Sammenligning af VISSIM og SUMO

10. Semester Kandidatspeciale

Veje og trafik

Byggeri og Anlæg

Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

10. semester v. Det Ingeniør- og Naturvidenskabelige Fakultet

Institut for Byggeri, By og Miljø
Thomas Manns Vej 23
9220 Aalborg Øst
https://www.build.aau.dk

Titel:

Sammenligning af VISSIM og SUMO

Projekt:

Kandidatspeciale

Projektperiode:

Februar 2023 - Juni 2023

Forfatter:

Christoffer Christian Rønde Vestergaard

Vejledere:

Harry Lahrmann
Rasmus Øhlenschlæger

Sidetal: 60
Antal bilag: 4
Afsluttet: 09-06-2023

Synopsis:

Formålet med dette projekt, er at sammenligne de to mikrosimuleringsprogrammer VISSIM og SUMO i forhold til hvor realistisk at de kan modellere virkelighedens trafik. I Danmark er der tradition for at anvende VISSIM, når der skal foretages mikroskopiske analyser af vejnettet. VISSIM er dog både dyrt, og resultaterne derfra er ikke altid pålidelige. SUMO er, ligesom VISSIM, et program, der kan foretage mikroskopiske analyser af vejnet. I forhold til VISSIM, er SUMO både frit tilgængeligt at bruge, og modellerer trafikken på en anden måde. I dette projekt er der til at starte med blevet foretaget en krydstælling for krydset Kong Christians Alle/Hasserisgade i Aalborg. Ved denne krydstælling er der samtidig blevet indsamlet data omhandlende de maksimale kølængder, der forekommer for hvert 5. minut i tælleperioden. Disse kølængder benyttes som sammenligningsgrundlag til at vurdere, hvor realistisk de to mikrosimuleringsprogrammer kan modellere virkeligheden.

Abstract

The purpose of this project is to compare the two microsimulation programs VISSIM and SUMO in relation to how realistically they can model real traffic. In Denmark, there is a tradition of using VISSIM when microscopic analyzes of the road network are to be carried out. However, VISSIM is both expensive and the results from it are not always reliable.

SUMO is, like VISSIM, a program that can carry out microscopic analyzes of the road network. Compared to VISSIM, SUMO is both free to use and models the traffic in a different way. In this project, to begin with, a cross count has been carried out for the intersection Kong Christians Alle/Hasserisgade in Aalborg. In this cross-counting, data has also been collected regarding the maximum queue lengths that occur every 5 minutes during the counting period. These queue lengths are used as a basis for comparison to assess how realistically the two microsimulation programs can model reality.

Forord

Dette projekt er udarbejdet af en kandidatstuderende på 10. semester af kandidatuddannelsen Veje og Trafik på Aalborg Universitet. Projektet er udarbejdet i perioden 01/02/2023 - 09/06/2023. Projektet med titlen *Sammenligning af VISSIM og SUMO*, er et sammenligningsstudie af de to trafikale mikrosimuleringsprogrammer VISSIM og SUMO.

Der rettes en stor tak til projektets to vejledere, Harry Lahrmann og Rasmus Øhlenslæger, for kyndig vejledning, samt for hjælp til opsætning af simuleringsmodeller. Derudover rettes der stor tak til firmaet PTV GmbH, for udlevering af licens til programmet VISSIM, samt til Aalborg Kommune, for udlevering af signalplan for projektlokationen.

Læsevejledning

I løbet af rapporten, vil henvisninger til kapitler bestå af tal, og henvisninger til bilag vil bestå af bogstaver. Henvisninger til figurer, tabeller og ligninger i projektet, foregår ved tal med fortløbende nummer for kapitel. Ligningsnumre er omgivet af parentes.

Kilder benyttet i denne rapport, er angivet bagerst i rapporten. Til kildehenvisninger, er Harvard-metoden blevet benyttet.

Til supplering af rapporten, er der vedlagt fire bilag, med tiltlerne: *Signalplan, Trafiktælling, Kalibrering og Antal repitationer af simuleringsmodeller.*

Indholdsfortegnelse

Kapitel 1 Indledning **1**
1.1 Mikrosimulering . . . 3
1.1.1 Tilfældighed . . . 4
1.1.2 Køreadfærd . . . 4
1.2 VISSIM . . . 4
1.3 SUMO . . . 10
1.4 Problemformulering . . . 12
1.5 Projektlokation . . . 13
1.6 Projektafgrænsning . . . 15

Kapitel 2 Litteraturstudie **16**
2.1 Præsentation af inkluderede kilder fra litteraturstudie . . . 16
2.1.1 Optimization of VISSIM Driver Behavior Parameter Values Using Genetic Algorithm . . . 16
2.1.2 Analysis of Motorized Vehicles Performance at Signalized Intersections Based on Micro Simulation . . . 16
2.1.3 A Review of Car-Following Models and Modeling Tools for Human and Autonomous-Ready Driving Behaviors in Micro-Simulation . . . 17
2.1.4 Research on optimization and evaluation method of the car following model based on SUMO application test scenario . . . 18
2.1.5 Evaluation and further development of car following models in microscopic traffic simulation . . . 18
2.1.6 Vejregel - Anvendelse Af Mikrosimuleringsmodeller . . . 18
2.2 Konklusion af litteraturstudie . . . 19

Kapitel 3 Metode **20**
3.1 Litteraturstudie . . . 20
3.2 Dataindsamling . . . 21
3.2.1 Signalplan . . . 21
3.2.2 Besigtigelse af kryds . . . 22
3.2.3 Krydstælling . . . 23
3.2.4 Måling af kølængder . . . 24
3.3 Trafikmodellering i VISSIM . . . 26
3.3.1 Modelopbygning . . . 26
3.4 Trafikmodellering i SUMO . . . 28
3.4.1 Modelopbygning . . . 29
3.5 Simulering . . . 33
3.6 Kalibrering . . . 34
3.6.1 Kalibreringprocess for VISSIM . . . 35
3.6.2 Kalibrering for SUMO . . . 38

3.7 Sammenligning af modeller og virkelighed 41

Kapitel 4 Resultater **42**
4.1 Kalibrering af modeller 42
4.1.1 Morgenspidstime VISSIM 42
4.1.2 Eftermiddagsspidstime VISSIM 43
4.1.3 Morgenspidstime SUMO 43
4.1.4 Eftermiddagsspidstime SUMO 44
4.2 Sammenligning af modeller og virkelighed 45
4.2.1 Morgen 45
4.2.2 Eftermiddags 49

Kapitel 5 Diskussion **54**

Kapitel 6 Konklusion **56**

Litteratur **58**

Bilag A Signalplan **61**

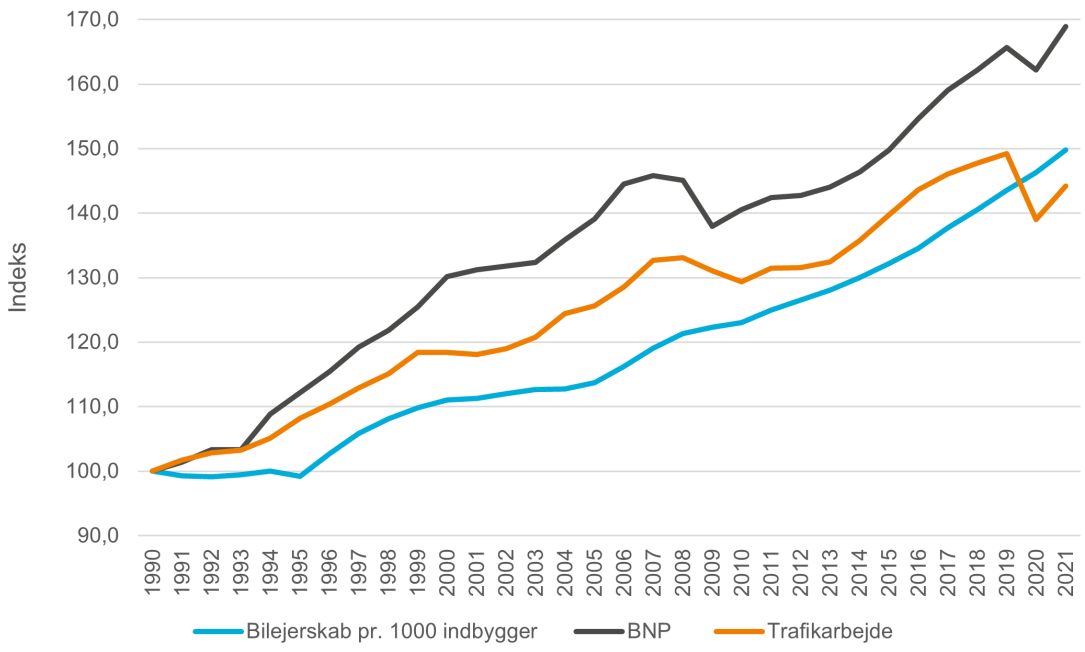
Bilag B Trafiktælling **63**

Bilag C Kalibrering **65**

Bilag D Antal repetitioner af simuleringsmodeller **67**

1 Indledning

I Danmark har samfundsøkonomien i løbet af de seneste årtier oplevet stor vækst. Ses der bort fra finanskrisen i 2008 og COVID-19 i 2020, har det danske BNP været stigende, med en gennemsnitlig årlig vækst på 1,78 %. Historisk set kan det siges at der er et sammenhæng mellem økonomisk vækst og bilejerskab. En stigning i økonomisk vækst, fører til en højere beskæftigelse og et forhøjet forbrug - herunder i form af bilejerskab.[Vejdirektoratet, 2017] Den stigend beskæftigelse, samt bedre forbindelsesmuligheder på tværs af Danmark, og stigende samhandel i udlandet, har betydet at trafikarbejdet også har været voksende. En tendens, der ser ud til at fortsætte. Trafikarbejdet har i Danmark siden 1990 haft en lineær vækst. Denne tendens forventes at stige frem mod år 2040. På figur 1.1 er indekseringen af henholdsvis Bilejerskab, BNP og Trafikarbejde i Danmark, for perioden 1990-2022 illustreret.



Figur 1.1. Indeksering af personbiler, BNP og Trafikarbejde i danmark i perioden 1990-2022 [Vejdirektoratet, 2023b]

Det stigende bilejerskab og trafikarbejde fører til trængselsproblemer på det danske vejnet. En ny opgørelse fra Vejdirektoratet viser, at trafikanterne på det danske vejnet i gennemsnit spilder 360.000 timer om dagen på at holde i kø. [Vejdirektoratet, 2023a] Med den spildtid, som trængselsproblemerne skaber, følger en række konsekvenser, herunder: Støj- og luftforurening, spildtid for privatpersoner, samt økonomisk tab for virksomheder

og staten. Ifølge Vejdirektoratet, anslås det at det årlige samfundsøkonomiske tab, på baggrund af spildtid i trafikken, er mere end 26 milliarder kroner. [Vejdirektoratet, 2020]

Konsekvenserne af trængslen på det danske vejnet er så store at den tidligere regering, Venstre, Dansk Folkeparti, Socialistisk Folkeparti, Radikale Venstre, Enhedslisten, Det Konservative Folkeparti, Nye Borgerlige, Liberal Alliance, Alternativet og Kristendemokraterne, i 2021 blev enige om en historisk infrastrukturplan, kaldet Infrastrukturplan2035. I Infrastrukturplan2035 er der afsat mere 160 milliarder kroner til at optimere den danske infrastruktur i perioden 2022-2035 - Herunder er cirka 64 milliarder kroner afsat til anlæg og udbygning af fremtidens veje. [Transportministeriet, 2021]

Et spørgsmål, der melder sig, når der skal tages stilling til udformningen af fremtidens veje, er hvordan de mest passende løsningforslag vælges. Når et løsningsforslag skal evalueres, er økonomi en afgørende faktor, samtidig med at der skal tages højde for vejenes kompleksitet, i form af eksempelvis trafikbelastning, rejsemønstre og trafiksikkerhed.

Til at udvælge det bedst mulige løsningsforslag for et given projekt, er trafikmodellering et effektivt værktøj, der vinder større og større indpas hos nutidens ingeniører [Vejdirektoratet, 2019b]. Trafikmodellering kan overordnet set inddeles i de tre niveauer:

- Makroskopiske modeller
- Mesoskopiske modeller
- Mikroskopiske modeller

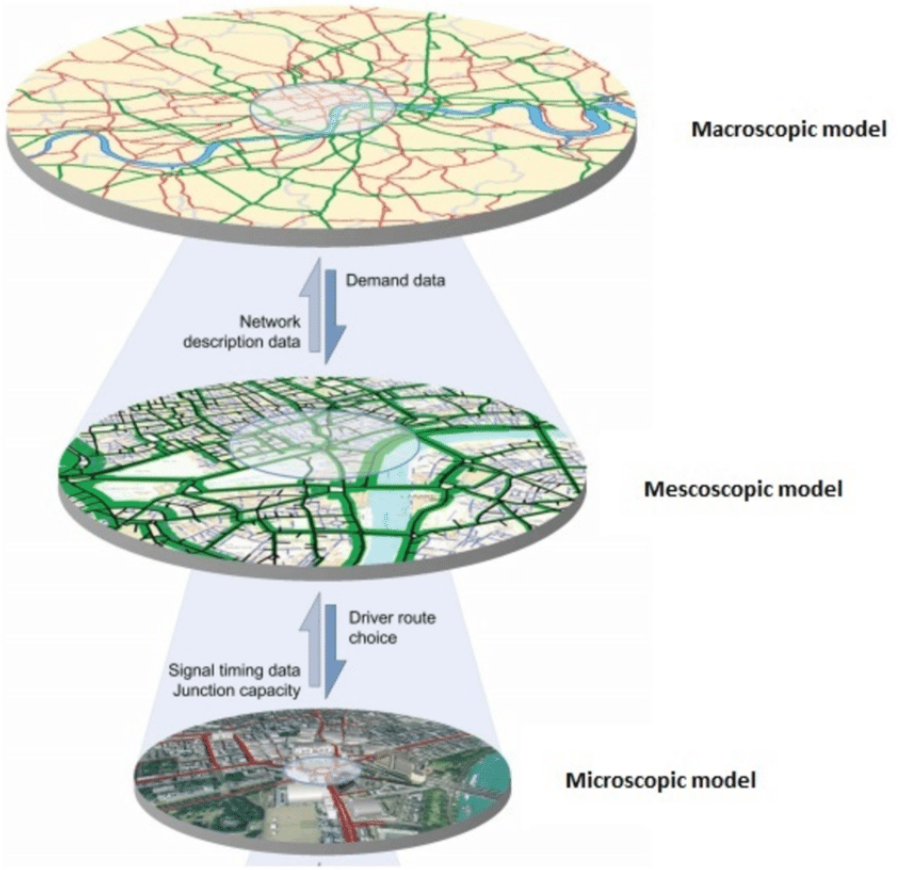
Hvilken type model, der vælges at arbejde med, afhænger af det ønskede formål og detaljeringsniveau for det givne projekt.

Makroskopiske modeller benyttes oftest ved trafikplanlægning over et større geografisk område, hvor der er behov for detaljer om trafikken på et overordnet niveau, som for eksempel gennemsnitlig belastningsgrad, forsinkelse, hastighed, kapacitet og kødannelse. [Usman et al., 2021] Af de tre typer af modeller, er de makroskopiske modeller, de mindst ressourcekrævende. Et eksempel på et program, der benytter sig af makroskopiske beregningsmetoder, er programmet DanKap.

Mesoskopiske modeller, benyttes oftest af trafikplanlæggere, og giver et mere detaljeret billede af den trafikale situation, end hos de makroskopiske modeller, dog uden at give detaljeret information om de enkelte køretøjer. [Usman et al., 2021]

Den tredje, og mest detaljeret type af model, er de såkaldte mikroskopiske modeller. Mikroskopiske modeller, adskiller sig fra de andre ved at de giver information om hvert enkelt køretøj. [Usman et al., 2021]

En illustration af de forskellige niveauer for trafikmodellering, illustreres på figur 1.2.



Figur 1.2. Niveauer indenfor trafiksimuleringer [Parajuli Ranjan, Poudyal Ramhari and Loskot, Pavel, 2020]

1.1 Mikrosimulering

Siden år 2002, har sidstnævnte modeltype i større og større grad vundet indpas i måden hvorpå trafikafvikling i Danmark analyseres på. Ved de mikroskopiske modeller, også kendt som mikrosimuleringsmodeller, afbildes den eksisterende/planlagte virkelighed med en sådan detaljeringsgrad at det gør det muligt for opgaveløseren at få et meget mere detaljeret billede af trafikafviklingen for et givent område, end hos de makro- og mesoskopiske modeller. [Vejdirektoratet, 2019b]

Som tidligere nævnt, adskiller mikrosimuleringsmodeller sig fra de makroskopiske modeller ved at der simuleres på trafikantniveau. Dette vil siges at det er muligt at indlægge information omhandlende den enkelte trafikants køreadfærd, samt teknisk information omhandlende modellens køretøjers fysiske og tekniske detaljer, såsom størrelse, accelerationsegenskaber og maksimal hastighed. Når der simuleres med en sådan detaljeringsgrad, kan der opnåes information om hvert enkelt køretøj i modellen, herunder i form af kørselsadfærd, hastigheder, samt rutevalg samt interaktion med andre køretøjer i modellen. [Vejdirektoratet, 2019b]

Et eksempel på afbildning af virkeligheden ved hjælp af mikrosimulering, illustreres på figur 1.3.

Figur 1.3. Afbildning af en virkelig trafikal situation ved hjælp af mikrosimulering. I dette eksempel er programmet VISSIM benyttet [Pruthvi Manjunatha, 2013]

1.1.1 Tilfældighed

Mikrosimuleringsmodeller, er såkaldte stokastiske modeller, hvilket vil sige at der i modellerne er indlagt en form for tilfældighed, der gør det muligt at foretage gentagne beregninger med samme model og input, men hvor stokastiske elementer som for eksempel ankomstfordeling, acceleration og rutevalg varierer for hver simulation. Denne tilfældighed gør det muligt at tage højde for dag-til-dag variationer i trafikken. Denne tilfældighed styres ved hjælp af seeds, der holder styr på hvilken værdi de forskellige stokastiske elementer har. [Vejdirektoratet, 2019b]

1.1.2 Køreadfærd

Når der simuleres på trafikantniveau, er det vigtigt at hvert køretøj kan foretage individuelle beslutninger omhandlende køreadfærd i form at eksempelvis vognbaneskift samt den afstand, der skal holdes til den forankørende trafikant. Disse beslutninger basseres ved hjælp af adfærdsmodeller, også benævnt car-following models. Der findes flere forskellige car-following models, der basserer sig på forskellige matematiske modeller, som beskriver hvordan et køretøj skal opføre sig i en given trafikal situation. [Usman et al., 2021]

1.2 VISSIM

Når der i Danmark arbejdes med mikrosimuleringsmodeller, er der tradition for at benytte programmet Verkehr In Städten -SIMulationsmodell, bedre kendt som VISSIM, som er udviklet af det tyske firma PTV GmbH. VISSIM er et kommercielt program, hvilket vil sige at man som bruger, skal betale, for at benytte sig af softwaren. [Vejdirektoratet, 2019b]

VISSIM giver brugeren af programmet flere muligheder til at tilpasse modellen til specifikke situationer, herunder ved at indstille køretøjerne i modellens måde at håndtere konflikt mellem trafikstrømme, samt deres adfærd. Adfærdsstyring samt konflikthåndtering i VISSIM, vil i det følgende blive præsenteret. [Vejdirektoratet, 2019b]

I VISSIM benyttes car-following modellen Wiedemann, til at beskrive køretøjernes adfærd. Wiedemanns car-following models, kan inddeles i to kategorier, Wiedemann 74 og Wiedemann 99. Forskellen på de to car-following modeller, er at Wiedemann 74 bruges

til at simulere bytrafik, samt til fletning af trafikstrømme på motorvejsstrækninger, hvor Wiedemann 99 bruges til at simulere motorvejstrafik. [Vejdirektoratet, 2019b]

Wiedemanns car-following model er af typen Psykofysisk car-following model. Kendetegnet for denne type af car-following models er at køretøjerne reagerer på forankørende køretøjer, når en given tærskelværdi er nået. Denne tærskelværdi beskrives enten som den relative hastighed mellem to køretøjer, eller en given afstand mellem to køretøjer. [Usman et al., 2021]

Principperne bag wiedemanns car-following model, illustreres på figur 1.4. Her beskriver x-aksen (ΔV) den relative hastighed, og y-aksen beskriver afstanden mellem to køretøjer.

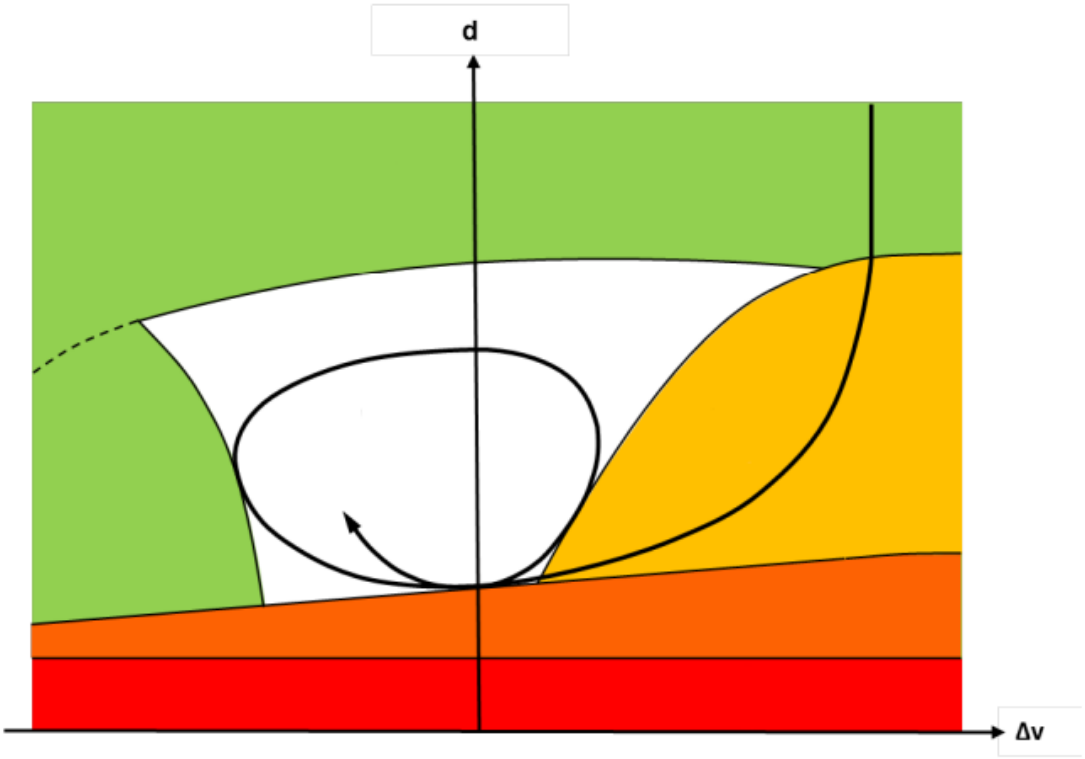
Wiedemanns car-following model er basseret på antagelsen om at et køretøj kan indfinde sig i fire stadier:

1. Free flow: Når et køretøj er i dette stadige, vil det sige at køretøjet ikke påvirkes at andre køretøjer. på figur 1.4, illustreres dette som værende det grønne område. [VISSIM, 2023]

2. Tilnærmelsesstadige: Dette stadige indtræffer, når nærmer sig det forankørende køretøj. Køretøjet vil nu decelerer indtil at den givne sikkerhedsafstand mellem køretøjet og det forankørende køretøj er nået. på figur 1.4, illustreres dette som værende det orange område.[VISSIM, 2023]

3. Forfølgelsesstadie: Når sikkerhedsafstanden mellem de to køretøjer er nået, befinder køretøjet sig i forfølgelsesstadiet. I dette stadie er sikkerhedsafstanden konstant, mellem de to køretøjer. på figur 1.4, illustreres dette som værende det hvide område. [VISSIM, 2023]

4. Bremsestadie: I dette stadie vil et køretøj være nødsaget til at decelerere kraftigt, hvilket oftest vil ske på baggrund af kødannelse eller vognbaneskift. på figur 1.4, illustreres dette som værende det orange område. [VISSIM, 2023]



Figur 1.4. Princippet bag Wiedemanns car-following model[VISSIM, 2023]

Car-following modellen, Wiedemann74 består af tre parametre, som bruges til at bestemme sikkerhedsafstanden mellem to køretøjer. De tre parametre er:[VISSIM, 2023]

- **Average standstill distance [m]**
- **Additive part of safety distance [-]**
- **Multiplicative part of safety distance [-]**

Sikkerhedsafstanden mellem to køretøjer, beregnes ved hjælp af ligning (1.1) [VISSIM, 2023]

$$d = ax + bx \tag{1.1}$$

Hvor:

ax: Average standstill distance
$bx = (bx_{add} + bx_{mult}) \cdot z \cdot \sqrt{v}$

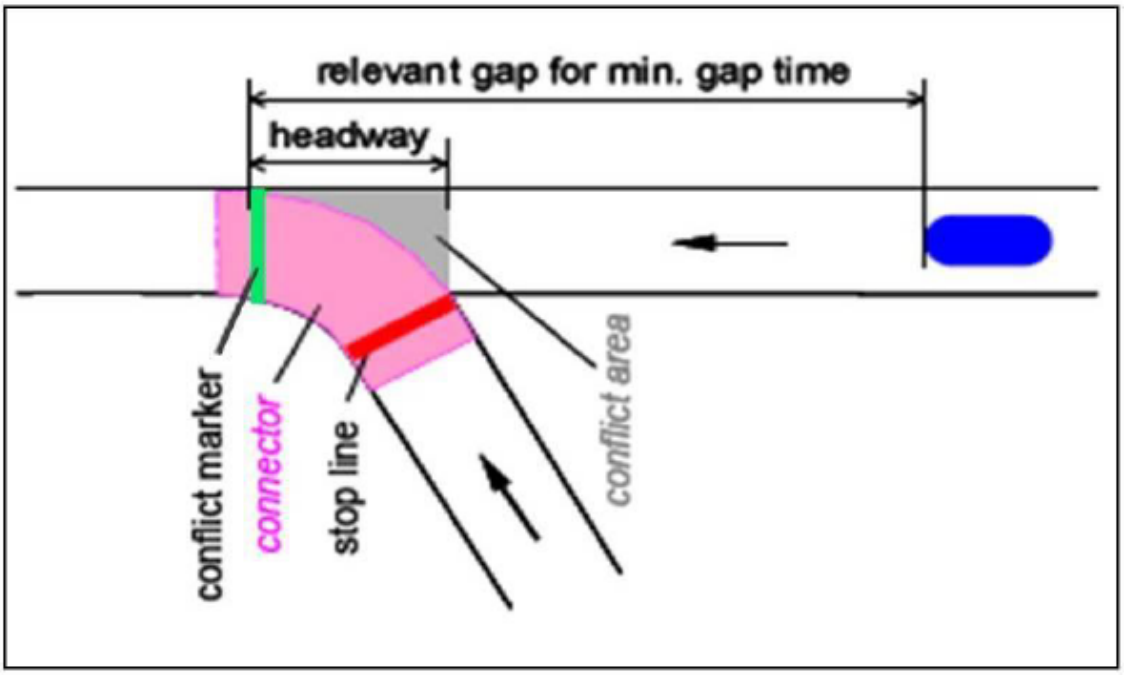
Hvor:

bx_{add}: Additive part of safety distance
bx_{mult}: Multiplicative part of safety distance
v: Køretøjets hastighed
z: En værdi i intervallet [0;1]. Denne værdi er normalfordelt omkring 0,5 med en standardafvigelse på 0,15.

