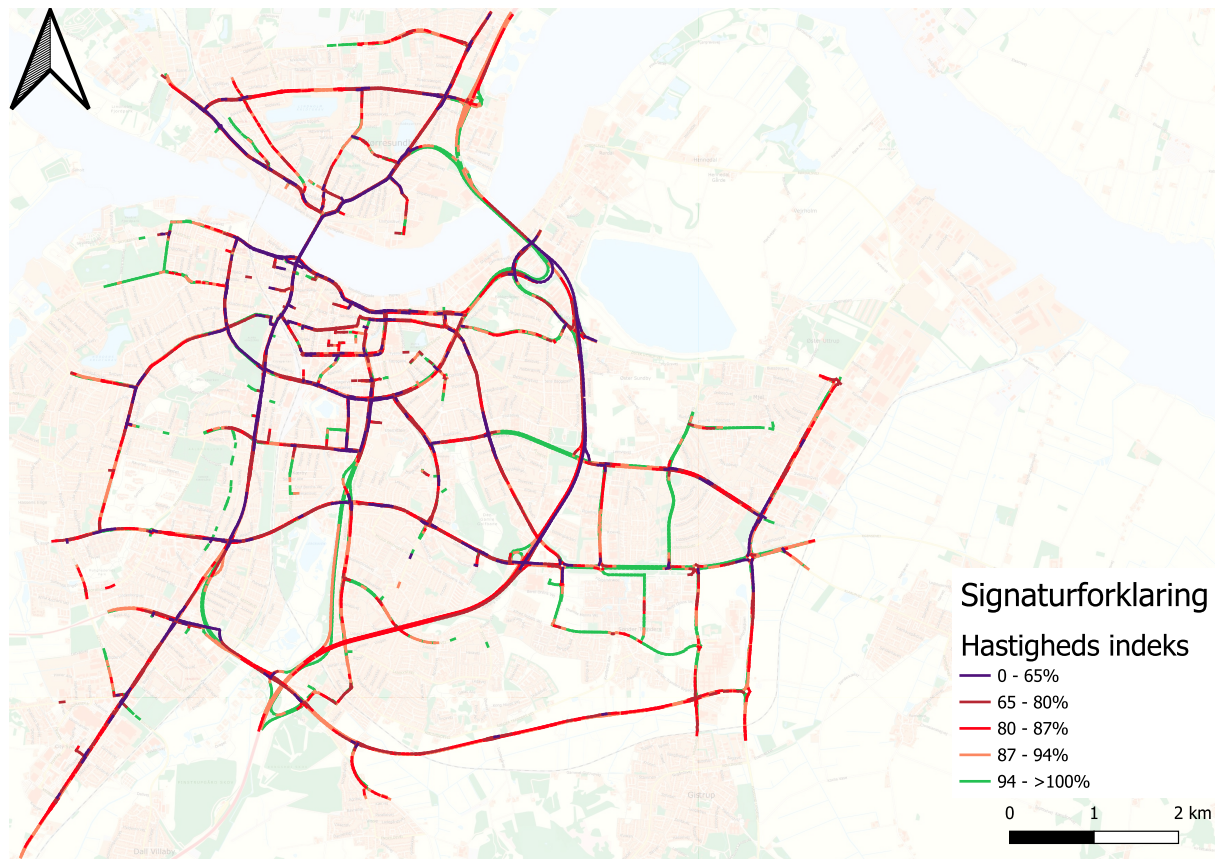
Efter den første iteration, passer det trafikale billede af Aalborg ikke helt. Det skyldes at modellen udpeger strækninger med kendte problemer og strækninger uden problemer. Udpegningen er yderligere inkonsistent med de observeret fremkommeligheds problemer, der er beskrevet i bilag E om besigtigelser.

2. Iteration

For at få en fordeling der afspejler det trafikale billede i Aalborg, vælges det, at lave et niveau mere, så skalaen har fem niveauer. De fem niveauer er visualiseret ved tabel F.1. Skalaen er fastsat ud fra, at alle niveauer indeholder samme antal segmenter, så 1456 segmenter i hver kategori. På baggrund af denne skala afspejles hastighedsindekset som det fremgår af figur F.1.

