

Hedda Hofstad Hojem

## Forbud mot venstresving i Haakon VII's gate

Konsekvenser for fotgjengere, personbiler og kollektivtransport ved simulering i Aimsun Next 22

Masteroppgave i Veg, jernbane og transport

Veileder: Arvid Aakre

Oktober 2023



Hedda Hofstad Hojem

# **Forbud mot venstresving i Haakon VII's gate**

Konsekvenser for fotgjengere, personbiler og kollektivtransport ved simulering i Aimsun Next 22

Masteroppgave i Veg, jernbane og transport  
Veileder: Arvid Aakre  
Oktober 2023

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



Kunnskap for en bedre verden



# Sammendrag

Hvordan vil en alternativ form for trafikkregulering langs deler av Haakon VII's gate påvirke reisetid for fotgjengere, personbiler og kollektivtransport? I tillegg, hvordan vil forbruk av drivstoff og utslipp fra personbiler være forskjellig mellom dagens og denne alternative løsningen?

Ved simulering av både dagens og alternativ løsning i trafikksimuleringsprogrammet Aimsun Next 22, viser det seg at reisetid blir kortere for alle trafikanter (fotgjengere, personbiler og kollektivtransport) ved alternativ løsning. Dette går ikke på bekostning av økt forbruk av drivstoff, eller økt utslipp, fra personbiler.

Tidligere studier har vist at restriksjon av svingebevegelser, slik som forbud av venstresving i vegkryss, kan redusere reisetid for kollektivtransport. Til tross for at enkelte personbiler blir nødt til å kjøre omveg som følge av restriksjon av svingebevegelser, har tidligere studier vist at ulempen for disse kan oppveies av fordelene det medfører for personbiler som kjører rett frem.

I denne masteroppgaven simuleres trafikkavviklingen, både ved dagens og en alternativ løsning, i Aimsun, ved å bruke trafikkmengder og svingebevegelser fra videoregistrering av trafikk på den aktuelle strekningen. Den alternative løsningen består i å fjerne kollektivfelt, fjerne signalregulering fra alle de seks kryssene som har dette, innføre forkjørsrett langs hovedveg, vikeplikt for fotgjengere ved alle gangfelt, forbud mot venstresving på hovedveg og påbud om høyresving fra sidegater. I tillegg, byttes ett av kryssene med en rundkjøring for å fasilitere u-sving for trafikk som får forbud mot svingebevegelse.

Resultater fra simuleringene viser at total reisetid for fotgjengere, personbiler, metrobuss (linje 2), og busslinje 13/20, reduseres med 24%, 21%, 11%, 20% henholdsvis, når hele nettverket vurderes samlet. Til tross for at en del personbiler blir nødt til å kjøre omveg ved alternativ løsning, øker ikke totalt forbruk av drivstoff eller utslipp på nettverksnivå. Tur/retur på et utvalg av relevante reiser innenfor nettverket viser at reisetiden blir kortere for personbiler som kjører rett gjennom ett eller flere kryss før de svinger inn i en sidegate, mens reisetiden blir økt for personbiler som svinger inn i en sidegate ved første anledning, for begge kjøreretninger langs Haakon VII's gate.

Ettersom den studerte strekningen i hovedsak benyttes i forbindelse med handel ved to store kjøpesentre, ble trafikkregistrering foretatt på lørdag ettermiddag under en periode med mye trafikk. Det er derfor ikke sikkert at resultatene er overførbare til perioder med lavere aktivitet, slik som midt på dagen på hverdager.

Masteroppgaven viser at det kan være hensiktsmessig å vurdere alternative løsninger på nettverksnivå, fremfor å se på løsninger knyttet til enkelte kryss hver for seg. I tillegg viser den at kollektivfelt og aktiv bussprioritering i signalregulerte kryss ikke nødvendigvis medfører best avvikling av kollektivtransport.

# Abstract

How will an alternative form of traffic regulation across a segment of Haakon VII's gate affect travel time for pedestrians, passenger cars and public transport? In addition, how will fuel consumption and emission from passenger cars differ between the existing and this alternative solution?

By comparing simulations of both the existing and the alternative solution in Aimsun Next 22, a traffic simulation software, the alternative solution is associated with reduced travel times for all studied road users (pedestrians, passenger cars and public transport). This was not at the expense of increased fuel consumption or emissions from passenger cars.

Previous studies have shown that restriction of turning movements, such as left turn prohibition, is associated with reduced travel time for public transport. Even though some passenger cars are diverted from taking the shortest path, existing evidence suggests that this disadvantage can be outweighed by the advantage for passenger cars that are going straight.

In this master thesis, traffic flow is simulated for both the existing and the alternative solution in Aimsun, using traffic volumes and turning ratios from video registration of all traffic at the road segment under study. The alternative solution includes removal of all bus lanes, removal of traffic signals from all six intersections that are signalized, right of way along main road, obligation to give way at all pedestrian crossings, left turn prohibition at main road and mandatory right turn at driveways. In addition, one of the intersections is replaced with a roundabout to facilitate u-turn for traffic that are diverted due to restriction of turning movements.