Måden hvorpå vigepligt modelleres i VISSIM, kan gøres på to forskellige måder. Den første metode er ved brugen af stoplinje og konfliktmarkør, der er basseret på tidsgapteorien. Princippet bag tidsgapteorien, er at der skal være en given afstand mellem to køretøjer i en primærstrøm, før at et vigepligtig køretøj vil forstætte over vigelinjen. Den givne mindste afstand mellem køretøjerne i primærstrømmen angives i sekunder, og defineres som *det kritiske interval* (I VISSIM kaldet gap time). I VISSIM defineres gap time som den tidsmæssige afstand fra bagenden af det forankørende køretøj, til forenden af det bagvedkørende køretøj. [Vejdirektoratet, 2019b]

En anden parameter, der bruges i tidsgapteorien, er parameteren *minimal headway*. Denne parameter defineres som en strækning, hvor der ikke må befinde sig andre køretøjer, hvis det vigepligtige køretøj skal bevæge sig ud over stoplinjen. Denne parameter sørger for at det vigepligtige køretøj ikke kører ud i et belastet kørespor, med kødannelse, eller langsomkørende trafik. [Vejdirektoratet, 2019b]

Princippet bag tidsgapteorien, illustreres på figur 1.5.



Figur 1.5. Vigepligt i VISSIM ved brug af stoplinje og konfliktmarkør[Vejdirektoratet, 2019b]

Den anden måde hvorpå at vigepligt kan modelleres i VISSIM, er ved hjælp af *conflict areas*. Ved denne metode, udpeger programmet automatisk konfliktpunkter mellem to trafikstrømme i modellen, hvorpå at brugeren selv kan vælge, hvilken trafikstrøm, der skal holde tilbage. [Vejdirektoratet, 2019b]

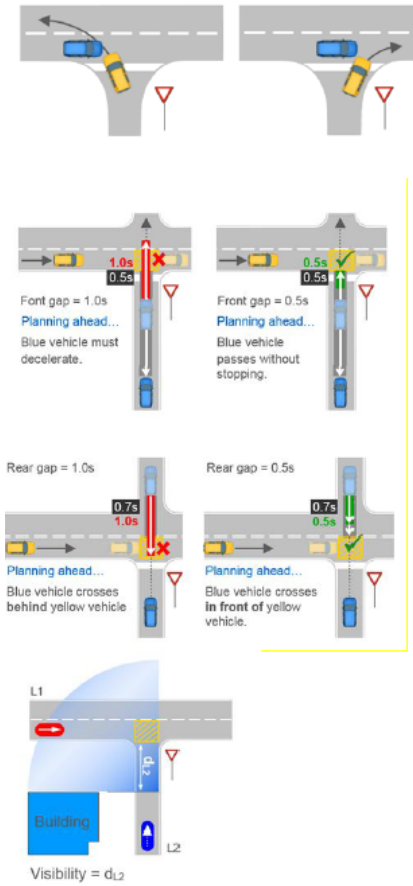
De Parametre, der i VISSIM anvendes ved conflict areas er: [Vejdirektoratet, 2019b]

- **VisibLink1/VisitLink2:**
  Den position, hvor den modsatte vej er synlig.
- **FrontGapDef:**
  Tid fra at køretøjet fra den primære trafikstrøm forlader konfliktområdet, til at

køretøjet fra den sekundære trafikstrøm, kører ind i konfliktområdet.

- **RearGapDef:**
  Tid fra at køretøjet fra den sekundære trafikstrøm forlader konfliktområdet, til at køretøjet fra den primære trafikstrøm, kører ind i konfliktområdet.
- **SafDistFactDef:**
  Beskriver den aggresivitet, som køretøjer fra den sekundære traifikstrøm har ved fletning med den primære trafikstrøm.
- **AddStopDist:**
  Afstanden fra konfliktområdet, til den position, hvor køretøjet stopper.
- **AnticipRout:**
  Andel af køretøjer på sekundærretningen, der kender ruten for køretøjerne i primærretningen.
- **AvoidBlockMinor:**
  Andel af køretøjer, som ikke bevæger sig ind i konfliktområdet, uden at kunne forlade det igen.

Princippet bag tidsgapteorien, illustreres på figur 1.6.



Figur 1.6. Vigepligt i VISSIM ved conflict areasr[Vejdirektoratet, 2019b]

VISSIM giver brugeren mange muligheder for at tilpasse modellen, de specifikke situationer, der ønskes simuleret, så de bliver så virkelighedstro som muligt. Som tidligere nævnt, er der i Danmark tradition for at benytte VISSIM, når der arbejdes

med mikrosimuleringsmodeller. VISSIM er så domminerende i Danmark, at *Vejregler i Anvendelse Af Mikrosimuleringsmodeller* [Vejdirektoratet, 2019b], der er en vejregel, der beskriver hvordan vellykkede analyser eksekveres ved hjælp af mikrosimuleringsmodeller, er baseret på VISSIM.

Selvom at VISSIM er et populært værktøj til udførelse af mikrosimuleringer, har programmet også sine begrænsninger.

Da programmet er udviklet i Tyskland, er dets forudindstillede værdier (default værdier), baseret data indsamlet i Tyskland, hvorfor at det er vigtigt at kalibrere disse værdier, så de tilpasses danske forhold. Denne kalibrering beskrives i [Vejdirektoratet, 2019b]. Derudover er man som bruger af VISSIM også tvunget til at benytte sig af de forskellige delmodeller, som programmet er opbygget af, herunder brugen af Wiedemanns car-following model.

I et studie foretaget af [Hidas, 2006], blev flere car-following modeller (herunder Wiedemanns) sammenlignet med en car-following model udviklet af forfatteren af studiet. Studiet viste ARTEMIS forfølgelsesmodellen, som den kaldes, i de fleste tilfælde gav mere realistisk data end de andre modeller.

I tidligere projekter har det vist sig at være svært at kalibrere VISSIM modeller så de afspejler virkeligheden. Dette konkluderes blandt andet i et tidligere studie foretaget på Aalborg Universitet. Her er det forsøgt at finde de bedste kalibreringsparametre, som afspejler trafikken i en rundkørsel. Konklusionen var at trafikken i VISSIM er indstillet til at modellere trafikken for aggressivt, i forhold til den observerede trafik. [Yde, 2018]

Der findes imidlertid andre programmer, med samme funktion som VISSIM. Et eksempel heraf er programmet SUMO.

1.3 SUMO

SUMO (Simulation of Urban MObility), er ligesom VISSIM, et mikrosimiuleringsprogram, udviklet i Tyskland. Programmet er udviklet af medarbejdere hos Instituttet for transportsystemer, ved det tyske rum- og rumfartscenter. [Lopez et al., 2018]

En af de store forskelle mellem SUMO og VISSIM, er at SUMO er en *open source* software, hvilket betyder at softwaren og kildekoden er frit tilgængelig for brugerne. Når kildekoden er frit tilgængelig, har brugerne af programmet mulighed for at bidrage til programmets udvikling. For eksempel i form af implementering af egne delmodeller. [Opensource, 2023]

Ligesom i VISSIM benyttes car-following modeller til at definere trafikanternes køreadfærd i SUMO. Flere typer af car-following modeller kan benyttes, herunder Wiedemanns car-following model, når der simuleres i SUMO. Som standard er softwaren indstillet til at benytte Krauss' car-following model. [SUMO, 2023]

Krauss' car-following model er af typen *safety distance model*, hvilket vil sige at et givent køretøj altid vil forsøge at holde en sikker afstand til det forankørende køretøj for at undgå kollission. [Usman et al., 2021]

I følge teorien bag Krauss' car-following model, vil et køretøj i en given simulering, kunne befinde sig i to bevægelsstadier: Et free flow stadie og et tilnærmelsesstadie.

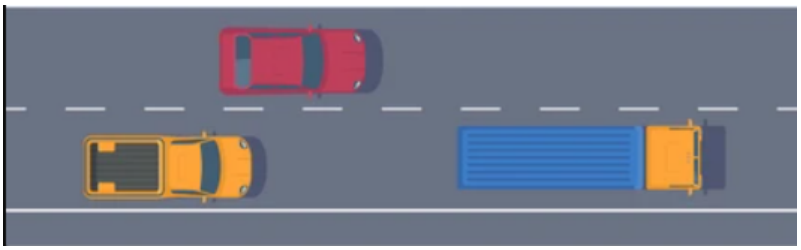
Et køretøj befinder sig i free flow stadiet når der ikke er noget forankørende køretøj, der hindrer køretøjet i at accelerere. I dette stadie vil køretøjet derfor kunne køre med sin maksimale hastighed (Denne afhænger af hastighedsbegrænsningen på vejen og førerens ønskede hastighed). Free flow stadiet beskrives ved hjælp af ligning (1.2). [Laura Bieker-Walz og Gimm, 2023]

$$v \leq v_{max} \tag{1.2}$$

I tilnærmelsesstadiet nærmer et køretøj sig et forankørende køretøj i en sådan grad, at det er nødt til at reducere sin hastighed, for at undgå kollision. Denne hastighed må ikke overskride den maksimale sikkerhedshastighed v_{safe}. Den ønskede hastighed for at undgå kollission, beskrives i ligning (1.3). [Laura Bieker-Walz og Gimm, 2023]

$$v \leq v_{safe} \tag{1.3}$$

På figur 1.7 illustreres de to stadier, køretøjer kan befinde sig i, i følge Krauss' car-following model. Den røde bil har intet forankørende køretøj, der forhindrer det i at accelerere. Den gule bil er begrænset af den forankørende lastbil, og er derfor nødsaget til at tilpasse sin hastighed, så den holder en tilpas sikker afstand.



Figur 1.7. Free flow og tilnærmelsesstadie for Krauss' car-following model [Shutterstock, 2023]

Krauss' car-following model er kollissionsfri, hvilket betyder at køretøjer ikke vil kunne påkøre hinanden. Dette sikres ved at sørge for at køretøjerne aldrig kører hurtigere end sikkerhedshastigheden. I SUMO bliver sikkerhedshastigheden beregnet for hvert tidsskridt i modellen. Et tidsskridt betegner en fastsat værdi i en mikrosimuleringsmodel, hvori simuleringen opdateres. Jo mindre et tidsskridt der vælges i en given model, desto mere præcise resultater vil man få. Udregning af sikkerhedshastigheden for et givent tidsstep, beskrives i ligning (1.4). [Laura Bieker-Walz og Gimm, 2023]

$$v_{safe}(t) = v_l(t) + \frac{g(t) - v_l(t) \cdot \tau}{\frac{v}{b(v)} + \tau} \tag{1.4}$$

Hvor:

t: Tidsskridt
$v_l(t)$: Hastighed for det forankørende køretøj til tiden t
$g(t)$: Afstand mellem køretøj og forankørende køretøj til tiden t
τ: Reaktionstid for føreren af køretøj
b: Funktion for decceleration

Når sikkerhedshastigheden udregnes, kan man komme ud for at få en værdi, der er større end den skiltede hastighed. For at sikre sig at køretøjet ikke overskrider denne, udregnes den ønskede hasighed v_{des} ved hjælp af ligning (1.5). I denne ligning, vælges den mindste værdi mellem sikkerhedshastigheden til tiden t, køretøjets maksimale hastighed, og den skiltede hastighed. [Laura Bieker-Walz og Gimm, 2023]

$$v_{des}(t) = min[v_{safe}(t), v(t) + a, v_{max}] \tag{1.5}$$

Hvor:
$v_{safe}(t)$: Sikkerhedshastigheden til tiden t
$v(t)$: Den nuværende hastighed til tiden t
a: Køretøjets maksimale acceleration
v_{max}: Køretøjets maksimale hastighed

Til sidst kan et køretøjs hastighed til tiden t, på baggrund af Krauss' car-following model udledes. Billister kører aldrig fuldkommen perfekt i trafikken. Dette tages der højde for

i Krauss' car-following model, ved at der fratrækkes en tilfældig værdig fra den ønskede hastighed, som beskrevet i ligning (1.6). [Laura Bieker-Walz og Gimm, 2023]

$$v(t) = max[0, rand[v_{des}(t) - \eta]] \tag{1.6}$$

Hvor:
$vdes(t)$: Den ønskede hastighed
η: Værdi, der tager højde for forskel i køreadfærd

1.4 Problemformulering

På baggrund af ovenstående afsnit kan det konkluderes at mikrosimuleringsmodeller i større og større grad vinder indpas i modelleringen af fremtidens infrastrukturprojekter. I Danmark er der tradition for at benytte programmet VISSIM til at foretage mikrosimuleringer. VISSIM Giver brugeren af programmet mange muligheder til at tilpasse programmet til specifikke situationer, men har også en del begrænsninger. Som bruger af programmet, kan man ikke ændre i softwaren, hvis man eksempelvis vil arbejde med andre adfærdsmodeller, end de, i VISSIM standardindstillede adfærdsmodeller. Derudover er VISSIMs default parametre basseret på data indsamlet i Tyskland, hvorfor at disse under kalibreringsprocessen skal tilpasses danske forhold. VISSIM koster penge at bruge. Samtidig har tidligere studier vist at det kan være svært at kalibrere modeller i VISSIM, så de afspejler virkelige forhold, hvorfor at det for opgaveløser kan resultere i en betydelig investering af tid, ressourcer og økonomiske midler uden at der opnås de ønskede resultater.

Der findes imidlertidig også andre softwares, der ligesom VISSIM kan foretage trafikal miikrosimuleringer. En af disse softwares er SUMO, der på mange områder er samlignelig med VISSIM. SUMO er en frit tilgængelig open source software, hvilket vil sige at brugere af programmet har mulighed til at bidrage til modificering og optimering af softwaren. Da der ikke er stort kendskab til SUMO i Danmark, vides det ikke om SUMO er bedre end VISSIM til at moddellere realistisk trafik under danske forhold. Dette leder op til følgende problemformulering:

"Hvor realistisk kan programmet SUMO modellere trafik under danske forhold, sammenlignet med programmet VISSIM?"

1.5 Projektlokation

Indeværende projekt tager udgangspunkt i krydset Hasserisgade/Kong Christians Alle, beliggende i bydelen Hasseris i Aalborg. Krydset er et firbenet, tidsstyret, signalreguleret kryds, bestående af vejene Hasserisgade og Kong Christians Alle. Der er valgt at arbejde med krydset Hasserisgade/Kong Christians Alle, da krydset oplever store belastninger i morgen- og eftermiddags spidstimerne. Det er derfor interessant at undersøge hvordan det signalregulerede kryds, påvirker de tilstødende trafikstrømmene, og hvor realistisk dette kan replikeres i en mikrosimuleringsmodel.

Det omtalte Kryds, illustreres på figur 1.8.

Figur 1.8. Projektlokation Kong Christians Alle/Hasserisgade [Google, 2023]

Hasserisgade bevæger sig i retningen Øst-Vest, og består af en to sporet primær trafikvej. Oplysninger, omhandlende vejens klasse, er fundet vha. vejman.dk. Den skiltede hastighed er for Hasserisgade 50 km/t.

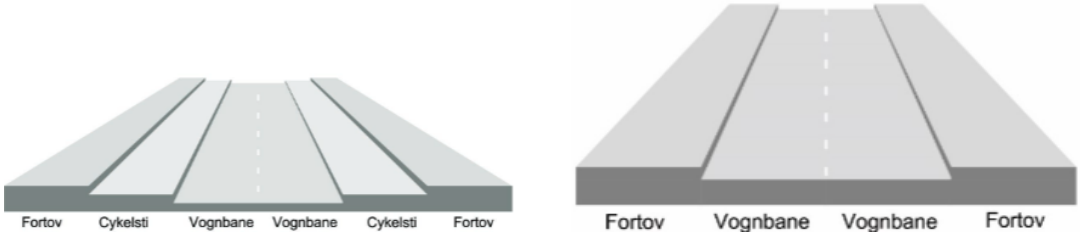
Den vestlige del af Hasserisgade, som senere bliver til Hasserisvej går på tværs af Hasseris, og forbinder Hasseris med Sofiendal i vest. Den østlige del af vejen, forbinder Hasseris med Aalborg C. På baggrund af vejens størrelse og funktion, oplever den store belastninger i morgen- og eftermiddags spidstimerne.

I morgenspidstimen er det særligt trafikken fra Hasseris, kørende mod Vesterbro i øst og Øster Alle i syd, der bidrager til den store belastning i krydset. Dette skyldes sandsynligvis at Hasseris er et stort boligområde, med mange indbyggere, der pendler til arbejde og skole.

I eftermiddagsspidstimen er det den østlige del af Hasserisgade, der bidrager til den store belastning i krydset. Særligt bilister, der skal fra Vesterbro i Øst, til Hasseris i Vest.

Den vestlige del af Hasserisgade har en separat cykelsti, mens at cyklister på den østlige del, skal dele kørebane med de øvrige trafikanter.

Tværprofilerne for Hasserisgade illustreres på figur 1.9



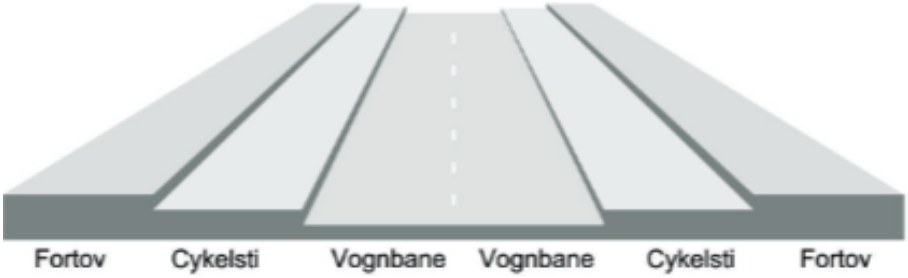
(a) Hasserisgade vest ***(b)*** Hasserisgade øst

Figur 1.9. Tværprofiler for henholdsvis den vestlige og østlige del af Hasserisgade [Vejdirektoratet, 2019a]

Kong Chrisians Alle bevæger sig i retningen Nord-Syd og er ligeledes en to sporet primær trafikvej, med en separat venstresvingbane i hver retning i krydset [VEJDIREKTORATET, 2023]. Den skiltede hastighed er for Kong Christians Allé 50 km/t. Kong Christians Alle er en hovedåre, der forbinder vestbyen med Aalborg øst, via Øster Alle, og Aalborg syd via Hobrovej. Ligesom Hasserisgade, oplever Kong Christians Alle store belastninger i spidstimerne. I morgenspidstimen er trafikken størst fra nord gående mod syd, hvor den i eftermiddagsspidstimen er størst fra syd, gående mod nord.

Tværprofilet for Hasserisgade illustreres på figur 1.9.

1.9



Figur 1.10. Tværprofil for Kong Christians Alle nord og syd. For hver retning tilføjes der desuden en venstresvingsbane ved lyskrydset [Vejdirektoratet, 2019a]

1.6 Projektafgrænsning

I afsnit 1.2 på side 4 benævnes to versioner af Wiedemanns car-following model (Wiedemann74 og Wiedemann 99). I det videre afsnit er det kun Wiedemann74, der bliver videre beskrevet, da denne model omhandler køreadfærd for bytrafik. Det er denne model, der tages udgangspunkt i, når der arbejdes med VISSIM.

I afsnit 1.3 på side 10, beskrives det at der i SUMO kan arbejdes med flere forskellige car-following modeller. I projektet er dette afgrænses til kun at omhandle SUMOS default car-following model, Krauss' car-following model.

Der er i projektet valgt ikke at medtage fodgængere, da det under inspektionen af krydset blev vurderet at mængden af fodgængere ikke ville have en synlig indvirkning på trafiksimuleringerne.

Under udførelsen af trafiktællingerne i krydset, er det valgt at begrænse antallet af tællere til 2 personer. Vejledning for trafiktællinger [Vejdirektoratet, 2006] foreskriver at der ved krydstællinger i 4-benet kryds, med mere end 800 køretøjer pr. time, skal bruges 4 tællere. Under besigtigelsen af krydset blev det dog vurderet, at dette godt kunne lade sig gøre af 2 personer, primært grundet karakteren af lyssignalerne, som ikke er særlig komplekse. Den mindre kompleksitet i lyssignalerne gjorde det muligt for de to tællere at håndtere opgaven effektivt og pålideligt, trods den store trafikvolumen.

Grundet mangel på ressourcer i form af mandsskab og udstyr, er der er i projektet valgt at se på et begrænset område omkring krydset. Dette vil sige at det kun er de 4, til krydset, tilstødende veje, der medtages i simuleringsmodellerne. Sideveje og nærliggende kryds medtages derved ikke. Ved at udelade sideveje og nærliggende kryds, reduceres simuleringmodellernes kompleksitet.

I krydset, når cyklister skal svinge til venstre, cykler de først ligeover i krydset, hvorefter at de holder stille, for så at cykle mod venstre. Grundet den store trafikale belastning i krydset, var det ikke muligt at notere, hvorvidt om cyklisterne, cyklede ligeud i krydset, eller om de ville dreje til venstre. På baggrund af dette, blev det under trafiktællingerne bestemt at cyklister, der ikke svingede til højre i krydset, skulle medregnes som om at de cyklede ligeud. Det er vigtigt at notere, at denne afgrænsning kan have en indflydelse på simuleringsresultaterne, da den virkelige adfærd for cyklister, der drejer til venstre i krydset, ikke bliver afspejlet.

