

Masteroppgave

Juni, 2021

Masteroppgave

Anders Lie-Nielsen

**NTNU**  
Norges teknisk-naturvitenskapelige  
universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for bygg - og miljøteknikk

Anders Lie-Nielsen

# Fotgjengersimulering i Aimsun Next 20

Juni 2021





# Fotgjengersimulering i Aimsun Next 20

**Anders Lie-Nielsen**

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: Juni 2021

Hovedveileder: Arvid Aakre

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for bygg - og miljøteknikk



# Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Institutt for bygg- og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim, våren 2021. Oppgaven er avslutningen på mitt masterstudium ved NTNU og tilsvarer en arbeidsbelastning på 30 studiepoeng.

Det har vært et lærerikt, interessant og spennende halvår med arbeid. Takk for all støtte og hjelp. En spesiell takk til min veileder Arvid Aakre for konstruktiv veiledning.

Bergen, Juni 2021

Anders Lie-Nielsen

# Sammendrag

Denne masteroppgaven omhandler simuleringsprogramvaren Aimsun Next 20 og hvilke muligheter som finnes for fotgjengersimulering der. Den tar utgangspunkt i to simuleringsmetoder *Aimsun Pedestrian Simulator* og *Fotgjengersimulering ved bruk av kjøretøymodellen i Aimsun* og ser på hvordan disse kan brukes. Oppgaven består av to deler:

- Et **litteraturstudie**, som går inn i teorien og virkemåten som ligger bak modellene.
- Et **casestudie**, som ser på hvordan de to modellene fungerer i praksis, sentrert rundt vikepliktregulerte gangfelt.

Litteraturstudien peker på flere viktige forskjeller i hvordan modellene virker teoretisk. Det at de to modellene er bygget med helt forskjellig formål, den ene for å simulere bare fotgjengere og den andre for å simulere kjøretøy, har en del å si for hvilke situasjoner de kan brukes i. Det er allikevel fullt mulig å bruke begge modellene til å simulere fotgjengeroppførsel i gangfelt.

I casestudien ble det ikke funnet vesentlige forskjeller på hvordan modellene virket i praksis når det kom til påvirkning på kjøretøyene i trafikken. Begge klarte å simulere resultater som avvirket kjøretøyvolum og forsinkelse som lå tett opp mot observerte verdier.

Det ble funnet svakheter i måten *Aimsun Pedestrian Simulator* simulerte interaksjonen mellom kjøretøy og fotgjengere i gangfeltet. Deteksjon av fotgjengere og oppbremsing fungerte ikke som det burde, og førte til mange situasjoner med unaturlige brå oppbremsinger for kjøretøy og fastlåste situasjoner der bilene ble stående fast midt på gangfeltet og blokkerte for fotgjengere.

Disse problemene ble løst gjennom å utvikle en løsning som benytter virtuelle signalanlegg som styrer gangfeltene og bruker akturerte signaler til å etterligne vikepliktoppførsel. Dette fungerte svært bra.

Denne oppgaven er skrevet under Covid-19-pandemien, og det er derfor en risiko for at observasjonene fra casestudien er representative for en normalsituasjon.

# Abstract

This thesis regards the simulation software Aimsun Next 20 and the possibilities for pedestrian simulation within it. It considers two models, *Aimsun Pedestrian Simulator* and *Pedestrian simulation using the vehicle model in Aimsun*, and investigates how these can be used. The thesis consists of two parts:

- A **Literature study**, which investigates the theory and behavior behind the models.
- A **Case study** which looks at how the two models work in real life, centered around yield regulated pedestrian crossings.

The literature study points to several important differences between how the models work theoretically. The fact that the models are built for completely different purposes, one to simulate only pedestrians, and the other to simulate vehicles has a lot to say for which situations they are applicable for. Still, it is possible to use both models to simulate pedestrian behavior in crossing areas.

In the case study, there were found no big differences in the practical function of the models, simulating the interaction between pedestrians and vehicles in the crossing. Both managed to produce results like traffic flow, and delay, in good accordance with observed values.

Some weaknesses in the way that *Aimsun Pedestrian Simulator* simulated interactions between vehicles and pedestrians were found. The detection of pedestrians and deceleration did not work as expected, and lead to a lot of abrupt breaking and locked situations where the cars got stuck in the middle of the crossing and blocked the movement of pedestrians.

These problems were solved by developing a work-around solution using virtual traffic signals that regulate the crossings using actuated signals to mimic the yield behavior. This worked out great.

This thesis is written during the Covid-19 pandemic, and the observations from the case study may therefore not be representative for a normal situation.

# Innhold

<b>Forord</b> . . . . .	<b>iii</b>
<b>Sammendrag</b> . . . . .	<b>iv</b>
<b>Abstract</b> . . . . .	<b>v</b>
<b>Innhold</b> . . . . .	<b>vi</b>
<b>Figurer</b> . . . . .	<b>viii</b>
<b>Tabeller</b> . . . . .	<b>ix</b>
<b>1 Introduksjon</b> . . . . .	<b>1</b>
1.1 Bakgrunn . . . . .	1
1.2 Omfang, mål og forskningsspørsmål . . . . .	2
1.3 Organisering av oppgaven . . . . .	3
1.3.1 Begrepsavklaring . . . . .	3
<b>2 Teori</b> . . . . .	<b>5</b>
2.1 Intro . . . . .	5
2.1.1 Legion . . . . .	5
2.2 Generelt om modellering og trafikkmodeller . . . . .	6
2.2.1 Klassifisering av modeller . . . . .	6
2.3 Mikrosimulering av kjøretøy i Aimsun Next 20 . . . . .	9
2.3.1 Modelloversikt . . . . .	9
2.3.2 Car-following . . . . .	11
2.3.3 Lane-Changing . . . . .	13
2.3.4 Gap-Acceptance . . . . .	13
2.3.5 Simulering av fotgjengere ved bruk av kjøretøysimulatoren .	15
2.4 Aimsun Pedestrian simulator . . . . .	17
2.4.1 Intro . . . . .	17
2.4.2 Objekter i Aimsun Pedestrian simulator . . . . .	17
2.4.3 Modellbakgrunn . . . . .	19
<b>3 Metode</b> . . . . .	<b>24</b>
3.1 Datainnsamling . . . . .	24
3.1.1 Formål og omfang . . . . .	24
3.1.2 Valg av modellområde . . . . .	25
3.1.3 Beskrivelse av modellområde . . . . .	27
3.1.4 Tellinger . . . . .	30
3.1.5 Andre målinger enn volum . . . . .	32



3.2	Modellbygging . . . . .	34
3.2.1	Geometrisk modell . . . . .	34
3.2.2	Kollektivtransport . . . . .	34
3.2.3	Etterspørsel for kjøretøy . . . . .	35
3.2.4	Implementering av fotgjengermodellene . . . . .	36
3.3	Verifisering, kalibrering og valdidering . . . . .	38
3.3.1	Verifisering . . . . .	40
3.3.2	Kalibrering . . . . .	40
3.3.3	Validering . . . . .	45
3.4	Feilkilder og metodesvakheter . . . . .	47
3.4.1	Observasjoner . . . . .	48
3.4.2	Kalibrering . . . . .	48
3.4.3	Covid-19 . . . . .	48
<b>4</b>	<b>Resultater . . . . .</b>	<b>49</b>
4.1	Trafikktellinger . . . . .	49
4.2	Simuleringer . . . . .	52
4.2.1	Trafikkvolum . . . . .	52
4.2.2	Forsinkelse . . . . .	54
4.3	Kvalitative observasjoner ved bruk av Aimsun Pedestrian Simulator . . . . .	55
4.3.1	Interaksjon i gangfelt . . . . .	55
4.3.2	Kalibrering . . . . .	57
4.3.3	Ankomstmønster . . . . .	58
4.3.4	Uformelle kryssinger av veien . . . . .	59
<b>5</b>	<b>Drøfting . . . . .</b>	<b>61</b>
<b>6</b>	<b>Avslutning . . . . .</b>	<b>64</b>
6.1	Konklusjon . . . . .	64
6.2	Veien videre . . . . .	65
	<b>Bibliografi . . . . .</b>	<b>67</b>
<b>A</b>	<b>Dokumentasjon av modellen, sjekklister . . . . .</b>	<b>70</b>
<b>B</b>	<b>Detaljerte trafikktellinger . . . . .</b>	<b>75</b>
B.1	21.11.20 . . . . .	75
B.2	28.11.20 . . . . .	80

# Figurer

2.1	Makro-, meso- og mikromodeller (Barcelo, García og Perarnau, 2005)	7
2.2	Statisk og dynamisk variasjon over tid . . . . .	8
2.3	Time-step og event-based tidsoppløsning . . . . .	8
2.4	Flytdiagram av simuleringsprosessen i Aimsun (Aimsun, 2021) . . .	10
2.5	Oversikt over grunnleggende elementer i en Aimsun-modell . . . . .	11
2.6	Illustrasjon av elementer i ligning 2.3 . . . . .	12
2.7	Flytdiagram over Gap-Acceptance-modellen . . . . .	14
2.8	Illustrasjon av elementene i Gap-Acceptance-modellen (Aimsun, 2021)	14
2.9	Variasjon i akseptert tidsluke i Gap-Acceptance-modellen (Aimsun, 2021) . . . . .	15
2.10	Oversikt over fotgjenger-elementer ved bruk av Car-following-modellen	16
2.11	Oversikt over fotgjenger-elementer ved bruk av Social-force-modellen	19
2.12	Konseptuell skisse av en <i>Visibility graph</i> (De Berg mfl., 2008) . . . . .	21
2.13	Parametre for Fotgjengertype i Aimsun Pedestrian Simulator . . . . .	22
2.14	Illustrasjon av kraftkomponentene i Social Force modellen . . . . .	23
2.15	Interaksjonsanisotropi for Social force (Yang, Özgüner og Redmill, 2020) . . . . .	23
3.1	Fotgjengerfelt og omtrentlig køutstrekning, befarings 14.11. Bakgrunnsfoto: (Statens kartverk Geovekst og kommunene, 2020) . . .	26
3.2	Vegstrekninger i Trondheim med ÅDT > 9000 (Statens Vegvesen, 2021) . . . . .	27
3.3	Oversikt over modellområdet. Bakgrunnsfoto: (Statens kartverk Geovekst og kommunene, 2020) . . . . .	28
3.4	Anne-Kath. Parows veg før og etter omlegging i 2019 (Statens kartverk Geovekst og kommunene, 2020) . . . . .	29
3.5	Kjøremønstre i modellområdet. Bakgrunnsfoto: (Statens kartverk Geovekst og kommunene, 2020) . . . . .	29
3.6	Popularitetsdata for City Syd, ( <i>City Syd Kjøpesenter - Google Maps 2020</i> ) . . . . .	30
3.7	Plassering av kameraer i modellområdet . . . . .	31
3.8	Vegseksjon der det hentes ut resultater . . . . .	32
3.9	Oversikt over fotgjengergeometrien for de to modellene . . . . .	39

3.10	Flyttdiagram verifisering- kalibrering- og valideringsprosessen . . . . .	40
3.11	Prinsipp for svingbevegelser i rundkjøringer . . . . .	43
4.1	Observerte trafikkmengder for kjøretøy i modellområdet . . . . .	50
4.2	Variasjon i trafikkmengde for de to observasjonsdatoene . . . . .	51
4.3	Vegseksjon der det hentes ut resultater . . . . .	52
4.4	Simulert trafikkvolum i de to modellene . . . . .	53
4.5	Simulert trafikkvolum, med varierende fotgjengervolum i de to modellene . . . . .	54
4.6	Simulert og obeservert forsinkelse 14:15-14:20 . . . . .	55
4.7	Simulert andel forsinkelse av totalreisetid, med varierende fotgjengervolum . . . . .	56
4.8	Eksempler på fastlåste fotgjegersituasjoner . . . . .	57
4.9	Ulike sansynlighetsfordelinger brukt i ankomstberegning (Aimsun, 2021) . . . . .	59

## Tabeller

2.1	Oversikt over sentrale parameterforskjeller mellom kjøretøytypene <i>Personbil</i> og <i>Fotgjenger</i> , gjennomsnittsverdier og standardavvik, fullstendig tabell i Vedlegg ?? . . . . .	17
2.2	Oversikt over sentrale parameterforskjeller mellom vegtypene <i>Hovedveg/ gave i byområde</i> og <i>Fotgjengerareal</i> , fullstendig tabell i Vedlegg ?? . . . . .	18
3.1	Kriterier for signalregulering av gangfelt fra Håndbok N303 (Statens Vegvesen, 2014) . . . . .	25
3.2	Trafikkregistreringer 14.11.20 . . . . .	26
3.3	Oversikt over tidspunkt for videoopptak . . . . .	31
3.4	Reisetid Anne Kath. Parrows veg, friflyt, 09.05.21 . . . . .	33
3.5	Parametre for kjøretøytypene Bus og Metrobuss . . . . .	35
3.6	Metamatrise for beregning av OD-matrise . . . . .	36
3.7	Oppsett av virtuelle signalregulerte gangfelt . . . . .	45
3.8	Valideringskriterier (Persson mfl., 2019) (Tabell 21) . . . . .	47
3.9	Resultater av validering . . . . .	47
4.1	GEH-verdier for simulert trafikkvolum på resultatstrekning . . . . .	53

# Kapittel 1

## Introduksjon

### 1.1 Bakgrunn

Transportsektoren er ansvarlig for nesten en tredjedel av Norges totale CO<sub>2</sub> utslipp. (Statistisk sentralbyrå, 2020). I møtet med klimaendringene og ønsket om å skape et bærekraftig samfunn har derfor sektoren de siste årene startet på den store oppgaven med å redusere disse utslippene. Et av verktøyene er nullvekstmålet, med tilhørende byvekstavtaler, som ble introdusert i Nasjonal transportplan (NTP) 2014–2023. Til tross for noe bråk rundt målet og tiltakene som implementeres for å nå det, er det fremdeles sentralt i regjeringens forslag til Nasjonal transportplan for 2022-2033, og et viktig virkemiddel for at Norge skal klare å nå utslippsforpliktelsene sine i årene som kommer.

Klimagassutslipp, kø, luftforurensing og støy skal reduseres gjennom effektiv arealbruk og ved at veksten i persontransporten tas med kollektivtransport, sykling og gange.

*(Meld. St. 20 (2020-2021), 2021)*

Målet legger store føringer for hvordan areal- og transportplanleggingen i byene utøves, og fører naturlig nok til et økt fokus på å bygge god infrastruktur for å sikre vekst innenfor nevnte transportsegmenter. Dette legger også store føringer for hva som kreves av transportplanleggingssektoren. Med et økt fokus på planlegging av løsninger for gående, syklende og kollektivbrukere, kommer også et økt behov for verktøy for å kunne evaluere hvor godt disse løsningene fungerer og hvordan de kan optimaliseres.

Problemstillingene og hensynene som må tas er mange, og som alltid når det kommer til spørsmål knyttet til transport og samferdsel er det problematikk som er tett på folks hverdag som mange mener og føler mye om. Dette gjør det desto viktigere å ha gode analytiske verktøy som kan hjelpe å styre beslutningene og ta gode og fornuftige avgjørelser.

Digitale simuleringsmodeller har lenge vært i bruk innenfor fagfeltet som en måte å belyse trafikkproblemer på. Aimsun, som denne oppgaven tar utgangspunkt i, har røtter tilbake til slutten av 1980-tallet (Aimsun, 2020a). Etterhvert som man har fått kraftigere og kraftigere datamaskiner har man klart å bygge større og mer komplekse modeller. I takt med en generell dreining i sektoren mot det å tenke på transport som noe mer enn bare biltransport, har det i den siste tiden blitt mer fokus på flere transportformer og samspillet mellom disse. Den nyeste Aimsun-versjonen har en innebygget fotgjengersimulator som åpner for muligheten for å kunne inkludere denne viktige trafikkantgruppen i simuleringene på en enkel og integrert måte.

## 1.2 Omfang, mål og forskningsspørsmål

Det første man må gjøre når man starter opp arbeid som dette er å klart definere formålet med arbeidet. Dette er viktig, rett og slett fordi man trenger å vite hvorfor man gjør ting for å kunne gjøre de på best mulig måte. Ser man på fotgjengermodellering som et eksempel, vil tilnærmingen til arbeidet være svært annerledes om formålet er å dimensjonere en vei for høyest mulig volum biltrafikk enn om målet er å sikre best mulig framkommelighet for fotgjengere, eller bygge en sikrest mulig skoleveg for barn. Valgene man tar underveis er avhengig av hva man ser for seg at sluttresultatet skal bli. Og formålet er i den forstand ett av de viktigste verktøyene man har til å hjelpe seg og styre arbeidet i riktig retning. Det er også viktig for å kunne evaluere om det arbeidet man har gjort er godt nok eller ikke.

I denne masteroppgaven er ønsket først og fremst å kartlegge hvordan man kan bruke modeller i arbeid med trafikk og fotgjengere og det er utfra dette formålet under er formulert. Dette er et relativt bredt mål. For å nå det er det også definert en spisset problemstilling og tre forskningsspørsmål som skal besvares gjennom oppgaven.

### Formål

*Arbeidet har som formål å skaffe kunnskap om modellering av fotgjengere på mikronivå*

### Problemstilling

*Hvor godt klarer man å modellere en reell trafikksituasjon, som inkluderer fotgjengere, ved bruk av Aimsun Pedestrian simulator og fotgjengersimulering i kjøretøymodellen i Aimsun Next 20?*

## Forskningsspørsmål

*Hvordan virker de to modellene teoretisk?*

*Hvordan simulerer modellene trafikksystemet i tilknytning til vikeplikt-regulerte overgangsfelt?*

*I hvor stor grad klarer de ulike metodene å simulere ulike resultater som trafikkflyt og forsinkelse for fotgjengere og kjøretøy på en måte som stemmer overens med virkeligheten?*

## 1.3 Organisering av oppgaven

For å best mulig svare på problemstillingen og forskningsspørsmålene kommer denne rapporten til å ha to hovedfokus:

- En litteraturstudie i Kapittel 2 som ser på aktuell forskning og bakgrunn for modellene som skal brukes i resten av oppgaven.
- En casestudie som er dokumentert i Kapittel 3, 4 og 5. Denne ser på hvordan modellene brukes i praksis og hvordan de klarer å representere virkelige trafikksituasjoner. Fokuset for denne casestudien kommer til å være vikepliktregulerte gangfelt.

Trafikksystem er komplekse og med varierte, unike problemstillinger knyttet til hvert enkelt system. Dette gjør at det å bruke en spesiell situasjon til å si noe om hvor godt en modell virker generelt blir vanskelig. Likefullt er det mulig å finne spesielle situasjoner som inntreffer hyppig i mange systemer og vurdere hvordan modellen klarer å modellere disse. På denne måten kan man få innsikt i hvordan sentrale aspekter ved en modell virker. Et eksempel på en slik "vanlig" situasjon er oppførsel knyttet til vikepliktregulerte overgangsfelt, som casestudien i denne oppgaven i hovedsak kommer til å fokusere på.

Høsten 2020 gjennomførte jeg en prosjektoppgave som et forstudium til denne masteroppgaven. En del av litteraturstudien og resultatene derfra er tatt med inn i denne masteroppgaven. Spesielt gjelder dette Kapittel 2 og 3

Alt arbeid i Aimsun er gjort med *Aimsun Next versjon 20.0.2*, som var nyeste versjon da modellarbeidet startet.

Beregningsark og en kopi av modellen i Aimsun er også vedlagt oppgaven.

### 1.3.1 Begrepsavklaring

Modellene som blir benyttet i oppgaven kommer til å bli beskrevet i detalj i Kapittel 2, men det kan være ryddig å allerede her avklare hvordan enkelte sentrale begreper kommer til å bli benyttet. Begrepsbruken kan være noe forvirrende til tider siden den ene modellen som brukes for å simulere fotgjengere er en modell

som er beregnet på å simulere kjøretøy og som også brukes for å simulere alle kjøretøyene i simulatoren. Derfor er det gjort et forsøk på å være så konsistent som mulig i hvordan man refererer til modellene.

**Aimsun Pedestrian simulator** Er det nye fotgjengersimulatortillegget til Aimsun. Begrepet Social-Force fotgjengersimulering (SF-FotSim) brukes også.

**Mikrosimulatoren for kjøretøy i Aimsun** Brukes for å beskrive simulering av kjøretøy i kjøretøyssimulatoren. Begrepet Car-Following kjøretøysimulering (CF-KjørSim) brukes også.

**Simulering av fotgjengere i kjøretøysimulatoren** Brukes når det er snakk om å bruke kjøretøyssimulatoren for å simulere fotgjengere. Begrepet Car-Following fotgjengersimulering (CF-FotSim) brukes også.

# Kapittel 2

## Teori

### 2.1 Intro

Da Aimsun først ble utviklet på 90-tallet var det som en mikrosimuleringsmodell for kjøretøy. Dette er fremdeles ryggraden i simulatoren i dag, selv om det er kommet mye annen funksjonalitet inn i programvaren i de senere årene (Aimsun, 2020a).

Simulatoren består av flere elementer som til sammen kan skape et realistisk bilde av hvordan kjøretøy beveger seg og interagerer i trafikken på flere ulike modellnivåer. En viktig faktor i trafikkbildet, som har fått mer og mer fokus i de senere årene er fotgjengere. Selv om Aimsun først og fremst er laget for å beskrive motoriserte kjøretøy som biler og busser, er det også mulig å bruke modellen til å simulere fotgjengere som krysser bilveien. Fram til nylig har dette vært gjort på to ulike måter, enten ved å bruke tilleggsmodellen Legion, eller å bruke kjøretøysmodellen og lage et separat nettverk og egne ”fotgjengerkjøretøy” med passende egenskaper, eksempelvis lavere fart og mindre fysisk størrelse. Eksempler på dette finnes i (Holte og Ådland Riise, 2018) og (Bauer og J. Johansson, 2006). I juni 2020 ble en tredje mulighet, *Aimsun Pedestrian simulator* lansert som en del av Aimsun Next 20. (Aimsun, 2020b).

Dette kapittelet kommer til å gå igjennom sentrale deler av mikrosimuleringsmodellen for kjøretøy i Aimsun og se på hvordan denne kan tilpasses og brukes for å modellere fotgjengere. I tillegg vil man se på *Aimsun Pedestrian simulator* og hvordan denne brukes og fungerer.

#### 2.1.1 Legion

Denne rapporten har som nevnt i Kapittel 1 fokus på fotgjengersimulering ved bruk av *Aimsun Pedestrian simulator* og kjøretøysumulatoren i Aimsun, og kommer derfor ikke til å gå i dybden på fotgjengersimulering ved bruk av Legion, utover denne enkle oppsummeringen.



Legion er en simuleringsprogramvare utviklet for å kunne simulere fotgjengerbevegelser. Den er primært bygget med formål å simulere store folkemengder på eksempelvis sport- og konsertarenaer eller transportterminaler. (Bentley systems, 2020) Den har også en API som kan brukes opp mot andre programmer, for eksempel Aimsun. Legion har som formål å simulere situasjoner med fokus på crowd management og dimensjonering for evakuering, noe som vektlegger andre aspekter ved oppførsel hos fotgjengerne enn i en trafikksituasjon.

Legion for Aimsuns brukergrensesnitt bruker stort sett de samme modellelementene som *Aimsun Pedestrian Simulator* (Aimsun, 2021), men har en annen bakenforliggende modell og andre parametre som styrer fotgjengerbevegelsene. Legion benytter en cellebasert kost-nyttmodell (Caramuta mfl., 2017), med ulike forhåndsinnstilte fotgjengertyper og hastighetsprofiler, eksempelvis "Pendler fra Storbritannia" som basis for simuleringen. Av konkurransehensyn oppgir Legion ikke mer detaljer om den bakenforliggende modellen. (Alexandersson og E. Johansson, 2013)

## 2.2 Generelt om modellering og trafikkmodeller

For å kunne studere komplekse systemer på en god måte er det svært vanlig å bruke modeller. Modeller er i sin mest generelle definisjon, måter å prøve å representere reelle systemer, der man er ute etter å predikere hvordan det reagerer på ulike ytre impulser. (Barcelo, 2010)

Når man skal beskrive fenomen som trafikk er det som regel matematiske modeller som blir brukt. Disse består av kombinasjoner av ligninger og sammenhenger som har som formål å omgjøre variable inndata til utdata som stemmer best mulig overens med virkeligheten. Modeller vil aldri kunne være en perfekt representasjon av den virkelige verden, og det vil alltid forekomme forenklinger og antagelser som ikke nødvendigvis er hundre prosent riktig. (sst.)

Helt siden datamaskinene ble kommersielt tilgjengelig på 1950-tallet har man utviklet og brukt digitale simuleringsmodeller for å bedre kunne studere og jobbe med problemstillinger innenfor trafikfeltet. Etterhvert som datamaskinene har blitt kraftigere og kraftigere har man kunnet implementere mer og mer komplekse modeller som er i stand til å representere større geografiske områder og mer komplette trafikkbilder. (Lieberman, 2014)

### 2.2.1 Klassifisering av modeller

Modeller er et svært vidt begrep og for å kunne differensiere mellom ulike konsepter og tilnærminger, finnes en del terminologi som beskriver ulike kategoriseringer av modeller. De fleste begrepene her er generelle begreper som kan brukes om alle typer modeller, men de forklares her med utgangspunkt i trafikksimuleringer.

### Detaljnivå

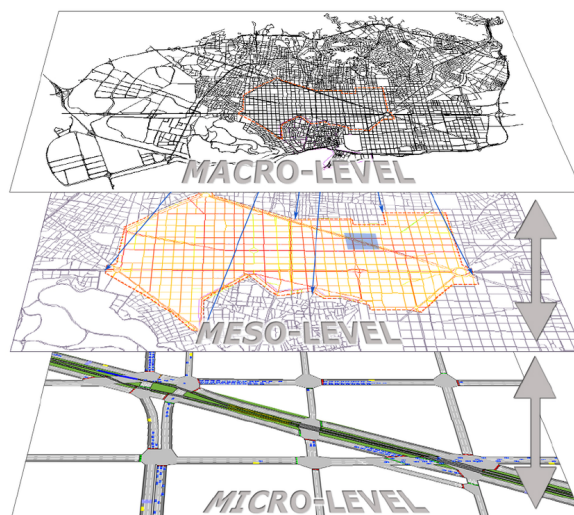
Det første man skiller på i kategoriseringen er detaljeringsgraden på modellene. Jo mer kompleks og detaljert en modell er, jo mer ressurser kreves det for å drive den. I mange tilfeller er det ikke hensiktsmessig eller nødvendig å ha en superdetaljert modell, og da velger man som regel å ikke ha det. (Ozbay mfl., 2014). Det brukes i utgangspunktet tre kategorier av modeller innenfor trafikfeltet, i tillegg til dette har man også en blandingskategori med hybridmodeller som kombinerer elementer fra de ulike kategoriene.

**Mikroskopiske modeller** har det høyeste detaljnivået. Her modelleres det individuell oppførsel for individuelle trafikanter.

**Makroskopiske modeller** har det laveste detaljnivået. Her aggregerer dataene, slik at man ser på trafikstrømmer og ikke individuelle trafikanter.

**Mesoskopiske modeller** er modeller som ligger i området mellom mikro- og makromodeller. Her aggregerer man trafikantene til strømmer, men legger også inn individuelle regler for individuelle trafikanter (Van Wageningen-Kessels mfl., 2014).

**Hybridmodeller** Mye av dagens programvare, som eksempelvis Aimsun, har funksjonalitet som gjør at den kan simulere på både mikro, meso og makronivå samtidig. Dette åpner for muligheten for å kombinere modeller på samme transportnettverk. På denne måten kan man simulere store nettverk, som for eksempel hele byer, samtidig som man kan se på enkeltkjøretøys oppførsel i problematiske kryss. (Aimsun, 2021)



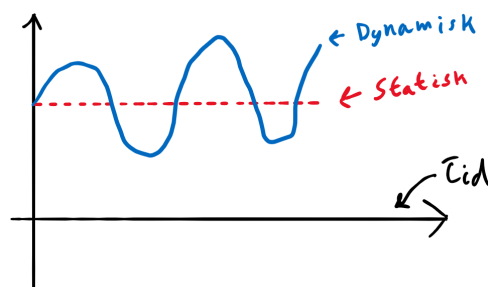
Figur 2.1: Makro-, meso- og mikromodeller (Barcelo, García og Perarnau, 2005)

### Variasjoner over tid

Hvordan tid representeres i modellen brukes ofte også som et viktig kategoriseringsmerke. Her er det snakk om to litt ulike tilnærminger til tidsvariasjon. Den første, Statisk vs. Dynamisk, handler om hvordan data modelleres over tid. Mens Time step vs. Event based, handler om oppløsningen på tidsvariabelen.