Results from the simulations suggest that the total travel time for pedestrians, passenger cars, metrobus (line 2), and public transport line 13/20, is reduced by 24%, 21%, 11%, and 20% respectively, when the total network is considered. Even though a substantial portion of passenger cars are diverted from taking the shortest path, fuel consumption and emissions are comparable between the two solutions at the network level. For a selection of relevant roundtrips within the network, travel times are reduced for passenger cars that are going straight for at least one intersection before turning into a driveway, whereas travel times are increased for passenger cars that turn into a driveway at first opportunity, for both directions along Haakon VII's gate.

Since the road segment under study is primarily used for shopping, especially at two large shopping malls, traffic registration was performed at Saturday evening when traffic demand was high. It is therefore unclear whether results are representative for periods with less traffic, for example around noon at weekdays.

This master thesis illustrates the usefulness of a network approach to traffic regulation, as opposed to examining intersections separately. In addition, it demonstrates that bus lanes and active bus priority signals do not necessarily lead to the shortest travel time for public transport.

# Forord

I 2019 startet jeg med å ta fag ved Erfaringsbasert masterprogram Veg på Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) ved siden av jobben min som vegplanlegger. Det har vært en utfordrende, lærerik og gøy periode som har bidratt til å videreutvikle min kompetanse. Med bakgrunn som vegplanlegger har det vært ekstra spennende å lære mer om trafikkfaget og trafikkmodellering.

Masteroppgaven tilsvarer 30 studiepoeng. I januar 2022 ble masteroppgaven påstartet, men på grunn av svangerskap ble arbeidet utsatt til januar 2023. Jeg har hatt permisjon til april 2023. Det har vært krevende å kombinere baby, masteroppgave og jobb, det har dermed vært mye kvelds-, helge- og feriejobbing. Jeg er derfor ekstra stolt over resultatet av denne ferdigstilte masteroppgaven.

Jeg vil først takke mannen min Eirik som har stått på både på hjemmebane og bidratt med engasjement og gode råd. Etter ferdigstilling av denne masteroppgaven tror jeg ikke det finnes en lege i Norge som kan mer om trafikkplanlegging enn du.

Uten mamma Kjersti og pappa Martin hadde ikke denne masteroppgaven vært mulig. De har støttet opp i form av barnevakt, hushjelp og motiverende ord.

Arvid Aakre, veilederen min, hjalp meg med å finne problemstilling. Jeg vil takke for god støtte og veiledning.

I dag jobber jeg som vegplanlegger i AFRY, jeg vil takke for muligheten til å ta fag og skrive masteroppgave ved siden av jobben. Takk til sjefen min Kirsti som har vært fleksibel med tanke på arbeidstid, i tillegg til å bidra med entusiasme. Samt hele veggruppa som har vært oppmuntrende og støttende.

Takk til Aimsun som bidro programvare uten betaling.

Jeg vil også takke Trøndelag fylkeskommune ved Are Kullerud og Jonas Lund som har delt nyttig informasjon om gata.

Til slutt vil jeg takke alle mine videovakter som bidro til at jeg fikk gjennomført videoregistrering i 8 kryss i skikkelig trøndervær; Eirik, Martin, Anne Lise, Bernt, Tormod, Olav, Oddfrid, Per Odd og Vidar. I tillegg til mamma som barnevakt.