Tabel F.1. Fremkommenlighedsskalaen udelt på 5 niveauer

Rank	Procent	Farve
1	0 % - 65 %	
2	65 % - 80 %	
3	80 % - 87 %	
4	87 % - 94 %	
5	94 % - >100 %	



Figur F.1. Projekt området med farveskala i 5 niveauer

På baggrund af figur F.1 vurderes det at der forekommer en større differentiering mellem segmenterne i modellen. Det skal hertil pointeres at inddelingen af segmenterne på fremkommenlighedsskalaen fortsat er misvisende, idet segmenternes klassificering ikke er afhængigt af hastighedsforskellene mellem segmenterne. Herudover er procentintervallerne meget følsomme overfor små hastighedsforskelle til free flow hastigheden. Dette vurderes, idet segmenter, hvor der forekommer en hastighedsreduktion på 13% medtages som et problem. Sammenlignes dette til et segment, hvor free flow hastigheden er 50 km/t, så er der angiveligt et problem, hvis køretøjerne kører med en hastighed på 43,5 km/t. Det er derfor nødvendigt at udføre en yderligere iteration af modellen.

3. Iteration

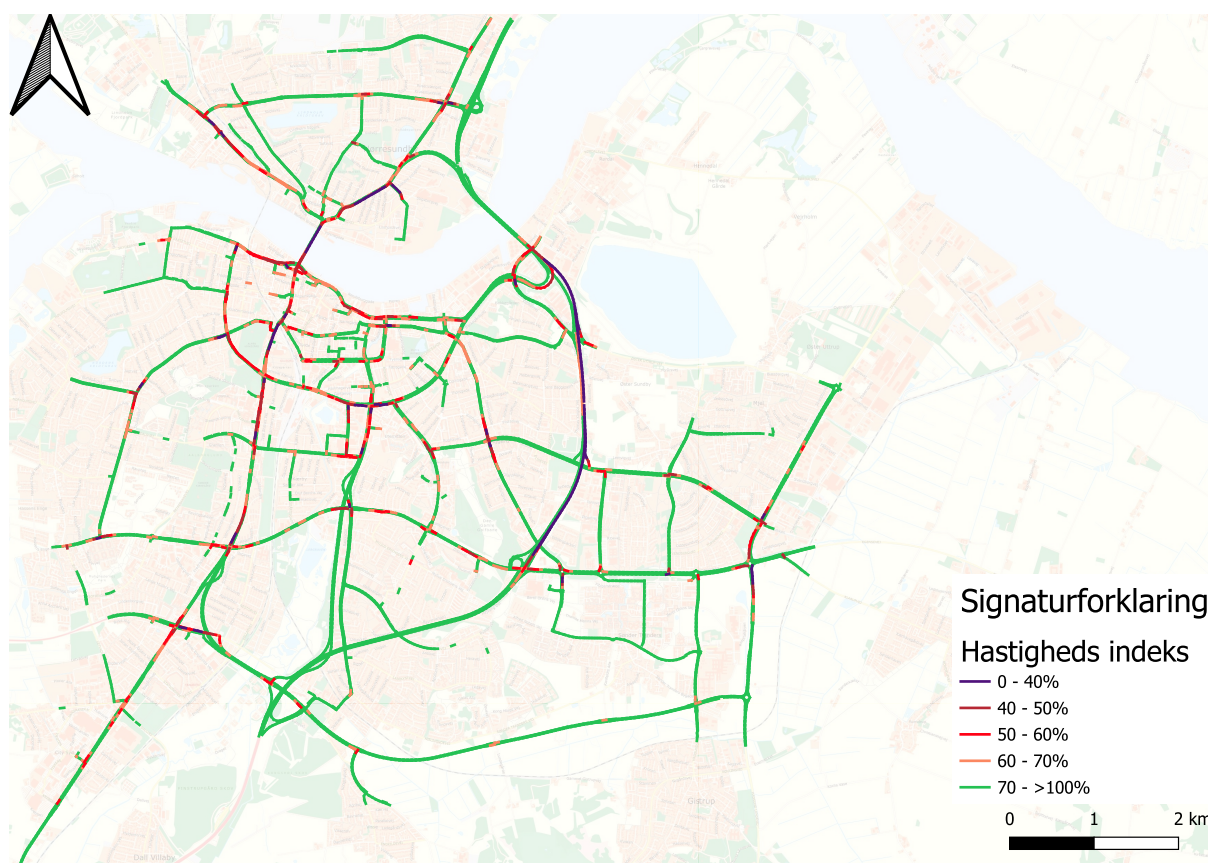
I den tredje iteration er det forsøgt at sammensætte fremkommenlighedsskalaens procentintervaller ift. et mere repræsentativt billede. I den eksisterende model bliver størstedelen af vejnettet udpeget som korridorer med signifikante fremkommenlighedsproblemer. Det er ikke repræsentativt ift. udvælgelse af korridorer med størst fremkommenlighedsproblemer i. Et mere repræsen-