I kalibreringen af VISSIM modellerne, er der i projektet kun valgt at arbejde med conflict areas, når vigepligt, skal defineres.

Litteraturstudie 2

2.1 Præsentation af inkluderede kilder fra litteraturstudie

I indeværende projekt er der blevet foretaget et litteraturstudie, med det formål, at undersøge hvad der findes af eksisterende viden og forskning indenfor projektets område, samt i forlængelse af dette, at identificere eventuelle huller heri.

I det følgende vil de kilder, der er blevet inkluderet i litteraturstudiet blive præsenteret.

2.1.1 Optimization of VISSIM Driver Behavior Parameter Values Using Genetic Algorithm

Dette studie forsøger at foretage en sensitivitetsanalyse for at finde frem til, hvilke af de mere end 100 køreadfærdsparametre, der kan ændres i VISSIM, som er mest sensitive i forhold til en mikrosimuleringsmodel af et signalreguleret kryds i Sri Lanka. Efter at de mest sensitive parametre er fundet, benyttes en Genetisk Algoritme (GA) til at hjælpe med at bestemme de bedste værdier for disse parametre, der vil give en så lille fejl som muligt mellem mikrosimuleringsmodellen og den virkelige observation. En Genetisk Algoritme tager udgangspunkt i Charles Darwins evolutionsteori, og foregår ved at tilfældige værdi-kombinationer af de, i studiet, udvalgte parametre, sammenlignes, i såkaldte "populationer". De bedste værdi-kombinationer i en population, får dernæst mulighed for at blande sig, og skabe nye/bedre populationer. Denne proces fortsættes indtil at man har opnået en værdi-kombination af de udvalgte parametre, der giver det ønskede resultat. [Gunarathne D. og V., 2023]

For at en mikrosimuleringsmodel kan siges at være sammenlignelig med den virkelige observation, skal fejlen mellem disse ligge indenfor fejlmarginen, som er 15 %. [Gunarathne D. og V., 2023]

Resultaterne for studiet viser at det er vigtigt at foretage en sensitivitetsanalyse, når der arbejdes med mikrosimuleringsmodeller, for at finde ud af, hvilke parametre, der er kritiske i forhold til de individuelle modellens resultater. Derudover er GA et brugbart værktøj, når de værdierne af parametrene skal bestemmes. [Gunarathne D. og V., 2023]

2.1.2 Analysis of Motorized Vehicles Performance at Signalized Intersections Based on Micro Simulation

I dette studie, benyttes VISSIM til at analysere

køretøjers ydeevne i form af kølængder og forsinkelsestider i spidstimerne for et signalreguleret kryds. En Kølængde defineres som distancen i meter fra stoplinjen i krydset,

til bagenden af den bagerste bil i køen.

I studiet benævnes Car Following Models (CFM), som værende den del af mikrosimuleringsprogrammet, der definerer køreadfærden for køretøjerne i det respektive mikrosimuleringsprogram. En Car Following Model består af flere parametre, som kan justeres i løbet af kalibreringsprocessen.

I valideringsprocessen, for at undersøge om de undersøgte parametre (kølængder og forsinkelsestider) i den kalibrerede simuleringsmodel er sammenlignelige med virkeligheden, er en modificeret formel for Chi2 testen, opstillet af Geoffrey E. Havers (GEH) blevet benyttet. I GEH testen, accepteres testkriterierne, når værdien af GEH, beregnet med et konfidensniveau på 95 % ligger indenfor det accepterede interval. [S.H. et al., 2022]

Ligningen for GEH er illustreret i formel (2.1)

$$GEH = \sqrt{\frac{(q_{simulated} - q_{observed})^2}{0,5 \cdot (q_{simulated} + q_{observed})}} \tag{2.1}$$

Intervallet for GEH testen er som illustreret i tabel 2.1

Tabel 2.1. Geoffrey E. Havers statistiske model

Værdi af GEH	**Beskrivelse**
GEH $<$ 5,0	Accepteret
5,0 $\leq$ GEH $\leq$ 10,0	Advarsel: Mulig fejl i model eller dårlig data
Geh $>$ 10,0	Forkastet

2.1.3 A Review of Car-Following Models and Modeling Tools for Human and Autonomous-Ready Driving Behaviors in Micro-Simulation

Trafiksimuleringer kan inddeles i tre overordnede kategorier: Makroskopisk, Mesoskopisk og Mikroskopisk. Valget af hvilken type trafiksimulering man vælger at benytte, afhænger af den ønskede detaljeringsgrad.

Makroskopiske trafiksimuleringer bruges af trafikplanlæggere til at skabe overblik over den overordnet trafikale situation - oftest ved større trafikale netværk - ved b.la. at beregne den gennemsnitlige belastningsgrad, forsinkelse, hastighed, kapacitet og kødannelse.

Ønskes det derimod at få et mere detaljeret billede af den trafikale situation, for et begrænset område, er mikrosimuleringer et bedre valg. Ved mikrosimuleringer gives der information om hvert enkelte køretøj i forskellige tidssteps af simuleringsperioden.

Mesoskopiske trafiksimuleringer er en blanding af de to førnævnte, men giver mindre pålidelig information for det enkelte køretøj i forhold til mikrosimuleringer.

Studiet gennemgår nogle af de mest benyttede mikrosimuleringsprogrammer, og diskuterer deres styrker og svagheder. Hvert mikrosimuleringsprogram benytter sig af forskellige Car-following model. Car-following models kan overordnet set inddeles i tre grupper:

- **Gazis-Herman-Rothery model (GHR)**
- **Safety-distance model**
- **Psychophysical car-following model**

Verkehr In Städten -SIMulationsmodell (VISSIM), udviklet af PTV Vision (Planung Transport Verkehr), er et af de mest dominerende trafikale mikrosimuleringsprogrammer på markedet i dag. VISSIM benytter sig af en psychophysical car-following model, kaldet Wiedemann-modellen. Wiedemann-modellen kan inddeles i Wiedemann 99 og Wiedmann 74, brugt for henholdsvis motorvejs -og bystrækninger. [Usman et al., 2021]

2.1.4 Research on optimization and evaluation method of the car following model based on SUMO application test scenario

I dette studie, analyseres og modificeres Kraus' car-following model. Dette gøres ved hjælp af mikrosimuleringsprogrammet SUMO, der er et open source program. For at kunne generere trafikscenarier i SUMO, er der nogle centrale punkter, der skal inkluderes:

1. Generering af vejnet:

For at generere et vejnet, der reflektere virkeligheden mest muligt, kan OpenStreetMap benyttes til at indhente og implementere data omhandlende det respektive netværk.

2. Køretøjsinformation:

En routefile, indeholdende information køretøjernes adfærd, såsom maksimumhastigheder og acceleration skal genereres.

[Qianjing et al., 2021]

2.1.5 Evaluation and further development of car following models in microscopic traffic simulation

I dette sammenligningsstudie, sammenligner har forfatteren udviklet sin egen forfølgelsesmodel, kaldet ARTEMIS, som analyseres og sammenlignes med forfølgelsesmodeller brugt i nogle af de mest populære mikrosimuleringsprogrammer på markedet (AIMSUM, VISSIM og PARAMICS). Konklusionen på studiet er at ARTEMIS forfølgelsesmodellen i langt størstedelen af de simulerede tilfælde, performer bedre i forhold til at få simuleringsresultaterne til at stemme overens med det observeret data. Det skal dog understreges at studiet er foretaget tilbage i 2006, hvilket kan forventes at der er sket flere opdateringer ved de andre programmer, der gør dem mere præcise. [Hidas, 2006]

2.1.6 Vejregel - Anvendelse Af Mikrosimuleringsmodeller

Anvendelse Af Mikrosimuleringsmodeller, er en dansk vejregel, udarbejdet af vejdirektoratet. Vejregelen har til opgave at vejlede læser omkring brugen af mikrosimuleringsmodeller til analyse af vejtreafik, herunder detaljerede anvisninger omkring kalibrering og parametersætning af modellerne.

Det benævnes at selvom at det har været hensigten at vejreglen skal behandle mikrosimuleringer generelt, så bærer den stærkt præg af programmet VISSIM, da dette

program de seneste år, har været dominerende på det danske markede blandt vejmyndigheder og rådgivere.

I afsnittet *Tidsmæssig afgrænsning af modellen* benævnes *indsvingningstiden* for modellen. Indsvingsningstiden benævnes som den tid det tager at at opbygge starten af den situation, der skal simuleres. Dette vil sige at der skal være indkørende trafik i modellen, før den tidsperiode, der ønskes simuleret. Det anbefales at starte simuleringen 15-30 minutter, før den ønskede simuleringsperiode. Dette gælder ligeledes for dataindsamling. Vejdirektoratet [2019b]

2.2 Konklusion af litteraturstudie

Litteraturstudiet viser at der er mange måder at gribe simuleringsarbejde an, alt efter den ønskede detaljeringsgrad. Ønskes et detaljeret billede af en trafikal situation for et begrænset område, hvor detaljeret information om de enkelte køretøjer skal foreligge, er mikrosimulering det rigtige valg. Der findes mange forskellige mikrosimuleringsprogrammer, der hver benytter forskellige Car-following models,til at bestemme køretøjernes adfærd. I Danmark er det mikrosimuleringsproramet VISSIM, der er det mest dominerende mikrosimuleringsprogram, hvilket blandt andet ses ved at vejreglen *Anvendelse Af Mikrosimuleringsprogrammer*, er skrevet på baggrund af programmet. VISSIM er et kommercielt program, der er baseret på en car-following model kaldet Wiedemann.

Selvom at VISSIM er et populært program i Danmark, såvel som i udlandet, har det også sine begrænsninger. Da programmet kun benytter sig af én car-following model, har den også et begrænset antal parametre, der kan juseres i løbet af kalibreringsprocessen. Et studie foretaget af [Hidas, 2006] har vist sig at andre car-following models kan generere mere præcise resultater end Wiedemanns. Programmet SUMO, er et open source program, hvilket gør det muligt for brugerne af programmet at implementere, optimere og viderudvikle forskellige Car-following models.

Metode 3

I indeværende afsnit vil de metoder, der er blevet benyttet til at udarbejde projektet, blive præsenteret.

3.1 Litteraturstudie

Før at projektet er påbegyndt, er der blevet foretaget en systematisk litteratursøgning, der har haft til formål at klarlægge hvad der findes af eksisterende teorier og viden indenfor trafikale mikrosimuleringsprogrammer. De i litteraturstudiet, fundne kilder med tilhørende beskrivelser kan findes i kapitel 2 på side 16.

Til litteratursøgningen er databaserne Scopus, Trid samt Vejdirektoratets Vejregler blevet anvendt.

I databaserne, er følgende søgeord anvendt:

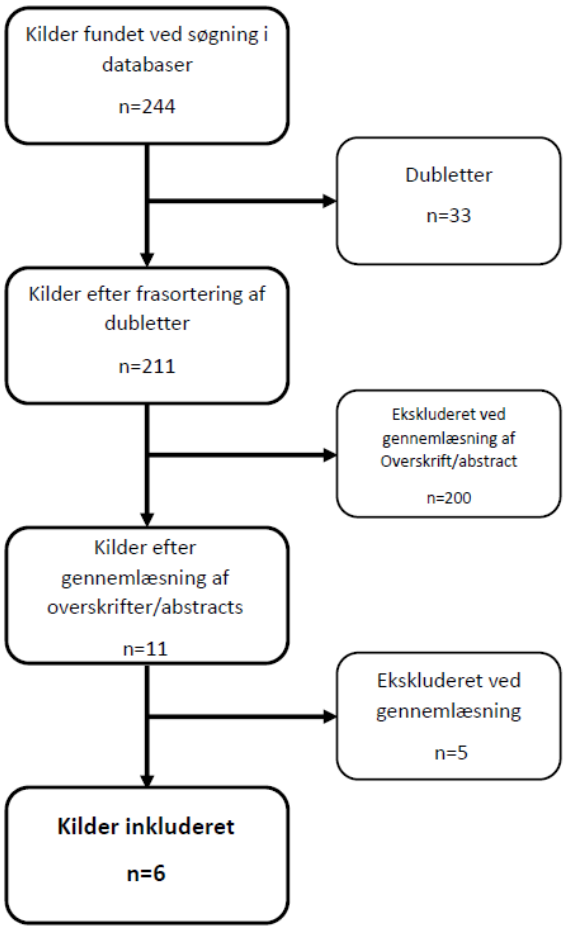
- PTV VISSIM
- VISSIM
- SUMO
- SUMO GUI
- Microsimulation
- Micro simulation
- driving behavio
- driver behavio
- Car-following model
- Queue length

Til søgningen i Scopus og Trid er boolske operatorer (AND og OR), samt trunkeringstegn blevet brugt for at indsnævre søgningen. Det totale antal resultater på baggrund af søgningen i de tre databaser er 244 kilder, som illustreret i tabel 3.1.

Tabel 3.1. Benyttede søgeord og antal resultater for anvendte databaser

Søgning	**Scopus**	**Trid**	**Vejregler**
("PTV VISSIM"OR VISSIM OR SUMO OR "SUMO GUI") AND (Microsimulation OR "Micro simulation") And ("driving behavio*"OR "driver behavio*"OR "Car-following model"OR "Queue length")	127	116	-
VISSIM	-	-	1
I Alt	244		

Udvælgelsesprocessen for valg af inkluderede kilder til litteraturstudiet er illustreret på figur 3.1.



Figur 3.1. Procedure for systematisk litteratursøgning

3.2 Dataindsamling

Indsamling af data tager udgangspunkt ved lokationen Kong Christians Alle/Hasserisgade, belliggende i Aalborg. Projektlokationen er nærmere beskrevet i afsnit 1.5 på side 13.

Det er nødvendigt for udarbejdelse af mikrosimuleringsmodellerne, at der foreligger data omhandlende signalplan, trafikmængde, rutevalgt i krydset samt kølængder.

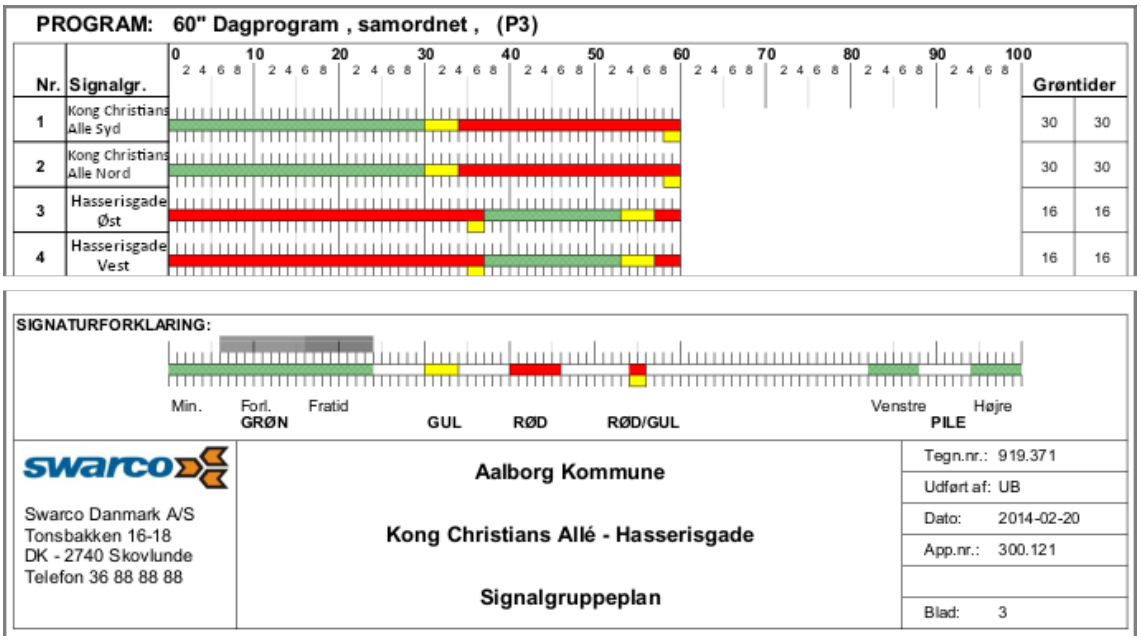
3.2.1 Signalplan

For at kunne simulere signalanlægget for krydset Kong Christians Alle/Hasserisgade, i VISSIM og SUMO, så det afspejler virkeligheden, har det været nødvendigt at kende til det/de signalprogram(mer), som signalanlægget i krydset kører efter. Signalplanen for krydset Kong Christians Alle/Hasserisgade, er udleveret af Aalborg Kommune.

Normalt er signalanlægget, som er tidsstyret, indstillet til at køre efter forskellige signalprogrammer, alt efter tiden på dagen. Der har dog i en periode været lukket af for trafikken mellem Vesterbro og Hasserisgade, grundet vejarbejde, samt en testpeiode, hvor det skulle undersøges, om trafikken på Vesterbro vil blive bedre afviklet, ved at lukke af for

Hasserisgade [Julsgaard, 2023]. Dette har betydet at signalanlægget har kørt med et andet signalprogram end normalt. Under indsamlingen af data til projektet, har Hasserisgade igen været åben til Vesterbro, men Aalborg Kommune har på dette tidspunkt ikke fået ændret signalprogrammet for signalreguleringen tilbage til dets oprindelige signalprogrammer, hvorfor at vejgrenene Hasserisgade Øst- og Vest, har haft kortere grøntider end normalt [Michael Thau, Aalborg Kommune, Telefonisk korrespondance, 04-04-2023].

Omløbstiden for krydset er 60 sekunder, og består af 8 faser, som illustreres på figur 3.2.



Figur 3.2. Signalprogram for krydset Kong Christians Alle/Hasserisgade

Figur 3.2 er afgrænset til kun at illustrere signalprogrammet for de fire vejgrene. For oversigtsplan og signalprogram for hele krydset, udleveret af Aalborg kommune, hvor også fodgængere er inkluderet, henvises til bilag A på side 61.

3.2.2 Besigtigelse af kryds

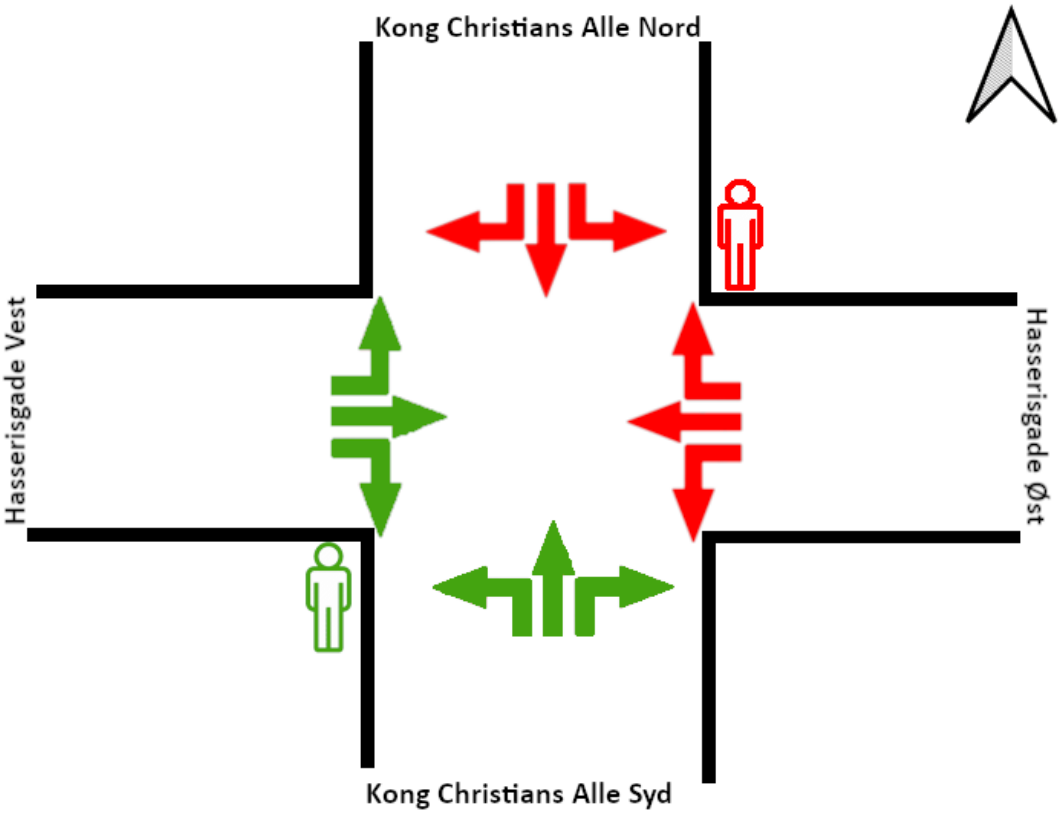
Inden at krydstællingen er foretaget, er der blevet udført besigtigelser af krydset, tirsdag d. 14-03-2023 i tidsrummene 07:30-08:00 og 16:00-16:30 samt onsdag d. 15-03-2023 i tidsrummene 08:00-08:30 og 16:30-17:00. Besigtigelserne er foretaget som forberedelse af krydstællingen, ved at give information om det pågældende kryds og dets trafikale situationer i morgenen- og eftermiddagsspidstimen, samt for at hjælpe med at identificere potentielle problemer/udfordringer, der vil kunne påvirke krydstællingen, og dens nøjagtighed.

Ved besigtigelserne blev det konkluderet at tidsrummene 07:15-08:30 og 15:45-17:00, ville være gode tidspunkter at foretage krydstællinger for henholdsvis morgen- og eftermiddagsspidstimen. Derudover blev der under besigtigelsen konkluderet at der ikke var tilstrækkelige fodgængere i krydset til at det ville have en mærkbar effekt på belastningen i krydset, hvorfor disse ikke ville blive inkluderet i krydstællingen.

3.2.3 Krydstælling

For at kunne simulere en realistisk model, er det nødvendigt at have inputdata, der afspejler virkeligheden så meget som muligt. Som tidligere nævnt, simuleres der på trafikantniveau i mikrosimuleringer, hvorfor at det er vigtigt at have kendskab til de typer af køretøjer, der benytter sig af krydset, samt deres rutevalg. På baggrund af dette, er der i krydset blevet foretaget en manuel krydstælling for henholdsvis morgen- og eftermiddagsspidstimen. Krydstællingen er foretaget i på baggrund af de retningslinjer der er opgivet af Vejdirektoratet, i deres manual for trafiktællinger [Vejdirektoratet, 2006].

Krydstællingen blev foretaget torsdag d. 16-03-2023 i tidsrummene 07:15-08:30 og 15:45-17:00. Som tidligere nævnt, foretages der tælling for 1 time og 15 minutter, da det i simuleringsfasen er nødvendigt med 15 minutters indkørende trafik for at skabe et mere realistisk billede af trafikken, under simuleringsperioden. Krydstællingen er foretaget af to personer, der hver har talt seks af de i alt 12 trafikstrømme i krydset. En skitsering af placeringen for de to tællere, samt de respektive trafikstrømme, som de hver har ansvaret for at tælle, illustreres på figur 3.3.



Figur 3.3. Illustration af opstilling for trafiktælling. Den grønne figur har ansvaret for de seks trafikstrømme kørende fra vest og syd. Den røde figur har ansvaret for de seks trafikstrømme kørende fra øst og nord.

Krydstællingen blev foretaget ved hjælp af Vejdirektoraters tælleblade, som illustreres i bilag B på side 63. Det blev bestemt at foretage krydstællingerne i 5-minutters intervaller, jævnfør vejdirektoratets anbefalinger, for at give et mere detaljeret billede af den trafikale situation.

3.2.4 Måling af kølængder

Til at sammenligne simuleringsprogrammerne VISSIM og SUMO med virkeligheden, er der i projektet valgt at sammenligne den maksimale kølængde for hver af de fire tilstødende veje til krydset. Derfor er det vigtigt at have oplysninger om, hvad de faktiske maksimale kølængder har været. Måling af kølængderne, er foretaget tordag d. 16-03-2023, på samme tidspunkter som krydstællingerne. Kølængderne blev målt i tidsrummene 07:30-08:30 og 16:00-17:00.