Trondheim, 15.10.2023

Hedda Hofstad Hojem





# Innhold

|   |      |
|---|------|
| Figurer .....   | xi   |
| Tabeller .....  | xiii |
| 1 Innledning .....  | 14   |
| 1.1 Bakgrunn for valg av oppgave .....  | 14   |
| 1.2 Problembeskrivelse.....   | 15   |
| 1.3 Avgrensninger .....   | 15   |
| 1.4 Oppgavens oppbygging .....  | 16   |
| 2 Studieområdet.....  | 17   |
| 2.1 Dagens løsning .....  | 17   |
| 2.1.1 Kommentar på fremkommeligheten til bussen av kollektivselskapet AtB ...                                     | 23   |
| 2.2 Utforming av kryssene .....   | 25   |
| 2.2.1 Kryss 1: FV6668 Haakon VII's gate x KV4150 Lade Alle x KV3235 Ingemann<br>Torps vei x FV6668 Lade Alle..... | 27   |
| 2.2.2 Kryss 2: FV6668 Haakon VII's gate x KV3125 Håkon Magnussons gate .....                                      | 28   |
| 2.2.3 Kryss 3: FV6668 Haakon VII's gate x KV3100 Haakon VII's gate.....   | 30   |
| 2.2.4 Kryss 4: FV6668 Haakon VII's gate x PV3100 Haakon VII's gate .....  | 32   |
| 2.2.5 Kryss 5: FV6668 Haakon VII's gate x PV3100 Haakon VII's gate x sidegate<br>(uten navn).....                 | 34   |
| 2.2.6 Kryss 6: FV6668 Haakon VII's gate x KV9397 Julianus Holms veg x KV3100<br>Haakon VII's gate .....           | 37   |
| 2.2.7 Kryss 7: FV6668 Haakon VII's gate x KV3100 Haakon VII's gate x PV96336<br>39                                |      |
| 2.2.8 Kryss 8: FV6668 Haakon VII's gate x FV6664 Jørgenvegen x KV4150 Lade<br>Alle 41                             |      |
| 2.3 Fremtidige løsninger .....  | 42   |
| 3 Teori .....   | 45   |
| 3.1 Miljø .....   | 45   |
| 3.2 Kollektiv.....  | 48   |
| 3.3 Trafikkavvikling.....   | 50   |
| 3.4 Trafikksikkerhet .....  | 52   |
| 3.5 Programvare.....  | 53   |
| 3.5.1 Aimsun Next 22 .....  | 53   |
| 4 Nytt konsept .....  | 61   |
| 4.1 Begrunnelse for valg av konsept .....   | 61   |
| 4.2 Beskrivelse av alternativ løsning .....   | 62   |
| 4.3 Prinsippskisse av forbud mot venstresving.....  | 65   |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 5     | Metode .....  | 66  |
| 5.1   | Litteratursøk.....                                    | 66  |
| 5.1.1 | Systematisk søk.....                                  | 66  |
| 5.1.2 | Usystematisk søk.....                                 | 70  |
| 5.2   | Datainnsamling .....                                  | 71  |
| 5.2.1 | Generelt.....   | 71  |
| 5.2.2 | Trafikkregistreringer .....                           | 71  |
| 5.3   | Bearbeidelse og analyse av innsamlet data.....        | 81  |
| 5.3.1 | Gjennomgang av video .....                            | 81  |
| 5.3.2 | Trafikkdata fra tellepunkt .....                      | 81  |
| 5.4   | Trafikkmodellering i Aimsun Next 22.....              | 85  |
| 5.4.1 | Utklipp av geometri ved dagens løsning .....          | 86  |
| 5.4.2 | Utklipp av geometri ved alternativ løsning .....      | 88  |
| 5.4.3 | Innstillinger for simulering av trafikk .....         | 92  |
| 5.4.4 | Beregning av antall replikasjoner .....               | 92  |
| 5.5   | Utfordringer.....                                     | 93  |
| 5.5.1 | Trafikkregistreringer .....                           | 93  |
| 5.5.2 | Modellering i Aimsun Next 22 .....                    | 93  |
| 6     | Resultater .....                                      | 95  |
| 6.1   | Videoregistreringer .....                             | 95  |
| 6.2   | Aimsun Next 22 .....                                  | 104 |
| 6.2.1 | Observasjoner under simulering av dagens løsning..... | 104 |
| 6.2.2 | Resultater hele nettverket .....                      | 105 |
| 6.2.3 | Resultater metrobuss (linje 2) .....                  | 107 |
| 6.2.4 | Resultater personbiler.....                           | 108 |
| 7     | Diskusjon.....  | 111 |
| 7.1   | Resultater fra Aimsun Next 22 .....                   | 111 |
| 7.1.1 | Reisetid for fotgjengere.....                         | 111 |
| 7.1.2 | Reisetid for personbiler .....                        | 111 |
| 7.1.3 | Reisetid for metrobuss .....                          | 111 |
| 7.1.4 | Reisetid for busslinje 13/20 .....                    | 112 |
| 7.1.5 | Forbruk av bensin for personbiler .....               | 112 |
| 7.1.6 | Utslipp fra personbiler.....                          | 112 |
| 7.2   | Validitet .....                                       | 113 |
| 7.2.1 | Intern validitet.....                                 | 113 |
| 7.2.1 | Ekstern validitet.....                                | 114 |
| 8     | Konklusjon og videre forskningsbehov .....            | 116 |

|     |                              |     |
|-----|------------------------------|-----|
| 8.1 | Konklusjon .....             | 116 |
| 8.2 | Videre forskningsbehov ..... | 117 |
|     | Referanser.....              | 118 |
|     | Vedlegg.....                 | 122 |

## Figurer

|          |   |    |
|----------|---|----|
| Figur 1  | Studieområdet vist med utklipp fra vegkart.no (Statens vegvesen, 2023c) .....                                       | 18 |
| Figur 2  | Oversiktsbilde over strekningen. Utklipp fra vegkart.no (Statens vegvesen, 2023c) .....                             | 19 |
| Figur 3  | Plassering av holdeplasser og kollektivfelt i sørøstgående retning. Utklipp fra entur.no (Entur, 2023) .....        | 20 |
| Figur 4  | Flyfoto over Lade flyplass 1951, Foto: Fjellanger Widerøe A/S .....   | 21 |
| Figur 5  | Oversikt over forsinkelse i snitt for holdeplassene, utklipp fra rapport (AtB, 2021) .....                          | 23 |
| Figur 6  | Oversikt over forsinkelse mellom Lade Idrettsanlegg til Haakon VII's gate 25, utklipp fra rapport (AtB, 2021) ..... | 24 |
| Figur 7  | Nummerering av kryssene. Utklipp fra norgeskart.no (Norgeskart, 2023) .....   | 25 |
| Figur 8  | Illustrasjon av gate med nummerering av kryssene .....  | 26 |
| Figur 9  | Geometri kryss 1 .....  | 27 |
| Figur 10 | Geometri kryss 2 .....  | 28 |
| Figur 11 | Signalplan kryss 2 .....  | 29 |
| Figur 12 | Geometri kryss 3 .....  | 30 |
| Figur 13 | Signalplan kryss 3 .....  | 31 |
| Figur 14 | Geometri kryss 4 .....  | 32 |
| Figur 15 | Signalplan kryss 4 .....  | 33 |
| Figur 16 | Geometri kryss 5 .....  | 34 |
| Figur 17 | Signalplan kryss 5 .....  | 36 |
| Figur 18 | Geometri kryss 6 .....  | 37 |
| Figur 19 | Signalplan kryss 6 .....  | 38 |
| Figur 20 | Geometri kryss 7 .....  | 39 |
| Figur 21 | Signalplan kryss 7 .....  | 40 |
| Figur 22 | Geometri kryss 8 .....  | 41 |
| Figur 23 | Utklipp fra reguleringsplan (Trondheim kommune, 2023) .....   | 44 |
| Figur 24 | Fremtidige kostnader ved ulike tiltak for en veg med kapasitetsutfordringer (Litman, 2023) .....                    | 46 |
| Figur 25 | Midtstilt kollektivfelt, (Statens vegvesen, 2023a) .....  | 49 |
| Figur 26 | Sidestilt kollektivfelt, (Statens vegvesen, 2023a) .....  | 49 |
| Figur 27 | Oversikt over virtuelt nettverk i studien til Hajbabaie et al. (2010) .....   | 50 |
| Figur 28 | Omveg for trafikk som for forbud mot svingebevegelse (Hajbabaie et al., 2010) .....                                 | 51 |
| Figur 29 | Konfliktpunkter ved vanlig X-kryss versus alternativ kryssløsning (Kay et al., 2022) .....                          | 52 |
| Figur 30 | Detaljnivå simulering (Aimsun, 2021) .....  | 53 |
| Figur 31 | Prioriteringspyramide (Trondheim kommune, 2020) .....   | 61 |
| Figur 32 | Svingebevegelser i X-kryss ved alternativ løsning .....   | 62 |
| Figur 33 | Svingebevegelser i T-kryss ved alternativ løsning .....   | 63 |