**Statistiske modeller** varierer ikke over tid, men representerer en likevektssituasjon, gjerne et gjennomsnitt.

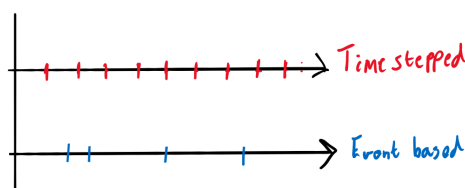
**Dynamiske modeller** varierer med tiden og gjør individuelle beregninger for hvert enkelt tidspunkt.



Figur 2.2: Statisk og dynamisk variasjon over tid

**Time-step** modeller har en lineær tidsoppløsning som baserer seg på en gitt grunnenhet, f.eks 1 sekund, modellen gjør i utgangspunktet en ny beregning pr tidsenhet.

**Event-based** modeller har en tidoppløsning som baserer seg på å gjøre beregninger kun når det skjer visse hendelser i systemet, f.eks en bil kjører inn i et kryss. (Aakre, 2019)



Figur 2.3: Time-step og event-based tidsoppløsning

### Tilnærming til usikkerhet og variasjoner

Den siste typen kategorisering som trekkes frem her er hvordan modellen hensyntar usikkerhet og variasjoner.

**Deterministiske** modeller prøver å representere de gjennomsnittlige forholdene

og inneholder ingen tilfeldige elementer. Den vil gi samme resultat hver gang hvis du kjører den med samme variable.

**Stokastiske** modeller inneholder tilfeldige elementer og sannsynlighetsfordelinger. Den vil ikke nødvendigvis gi like resultater hvis du kjører den flere ganger med samme variable og kjøres derfor ofte med mange replikasjoner og gir resultater som inkluderer en usikkerhet. (Flügel mfl., 2014)

Veldig ofte er det en sammenheng mellom kompleksiteten og ønsket detaljnivå i modellen og hvordan den kategoriseres. For eksempel er de fleste mikromodeller, dynamiske og stokastiske.

## 2.3 Mikrosimulering av kjøretøy i Aimsun Next 20

### 2.3.1 Modelloversikt

Figur 2.4 er et flytdiagram som konseptuelt viser hvordan en simuleringsprosess for kjøretøy i Aimsun fungerer. Modellen er *time-stepped*, noe som vil si at det beregnes en ny modelltilstand ved jevne tidsintervaller. For hver tidsenhet (simulation step) går man igjennom de ulike modellmodulene og gjør eventuelle oppdateringer på tilstanden.

Dette kapittelet kommer først til å gi en liten gjennomgang av terminologi og forklaring av de ulike modellelementene. Videre kommer det en gjennomgang de mest sentrale delmodellene av relevans for denne oppgaven.

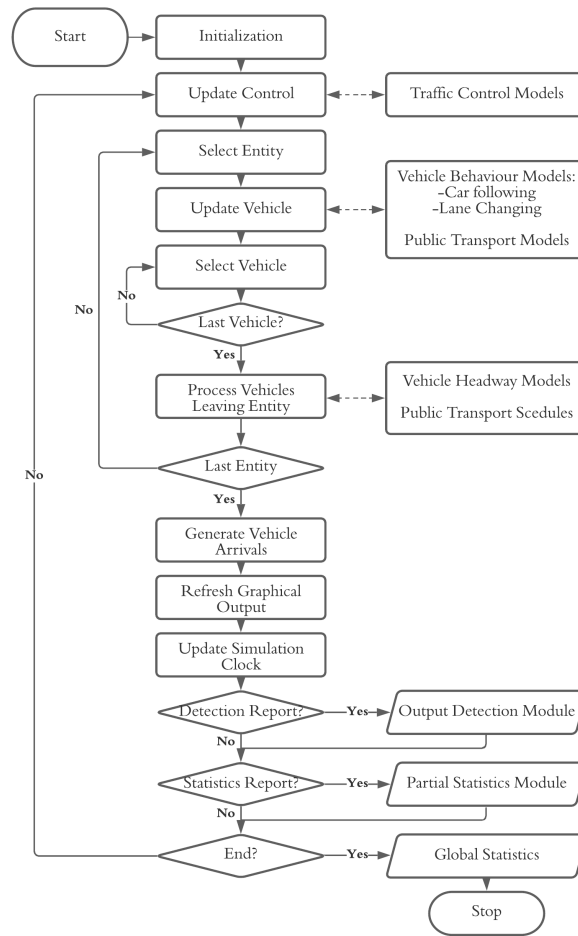
#### Modellelementer

Her følger en enkel oversikt over de ulike elementene som bygger opp en grunnleggende Aimsun-modell.

**Seksjoner (Sections)** Seksjoner er basisen for veinettverket i modellen. En seksjon beskriver geometrien og andre egenskaper, som fartsgrense, til et eller flere felt som går i samme retning.

**Noder (Nodes)** Noder er knutepunktet mellom to eller flere seksjoner. Noden er et objekt som inneholder informasjon om hvordan kjøretøyene skal oppføre seg når de flytter seg fra en seksjon til en annen. Som regel er dette snakk om hvilke svingebevegelser som er lov, og hvordan krysset fungerer (Signalregulert eller vikepliktregulert). Signalregulerte kryss styres av en egen kontrollplan som inneholder informasjon om fasene. Det er også mulig å definere et kryss som en "yellow-box" som vil si at kjøretøy kun kjører inn i noden dersom det er mulighet for at de kan kjøre ut i andre enden (altså at det ikke er kø i neste seksjon).

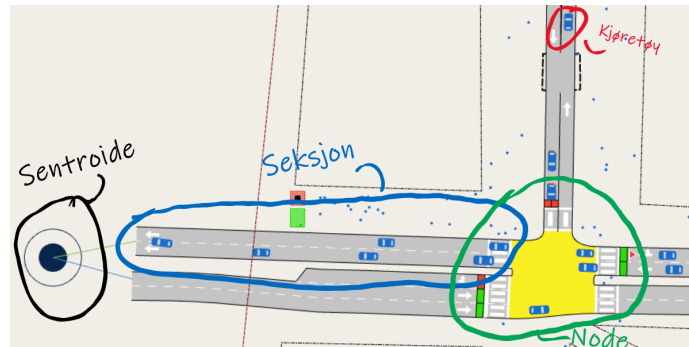
**Sentroider (Centroids)** Sentroider er objekter i modellen som fungerer som start



Figur 2.4: Flytdiagram av simuleringprosessen i Aimsun (Aimsun, 2021)

og endepunkt for kjøretøyene i modellen. Disse er koblet til modellens tur-genereringssystem. Mikromodellen i Aimsun har to metoder for å legge inn etterspørsel for reiser: "Traffic states" som beskriver flyten på alle veilenkene i tillegg til fordelingen av svingbevegelser i nodene. Og OD-matriser (Origin Destination) som beskriver hvor mange reiser som genereres og etterspørres i de ulike sentroidene.

**Kjøretøy (Vehicles)** Kjøretøyene er objekter i mikromodellen som representerer enkeltkjøretøy i trafikken. Disse inneholder informasjon om kjøretøyets fysiske egenskaper (størrelse, vekt, osv.) I tillegg til informasjon om hvordan det oppfører seg i trafikken, eksempelvis akselerasjon, reaksjonstid, hvor stor avstand føreren ønsker å ha til kjøretøyene rundt seg og aksepterte tidsluker ved vikeplikt.



Figur 2.5: Oversikt over grunnleggende elementer i en Aimsun-modell

### 2.3.2 Car-following

For å modellere hvordan kjøretøy beveger seg bruker Aimsun en variant av Gipps Car-following modell (Gipps, 1981). Det er gjort en del endringer i modellen som åpner opp for å kunne inkludere noen lokale parametre som for eksempel kryssgeometri, ulike typer førerkarakteristikker (eksempelvis hvordan man forholder seg til fartsgrenser) og påvirkning fra kjøretøy i andre felt. (Aimsun, 2021).

Som man kan lese ut fra navnet på modellen fokuserer den på hvordan biler følger hverandre. En av de mest sentrale sammenhengene for å fastsette kjøretøyenes bevegelse er farten, som er gitt formelen i ligning 2.1. Dette er hastigheten for kjøretøy  $n$  i tidspunktet  $(t + T)$ . Der  $T$  er tidsforskjellen mellom de ulike simuleringstegene.

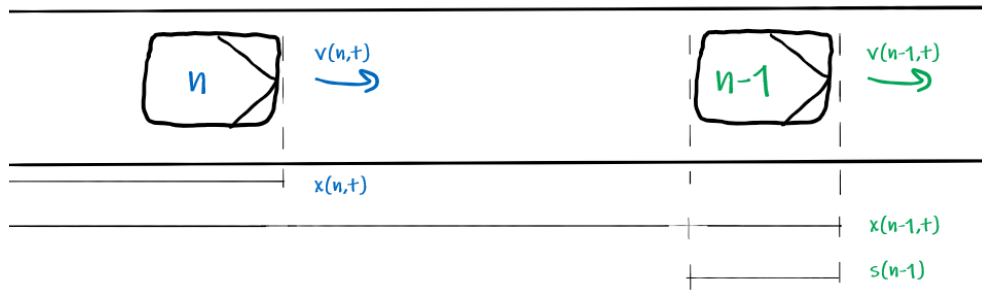
$$V(n, t + T) = \min \{V_a(n, t + T), V_b(n, t + T)\} \quad (2.1)$$

Her er farten den laveste av to alternative hastigheter. Den ene er akselerasjonskomponenten  $V_a(n, t + T)$  gitt i ligning 2.2. Dette er hastigheten kjøretøyet holder dersom det ikke blir påvirket av annen trafikk forran seg. Den baserer seg på hastigheten bilen har i det foregående simuleringsteg  $t$ , den maksimale akselerasjonen til kjøretøyet  $a(n)$  og ønsket hastighet for kjøretøyet på den gitte strekningen  $V^*(n)$ . Fra ligningen kan man se at endringen i fart fra  $t$  til  $t + T$  er størst når differansen mellom  $V(n, t)$  og  $V^*(n)$  er stor.

$$V_a(n, t + T) = V(n, t) + 2,5 \cdot a(n) \cdot T \cdot \left(1 - \frac{V(n, t)}{V^*(n)}\right) \sqrt{0,025 + \frac{V(n, t)}{V^*(n)}} \quad (2.2)$$

Videre har du  $V_b$  gitt i ligning 2.3 som er oppbremsingskomponenten. Dette er hastigheten som gjelder i det kjøretøyet begynner å ta hensyn til kjøretøy lengre framme i samme felt, den kan beskrive både saktegående køer, men også trafikk i høyere hastigheter. Figur 2.6 illustrerer noen av parametrene i ligningen, i tillegg

til disse er  $d$ , som er retardasjonen til kjøretøyene en sentral parameter. Denne vil være ulik for kjøretøyets egen retardasjon  $d(n)$  og den estimerte retardasjonen  $d'(n-1)$  til kjøretøyet forran (2.4). Denne verdien for kjøretøy  $n-1$  blir estimert av fører i kjøretøy  $n$  og vil derfor ikke nødvendigvis være lik den faktiske retardasjonen. Nøyaktigheten i estimerer styres av en sensitivitetsparameter  $\alpha$



Figur 2.6: Illustrasjon av elementer i ligning 2.3

$$V_b(n, t + T) = d(n) \cdot T + \left[ d(n)^2 \cdot T^2 - d(n) \cdot \left( 2x((n-1), t) - s(n-1) - x(n, t) \right) - V(n, t) \cdot T - \frac{V(n-1, t)^2}{d'(n-1)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.3)$$

$$d'(n-1) = d(n-1) \cdot \alpha \quad (2.4)$$

For å oppdatere posisjonen til kjøretøyene i modellen benyttes enkel integrasjon. Det skilles på hvordan man integrerer akselarsjon og bremsing. Posisjonen etter akselerasjon er beregnes med rektangelmetoden (2.5), posisjonen etter oppbremsing beregnes med trapesmetoden (2.6)

$$x(n, t + T) = x(n, t) + V(n, t + T) \cdot T \quad (2.5)$$

$$x(n, t + T) = x(n, t) + 0.5(V(n, t) + V(n, t + T)) \cdot T \quad (2.6)$$

Kombinasjonen av disse hastighetene og posisjonene vil ofte være nok til å kunne modellere mange enklere trafikksituasjoner på en god måte. Men som nevnt har Aimsun implementert et par tillegg i sin simuleringsprogramvare som gir større

muligheter for å simulere et bredere spekter av situasjoner. Dette er tilleggsammenhenger som på en eller annen måte manipulerer noen av parametrene i ligningene i Gipps-modellen. For eksempel gjennom å fastsette en ny ønsket hastighet  $V^*(n)$  slik man gjør i "Two lane Car-following"-modellen. Denne beskriver situasjoner der man har flere felt i samme retning og hastigheten til biler i de ulike feltene påvirker hverandre. Her beregnes det en ny ønsket hastighet for kjøretøy basert på hastigheten til andre kjøretøy innenfor en gitt avstand i de andre feltene på veien. (Aimsun, 2021) Dette kan for eksempel brukes for å realistisk kunne modellere motorveirampes, der bilene tilpasser farten avhengig av posisjon og hastighet i forhold til andre felt.

### 2.3.3 Lane-Changing

Denne delmodellen er ikke veldig sentral for casestudiet i denne rapporten, siden det er relativt få områder i nettverket som brukes der hvor det er naturlig med feltskifter. Videre er heller ikke feltskifter relevant i særlig grad når man ser på fotgjengersimulering i kjøretøymodellen. Det å ha en fotgjengermodell som baserer seg på endimensjonale bevegelsesmuligheter som er låst til gitte felt og retninger, er i seg selv en ganske unaturlig gjengivelse av virkeligheten og feltskifter vil følgelig være en lite relevant oppførsel å modellere realistisk. Det blir allikevel her gitt en enkel oppsummering av delmodellen, for å bedre forstå helheten i hele mikrosimuleringsprosessen.

For hvert simulasjonsteg stiller lane-changing modellen følgende tre spørsmål for hvert kjøretøy:

- Er det **nødvendig** å skifte felt?
- Er det **ønskelig** å skifte felt?
- Er det **mulig** å skifte felt?

Videre kategoriseres kjøretøyene innenfor følgende soner, basert på avstanden til kommende node:

- Sone 1: Kjøretøy utfører feltskifte dersom det er mulig og det medfører forbedrede kjøreforhold.
- Sone 2: Kjøretøy utfører feltskifte på egnet sted dersom det er nødvendig for en kommende svingbevegelse.
- Sone 3: Kjøretøy må utføre et nødvendig feltskifte på grunn av kommende svingbevegelse, om nødvendig bremses det helt opp og venter på en luke.

(sst.)

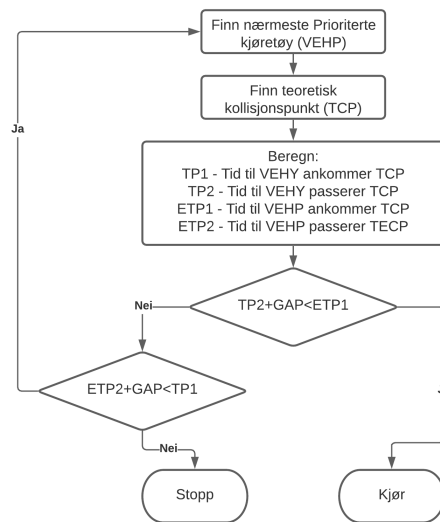
### 2.3.4 Gap-Acceptance

Gap-Acceptance-modellen brukes for å modellere vikepliktsoppførsel i Aimsun, det vil også være denne modellen som regulerer hvordan overgangsfeltene vir-

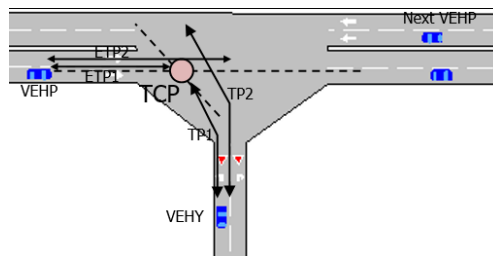


ker når man simulerer fotgjengere i kjøretøymodellen. Figur 2.7 og 2.8 forklarer hvordan modellen virker. Det er en relativt enkel algoritme, som går ut på at det vikende kjøretøyet (VEHY) først avgjør om det kan kjøre før det prioriterte kjøretøyet (VEHP) ankommer det hypotetiske kollisjonspunktet. Dersom dette går bra kjører det vikende kjøretøyet, hvis ikke gjøres det en ny vurdering på om det prioriterte kjøretøyet vil ha forlatt kollisjonspunktet før vikende ankommer. Hvis det har det vil det vikende kjøretøyet gjenta algoritmen for det neste prioriterte kjøretøyet inntil det finner en luke det er trygt å kjøre i.

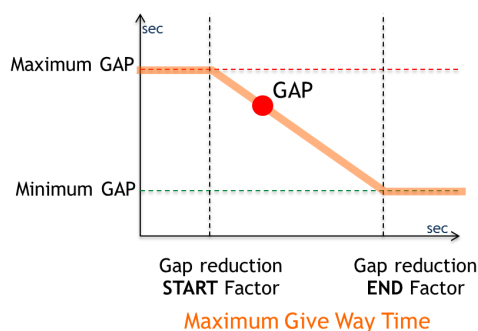
I tillegg til dette legger det vikende kjøretøyet til en sikkerhetsmargin (GAP) når det gjør vurderingene. Denne marginen er i utgangspunktet en kombinasjon av vei- og kjøretøyparametre, men vil også endre seg avhengig av hvor lenge det vikende kjøretøyet har ventet på en åpning. Variasjonen er illustrert i Figur 2.9. Den vil føre til at jo lengre et kjøretøy har ventet på en luke, jo mer aggressiv oppførsel vil man få.



Figur 2.7: Flytdiagram over Gap-Acceptance-modellen



Figur 2.8: Illustrasjon av elementene i Gap-Acceptance-modellen (Aimsun, 2021)



Figur 2.9: Variasjon i akseptert tidsluke i Gap-Acceptance-modellen (Aimsun, 2021)

### 2.3.5 Simulering av fotgjengere ved bruk av kjøretøysimulatoren

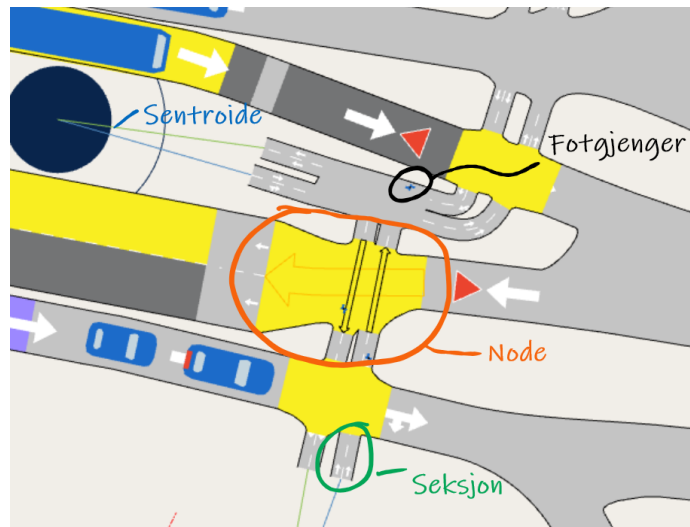
Dersom man skal bruke kjøretøysimulatoren i Aimsun til å simulere fotgjengere må det gjøres en del tilpassinger. Dette gjøres i all hovedsak gjennom å opprette en ny kjøretøytype som man tillegger fotgjengereregenskaper. Aimsun har allerede en mal for dette "fotgjengerkjøretøyet" med foreslåtte parameterverdier.

#### Tilpassing av nettverk

Det må også gjøres en del justeringer i geometrien på nettverket og etterspørselsgrunnlaget i modellen. *Fotgjengerkjøretøyene* er i prinsipp kjøretøy på lik linje med biler og busser, og følgelig vil de kunne bruke all infrastrukturen i modellen tiltenkt motoriserte kjøretøy. Dette er ikke ønskelig, da store feilrepresentasjoner i framkommeligheten på nettverket, siden fotgjengerne beveger seg sakte i forhold til motorkjøretøy.

For å unngå dette bygger man et eget separat nettverk for fotgjengerne, som kun interagerer med motorkjøretøynettverket i de områdene man ønsker å simulere kontakt, altså overgangsfeltene. Fotgjengernettet bygges med egne dedikerte veiseksjoner. Her finnes det også en mal i Aimsun, med foreslåtte parametre som veibredde og fartsgrenser. I modellen i denne rapporten brukes det anbefalte parameterverdier fra utkastet til den norske veilederen i bruk av Aimsun (Persson mfl., 2019), i kombinasjon med anbefalte verdier fra Aimsun der det ikke er spesifikke norske tilpassinger.

Stedene man ønsker å simulere fotgjengeroverganger bygges som noder der seksjoner fra fotgjengernettet og kjøretøynettverket kombineres. Man tilater ikke svingbevegelser mellom de to nettverkene, og gir kjøretøyene vikeplikt. For å sikre en mest mulig realistisk simulering av overgangsfeltene er det også i de fleste tilfeller nyttig å definere nodene som *Yellow boxes* slik at kjøretøy ikke kjører inn i noden dersom den er okkupert. Figur 2.10 viser elementene som bygger opp fotgjengertilpassingen av kjøretøymodellen.



Figur 2.10: Oversikt over fotgjenger-elementer ved bruk av Car-following-modellen

### Tilpassing av parametre

Som nevnt må det opprettes en helt ny kjøretøytype og nye veityper, disse trenger parameterverdier som gjør at de på en god måte klarer å simulere fotgjengeroppførsel. De foreslåtte verdiene fra Aimsun er et godt sted å starte, og kan videre suppleres med verdier fra utkastet til den norske veiereren i bruk av Aimsun, som har utarbeidet maler med utgangspunkt i norske forhold. (Persson mfl., 2019)

Enkelte av verdiene brukt i modellen denne rapporten omhandler er trukket frem i Tabell 2.1 og Tabell 2.2. Her er det fokusert på parametre som enten er sentrale for virkemåten til modellen, eller der det er stor forskjell på parameterverdien for kjøretøy og fotgjengere. Den fullstendige oversikten over parameterverdier brukt i modellen er vedlagt i Vedlegg ??

	Personbil		Fotgjenger	
	Snitt	Avvik	Snitt	Avvik
Length [m]	4,4	0,4	0,5	0
Width [m]	1,8	0,2	0,5	0
Max Desired Speed [km/h]	110	10	5,0	1
Speed Limit Acceptance [ ]	1,0	0,1	1,0	0,5
Clarence [m]	2,0	0,8	0,2	0,1
Max Give Way time [s]	10	2,5	10	5,0
Reaction Time [s]	0,8	-	0,6	-
Reaction Time at Stop [s]	1,2	-	0,8	-
Reaction Time at Traffic Light [s]	1,5	-	1,0	-
Max Acceleration [m/s <sup>2</sup> ]	3,0	0,2	0,5	0,2
Normal Deceleration [m/s <sup>2</sup> ]	4,0	0,25	1,2	0,2
Max Deceleration [m/s <sup>2</sup> ]	6,0	0,5	1,5	0,2
Safety Margin Factor	1,0	0	1,0	0
Lateral Clearance [m]	0,3	0,1	0,1	0

**Tabell 2.1:** Oversikt over sentrale parameterforskjeller mellom kjøretøytypene *Personbil* og *Fotgjenger*, gjennomsnittsverdier og standardavvik, fullstendig tabell i Vedlegg ??

## 2.4 Aimsun Pedestrian simulator

### 2.4.1 Intro

*Aimsun Pedestrian simulator* er den nye fotgjengersimulatoren bygget inn i versjon 20 av *Aimsun Next*. Dette kapittelet kommer først til å gi en litt praktisk vinklet innføring i modellen, der man går igjennom de ulike modellobjektene og hvordan disse initieres. Etter dette kommer en gjennomgang av teorien modellen bygger på og hvordan denne implementeres i simulatoren.

### 2.4.2 Objekter i Aimsun Pedestrian simulator

Objektene her er også illustrert i Figur 2.11.

**Fotgjengere (Pedestrians)** Er bevegelige objekter og tilsvarer kjøretøyene i hovedmodellen. Er definert som en sirkel med en gitt radius. I tillegg er det mulig å definere ganghastighet, og parametre som styrer hvor stor avstand fotgjengeren prøver å holde til andre fotgjengere og hindringer.

**Fotgjengerområde (Pedestrian area)** Er et geometrisk definert polygon i modellen som utgjør området fotgjengerne kan bevege seg i.

**Hindringer (Pedestrian obstacles)** Er geometrisk definerte objekter, enten linjer eller polygoner innenfor fotgjengerområdet der fotgjengerne ikke kan bevege seg. Vegnettverket og bygninger tegnet inn i modellen blir automatisk

	Hovedveg/gate i byområder	Fotgjengerareal
Speed limit [km/h]	60	6
Lane width [m]	3	0,6
Look-Ahead Distance [m]	300	20
Critical Look-Ahead Distance [m]	40	5
Visibility to Give way [m]	30	50
Visibility along main stream [m]	60	8

**Tabell 2.2:** Oversikt over sentrale parameterforskjeller mellom vegtypene *Hovedveg/ gave* i byområde og *Fotgjengerareal*, fullstendig tabell i Vedlegg ??

definert som hindringer.

**Gangfelt (Pedestrian crossing)** Er et objekt som definerer hvor fotgjengere har lov å krysse veien. Gangfelt må være plassert i enden av en vegseksjon, og tilknyttes noden som er plassert der. Fotgjengere har prioritet i alle gangfelt, og det er mulig å justere, bredden, samt parameteren som tilsier hvor stor avstand kjøretøy holder til fotgjengerne. Gangfeltene kan også signalreguleres og defineres som "yellow-box".

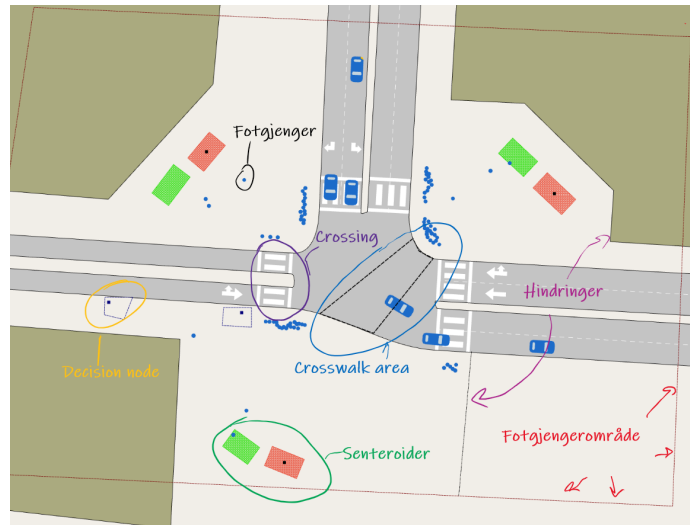
**Overgangsområder (Crosswalk areas)** Er en mer fleksibel form for overgangsfelt som har vilkårlig geometri og kan plasseres hvor som helst i en node. Disse kan lysreguleres, men har ikke mulighet for å justere parameteren for hvor stor avstand kjøretøy holder til fotgjengere.

**Venteområder (Waiting areas)** I tilknytting til de to endene på gangfeltene og overgangsområdene må det opprettes Waiting areas. Disse har en del forskjellige funksjoner. Som navnet tilsier er det områder der fotgjengerne kan vente. Dette gjelder spesielt i signalregulerte kryss. Når fotgjengerne venter vil de ha en litt annen oppførsel enn de har når de er i bevegelse. Området fungerer også som et deteksjonsområde som kan trigge andre deler av modellen når fotgjengerne entrer.

**Sentroider (Centroids)** På samme måte som for kjøretøy definerer sentroidene start og endepunkt for fotgjengerens reise. Unikt for fotgjengermodellen er at det er separate inngangs- og utgangssentroider. Etterspørselen reguleres gjennom en egen OD-matrise for fotgjengere.

**Valgnoder (Decision nodes)** For å bedre kunne kontrollere hvordan fotgjengerne beveger seg i simuleringsområdet er det mulig å legge inn valgnoder. Dette er områder som tiltrekker fotgjengere utfra en fordeling, slik at man kan sikre at eksempelvis 80% av fotgjengerne velger en gitt rute.

(Aimsun, 2021) (Hartmann, 2021)



Figur 2.11: Oversikt over fotgjengerelementer ved bruk av Social-force-modellen

### 2.4.3 Modellbakgrunn

(Caramuta mfl., 2017) kategoriserer tre typer fotgjengermodeller på mikronivå. Det er: *Physical force models*, *Cellular based models* og *Queuing models*.