tativt billede ville være udpegning af færre segmenter i rank et, to og tre, hvortil rank 5 ville forventeligt have en større andel af segmenterne i projektområdet. Hertil er det valgt at ændre i procentintervallerne for fremkommelighedsskalaen, hvor disse fremgår af tabel F.2.

Tabel F.2. Fremkommenlighedsskalaen udelt på 5 niveauer

Rank	Procent	Farve
1	0 % - 40 %	Blå
2	40 % - 50 %	Grøn
3	50 % - 60 %	Rød
4	60 % - 70 %	Gul
5	70 % - >100 %	Lilla

På baggrund af den opdateret fremkommelighedsskala i tabel F.2 afspejles hastighedsindekset i projektområdet som vist på figur F.2. Baseret på figuren kan det konkluderes at der forekommer en større spredning af segmenterne på de fem niveauer.



Figur F.2. Projekt området med farveskala i 5 niveauer

Ved sammenligning af den nye opdaterede model med besigtigelserne fra bilag E, vurderes det at modellen afspejler virkeligheden væsentligt mere. Det vurderes samtidig at modellen har enkelte lokationer, hvor modellen fortsat er misvisende, hvorfor der udføres en fjerde iteration. Denne iteration fremgår af kapitel 4.5.

Statistiske analyser



I dette bilag fremgår resultaterne fra udførte statistiske analyser i projektet. Disse analyser omfatter z-test og Chi-2-test, hvor disse er henvist i hovedrapporten under kapitel 4.

```
. ztest pct_0_20==0.15, sd(0.08)
```

One-sample z test

Variable	Obs	Mean	Std. err.	Std. dev.	[95% conf. interval]	
pct_0_20	15	.1716426	.0206559	.08	.1311577	.2121274

```
mean = mean(pct_0_20) z = 1.0478
H0: mean = .15
```

Ha: mean < .15	Ha: mean != .15	Ha: mean > .15
Pr(Z < z) = 0.8526	Pr(Z > z) = 0.2947	Pr(Z > z) = 0.1474

```
. ztest pct_20_40==0.40, sd(0.08)
```

One-sample z test

Variable	Obs	Mean	Std. err.	Std. dev.	[95% conf. interval]	
pct_2~40	15	.4405829	.0206559	.08	.400098	.4810677

```
mean = mean(pct_20_40) z = 1.9647
H0: mean = .4
```

Ha: mean < .4	Ha: mean != .4	Ha: mean > .4
Pr(Z < z) = 0.9753	Pr(Z > z) = 0.0494	Pr(Z > z) = 0.0247

```
. ztest pct_40_50==0.45, sd(0.14)
```

One-sample z test

Variable	Obs	Mean	Std. err.	Std. dev.	[95% conf. interval]	
pct_4~50	15	.3877746	.0361478	.14	.3169261	.458623

```
mean = mean(pct_40_50) z = -1.7214
H0: mean = .45
```

Ha: mean < .45	Ha: mean != .45	Ha: mean > .45
Pr(Z < z) = 0.0426	Pr(Z > z) = 0.0852	Pr(Z > z) = 0.9574

Figur G.1. Resultater for z-test

```
. tabulate length_cat Rank [freq=antal_segmenter], chi2
```

length_cat	Rank					Total
	1	2	3	4	5	
0_20	22	75	170	302	671	1,240
20_40	108	202	357	554	2,201	3,422
40_50	155	123	191	397	2,926	3,792
Total	285	400	718	1,253	5,798	8,454

```
Pearson chi2(8) = 372.4958 Pr = 0.000
```

Figur G.2. Resultater for Chi2 test