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| Figur 34 | Konseptskisse.....   | 63  |
| Figur 35 | Dagens løsning .....   | 65  |
| Figur 36 | Forbud mot venstresving .....  | 65  |
| Figur 37 | Systematisk litteratursøk .....  | 67  |
| Figur 38 | Boolske operatører.....  | 68  |
| Figur 39 | Flytskjema over inkluderte studier etter systematisk litteratursøk .....   | 70  |
| Figur 40 | Testing av kamera .....  | 72  |
| Figur 41 | Buss som blokkerer kamera .....  | 73  |
| Figur 42 | Kamerafester .....   | 74  |
| Figur 43 | Kryss 1 kameravinkel 1 .....   | 75  |
| Figur 44 | Kryss 1 kameravinkel 2 .....   | 75  |
| Figur 45 | Kryss 2 kameravinkel .....   | 76  |
| Figur 46 | Kryss 3 kameravinkel .....   | 76  |
| Figur 47 | Kryss 4 kameravinkel .....   | 76  |
| Figur 48 | Kryss 5 kameravinkel .....   | 77  |
| Figur 49 | Kryss 6 kameravinkel .....   | 77  |
| Figur 50 | Kryss 7 kameravinkel .....   | 78  |
| Figur 51 | Kryss 8 kameravinkel 1 .....   | 78  |
| Figur 52 | Kryss 8 kameravinkel 2 .....   | 79  |
| Figur 53 | Plassering av tellepunkt (Statens vegvesen, 2023b) .....   | 81  |
| Figur 54 | Timetrafikk lørdag 3. juni 2023 (Statens vegvesen, 2023b).....   | 82  |
| Figur 55 | Sammenligning mellom to datoer i tellepunktet (Statens vegvesen, 2023b) ....   | 83  |
| Figur 56 | Stolpediagram timetrafikk 14:00 - 15:00 for utvalgte datoer. Laget i Excel med tall fra trafikkdata.no (Statens vegvesen, 2023b) ..... | 84  |
| Figur 57 | Oversikt over nettverket som er brukt til simulering av dagens løsning .....   | 86  |
| Figur 58 | Oversikt over geometri i kryss 1-4 ved simulering av dagens løsning.....   | 87  |
| Figur 59 | Oversikt over geometri i kryss 5-8 ved simulering av dagens løsning.....   | 88  |
| Figur 60 | Oversikt over nettverket som er brukt til simulering av alternativ løsning.....  | 89  |
| Figur 61 | Oversikt over geometri i kryss 1-4 ved simulering av alternativ løsning .....  | 90  |
| Figur 62 | Oversikt over geometri i kryss 5-8 ved simulering av alternativ løsning .....  | 91  |
| Figur 63 | Feilmelding i Aimsun .....   | 93  |
| Figur 64 | Antall kjøretøy i kryss 1 .....  | 96  |
| Figur 65 | Antall kjøretøy i kryss 2 .....  | 97  |
| Figur 66 | Antall kjøretøy i kryss 3 .....  | 98  |
| Figur 67 | Antall kjøretøy i kryss 4 .....  | 99  |
| Figur 68 | Antall kjøretøy i kryss 5 .....  | 100 |
| Figur 69 | Antall kjøretøy i kryss 6 .....  | 101 |
| Figur 70 | Antall kjøretøy i kryss 7 .....  | 102 |
| Figur 71 | Antall kjøretøy i kryss 8 .....  | 103 |
| Figur 72 | Total reisetid for hele nettverket for ulike trafikanter .....   | 105 |
| Figur 73 | Prosentvis endring fra dagens løsning til alternativ løsning for hele nettverket .....   | 106 |
| Figur 74 | Utslipp og drivstofforbruk på nettverksnivå for personbiler .....  | 106 |
| Figur 75 | Reisetid (sek) for personbiler som kjører mellom kryss 1 og 8 .....  | 108 |
| Figur 76 | Reisetid på et utvalg av relevante reiser for dagens og alternativ løsning .....   | 109 |