*Aimsun Pedestrian Simulator* er en kraftbasert modell, og bygger på Helbing og Molnárs Social force modell fra 1995 (Helbing og Molnar, 1995). Dette er en mye brukt modell, og samme modell som brukes i PTVs Viswalk, som er en annen populær simuleringsprogramvare til mikrosimulering av fotgjengere. Legion som er et av de andre alternativene for simulering av fotgjengere i Aimsun benytter en cellebasert kost-nytte-modell. (Caramuta mfl., 2017)

Det er noe vanskelig å plassere fotgjengersimulering i kjøretøyssimulatoren i Aimsun inn i disse kategoriene. På mange måter kan man si det er en kraftbasert modell siden den baserer seg på akselerasjon og oppbremsing, men den har også en del trekk som gjør at den kan plasseres i de to andre kategoriene. Car following modellen som brukes i Aimsun er laget for å simulere en endimensjonal bevegelse, og er derfor vanskelig å putte i samme kategori som modeller som er laget for å løse todimensjonale problemer av en annen art.

Hvordan fotgjengerne beveger seg i Social force modellen er et resultat av flere ulike kraftkomponenter som til sammen utgjør en samlet kraft som avgjør fotgjengerens akselerasjon og følgelig hastighet og posisjon. Hele denne kraftsummen er gitt i (2.8) og (2.7). Dette er Helbing og Molnárs originalmodell fra 1995, Aimsun gjør en del modifikasjoner og tilpassinger i sin implementering, disse avvikene kommenteres underveis i modellforklaringen.

$$\frac{d\vec{w}_\alpha}{dt} := \vec{F}_\alpha(t) + \text{fluctuations.} \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned}
\vec{F}_\alpha(t) := & \vec{F}_\alpha^0(\vec{v}_\alpha, v_\alpha^0 \vec{e}_\alpha) + \sum_{\beta} \vec{F}_{\alpha\beta}(\vec{e}_\alpha, \vec{r}_\alpha - \vec{r}_\beta) \\
& + \sum_B \vec{F}_{\alpha B}(\vec{e}_\alpha, \vec{r}_\alpha - \vec{r}_B^{\alpha}) \\
& + \sum_i \vec{F}_{\alpha i}(\vec{e}_\alpha, \vec{r}_\alpha - \vec{r}_i, t)
\end{aligned} \tag{2.8}$$

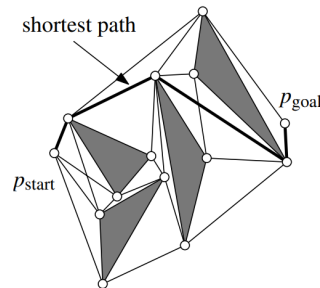
(2.7) Definerer fotgjengeren  $\alpha$  sin ønskede hastighet  $\vec{w}_\alpha$  som den deriverte av kraften  $\vec{F}_\alpha(t)$  og et fluktuasjonsledd. Dette leddet er tatt med i modellen for å kunne implementere tilfeldige variasjoner i fotgjengers oppførsel, som for eksempel at man stopper eller endrer hastighet når man kommer på at man har glemt lommeboken hjemme. I Aimsuns modell er fluktuasjonsleddet ikke implementert enda, grunnet stabilitetsproblemer i simulasjonen. (Hartmann, 2021)

$\vec{F}_\alpha(t)$  er summen av kreftene som virker på fotgjengeren. Denne er videre definert i gjennom de fire leddene i (2.8). De tre første av disse leddene er implementert i *Aimsun Pedestrian simulator*. Det siste leddet  $\vec{F}_{\alpha i}$ , som ikke er implementert pr versjon 20.2 av Aimsun, representerer tiltrekningskraft til andre elementer i modellen. Dette kan være at man treffer venner, eller ser et spennende butikkvindu. Det er likevel mulig å til en viss grad simulere denne typen tiltrekning gjennom å bruke *Decition nodes* og OD-ruter for å tiltrekke fotgjengere til spesifikke punkter i modellen. Dette er ikke den samme kraften som Helbing og Molnár beskriver i sin modell, men heller en manipulasjon av den ønskede reiseruten til fotgjengerne, som er representert i (2.8), første ledd  $\vec{F}_\alpha^0$ .

Kraftsummens første ledd  $\vec{F}_\alpha^0$ , er definert i (2.9), og representerer som nevnt tiltrekningen mot fotgjengerens destinasjon. En viktig egenskap med fotgjengermodellen er at den tillater bevegelse i alle retninger i 2d-planet, og ikke bare langs vegseksjoner med definert retning. Dette åpner for en mye mer dynamisk modell med tanke på mulighet for bevegelse, men medfører også at man trenger en god måte å finne den beste reiseruten for fotgjengerne. For å løse dette benytter modellen noe som kalles en *Visibility graph* som er resultatet av en algoritme for å finne korteste rute mellom to punkter med hindringer imellom. (sst.). Konseptet er illustrert i Figur 2.12 og går i all hovedsak ut på at man trekker rette linjer mellom hjørnene på alle hindringer mellom to punkter, velger ut linjene som er ”siktlinjer”, altså at de ikke krysser noen av hindringene og finner den finner den kombinasjonen av linjer som gir den korteste avstanden mellom de to punktene. (De Berg mfl., 2008)

$$\vec{F}_\alpha^0(\vec{v}_\alpha, v_\alpha^0 \vec{e}_\alpha) := \frac{1}{\tau_\alpha} (v_\alpha^0 \vec{e}_\alpha - \vec{v}_\alpha) \tag{2.9}$$

Dette resulterer i at man får en ønsket reiserute for fotgjengerne, som representeres i (2.9) gjennom retningsvektoren  $\vec{e}_\alpha$ . Resten av faktorene i ligningen er  $\vec{v}_\alpha$ ,



**Figur 2.12:** Konseptuell skisse av en *Visibility graph* (De Berg mfl., 2008)

fothjengerens nåværende hastighet,  $v_{\alpha}^0$ , fothjengerens ønskede hastighet, og  $\tau_{\alpha}$ , en senistivtetsparameter som beskriver hvor avslappet fothjengeren er, altså hvor raskt den akselererer og bremser opp.

De to siste leddene i (2.8) er matematisk like, selv om de beskriver to ulike fenomen, og derfor har ulike variable og parametre. Ledd to  $\vec{F}_{\alpha\beta}$  er de sosiale kreftene, som gir modellen sitt navn. Dette er kreftene som virker fra andre fothjengere og bidrar til å opprettholde avstand mellom folk. Ledd tre  $\vec{F}_{\alpha B}$  er kreftene som virker fra andre fysiske hindringer, som for eksempel bygninger. (Helbing og Molnar, 1995) går utfra at størrelsen på disse kreftene kan gis som minkende eksponentielle funksjoner på den generelle formen:

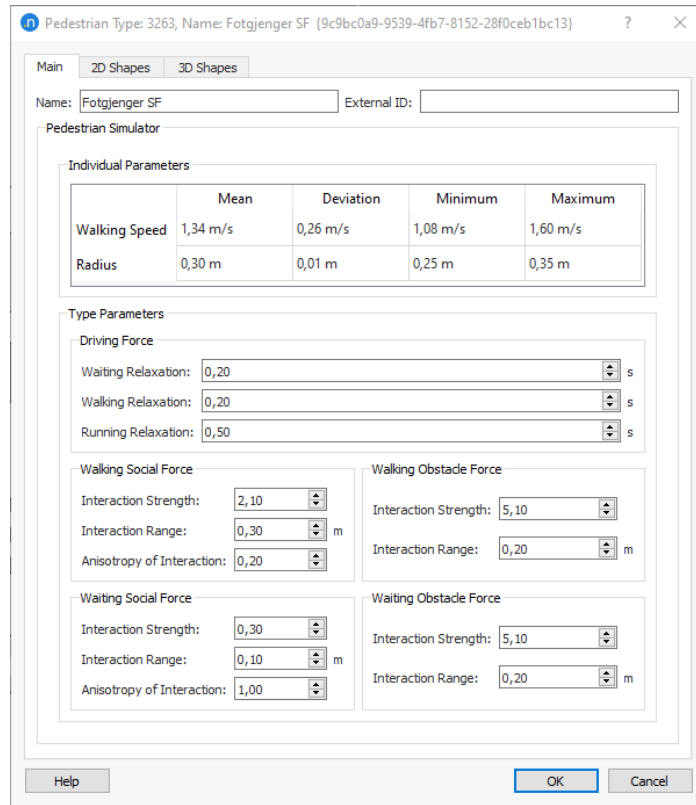
$$F = A \cdot e^{-\frac{r}{B}} \quad (2.10)$$

Her er  $r$  er avstanden mellom fothjengeren og personen/objektet den interagerer med og  $A$  og  $B$  er parametre som styrer styrken og interaksjonsavstanden til kraften. I Aimsun er dette blant de mest sentrale kalibreringsparametrene for fothjengertypen, og tilsvarer *Interaction strength* ( $A$ ) og *Interaction range* ( $B$ ). Det er mulig å kalibrere fire forskjellige varianter av disse for hver fothjengertype. Det skiller mellom de to krafttypene *Social force* og *Obstacle force* og de to ulike oppførselsene *Walking* og *Waiting*.

En siste viktig faktor som må modelleres er det faktum at en persons synsvinkel vil ha mye å si for om man opplever ”krefter” slik modellen beskriver. Derfor vektet kreftene utfra synsvinkelen til fothjengeren som beveger på seg, slik at hindringer som fothjengerene ikke er klar over fordi de befinner seg bak dem, ikke påvirker bevegelsen. Det er kun de sosiale kreftene som vektet på denne måten, siden fothjengere vil være klar over og ta hensyn til faste objekter bak seg, siden man nettopp har gått forbi disse.

En god måte å gjøre dette på er ved å bruke anisotrope funksjoner til å vekte kreftene, det finnes ulike former for slik vektning, men en funksjon som gir realis-



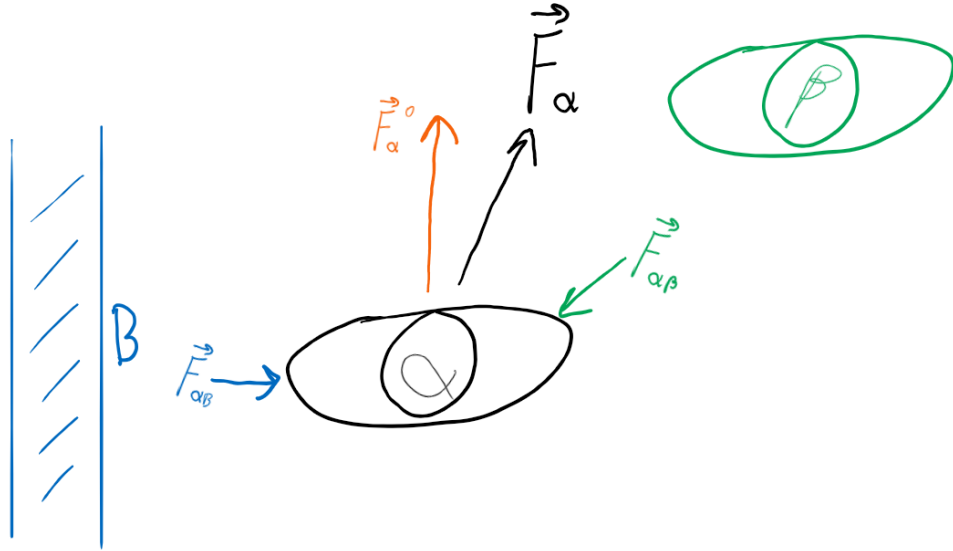


Figur 2.13: Parametre for Fotgjengertype i Aimsun Pedestrian Simulator

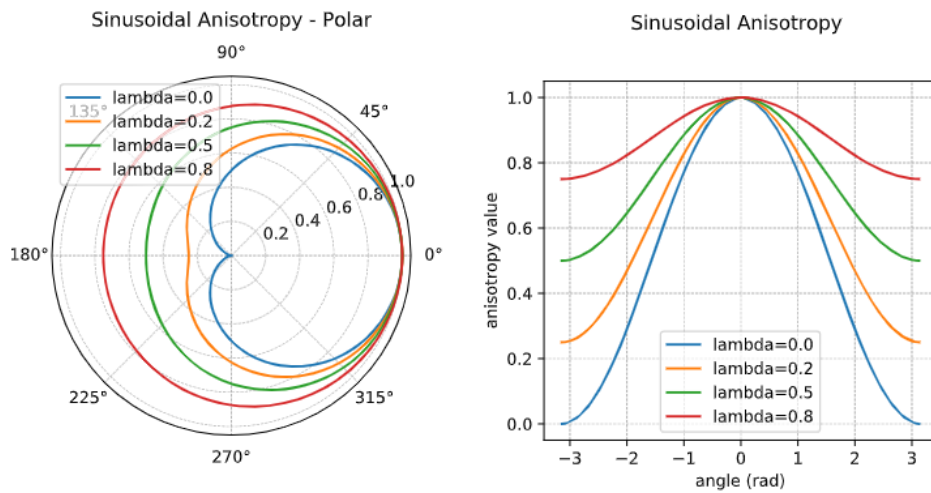
tiske resultater (Helbing og A. Johansson, 2013) er sinusfunksjonen som benyttes i Aimsuns modell (Hartmann, 2021), vist i ligning (2.11).

Der er  $\lambda_\alpha$  en vektparameter (tilsvarer *Aniotropy of interaction* i Aimsun) og  $\varphi_{\alpha\beta}$  er vinkelen mellom bevegelsesretningen til fotgjengeren kraften virker på og fotgjengeren som er kilden til kraften. Hvordan vektingen  $w$  vil endre seg med ulike verdier av  $\lambda$  og  $\varphi_{\alpha\beta}$  er vist i Figur 2.15.

$$F_{vektet} = F \cdot w(\varphi_{\alpha\beta}(t)) = F \cdot \left( \lambda_\alpha + (1 - \lambda_\alpha) \frac{1 + \cos(\varphi_{\alpha\beta})}{2} \right) \quad (2.11)$$



Figur 2.14: Illustrasjon av kraftkomponentene i Social Force modellen



Figur 2.15: Interaksjonsanisotropi for Social force (Yang, Özgüner og Redmill, 2020)

# Kapittel 3

## Metode

### 3.1 Datainnsamling

#### 3.1.1 Formål og omfang

Selv om denne oppgaven kommer til å se detaljert på et spesifikt modellområde, er ikke målet finne ut hvordan den konkrete løsningen i dette trafikkanlegget fungerer og evaluere denne. Fokuset er på hvordan modellene som man bruker for å studere området virker, og få innsikt i disse gjennom bruk.

Problemstillingen i Kapittel 1.2 beskriver at det skal undersøkes om ulike simuleringsmetoder i Aimsun Next kan representere en reell situasjon. De to metodene som skal undersøkes er simulering ved bruk av *Aimsun Pedestrian Simulator* og gjennom *fotgjengersimulering i kjøretøymodellen i Aimsun*.

For å kunne vurdere om metodene kan representere en reell situasjon, trengs det data som beskriver den reelle situasjonen som skal modelleres. Dette er nødvendig både for å kunne sammenligne modellene med virkeligheten, men også for å initiere modellene. Altså må det gjøres målinger i et passende modellområde. Dette kapitlet beskriver hvilke krav som settes til dette området, hvordan prosessen for å finne et område som oppfyller disse kravene foregikk, en beskrivelse av området, og en beskrivelse av metoden for datainnsamling.

Et av målene i denne rapporten å se nærmere på vikepliktsregulerte gangfelt. Dette er et av de mest kritiske punktene i nettverk som inkluderer fotgjengere og kjøretøy. Og det er stedet der majoriteten av interaksjonene mellom gående og kjørende skjer. Dette er derfor et viktig og interessant sted å modellere. Det er også et godt sted for å vurdere hvor godt modellene virker, siden man kan måle effekter på begge nettverkene.

For å kunne se denne interaksjonen best mulig er det en fordel å ha høy belastning på nettverket, slik at trafikkmengdene for både fotgjengere og kjøretøy ligger tett

opp mot kapasiteten, men ikke over. Har man høye volumer av kryssende fotgjengere vil man kunne se effektene de har på biltrafikken tydelig, siden det vil være en høy sannsynlighet for at de okkuperer gangfeltet samtidig som det er kjøretøy som ønsker å kjøre forbi. Videre vil høyt volum av kjøretøy føre til at nettverket blir mer sensitivt for kødannelser, som er en effekt som er enkel å måle.

Utfra dette formuleres det følgende krav til at modellområdet må ha:

- Høyt fotgjengervolum
- Høyt kjøretøyvolum
- Vikepliktsregulerte gangfelt

Det er begrenset hvor mange slike modellområder som faktisk finnes, man ønsker i utgangspunktet å bygge veganlegg med best mulig trafikkavvikling. Derfor er det naturlig at man prøver å unngå situasjoner som i det ønskede modellområdet. Det er i utgangspunktet to tiltak som gjøres på steder der enten fotgjenger- eller kjøretøyvolumet er for høyt til at det blir god trafikkavvikling. Det første går ut på å fysisk skille de to trafikkstrømmene i ulike plan, ved bruk av broer eller kulverter. Den andre er å fysisk skille de to strømmene i tid, ved bruk av signalregulering. I Vegvesenets håndbøker er det definert kriterier for når gangfelt bør signalreguleres. En oversikt over disse er gitt i Tabell 3.1. Disse kravene gjør at gangfeltene der det finnes høyt fotgjenger- og kjøretøyvolum som regel ikke er vikepliktregulerte, med mindre det er gjort feil i planleggingen eller unntak på grunn av andre hensyn.

Fartsgrense	Trafikkmengde (ÅDT)	Gående/syklende (ant./maks. time)
30 km/t	5000-8000	>30
	>8000	>20
40 km/t	5000-8000	>20
	>8000	>10
50 km/t	5000-8000	>20
	>8000	>10
60 km/t	<2000	<20

**Tabell 3.1:** Kriterier for signalregulering av gangfelt fra Håndbok N303 (Statens Vegvesen, 2014)

### 3.1.2 Valg av modellområde

For å finne potensielle modellområder ble det brukt intuisjon og lokalkunnskap om Trondheim, i kombinasjon med data om trafikkmengder og gangfelt fra NVDB

og samtaler med veileder.

Det mest naturlige stedet å se for seg at et potensielt modellområde kunne ligge er i Midtbyen i sentrum av Trondheim og hovedinnsfartsårene i tilknytning (Elgeseter gate, Kongens gate og Innherredsveien). I disse områdene er det høye trafikkvolum for både fotgjengere og kjøretøy. Det er imidlertid svært få vikepliktregulerte fotgjengerfelt her, og de få som finnes ligger enten i sidegater med få kjøretøybevegelser, eller på steder der det er få fotgjengere som krysser.

De neste aktuelle stedene er de to store kjøpesenterområdene på Tiller og Lade. Området på Lade er i samme situasjon som Midtbyen, der gangfeltene med høye volum er signalregulerte. På Tiller derimot er det ideelle forhold med høye volum og flere vikepliktregulerte gangfelt.

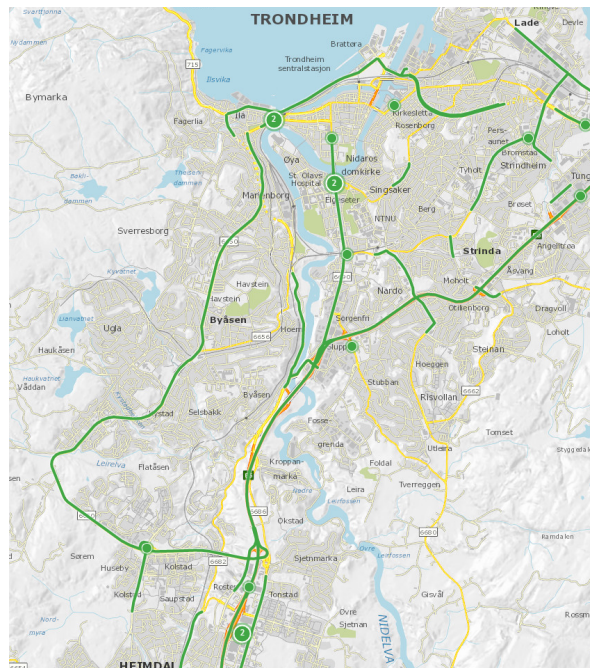
Det ble gjort en befaring på området på Tiller i forbindelse med prosjektoppgaven i november 2020. Her ble det gjort enkle tellinger for et av gangfeltene på Anne Kath. Parrows veg og generelle observasjoner av trafikkflyten i området. Befaringen ble gjort klokken 14 på en lørdag, med antakelsen om at dette er et av tidspunktene med høyest aktivitet i området. Tellingene i Tabell 3.2 ble gjort over en 15 minutters periode fra 14:00-14:15 og viser en relativt høy trafikkmengde kjøretøy og en svært høy fotgjengermengde.

	Talt	Pr time
Kjøretøy mot øst	219	876
Fotgjengere	77	308

**Tabell 3.2:** Trafikkregistreringer 14.11.20



**Figur 3.1:** Fotgjengerfelt og omtrentlig køutstrekning, befaring 14.11. Bakgrunnsfoto: (Statens kartverk Geovekst og kommunene, 2020)



Figur 3.2: Vegstrekninger i Trondheim med ÅDT > 9000 (Statens Vegvesen, 2021)

### 3.1.3 Beskrivelse av modellområde

Figur 3.3 viser den fysiske avgrensingen av området som skal modelleres. Området er fokusert rundt bussterminalen sør for kjøpesenteret City Syd. Avgrensingene er et kompromiss mellom å begrense arbeidsmengden knyttet til trafikktegninger og samtidig kunne modellere et mest mulig komplett og realistisk nettverk. På grunnlag av observasjoner gjort på befaringen i november, er det ønskelig å inkludere Anne Kath. Parrows veg (tidl. Sentervegen) mellom de to rundkjøringene på øst-siden av E6 og Østre rosten. På befaringen var det ingen køer som strakk seg til kryss utenfor dette området, og det ble derfor vurdert til å være tilstrekkelig stort for å kunne bygge en god modell. En stor fordel med det valgte området er at, det hvis man ser bort fra feltvalg, kun er en mulig rute kjøretøyene kan velge mellom de ulike inn- og utkjørslene fra modellområdet. Dette forenkler hvordan modellen virker vesentlig, men det gjør også at man ikke klarer å modellere alternative reiseruter utenfor området, som kan bli aktuelle valg dersom det er mye kø inne i området. Vurderingen av utstrekningen på modellområdet ble evaluert løpende underveis i datainnsamlingsperioden, men det ble ikke vurdert nødvendig å gjøre endringer.

Tiller er et typisk bilbasert kjøpesenterområde dominert av store parkeringsplasser og varehus. Størsteparten av butikkene ligger på kjøpesenteret City Syd, nord for modellområdet, men det ligger også en del butikker og mindre sentre langs Ivar Lykkes veg sørover. Det er gode forbindelser inn til området, både fra bebyggelsen



**Figur 3.3:** Oversikt over modellområdet. Bakgrunnsfoto: (Statens kartverk Geovekst og kommunene, 2020)

rundt, men også fra resten av Trondheim gjennom E6 og Kongsvegen ned fra Byåsen.

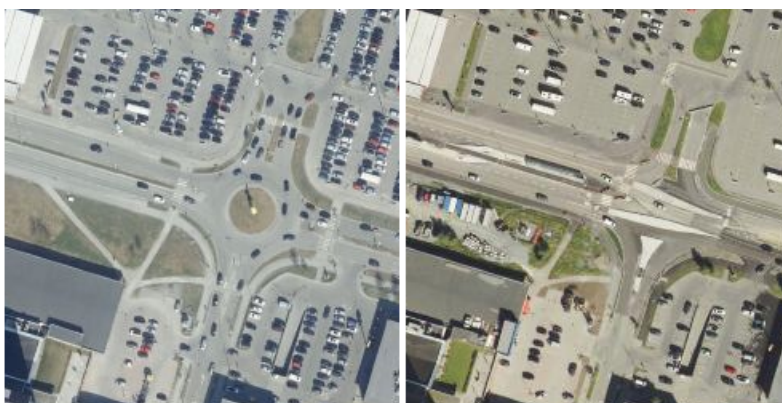
I perioden 2019-2020 ble det gjort en større ombygging av vegnettet rundt Anne-Kath. Parows veg og Østre Rosten i forbindelse med introduksjonen av Metrobusser på kollektivnettet i Trondheim. Arbeidet ble slutført sommeren 2020 og består av flere ulike tiltak for å sikre bedre fremkommelighet for bussene og enklere reiser for busspassasjerene. (Miljøpakken, 2020)

Den største enkeltendringen er i Anne-Kath. Parows veg. Der er rundkjøringen på midten erstattet med to fysisk adskilte T-kryss i hver retning der det kun er tillatt med venstresving, se Figur 3.4

I tillegg til dette er det etablert en ny midtstilt kollektivterminal på strekningen. For å få dørene på riktig side av bussen i forhold til den nye terminalen er det valgt en noe utradisjonell løsning der kjørefeltene for kollektivtrafikk er reversert rundt terminalen.

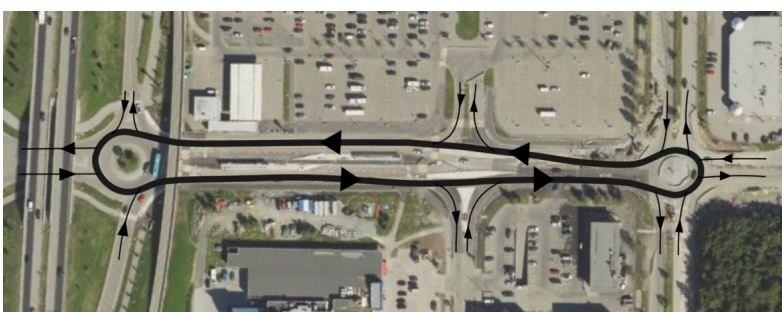
Det signalregulerte X-krysset i krysset Østre Rosten - Anne-Kath. Parows veg er erstattet med en rundkjøring.

På grunn av løsningen med adskilte T-Kryss i Anne Kath. Parrows veg er det trolig



**Figur 3.4:** Anne-Kath. Parows veg før og etter omlegging i 2019 (Statens kartverk Geovekst og kommunene, 2020)

at man får en noe spesiell situasjon der en god del av trafikantene i de to rundkjøringene vil ta fullstendige U-svinger og kjøre ut igjen i samme retning som de kom. I praksis vil Anne Kath. Parrows veg og de to rundkjøringene i Østre Rosten og ved E6 fungere som en stor avlang rundkjøring som vil være sårbar for tilbakeblokkeringer som kan stoppe flyten i hele systemet helt eller delvis. (se Figur 3.5)



**Figur 3.5:** Kjøremønstre i modellområdet. Bakgrunnsfoto: (Statens kartverk Geovekst og kommunene, 2020)

På grunn av arealbruken i området må man også forvente en litt spesiell døgn- og ukevariasjon i trafikkmengdene, som ikke nødvendigvis er i overensstemmelse med vanlige rushtider. Det er rimelig å anta at mesteparten av trafikken i området er knyttet opp mot handling på sentrene. Man kan også anta at handelen skjer innenfor senterets åpningstid, med ekstra trykk på lørdager, siden folk har fri og mulighet til å handle. Disse antagelsene understøttes av popularitetsdata hentet fra Google Maps. Dette er data som estimerer når flest mennesker oppholder seg i området basert på posisjonsdata fra folks mobiltelefoner. (Figur 3.6)





Figur 3.6: Popularitetsdata for City Syd, (City Syd Kjøpesenter - Google Maps 2020)

### 3.1.4 Tellinger

#### Valg av metode

Det finnes ulike måter å samle inn dataene som trengs til denne oppgaven. I *Håndbok V714 Veileder i trafikkdata* (Statens Vegvesen, 2011) beskriver Vegvesenet de vanligste metodene for trafikkregistreringer av kjøretøy i Norge. Her skiller det i hovedsak mellom manuelle og maskinelle tellinger, der de maskinelle kan gjøres på flere ulike måter med bruk av ulike sensorer, som for eksempel induksjonssløyfer i vegen, radar og kamera med automatisk analyseprogramvare. Håndboken nevner ikke metoder for registrering av fotgjengere i særlig grad, annet enn at det er mulig å gjøre med enkelte videosystemer. (Caramuta mfl., 2017) tar for seg fotgjengerregistreringer i større grad, her trekkes det fram flere ulike metoder for å samle inn data, blant annet manuelle tellinger, radar og automatisk videoanalyse.

I denne oppgaven kommer registreringene til å bli gjort gjennom å benytte videoopptak og manuell analyse av disse.

Fordelene med denne løsningen er i hovedsak at det er en relativt enkel løsning som ikke krever mye spesialkompetanse og opplæring for å kunne bruke. Teknologien som brukes er billig og tilgjengelig gjennom NTNU som har mye kamerautstyr tiltenkt dette formålet. Det er også en velprøvd metode, som er brukt i mange tidligere masteroppgaver og rapporter som kan sammenlignes med denne. Videoopptakene er et svært detaljert datamateriale som det er mulig å hente ut mye forskjellig informasjon fra. Dette gjør det blant annet mulig å bruke det samme datamaterialet til å registrere data for både kjøretøy og fotgjengere.