Målingerne blev foretaget af fire personer, der hver målte kølængden for en af de 4 veje. For at få et præcist billede af kølængderne for krydset, er de maksimale kølængder noteret i 5-minutters intervaller. En skitsering af opstillingen for de 4 tællere illustreres på figur 3.4. Resultaterne af de målte kølængder for henholdsvis eftermiddags- og morgenspidstimen, kan aflæses i tabel 3.2 og 3.3 på side 26. Fremgangsmåden for måling af kølængderne beskrives i det følgende:

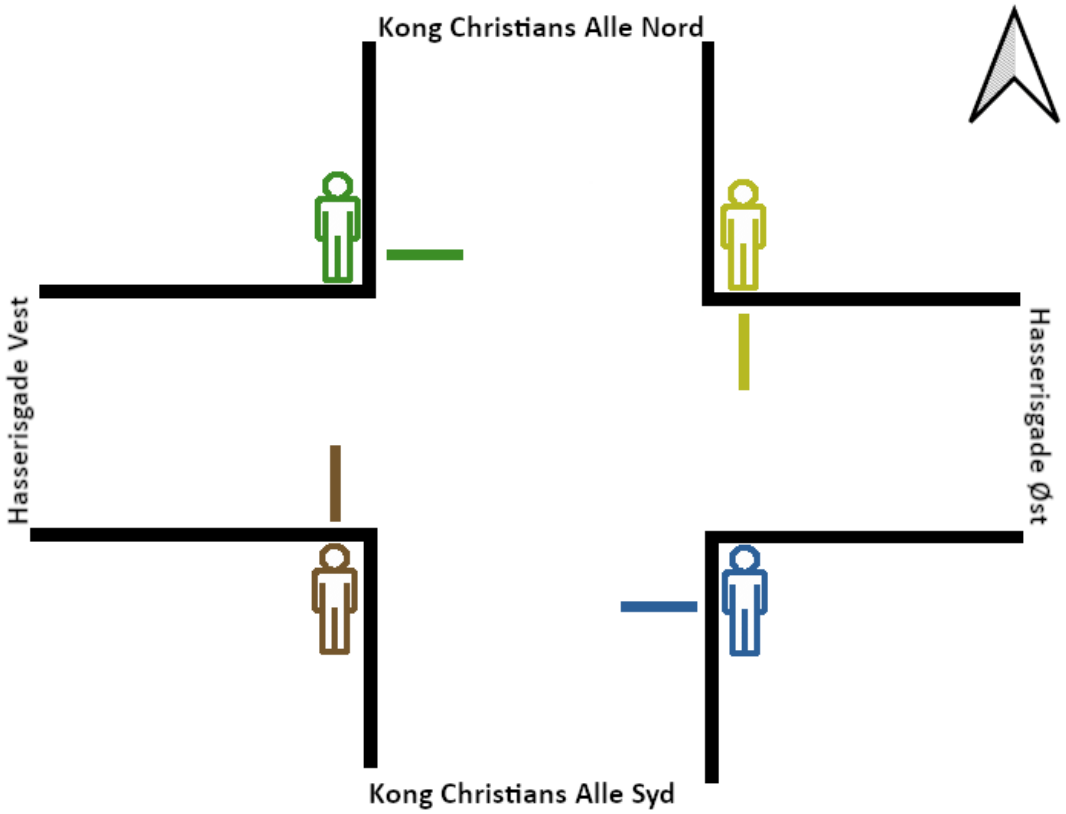
1. **Bestemmelse af GPS-startposition:**

   Hver af de fire målere, stiller sig klar ved deres startposition, som er stopstregen ved deres respektive vejgren. Når de er på plads, noteres deres startpositions GPS koordinater ved hjælp af appen GPS Tracks. [Morneault, 2023]

2. **Bestemmelse af maksimal kølængde:**

   Ved starttidspunktet for målingerne, følger hver af de 4 målere køerne fra deres respektive vejgren, i takt med at de vokser. Når der er gået 5 minutter, noteres den GPS lokation, hvortil at køerne er nået længst ud (Målt fra bagenden af bagerste køretøj). Dette trin gentages for hvert 5. minut, i løbet af tælleperioden.

En skitsering af placeringen for de fire målere, illustreres på figur 3.4. I tabel 3.2 og 3.3, er de maksimale kølængder, målt i 5-minutters intervaller for henholdsvis morgen- og eftermiddagsspidstimen angivet.



Figur 3.4. Illustration af opstilling for de 4 målere, som starter målingen udfor hver deres stopstreg ved deres respektive vejgren i krydset.

Tabel 3.2. Maksimale kølængder for de fire vejgrene for morgenspidstimen

Kl.	**Hasserisgade Vest**	**Hasserisgade Øst**	**Kong Christians Alle Nord**	**Kong Christians Alle Syd**
07:30	41	15	64	44
07:35	94	27	75	61
07:40	78	48	106	102
07:45	126	39	190	69
07:50	130	26	180	110
07:55	188	25	100	174
08:00	205	50	95	124
08:05	210	28	61	71
08:10	177	31	112	46
08:15	99	39	72	73
08:20	74	23	63	200
08:25	50	6	29	45
08:30	30	28	48	38
SUM	**1503**	**386**	**1195**	**1159**

Tabel 3.3. Maksimale kølængder for de fire vejgrene for eftermiddagsspidstimen. Det bemærkes at der er nogle tomme felter for målingerne fra Hasserisgade Vest. Dette skyldes målefejl, hvorfor disse ikke er medtaget.

Kl.	**Hasserisgade Vest**	**Hasserisgade Øst**	**Kong Christians Alle Nord**	**Kong Christians Alle Syd**
16:00	21	30	65	52
16:05	128	48	52	41
16:10	-	50	50	80
16:15	140	28	64	74
16:20	147	38	52	88
16:25	-	40	39	116
16:30	205	20	86	131
16:35	91	43	76	53
16:40	57	38	60	60
16:45	-	27	44	44
16:50	79	47	30	66
16:55	60	22	58	68
17:00	52	33	63	104
SUM	**980**	**464**	**739**	**976**

3.3 Trafikmodellering i VISSIM

I det følgende, vil det blive beskrevet hvordan at mikrosimuleringsmodellerne for morgen- og eftermiddagsspidstimen, er blevet opbygget i VISSIM. Modellernes opbygning er foretaget på baggrund af vejreglen for mikrosimuleringer [Vejdirektoratet, 2019b]

3.3.1 Modelopbygning

Til at sarte med, er et baggrundskort af projektlokationen blevet indlæst i VISSIM, og skalleret, for at sikre et nøjagtigt forhold mellem afstandene i modellen, og tilsvarende afstande i den virkelige verden. Der er herefter blevet indlagt vejsegmenter (Links), og forbindelser mellem disse (connectors), der skal sørge for at køretøjerne kan bevæge sig mellem de individuelle links. Hver link tildeles herefter en "link behavior type", der beskriver køreadfærden for de køretøjer, der befinder sig på det pågældende link. I dette tilfælde, angives der for vejene i modellen, link behavior typen "Urban Motorized", der beskriver køreadfærden for motoriserede køretøjer i bymæssig trafik. For cykelstierne, angives link behavior typen "Cycle-Track", der beskriver køreadfærden for cyklister.

Efter at modellens grundstruktur, bestående af links og connectors, er opbygget, modelleres vigepligten i lyskrydset. I indeværende projekt benyttes conflict areas, som nævnt i afsnit 1.2 på side 4 til at definere vigepligten. Conflict areas for modellen, illustreres på figur 3.6. Herefter opbygges signalreguleringen, basseret på signalplanen beskrevet i afsnit 3.2.1 på side 21.

Figur 3.5. Conflict areas til modellering af vigepligt i VISSIM

I VISSIM er det muligt at definere lokale hastighedsgrænser, også benævnt "reduced speed areas". I indeværende projekt er der indlagt lokale hastighedsgrænser i svingene i lyskrrydset, for at tage højde for den ændring i hastighed, der sker, når der sker en ændring i køreretning. I lyskrydset er der indlagt reduced speed areas i svingene. Her reduceres den ønskede hastighed fra 50 km/t til 25 km/t. De lokale hastighedsgrænser, illustreres på figur 3.6

Reduced speed areas fungerer ved at køretøjer, der nærmer sig området med reduceret hastighed, vil decelerere med en angiven værdi for deceleration (default-værdi: 2 m/s^2), så de når de ankommer til det angivne område, har opnået den ønskede hastighed. [Vejdirektoratet, 2019b]

Figur 3.6. Reduced speed areas, hvor der defineres lokale hastighedsgrænser, for at tage højde for reduceringen af hastigheder i sving.

Den talte trafik indlægges i modellen med 5-minutters interval, og ankommer med en stokastisk ankomstfordeling, for at tage højde for dag-til-dag variationer i trafikken, som beskrevet i afsnit 1.1.1 på side 4. Til indlægning af rutevalg, er metoden "static assignment"blevet benyttet, da anvendelse af denne metode anbefales ved mindre simuleringsopgaver, hvor der foreligger krydstællinger [Vejdirektoratet, 2019b]. Ved anvendelse af static assignment, defineres et et antal ruter som køretøjerne fra en given vejgren kan vælge. Valget af rute for et givent køretøj bestemmes herefter på baggrund af et relativt flow, som er beregnet for hver rute, på baggrund af den talte trafik.

For at måle de maksimale kølængder for hvert 5-minuts interval, er der i modellerne indlagt kø målere ud fra hver vejgren, der måler længden af køretøjer, når de holder stille. I indeværende projekt indstilles kø målerne til at registrere et køretøj som værende stillestående, når dens hastighed $v < 5km/t$.

En illustration af den færdige model illustreres på figur 3.7.

Figur 3.7. Færdige VISSIM model

3.4 Trafikmodellering i SUMO

I det følgende, vil det blive beskrevet hvordan at mikrosimuleringsmodellen for SUMO er blevet opbygget.

I SUMO består den modellerede mikrosimuleringsmodel af flere forskellige komponenter, i form af filer, der definerer modellens vejnet, køretøjer, rutenet og detektorfelter.

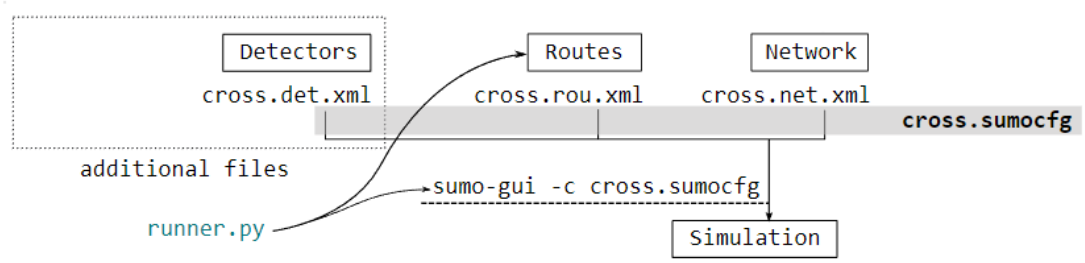
Vejnettet, som i indeværende projekt består af veje, cykelstier og lyskryds, er blevet opbygget ved hjælp af nededit - Et visuelt netværks genereringsværktøj, som er en integreret del af SUMO softwaren. På baggrund af netedit og dets funktioner, er det muligt at skabe en virkelighedstro kopi af det eksisterende vejnet. Når vejnettet er blevet defineret, gemmes det som en netværksfil.

Når netværket er defineret, laves en rutefil, hvori at modellens forskellige trafikanter, og deres køreadfærd, defineres. Herefter defineres forskellige ruter på det vejnet, der tidligere blev defineret i netfilen, som herefter tildeles de forskellige trafikanter.

I SUMO, benyttes detektorfelter i modellen, til at detektere de køretøjer, der indsættes i modellen. Detektorfelterne indstilles til at registrere, når køretøjerne holder stille, eller holder sig under en given hastighed, og bruges derved til at give information om kølængderne i siumuleringerne. Detektorfelterne gemmes som en additional fil.

Når netfilen, rutefilen og additional filen er defineret, kan de samles i en fælles fil, benævnt som en sumocfg fil. Når sumocfg filen er defineret, kan simuleringen køres i SUMO-GUI, der er et. værktøj tilknyttet SUMO, hvori at simuleringen kan visualiseres. Til at udtrække resultater fra simuleringerne i SUMO, er værktøjet TraCI (Traffic Control Interface) blevet benyttet.

På figur 3.8 illustreres det, hvilke komponenter, som mikrosimuleringsmodellen for SUMO består af.



Figur 3.8. Opbygning af mirkosimuleringsmodel i SUMO [Gao, 2017]

3.4.1 Modelopbygning

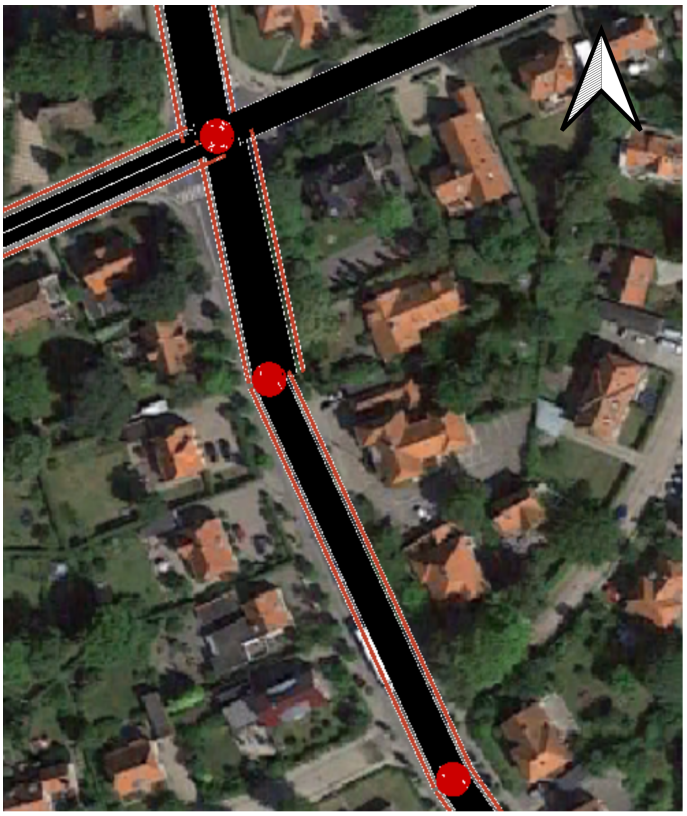
Modelopbygningen i SUMO har mange samligneligheder med modelopbygningen i VISSIM.

Som tidligere nævnt, er vejnettet i SUMO blevet opbygget ved hjælp af det visuelle netværks generingsværktøj netedit. En af fordelene ved at benytte sig af netedit, er at værktøjet gør det muligt at importere et baggrundskort, hvorpå at vejnettet kan modelleres ovenpå. Herved kan det sikres at vejnettet bliver udformet så virkelighedstro som muligt.

Efter at baggrundskortet er blevet importeret, og tilpasset, kan vejnettet modelleres. Vejnettet, består i SUMO af nøglekomponenterne junctions (forbindelsespunkter), edges (vejsegmenter) og connections (forbindelser mellem vejsegmenter).

Junctions (forbindelsespunkter), er punkter, der definerer, hvor forskellige edges (vejsegmenter) mødes. Junktions kan eksempeltvis placeres, når der sker et retningsskift i vejnettet, eller hvor flere vejsegmenter skal interferere. Eksempelvis kan en junktion fungere som en signalregulering, som det gør sig gældende i modellen for projektet.

En illustration af nogle junctions for modellen, illustreres på figur 3.9. Her ses 3 junctions, i form af røde cirkler, der forbinder forskellige edges (vejsegmenter). Den øverste junction, er bindeled mellem de fire veje i modellen, og defineres i netedit som en signalregulering. Denne er indstillet til at køre efter signalprogram P3, som beskrevet i afsnit 3.2.1 på side 21.

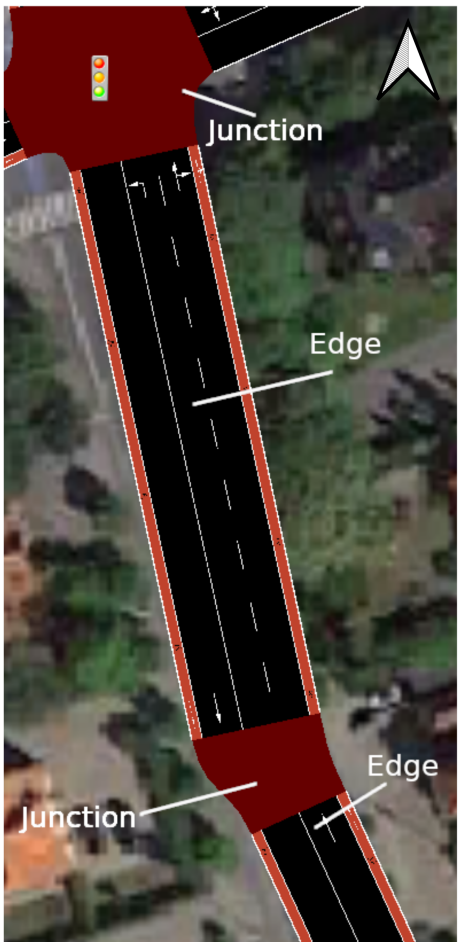


Figur 3.9. Junctions - Punkter, der forbinder modellens vejsegmenter

Edges (vejsegmenter) repræsenterer de faktiske veje, mellem junctions, som køretøjerne i modellen skal bevæge sig på. Edges spiller en vigtig rolle i forhold til at definere modellens vejstruktur, tilladte hastigheder, samt tilladte køretøjstyper på de forskellige veje.

I projektet, er samtlige edges udformet, så de representerer det faktiske vejnet så meget som muligt. Vejbredden af de forskellige kørespor er blevet opmålt ved hjælp af google maps, hvorefter at modellens vejsegmenter er blevet tildelt deres respektive vejbredder. Ved samtlige af modellens edges, er det desuden blevet defineret, den maksimale hastighed, som køretøjerne må køre (Denne er sat til den skiltede hastighed, som er 50 km/t), samt hvilke køretøjer, der må befinde sig på de forskellige vejsegmenter.

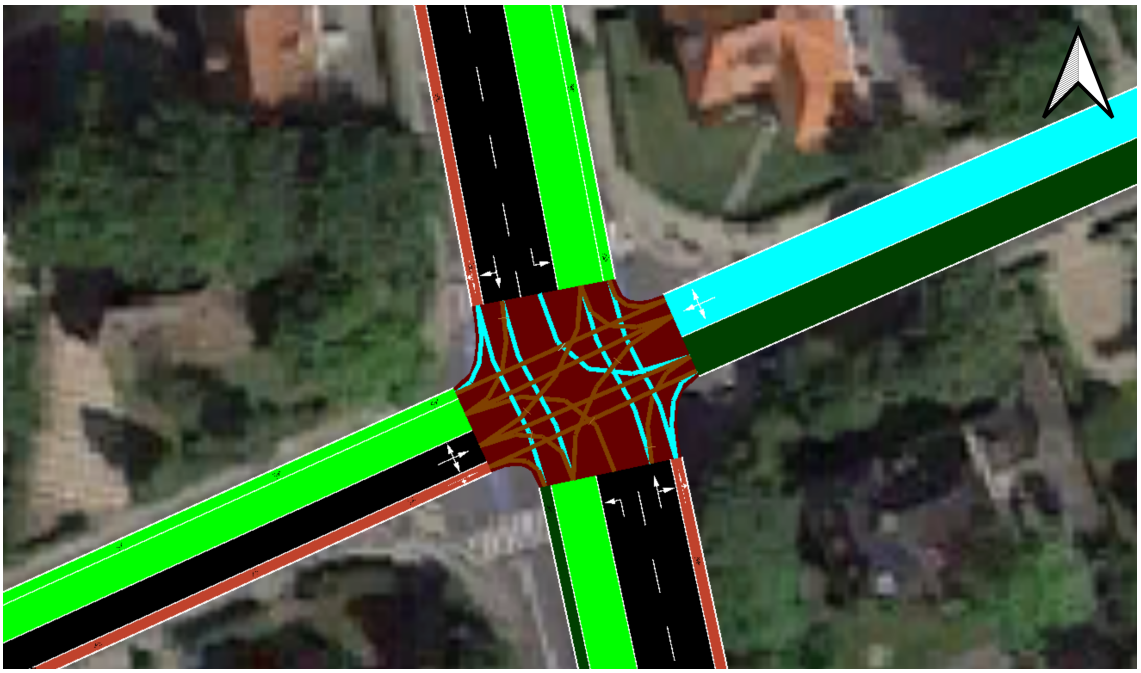
Et eksempel på edges i modellen, illustreres på figur 3.10. Her er det den del af Kong Christians Alle syd, der leder op mod lysreguleringen, der illustreres. Det bemærkes at der fra syd er én edge, udformet som en toporet vej, med en seperat cykelsti. Herefter ændrer vejen retning, samt at der bliver tilføjet en venstresvingsbane, hvorfor at en ny edge bliver modelleret.



Figur 3.10. Edges - vejsegmenter, placeret mellem junctions, der repræsenterer det faktiske vejnet

Efter at vejnettet, bestående af junctions og edges, er blevet opbygget, kan det defineres, hvilke edges, som modellens køretøjer kan køre i mellem. Dette defineres ved hjælp af connections.

Et eksempel på connections i modellen, illustreres på figur 3.11. Her er det connections for Hasserisgade øst, der bestemmes. Hasserisgade øst er på figuren markeret med turkisblå. Køretøjer kommende fra denne vej, skal kunne dreje til højre ad Kong Christians Alle Nord, køre ligeud ad Hasserisgade Vest, samt dreje til venstre ad Kong Christians Alle Syd. Disse veje, markeret med grøn, vælges derfor som connection for Hasserisgade Øst.



Figur 3.11. Connections - Forbinder edges, og angiver hvordan trafikken kan bevæge sig på vejnettet

Det færdige vejnet, bestående af junctions, edges og connections, illustreres på figur 3.12

Figur 3.12. Modellens vejnet, bestående af junctions, edges og connections, visualiseret i netedit

Når netværket er blevet opbygget, kan modellens køretøjer, deres rutevalg og køreadfærd defineres i rutefilen. Rutefilen indeholder definitionerne af forskellige typer af køretøjer, der ønskes at være en del af modellen. Hvert køretøj har visse standardparametre, såsom størrelse, acceleration, deceleration og maksimal hastighed, der er angivet som

standardværdier. Disse parametre kan ændres senere for hvert individuelt køretøj, hvis det er nødvendigt. [Lopez et al., 2018] Efter at køretøjerne, der ønskes at være en del af modellen, er blevet defineret, specificeres de ruter, som køretøjerne kan vælge at tage. For at tage højde for dag-til-dag variationer i trafikken, benyttes der en poissonfordeling, til at beskrive køretøjernes ankomstfordeling. [Vejdirektoratet, 2019b]

Til sidst defineres additional filen. I additional filen, defineres positionen af de detektorfelter, der skal måle kølængderne i simuleringen. Ligesom i VISSIM, registrerer detektorfeltet et køretøj som værende stillestående, når dens hastighed $v < 5km/t$.

3.5 Simulering

Efter at modellerne for henholdsvis VISSIM og SUMO er opbygget, og inputs i form af talt trafik samt rutevalg er indtastet, kan simuleringerne køres, og den fornødne data, i form af maksimale kølængder, for hvert 5-minutters interval kan indsamles. Inden at simuleringerne køres, er der dog nogle tekniske parametre, der skal indstilles, for at sikre at der opnås pålidelige resultater. [Vejdirektoratet, 2019b]

Størrelse af tidsskridt
Størrelsen af tidsskridt indikerer hvor ofte at køretøjers position i en given simulering opdateres. Jo mindre et tidsskridt, desto mere nøjagtig bliver de resultater man får ud af simuleringen. Det skal dog noteres at mindre tidsskridt betyder at der skal bruges mere computerkraft, hvorfor at simuleringerne tager længere tid, end ved simuleringer, der bruger større tidsskridt. [Vejdirektoratet, 2019b]

I indeværende projekt vælges det at simuleringerne foretages med det mindst mulige tidsskridt på 0,1, for at få så nøjagtige resultater som muligt. Ved tidsskridt på 0,1 vil det sige at køretøjerne i simuleringerne opdaterer deres position 10 gange i sekundet. [Vejdirektoratet, 2019b]

Tilfældighedsgenerator (Random seeds)
Når en mikrosimuleringsmodel skal simuleres over flere gange, er det vigtigt at der ikke simuleres med samme seed, som beskrevet i afsnit 1.1.1 på side 4. Hvis en given model simuleres x antal gange, er det af stor betydning at seed-værdien varierer for hver ny simulering, for ikke at få de samme resultater. I VISSIM og SUMO tages dette højde for ved at benytte sig af en tilfældighedsgenerator. Tilfældighedsgeneratoren sørger for at der ved hver ny simuleringssekvens for en given model, benyttes en ny seed-værdi, for at tage højde for dag-til-dag variaionen i trafikken. [Vejdirektoratet, 2019b]

Antal repetitioner af model
Når man analyserer en kritisk variabel, der i dette tilfælde er den maksimale kølængde, ved hjælp af en stokastisk model, er der en risiko for, at det resultat, der opnås fra én enkelt simulation, ligger langt fra den faktiske gennemsnitlige værdi for den pågældende observerede variabel. For at få indblik i fordelingen af resultaterne for disse kritiske variable, herunder en estimering af deres middelværdi, skal man gentage simuleringen flere gange. [Vejdirektoratet, 2019b]

For at tage højde for variationen af simuleringens resultater, er det nødvendigt at

gentage simuleringen et vis antal gange (Med forskellige seed-værdier, for ikke at få de samme resultater). I vejreglen for mikrosimuleringer, anbefales det at en simulation gentages minimum 10-20 gange, for at tage højde for variationen af simuleringens resultater. [Vejdirektoratet, 2019b] Ved kalibrering af mirkosimuleringsmodellerne, tages der udgangspunkt i denne anbefaling, hvorfor en given simulering gentages 15 gange.