# Tabeller

|  |     |
|--|-----|
| Tabell 1 Svingebevegelser signalanlegg kryss 2 .....   | 29  |
| Tabell 2 Svingebevegelser signalanlegg kryss 3 .....   | 31  |
| Tabell 3 Svingebevegelser signalanlegg kryss 4 .....   | 33  |
| Tabell 4 Svingebevegelser signalanlegg kryss 5 .....   | 35  |
| Tabell 5 Svingebevegelser signalanlegg kryss 6 .....   | 38  |
| Tabell 6 Svingebevegelser signalanlegg kryss 7 .....   | 40  |
| Tabell 7 Alternative løsninger utarbeidet av Trøndelag fylkeskommune oppsummert i tabell ..... | 43  |
| Tabell 8 Eksempler på aktiv og passiv signalregulering oppsummert i tabell .....               | 48  |
| Tabell 9 Estimering av utslipp i Aimsun (Aimsun, 2022a) .....                                  | 57  |
| Tabell 10 Antall fotgjengere i kryss 1 .....   | 96  |
| Tabell 11 Antall fotgjengere kryss 2 .....   | 97  |
| Tabell 12 Antall fotgjengere kryss 3 .....   | 98  |
| Tabell 13 Antall fotgjengere kryss 4 .....   | 99  |
| Tabell 14 Antall fotgjengere kryss 5 .....   | 100 |
| Tabell 15 Antall fotgjengere kryss 6 .....   | 101 |
| Tabell 16 Antall fotgjengere kryss 7 .....   | 102 |
| Tabell 17 Antall fotgjengere kryss 8 .....   | 103 |
| Tabell 18 Resultater for metrobuss .....   | 107 |

# 1 Innledning

Dette kapittelet gir en introduksjon til oppgaven. Først beskrives bakgrunnen for oppgaven. En mer detaljert beskrivelse av strekningen er presentert i kapittel 2. Deretter presenteres problemstillingen og forskningsspørsmålene for oppgaven. Avslutningsvis er avgrensninger til problemstillingen, oppgavens oppbygging og en oversikt over vedlagte dokumenter beskrevet.

## 1.1 Bakgrunn for valg av oppgave

«Vær så snill å stille inn trafikklysene på «grønn bølge» i Haakon VII's gate på Lade» og «Trafikken på Lade er blitt et maretitt» lyder overskriftene i Adresseavisen i 2018 og 2020 (Hartberg, 2018; Østlund, 2020). Artikkene omhandler frustrerte bilister som opplever ustabil trafikkavvikling i Haakon VII's gate etter at Metrobuss ble innført i gaten. Kødannelse og periodevis full stillstands er kjennetegnet ved ustabil avvikling.

For å løse og forutse problemer med trafikkavvikling brukes ofte modelleringsverktøy som Aimsun Next og SIDRA. Dette er en kostnadseffektiv måte å analysere trafikkavviklingsproblemer på. I modellen kan man raskt se resultatet av for eksempel et ekstra felt i en rundkjøring, økning i trafikkvolum og effekten av lengre grøntid i et signalregulert kryss.

Haakon VII's gate på Lade i Trondheim er en del av fylkeveg 6668. Denne masteroppgaven oppgaven tar for seg trafikkavviklingen på strekningen mellom Lade allé og Jørgenvegen. Langs strekningen er det flere butikker, i tillegg til kjøpesentre, som er tilgjengelige med bil, da det er gode parkeringsmuligheter. I tillegg til handel har det også blitt bygget flere nye boligkomplekser og ett idrettsanlegg som ble oppgradert i 2020. Utbyggingen av kjøpesentre, boliger og metrobuss, samt befolkningsveksten som er forventet i Trondheim de neste årene (Trondheim kommune, 2022), har gjort at man må se på nye smarte løsninger i gaten for å sikre stabil avvikling.

I tillegg til trafikkavviklingsproblematikken er også faglig utvikling en del av bakgrunnen til valg av oppgave. Muligheten til å lære mer om trafikkfaget og bli kjent med simuleringsprogrammet Aimsun Next var viktig.

## 1.2 Problembeskrivelse

I Haakon VII's gate mellom rundkjøringene ved Lade Allé og Jørgenvegen er det i dag kapasitetsproblemer. Det er 6 signalregulerte kryss på strekningen som er 1,2 km lang. Dette gir lite effektiv trafikkavvikling og generer kø. I tillegg er det usammenhengende kollektivfelt som gir behov for fletting. Dette skaper forvirring for flere trafikanter. Det er dermed behov for å se på tiltak som kan bedre trafikksituasjonen.

I oppgaven vil en ny løsning for kryssene simuleres i Aimsun Next 22. Forslag til ny løsning for kryssene er å fjerne signalreguleringer, innføre forkjøringsrett og forbud mot venstresving i Haakon VII's gate, samt påbud om høyresving fra sidegatene inn i alle kryss. Gangfelt i tidligere signalregulerte kryss endres også fra å være signalregulert til å være vikepliktregulerte. I tillegg er det fornuftig å anlegge en ny rundkjøring ca. midt i gaten som erstatter ett av kryssene slik at trafikk som mister ønsket svingebevegelse kan korrigere dette raskere med u-sving i denne, i stedet for ved de to eksisterende rundkjøringene på hver ende av den studerte strekningen. Kollektivfeltene fjernes, da det antas at ny løsning vil gi mindre forsinkelse for bussen.