Ulempene med løsningen er i all hovedsak at den er tid og arbeidskrevende siden alle opptakene må analyseres manuelt. Arbeidsmengden øker også raskt med kompleksiteten på prosjektet. Det kan også nevnes at det også er noe personvernproblematikk knyttet til denne typen videoopptak, i og med at både kjøretøy og personer kan identifiseres på videoene. I et enkelt forskningsprosjekt, med tydelig definerte rammer er ikke dette veldig problematisk, og kan fint kontrolleres dersom man tar enkle forhåndsregler.

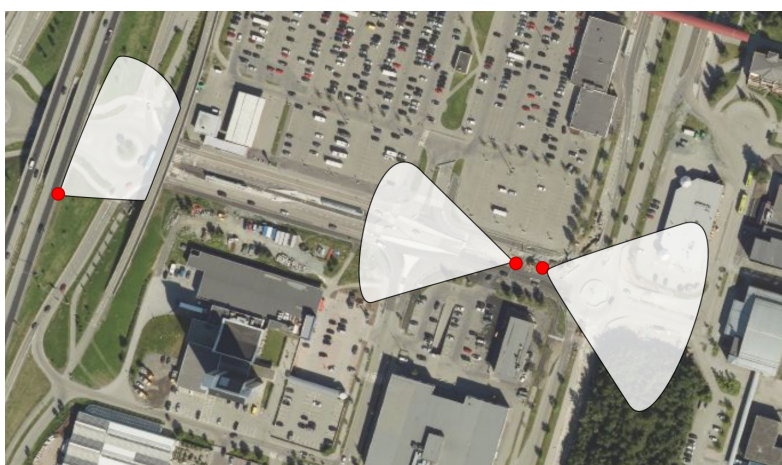
Alt i alt ble kombinasjonen av videoopptak og manuelle registreringer vurdert til å være den beste løsningen. Siden det prosjektet har et relativt kort tidsperspektiv, lite modellområde og at deteksjon ikke er hovedfokus for oppgaven ble det valgt en trygg og velprøvd løsning.

### Beskrivelse av metode

Videoopptakene ble gjort med bruk av 3 kameraer av typen GoPro Hero 7 og 8. Disse ble montert på stedene indikert i Figur 3.7 Det ble gjort tre forskjellige videoopptak på tre ulike dager. Alle opptakene ble gjort over en periode på en time. Grunnet mangel på dagslys ble opptakstidspunktet flyttet en time tidligere på de to siste opptaksdagene.

Dato	Tidspunkt	Forhold
Lørdag 21.11.20	14:10-15:10	2°C Opplett, Delvis snø/isbelagt vei
Lørdag 28.11.20	13:05-14:05	-1°C Opplett, Tørr, bar vei
Lørdag 03.12.20	13:05-14:05	0°C Opplett, Tørr, bar vei

Tabell 3.3: Oversikt over tidspunkt for videoopptak



Figur 3.7: Plassering av kameraer i modellområdet

Videre ble videoene analysert manuelt, her ble det talt antall kjøretøy og registrert svingbevegelser i alle de fire kryssene i modellområdet. I tillegg ble talt kryssende

i hver retning over alle gangfeltene i område. Datamaterialet ble delt inn med en oppløsning på 5-minutter.

I observasjonsperiodene ble det registrert svært få tunge kjøretøy og syklistere (<1%) disse er derfor ikke lagt inn som egne kjøretøytyper, men registrert som henholdsvis vanlige biler og fotgjengere.

Det er kun data fra 21.11 og 28.11 som er registrert i detalj. Opptakene fra den siste dagen var i utgangspunktet planlagt brukt til å gjøre en mer omstendelig kalibrerings og valideringsprosess, men dette ble ikke gjennomført. Dette blir gjennomgått i detalj i Kapittel 3.3, men oppsummert er det utelatt grunnet utilstrekkelig med tid og det ble også vurdert som lite relevant for oppgaven å validere modellen med data fra to dager.

### 3.1.5 Andre målinger enn volum

En trafikksituasjon vil ikke entydig kunne beskrives av avviklet volum alene, for å kunne si noe mer om kvaliteten avviklingen må man i tillegg trekke inn andre variable som kan beskrive bevegelsen til kjøretøyene. Eksempler på dette kan være hastighet, kølengder eller forsinkelser, som er det som vil bli brukt her.

Forsinkelse er et mål på hvor raskt et kjøretøy forflytter seg på en strekning relativt til en situasjon der man får kjøre uhindret. Altså differansen i kjøretid mellom to punkter i en fri-flyt situasjon og situasjonen man ønsker å beregne forsinkelse for.

Målingen er gjort på en enkeltstrekning i modellområdet, vist i Figur 3.8. Reisetid måles mellom de to gangfeltene i hver ende av strekket, relativt til fronten på kjøretøyet.



**Figur 3.8:** Vegseksjon der det hentes ut resultater

Reisetiden friflytsituasjonen er målt gjennom målinger med stoppeklokke på en søndag ettermiddag. med relativt lav trafikkmengde. Klokken ble startet når fronten på kjøretøyet entret overgangsfeltet ved rundkjøringen ved E6 og stoppet når fronten på kjøretøyet entret gangfeltet ved avkjørselen til Ivar Lykkes veg. Det ble gjort en serie på 20 målinger mellom klokken 15:00 og 15:30 søndag

09.05.21. Målinger der kjøretøyene måtte stoppe for fotgjengere i gangfeltet ble forkastet.

Grunnet begrenset sikt til punktet der målingene stoppes var det vanskelig å få helt nøyaktige målinger, det er også her snakk om et relativt lite datasett . Men nøyaktigheten ble vurdert til å være god nok for videre bruk i oppgaven.

Reisetiden i observasjonstidsperioden er beregnet gjennom å måle gjennomsnittlig reisetid på strekningen for alle kjøretøy i tidsrommet 14:15-14:20 i videomaterialet fra 21.11.20. Videre er forsinkelsen beregnet gjennom å finne differansen mellom disse to reisetidene.

Det er tidkrevende å analysere forsinkelsen fra videomaterialet, så derfor er det kun gjort beregninger for ett 5 minuttersintervall. Det er store variasjoner i forsinkelse gjennom både dette intervallet og i videomaterialet generelt.

Reisetid, snitt [s]	Standardavvik [s]
11,26	1,47

**Tabell 3.4:** Reisetid Anne Kath. Parrows veg, friflyt, 09.05.21

## 3.2 Modellbygging

### 3.2.1 Geometrisk modell

Første steg i å bygge en modell i Aimsun er å få definert vegnettverket geometrisk. Her ble det brukt to metoder for å få på plass de ulike elementene, først ble det gjort en import fra Open Street Map (© OpenStreetMap-bidragsterene, 2021), som er en åpen kartløsning som kan eksportere data direkte inn i Aimsun. I tillegg ble det hentet inn et ortofoto fra Norge i Bilder (Statens kartverk Geovekst og kommunene, 2020), som bakgrunnsfoto for modellen.

Seksjonene og feltene som er kollektivfelt ble omgjort til denne felttypen, og det ble lagt inn sentroider ved alle seksjoner som går inn og ut av området.

De importerte elementene fra Open Street Map ble gjennomgått og korrigert i henhold til ortofotoet, slik at alle vegseksjoner og noder stemte geometrisk overens med virkeligheten. Det ble i tillegg til denne første korreksjonsrunden gjennomført en mer omstendelig verifiseringsprosess av nettverket, denne beskrives i Kapittel 3.3

### 3.2.2 Kollektivtransport

Kollektivtransporten er en viktig faktor i trafikkbildet i modellområdet. Tillerterminalen er et viktig knutepunkt i kollektivnettverket i denne delen av Trondheim og betjenes av mange linjer med hyppige avganger. Derfor vil det være en stor mengde busser i modellområdet i løpet av en time og disse bør inkluderes i modellen. Etterspørselen for busser blir lagt inn manuelt i modellen ved bruk av ruteopplysninger fra AtBs nettsider. (AtB, 2021). Her kunne man også brukt data fra trafikktellingene. Siden det var få avvik fra rutetabellene i de registrerte dataene, ble det vurdert som best å bruke opplysningene fra AtB. Dette er i all hovedsak fordi de er mer kompatible med formatet Aimsun bruker for å legge inn kollektivavganger. Rutetabellene ble også sjekket opp mot arbeidet en annen masterstudent som skriver oppgave knyttet til Tillerterminalen (Lysø, 2021), det ble heller ikke her funnet vesentlige avvik mellom hennes observerte data og rutetabellene.

Noe spesielt for Trondheim og modellområdet på Tiller er de 24 meter lange metrobussene som betjener linje 1 i modellområdet. På grunn av lengden er disse vesentlig forskjellig fra vanlige busser og bør legges inn som en egen kjøretøytype. For å lage denne kjøretøytypen ble det tatt utgangspunkt i "Bus"-typen innebygget i Aimsun og denne ble oppdatert med noen parametre hentet fra bussprodusenten Van Hool, som bedre beskriver de lange leddbussene. (Van Hool, 2021). De andre busslinjene betjenes av vanlige bybusser uten ledd, og modelleres med Aimsuns foreslåtte verdier for kjøretøytypen "Bus", med noen tilpassinger etter den norske veilederen, sentrale parametre finnes i Tabell 3.5. Reaction time settes globalt for alle kjøretøy i hele modellen, denne er lik for "stop" og "traffic light" siden det bru-

	Buss		Metrobuss	
	Snitt	Avvik	Snitt	Avvik
Length [m]	12,0	0	24	0
Width [m]	2,5	0	2,5	0
Max Desired Speed [km/h]	90	10	90	10
Speed Limit Acceptance [ ]	1,0	0,1	1,0	0,1
Clerance [m]	2,5	0,8	2,5	0,8
Max Give Way time [s]	15	5,0	15	5,0
Reaction Time [s]	0,9	-	0,9	-
Reaction Time at Stop [s]	1,35	-	1,35	-
Reaction Time at Traffic Light [s]	1,35	-	1,35	-
Max Acceleration [ $m/s^2$ ]	1,0	0,3	1,0	0,3
Normal Deceleration [ $m/s^2$ ]	2,0	1,0	2,0	1,0
Max Deceleration [ $m/s^2$ ]	5,0	1,0	5,0	1,0

**Tabell 3.5:** Parametre for kjøretøytypene Bus og Metrobuss

kes signalanlegg på en litt unormal måte i forbindelse med gangfeltene i *Aimsun Pedestrian simulator*, dette beskrives nærmere i Kapittel 3.3.2.

### 3.2.3 Etterspørsel for kjøretøy

Dataene som ble hentet inn i videoanalysen er tellinger av hvor mange kjøretøy som utfører de ulike svingbevegelsene i modellområdet over en periode på en time. Dette er det som Aimsun kaller en *Traffic state*, som er den ene av to måter å legge inn etterspørselsdata i modellen. For et en enkel modell som denne, der kjøretøyene ikke trenger å gjøre rutevalg internt i modellen, ville det nok i utgangspunktet vært tilstrekkelig å legge inn kjøretøyetterterspørselen som en *Traffic state*. Det er allikevel valgt å bruke OD-matriser for å beskrive etterspørselen og ikke *Traffic states*. Dette er fordi det er mye funksjonalitet i mikrosimulatoren i Aimsun som er knyttet opp mot bruk av OD-Matriser, for eksempel er det ikke mulig å bruke *Aimsun pedestrian simulator* i eksperimenter der kjøretøyene simuleres ved *traffic states*

Altså må svingbevegelsesdataene fra analysen brukes for å bygge OD-matriser som kan brukes som basis i modellen. Disse kommer til å bli jusert underveis i kalibreringsprosessen. Dette er en noe krevende oppgave. Selv om man har svært mange opplysninger om hvordan kjøretøyene beveger seg i systemet, har man ikke registrert de riktige opplysningene for å kunne avgjøre nøyaktig hvor mange og hvilke kjøretøy som beveger seg mellom de ulike inn og utkjørselene fra systemet. Til dette trenger man å ha loggført hele reiseruten til hvert enkelt kjøretøy. Strengt tatt finnes denne informasjonen i videomaterialet, men det ville krevd en mye mer omstendelig registreringsprosess siden man måtte beskrevet hele reiseruten

id:name	2862: Ivar Lykkes veg	2923: City syd	2982: E6 Vest	2987: E6 Nord	3191: Østre Rosten Nord	3194: Rostenhall en	3197: Østre Rosten sør	Total	Observert total	Differanse observert/matrise
2862: Ivar Lykkes veg	Null	Middels	Antatt-null	Antatt-null	Middels	Lav	Antatt-null	Beregnes	Observeres	Beregnes
2923: City syd	Høy	Null	Lav	Antatt-null	Middels	Lav	Middels	Beregnes	Observeres	Beregnes
2982: E6 Vest	Høy	Middels	Null	Observeres	Svært lav	Svært lav	Lav	Beregnes	Observeres	Beregnes
2985: E6 Sør	Middels	Middels	Observeres	Observeres	Svært lav	Svært lav	Lav	Beregnes	Observeres	Beregnes
2987: E6 Nord	Beregnes ut	Antatt-null	Observeres	Null	Antatt-null	Antatt-null	Antatt-null	Beregnes	Observeres	Beregnes
3191: Østre Rosten Nord	Antatt-null	Høy	Middels	Antatt-null	Null	Observeres	Observeres	Beregnes	Observeres	Beregnes
3194: Rostenhallen	Antatt-null	Lav	Lav	Lav	Observeres	Null	Observeres	Beregnes	Observeres	Beregnes
3197: Østre Rosten sør	Antatt-null	Lav	Lav	Middels	Observeres	Observeres	Null	Beregnes	Observeres	Beregnes
Total	Beregnes	Beregnes	Beregnes	Beregnes	Beregnes	Beregnes	Beregnes			
Observert total	Observeres	Observeres	Observeres	Observeres	Observeres	Observeres	Observeres			

Tabell 3.6: Metamatrise for beregning av OD-matrise

til hvert enkelt kjøretøy og identifisert dem i alle de tre kameravinklene for å finne reiseruten.

Gitt opplysningene som finnes, har man et underbestemt ligningssystem med flere ukjente enn ligninger, som i teorien kan ha uendelig mange løsninger. For å løse dette ligningssystemet er vi altså nødt til å gjøre noen antagelser for å kunne beregne alle de ukjente. Noen av OD-parene er kjente fra videoanalysen, dette gjelder reiser som kun er innom ett kryss mellom de entrer og forlater området. Disse har man talt direkte og kan derfor fylles direkte inn i matrisen. En del andre OD-par kan man anta til å være lik null siden det finnes en mer naturlig rute utenfor nettverket.

Utfra dette settes det opp følgende framgangsmåte for å utarbeide OD-matrisene:

1. Sett opp matrisen og fyll inn alle kjente OD-par og de totale summene for reiser til/fra alle sentroidene.
2. Gjør antagelser om størrelsesorden på de ukjente OD-parene basert på (null, lav, middels, høy) Tabell 3.6.
3. Sett opp midlertidige hjelpesummer som summerer opp alle radene og kolonnene.
4. Varier cellene i matrisen til man har en løsning som både tilfredsstillende antagelsene om størrelsesorden på cellene, men også at hjelpesommene er lik de observerte summene fra og til alle de ulike sentroidene.

### 3.2.4 Implementering av fotgjengermodellene

Hvordan man implementerer fotgjengermodell ligner mye på hvordan kjøretøy-modellen implementeres, i den forstand at man først må definere alle elementene geometrisk, for så å legge inn reiseetterspørselen.

Det er ikke mulig å simulere de to modellene i det samme nettverket i Aimsun. Dette er i all hovedsak fordi de defineres ulikt fysisk, og de to definisjonene ligger i konflikt med hverandre. Gangfeltene defineres på to ulike måter geometrisk. I *Aimsun Pedestrian simulator* er gangfeltene objekter knyttet til enden på vegseksjo-

ner, mens i *Fotgjengersimulering i kjøretøyssimulatoren* legges gangfeltene inn som noder. Dette gjør at det blir umulig å plassere de to gangfeltene på samme sted i nettverket. I tillegg vil fotgjengerseksjonene vi legger inn for å simulere i kjøretøyssimulatoren oppfattes som hindringer av *Aimsun Pedestrian simulator*.

Dette kan løses enkelt ved å bruke en funksjon Aimsun har som kalles *Geometry configurations*, som åpner opp for å legge inn alternative geometrier for deler av nettverket i en og samme prosjektfil. Disse geometrikonfigurasjonene knyttes opp mot eksperimentene man kjører. Dette er veldig fordelaktig siden man kun trekker ut de faktiske elementene som avviker mellom de to modellene og holder resten felles. På denne måten unngår man å måtte vedlikeholde og oppdatere to ulike prosjektfiler hver gang man gjør endringer som for eksempel å justere en parameter.

Hovedfokus i fotgjengernettverkene er som nevnt gangfeltene, så det er naturlig å bygge nettverket rundt disse. For å forenkle implementeringen av etterspørselen blir fotgjengernettverkene bygget kun i direkte tilknytning til gangfeltene, med inn- og ut- senteroider knyttet til endene på disse, uten muligheter for å bevege seg mellom ulike gangfelt.

Dette er gjort med antagelsen om at det ikke det skjer ting utenfor disse områdene som påvirker flyten på innsiden, noe som er rimelig å anta. For det første er overgangsfeltene naturlige fokuspunkt i nettverket der mange ulike fotgjengerstrømmer samles. De er også relativt smale passasjer, altså kan man gå ut fra at dette er stedene på fotgjengernettverket der både volumet og fotgjengertettheten er høyest. Dette underbygges med observasjoner fra modellområdet, der det ikke ble observert steder i området med større fotgjengervolum enn gangfeltene på østsiden av Tillerterminalen.

Videre kan man også se på det faktum at det skal svært store mengder fotgjengere til på lite areal før man kan begynne å snakke om kapasitetsproblemer som forhindrer flyt. Nøyaktig når dette skjer er vanskelig fastsette, men for å sette ting i perspektiv her kan man se på publikumsflyt på store arrangementer som en referanse på hvor en eventuell makskapasitet kan ligge. Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap (DSB) har en veiledende verdi for utgangskapasiteten fra store arrangementer på 82 personer pr meter utgang pr minutt (Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap (DSB), 2013). Eller 4920 personer per meter i timen. Dette er erfaringsbaserte tall og det er flere grunner til at det ikke direkte sammenlignbart med tallene i denne oppgaven. Det er snakk om to veldig forskjellige situasjoner og oppførselen til konsertpublikum og normale fotgjengere vil nok avvike en del, i tillegg til at utgangsstrømmen fra et arrangement normalt vil bevege seg i kun en retning. Likevel kan det brukes som en indikasjon på at fotgjengermengdene på Tiller sannsynligvis ikke er i nærheten av å nå et volum der det oppstår store flytproblemer, siden størrelsesordenforskjellen på denne makskapasiteten og volumene som opptrer i modellområdet er så stor.

Fotgjengergeometrien bygges ved bruk av ortofotoet og prinsippene diskutert i



Kapittel 2 og de ulike elementene vises i Figur 3.9.

På samme måte som for kjøretøyene må trafikkteillingene gjøres om til OD-matriser. Dette er imidlertid en mye enklere operasjon i og med at nesten alle de talte volumene er lik ett OD-par og kan legges direkte inn i matrisen. Det eneste stedet det må gjøres antagelser er i senteroidene tilknyttet østsiden og vestsiden av Til-lerterminalen. Her må man finne en fordeling på hvor stor andel av de kryssende som krysser begge veibanene og hvor stor andel som skal til og fra terminalen og derfor kun krysser en. Denne fordelingen skal ikke ha alt for mye å si så lenge man passer på at summen av de to fotgjengerstrømmene er lik det talte antallet. I OD-matrisene ligger fordelingen på ca 50/50 som er skjønnsbasert på en enkel videoanalyse av opptakene fra 21.11.

### 3.3 Verifisering, kalibrering og validering

For å kunne være sikker på at modellen som er blitt bygget kan gi resultater som gjenspeiler virkeligheten må den gjennomgås og sjekkes systematisk. Denne prosessen er tredelt og kalles verifisering, kalibrering og validering.

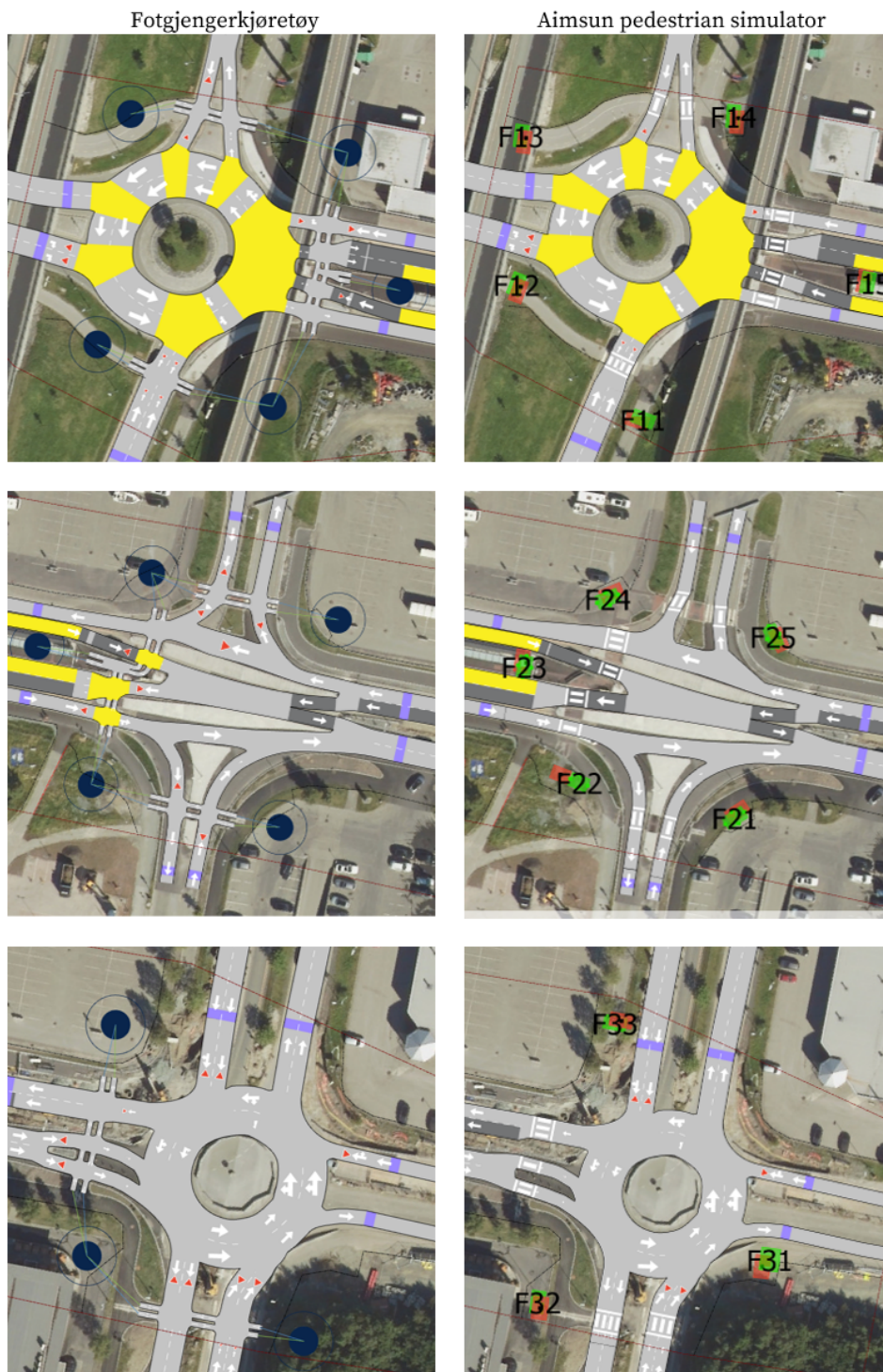
Forenklet består:

- VERIFISERINGEN av modellen av en systematisk gjennomgang av alle elementene i modellen for å sjekke om de er kodet på riktig måte, for eksempel at fartsgrenser er satt til riktig verdi for riktig strekning.
- KALIBRERINGEN av å tilpasse ulike parametre for å oppnå godt samsvar mellom observerte og simulerte data
- VALIDERINGEN av å sjekke hvor godt den kalibrerte modellen samsvarer med observerte data for å finne ut om den er i stand til å simulere andre situasjoner enn den observerte

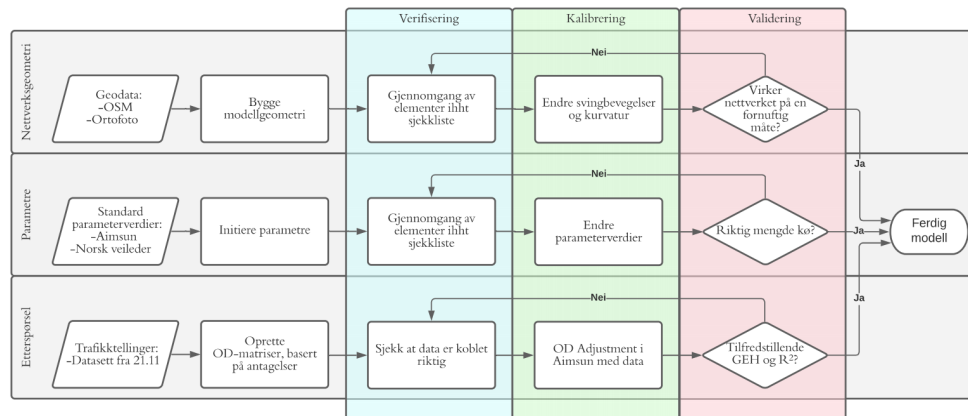
En forenkling av prosessen brukt i utviklingen av modellen i denne oppgaven er vist i Figur 3.10. Dette er et forsøk på å forenkle og illustrere prosessen. I virkeligheten er alle delprosessene her tett sammenvevde, og de ulike stegene er forklart i mer detalj i resten av dette kapittelet.

I forslaget til den norske veilederen i Aimsun er det gjort et forsøk på å standardisere deler av denne prosessen. Denne oppgaven kommer til å ta utgangspunkt i prinsippene herfra, men gjøre noen forenklinger og tilpassinger.

Et viktig særtrekk med modellområdet vi ser på i denne masteroppgaven er at det er relativt lite, med få muligheter for alternative reiseruter inne i modellområdet. I tillegg til dette er det svært detaljerte observerte data som kan brukes i kalibrerings- og valideringsprosessen.



Figur 3.9: Oversikt over fotgjengergeometrien for de to modellene



Figur 3.10: Flytdiagram verifisering- kalibrering- og valideringsprosessen

### 3.3.1 Verifisering

Verifiseringsprosessen for en modell er en systematisk gjennomgang av modellen for å passe på at den er klar til å kjøres. I all hovedsak går dette ut på å sjekke all informasjonen som til nå er lagt inn i modellen, og at denne er god og omfattende nok til å oppnå modellformålet. I forslaget til den norske Aimsun-veilederen formuleres følgende mål for verifiseringsprosessen til en modell:

Med verifisering menes å kontrollere at:

- Modellen er EGNET til å svare på den aktuelle problemstillingen.
- GRUNNLAGSDATA er tilfredsstillende.
- Modellens NETTVERK og TRAFIKKREGULERING er korrekt kodet.
- SENTROIDER, SENTROIDETILKNYTNINGER og ETTERSPOELSE er akseptabelt som grunnlag til kalibreringssteget

(Persson mfl., 2019)

De samme målene i tillegg til veilederens sjekkliste brukes som basis for å verifisere modellen i denne oppgaven. Den utfylte sjekklisten, med kommentarer er vedlagt i Vedlegg A

### 3.3.2 Kalibrering

Kalibreringsprosessen når man bygger en simuleringsmodell, går ut på å gjøre justeringer i modellen slik at den i best mulig grad klarer å gjenskape situasjonen man ønsker å modellere. Hvordan dette gjøres er situasjonsavhengig utfra hva som trengs å justeres. Mange av sammenhengene i modellen er avhengig av hverandre og endringer i ett ledd kan gi utslag i andre deler av modellen som man egentlig ikke ønsker å endre. Derfor kreves det en del forståelse av hvordan modellen fungerer for å kunne gjøre kalibreringen på en god måte.

På grunn av de sammenvevde elementene i modellen er det skjelden at kalibrering- og valideringsprosessen er en lineær prosess som kun skjer en gang. I de fleste tilfeller, også i denne oppgaven blir det en del prøving og feiling og hopping fram og tilbake mellom kalibrering og validering til man har fått et resultat som oppnår målene man har satt seg. Det er allikevel viktig at man prøver å ha litt overordnede planer og tanker rundt hvordan man utfører kalibreringen, slik at man kan komme seg igjennom de ulike elementene på en systematisk og effektiv måte.