Man kan midlertidig også estimere det nødvendige mindste antal repitationer, der skal foretages af en simulering, for at opnå en fornøden sikkerhed af simuleringens resultater. [Vejdirektoratet, 2019b] Denne metode benyttes til at beregne det mindste antal gentagelser, der skal foretages for hver simuleringsmodel, efter at de er færdigkalibrerede, og er videre beskrevet i afsnit 4.

3.6 Kalibrering

De fire færdige modeller (Morgen- og eftermiddagsspidstimen modelleret i VISSIM og SUMO), skal kalibreres med henblik på at justere deres parametre så de afspejler virkeligheden bedst muligt. Til kalibrering af simuleringsmodellerne i indeværende projekt, tages der udgangspunkt i anbefalede parametre angivet i vejreglen for mikrosimuleringer [Vejdirektoratet, 2019b].

Kalibreringsprocessen indebærer gentagne simuleringer af en given model. Hver simulering udføres 15 gange med forskellige seed-værdier, som sikrer variation i resultatet. Under hver simulering registreres den maksimale kølængde for hvert 5-minutters interval i spidstimen for hver af de fire vejgrene for projektlokationen.

Efter hver simulering summeres de maksimale kølængder for hvert 5-minutters interval på hver vejgren i den samlede måleperiode. Dette giver en samlet værdi for kølængden på hver vejgren i simuleringen.

Når alle simuleringerne er gennemført, beregnes gennemsnittet af de summerede kølængder for hver vejgren. Disse gennemsnitsværdier bruges til at sammenligne med de observerede kølængder.

For at vurdere modellens nøjagtighed beregnes den procentvise forskel mellem de simulerede og observerede kølængder. Forskellene viser, hvor meget de simulerede resultater afviger fra de faktiske observationer. I indeværende projekt antages en model at være fuldt kalibreret, hvis den procentvise forskel mellem de simulerede og observerede kølængder er mindre end 20%. Hvis forskellen er større end 20%, skal modellen forsøges yderligere kalibreret. For en mere detaljeret gennemgang af hvordan kalibreringerne er udført i indeværende projekt, henvises der til bilag C på side 65.

Kalibreringprocessen er gennemført på baggrund af "trial and error"metoden. [Vejdirektoratet, 2019b]. Ved denne metode eksperimenteres der ved at ændre på én parameter ad gangen. Når parameteren er ændret, foretages der en simulering med 15 forskellige seed-værdier, og resultaterne analyseres og sammenholdes med de observerede kølængder. Hvis kalibreringen med den pågældende værdi, fører hen mod det ønskede resultat, fortsættes der med ændring af denne, indtil at det ønskede resultat er opnået.

3.6.1 Kalibreringprocess for VISSIM

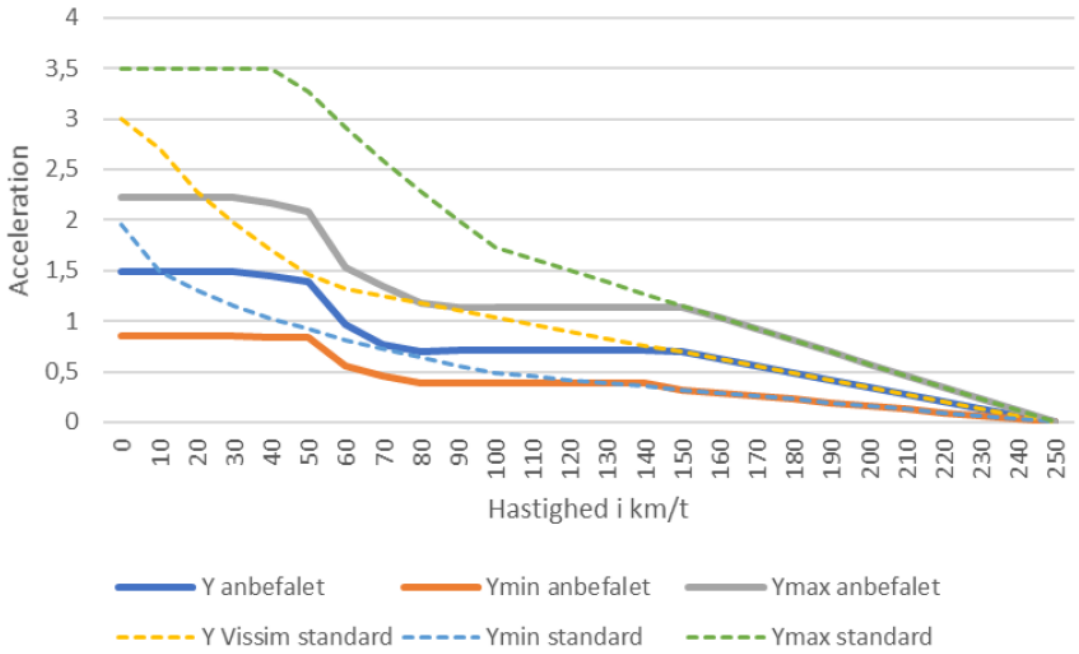
Til kalibrering af modellerne opbygget i VISSIM, er der taget udgangspunkt i parameterværdier, angivet i Vejreglen for mikrosimuleringer [Vejdirektoratet, 2019b]. I det følgende, vil det blive beskrevet, hvilke parametre, der i kalibreringsprocessen for VISSIM modellerne er blevet ændret, for at få de fornødne resultater.

Number of interaction objects

I VISSIM, beskriver denne parameter, det mindste antal af objekter i modellen, såsom stoplinjer og andre køretøjer, som et køretøj skal kunne reagerer på. I vejreglen for mikrosimulering, anbefales det at ændre denne værdi fra dens defaultværdi på 2, til 4. [Vejdirektoratet, 2019b]

Ønskede acceleration

I VISSIM tilpasser køretøjerne sig en given hastighed ved at accelerere og decelerere med et sæt accelerations- og decelerationsparametre, der er knyttet dertil. I vejreglen for mikrosimuering, er der angivet et sæt anbefalede accelerationsværdier, der er knyttet til et sæt givne hastigheder. Disse accelerationsparametre illustreres på figur 3.13, sammen med default parametrene for VISSIM.



Figur 3.13. Anbefalede værdier og standardindstillinger for ønskede acceleration for personbiler [Vejdirektoratet, 2019b]

På baggrund af trial and error metoden, konkluderes det at de anbefalede værdier for den ønskede acceleration, er for små i forhold til det ønskede resultat. Default parametrene for VISSIM er derimod for store, hvorfor at der er fundet værdier, der ligger i mellem disse. De ønskede accelerationsparametre for morgen- og eftermiddagsspidstimen, er angivet i henholdsvis tabel 3.4 og 3.5. Y, angiver den ønskede acceleration, Ymin angiver den mindst mulige acceleration og Ymax angiver den maksimale acceleration. Ændring af

accelerationsparametrene, er kun foretaget for biler og varebiler, da værdierne knyttet til figur 3.5, kun knytter sig til dem..

Tabel 3.4. Ønskede accelerationsparametre for trafikken i morgenspidstimen i VISSIM

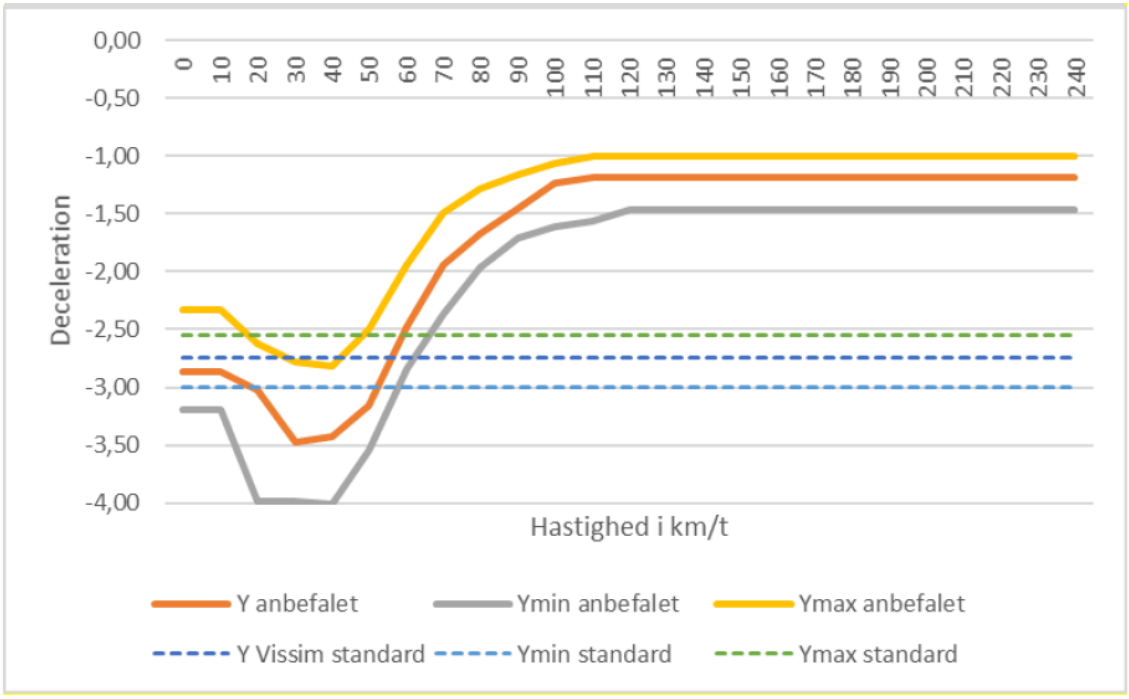
Hastighed	**Y [m/s^2]**	**Ymin [m/s^2]**	**Ymax [m/s^2]**
0 km/t	2,20	0,85	3,00
10 km/t	2,20	0,85	2,75
20 km/t	2,20	0,85	2,50
30 km/t	1,90	0,85	2,25
40 km/t	1,90	0,85	2,24
50 km/t	1,90	0,85	2,20

Tabel 3.5. Ønskede accelerationsparametre for trafikken i eftermiddagsspidstimen i VISSIM

Hastighed	**Y [m/s^2]**	**Ymin [m/s^2]**	**Ymax [m/s^2]**
0 km/t	2,00	1,35	3,00
10 km/t	2,20	1,35	2,75
20 km/t	2,20	1,35	2,50
30 km/t	1,90	1,35	2,25
40 km/t	1,90	1,35	2,24
50 km/t	1,90	1,35	2,20

Ønskede deceleration

Ligesom for den ønskede acceleration, foreligger der også anbefalede værdier for den ønskede deceleration, som illustreres på figur 3.14. På baggrund af trial and error metoden konkluderes det at benytte de, i vejreglen for simulering, anbefalede ønskede decelerationsparametre. De ønskede decelerationsparametre for morgen- og eftermiddagsspidstimen, er angivet i tabel 3.6. Ændring af decelerationsparametrene, er kun foretaget for biler og varebiler, da værdierne knyttet til figur 3.6, kun knytter sig til dem.



Figur 3.14. Anbefalede værdier og standardindstillinger for ønskede deceleration for personbiler [Vejdirektoratet, 2019b]

Tabel 3.6. Ønskede decelerationsparametre for morgen- og eftermiddagsspidstimen

Hastighed	**Y [m/s^2]**	**Ymin [m/s^2]**	**Ymax [m/s^2]**
0 km/t	-2,87	-3,20	-2,50
10 km/t	-2,87	-3,20	-2,50
20 km/t	-3,00	-3,90	-2,60
30 km/t	-3,48	-3,90	-2,75
40 km/t	-3,40	-4,00	-2,70
50 km/t	-3,00	-3,50	-2,40

Standstill distance

Standstill distance, henviser til den ønskede distance mellem to stillestående køretøjer. I vejreglen for simuleringer anbefales det at sætte denne værdi til 2,5 meter. Ved simuleringer med en standstill distance på 2,5 meter i indeværende projekt, bliver køerne meget lange i forhold til virkeligheden. For at opnå mere realistiske resultater er det valgt at sænke værdien for standstill distance til 1 meter. Denne ændring har vist sig at give bedre resultater i simuleringen af bytrafikken, hvor køretøjerne holder tættere.

Grøntid

Ud fra de grafiske illustrationer for trafiktællingerne i bilag B på side 63, ses det at der fra Hasserisgade Vest og Hasserisgade Øst, er en stor mængde venstresvingende trafik, både om morgenen og eftermiddagen. På grund af vigepligtreglerne er disse køretøjer nødt til at holde tilbage for ligeudkørende trafik, hvilket resulterer i opstuvning fra vest.

I VISSIM kører køretøjerne mindre aggresivt, end hvad der blev observeret under inspektionen af krydset. Dette ses blandt andet i VISSIM, når signalet skifter fra rødt til gult. Her stopper køretøjerne meget hurtigt end de gør i virkeligheden. For at simulere en mere realistisk og aggressiv kørsel for trafikken, er det derfor valgt at foretage nogle ændringer.

Der er i projektet forsøgt med at ændre noget af gultiden for henholdsvis Hasserisgade Vest og Hasserisgade Øst, til grøntid, for at simulere en større villighed til at køre overfor gul, for trafikanterne. På baggrund af forskellige forsøg, konkluderes det at ændring af gultiden ikke har en synderlig effekt på nedbringelse af kølængden for Hasserisgade Øst. Det har dog vist sig at det har en betydelig effekt for nedbringelsen af kølængden for Hasserisgade Vest, hvis 2 af 4 sekunders gultid, ændres til grøntid, hvorfor dette er gjort både for morgen- og eftermiddagsspidstimen.

3.6.2 Kalibrering for SUMO

Ligesom for VISSIM, er der i SUMO blevet ændret på parametre for acceleration, deceleration, afstand mellem stillestående køretøjer, samt ændring af gultid til grøntid. Forskellen er dog at hvor en ændring af en parameter, såsom acceleration, i I'VISSIM, påvirker alle køretøjer i hele modellen. I SUMO har det været muligt at ændre på parametrene, så de kan tilpasses køretøjerne fra de forskellige vejgrene, individiuelt.

Acceleration

Accelerationsparameteren, beskriver et køretøjs maksimale accelerationsevne i SUMO. Defaultværdien i SUMO er 2,6 m/s^2 for biler og varebiler. På baggrund af trial and error metoden er det bestemt at ændre på accelerationsværdierne for Kong Christians Alle Nord og Kong Christians Alle Syd, for både morgen- og eftermiddagsspidstimen, som angivet i tabel 3.7 og 3.8. Ændring af accelerationsværdierne er foretaget for biler og varebiler.

Tabel 3.7. Accelerationsparametre for morgenspidstimen

Vejgren	**a_max [m/s^2]**
Kong Christians Alle Nord	1,6
Kong Christians Alle Syd	1,5
Hasserisgade Øst	Default-værdi
Hasserisgade Vest	Default-værdi

Tabel 3.8. Accelerationsparametre for eftermiddagsspidstimen

Vejgren	**a_max [m/s^2]**
Kong Christians Alle Nord	1,3
Kong Christians Alle Syd	1,4
Hasserisgade Øst	Default-værdi
Hasserisgade Vest	Default-værdi

Deceleration

Decelerationsparameteren, beskriver et køretøjs maksimale decelerationsevne i SUMO. Defaultværdien i SUMO er -4,5 m/s^2 for biler og varebiler. På baggrund af trial and error metoden er det bestemt at ændre på decelerationsværdierne for Kong Christians Alle Nord og Kong Christians Alle Syd, for både morgen- og eftermiddagsspidstimen, som angivet i tabel 3.9. Ændring af decelerationsværdierne er foretaget for biler og varebiler.

Tabel 3.9. Decelerationsparametre for Morgen- og eftermiddagsspidstime

Vejgren	**Decel [m/s^2]**
Kong Christians Alle Nord	4,0
Kong Christians Alle Syd	4,0
Hasserisgade Øst	Default-værdi
Hasserisgade Vest	Default-værdi

minGap

I SUMO, beskriver minGap, den mindste afstand, der skal holdes til et forankørende køretøj. Default-værdien for minGap er i SUMO 2,5 meter for alle køretøjer. Da minGap betegner den mindste afstand mellem køretøjer, påvirker den også den afstand der er mellem stillestående køretøjer. På baggrund af trial and error metoden, er følgende værdier for minGap bestemt for henholdsvis morgen- og eftermiddagsspidstimen i SUMO, som vist i tabel 3.10 og 3.11. Ændring af værdierne for minGap er foretaget for alle motordrevne køretøjer i modellerne.

Tabel 3.10. minGap for morgenspidstime

Vejgren	**minGap [m]**
Kong Christians Alle Nord	Default
Kong Christians Alle Syd	3,0
Hasserisgade Øst	1,0
Hasserisgade Vest	1,0

Tabel 3.11. minGap for eftermiddagsspidstime

Vejgren	**minGap [m]**
Kong Christians Alle Nord	Default
Kong Christians Alle Syd	3,0
Hasserisgade Øst	Default
Hasserisgade Vest	1,0

Grøntid

Ligesom i VISSIM, kører køretøjerne mindre aggressivt, end de gør i virkeligheden. Der tages ligeledes højde for dette ved kalibrering af SUMO modellerne, ved at ændre noget af gultiden, til grøntid. I SUMO, konkluderes det denne ændring både har en betydning for Hasserisgade Vest og Hasserisgade Øst. Det vælges derfor at ændre 2 sekunder af 4 sekunders gultid, til grøn for Hasserisgade Øst i morgenspidstimen, og det samme for Hasserisgade Vest i Eftermiddagsspidstimen.

3.7 Sammenligning af modeller og virkelighed

Efter at de fire modeller er blevet kalibreret, beregnes det mindste antal gange, de skal simuleres for at der opnås en fornøden sikkerhed i fastlæggelse af modellernes resultater. [Vejdirektoratet, 2019b] I indeværende projekt simuleres der 200 gange pr. simuleringsmodel, for at der opnås de fornødne sikkerheder i resultater. For en mere detaljeret gennemgang af hvordan dette er blevet bestemt, henvises der til bilag D på side 67.

Efter at der for hver model er gennemført 200 simuleringer, bestemmes der for hver model, den gennemsnitlige maksimale kølængde for hver af de fire vejgrene, ved hvert 5-minutters interval for henholdsvis morgen- og eftermiddagsspidstimen. De maksimale kølængder for henholdsvis VISSIM og SUMO vil herefter blive sammenlignet med de observerede kølængder.

Resultater 4

I indeværende afsnit, vil projektets resultater, blive præsenteret. Til at starte med vil resultaterne for kalibreringsprocessen af de forskellige modeller blive præsenteret. Herefter vil modellernes resultater i form af maksimale kølængder for hver af de fire vejgrene, blive sammenlignet med de maksimale observerede kølængder.

4.1 Kalibrering af modeller

I det følgende, vil resultaterne af kalibreringsporcessen for morgen- og eftermiddagsspidstimen, for henholdsvis VISSIM og SUMO, blive præsenteret. I tabellerne vil vil den relative procentvise forskel mellem de observerede og simulerede kølængder enten være markeret med rød eller grøn. Hvis forskellen er større end 20%, er kravet for kalibreringen ikke opfyldt, hvorfor at der markeres med rød. Hvis forskellen er mindre end 20%, er kravet for kalibreringen opfyldt, og der markeres med grøn.

4.1.1 Morgenspidstime VISSIM

I tabel 4.1 og 4.2, er den relative procentvise forskel mellem de observerede maksimale kølængder, og i VISSIM, maksimale simulerede kølængder, henholdsvis før og efter kalibreringen, angivet.

Kalibreringsprocessen er foretaget på baggrund af fremgangsmåden beskrevet i afsnit 3.6 på side 34. Før kalibreringen ses det at samtlige af kølængderne, simuleret i VISSIM, afviger i forhold til de observerede kølængder. Særligt den simulerede trafik, kørende fra Øst og Syd, ser ud til at skabe store kapacitetsmæssige problemer.

Efter at kalibreringsprocessen er foretaget, er summen af de simulerede kølængder for Hasserisgade Vest og Kong Christians Alle syd, næsten identiske med summen af de observerede kølængder for disse vejgrene. Det har i løbet af kalibreringsprocessen ikke været mulig at få de simulerede kølængder for Hasserisgade Øst og Kong Christians Alle Nord, til at passe med de observerede.

Tabel 4.1. Før kalibrering

	Hasserisgade Vest	**Hasserisgade Øst**	**Kong Christians Alle Nord**	**Kong Christians Alle Syd**
Observerede [m]	1503	386	1195	1159
VISSIM [m]	1035	3496	933	2959
Forskel [%]	-31	806	-22	155

Tabel 4.2. Efter kalibrering

	Hasserisgade Vest	Hasserisgade Øst	Kong Christians Alle Nord	Kong Christians Alle Syd
Observerede [m]	1503	386	1195	1159
VISSIM [m]	1548	2140	780	1136
Forskel [%]	**3**	**454**	**-35**	**-2**

4.1.2 Eftermiddagsspidstime VISSIM

I tabel 4.3 og 4.4, er den relative procentvise forskel mellem de observerede maksimale kølængder, og i VISSIM, maksimale simulerede kølængder, henholdsvis før og efter kalibreringen, angivet.

Kalibreringsprocessen er foretaget på baggrund af fremgangsmåden beskrevet i afsnit 3.6 på side 34. Ligesom for morgenspidsstimen, ses det her at samtlige af de siumulerede kølængder, afviger i forhold til de observerede kølængder.

Efter at kalibreringsprocessen er foretaget, er summen af de simulerede kølængder for Hasserisgade Vest og Kong Christians Alle syd, næsten identiske med summen af de observerede kølængder for disse vejgrene. Det har i løbet af kalibreringsprocessen ikke været mulig at få de simulerede kølængder for Hasserisgade Øst og Kong Christians Alle Nord, til at passe med de observerede.

Tabel 4.3. Før kalibrering

	Hasserisgade Vest	Hasserisgade Øst	Kong Christians Alle Nord	Kong Christians Alle Syd
Observerede [m]	980	464	739	976
VISSIM [m]	2572	2526	577	1200
Forskel [%]	**162**	**444**	**-22**	**23**

Tabel 4.4. Efter kalibrering

	Hasserisgade Vest	Hasserisgade Øst	Kong Christians Alle Nord	Kong Christians Alle Syd
Observerede [m]	980	464	739	976
VISSIM [m]	983	1782	488	1051
Forskel [%]	**0**	**284**	**-34**	**8**

4.1.3 Morgenspidstime SUMO

I tabel 4.5 og 4.6, er den relative procentvise forskel mellem de observerede maksimale kølængder, og i SUMO, maksimale simulerede kølængder, henholdsvis før og efter kalibreringen, angivet.

Kalibreringsprocessen er foretaget på baggrund af fremgangsmåden beskrevet i afsnit 3.6 på side 34. Før kalibreringen ses det at samtlige af kølængderne, simuleret i VISSIM, afviger i forhold til de observerede kølængder. Særligt den simulerede trafik, kørende fra øst, ser ud til at skabe store kapacitetsmæssige problemer.

Efter at kalibreringsprocessen er foretaget, afviger summen af de simulerede kølængder for Hasserisgade Vest, Hasserisgade Øst og Kong Christians Alle syd, meget lidt i forhold til de observerede kølængder for disse vejgrene. Det har i løbet af kalibreringsprocessen ikke været mulig at få de simulerede Kong Christians Alle Nord, til at passe med de observerede.