Oppgaven vil ta for seg datainnhenting, modellering og tolkning av resultat. Ny løsning vil sammenlignes mot dagens løsning. For å finne ut om ny kryssløsning er mer gunstig er følgende forskningsspørsmål formulert:

- Hvilken effekt vil alternativ løsning ha på trafikkavviklingen?
- Hvordan vil kollektivtransport påvirkes av ny løsning?
- Hvilken effekt har løsningen på drivstofforbruk og utslipp fra personbiler?

## 1.3 Avgrensninger

Det er nødvendig å avgrense masteroppgaven for å sikre en god gjennomføring, slik at man har tilstrekkelig tid til å sette seg inn i valgte tema. Litteratursøk er viktig for å sikre relevant informasjon og skape en god diskusjon. Det har dermed gått med mye tid til dette. I tillegg har det gått med tid til innhenting og bearbeiding av grunnlagsdata til modellering, samt lære seg nytt programverktøy. Oppgaven ble derfor avgrenset.

- Det er valgt å kun se på Haakon VII's gate mellom Lade allé og Jørgenvegen.
- Det er trafikkavviklingsproblemer langs Jørgenvegen som kobles sammen med Haakon VII's gate i en rundkjøring. Det er valgt å ikke se detaljert på konsekvensene av en ny løsning for Jørgenvegen.
- Det er flere muligheter for myke trafikanter. Det er i dag sykkelveg med fortau langs nordøstsiden av Haakon VII's gate. I oppgaven inngår kun kryssende gang- og sykkeltrafikk, og ikke gang- og sykkeltrafikken langs strekningen.

## 1.4 Oppgavens oppbygging

For å sikre et godt grunnlag til å svare ut problemstillingen er det benyttet malen til NTNU ved oppbygging av masteroppgaven (NTNU, 2023). Oppgaven er bygd opp med 8 hovedkapitler. Alle hovedkapitlene har underkapitler som tar for seg ulike temaer. En oversikt over kapitlene og deres innhold er beskrevet nedenfor:

Kapittel 1 Innledning: I dette kapitlet er bakgrunnen for oppgaven, problemstilling og avgrensninger som er gjort beskrevet.

Kapittel 2 Studieområdet: For å bli kjent med strekningen omhandler dette kapitlet en detaljert beskrivelse av strekningen inkludert kryssene. Trøndelag fylkeskommune sine planer for gata er også beskrevet.

Kapittel 3 Teori: Her presenteres teori som er relevant for problemstillingen.

Kapittel 4 Nytt konsept: Den nye løsningen som skal testes ut i masteroppgaven er beskrevet i dette kapitlet. Det er beskrevet hvorfor løsningen er valgt, i tillegg til prinsippskisser av forbud mot venstresving.

Kapittel 5 Metode: I dette kapitlet er metodene som er benyttet beskrevet. Det er beskrevet hvordan litteratursøket, videoregistreringen og trafikkmodelleringen i Aimsun Next 22 er utført.

Kapittel 6 Resultater: I resultatkapitlet presenteres resultatene fra videoregistreringer og modelleringen i Aimsun Next 22. Dagens løsning og den foreslåtte alternative løsningen sammenlignes.

Kapittel 7 Diskusjon: Her diskuteres resultatene fra kapittel 6 og valideten av funnene.

Kapittel 8 Konklusjon: Til slutt er det skrevet en konklusjon av arbeidet og behov for videre forskningsarbeid er kommentert.