I kalibreringsprosessen i denne modellen har det vært tre hovedfokus:

- Kalibrering av rundkjøringer
- Kalibrering av gangfelt
- Kalibrering av etterspørsel

For å kalibrere de to første fokusområdene er det i stor grad benyttet en ”prøv og feil” metodikk der ulike parametre er justert til man får et resultat man er fornøyd med. Disse kalibreringene er validert gjennom å studere den visuelle tilbakemeldingen fra modellen til man får ønsket oppførsel og køutstrekning.

Når det kommer til etterspørselskalibreringen er det brukt en litt mer systematisk metodikk.

### Sammarbeid og feltvalg i rundkjøringene

Modellområdet preges av de to store rundkjøringene i øst og vest. Hvordan disse fungerer har svært mye å si for hvordan området som helhet fungerer. Derfor er det naturlig å bruke litt tid på å kalibrere disse slik at de fungerer mest mulig realistisk.

For å validere resultatene fra denne kalibreringen er det gjort en omtrentlig vurdering av hvordan kjøppbyggingen inn mot rundkjøringen er, og om denne stemmer overens med observasjoner.

Ideelt sett burde man her hatt nøyaktige målignen av kølengder for å kunne kalibrere og validere ordentlig. Dette ble gjort en vurdering på at dette ikke var nødvendig i denne modelleleringsprosessen, siden det ikke var direkte koblet til fotgjengeravviklingen, og man nok klarer å få til relativt gode resultater uten.

For å kalibrere rundkjøringene er det brukt flere ulike tilnærminger, og de ulike punktene er gjennomgått i listen under.

**Yellow box behavior:** Siden det er snakk om en del store og kritiske noder i rundkjøringene bør man ha et bevist forhold til hvilke svingbevegelser som får yellow box behavior og ikke. Dette er en effektiv måte å modellere sammarbeid i vikepliktsituasjoner ved til- og utfarten av rundkjøringen.

Som utgangspunkt settes rundkjøringene opp uten Yellow box behavior, men det gjøres to unntak i enkelte noder, der det er fare for tilbakeblokkering fra

en av utfartene. Her får kjøretøy som skal ut av rundkjøringen pålagt Yellow box behavior slik at det fremdeles slippes inn og fram kjøreyøy som ikke skal ut på denne utfarten. Det andre unntaket gjøres i noder der det er både til- og utfart i samme node. Her legges det opp til yellow box behavior slik at kjøretøy som kun skal innom rundkjøringen i denne ene noden kan ta en enkel høyresving og alltid slippe fram.

**Tillatte svingbevegelser:** I rundkjøringene er det som hovedregel brukt følgende oppsett av svingbevegelsene. Som også er illustrert i Figur 3.11

- Ett felt inn i rundkjøring → kan velge felt i rundkjøring
- To felt inn i rundkjøring → må holde seg i samme felt
- Ett felt ut av rundkjøring → kun ytterste felt kan kjøre ut
- To felt ut av rundkjøring → begge felt kan kjøre ut
- Skal man fortsette i rundkjøringen i en node må man enten holde seg i sitt felt eller bytte fra indre til ytre felt.

I kalibreingsprossessen er det gjort en del justeringer i de tillatte svingbevegelsene på steder der det blir observert unaturlige feltskifter.

I tillegg til dette er det gjort en justering av hvilke svingbevegelser som skal tilhøre hvilke noder.

**Samarbeid og aggresjon:** Aimsun har også en delmodell som styrer samarbeid og aggresjon i *Lane Changing* modellen. Der er samarbeidsparameteren en prosent som styrer hvor stor andel av kjøretøyene som hjelper andre ved å lage luker som kan benyttes for å bytte felt. Aggresjonsparameteren kan brukes til å få kjøretøyene til å akseptere mindre luker enn ønskelig ved feltbytte.

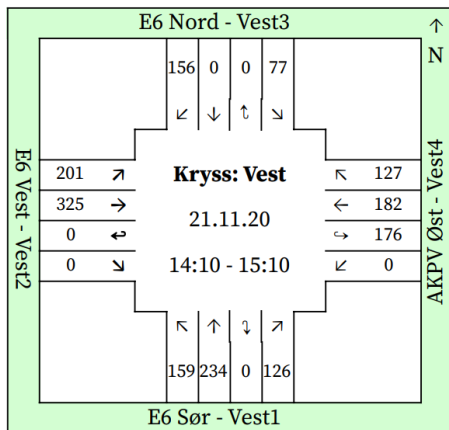
Siden rundkjøringene er utsatt for mye tilbakeblokkering blir disse parametrene justert noe på enkelte strekinger for å sikre den ønskede flyten.

**Andre lokale parametre:** Det finnes også en del andre parametre som kan justeres lokalt i rundkjøringene, som *Look ahead distance* i nodene og reaksjonstider. Denne muligheten er ikke benyttet i dette modelleringsarbeidet.

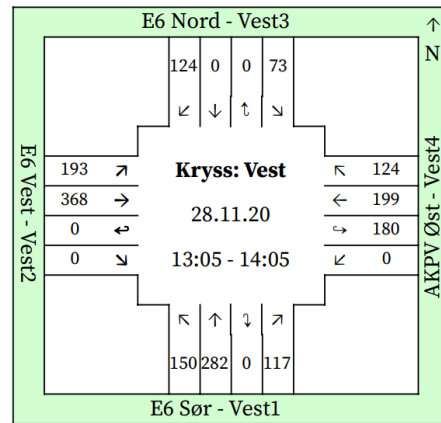
### Gangfelt i Aimsun pedestrian simulator

Underveis i de første kjøringene av modellen oppsto det en del problemer rundt gangfeltene i *Aimsun Pedestrian simulator* som burde løses, problemene beskrives i detalj i Kapittel 3.3.2. Oppsummert var det snakk om at kjøretøyene ikke bremses opp tidlig nok i forkant av gangfeltene. Dette førte til at de i mange tilfeller ble stående fast oppå gangfeltet og blokkerte veien for fotgjengeren de ventet på skulle passere, slik at ingen kom seg videre.

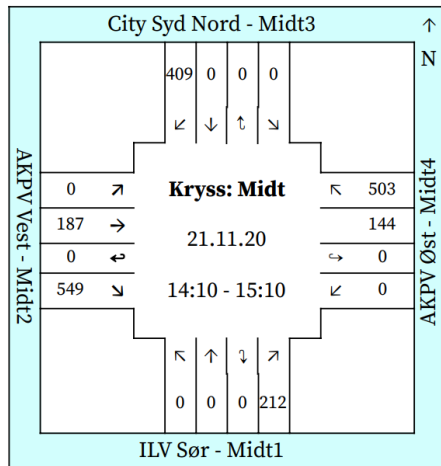
En løsning på problemet kan være å senke fartsgrensen lokalt i forkant av gangfeltet for å sikre at kjøretøyene har mulighet til å bremse før de ankommer feltet. Dette ble testet i modellen. For å oppnå tydelige endringer i modellresponsen var



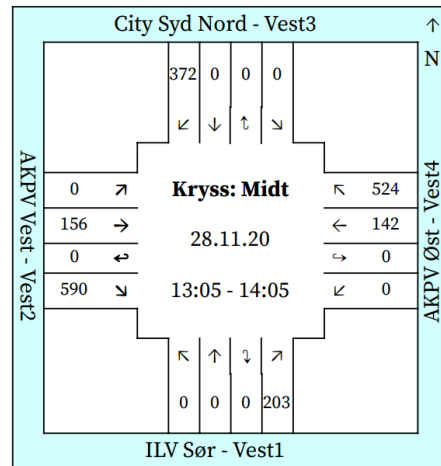
(a) Vest 21.11.20



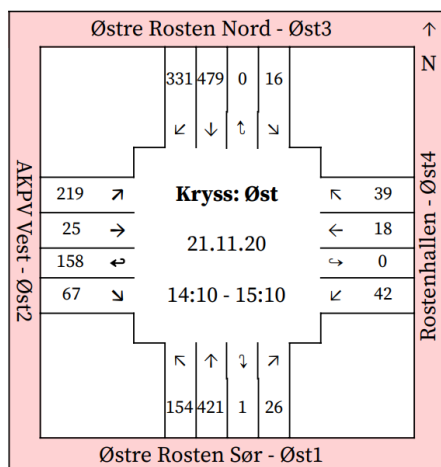
(b) Vest 28.11.20



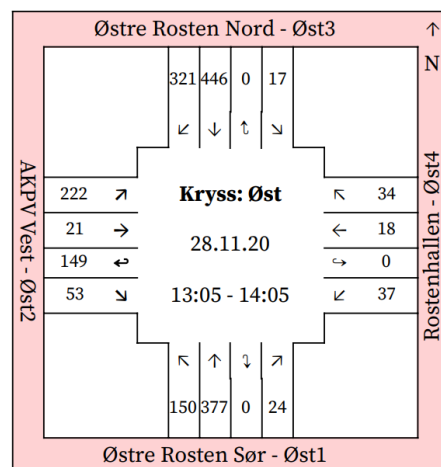
(c) Midt 21.11.20



(d) Midt 28.11.20



(e) Øst 21.11.20



(f) Øst 28.11.20

Figur 3.11: Prinsipp for svingbevegelser i rundkjøringer

det nødvendig å redusere fartsgrensen til 10 km/t 20 meter før gangfeltet. Dette fungerte til en viss grad, selv om det fremdeles oppsto en del situasjoner av typen beskrevet over var antallet vesentlig redusert.

Denne typen implementering vil nok være urealistisk i det at det vil føre til en feil representasjon av hastigheten til kjøretøy som egentlig ikke trenger å bremse for fotgjengere. Man kan nok anta at den totale gjennomsnittshastigheten til kjøretøy vil være noe lavere enn fartsgrensen inn mot et skiltet og merket gangfelt, uavhengig om det er kryssende fotgjengere i nærheten eller ikke. Men om denne hastigheten vil være 10 km/t kan ikke sies med sikkerhet uten målinger som underbygger dette.

En alternativ løsning for å oppnå den ønskede modellresponsen på vil være ved å benytte signalregulering. Man kan utnytte en del egenskaper i hvordan aktuerte fotgjengersignalanlegg fungerer i Aimsun til å opprette et virtuelt signalanlegg som simulerer vikepliktregulering i noden rett foran gangfeltet. De aktuerte signalanleggene i Aimsun kan styres ved hjelp av detektorer og har en store muligheter for funksjonsstilpassing. Fotgjengerne detekteres med en gang de kommer innenfor *watiting area* i forkant av gangfeltet. Ved å sette opp anlegget slik at det alltid vil gi fotgjengerne grønt signal med en gang dersom de ber om dette, og at anlegget ellers gir grønt signal til kjøretøyene vil man i praksis oppnå en situasjon som fungerer som et vikepliktregulert gangfelt. Denne løsningen har en stor fordel i det er mulig å tilpasse det nøyaktige området der fotgjengerne blir detektert av signalanlegget, i praksis kjøretøyene.

Løsningen viste seg å fungere svært godt når den ble implementert i Aimsun. Den visuelle representasjonen i programvaren oppfører seg akkurat som man skulle forvente at et vikepliktregulert gangfelt fungerer. Kjøretøyene bremser og akselerer på forventet tidspunkt og med forventet intensitet. Problemet med at kjøretøy blir stående fast på gangfeltet er også helt borte. Tabell 3.7 viser parametrene brukt i implementeringen. Det er ganske omfattende å sette opp et slikt kryss sammenlignet med et vanlig vikepliktregulert gangfelt i *Aimsun pedestrian simulator*. Derfor er løsningen med virtuelle signalanlegg kun implementert på de to gangfeltene nord og sør for østsiden av Tillerterminalen der volumene er høyest og problemene var størst før implementering. Det er derfor mulig at det fremdeles kan oppstå fastlåste situasjoner i de andre gangfeltene, men sansynligheten for dette ble vurdert til å være liten, siden fotgjengervolumet er mye lavere der.

Parametrene brukt i oppsettet av signalreguleringen kunne nok med fordel vært optimert enda mer enn de er gjort her, men løsningen her ble vurdert som god nok til å gå videre med, siden den visuelt ga fornuftig respons.

### **Kalibrering av etterspørsel**

Kalibreringen av etterspørselen er en omfattende prosess, men kan gjøres relativt enkelt ved hjelp av et par av Aimsuns innebygde verktøy laget spesielt for dette

Fase	Fotgjenger	Kjøretøy
Faselengde [s]	87	3
Recall [-]	No	Min
Hold [-]	False	True
Minimum green [s]	3	1
Max out [s]	87	3
Passage time [s]	3	0
Cycle time [s]	90	
Green to red [s]	0	
Red to green [s]	0	
Rest in red [-]	False	

**Tabell 3.7:** Oppsett av virtuelle signalregulerte gangfelt

formålet. I utgangspunktet er det snakk om å bruke tre forskjellige *OD Adjustment scenarios* som gjennom en iterativ prosess justerer OD-matrisene i modellen for å få best mulig samsvar med et eksternt datasett. De tre scenariene som benyttes er, i rekkefølge: *Static OD Adjustment scenario*, *Static OD departure Adjustment scenario* og *Dynamic OD adjustment scenario*

De tre scenariene utfører en trinnvis justering av matrisene til man oppnår en ønsket korrelasjon, fokuset er litt forskjellig fra scenario til scenario. Men essensen er man justerer OD-matrisen fram til man får en ønsket korrelasjon opp mot de observerte dataene.

Det eksterne datasettet som brukes til kalibreringen er koblet til detektorobjekter i nettverket. Disse legges inn på en slik måte at de representerer svingbevegelsene fra trafikkteillingene, altså en detektor ved hver inn og utkjørsel av kryssene. Videre formateres tellingsdataene slik at de er kompatible med Aimsun og lastes inn som et *Real Data Set* i Aimsun.

Det gjøres kalibrering ved bruk av Aimsuns verktøy, separat for kjøretøytypene *Privatbil* og *Fotgjenger*. Fotgjengerkalibreringen gjøres ved å bruke kjøretøysimulatoren for fotgjengere. De to kalibreringene gjøres separat fra hverandre, siden de er konfigurert med to ulike sentroidekonfigurasjoner. Dette er noe uheldig, siden interaksjonen mellom de to modellene har litt å si for reisetidene, som påvirker *Static OD Adjustment* og *Dynamic OD adjustment* scenariene. Men det ble valgt å ikke gjøre noe ytterligere med dette problemet, siden modellen oppfylte valideringskravene etter den første OD-justeringsrunden.

### 3.3.3 Validering

Det viktigste prinsippet som ligger bak valideringsprosessen er at dataene modellen produserer skal sammenlignes med et eksternt observert datasett som er



helt uahvengig av modellen. Det vil si at det ikke har vært benyttet i initieringen eller kalibreringen av modellen.

Formålet med prosessen er å sjekke om modellen er i stand til å gi en forventet respons som stemmer overens med de observerte dataene. Klarer den dette innenfor en viss margin, kan man si at modellen er gyldig, og bruke den til å modellere modellområdet med relativt god sikkerhet i resultatene den produserer.

I valideringen av modellen i denne oppgaven brukes telldataene fra 28.11 som valideringsdatasett. Disse har ikke vært brukt til modellbyggingen eller kalibreringen og er fra omtrent samme tidsperiode som modellen prøver å modellere.

Det er ikke mulig å validere modellen kun ved bruk av trafikktegninger. Dette er fordi en trafikkflyt ikke entydig beskriver en trafikksituasjon. 200 kjøretøy i timen kan både være en situasjon der det er få biler som passerer fordi det er generelt lite trafikk på veien, men det kan også beskrive en situasjon der det er så tett trafikk at kun 200 kjøretøy passerer tellepunktet på grunn av kø.

Derfor må man i tillegg til å validere trafikkvolumene også validere situasjonen på en annen måte, dette kan for eksempel være ved bruk av kølengder, forsinkelsesberegning, eller fartsmålinger. Her er det valgt å gjøre en noe forenklet prosess, og ikke gjort kvantitative målinger på for å supplere trafikkvolumene. I stedet er det gjort en enklere vurdering av om kø oppstår på de riktige stedene og med riktig omfang, basert på omtrentlige observasjoner i området mens videoene ble tatt opp.

Når det kommer til validering ved bruk av tellingsdataene er det benyttet en mer statistisk tilnærming for å se på hvor godt modellen og de observerte dataene korrelerer. Det er to faktorer som er vurdert: GEH, og koorelasjonskoeffisienten.

GEH (3.1) er et vanlig mål å bruke når det kommer til validering av trafikkmodeller og er en faktor som sammenligner modellert volum  $m$  og observert  $o$  volum. (Aimsun, 2021).

$$GEH = \sqrt{\frac{2(m - o)^2}{m + o}} \quad (3.1)$$

I tillegg til GEH brukes  $r^2$  som også kalles determinasjonskoeffisienten, dette er et statistisk mål på hvor godt dataene i to datasett korrelerer. Den beregnes etter å ha gjort en regresjonsanalyse mellom de to datasettene, og er et mål på hvor stor andel av variasjonen i det ene datasettet som kan forklares utfra variasjoner i det andre. Den er gitt som en verdi mellom 1 og 0, der 1 er fullstendig korrelasjon og 0 er fullstendig uavhengighet.

Aimsun har innebygget mulighet for å beregne både GEH og  $r^2$ .

Tabell 3.8 viser anbefalte verdier for GEH og  $r^2$  fra den norske Aimsunveilederen. Modellen i denne oppgaven er en typisk "Begrenset rutevalg"-modell og dette

betyr at man stiller svært strenge krav for å kunne validere den.

Valideringskriterium	Begrenset rutevalg	Liten nettverksmodell	Stor nettverksmodell
Andel registreringspunkter med GEH-verdi <5	95 %	85 %	80 %
Andel registreringspunkter med GEH-verdi <10	100 %	95 %	90 %
Korrelasjonskoeffisient, $R^2$	>0,95	>0,95	>0,90

Tabell 3.8: Valideringskriterier (Persson mfl., 2019) (Tabell 21)

### Resultater av validering

Valideringen er gjennomført ved å kjøre 20 replikasjoner med henholdsvis fotgjengerretterspørselen og kjøretøyretterspørselen for så å kombinere hver av de til et gjennomsnitt. Fra dette gjennomsnittet er det beregnet GEH og  $R^2$  for de to etterspørslene. GEH verdien blir beregnet for hvert målepunkt i modellen og gitt som en prosent. Denne beskriver hvor mange av målepunktene som har en GEH-verdi under 5 og 10.  $R^2$  beregnes utfra en regresjonsanalyse der målingene sammenlignes med observerte data. Resultatene av valideringen ligger i Tabell 3.9.

Her ser man at de aller fleste kravene er oppfylt med unntak av GEH<5 for fotgjengermodellen, som ligger rett under kravet. Det ble kikket litt mer detaljert på bakgrunnsdataene her, og det viste seg at det var kun ett målepunkt som lå over, og det hadde GEH <6. Dette i kombinasjon med at kravet for GEH<5 er oppfylt når man kombinerer de to etterspørslene ble vurdert til å være godt nok for å kunne validere modellen.

	Privatbil	Fotgjenger	Kombinert
GEH<5	100%	94%	97%
GEH<10	100%	100%	100%
$R^2$	0,96	0,96	-

Tabell 3.9: Resultater av validering

## 3.4 Feilkilder og metodesvakheter

Det er gjort en del forenklinger i metoden tilknyttet denne casestudien. Noen av disse vil muligens kunne føre til systematiske feil i resultatene. De fleste forenklingene og avvikene fra standard metode er bevisste valg gjort grunnet oppgavens art og tidsbegrensninger. Fokuset har hele veien vært å studere fotgjengermodellene i

Aimsun og ikke på å bygge en perfekt trafikkmodell av Tiller. I dette kapittelet blir de viktigste av disse valgene trukket frem i tillegg til at det blir diskutert eksterne feilkilder og svakheter med å bruke dette casestudiet til å si noe om masteroppgavens problemstilling og forskningsspørsmål.

### 3.4.1 Observasjoner

Det første punktet som kan være greit å merke seg her er at de to observerte datasettene ikke beskriver det samme tidspunktet på døgnet. Selv om det kun er snakk om en times forskjell, betyr dette at man strengt tatt ikke kan bruke de til å validere hverandre. Dette er fordi det kan være faktorer som gjør at det er systematiske forskjeller på disse to tidspunktene fra uke til uke. Når det er sagt er de to datasettene såpass like at det ikke har vært store problemer i kalibrerings- og valideringsprosessen.

Det er heller ikke gjort systematiske observasjoner av andre variable enn trafikkvolum, med unntak av en svært enkel analyse av reisetid på ett strekk. Det kunne også vært nyttig å gjøre en mer systematisk analyse av hvordan fotgjengerne beveger seg. Mer om dette i Kapittel 6.2

På grunn av dette kan man nok ikke si at modellen har gyldighet for å kunne brukes til å modellere en hvilken som helst lørdag formiddag i modellområdet. Men den er god nok til å kunne gi svært sterke indikasjoner på hvordan området oppfører seg i denne tidsperioden.

Det kan også nevnes at datagrunnlaget for beregning av basis for forsinkelse er noe tynt og nok burde vært gjort over en lengre periode med flere observasjoner.

### 3.4.2 Kalibrering

Det hadde nok også vært mulig å gjøre en noe mer omfattende kalibreringsprosess og sett på litt flere parametre enn de som er nevnt i Kapittel 3.3. Eksempelvis kunne man justert bedre for kølengder og forsinkelser, og også sett på kalibrering av gang og kjøretøyshastigheter.

### 3.4.3 Covid-19

Datainnsamlingen ble gjennomført på senhøsten 2020, midt under koronapandemien. På dette tidspunktet var det relativt lavt smittetrykk og milde tiltak i Trondheim (Børstad og Wiik, 2020). Likevel vil nok observasjonene trolig avvike fra det som er normalt, og trolig er det snakk om lavere trafikkmengder enn det ville vært snakk om hadde observasjonene vært gjort året før. Det er også trolig at dette kan ha påvirket hvordan fotgjengerne beveger seg, og at folk holder en større avstand og viker unna hverandre i større grad enn normalt. Skal man kunne si at modellen er universelt gyldig bør den nok valideres med data fra en tidsperiode der det ikke er pandemi og litt mer normale forhold.

## Kapittel 4

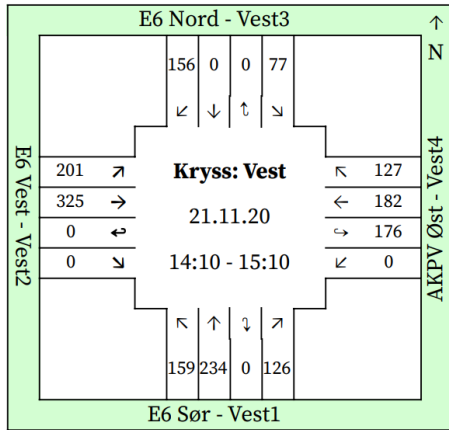
# Resultater

### 4.1 Trafikktellinger

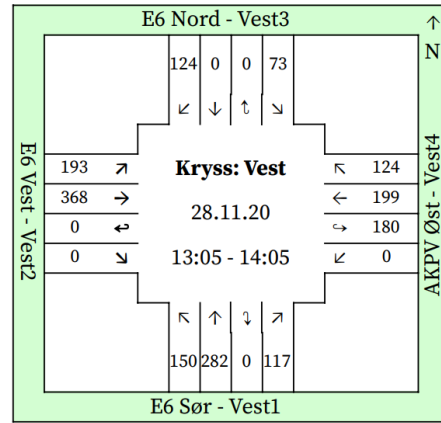
Figur 4.1 oppsummerer trafikktellingene gjort i modellområdet, Volumene er summert opp for hele observasjonstimen. Fullstendig oversikt over volumene med oppløsning på 5.minutter finnes i Vedlegg B.

I Figur 4.2, vises en illustrasjon av variasjonen i trafikkmengden i observasjonsperioden. Her er totalt antall svingbevegelser for hvert av kryssene summert opp i 5.minuttersintervallene.

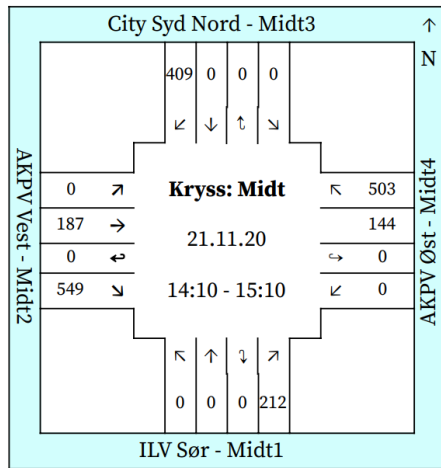
Figurene benytter forkortelser for å spare plass. Kryssene er navngitt etter beliggenhet i modellområdet. **Vest** er rundkjøringen i tilknytning E6. **Midt** er de to kryssene midt i området. **Øst** er rundkjøringen på Østre Rosten. Ivar lykkes veg er forkortet **ILV**, Anne Kath. Parrow veg er forkortet **AKPV**.



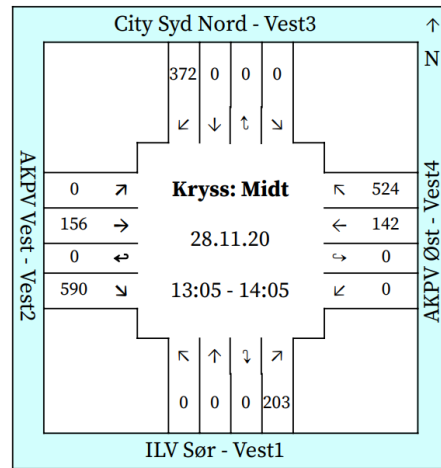
(a) Vest 21.11.20



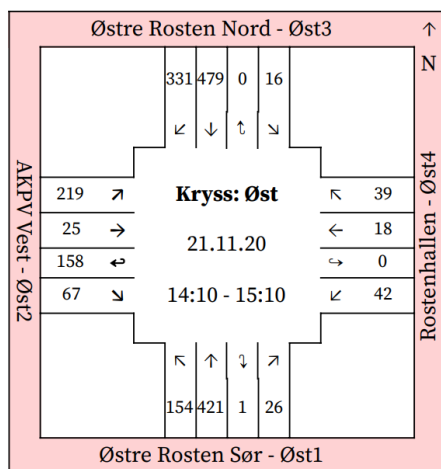
(b) Vest 28.11.20



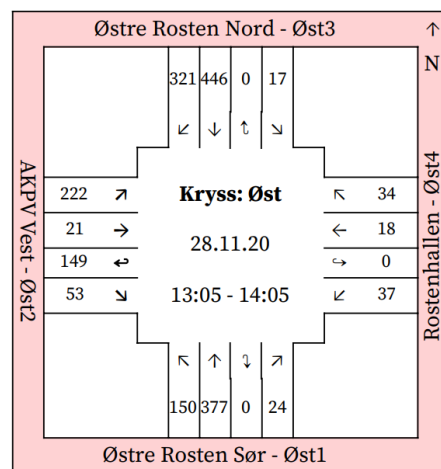
(c) Midt 21.11.20



(d) Midt 28.11.20

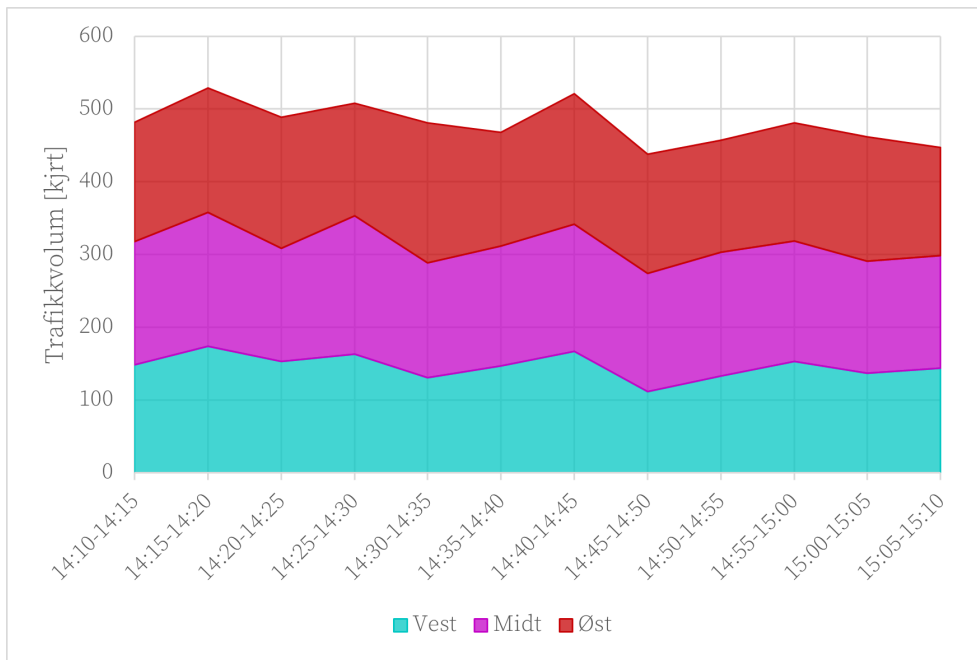


(e) Øst 21.11.20

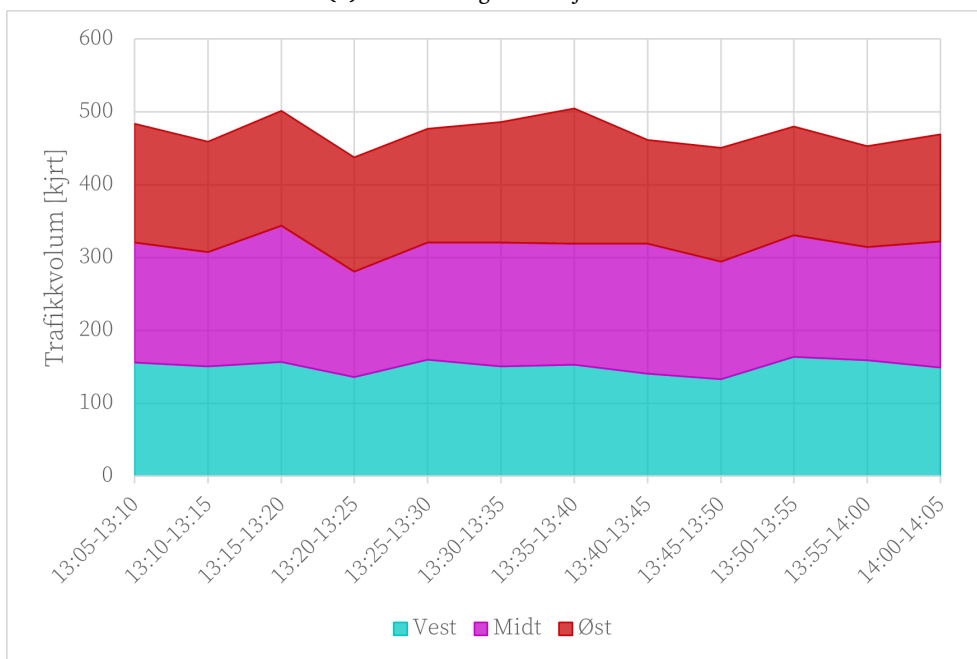


(f) Øst 28.11.20

Figur 4.1: Observerte trafikkmengder for kjøretøy i modellområdet



(a) Trafikkmengdevariasjon 21.11



(b) Trafikkmengdevariasjon 28.11

Figur 4.2: Variasjon i trafikkmengde for de to observasjonsdatoene

## 4.2 Simuleringer

Det er også simulert flere ulike trafikksituasjoner i modellen og hentet ut resultater av disse. Fokuset har ligget på å finne resultater som kan hjelpe å besvare forskningsspørsmålene definert i Kapittel 1.2.