Tabel 4.5. Før kalibrering

	Hasserisgade Vest	**Hasserisgade Øst**	**Kong Christians Alle Nord**	**Kong Christians Alle Syd**
Observerede [m]	1503	386	1195	1159
SUMO [m]	2835	1518	697	590
Forskel [%]	89	293	-42	-49

Tabel 4.6. Efterkalibrering

	Hasserisgade Vest	**Hasserisgade Øst**	**Kong Christians Alle Nord**	**Kong Christians Alle Syd**
Observerede [m]	1503	386	1195	1159
SUMO [m]	1725	441	857	1049
Forskel [%]	15	14	-28	-9

4.1.4 Eftermiddagsspidstime SUMO

I tabel 4.7 og 4.8, er den relative procentvise forskel mellem de observerede maksimale kølængder, og i SUMO, maksimale simulerede kølængder, henholdsvis før og efter kalibreringen, angivet.

Kalibreringsprocessen er foretaget på baggrund af fremgangsmåden beskrevet i afsnit 3.6 på side 34. Før kalibreringen ses det at samtlige af kølængderne, på nær kølængderne fra Hasserisgade Øst, simuleret i VISSIM, afviger i forhold til de observerede kølængder. Særligt den simulerede trafik, kørende fra vest, ser ud til at skabe store kapacitetsmæssige problemer.

Efter at kalibreringsprocessen er foretaget, afviger summen af de simulerede kølængder for Hasserisgade Vest, Hasserisgade Øst og Kong Christians Alle syd, meget lidt i forhold til de observerede kølængder for disse vejgrene. Det har i løbet af kalibreringsprocessen ikke været mulig at få de simulerede Kong Christians Alle Nord, til at passe med de observerede.

Tabel 4.7. Før kalibrering

	Hasserisgade Vest	**Hasserisgade Øst**	**Kong Christians Alle Nord**	**Kong Christians Alle Syd**
Observerede [m]	980	464	739	976
SUMO [m]	2570	412	469	626
Forskel [%]	**162**	**-11**	**-37**	**-36**

Tabel 4.8. Efter kalibrering

	Hasserisgade Vest	**Hasserisgade Øst**	**Kong Christians Alle Nord**	**Kong Christians Alle Syd**
Observerede [m]	980	464	739	976
SUMO [m]	896	434	483	1022
Forskel [%]	**-9**	**-6**	**-35**	**5**

4.2 Sammenligning af modeller og virkelighed

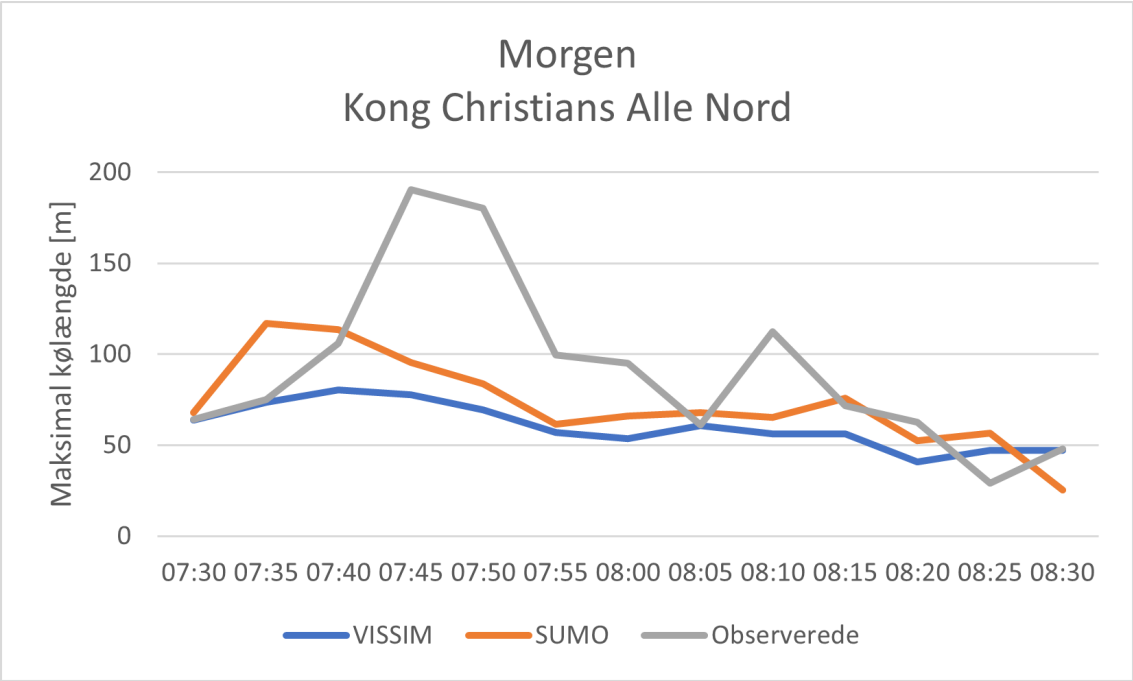
Som tidligere nævnt, vil modellerne for VISSIM og SUMO, efter at de er blevet kalibrereret, blive simuleret 200 gange, med henblik på, for hver model, at bestemme de gennemsnitlige maksimale kølængder for hver af de fire vejgrene, ved hvert 5-minutters interval for henholdsvis morgen- og eftermiddagsspidstimen.

I det følgende vil disse resultater blive præsenteret, og sammenlignet med de observerede kølængder, for at bestemme, hvilke modeller, der simulerer de mest virkelighedstrio situationer.

4.2.1 Morgen

Kong Christians Alle Nord

Sammenligning af de simulerede og observerede kølængder, for vejgrenen Kong Christians Alle Nord, illustreres på figur 4.1. Værdierne af de maksimale kølængder for hvert 5-minutters interval, er angivet i tabel 4.9. Ud fra resulaterne konkluderes det at hverken VISSIM eller SUMO, har været i stand til at simulere resultater, der afspejler de virkelige forhold for denne vejgren i morgenspidstimen. Dette var også forventeligt på baggrund resultaterne for kalibreringsprocessen.



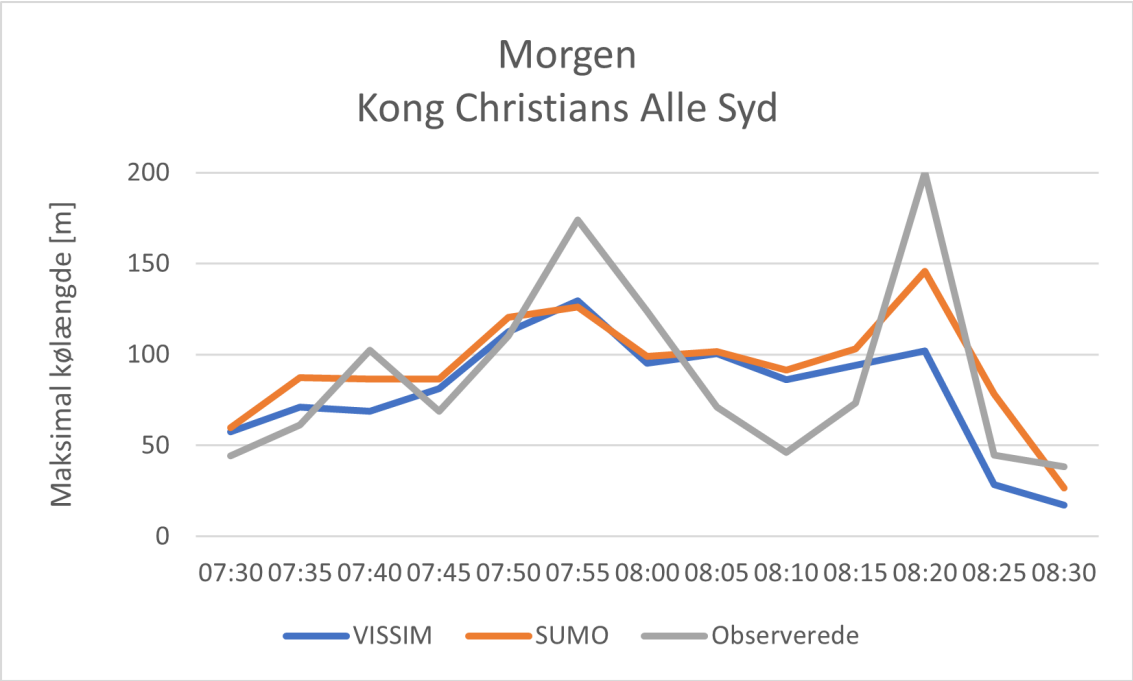
Figur 4.1. Sammenligning af simulerede og observerede kølængder for Kong Christians Alle Nord i morgenspidstimen

Tabel 4.9. Sammenligning af simulerede og observerede kølængder for Kong Christians Alle Nord i morgenspidstimen

Kl.	**07:30**	**07:35**	**07:40**	**07:45**	**07:50**	**07:55**	**08:00**	**08:05**	**08:10**	**08:15**	**08:20**	**08:25**	**08:30**
Observerede [m]	64	75	106	190	180	100	95	61	112	72	63	29	48
VISSIM [m]	64	74	80	78	69	57	53	61	56	56	41	47	47
SUMO [m]	68	117	113	95	84	61	66	68	65	76	53	57	25

Kong Christians Alle Syd

Sammenligning af de simulerede og observerede kølængder, for vejgrenen Kong Christians Alle Syd, illustreres på figur 4.2. Værdierne af de maksimale kølængder for hvert 5-minutters interval, er angivet i tabel 4.10. Ud fra resulaterne konkluderes det at både VISSIM og SUMO, har været i stand til at simulere resultater, der afspejler de virkelige forhold for denne vejgren i morgenspidstimen nogenlunde, på nær ved tidsintervallet 07:55-08:20. Her sker der nogle meget kraftige stigninger og fald ved de observerede kølængder. I samme tidsinterval, er der en mere jævn fordeling af kølængderne for VISSIM og SUMO.



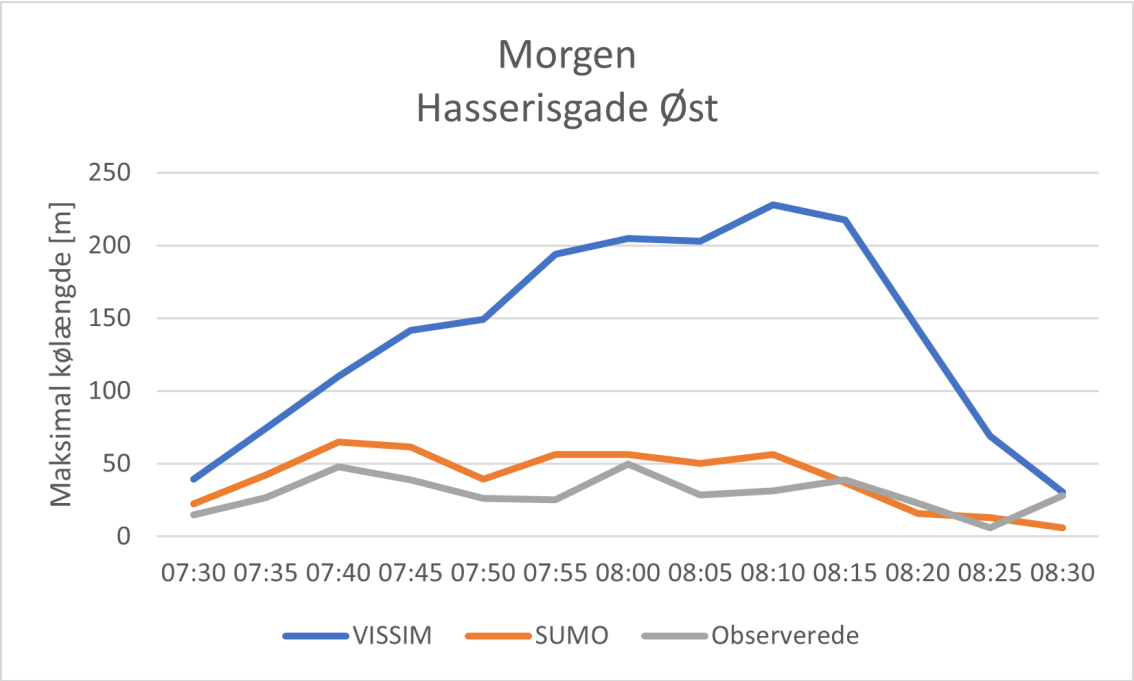
Figur 4.2. Sammenligning af simulerede og observerede kølængder for Kong Christians Alle Syd i morgenspidstimen

Tabel 4.10. Sammenligning af simulerede og observerede kølængder for Kong Christians Alle Syd i morgenspidstimen

Kl.	**07:30**	**07:35**	**07:40**	**07:45**	**07:50**	**07:55**	**08:00**	**08:05**	**08:10**	**08:15**	**08:20**	**08:25**	**08:30**
Observerede [m]	44	61	102	69	110	174	124	71	46	73	200	45	38
VISSIM [m]	58	71	69	81	113	129	95	101	86	94	102	29	17
SUMO [m]	60	87	86	87	120	126	99	102	92	103	146	78	27

Hasserisgade Øst

Sammenligning af de simulerede og observerede kølængder, for vejgrenen Hasserisgade Øst, illustreres på figur 4.3. Værdierne af de maksimale kølængder for hvert 5-minutters interval, er angivet i tabel 4.11. Ud fra resulaterne konkluderes det at kølængderne for SUMO modellen er yderst pålidelige, i forhold til at afspejle de virkelige forhold. Kurven for SUMO modellen følger kurven for de observerede kølængder meget tæt, dog med en smule længere gennemsnitlige kølængder. Resultaterne for VISSIM modellen er derimod ikke i stand til at afspejle virkelige forhold. Dette var også forventeligt på baggrund resultaterne for kalibreringsprocessen.



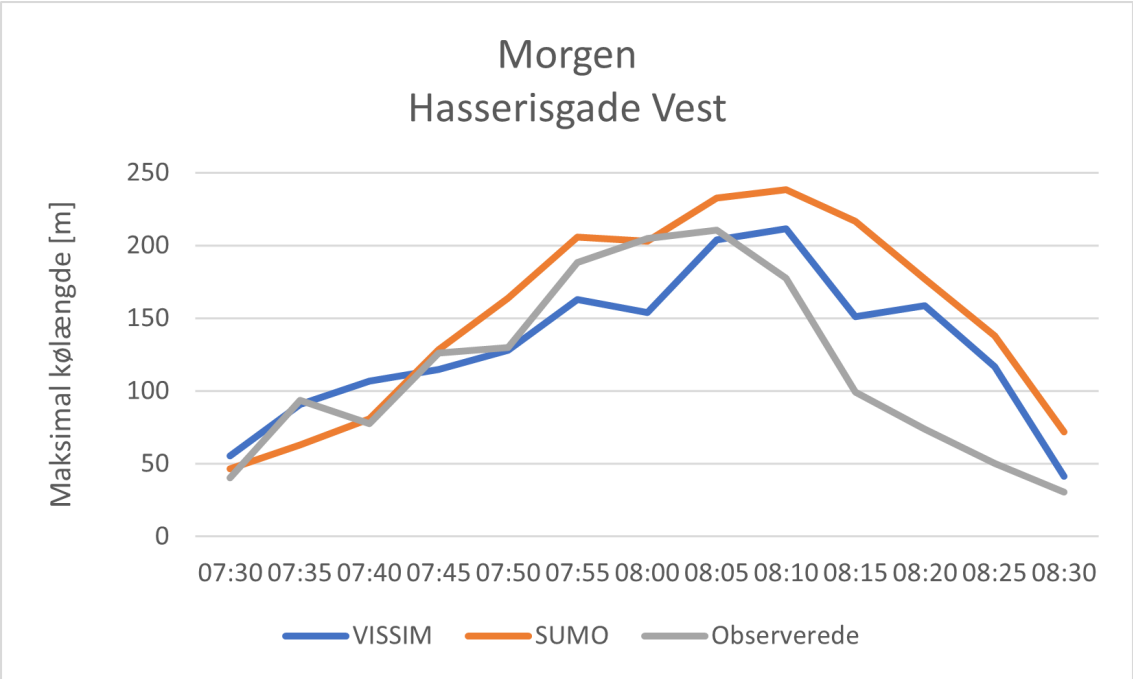
Figur 4.3. Sammenligning af simulerede og observerede kølængder for Hasserisgade Øst i morgenspidstimen

Tabel 4.11. Sammenligning af simulerede og observerede kølængder for Hasserisgade Øst i morgenspidstimen

Kl.	**07:30**	**07:35**	**07:40**	**07:45**	**07:50**	**07:55**	**08:00**	**08:05**	**08:10**	**08:15**	**08:20**	**08:25**	**08:30**
Observerede [m]	15	27	48	39	26	25	50	28	31	39	23	6	28
VISSIM [m]	40	74	110	141	149	194	205	203	228	218	143	69	31
SUMO [m]	23	42	65	62	39	57	56	50	56	37	16	13	6

Hasserisgade Vest

Sammenligning af de simulerede og observerede kølængder, for vejgrenen Hasserisgade Vest, illustreres på figur 4.4. Værdierne af de maksimale kølængder for hvert 5-minutters interval, er angivet i tabel 4.12. Ud fra resulaterne konkluderes det at både VISSIM og SUMO er i stand til at afspejle de virkelige forhold nogenlunde. Kølængderne for begge modeller følger de observerede nogenlunde, på nær i løbet af det sidste kvarter af målingerne (08:15-08:30).



Figur 4.4. Sammenligning af simulerede og observerede kølængder for Hasserisgade Vest i morgenspidstimen

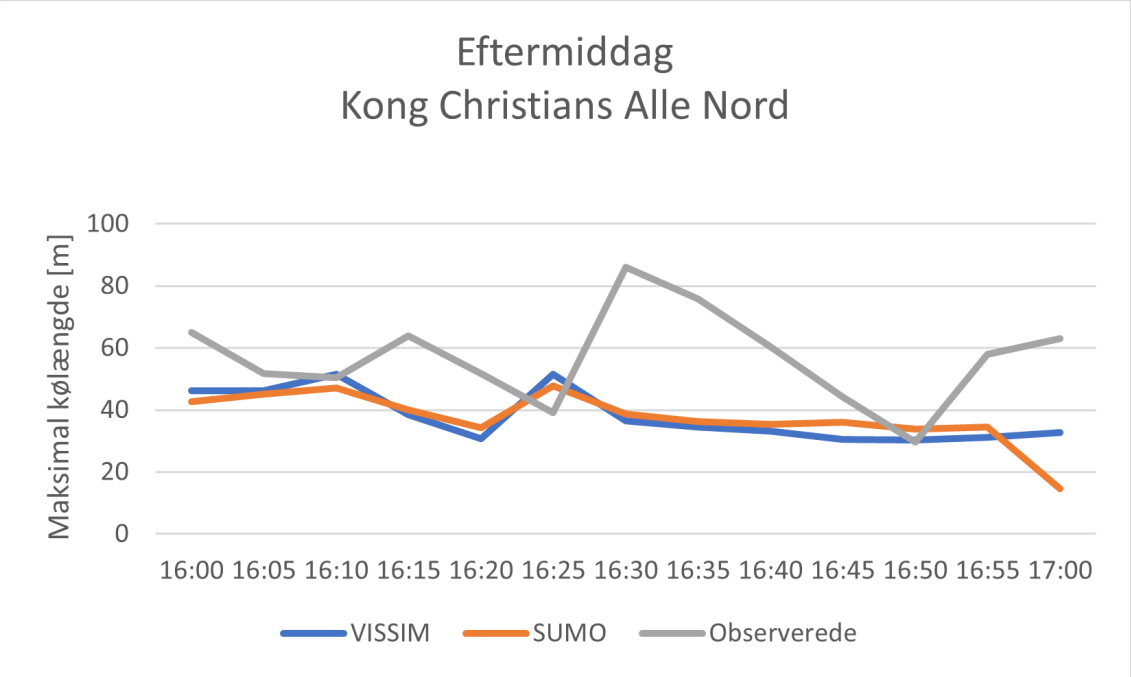
Tabel 4.12. Sammenligning af simulerede og observerede kølængder for Hasserisgade Vest i morgenspidstimen

Kl.	**07:30**	**07:35**	**07:40**	**07:45**	**07:50**	**07:55**	**08:00**	**08:05**	**08:10**	**08:15**	**08:20**	**08:25**	**08:30**
Observerede [m]	41	94	78	126	130	188	205	210	177	99	74	50	30
VISSIM [m]	55	91	107	115	128	163	154	204	211	151	158	116	41
SUMO [m]	46	63	81	128	164	206	203	233	238	216	177	138	72

4.2.2 Eftermiddags

Kong Christians Alle Nord

Sammenligning af de simulerede og observerede kølængder, for vejgrenen Kong Christians Alle Nord, illustreres på figur 4.5. Værdierne af de maksimale kølængder for hvert 5-minutters interval, er angivet i tabel 4.13. Ud fra resulaterne konkluderes det at hverken VISSIM eller SUMO, har været i stand til at simulere resultater, der afspejler de virkelige forhold for denne vejgren i morgenspidstimen. Dette var også forventeligt på baggrund resultaterne for kalibreringsprocessen.



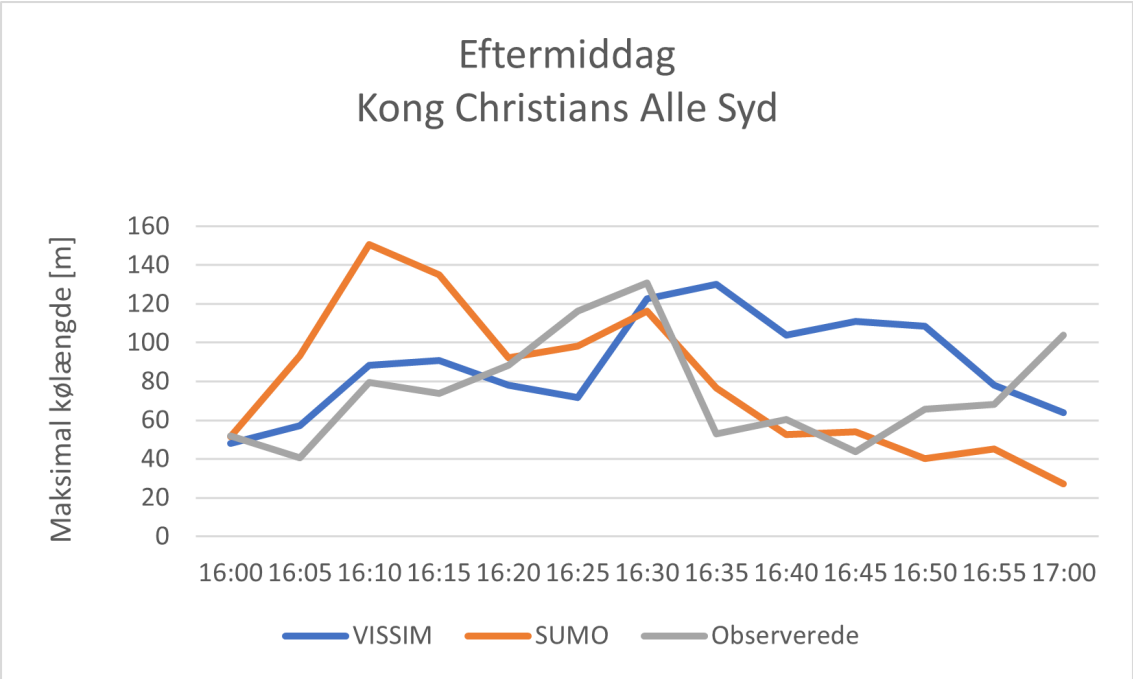
Figur 4.5. Sammenligning af simulerede og observerede kølængder for Kong Christians Alle Nord i eftermiddagsspidstimen

Tabel 4.13. Sammenligning af simulerede og observerede kølængder for Kong Christians Alle Nord i eftermiddagsspidstimen

Kl.	**16:00**	**16:05**	**16:10**	**16:15**	**16:20**	**16:25**	**16:30**	**16:35**	**16:40**	**16:45**	**16:50**	**16:55**	**17:00**
Observerede [m]	65	52	50	64	52	39	86	76	60	44	30	58	63
VISSIM [m]	46	46	51	38	31	51	37	34	33	30	30	31	33
SUMO [m]	43	45	47	40	34	48	39	36	35	36	34	34	15

Kong Christians Alle Syd

Sammenligning af de simulerede og observerede kølængder, for vejgrenen Kong Christians Alle Syd, illustreres på figur 4.6. Værdierne af de maksimale kølængder for hvert 5-minutters interval, er angivet i tabel 4.14. Ud fra resulaterne konkluderes det at hverken VISSIM eller SUMO er i stand til at simulere resultater, der afspejler de virkelige forhold for denne vejgren i eftermiddagsspidstimen. Resultaterne for kalobreringsprocessen viste at begge programmer burde være i stand til at simulere resultater, der afspejler de virkelige forhold for denne vejgren. Dette kan indikere at der under kalibreringsprocessen er simuleret for få gange.