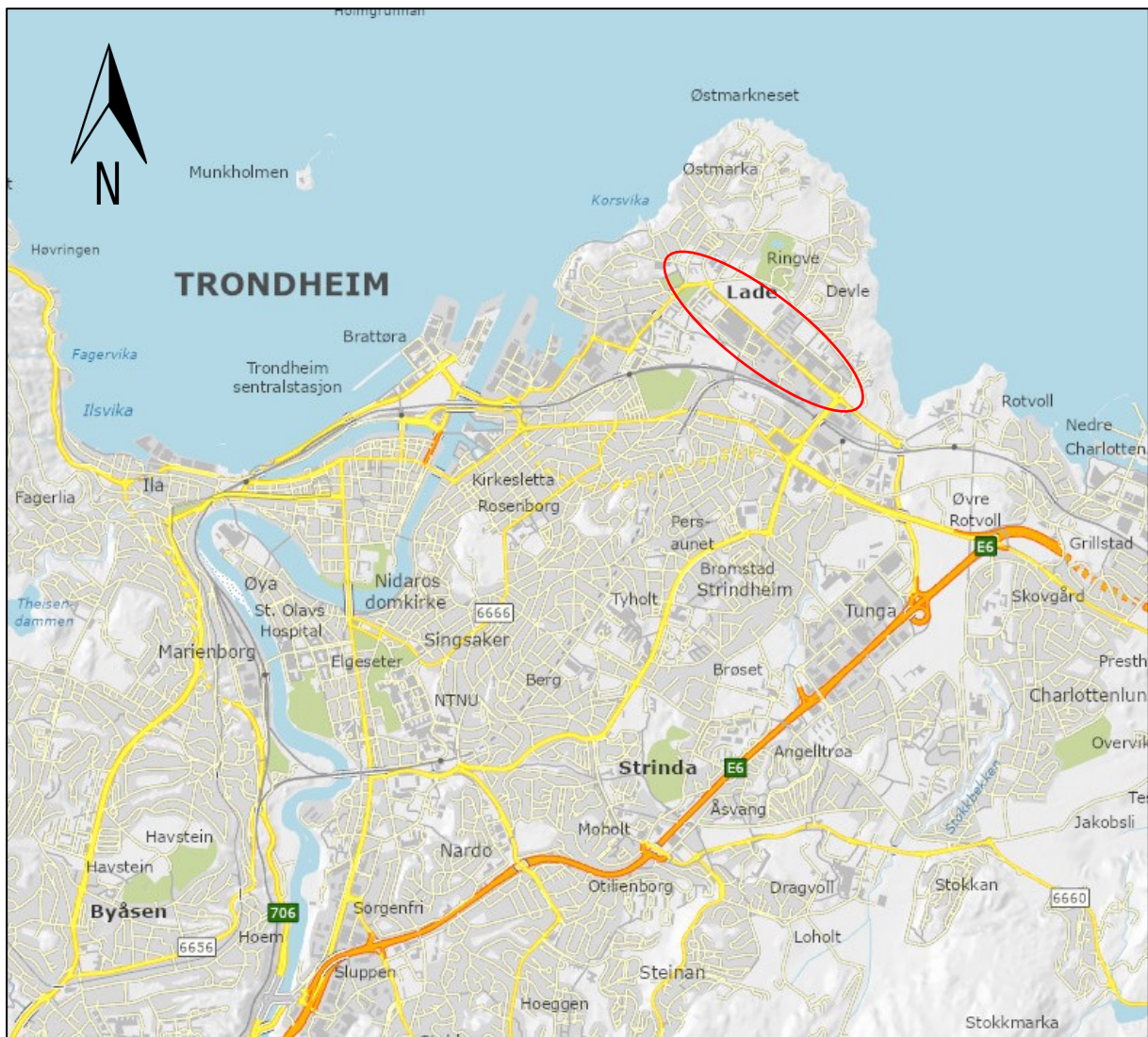


## 2 Studieområdet

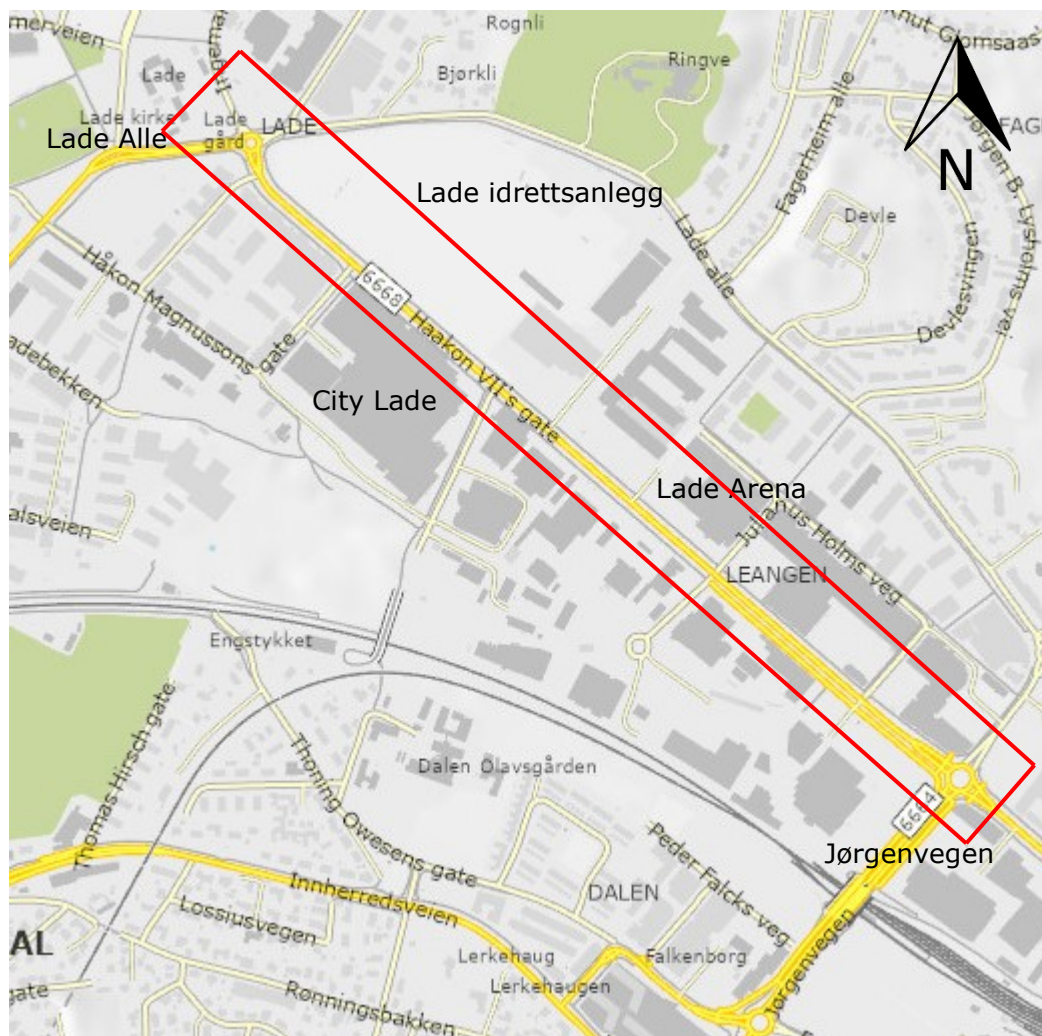
For at man skal få et godt sammenligningsgrunnlag av tiltak som utføres, er det viktig å ha en forståelse av dagens løsning. Dette kapitlet tar dermed først for seg en beskrivelse av dagens løsning, og deretter en beskrivelse av planen til Trøndelag fylkeskommune.