For å få resultater som er intuitive å lese og lett å sammenligne med observerte verdier er det fokusert på på kun en vegseksjon og gjort målinger på denne. Den er vist i Figur 4.3 og er østgående felt på Anne Kath. Parrows veg, fra rundkjøringen ved E6 og fram til krysset ved Ivar Lykkes veg. Denne strekningen har høyt trafikkvolum og fører opp til ett av de mest trafikkerte gangfeltene i området, og er derfor av spesiell interesse å se på. Resultatene som er hentet ut er beskrevet videre i dette kapittelet.

For alle resultatverdiene er det gjort 20 uavhengige replikasjoner av simuleringen som er sammensatt til en gjennomsnittsverdi. Standardavviket i denne er gitt i alle figurene som et feilfelt indikert i diagrammene.

I tillegg er modellen ”varmet opp” gjennom å simulere 60 minutter med kjøretøy-etterspørsmål før den faktiske simuleringen starter.

Det oppsto problemer under kjøringen av enkelte replikasjoner ved at rundkjøringene i området fylte seg opp og førte til tilbakeblokkering av hele nettverket. Disse er nok sannsynligvis en følge av kodingen av nettverket og virkemåten til Aimsun og ikke representativ for den reelle situasjonen. Dette er grunnlagt med at problemene kun oppstår dersom man kjører simuleringen i bakgrunnen som en *Batch simulation* og ikke når du kjører den i forgrunnen med visuelt feedback og 1:1 hastighet. Av denne grunnen er disse replikasjonene blitt forkastet og ikke regnet med i gjennomsnittet.

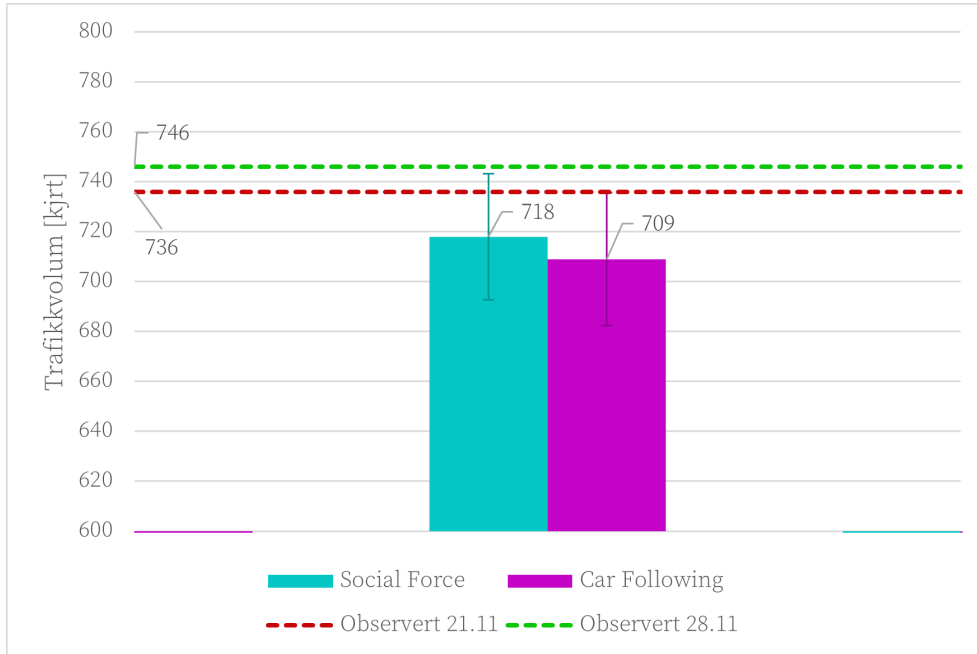


Figur 4.3: Vegseksjon der det hentes ut resultater

### 4.2.1 Trafikkvolum

Et av de mest interessante resultatverdiene vi kan hente ut av modellen er trafikkvolumet, som er en god indikasjon på hvor god avviklingen er i området. Dette

er også en verdi som det er lett å sammenligne med observasjoner fra virkeligheten. De to neste figurene viser varianter av trafikkvolumet på strekningen. I begge figurene er volumetene summert opp for hele timen.



Figur 4.4: Simulert trafikkvolum i de to modellene

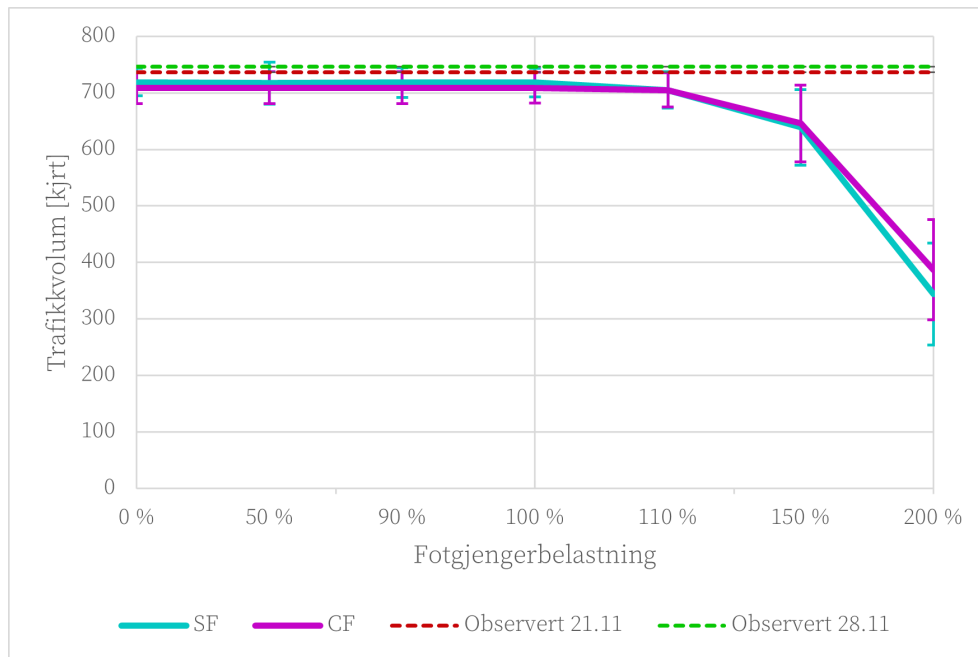
Figur 4.4 viser volumene simulert med etterspørselen fra modellen i tillegg til de observerte volumene på den samme strekningen. Her ser man at de simulerte verdiene ligger noe under de observerte verdiene. GEH verdiene for de to volumene sammenlignet med observerte data er gitt i Tabell 4.1, siden GEH ikke tar hensyn til variansen i datasettet, er det også inkludert verdiene man får dersom man trekker fra eller legger til standardavviket fra gjennomsnittet. Jo lavere verdi her, jo bedre samsvar er det mellom de to datasettene. Som man også kan se av figuren ligger Social force-modellen noe tettere opp til de observerte dataene enn Car following modellen. Men alle verdiene her er generelt sett svært lave og beskriver ett godt samsvar mellom simulerte og observerte data.

	21.11.20			28.11.20		
	-Avvik	Snitt	+Avvik	-Avvik	Snitt	+Avvik
Simulert SF	0,29	0,65	1,60	0,08	1,02	1,97
Simulert CF	0,02	1,01	2,02	0,38	1,38	2,39

Tabell 4.1: GEH-verdier for simulert trafikkvolum på resultatstrekning

Figur 4.5 viser volumene når modellen er simulert med varierende fotgjengerrett-





**Figur 4.5:** Simulert trafikkvolum, med varierende fotgjengervolum i de to modellene

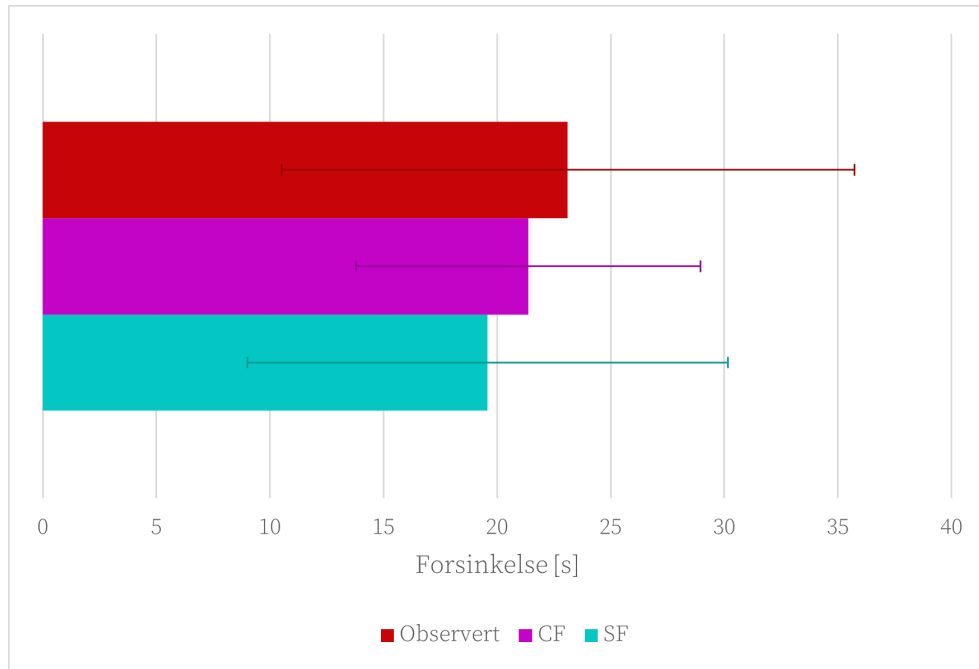
terspørsel. Hvor stor etterspørselen er, er indikert med en prosent på x-aksen i diagrammet. Denne er sett i forhold til originaletterspørselen i modellen. I tillegg er det lagt inn observerte verdier for strekningen på de to observasjonsdatoene. Det er kun i 100% situasjonen (også illustrert i Figur 4.4), at man kan si noe om hvorvidt modellene klarer å gjenskape de virkelige dataene på en god måte. Siden det er kun denne situasjonen vi har virkelige data å sammenligne med. Det man derimot kan se fra figuren er hvordan modellene reagerer på økt fotgjengervolum i forhold til hverandre. Her ser man at modellene gir tilnæremet samme respons fram til situasjonen med 200% belastning her simulerer Social-force modellen et noe lavere volum enn Car-following modellen.

#### 4.2.2 Forsinkelse

Forsinkelse er tatt med som en annen viktig måleverdi. Denne måles på den samme strekningen som volumene. Resultatet er vist i Figur 4.6.

I figuren ser man at forsinkelsen er relativt lik for de to modellene og observerte verdier, men at simuleringene beregner en noe lavere forsinkelse enn den observerte forsinkelsen. Det er variasjoner i resultatene, som vises i standardavviket markert i figuren.

Det er også gjort flere simuleringer med varierende fotgjengervolum som med volumsimuleringene. Resultatet av disse er vist i Figur 4.7. Denne viser forsinkelsen som en andel av den totale reisetiden til kjøretøyene for de to modellene. Det



**Figur 4.6:** Simulert og observert forsinkelse 14:15-14:20

fremgår av figuren at det ikke er store forskjeller på modellene når det kommer til simulert forsinkelse.

### 4.3 Kvalitative observasjoner ved bruk av Aimsun Pedestrian Simulator

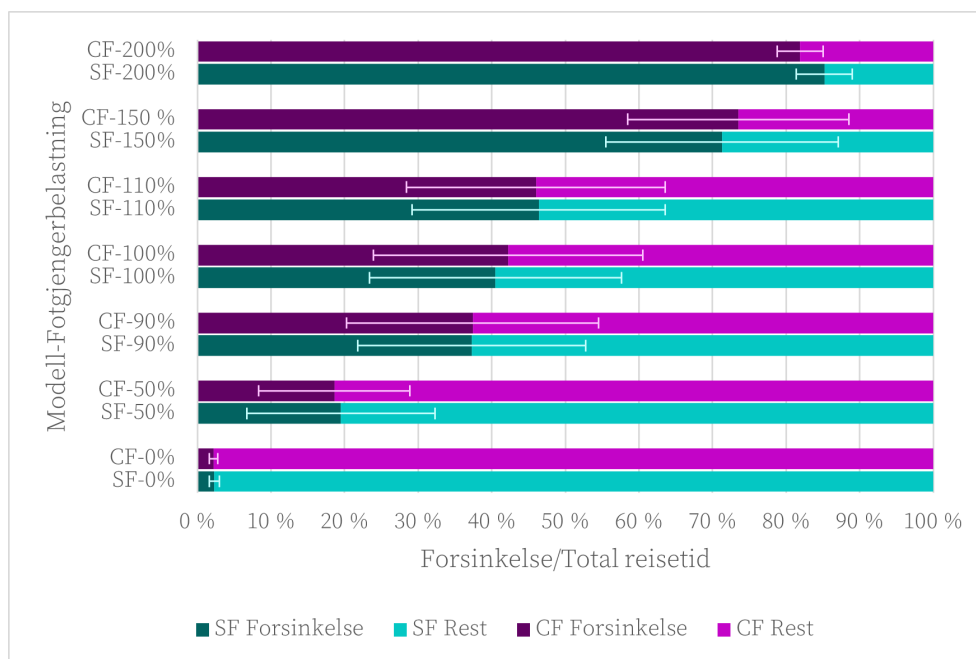
Siden mye av formålet med denne masteroppgaven går ut på å se på hvordan fotgjengersimuleringsmodellene virker, er det også valgt å inkludere en del observasjoner gjort i modelleringsarbeidet.

#### 4.3.1 Interaksjon i gangfelt

Hvordan kjøretøy interagerer med fotgjengere er sentralt for hvordan modellen fungerer og i mange tilfeller er effektene man får av denne interaksjonen ett av hovedformålene ved å inkludere fotgjengere i trafikkmodeller. Slik Aimsun Next 20 er på dette tidspunktet er det eneste stedet fotgjengere interagerer med resten av modellen i gangfeltene. Det er derfor naturlig å hente ut noen observasjoner fra modelleringen og simuleringen av disse.

Disse er allerede omtalt noe i Kapittel 3.3.2 og handler om oppbremsing og når fotgjengerne oppfattes av kjøretøyene.

- Kjøretøyene ser ikke ut til å observere fotgjengerne tidlig nok, og holder



**Figur 4.7:** Simulert andel forsinkelse av totalreisetid, med varierende fotgjengervolum

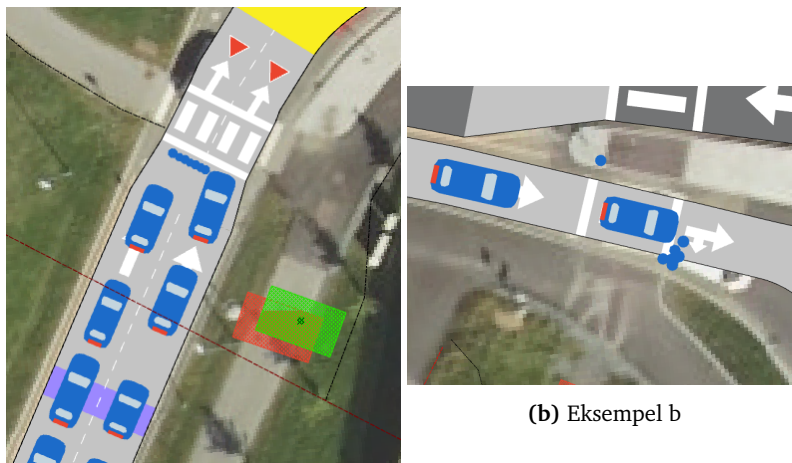
derfor høy fart inn mot gangfeltene. Dette gir tre ulike typer uønskede utfall avhengig av når fotgjengerne blir oppdaget:

- Kjøretøyet klarer å bremse, men man får en svært brå oppbremsing. Dette kan føre til en flyt som er dårligere enn i virkeligheten, dersom det er tett trafikk og oppbremsingene forplanter seg bakover i systemet.
- Kjøretøyet klarer ikke å bremse opp før det har krysset gangfeltet helt. Dette medfører at man nok får en noe bedre flyt enn i virkeligheten for kjøretøyene, i og med at noen av dem slipper å stoppe helt. Siden kjøretøyene oppfattes som hindringer av fotgjengerne, vil de midlertidig blokkere gangfeltet når de kjører forbi og føre til en forsinkelse for fotgjengerne. Dette er forøvrigt en situasjon som kan skje i virkeligheten, men når det skjer i modellen, er det som regel en følge av en unaturlig høy fart inn mot gangfeltene.
- Kjøretøyet klarer å bremse, men klarer ikke stoppe før det står oppå gangfeltet. Dette fører til en helt fastlåst situasjon som beskrives under.
- Kjøretøy stopper på gangfeltet slik at det ikke er nok plass til at fotgjengerne klarer å passere verken foran eller bak. Dette skjer til tross for at det er mulig å merke gangfeltene som "Yellow-box". Situasjonen vises med eksempler i Figur 4.8
  - Dette er en effekt av hvordan Social Force-modellen virker. Fotgjengerne oppfatter både bilene og ytterkantene av gangfeltet som fysiske

hindringer og påvirkes av krefter fra disse. Er det for lite mellomrom mellom de to hindringene vil disse kreftene bli så sterke at de hindrer bevegelse framover.

- Siden kjøretøyene er programmert til å stoppe dersom det er fotgjengere i gangfeltet, vil dette skape en helt fastlåst situasjon som til slutt vil føre til tilbakeblokkeringer i hele modellområdet.

Hvis man ser isolert på flyt for kjøretøy kan det hende at de positive og negative effektene nuller hverandre ut og at modellen klarer å gi resultater som samsvarer med observerte data. Men siden man ikke har noen måte å kontrollere og verifisere dette på, bør man finne måter å unngå denne oppførselen på, som eksempelvis den virtuelle lysreguleringen som beskrives i Kapittel 3.3.2.



(a) Eksempel a

(b) Eksempel b

**Figur 4.8:** Eksempler på fastlåste fotgjegersituasjoner

Det er vanskelig å gi noe godt svar på hvorfor denne interaksjonen ikke fungerer optimalt uten mer inngående kunnskap i hvordan delmodellene som styrer gangfeltinteraksjonen er bygget opp. Disse modellene har ikke blitt undersøkt inngående i denne oppgaven og derfor er det ikke blitt fokusert noe mer på denne problemstillingen utover den midlertidige løsningen som ble implementert.

### 4.3.2 Kalibrering

Aimsun Pedesrian simulator har relativt få parametre som brukes for å styre modellen. Disse er beskrevet i Kapittel 2 og oppsummert kort i følgende liste:

- Ønsket hastighet
- Fysisk størrelse på fotgjenger
- *Relaxation* i tilknytting til *Driving force*
- Social og obstacle force, strength og range
- Anisotropiparametre

Felles for alle disse parametrene, med unntak av hastighet og størrelse, er at de ikke er direkte observerbare. Dette gjør kalibrering av disse vanskelig. I tillegg til dette er det ikke intuitivt hvordan parametrene påvirker modelloppførselen, som gjør at selv ”prøv og feil” metodikk for å kalibrere modellen kan være vanskelig. I arbeidet i denne oppgaven er Aimsuns standardverdier blitt benyttet, med unntak av ganghastigheten som er justert i henhold til foreslått verdi fra den norske Aimsunveilederen.

Det er mulig å transformere ligningene i Social force-modellen for å finne sammenhenger som kan brukes for å lettere justere parametrene (Kretz, Lohmiller og Sukennik, 2018). Det finnes også flere forsøk på å optimalisere de foreslåtte parametrene ved bruk av store datasett (A. Johansson, Helbing og Shukla, 2008)

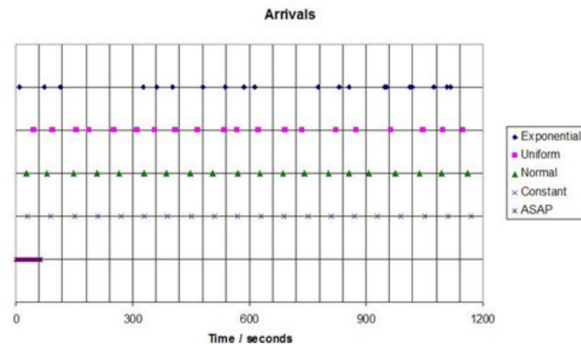
### 4.3.3 Ankomstmønster

Det er to karakteristikk ved hvordan fotgjengerne beveger seg i området som er tett knyttet opp til hvordan de ankommer området i modellen. Den første er en oppførsel som ble observert i videoene og gjennom andre observasjoner av fotgjengerne i området. Fotgjengerne beveger seg svært ofte i grupper på mer enn en person. Når man ser på gangfelt slik man gjør i denne oppgaven er dette et fenomen som faktisk er ganske kritisk å kunne modellere, i og med at det har veldig stor innvirkning på hvor stor andel av tiden fotgjengerne vil være til hinder for kjøretøy. To personer som går ved siden av hverandre vil okkupere gangfeltet kortere enn to stykker som går etter hverandre med mellomrom.

Det andre er at veldig mange av fotgjengerne som krysser gangfeltene i tilknytning til Tillerterminalen, ankommer med buss. Dette vil si at det krysser mange fotgjengere over gangfeltet i løpet en kort periode, ikke som en jevn strøm forelt utover. Det ligger mye muligheter for å modellere multimodale reiser i Aimsun og det hadde vært mulig å bruke disse til å knytte ankomstene direkte til bussavganger. Det ble ikke gjort i denne oppgaven, siden det lå litt utenfor formålet for oppgaven og det ikke var tid til å prioritere å sette seg inn i denne delen av programvaren.

Ser man bort i fra multimodale reiser er det i utgangspunktet to måter man kan styre ankomster i Aimsun. Det første man kan gjøre for å påvirke denne oppførselen, er å tilpasse det inn i etterspørselen. Jo finere oppløsning det er på denne, jo mer detaljert kan man styre når og hvor mange reisende ankommer modellområdet. Kalibrerer man etterspørselen i mindre tidsintervaller, ved å bruke *Departure adjustment*-scenarier slik det er gjort i kalibreringen i denne oppgaven (Kapittel 3.3), vil man kunne få en etterspørsel som varierer i tid. I periodene med høy etterspørsel vil det føre til tettere ankomster, mens i perioder med lav etterspørsel vil man få mer luft mellom folk. Dette vil ikke isolert sett skape den ønskede ”gruppeankomsten”, men det vil sannsynliggjøre at ankomstene skjer på et ”riktig” tidspunkt.

Videre er det også mulig å styre ankomstene til modellområdet gjennom å velge hvilken sannsynlighetsfordeling som skal brukes for å beregne disse. I denne oppgaven er *exponential* benyttet, dette er også Aimsuns standardvalg. Figur 4.9 viser hvordan de ulike sannsynlighetsfordelingene modellerer en friflytsituasjon, med en etterspørsel på 60 kjrt/t. Her ser man at *exponential* er den modellen som ligger tettest på oppførselen vi ønsker å modellere, med grupperte ankomster.



Figur 4.9: Ulike sannsynlighetsfordelinger brukt i ankomstberegning (Aimsun, 2021)

Valget av ankomstmodell gjør at man i enda større grad sannsynliggjør samlet ankomst, men man har ikke noen måte å gi input til hvordan ankomsten skal være utover dette.

På grunn av tidsbegrensninger i oppgaven har det ikke vært mulighet til å undersøke så mye rundt denne problematikken. Man kunne sett på muligheten for å bruke funksjonaliteten i multimodale reiser, både for å modellere de reisende som faktisk ankommer med buss, men også undersøkt muligheten for modellerer gruppeankomster gjennom å opprette "virtuelle busser" på et eget nettverk, som regulerer ankomsten til fotgjengere. Det kunne nok også vært mulig å se på måter man kunne prøvd å løse dette også ved hjelp av lysregulering, og for eksempel laget et virtuelt kryss ved inngangssentroidene som var tidsstyrt til å slippe igjennom fotgjengere en viss andel av tiden.

#### 4.3.4 Uformelle kryssinger av veien

I løpet av observasjonsperiodene ble det også observert en god del uformelle fotgjengerkryssinger av Anne Kath. Parrows veg. Med uformelle kryssinger menes kryssinger av vegen på steder der det ikke er etablerte gangfelt. Kryssingene ble talt, og det var snakk om rundt 10 i hver retning i timen, begge observasjonsdagene. I alle disse tilfellene krysset fotgjengerne på tidspunkt, slik at de ikke var til hinder for biltraffiken.

Sånn sett kan man si at de ikke er relevant å ta med, men det er her snakk om 10 fotgjengere som potensielt kunne krysset vegen i gangfeltet og at de ved å

krysse på et passende tidspunkt andre steder er med å bidra til en bedre flyt for kjøretøyene.

Skal man bygge mer avanserte modeller med mer intrikate rutevalg og færre tellepunkter for fotgjengerne enn i modellområdet i denne oppgaven, kan det være interessant å inkludere disse krysningsstedene og muligheten for fotgjengere til å krysse veien hvor som helst utenfor gangfeltene, slik mulighetene er i virkeligheten. Man kan se for seg at dette kan være nyttig både i situasjoner med lite kjøretøytrafikk, men også i situasjoner der det er så mye kø at ting står stille og det sånn sett oppleves som greit for fotgjengerne å krysse. Videre er det også mulig å se for seg situasjoner der det er snakk om at det er såpass stor omvei å komme seg til nærmeste gangfelt at fotgjengerne velger å vente på en luke i trafikken.

Det er også ikke gitt at fotgjengerne som krysser på steder utenfor gangfelt ikke er til hinder for kjøretøyene. Dersom fotgjenger feilberegner, er uoppmerksom eller krysser med vilje, kan dette føre til at kjøretøy må bremse og i verste fall stoppe helt opp.

Av disse grunnene hadde det vært fint å kunne modellere fotgjengerkryssinger med varierende grad av vikeplikt mellom fotgjengere og kjøretøy.