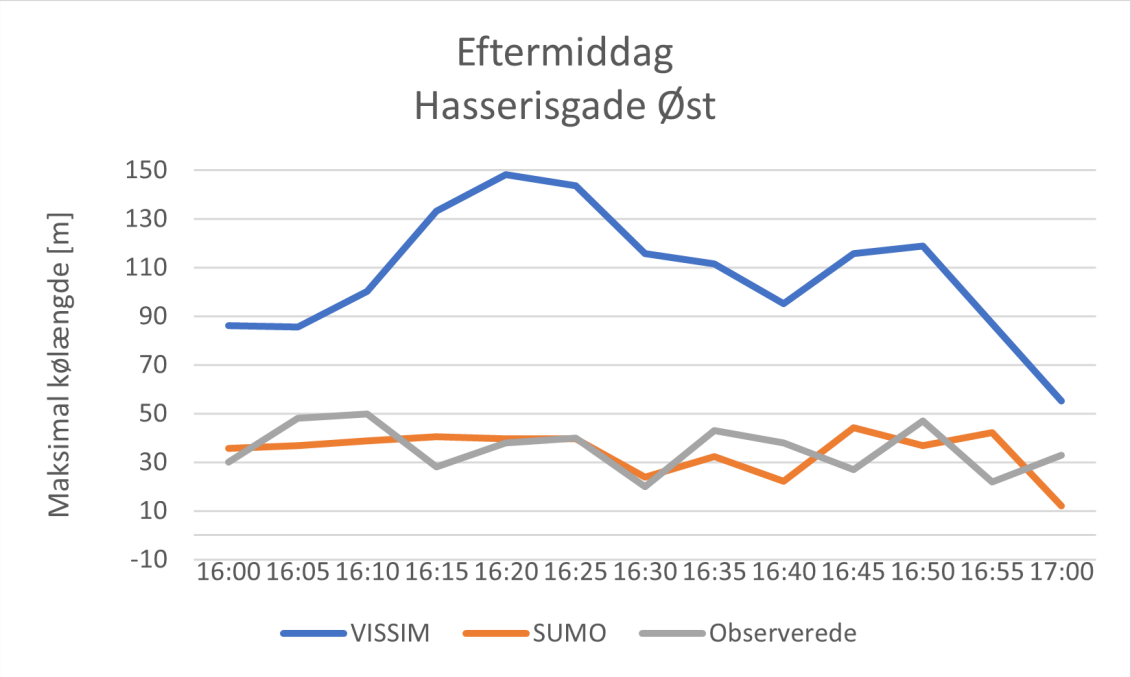
Figur 4.6. Sammenligning af simulerede og observerede kølængder for Kong Christians Alle Syd i eftermiddagsspidstimen

Tabel 4.14. Sammenligning af simulerede og observerede kølængder for Kong Christians Alle Syd i eftermiddagsspidstimen

Kl.	**16:00**	**16:05**	**16:10**	**16:15**	**16:20**	**16:25**	**16:30**	**16:35**	**16:40**	**16:45**	**16:50**	**16:55**	**17:00**
Observerede [m]	52	41	80	74	88	116	131	53	60	44	66	68	104
VISSIM [m]	48	57	88	91	78	72	123	130	104	111	108	78	64
SUMO [m]	51	93	151	135	92	98	116	77	53	54	40	45	27

Hasserisgade Øst

Sammenligning af de simulerede og observerede kølængder, for vejgrenen Hasserisgade Øst, illustreres på figur 4.7. Værdierne af de maksimale kølængder for hvert 5-minutters interval, er angivet i tabel 4.15. Ud fra resulaterne konkluderes det at kølængderne for SUMO modellen er yderst pålidelige, i forhold til at afspejle de virkelige forhold. Kurven for SUMO modellen følger kurven for de observerede kølængder meget tæt. Resultaterne for VISSIM modellen er derimod ikke i stand til at afspejle virkelige forhold. Dette var også forventeligt på baggrund resultaterne for kalibreringsprocessen.



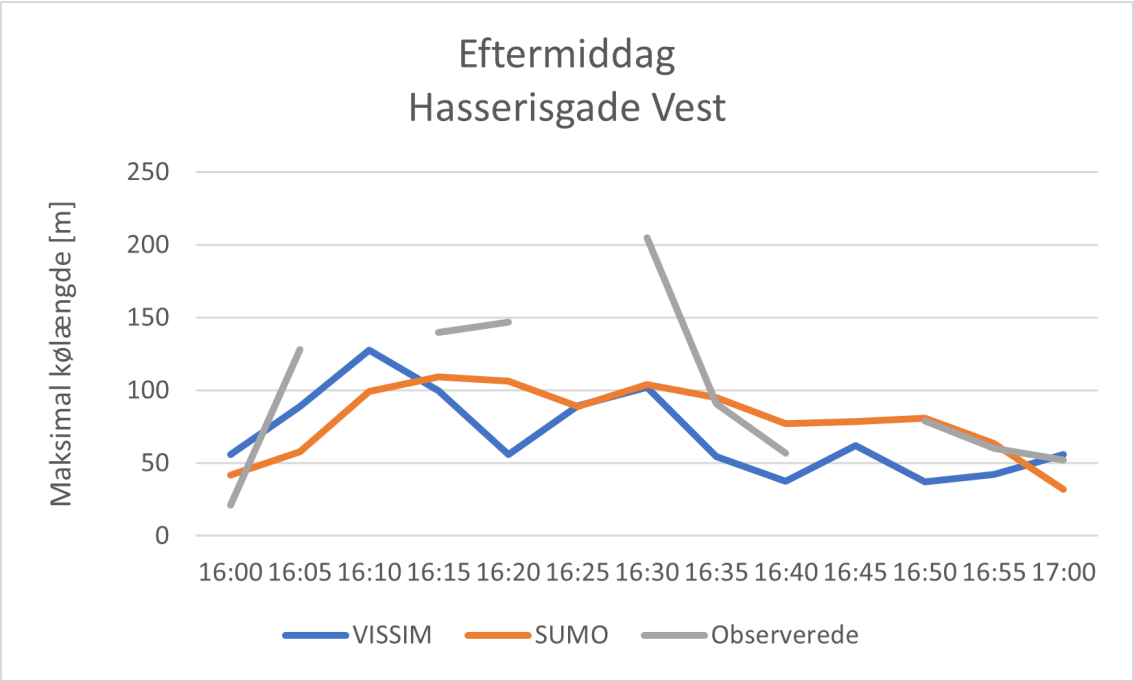
Figur 4.7. Sammenligning af simulerede og observerede kølængder for Hasserisgade Øst i eftermiddagsspidstimen

Tabel 4.15. Sammenligning af simulerede og observerede kølængder for Hasserisgade Øst i eftermiddagsspidstimen

Kl.	**16:00**	**16:05**	**16:10**	**16:15**	**16:20**	**16:25**	**16:30**	**16:35**	**16:40**	**16:45**	**16:50**	**16:55**	**17:00**
Observerede [m]	30	48	50	28	38	40	20	43	38	27	47	22	33
VISSIM [m]	86	86	100	133	148	144	116	111	95	116	119	87	55
SUMO [m]	36	37	39	41	40	40	24	32	22	44	37	42	12

Hasserisgade Vest

Sammenligning af de simulerede og observerede kølængder, for vejgrenen Hasserisgade Vest, illustreres på figur 4.8. Værdierne af de maksimale kølængder for hvert 5-minutters interval, er angivet i tabel 4.16. Da der som tidligere nævnt, er målefejl for målingen af kølængderne ved Hasserisgade Vest i eftermiddagsspidstimen, er grafen for de observerede kølængder ikke intakt. Ud fra de medtagende resultater, tegner der sig et billede af at kølængderne for VISSIM og SUMO ikke afspejle de virkelige forhold.



Figur 4.8. Sammenligning af simulerede og observerede kølængder for Hasserisgade Vest i eftermiddagsspidstimen

Tabel 4.16. Sammenligning af simulerede og observerede kølængder for Hasserisgade Vest i eftermiddagsspidstimen

Kl.	**16:00**	**16:05**	**16:10**	**16:15**	**16:20**	**16:25**	**16:30**	**16:35**	**16:40**	**16:45**	**16:50**	**16:55**	**17:00**
Observerede [m]	21	128	-	140	147	-	205	91	57	-	79	60	52
VISSIM [m]	56	89	128	100	56	90	102	55	38	62	37	42	56
SUMO [m]	42	58	99	109	107	89	104	95	77	79	81	63	32

Diskussion 5

Følgende afsnit vil forsøge at lave en sammenfatning af indeværende projekt ved at diskutere de, i projektet, anvendte metoder og deres indvirkning på resultaterne.

Resultaterne præsenteret i afsnit 4 viser, at det ikke har været muligt for hverken VISSIM eller SUMO, at simulere de trafikale situationer for henholdsvis morgen- og eftermiddagsspidstimen, så de afspejler virkelige forhold, målt på baggrund af de maksimale kølængder for krydsets fire vejgrene, i 5-minutters intervaller. Under kalibreringsprocessen, har det ikke været muligt for nogen af modellerne, at blive fuldt kalibreret. For at en model anses for fuldt kalibreret, skal den den procentvise forskel mellem de simulerede og observerede kølængder være mindre end 20%, for alle fire vejgrene.

Særligt trafikken, kørende fra Kong Christians Alle Nord, har vist sig at være problematisk at kalibrere. Det har ikke været muligt at kalibrere denne vejdel tilfredsstillende, hverken for VISSIM eller SUMO. At netop denne vejdel har være svær at kalibrere, kan for det første skyldes retningsfordelingen af køretøjerne, kørende fra nord. Som illustreret i bilag B på side 63, er der stort set ingen venstresvingene trafik fra nord, hverken i morgen- eller eftermiddagsspidstimen. Dette betyder at at trafikken fra nord, stort set består af ligeudkørende og højresvingende trafik, og derved har fortrinsret i lyskrydset med hensyn til vigepligt. For både VISSIM og SUMO, gælder det at billisterne som standard, kører meget ordentligt, og derved ikke tager "chancer"på samme måde som det blev observeret under krydsinspektionen og trafiktællingerne. Det er muligt at ændre på hvor "godt"billisterne kører, i både VISSIM og SUMO, hvilket der også er forsøgt ændret. Det viste sig dog at hvis dette ændres for trafikken for en given retning, så påvirker det også de omkringliggende trafikstrømme. Ofte i en negativ retning, hvorfor at det blev valgt ikke at arbejde videre med dette under kalibreringsprocessen.

Generelt set, har det vist sig at være nemmere at kalibrere modellerne i SUMO, da det her har været muligt at ændre på de køretekniske parametre for de enkelte køretøjer, for hver vejgren. Dette har vist sig at give bedre resultater, i forhold til modelleringen foretaget i VISSIM, hvor en ændring i de køretekniske parametre for en given køretøjstype, ændrer parametrene for samtlige af køretøjerne i modellen.

Resultaterne for kalibreringen af trafikken kørende fra Kong Christians Alle Syd, i eftermiddagsspidstimen, viste at både VISSIM og SUMO burde være i stand til at simulere trafikken for denne vejgren, så den afspejler virkelige forhold. Dette viste sig dog ikke at være tilfældet ved sammenligning af de simulerede og observerede kølængder. Dette kan indikere at de anbefalede 15 simuleringer, der er blevet brugt der under kalibreringsprocessen ikke har været tilstrækkeligt i forhold til at give pålidelige resultater. Grundet den store tid det tager at simulere, er det i projektet valgt ikke at simulere mere

end 15 gange, under kalibreringsprocessen. Hvis der var den ønskede tid til rådighed, til at simulere flere gange, kan fremgangsmåden beskrevet i bilag D benyttes til at bestemme det mindste antal simuleringer, der skal foretages for hver simuleringsmodel, under kalibreringsprocessen, for at opnå en fornøden sikkerhed i kalibreringens resultat.

I indeværende projekt er simuleringsmodellerne begrænset til at omfatte simple modeller, hvis geografi er afgrænset til kun at bestå af krydset Kong Christians Alle/Hasserisgade. På baggrund af denne afgrænsning er det besluttet at generere den ankomne trafik tilfældigt ved hjælp af en poisson-fordeling. I praksis vil trafikken dog ikke følge en sådan fordeling, da den i langt større grad vil være påvirket af de omkringliggende veje og kryds. Både nord og syd for Kong Christians Alle, samt øst og vest for Hasserisgade, er der signalregulerede kryds, hvorfor at trafikken i realiteten vil have en anden ankomstfordeling, end den har i projektets modeller. At medtage de omkringliggende veje/kryds ville højst sandsynligt give nogle mere virkelighedstro resultater, men ville samtidig kræve flere ressourcer i forhold til trafiktællinger, og gøre modelopbygningen mere tidskrævende og kompliceret.

For modellerne i indeværende projekt, er der blevet simuleret et antal gange med forskellige seed-værdier, for at tage højde for at der ved anvendelse af stokastiske modeller, kan forekomme resultater af en kritisk værdi, for en simulering, med stor afvigelse i forhold til det virkelige, observerede gennemsnit. I vejreglen for mikrosimuleringer, anbefales det at der ved trafiktællinger, ligeledes foretages dataindsamling ad flere omgange, da virkeligheden ligeledes er underlagt tilfældigheder i forhold til variationer i trafikken [Vejdirektoratet, 2019b]. Det kan derfor ikke afvises om den observerede trafik på dagen for trafiktællingerne, d. 16-03-2023, har været underlagt en vis afvigelse i forhold til den gennemsnitlige trafik for projektlokaliteten.

Datagrundlaget for indeværende projekt, består af manuelle trafiktællinger foretaget i et kryds, samt målte kølængder. Dataindsamlingen er foretaget af henholdsvis seks personer om morgenen, og seks personer om eftermiddagen. Da der er flere personer, der foretager samme type måling på samme tid, er det forventeligt at der forekommer en vis form for usikkerhed i de resultater, der indsamles.

Grundet mandskabsmangel, blev trafiktællingerne i krydset foretaget af to personer, selvom vejledningen for trafiktællinger foreskriver at der ved krydstællinger i 4-benet kryds, med mere end 800 køretøjer pr. time, skal bruges fire tællere[Vejdirektoratet, 2006]. Selvom at det blev vurderet at to tællere godt ville kunne håndtere opgaven, må det forventes at der følger en vis usikkerhed med i det data, der foreligger herfra, grundet den store trafikintensitet på projektlokationen.

Konklusion 6

I indeværende projekt har der været et ønske om at undersøge om hvorvidt at der findes alternative mikrosimueringsprogrammer til programmet VISSIM, der kan modellere trafik under danske forhold. På baggrund af dette ønske, er det valgt at sammenligne mikrosimuleringsprogrammet SUMO, med VISSIM. I følgende afsnit vil der blive konkluderet på, hvordan projektet har besvaret problemformuleringen, som lyder:

"Hvor realistisk kan programmet SUMO modellere trafik under danske forhold, sammenlignet med programmet VISSIM?"

Til at besvare ovenstående problemformulering, er der i projektet valgt at foretage en sammenligning af de to programmer. Sammenligningen går ud på at simulere en trafikal situation for krydset Kong Christians Alle/Hasserisgade i Aalborg, for henholdsvis morgen- og eftermiddagsspidstimen, og sammenligne resultaterne heraf med resultaterne fra en virkelig trafiktælling foretaget på den pågældende lokalitet. Som sammenligningsparameter mellem simuleringsmodellerne og den virkelige trafik, er det blevet besluttet at sammenligne de maksimale kølængder for hver af krydsets fire vejgrene, i 5-minutters intervaller for spidstimerne.

I et forsøg på at gøre hver af simuleringsmodellerne i projektet så virkelighedstro som mulig, har hver simuleringsmodel gennemgået en kalibreringsproces, hvori at nogle udvalgte adfærdsmæssige og køretekniske parametre er blevet ændret med henblik på at genskabe en kørselsadfærd i modellerne, der afviger mindst muligt i forhold til den, ved projektlokationen, observerede trafiks køreadfærd. På baggrund af kalibreringsprocessen har det vist sig at være nemmere at kalibrere SUMO end VISSIM. Dog har det i projektet ikke være muligt for nogen af hverken VISSIM- eller SUMO modellerne, at blive fuldt kalibreret.

Efter at modellerne i projektet er blevet kalibreret er der foretaget et antal simuleringer, som danner baggrund for bestemmelsen af de gennemsnitlige maksimale kølængder for hver model. Sammenligning af disse kølængder og de i projektet observerede kølængder, viser at SUMO generelt set er bedre til at afspejle de virkelige forhold for projektlokaliteten. Det er dog ikke alle veje, som SUMO realistisk set kan simulere, så de maksimale kølængder afspejler virkeligheden.

På baggrund af resultaterne for indeværende projekt, kan det ikke konkluderes om hvorvidt at SUMO kan modellere mere realistiske trafikale situationer for dansk trafik, end VISSIM. Resultaterene for projektet giver indikationer af, at SUMO har potentiale til at simulere trafikale situationer for danske forhold, der er ligeså eller endda mere realistiske end VISSIM. For at dette kan valideres, kræver det, at modellerne skal kunne kalibreres så

de afspejler den eksisterende trafik, bedre end hvad det har været muligt for indeværende projekt. For at dette kan lade sig gøre, er modellernes kompleksitet nødt til at øges ved at medtage flere veje og kryds samt indsamle mere omfattende og nøjagtige data.

Litteratur

Gao, **2017**. Bo Gao. *A Programmer's Note on TraCI tls, TraCI, and SUMO.* `https://intelaligent.github.io/tctb/post-learning-traci-tls.html#define-edge-types-with-a-typxml-file`, 2017. sidste besøg 17.05.2023.

Google, **2023**. Google. *google.com/maps.* `https://www.google.com/maps`, 2023. sidste besøg 09.05.2023.

Gunarathne D. og V., **2023**. Kulathunga A. Gunarathne D., Amarasingha N. og Wickramasinghe V. *Optimization of VISSIM Driver Behavior Parameter Values Using Genetic Algorithm.* Suranaree Journal of Science and Technolog, 30, s. 117–125, 2023.

Hidas, **2006**. P. Hidas. *Evaluation and further development of car following models in microscopic traffic simulation.* ISBN: 9781845641795, URBAN TRANSPORT 2006. WIT Press, 2006.

Julsgaard, **2023**. Line Ettinger Julsgaard. *Efter et år med omkørsel: Hasserisgade er igen åben for trafik.* `https://aalborgnu.dk/nyheder/det-sker/efter-et-aar-med-omkoersel-hasserisgade-er-igen-aaben-for-trafik/4370049`, 2023. Downloadet: 11-05-2023.

Laura Bieker-Walz og Gimm, **2023**. Marek Junghans Laura Bieker-Walz, Michael Behrisch og Kay Gimm. *Evaluation of car-following-models at controlled intersections.* `https://core.ac.uk/download/pdf/132840277.pdf`, 2023. sidste besøg 03.06.2023.

Lopez et al., **November 2018**. Pablo Alvarez Lopez, Michael Behrisch, Laura Bieker-Walz, Jakob Erdmann, Yun-Pang Flötteröd, Robert Hilbrich, Leonhard Lücken, Johannes Rummel, Peter Wagner og Evamarie Wießner. *Microscopic Traffic Simulation using SUMO.* pages 2575–2582, 2018. URL `https://elib.dlr.de/127994/`.

Morneault, **2023**. David Morneault. *GPS Tracks.* `https://apps.apple.com/us/app/gps-tracks/id425589565`, 2023. sidste besøg 16.03.2023.

Opensource, **2023**. Opensource. *What is open source.* `https://opensource.com/resources/what-open-source`, 2023. sidste besøg 03.06.2023.

Parajuli Ranjan, Poudyal Ramhari and Loskot, Pavel, **06 2020**. Parajuli Ranjan, Poudyal Ramhari and Loskot, Pavel. *SONEUK Conf2020*, 06 2020.

Pruthvi Manjunatha, **2013**. Tom V. Mathew Pruthvi Manjunatha, P. Vortisch. *Methodology for the Calibration of VISSIM in Mixed Traffic.* `https://www.semanticscholar.org/paper/Methodology-for-the-Calibration-of-VISSIM-in-Mixed-Manjunatha-Vortisch/c429eb783aefdc06f88d611cf3534c014cd82cac/figure/4`, 2013. sidste besøg 21.05.2023.

Qianjing et al., **2021**. Sun Qianjing, Wang Yong, Zeng Lingqiu, Han Qingwen, Xie Qinglong, Ye Lei og Xie Fukun. *Research on optimization and evaluation method of the car following model based on SUMO application test scenario.* ISBN: 1-66547-922-1, 2021 IEEE Intelligent Vehicles Symposium Workshops (IV Workshops). IEEE, 2021.

Ronald E. Walpole og Ye, **2012**. Sharon L. Myers Ronald E. Walpole, Raymond H. Myers og Keying Ye. *Probabilitiy and Statistics for Engineers and Scientists, NINTH EDITION.* ISBN: 978-0-321-62911-1, Hardback. PEARSON, 2012.

S.H. et al., **2022**. Aly S.H., Martono S. og Harusi N. M. R. *Analysis of Motorized Vehicles Performance at Signalized Intersections Based on Micro Simulation.* IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1117, s. 1–10, 2022.

Shutterstock, **2023**. Shutterstock. *Shutterstock.* `https://www.shutterstock.com/image-vector/road-traffic-free-flow-machines-260nw-1173901555.jpg`, 2023. sidste besøg 03.06.2023.

SUMO, **2023**. SUMO. *Definition of Vehicles, Vehicle Types, and Routes.* `https://sumo.dlr.de/docs/Definition_of_Vehicles2C_Vehicle_Types2C_and_Routes.html#car-following_models`, 2023. sidste besøg 03.06.2023.

Transportministeriet, **2021**. Transportministeriet. *Bred aftale om infrastruktur for mere end 160 mia. kroner vil samle Danmark frem mod 2035.* `https://www.trm.dk/nyheder/2021/bred-aftale-om-infrastruktur-for-mere-end-160-mia-kroner-vil-samle-danmark-frem-mod-2035`, 2021. Besøgt: 23-02-2023.

Usman et al., **2021**. Ahmed Hafiz Usman, Huang Ying og Lu Pan. *A Review of Car-Following Models and Modeling Tools for Human and Autonomous-Ready Driving Behaviors in Micro-Simulation.* Smart Cities, 4, 314–335, 2021.

Vejdirektoratet, **2017**. Vejdirektoratet. *Hvorfor vokser vejtrafikken i Danmark?* `https://www.vejdirektoratet.dk/api/drupal/sites/default/files/publications/drivkrfter_bag_trafikvkst.pdf`, 2017. Besøgt: 21-02-2023.

Vejdirektoratet, **2020**. Vejdirektoratet. *Statsvejnettet 2020.* `https://www.vejdirektoratet.dk/udgivelse/statsvejnettet-2020`, 2020. Besøgt: 23-02-2023.

Vejdirektoratet, **2023a**. Vejdirektoratet. *Trængsel i dag.* `https://www.vejdirektoratet.dk/tema/trafikken-i-fremtiden#1`, 2023a. Besøgt: 23-02-2023.

Vejdirektoratet, **2023b**. Vejdirektoratet. *Nøgletal om vejtransport.* `https://www.vejdirektoratet.dk/side/trafikkens-udvikling-i-tal`, 2023b. Besøgt: 17-02-2023.

Vejdirektoratet, **2006**. Vejdirektoratet. *Trafiktællinger Planlægning, udførelse og efterbehandling.* `https://www.vejdirektoratet.dk/udgivelse/trafiktaellinger-planlaegning-udfoersel-og-efterbehandling`, 2006. sidste besøg 12.05.2023.

Vejdirektoratet, **2019a**. Vejdirektoratet. *Håndbog - Tværprofiler I Byer.* `https://vejregler.dk/h/7e0fba84-06dd-483b-898a-c7b3e3affaa1/vd20190006?showExact=true#page=4&dest=XYZ,83,757,0`, 2019a. sidste besøg 09.05.2023.