Det er nok mulig å få til en slik type variabel vikeplikt ved bruk av signalregulering, men dette er ikke testet ut i denne oppgaven. Her kan man se for seg et system som ligner på det som brukes i de virtuelle signalregulerte overgangsfeltene i oppgaven, men der bilene tillegges en høyere prioritet gjennom en annen implementering av aktueringsparametrene. Det er i teorien også mulig å bygge lange *Crossings* og *Crosswalk-areas* som er relativt store og som kan modellere kryssinger langs større deler av veistrekninger. Men dette er heller ikke testet ut, og det er ikke sikkert hvordan det vil virke i praksis.

## Kapittel 5

# Drøfting

Det kan være greit å ha i bakhodet at siden modellene er såpass forskjellige er det ikke god nok parameterkontroll til å kunne si at man sammenligner resultatene på helt samme grunnlag. Det er gjort et forsøk på å samordne flest mulig av parametrene og variablene, og mange sentrale modellinput som etterspørsel, objektstørrelse og hastigheter er lik for begge modellene.

Det er et par interessante betraktninger man kan gjøre seg rundt resultatene av simuleringen. Først og fremst er det iøynefallende at de to modellene produserer relativt like resultater på de to målepunktene som er valgt ut i denne oppgaven. Ser man først på situasjonen der etterspørselen er lik de observerte dataene, ser man fra Figur 4.4 og 4.6 at begge modellene simulerer et litt lavere volum og forsinkelse enn de observerte dataene. Aimsun Pedestrian simulator gjenskaper et litt høyere volum og en litt lavere forsinkelse enn simulering i kjøretøysimulatoren.

Ser man disse forskjellene i forhold til usikkerheten er de veldig små. Det er mulig å teste hvor godt samsvar det er mellom observerte og simulerte volumer ved bruk av GEH-verdier, som riktig nok er en veldig enkel sammenligningsmetode men som gir et greit referansepunkt å jobbe ut fra. Disse er beregnet i Tabell 4.1, her ser man at selv når man tar med standardavvikene inn i beregningen av GEH-verdien, får man et resultat som ligger godt under den anbefalte samsvarsverdien på 5.

Ser man videre på hvordan modellene responderer på endret fotgjengeretterspørsel ser man også her at det er snakk om små forskjeller i modellrespons. I Figur 4.5 ser man hvordan avviklet kjøretøyvolum varierer. Her ligger volumene stort sett på samme nivå hele veien, med stabile verdier fram til fotgjengeretterspørselen når nivåer på 150% og 200%. Dette stabile samsvaret er å forvente og viser at kapasiteten på veien er god nok til å ta unna det etterspurte volumet fram til man kommer til et punkt der fotgjengerne er en såpass stor hindring at det avviklede volumet begynner å gå ned. Det er imidlertid iøynefallende at samsvaret mellom



de to modellene er såpass tydelig som i figuren. Siden det kun finnes observerte data i punktet der etterspørselen er 100% er det kun her det er mulig å vurdere hvor godt modellene kan gjenskape virkeligheten. Men ved å se på variasjonen i de andre punktene kan man si noe om hvordan modellene reagerer i forhold til hverandre. Her ser det ut til at de reagerer på lik måte på en endret mengde fotgjengere, iallefall når det kommer til mulighet for avvikling av kjøretøystrafikk. Det eneste unntaket er en liten forskjell i punktet der etterspørselen er på 200% her ser det ut til at Social force modellen simulerer en avvikling som ligger noe under Car following-modellen.

Når det kommer til forsinkelsen som er vist i Figur 4.7, går mye av den samme tendensen igjen her, med relativt like forsinkelsesgrader. Det er to ting som skiller seg ut her og kan være verdt å kikke mer inngående på.

Det er en ganske tydelig forskjell i størrelsen på avvikene for forsinkelsesgradene. For de største og minste fotgjengervolumene er avvikene markant mindre enn for fotgjengervolumene som ligger mellom.

Årsaken til dette ligger nok i hva det er denne forsinkelsesgraden beskriver. Resultatet er et mål på den gjennomsnittlige forsinkelsesgraden blant kjøretøy. Et stort standardavvik beskriver at det er et stort sprik i forsinkelsesgradene til de individuelle kjøretøyene. Innenfor et femminuttersintervall vil verken forgjengerne eller kjøretøyene ankomme gangfeltet med jevne mellomrom. Som beskrevet når ankomstmonseret ble gjennomgått i Kapittel 4.3.3, slippes reisende inn i modelområdet utfra en sannsynlighetsfordeling. Dette fører til at det sannsynligvis vil være perioder der ankomstene inntreffer tett og perioder der de inntreffer mindre tett. Rent praktisk vil dette i modellen utarte seg som perioder der det vil være stor sannsynlighet for kødannelser og perioder der det er liten sannsynlighet for dette. Når man tar snittet for alle kjøretøy vil dette følgelig føre til en stor varians i forsinkelse.

Med utgangspunkt i dette kan man se på forsinkelsesgraden i Figur 4.7 som en indikator på hvor stor andel av kjøretøyene som blir forsinket og ikke. At avvikene i forsinkelsen er såpass små for 0% og 200% fotgjengere har rett og slett med at de aller fleste kjøretøyene vil befinne seg i samme situasjon i disse tilfellene. For tilfellet med 0% fotgjengere vil tilnærmet alle kjøretøyene være i en fri flyt situasjon, og derfor ha svært lav forsinkelse. Mens i tilfellet med 200% fotgjengere vil tilnærmet alle kjøretøyene være i en køsituasjon, der de må vente på kryssende fotgjengere.

At forsinkelsen stiger jevnt med økende fotgjengervolum er å forvente, i og med at dette er snakk om en gjennomsnittlig forsinkelse pr kjøretøy. Flere fotgjengere fører til større sannsynlighet for at gangfeltet er okkupert når enkeltkjøretøy skal passere.

Videre kan også her være interessant å trekke fram simuleringsresultatene fra scenariet gjort med 200% fotgjengervolum. Her er det snakk om en situasjon med

mye lavere standardavvik enn de andre fotgjengervolumene. I tillegg til dette er det også en relativt stor forskjell på forsinkelsesgraden mellom de to modellene, der Social force modellen har en forsinkelsesgrad som ligger nesten 5% over Car-following modellen.

Dette kan også ses i sammenheng med forskjellen i avviklet volum, der Social force hadde et noe lavere volum. Fotgjengerne har her en større obstruktiv effekt og fører både til lavere kapasitet og større forsinkelser enn ved bruk av Car-follow modellen.

Dette er en indikator på at de to modellene gir ulike resultater når volumet fotgjengervolumet blir høyt nok. Siden det ikke finnes observerte data å sammenligne med er det ikke mulig å si hvilken av modellene som gir de mest realistiske resultatene.

Det er lett å kun se på hvordan fotgjengerne påvirker biltrafikken. Det er det mest nærliggende i og med at Aimsuns hovedfunksjonalitet ligger i å simulere kjøretøy. Dersom man setter det helt på spissen her, så er det man er ute etter når man inkluderer fotgjengerne i modellen å finne en realistisk måte å modellere den hindringen som fotgjengerne utgjør i gangfeltene. Dette kunne muligens vært gjort gjennom en klokke som anga gitte tidpunkt der gangfeltet var okkupert og ikke, med like gode resultater. Mye av arbeidet med modellering handler om å kunne vite når modellen er god nok for det formålet man skal bruke den til, og ikke investere mer ressurser i den med mindre du trenger det. Mye handler om hvor stor realisme du trenger i modellen for å oppnå de resultatene du ønsker. På samme måte kan man betrakte Aimsun Pedestrian simulator og bruken av kjøretøyssimulatoren til å simulere fotgjengere. Car-follow fotgjengere er en mye mindre avansert modell å implementere (gitt at du allerede bruker den til å simulere kjøretøy). Og utfra resultatene man ser i denne oppgaven vil den gjøre en like god oppgave som Social force modellen når det kommer til å simulere vikepliktsregulerte overgangsfelt.

Den store forskjellen mellom modellene ligger i utgangspunktet i potensialet for økt realisme, og her har Social Force-modellen et stort fortrinn. Har man andre modellformål enn nøyaktig det å simulere ett overgangsfelt er det ikke sikkert Car-follow modellen vil gjøre det like bra. Mens Social force modellen, som er bygget for å etterligne forgjengeroppførsel, vil trolig gjøre en god jobb. Selv om det kanskje må bygges noen tilleggsmodeller for å kunne definere hvordan interaksjonen med andre objekter enn fotgjengere og vegger skal foregå.

## Kapittel 6

# Avslutning

### 6.1 Konklusjon

Denne masteroppgaven har sett nærmere på ulike problemstillinger knyttet til det å simulere fotgjengere i mikrosimuleringsmodellen Aimsun, med følgende problemstilling:

Hvor godt klarer man å modellere en reell trafikksituasjon, som inkluderer fotgjengere, ved bruk av Aimsun Pedestrian simulator og fotgjengersimulering i kjøretøymodellen i Aimsun Next 20?

*Problemstilling*

Alt i alt kan man konkludere med at både Aimsun Pedestrian Simulator og simulering av fotgjengere i kjøretøyssimulatoren i Aimsun er gode modeller for å simulere vikepliktregulerte overgangsfelt av den karakteren som det ses på i denne oppgaven.

Resultatene modellene produserer er i god overensstemmelse med observerte verdier.

Når det kommer til potensiale i modellene utover det som er undersøkt konkret her åpner *Aimsun Pedestrian Simulator* for å simulere et større spekter av problemstillinger knyttet opp mot trafikkavvikling av fotgjengere. Modellen har en del barnesykdommer på nåværende tidspunkt, spesielt knyttet opp mot interaksjonen mot kjøretøy i gangfeltene. Disse er mulig å omgå gjennom å bruke virtuell lysregulering, men ideelt sett burde modellen være i stand til å simulere disse situasjonene uten ”make-shift” løsninger.

Det å bruke kjøretøyssimulatoren til å simulere fotgjengere fungerer godt i situasjonen rundt vikepliktregulerte gangfelt, men det er vanskelig å se for seg noe særlig bruksområde for metoden til fotgjengersimulering utover dette.

Opgaven har imidlertid et relativt tynt fokusområde, det er ganske mange flere aspekter ved fotgjengersimulering i tillegg til vikepliktregulerte gangfelt. Ser man dette i kombinasjon med at casestudien kunne vært gjort på et mer omfattende grunnlag, med flere observasjoner i flere tidsområder og flere modellområder med annen karakteristik, er det nok nødvendig med flere undersøkelser rundt modellene i fremtiden for at man skal kunne trekke sikrere og mer generelle konklusjoner enn det som gjøres her. Dette og andre åpninger for undersøkelser og forskning knyttet opp mot tematikken rundt fotgjengersimulering detaljeres nærmere i neste kapittel.

## 6.2 Veien videre

### Flere observasjoner rundt tematikken i denne oppgaven

Det er allerede nevnt et par ganger tidligere i oppgaven, spesielt i Kapittel 3.4, at det med fordel kunne vært gjort flere og bedre observasjoner for å bedre kunne sammenligne simuleringsresultatene med virkeligheten. Spesielt kunne det vært interessant å se på:

- Mer grundige data fra de observerte tidsperiodene:
  - Her kunne man for eksempel analysert andre faktorer som hastigheter, kølengder og rutevalg for fotgjengere for å bedre kunne sammenligne modellresultatene med virkeligheten.
- Data for andre tidsperioder i det samme modellområdet:
  - Spesielt hadde det vært interessant å se på tidsperioder der det var andre volumer av kjøretøy og fotgjengere. Ideelt sett høyere enn i observasjonsperiodene i oppgaven.
  - I Kapittel 4 så man at det var faktiske forskjeller på hvordan modellene taklet fotgjengervolum som var dobbelt så store som de observerte volumene, hadde man hatt observerte data med høye fotgjengervolum, hadde man kunne sett hvilken av modellene som ga best resultater her.
- Data fra andre modellområder:
  - Det hadde vært nyttig å gjøre observasjoner av flere gangfelt for å vurdere om modellene klarer å beskrive disse like godt som området på Tiller

### Interaksjon mellom kjøretøy og fotgjengere i Aimsun Pedestrian simulator

I denne oppgaven ble det observert en del problemer rundt interaksjonen mellom fotgjengere og kjøretøy i Aimsun Pedestrian simulator. Det ble ikke gått noe særlig i dybden på dette annet enn at det ble konstatert at det var et problem, og utviklet en løsning for å komme seg utenom problemet.

Det hadde vært interessant å finne ut hvorfor dette problemet oppstår. Om det kun er et resultat av en bug, brukerfeil eller en implementering av en dårlig delmodell. Her kunne man gått mye dypere i materien på hvordan de bakenforliggende modellene som styrer interaksjonen fungerer, og muligens prøvd å utvikle en modell som virker bedre en dagens.

Det kunne også vært interessant å se på andre typer interaksjon mellom fotgjenger og kjøretøy, eksempelvis hvordan de påvirker hverandre når de beveger seg parallelt. Man kan for eksempel se for seg at tilstedeværelse av fotgjengere på smale fortau, fører til lavere hastighet for kjøretøy på veien. På dette tidspunktet ligger det ikke inne funksjonalitet i Aimsun som åpner for at fotgjengere kan påvirke kjøretøy i slike situasjoner, men dette er noe som nok kan utvikles på sikt.

Til slutt burde man sett på muligheten for å legge inn uformelle kryssinger av veien, og situasjoner med variabel vikeplikt mellom kjøretøy og fotgjenger

### **Rutevalg, reisemiddelvalg og multimodale reiser**

En viktig del av Aimsun Pedestrian Simulator som ikke blir benyttet i denne oppgaven er åpningen for multimodale reiser som inneholder både kollektivtransport og gange. Dette i kombinasjon med rutevalg for fotgjengere kan være svært interessant å se på inn mot for eksempel firetrinnsmodellering og i store modellområder.

### **Grupper**

Som nevnt tidligere i oppgaven ble det observert en tydelig gruppeoppførsel hos fotgjengerene. Dette er noe som man bør se på måter å modellere og kalibrere skal man få til en mer realistisk simulator. I første omgang kan det være interessant å se på adgangskontroll til området gjennom signalanlegg eller busser, men på sikt bør man også se på muligheten for å legge dette inn som en faktor i ankomstfordelingen, og muligens også som en faktor i Social force modellen, gjennom en form for tiltrekning til personer man er i samme gruppe som.

### **Shared space og implementering av syklist og El-sparkesykler**

I fremtiden bør man muligens også se på mulighetene for å modellere "Shared space" områder, der alle trafikanter deler den samme veibanen. Dette er en ganske kompleks situasjon å skulle modellere, men det er kanskje mulig å få til ved bruk av Aimsun Pedestrian simulator. Men det kan også hende at dette er en problemstilling som bør overlates til en annen modell.

Det man bør kikke på som nok er noe enklere å implementere er muligheten for å simulere syklist og El-sparkesykler i Social.force modellen, eller kjøretøysmodellen. Dette er en viktig faktor i trafikkdynamikken på fortau og i bygater.

# Bibliografi

- © OpenStreetMap-bidragsterene (2021). *Open Street Map*. URL: <http://www.openstreetmap.org/copyright>.
- Aimsun (2020a). *About Aimsun*. URL: <https://www.aimsun.com/about-aimsun/>.
- Aimsun (2020b). *Aimsun Next 20 out today!* URL: <https://www.aimsun.com/latest/next-20-release/>.
- Aimsun (2021). *Aimsun Next 20 User manual*. Aimsun Next 20.0.2. Barcelona, Spain.
- Alexandersson, Stina og Emmi Johansson (2013). «Pedestrians in Microscopic Traffic Simulation: Comparison between software Viswalk and Legion for Aimsun». Masteroppg. Chalmers University of Technology, s. -. URL: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/184582/184582.pdf>.
- AtB (2021). *Rutetabeller - AtB*. URL: <https://www.atb.no/rutetabeller/>.
- Barcelo, Jaume (2010). «Models, Traffic Models, Simulation, and Traffic Simulation». I: *Fundamentals of Traffic Simulation*. Red. av Jaume Barcelo. Bd. 145. New York: Springer. Kap. 1, s. 1–62. ISBN: 978-1-4419-6141-9. DOI: 10.1007/978-1-4419-6142-6.
- Barcelo, Jaume, David García og J Perarnau (jan. 2005). «Methodological notes on combining macro, meso and micro models for transportation analysis». I: URL: [https://www.researchgate.net/publication/242154775\\_METHODOLOGICAL\\_NOTES\\_ON\\_COMBINING\\_MACRO\\_MESO\\_AND\\_MICRO\\_MODELS\\_FOR\\_TRANSPORTATION\\_ANALYSIS](https://www.researchgate.net/publication/242154775_METHODOLOGICAL_NOTES_ON_COMBINING_MACRO_MESO_AND_MICRO_MODELS_FOR_TRANSPORTATION_ANALYSIS).
- Bauer, Johan og Johan Johansson (2006). *Kapacitetsutredning av Uppsala resecentrum: En trafiksimuleringsstudie*. Tekn. rapp.
- Bentley systems (2020). *LEGION® Simulator Simulate People Movement and Test Space Performance to Deliver Fit-for-Purpose Infrastructure*. Tekn. rapp. URL: [https://prod-bentleycdn.azureedge.net/-/media/files/documents/product-data-sheet/pds\\_legion\\_simulator\\_ltr\\_en\\_lr.pdf?la=en&modified=20200422165744](https://prod-bentleycdn.azureedge.net/-/media/files/documents/product-data-sheet/pds_legion_simulator_ltr_en_lr.pdf?la=en&modified=20200422165744).
- Børstad, Sanna Drogset og Brage Fjellheim Wiik (nov. 2020). *Er det mye informasjon å forholde seg til? Dette er koronareglene som gjelder for Trondheim nå*. URL: <https://www.nidaros.no/er-det-mye-informasjon-a-forholde-seg-til-dette-er-koronareglene-som-gjelder-for-trondheim-na/s/5-113-139910>.

- Caramuta, C. mfl. (2017). «Survey of detection techniques, mathematical models and simulation software in pedestrian dynamics». I: *Transportation Research Procedia*. Bd. 25. Elsevier B.V., s. 551–567. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.05.438.
- City Syd Kjøpesenter - Google Maps (2020). URL: <https://www.google.com/maps/place/City+Syd+Kj%C3%B8pesenter/@63.3616441,10.3769021,15.95z/data=!4m5!3m4!1s0x0:0xc286567e1c7d01c8!8m2!3d63.3619273!4d10.377581>.
- De Berg, Mark mfl. (2008). «Visibility Graphs». I: *Computational Geometry: Algorithms and Applications*. Springer Berlin Heidelberg, s. 323–333. ISBN: 9783540779735. DOI: 10.1007/978-3-540-77974-2.
- Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) (2013). *Veileder for sikkerhet ved store arrangementer*. ISBN: 978-82-7768-315-7. URL: <https://www.dsbinfo.no/DSBno/2013/Tema/veilederforsikkerhetvedstorearrangementer/?page=60>.
- Flügel, Stefan mfl. (2014). *TØI report 1358/2014 Evaluation of Methods for Calculating Traffic Assignment and Travel Times in Congested Urban Areas with Strategic Transport Models*. Tekn. rapp. TØI Report 1358/2014. Oslo: Transportøkonomisk institutt (TØI), s. 57. URL: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=38655>.
- Gipps, P. G. (apr. 1981). «A behavioural car-following model for computer simulation». I: *Transportation Research Part B* 15.2, s. 105–111. ISSN: 01912615. DOI: 10.1016/0191-2615(81)90037-0.
- Hartmann, Martin (mar. 2021). *Course in Pedestrian Simulation with Aimsun Next*. Barcelona.
- Helbing, Dirk og Anders Johansson (sep. 2013). «Pedestrian, Crowd, and Evacuation Dynamics». I: *Encyclopedia of Complexity and Systems Science* 16.6476-6495. URL: <http://arxiv.org/abs/1309.1609>.
- Helbing, Dirk og Peter Molnar (1995). *Social force model for pedestrian dynamics*. Tekn. rapp. 5.
- Holte, Lena og Silje Ådland Riise (2018). «Fotgjengeres påvirkning på trafikkavvikling i rundkjøringer». Masteroppg. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, s. -.
- Johansson, Anders, Dirk Helbing og Pradyumn Shukla (okt. 2008). «Specification of the social force pedestrian model by evolutionary adjustment to video tracking data». I: URL: <http://arxiv.org/abs/0810.4587>.
- Kretz, Tobias, Jochen Lohmiller og Peter Sukennik (2018). «Some Indications on How to Calibrate the Social Force Model of Pedestrian Dynamics». I: *Article Transportation Research Record* 2672.20, s. 228–238. DOI: 10.1177/0361198118786641.
- Lieberman, Edward B (2014). «Brief history of traffic simulation». I: *Transportation Research Circular*. Bd. E-C195. Washington, D.C: Transportation Research Board, s. 17–29.

- Lysø, Tonje (2021). «Et høykvalitets kollektivtilbud. En studie av Tillerterminalen i Trondheim». Masteroppg. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Meld. St. 20 (2020-2021) (2021). *Nasjonal transportplan 2022-2033*. Oslo: Samferdselsdepartementet.
- Miljøpakken (jan. 2020). *Velkommen til Tiller!* URL: <https://miljopakken.no/nyheter/velkommen-til-tiller>.
- Ozbay, Kaan mfl. (2014). «Big Data and the Calibration and Validation of Traffic Simulation Models». I: *Transportation Research Circular*. Bd. E-C195. Washington, D.C: Transportation Research Board, s. 92–112.
- Persson, Jenny mfl. (2019). «Veileder for Aimsun, delkapitler til veilederen». Trondheim.
- Statens kartverk Geovekst og kommunene (2020). *Trondheim*. URL: [norgebilder.no](http://norgebilder.no).
- Statens Vegvesen (2011). *Håndbok V714 Veileder i trafikkdata*. Tekn. rapp. URL: [www.vegvesen.no/Fag/Publikasjoner/Handboker](http://www.vegvesen.no/Fag/Publikasjoner/Handboker).
- Statens Vegvesen (2014). *Håndbok N303 Trafikksignalanlegg*. Tekn. rapp. URL: [www.vegvesen.no/Fag/Publikasjoner/Handboker](http://www.vegvesen.no/Fag/Publikasjoner/Handboker).
- Statens Vegvesen (2021). *Vegkart.no, Trondheim, ÅDT>9000*. URL: [https://vegkart.atlas.vegvesen.no/#kartlag:geodata/@271581,7038540,11/hva:~\(filter~\(operator~'\\*3e~type\\_id~4623~verdi~\(9000\)\)~id~540\)\)/splash:main](https://vegkart.atlas.vegvesen.no/#kartlag:geodata/@271581,7038540,11/hva:~(filter~(operator~'*3e~type_id~4623~verdi~(9000))~id~540))/splash:main).
- Statistisk sentralbyrå (2020). *Utslipp til luft - årlig*. URL: <https://www.ssb.no/klimagassn>.
- Van Hool (2021). *Diesel Hybrid - Exqui.City (BRT) - Public transport | Van Hool*. URL: <https://www.vanhool.be/en/public-transport/exquicity-brt/diesel-hybrid>.
- Van Wageningen-Kessels, Femke mfl. (2014). «Traffic Flow Modeling, Genealogy». I: *Transportation Research Circular*. Bd. E-C195. Washington, D.C: Transportation Research Board, s. 1–16.
- Yang, Dongfang, Ümit Özgüner og Keith Redmill (feb. 2020). «A Social Force Based Pedestrian Motion Model Considering Multi-Pedestrian Interaction with a Vehicle». I: *ACM Transactions on Spatial Algorithms and Systems* 6.2. ISSN: 23740361. DOI: 10.1145/3373646.
- Aakre, Arvid (2019). «Forelesning: Traffic simulation and AIMSUN». I: Forelest: 26.03.2019, s. 1–22.



## **Vedlegg A**

# **Dokumentasjon av modellen, sjekklister**

## Grunnlagsdata

### Modellområde og nettverk:

Er kart og flyfoto oppdatert?	Ja
Er det tatt hensyn til eventuelle vedtatte planer?	Ikke relevant

### Trafikkregistreringer:

Hvilke kilder kommer tellingene fra (manuelle/maskinelle), og hvilke datoer er tellingene gjort?	Manuelle (21.11.20, 28.11.20)
Er trafikkregistreringene av tilfredsstillende kvalitet, eller er det noe som tyder på unøyaktige eller manglende data?	Ja, litt covid-usikkerhet
Er det tilstrekkelig antall tellepunkter, og gir tellepunktene et representativt bilde av trafikken i området? (Her: Kart ver detektorer med data i real data set)	Ja, alle svingbevegelser er talt
Har trafikkregistreringene tilfredsstillende inndeling og oppløsning, for eksempel med tanke på kjøretøytyper, tidsintervaller, feltbruk og svingbevegelser?	Ja
Er trafikkgrunlaget entydig og konsistent?	Ja

### Reisetids- og køregistreringer:

Hvilke kilder er benyttet? (Manuelle målinger eller eksterne kilder)	Manuelle målinger av reisetid på ett strekk
Hvilke datoer og tidsrom gjelder målingene for, og er de representative for situasjonen som skal simuleres?	Basismåling 09.05.21, Måling med forsinkelse 21.11.20
Fanger målingene opp variasjonen i reisetid og kø?	Til en viss grad

### Signalplaner:

Er signalplanene oppdatert og tilstrekkelig dokumentert?	Ikke relevant, ingen signalanlegg i området
Finnes det signalplaner for hele simuleringsperioden?	Ikke relevant

### Kollektivdata:

Er kollektivtraséene entydig dokumentert?	Ja
Er rutetabellene oppdatert og oppgitt for hele simuleringsperioden?	Ja
Er det klart hvilke stoppesteder som skal benyttes?	Ja

### Annet:

Finnes det tilstrekkelig dokumentasjon av eventuelle ITS-tiltak, bomstasjoner og trafikkreguleringstiltak?	Ikke relevant
--	---------------

## Nettverk og trafikkregulering

### Lenker:

Er lenkene kodet med riktig vegtype?	Ja
Har lenkene korrekt antall felt?	Ja

Er alle kollektivfelt kodet?	Ja
Er fartsgrenser kodet korrekt?	Ja
Er ev. envegskjøringer, gjennomkjøringsforbud etc. kodet riktig?	Ja
Skal gangfelt kodes inn, og er de aktuelle gangfeltene kodet inn på riktig måte?	Ja
Er det aktuelt å bruke høydedata? Er tuneller og bruer sjekket slik at disse har faktisk høyde i stedet for terrenghøyde?	Nei

### Noder:

Har noder korrekte svingebevegelser og feltbruk?	Ja
Er geometrien riktig?	Ja
Er stopplinjer kodet på riktig sted?	Ja
Er høyreregel, vikeplikt og stoppskilt kodet riktig?	Ja
Er Yellow box benyttet på viktige steder med tanke på trafikkavvikling og stabilitet?	Ja

### Signalplaner:

Er omløpstider og grønntider kodet i henhold til grunnlag?	Ikke relevant
Er kjøretøystyring og detektorer kodet riktig?	Ikke relevant
Er innholdet i Master control plan kontrollert?	Ikke relevant

### Kollektiv:

Er kollektivtraseene til rutene kodet riktig?	Ja
Er det kodet riktig frekvens for alle ruter	Ja
Er holdeplasser og stopptider i henhold til grunnlag?	Ja
Er innholdet i Public Transport Plan per scenario kontrollert?	Ja

### Annet:

Er eventuelle traffic management actions riktige?	Ikke relevant
Er eventuelle attribute overrides riktige?	Ikke relevant
Er eventuelle Geometric Configurations lagt til i riktig scenario?	Ikke relevant

## Sentroider, sentroidetilknøyninger og trafikketterspørsel

Har sentroidene korrekt navn og ID, slik at matrisene blir lagt inn på riktig måte?	Ja
Er eventuell splitting av sentroider korrekt utført?	Ja
Er konfigurasjon av sentroidetilknøyninger riktig utført (antall, tilknytning til nettverket, fordeling av trafikkandel)?	Ja

## Sjekkliste kontroll

### Trinn 1- Oppstart

Hva er modellens geografiske avgrensning?	Fire kryss på Tiller i Trondheim
Skal modellen etableres som meso-, mikro- eller hybrid? Hvilke områder skal ha hvilken modelltype?	Bare Mikronivå
Hva er modellens formål og tidshorisont?	Formålet er å få sammenlignbare resultater for to fotgjengermodeller, modellen skal kunne gjenskape forholdene på en lørdag formiddag
Sørg for innhenting av nødvendig grunnlagsdata	Utført
Hvilke kjøretøytyper skal brukes i modellen? Hvilken inndeling er nødvendig for å svare på oppgaven?	Personbill, buss og fotgjenger
Kjente flaskehals eller områder med avviklingsproblemer identifiseres i samarbeid med oppdragsgiver	Områdene rundt overgangsfeltene på østsiden av terminalen, og rundkjøringen ved E6
<b>Punktene over er utførte og avklarte med oppdragsgiver og gjennomgått med sparringspartner.</b>	

### Trinn 2 - Verifisering

Koding av nettverk etc. er kvalitetssikret (se egen sjekkliste for verifisering)	Utført
<b>Nettverk, fartsgrenser, kollektivruter, etc. er godkjent av oppdragsgiver.</b>	

### Trinn 3 - Kalibrering

Er globale parametere endret utover malen dokumentert?	
Er lokale parametere endret utover malen dokumentert?	
Reaksjonstid er kodet i henhold til anbefalte verdier	Ja
Rushtidsprofil virker fornuftig	Ikke relevant
Virker turlengdefordeling virker fornuftig før og etter kalibrering?	Ja
Presentasjon av fartsgrenser i modellen	
Presentasjon av ev. bompenger	
<b>Sparringspartner har kontrollert valg av inputparametere, rushtidsprofil og turlengde.</b>	

### Trinn 4 - Validering

Krav til GEH-verdier er tilfredsstillt	100% av GEH<5 for alle tellepunkter for bil 87% GEH<5 for fotgjengertellingene, 95% for totaletterspørselen
Krav til korrelasjonskoeffisient er tilfredsstillt	$R^2 = 0,96$ for Fotgjengere, $0,96$ for kjøretøy
Reisetider er innenfor variasjonsområdet og følger riktig kurve	Ikke relevant
Køer oppstår på riktig tid, sted og i riktig omfang	Ja
Modellen reagerer fornuftig på endringer	Ja
<b>Sparringspartner har sjekket krav listet opp.</b>	
<b>Kalibrert bosismodell er godkjent av oppdragsgiver</b>	

### Trinn 5 – Fremtidsscenarier

Aktuelle fremtidsscenarier er definerte i samarbeid med oppdragsgiver.	
Koding av fremtidsscenarier kvalitetssikres (se egen liste for verifisering)	
Er det behov for endringer i soner og sonetilknøyninger med tanke på framtidig arealbruk	
Er alle framtidige vedtatte planer avklart?	

## Trinn 6 - Verifisering av fremtidsscenarioer

Leverandør sammen med sparringspartner har sammen vurdert at modellen gir gode og troverdige svar.

Nettverk, fartsgrenser, kollektivruter, etc. er godkjent av oppdragsgiver.

## Avslutning av oppdrag

Modellen er lastet opp på eRoom for Dynamiske tra ftkkmodeller

## **Vedlegg B**

# **Detaljerte trafikktegninger**

**B.1 21.11.20**

**E6 Sør - Vest1**

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Til Sør	Til Vest	Til Nord	Til Øst	Buss øst	Buss nord
14:10:00	14:15:00	0	10	11	11	0	0
14:15:00	14:20:00	0	17	26	11	0	0
14:20:00	14:25:00	0	18	24	8	0	0
14:25:00	14:30:00	0	12	20	11	0	0
14:30:00	14:35:00	0	14	16	9	0	0
14:35:00	14:40:00	0	13	22	13	0	0
14:40:00	14:45:00	0	17	28	7	1	1
14:45:00	14:50:00	0	7	19	8	0	0
14:50:00	14:55:00	0	13	14	6	0	1
14:55:00	15:00:00	0	11	14	12	0	0
15:00:00	15:05:00	0	10	20	16	1	0
15:05:00	15:10:00	0	17	20	14	0	0
<b>Totalt</b>		0	159	234	126	2	2

**E6 Vest - Vest2**

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Til Sør	Til Vest	Til Nord	Til Øst	Buss øst
14:10:00	14:15:00	0	0	23	29	1
14:15:00	14:20:00	0	0	8	34	2
14:20:00	14:25:00	0	0	18	27	1
14:25:00	14:30:00	0	0	27	31	0
14:30:00	14:35:00	0	0	12	29	1
14:35:00	14:40:00	0	0	10	24	0
14:40:00	14:45:00	0	0	26	34	2
14:45:00	14:50:00	0	0	7	21	1
14:50:00	14:55:00	0	0	21	26	1
14:55:00	15:00:00	0	0	21	26	2
15:00:00	15:05:00	0	0	17	23	0
15:05:00	15:10:00	0	0	11	21	0
<b>Totalt</b>		0	0	201	325	11

**E6 Nord - Vest3**

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Til Sør	Til Vest	Til Nord	Til Øst
14:10:00	14:15:00	0	10	0	7
14:15:00	14:20:00	0	11	0	14
14:20:00	14:25:00	0	12	0	4
14:25:00	14:30:00	0	11	0	8
14:30:00	14:35:00	0	8	0	3
14:35:00	14:40:00	0	20	0	5
14:40:00	14:45:00	0	21	0	6
14:45:00	14:50:00	0	15	0	5
14:50:00	14:55:00	0	14	0	4
14:55:00	15:00:00	0	12	0	11
15:00:00	15:05:00	0	8	0	3
15:05:00	15:10:00	0	14	0	7
<b>Totalt</b>		0	156	0	77

**AKPV Øst - Vest4**

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Til Sør	Til Vest	Til Nord	Til Øst	Buss Vest
14:10:00	14:15:00	0	20	13	15	0
14:15:00	14:20:00	0	21	14	18	0
14:20:00	14:25:00	0	18	10	14	0
14:25:00	14:30:00	0	9	8	26	1
14:30:00	14:35:00	0	16	12	12	1
14:35:00	14:40:00	0	16	11	13	1
14:40:00	14:45:00	0	11	8	9	2
14:45:00	14:50:00	0	13	7	10	0
14:50:00	14:55:00	0	11	14	10	1
14:55:00	15:00:00	0	18	9	19	0
15:00:00	15:05:00	0	14	9	17	2
15:05:00	15:10:00	0	15	12	13	0
<b>Totalt</b>		0	182	127	176	8

**Fotgjengere - VestF**

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	E6 Sør Ø->V	E6 Sør V->Ø	AKPV S->B	AKPV B->S	AKPV B->N	AKPV N->B	E6 Nord Ø->V	E6Nord V->Ø
14:10:00	14:15:00	1	0	0	1	0	0	1	0
14:15:00	14:20:00	1	0	0	0	0	0	0	1
14:20:00	14:25:00	2	0	0	0	0	1	2	0
14:25:00	14:30:00	1	0	0	1	0	0	0	1
14:30:00	14:35:00	0	2	0	0	0	0	0	3
14:35:00	14:40:00	1	4	1	0	1	0	2	1
14:40:00	14:45:00	0	0	0	1	0	1	0	0
14:45:00	14:50:00	0	2	1	0	0	0	1	1

14:50:00	14:55:00	3	2	0	0	0	0	0	0
14:55:00	15:00:00	2	0	0	0	0	0	0	1
15:00:00	15:05:00	0	0	0	0	1	0	1	1
15:05:00	15:10:00	0	1	0	0	0	0	1	1
<b>Totalt</b>		11	11	2	3	2	2	8	10

### ILV Sør - Midt1

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Til Sør	Til Vest	Til Nord	Til Øst
14:10:00	14:15:00	0	0	0	21
14:15:00	14:20:00	0	0	0	22
14:20:00	14:25:00	0	0	0	21
14:25:00	14:30:00	0	0	0	16
14:30:00	14:35:00	0	0	0	11
14:35:00	14:40:00	0	0	0	15
14:40:00	14:45:00	0	0	0	19
14:45:00	14:50:00	0	0	0	19
14:50:00	14:55:00	0	0	0	23
14:55:00	15:00:00	0	0	0	10
15:00:00	15:05:00	0	0	0	17
15:05:00	15:10:00	0	0	0	18
<b>Totalt</b>		0	0	0	212

### AKPV Vest - Midt2

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Til Sør	Til Vest	Til Nord	Til Øst	Buss øst
14:10:00	14:15:00	49	0	0	16	0
14:15:00	14:20:00	49	0	0	12	1
14:20:00	14:25:00	44	0	0	13	3
14:25:00	14:30:00	45	0	0	26	0
14:30:00	14:35:00	42	0	0	14	2
14:35:00	14:40:00	48	0	0	14	1
14:40:00	14:45:00	47	0	0	17	1
14:45:00	14:50:00	40	0	0	16	1
14:50:00	14:55:00	47	0	0	14	2
14:55:00	15:00:00	48	0	0	15	1
15:00:00	15:05:00	44	0	0	17	2
15:05:00	15:10:00	46	0	0	13	0
<b>Totalt</b>		549	0	0	187	14

### City Syd Nord - Midt3

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Til Sør	Til Vest	Til Nord	Til Øst
14:10:00	14:15:00	0	37	0	0
14:15:00	14:20:00	0	38	0	0
14:20:00	14:25:00	0	25	0	0
14:25:00	14:30:00	0	44	0	0
14:30:00	14:35:00	0	35	0	0
14:35:00	14:40:00	0	31	0	0
14:40:00	14:45:00	0	31	0	0
14:45:00	14:50:00	0	40	0	0
14:50:00	14:55:00	0	38	0	0
14:55:00	15:00:00	0	31	0	0
15:00:00	15:05:00	0	28	0	0
15:05:00	15:10:00	0	31	0	0
<b>Totalt</b>		0	409	0	0

### AKPV Øst - Midt4

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Til Sør	Til Vest	Til Nord	Til Øst	Buss vest
14:10:00	14:15:00	0	13	33	0	2
14:15:00	14:20:00	0	11	52	0	1
14:20:00	14:25:00	0	11	42	0	1
14:25:00	14:30:00	0	11	48	0	0
14:30:00	14:35:00	0	13	43	0	1
14:35:00	14:40:00	0	8	49	0	3
14:40:00	14:45:00	0	16	45	0	1
14:45:00	14:50:00	0	12	35	0	1
14:50:00	14:55:00	0	11	37	0	1
14:55:00	15:00:00	0	16	46	0	0
15:00:00	15:05:00	0	14	34	0	2
15:05:00	15:10:00	0	8	39	0	2
<b>Totalt</b>		0	144	503	0	15

### Fotgjengere - MidtF

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	ILV Ø->V	ILV V->Ø	AKPV N->B	AKPV B->N	AKPV B->S	AKPV S->B	CS Ø->V	CS V->Ø	UfAKPV SN	Uf AKPV NS
14:10:00	14:15:00	0	2	11	14	4	23	0	0	1	1
14:15:00	14:20:00	1	0	13	7	13	10	0	0	0	0



14:20:00	14:25:00	0	8	15	9	14	11	2	0	0	1
14:25:00	14:30:00	0	9	16	4	14	7	1	0	0	0
14:30:00	14:35:00	3	1	7	17	13	14	0	0	0	1
14:35:00	14:40:00	4	3	13	8	10	11	2	0	0	0
14:40:00	14:45:00	4	1	11	16	13	14	0	0	0	0
14:45:00	14:50:00	10	1	18	14	17	15	1	0	0	5
14:50:00	14:55:00	3	5	8	14	10	17	0	0	0	0
14:55:00	15:00:00	1	5	10	10	14	15	1	0	0	0
15:00:00	15:05:00	0	5	15	12	21	4	1	0	0	0
15:05:00	15:10:00	5	2	9	14	6	17	0	0	9	0
<b>Totalt</b>		<b>31</b>	<b>42</b>	<b>146</b>	<b>139</b>	<b>149</b>	<b>158</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>8</b>

### Østre Rosten Sør - Øst1

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Til Sør	Til Vest	Til Nord	Til Øst	Buss Vest
14:10:00	14:15:00	0	11	33	2	0
14:15:00	14:20:00	0	16	29	3	1
14:20:00	14:25:00	0	11	31	1	0
14:25:00	14:30:00	0	13	26	1	0
14:30:00	14:35:00	0	8	43	2	0
14:35:00	14:40:00	0	19	45	1	1
14:40:00	14:45:00	0	6	43	3	0
14:45:00	14:50:00	0	13	39	5	0
14:50:00	14:55:00	1	13	37	3	0
14:55:00	15:00:00	0	20	33	2	0
15:00:00	15:05:00	0	14	29	3	1
15:05:00	15:10:00	0	10	33	0	0
<b>Totalt</b>		<b>1</b>	<b>154</b>	<b>421</b>	<b>26</b>	<b>3</b>

### AKPV Vest - Øst2

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Til Sør	Til Vest	Til Nord	Til Øst	Buss Sør	Buss Nord	Buss Vest
14:10:00	14:15:00	7	12	23	4	0	0	0
14:15:00	14:20:00	7	13	23	2	0	1	0
14:20:00	14:25:00	4	11	21	1	1	2	0
14:25:00	14:30:00	9	15	20	3	0	0	0
14:30:00	14:35:00	9	6	15	4	0	1	0
14:35:00	14:40:00	5	12	13	0	0	1	1
14:40:00	14:45:00	4	17	15	2	1	0	3
14:45:00	14:50:00	5	16	18	1	0	1	0
14:50:00	14:55:00	4	19	16	4	0	2	0
14:55:00	15:00:00	3	9	15	2	0	1	0
15:00:00	15:05:00	7	14	22	2	1	0	1
15:05:00	15:10:00	3	14	18	0	0	0	0
<b>Totalt</b>		<b>67</b>	<b>158</b>	<b>219</b>	<b>25</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>5</b>

### Østre Rosten Nord - Ø3

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Til Sør	Til Vest	Til Nord	Til Øst	Buss Vest
14:10:00	14:15:00	37	26	0	1	2
14:15:00	14:20:00	40	31	0	0	0
14:20:00	14:25:00	47	38	0	2	1
14:25:00	14:30:00	39	23	0	0	1
14:30:00	14:35:00	61	38	0	1	0
14:35:00	14:40:00	28	27	0	1	1
14:40:00	14:45:00	37	36	0	1	1
14:45:00	14:50:00	37	17	0	2	1
14:50:00	14:55:00	36	19	0	1	1
14:55:00	15:00:00	40	27	0	4	0
15:00:00	15:05:00	40	23	0	3	1
15:05:00	15:10:00	37	26	0	0	1
<b>Totalt</b>		<b>479</b>	<b>331</b>	<b>0</b>	<b>16</b>	<b>10</b>

### Rostenhallen - Øst4

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Til Sør	Til Vest	Til Nord	Til Øst
14:10:00	14:15:00	6	0	2	0
14:15:00	14:20:00	3	2	2	0
14:20:00	14:25:00	6	3	4	0
14:25:00	14:30:00	2	0	4	0
14:30:00	14:35:00	0	1	4	0
14:35:00	14:40:00	2	1	2	0
14:40:00	14:45:00	8	2	5	0
14:45:00	14:50:00	3	5	3	0
14:50:00	14:55:00	1	0	0	0
14:55:00	15:00:00	2	1	4	0
15:00:00	15:05:00	3	3	8	0
15:05:00	15:10:00	6	0	1	0

<b>Totalt</b>	42	18	39	0
---------------	----	----	----	---

<b>Fotgjengere - ØstF</b>					
<b>Starttidspunkt</b>	<b>Sluttidspunkt</b>	<b>AKPV S-&gt;N</b>	<b>AKPV N-&gt;S</b>	<b>ØR V-&gt;Ø</b>	<b>ØR Ø-&gt;V</b>
14:10:00	14:15:00	0	0	0	3
14:15:00	14:20:00	2	0	3	1
14:20:00	14:25:00	4	0	0	0
14:25:00	14:30:00	1	3	0	0
14:30:00	14:35:00	3	1	1	4
14:35:00	14:40:00	2	0	1	7
14:40:00	14:45:00	0	5	1	0
14:45:00	14:50:00	1	0	1	5
14:50:00	14:55:00	2	2	0	1
14:55:00	15:00:00	3	2	4	0
15:00:00	15:05:00	1	2	1	3
15:05:00	15:10:00	2	3	0	1
<b>Totalt</b>					

**B.2 28.11.20**

**E6 Sør - Vest1**

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Til Sør	Til Vest	Til Nord	Til Øst	Buss øst	Buss nord
13:05:00	13:10:00	0	15	30	12	0	0
13:10:00	13:15:00	0	12	20	11	0	0
13:15:00	13:20:00	0	12	17	11	0	0
13:20:00	13:25:00	0	8	19	6	0	0
13:25:00	13:30:00	0	16	24	12	0	0
13:30:00	13:35:00	0	14	29	13	1	0
13:35:00	13:40:00	0	16	23	6	1	0
13:40:00	13:45:00	0	9	22	7	0	0
13:45:00	13:50:00	0	10	15	4	0	0
13:50:00	13:55:00	0	14	32	15	0	0
13:55:00	14:00:00	0	13	31	13	0	0
14:00:00	14:05:00	0	11	20	7	1	0
<b>Totalt</b>		0	150	282	117	3	0

**E6 Vest - Vest2**

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Til Sør	Til Vest	Til Nord	Til Øst	Buss øst	Buss nord
13:05:00	13:10:00	0	0	18	30	1	
13:10:00	13:15:00	0	0	9	30	0	
13:15:00	13:20:00	0	0	17	26	0	
13:20:00	13:25:00	0	0	18	32	3	
13:25:00	13:30:00	0	0	25	27	1	
13:30:00	13:35:00	0	0	10	33	0	
13:35:00	13:40:00	0	0	12	33	1	
13:40:00	13:45:00	0	0	16	34	1	
13:45:00	13:50:00	0	0	10	26	2	
13:50:00	13:55:00	0	0	17	31	0	
13:55:00	14:00:00	0	0	17	31	2	
14:00:00	14:05:00	0	0	24	35	0	
<b>Totalt</b>		0	0	193	368	11	

**E6 Nord - Vest3**

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Til Sør	Til Vest	Til Nord	Til Øst
13:05:00	13:10:00	0	13	0	8
13:10:00	13:15:00	0	8	0	8
13:15:00	13:20:00	0	13	0	4
13:20:00	13:25:00	0	12	0	8
13:25:00	13:30:00	0	12	0	6
13:30:00	13:35:00	0	15	0	3
13:35:00	13:40:00	0	9	0	6
13:40:00	13:45:00	0	8	0	7
13:45:00	13:50:00	0	10	0	5
13:50:00	13:55:00	0	12	0	5
13:55:00	14:00:00	0	4	0	8
14:00:00	14:05:00	0	8	0	5
<b>Totalt</b>		0	124	0	73

**AKPV Øst - Vest4**

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Til Sør	Til Vest	Til Nord	Til Øst	Buss Vest	Buss nord
13:05:00	13:10:00	0	14	8	8	1	
13:10:00	13:15:00	0	21	14	18	1	
13:15:00	13:20:00	0	17	18	22	2	
13:20:00	13:25:00	0	10	7	16	1	
13:25:00	13:30:00	0	13	14	11	1	
13:30:00	13:35:00	0	15	7	12	2	
13:35:00	13:40:00	0	17	9	22	0	
13:40:00	13:45:00	0	15	9	14	1	
13:45:00	13:50:00	0	24	12	17	3	
13:50:00	13:55:00	0	21	7	10	1	
13:55:00	14:00:00	0	13	11	18	0	
14:00:00	14:05:00	0	19	8	12	1	
<b>Totalt</b>		0	199	124	180	14	

**Fotgjengere - VestF**

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	E6 Sør Ø->V	E6 Sør V->Ø	AKPV S->B	AKPV B->S	AKPV B->N	AKPV N->B	E6 Nord Ø->V	E6Nord V->Ø
13:05:00	13:10:00	2	2	0	3	0	3	0	2
13:10:00	13:15:00	3	0	1	0	0	0	0	0
13:15:00	13:20:00	2	1	0	0	0	0	0	0
13:20:00	13:25:00	3	0	0	0	0	1	0	1
13:25:00	13:30:00	1	1	0	0	0	1	0	1
13:30:00	13:35:00	0	0	0	0	0	1	0	3
13:35:00	13:40:00	0	1	0	0	0	0	6	2
13:40:00	13:45:00	0	2	0	0	1	0	2	0

13:45:00	13:50:00	3	1	0	0	0	0	2	0
13:50:00	13:55:00	1	2	0	2	1	2	1	3
13:55:00	14:00:00	4	4	2	0	2	0	1	0
14:00:00	14:05:00	1	3	0	0	0	0	1	2
<b>Totalt</b>		20	17	3	5	4	8	13	14

### ILV Sør - Vest1

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Til Sør	Til Vest	Til Nord	Til Øst	Buss øst
13:05:00	13:10:00	0	0	0	13	
13:10:00	13:15:00	0	0	0	15	
13:15:00	13:20:00	0	0	0	20	
13:20:00	13:25:00	0	0	0	11	
13:25:00	13:30:00	0	0	0	22	
13:30:00	13:35:00	0	0	0	15	
13:35:00	13:40:00	0	0	0	13	
13:40:00	13:45:00	0	0	0	22	
13:45:00	13:50:00	0	0	0	21	
13:50:00	13:55:00	0	0	0	12	
13:55:00	14:00:00	0	0	0	20	
14:00:00	14:05:00	0	0	0	19	
<b>Totalt</b>		0	0	0	203	

### AKPV Vest - Vest2

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Til Sør	Til Vest	Til Nord	Til Øst	Buss Vest	Buss nord
13:05:00	13:10:00	48	0	0	13	2	
13:10:00	13:15:00	45	0	0	15	0	
13:15:00	13:20:00	57	0	0	11	0	
13:20:00	13:25:00	52	0	0	14	3	
13:25:00	13:30:00	49	0	0	11	1	
13:30:00	13:35:00	47	0	0	15	1	
13:35:00	13:40:00	52	0	0	11	2	
13:40:00	13:45:00	51	0	0	15	1	
13:45:00	13:50:00	38	0	0	11	0	
13:50:00	13:55:00	50	0	0	18	2	
13:55:00	14:00:00	52	0	0	12	1	
14:00:00	14:05:00	49	0	0	10	2	
<b>Totalt</b>		590	0	0	156	15	

### City Syd Nord - Vest3

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Til Sør	Til Vest	Til Nord	Til Øst	Buss nord
13:05:00	13:10:00	0	30	0	0	
13:10:00	13:15:00	0	35	0	0	
13:15:00	13:20:00	0	35	0	0	
13:20:00	13:25:00	0	26	0	0	
13:25:00	13:30:00	0	29	0	0	
13:30:00	13:35:00	0	26	0	0	
13:35:00	13:40:00	0	30	0	0	
13:40:00	13:45:00	0	35	0	0	
13:45:00	13:50:00	0	35	0	0	
13:50:00	13:55:00	0	35	0	0	
13:55:00	14:00:00	0	26	0	0	
14:00:00	14:05:00	0	30	0	0	
<b>Totalt</b>		0	372	0	0	

### AKPV Øst - Vest4

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Til Sør	Til Vest	Til Nord	Til Øst	Buss vest
13:05:00	13:10:00	0	8	53	0	1
13:10:00	13:15:00	0	13	34	0	1
13:15:00	13:20:00	0	20	44	0	2
13:20:00	13:25:00	0	9	33	0	1
13:25:00	13:30:00	0	9	41	0	0
13:30:00	13:35:00	0	14	53	0	3
13:35:00	13:40:00	0	10	50	0	1
13:40:00	13:45:00	0	13	42	0	2
13:45:00	13:50:00	0	15	42	0	0
13:50:00	13:55:00	0	8	44	0	1
13:55:00	14:00:00	0	10	36	0	0
14:00:00	14:05:00	0	13	52	0	2
<b>Totalt</b>		0	142	524	0	14

### Fotgjengere - MidtF

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	ILV Ø->V	ILV V->Ø	AKPV N->B	AKPV B->N	AKPV B->S	AKPV S->B	CS Ø->V	CS V->Ø	UfAKPV SN	Uf AKPV NS
13:05:00	13:10:00	6	0	21	9	18	17	4	1	2	1
13:10:00	13:15:00	5	1	23	17	19	12	4	1	2	1

13:15:00	13:20:00	3	5	15	10	14	9	0	0	2	1
13:20:00	13:25:00	7	1	19	7	17	10	3	2	0	3
13:25:00	13:30:00	6	0	19	14	23	9	0	4	0	0
13:30:00	13:35:00	4	6	22	11	13	12	0	1	1	3
13:35:00	13:40:00	4	4	10	24	11	33	0	3	1	0
13:40:00	13:45:00	3	5	14	14	20	17	0	1	1	0
13:45:00	13:50:00	4	7	34	20	25	15	0	1	0	0
13:50:00	13:55:00	8	2	15	12	14	11	1	0	0	0
13:55:00	14:00:00	6	4	9	13	11	11	0	0	0	2
14:00:00	14:05:00	3	4	17	19	9	12	1	1	0	0
<b>Totalt</b>		<b>59</b>	<b>39</b>	<b>218</b>	<b>170</b>	<b>194</b>	<b>168</b>	<b>13</b>	<b>15</b>	<b>9</b>	<b>11</b>

### Østre Rosten Sør - Øst1

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Til Sør	Til Vest	Til Nord	Til Øst	Buss Vest	Buss Nord
13:05:00	13:10:00	0	9	19	3	0	
13:10:00	13:15:00	0	16	36	3	0	
13:15:00	13:20:00	0	17	29	1	1	
13:20:00	13:25:00	0	11	39	2	0	
13:25:00	13:30:00	0	13	30	0	0	
13:30:00	13:35:00	0	20	38	1	0	
13:35:00	13:40:00	0	14	42	5	0	
13:40:00	13:45:00	0	9	32	0	1	
13:45:00	13:50:00	0	18	35	3	0	
13:50:00	13:55:00	0	11	35	2	0	
13:55:00	14:00:00	0	6	23	1	0	
14:00:00	14:05:00	0	6	19	3	1	
<b>Totalt</b>		<b>0</b>	<b>150</b>	<b>377</b>	<b>24</b>	<b>3</b>	

### AKPV Vest - Øst2

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Til Sør	Til Vest	Til Nord	Til Øst	Buss øst	Buss Nord	Buss Vest
13:05:00	13:10:00	7	12	23	4	0	1	0
13:10:00	13:15:00	2	12	21	2	0	1	0
13:15:00	13:20:00	4	12	18	1	0	2	0
13:20:00	13:25:00	5	9	18	4	0	0	0
13:25:00	13:30:00	6	14	20	3	0	0	0
13:30:00	13:35:00	5	11	20	3	0	1	0
13:35:00	13:40:00	3	15	17	0	2	0	3
13:40:00	13:45:00	4	12	17	0	0	1	0
13:45:00	13:50:00	4	16	15	2	0	1	0
13:50:00	13:55:00	3	9	14	0	0	1	0
13:55:00	14:00:00	3	13	22	2	1	0	1
14:00:00	14:05:00	7	14	17	0	0	1	1
<b>Totalt</b>		<b>53</b>	<b>149</b>	<b>222</b>	<b>21</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>5</b>

### Østre Rosten Nord - Øst

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Til Sør	Til Vest	Til Nord	Til Øst	
13:05:00	13:10:00	43	36	0	2	1
13:10:00	13:15:00	26	26	0	1	0
13:15:00	13:20:00	33	35	0	1	1
13:20:00	13:25:00	36	21	0	0	1
13:25:00	13:30:00	36	26	0	4	0
13:30:00	13:35:00	36	16	0	2	1
13:35:00	13:40:00	47	35	0	1	0
13:40:00	13:45:00	36	26	0	1	2
13:45:00	13:50:00	35	20	0	1	1
13:50:00	13:55:00	41	23	0	4	1
13:55:00	14:00:00	37	26	0	0	1
14:00:00	14:05:00	40	31	0	0	0
<b>Totalt</b>		<b>446</b>	<b>321</b>	<b>0</b>	<b>17</b>	<b>9</b>

### Rostenhallen - Øst4

Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Til Sør	Til Vest	Til Nord	Til Øst
13:05:00	13:10:00	2	1	2	0
13:10:00	13:15:00	3	1	2	0
13:15:00	13:20:00	3	1	3	0
13:20:00	13:25:00	3	4	5	0
13:25:00	13:30:00	2	0	2	0
13:30:00	13:35:00	4	3	6	0
13:35:00	13:40:00	3	2	2	0
13:40:00	13:45:00	1	2	3	0
13:45:00	13:50:00	2	1	4	0
13:50:00	13:55:00	6	0	1	0
13:55:00	14:00:00	4	0	1	0
14:00:00	14:05:00	4	3	3	0

<b>Totalt</b>	37	18	34	0
---------------	----	----	----	---

<b>Fotgjengere - ØstF</b>					
Starttidspunkt	Sluttidspunkt	AKPV S->N	AKPV N->S	ØR V->Ø	ØR Ø->V
13:05:00	13:10:00	3	1	0	0
13:10:00	13:15:00	0	0	0	3
13:15:00	13:20:00	3	0	1	0
13:20:00	13:25:00	0	0	0	0
13:25:00	13:30:00	0	1	1	0
13:30:00	13:35:00	2	0	1	3
13:35:00	13:40:00	1	4	1	0
13:40:00	13:45:00	0	1	1	2
13:45:00	13:50:00	2	0	0	1
13:50:00	13:55:00	0	0	0	1
13:55:00	14:00:00	1	3	0	1
14:00:00	14:05:00	1	0	1	2
<b>Totalt</b>					