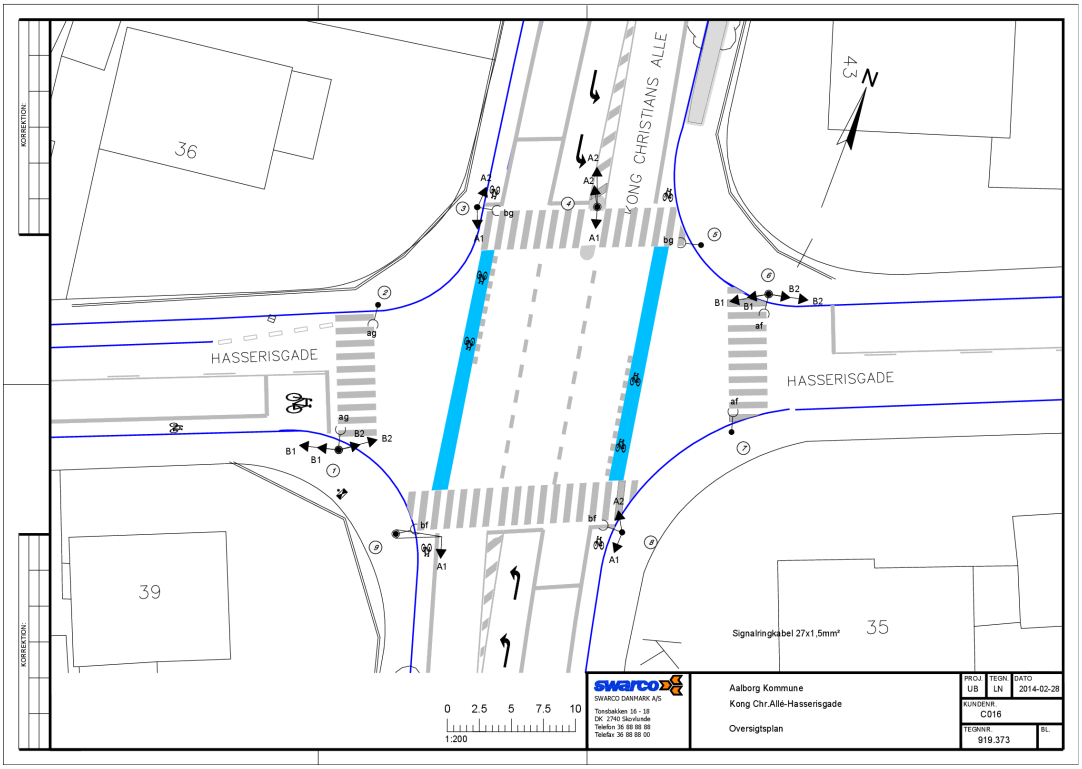
VEJDIREKTORATET, **2023**. VEJDIREKTORATET. *Vejman.dk.* `https://vejman.vd.dk/update/mui/index.jsp`, 2023. sidste besøg 07.05.2023.

Vejdirektoratet, **2019b**. Vejdirektoratet. *Håndbog - Anvendelse Af Mikrosimuleringsmodeller.* `https://vejregler.dk/h/7e0fba84-06dd-483b-898a-c7b3e3affaa1/5d1e1b0b0c4d46d7becc1e8b6e93324c?showExact=true`, 2019b. sidste besøg 30.03.2023.

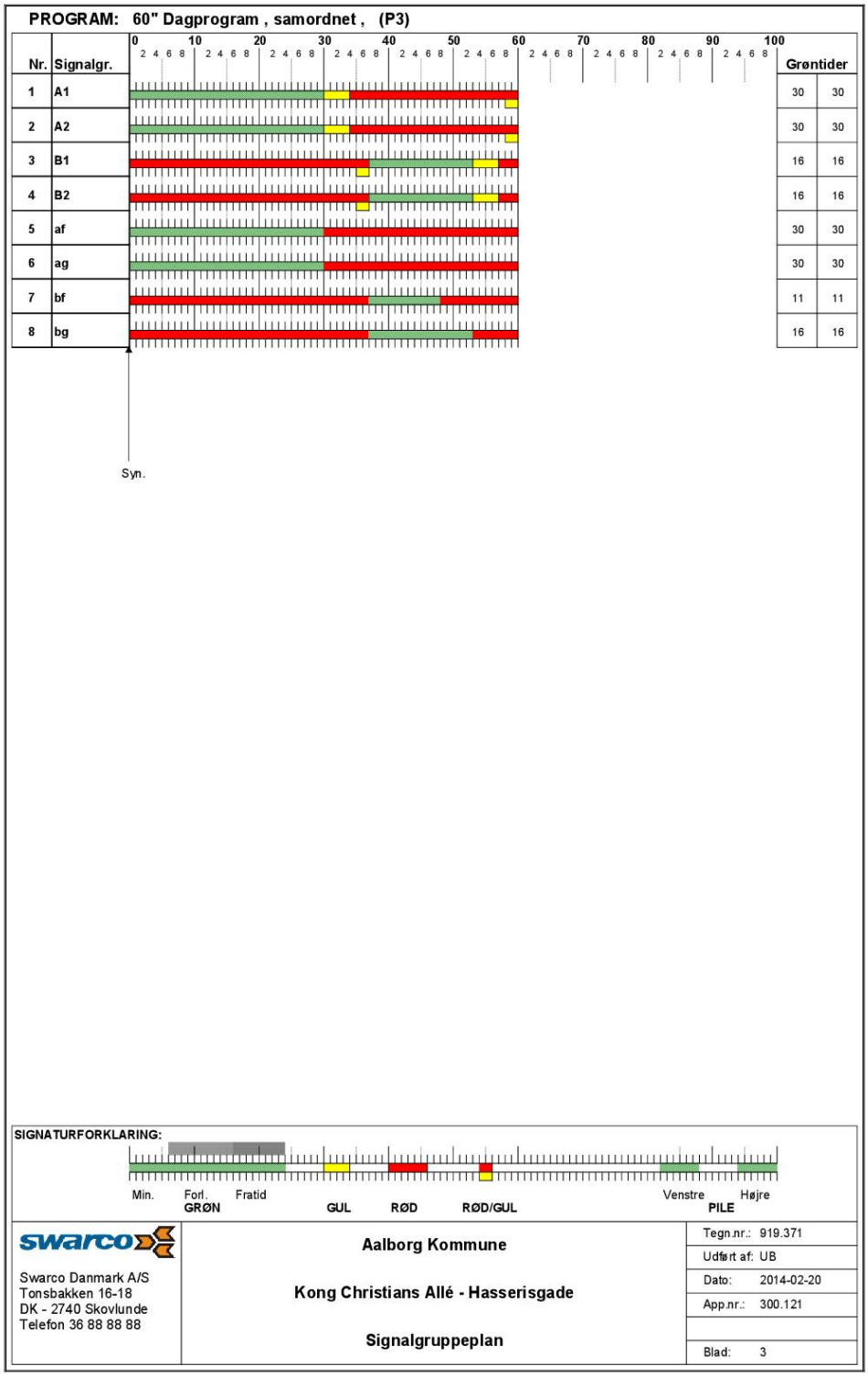
VISSIM, **2023**. VISSIM. *PTV VISSIM 10 USER MANUAL.* `https://usermanual.wiki/Document/Vissim20102020Manual.1098038624.pdf`, 2023. sidste besøg 02.06.2023.

Yde, **2018**. Anders Yde. *AUTOMATISK KALIBRERING AF RUNDKØRSLER I VISSIM VED HJÆLP AF GENETISK ALGORITME*, 2018.

Signalplan A

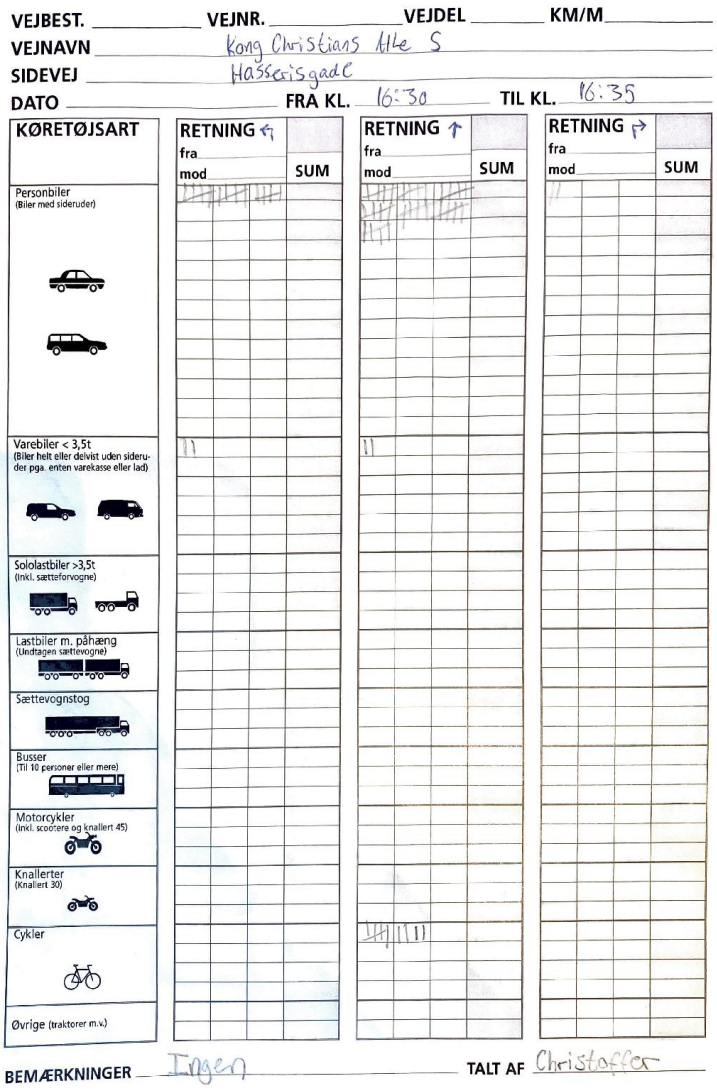


Figur A.1. Oversigtsplan for krydset Kong Christians Alle-Hasserisgade [Michael Thau, Aalborg Kommune, e-mail, 04-04-2023]



Figur A.2. Signalplan for krydset Kong Christians Alle/Hasserisgade, Morgen- og eftermiddagsprogram (07.20-09.00 og 15.20-17.00) [Michael Thau, Aalborg Kommune, e-mail, 04-04-2023]

Trafiktælling B


VEJBEST. _____ VEJNR. _____ VEJDEL _____ KM/M _____

VEJNAVN Kong Christians Alle S

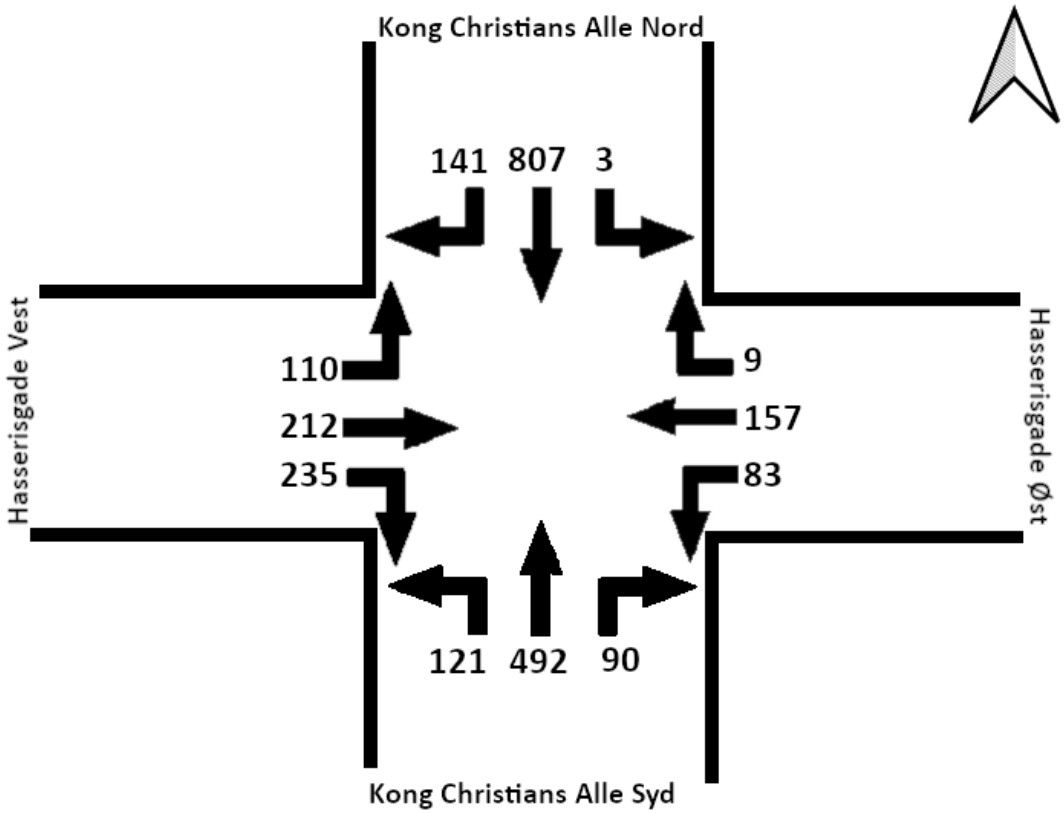
SIDEVEJ Hasseris gade

DATO _____ FRA KL. 16:30 TIL KL. 16:35

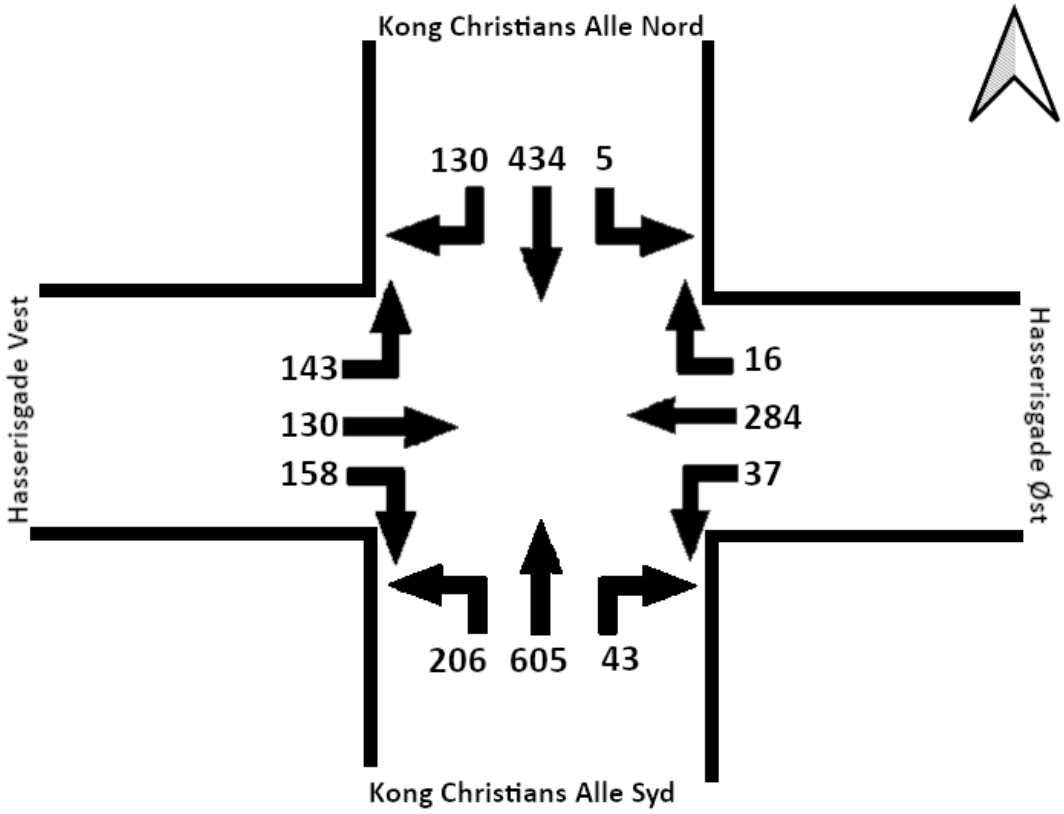
KØRETØJSART	RETNING ↰ fra / mod	SUM	RETNING ↑ fra / mod	SUM	RETNING ↱ fra / mod	SUM
Personbiler (Biler med sideruder)						
Varebiler < 3,5t (Biler helt eller delvist uden sideruder pga. enten varekasse eller lad)	11		11			
Sololastbiler >3,5t (Inkl. sættevognstrækkere)						
Lastbiler m. påhæng (Undtagen sættevogne)						
Sættevognstog						
Busser (Til 10 personer eller mere)						
Motorcykler (Inkl. scootere og knallert 45)						
Knallerter (Knallert 30)						
Cykler			1111			
Øvrige (traktorer m.v.)						

BEMÆRKNINGER Ingen TALT AF Christoffer

Figur B.1. Eksempel på et tælleskema brugt til krydstælling i tidsintervallet 16:30-16:35, fra retningen Kong Christians Alle syd.



Figur B.2. Trafiktal for morgenspidstimen, torsdag d. 16-03-2023



Figur B.3. Trafiktal for eftermiddagsspidstimen, torsdag d. 16-03-2023

Kalibrering C

I det følgende vil der blive givet et eksempel på, hvordan det kan vurderes, om en given simuleringsmodel har behov for at blive kalibreret. Eksemplet vil tage udgangspunkt i resultaterne fra en simulering af morgenspidstimen i SUMO, hvor defaultparametrene for SUMO er blevet anvendt. Som tidligere nævnt, bliver simuleringen gentaget 15 gange, med forskellige seed-værdier, for at tage højde for dag-til-dag variationen i trafikken.

I tabel C.1 er resultaterne for simuleringerne foretaget i SUMO, angivet. I tabellen ses de summerede kølængder for hver af de fire vejgrene i hver af de 10 simuleringer. Nederst er gennemsnittet af kølængderne for de 15 simuleringer angivet. Gennemsnittet giver en overordnet indikation af, hvordan de simulerede kølængder fordeler sig i løbet af spidstimen for hver vejgren.

I tabel C.2 er de observerede, maksimale kølængder for de fire vejgrene for morgenspidstimen angivet.

Tabel C.1. Gennemsnit af summerede maksimale kølængder for de fire vejgrene for morgenspidstimen

Simulering nr.	**Sum af simulerede maksimale kølængder [m]**			
	Hasserisgade Vest	**Hasserisgade Øst**	**Kong Christians Alle Nord**	**Kong Christians Alle Syd**
1	1688	524	550	482
2	2541	454	489	701
3	1077	531	593	528
4	1495	593	679	464
5	1611	902	521	604
6	1452	753	534	666
7	2213	427	590	553
8	1410	543	652	505
9	2389	815	619	539
10	1781	576	640	646
Gns.	**1766**	**612**	**587**	**569**

Tabel C.2. Maksimale kølængder for de fire vejgrene for morgenspidstimen

Kl.	Hasserisgade Vest	Hasserisgade Øst	Kong Christians Alle Nord	Kong Christians Alle Syd
07:30	41	15	64	44
07:35	94	27	75	61
07:40	78	48	106	102
07:45	126	39	190	69
07:50	130	26	180	110
07:55	188	25	100	174
08:00	205	50	95	124
08:05	210	28	61	71
08:10	177	31	112	46
08:15	99	39	72	73
08:20	74	23	63	200
08:25	50	6	29	45
08:30	30	28	48	38
SUM	**1503**	**386**	**1195**	**1159**

Den relative ændring beregnes herefter mellem de observerede og simulerede resultater som angivet i tabel C.3. Her ses det at forskellen mellem de observerede og simulerede kølængder for Hasserisgade Vest er mindre end 20% (17%). Forskellen mellem de observerede og simulerede kølængder for de tre andre vejgrene er større end 20% (henholdsvis 59%, 51% og 51%), hvorfor at modellen skal forsøges kalibreret med nye trafikale parametre.

Tabel C.3. Relative ændring mellem observerede og simulerede resultater

	Hasserisgade Vest	Hasserisgade Øst	Kong Christians Alle Nord	Kong Christians Alle Syd
Observerede	1503	386	1195	1159
SUMO	1766	612	587	569
Forskel [%]	**17**	**59**	**-51**	**-51**

Antal repetitioner af simuleringsmodeller D

I det følgende vil det blive beskrevet hvordan det, som nævnt i afsnit 3.7 på side 41, er blevet bestemt at de i projektet fire kalibrerede modeller, skal simuleres 200 gange pr. simuleringsmodel, for at der opnås en fornøden sikkerhed i fastlæggelse af modellernes resultater. Til fastlæggelse af dette, er der taget udgangspunkt i vejreglen for mikrosimuleringer [Vejdirektoratet, 2019b]. Følgende fremgangsmåde beregnes for hver vejgren i en given model. Den vejgren, der ud fra beregningerne, har den største værdi, er den vejgren, der regnes videre med.

Fremgangsmåden er som følge:

1. Udpegelse af kritisk resultatvariabel
Til at starte med, udpeges der en kritisk resultatvariabel. I indeværende projekt er den kritiske resultatvariabel, summen af de maksimale kølængder for en given vej, i en given simulering.

2. Valg af konfidensinterval
Der vælges herefter en tillads fejlmargin, også kaldt konfidensinterval, som betegner størrelsen på området, inden for hvilket den sande middelværdi med en vis sandsynlighed vil ligge. [Vejdirektoratet, 2019b] I indeværende projekt vælges et konfidensintervallet på $\epsilon = 0,05$

3. Valg af konfidensniveau
Herefter fastsættes der et konfidensniveau, der beskriver sandsynligheden for, at den sande (ukendte) middelværdi ligger inden for konfidenintervallet i forhold til den middelværdi, der estimeres på baggrund af simuleringen. [Vejdirektoratet, 2019b]. I indeværende projekt vælges et konfidensniveau på 95%. Ved et konfidensniveau på 95%, vil det sige at sandsynligheden for at den sande middelværdi ligger uden for den fastsatte fejlmargin i forhold til den beregnede middelværdi, accepteres at være $\alpha = 100 - 95 = 5\%$.

4. Udførelse af simuleringer
Der udføres nu et antal simuleringer, hvoraf den kritiske resultatvariabel for hver simulering noteres. I indeværende projekt udføres der 15 simuleringer.

5. Udregning af standardafvigelse S
På baggrund af de kritiske resultatvariable, der blev bestemt i punkt 4, kan standardafvigelsen nu bestemmes. Standardafvigelsen er beregnet på baggrund af formel (D.1).

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \tag{D.1}$$

Hvor

X_i er i'te udfald for resultatvariablen af de i alt N repitationer, og

$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N}$
er middelværdien af de N udfald, af resultatvariablen.[Vejdirektoratet, 2019b]

6. Bestemmelse af antal simuleringer

Det kan nu bestemmes om hvorvidt at der er foretaget nok simuleringer, eller om antallet af simuleringer skal øges. Dette bestemmes ved anvendelse af formlen, beskrevet i ligning (D.2).

$$N' = (\frac{2 \cdot S \cdot t_{N'-1}(1-\alpha/2)}{K}) = (\frac{2 \cdot S \cdot t_{N'-1}(1-\alpha/2)}{\bar{X} \cdot \epsilon} \tag{D.2}$$

Hvor:
S er standardafvigelsen, som beskrevet i punkt 5

$\bar{X}$ er middelværdien af de N udfald, af resultatvariablen, som beskrevet i punkt 5

$\alpha = 0,05$, som beskrevet i punkt 3

$t_{N'-1}(1-\alpha/2)$ er $(1-\alpha/2)$-fraktilen i t-fordelingen med N'-1 frihedsgrader. Værdien er en tabelværdi, der kan findes i [Ronald E. Walpole og Ye, 2012]

ϵ er det valgte konfidensinterval, som beskrevet i punkt 2

7. Opfyldning af kriterier

Når N' er blevet udregnet jævnfør punkt 6, skal det vurderes om hvorvidt at det givne antal simuleringer accepteres, eller om der skal simuleres yderligere. Hvis:

Hvis N' er mindre end det allerede foretagede antal simuleringer, N, anses de opstillede kriterier for konfidensinterval og konfidensniveau opfyldt ved det foretagne estimat på middelværdien af den kritiske resultatvariabel. Der behøves derved ikke at blive foretaget yderligere simuleringer.[Vejdirektoratet, 2019b]

Hvis N' er større end det allerede foretagede antal simuleringer, N, er det nødvendigt at foretage yderligere simuleringer. Når de nye simuleringer er foretaget, regnes der en ny standardafvigelse og middelværdi, som beskrevet i punkt 5. Herefter fortsættes der med punkt 6. Denne fremgangsmåde fortsættes med indtil at N' er mindre end antal foretagede simuleringer.