### 2.1 Dagens løsning

Gata ligger nordøst for Trondheim sentrum og er en viktig hovedfartsåre til både handel og idrett. Studieområdet er avgrenset fra rundkjøringen Lade allé på nordvestsiden, og rundkjøringen Jørgenvegen på sørøstsiden. Figur 1 viser studieområdet i forhold til Trondheim sentrum, mens Figur 2 viser studieområdet mer detaljert. Mellom rundkjøringene har gata en utstrekning på 1,27 km og inneholder seks signalregulerte kryss og ett vikepliktsregulert kryss. Det vikepliktsregulerte krysset har så lav trafikkmengde og påvirker ikke trafikkbilde langs strekningen. Dette krysset blir dermed ikke en del av oppgaven. Det er totalt fire kantstopp for buss, i tillegg til kollektivfelt på deler av strekningen i østgående retning. På grunn av flere kollektivfeltregulerte partier er det behov for at trafikken flettes sammen flere steder. På begge sider av gaten er det sykkelveg med fortau.



**Figur 1 Studiemrådet vist med utklipp fra vegkart.no (Statens vegvesen, 2023c)**



**Figur 2 Oversiktsbilde over strekningen. Utklipp fra vegkart.no (Statens vegvesen, 2023c)**

I august 2019 ble det innført et nytt kollektivsystem i Trondheim – metrobuss. Formålet med metrosystemet var å gjøre det mer attraktivt å reise kollektivt, slik at personbiltrafikken ikke øker. Dette er et viktig bidrag til nullvekstmålet.

Kollektivsystemet bygger på tre hovedlinjer for metrobussen. Haakon VII's gate er en del av hovedlinje to. Gaten ble tilrettelagt for metrobuss i 2018 (personlig meddelelse, Are Kullerud, Prosjektleder Trøndelag fylkeskommune, 2023). Figur 3 viser plassering av metrobussholdeplasser og kollektivfelt.

For at gaten skulle bli klar til oppstart av metrobuss, ble gaten bygd om midlertidig med forbehold om en ny langsiktig løsning. Da gaten ble bygget om i 2010-2014 var det ikke tenkt at det skulle kjøre buss i Haakon VII's gate, men at bussen skulle kjøre i en sidegate nordøst for gaten (personlig meddelelse, Are Kullerud, Prosjektleder Trøndelag fylkeskommune, 2023). Det videre arbeidet med gaten av Trøndelag fylkeskommune er beskrevet i kapittel 2.3.

I tillegg til metrobuss (linje 2), går busslinje 13 og 20 gjennom den studerte strekningen. Busslinjene 13 og 20 beveger seg kun mellom nordøst og sørvest av rundkjøring Jørgenvegen på sørøstsiden. For enkelhets skyld omtales disse samlet som busslinje 13/20 videre i masteroppgaven.



**Figur 3 Plassering av holdeplasser og kollektivfelt i sørøstgående retning. Utklipp fra entur.no (Samferdselsdepartementet, 2023)**

Strekningen har en fartsgrense på 50 km/t og har en helt rett utforming uten særlig helning. Haakon VII's gate rette utforming skyldes at det opprinnelig var en flyplass. Under andre verdenskrig bygget den tyske okkupasjonsmakten en flyplass på Lade som en del av sitt forsvar. Rullebanen var 1150 meter lang og 40 meter bred. Flyplassen ble lagt ned i 1965 (Wikipedia, 2023). Figur 4 viser flyfoto tatt av Fjellanger Widerøe A/S fra 1951, der ser man utstrekningen av flyplassen.



**Figur 4 Flyfoto over Lade flyplass 1951, Foto: Fjellanger Widerøe A/S**

Årsdøgntrafikk (ÅDT) på strekningen varierer mellom hvert kryss, men gjennomsnittlig årsdøgntrafikk for hele strekningen er 13680 kjøretøy per døgn (år 2022) (Statens vegvesen, 2023c). Dette avviker noe fra Statens vegvesen sin punktmåling som er satt opp sørøst i gaten ved Lade Arena. Punktmålingen registrerer kontinuerlig trafikken som passerer. Den viser at i 2022 var det en ÅDT på 16208 (Statens vegvesen, 2023b). Det er ikke morgenrush på strekningen, men ettermiddagsrush.

I tilknytning til studieområdet ligger flere boligområder. Det er høy aktivitet for boligutbygging i området som er i tråd med Trondheim kommune sine veiledere for byggesøknad og byggesaksprosessen, som sier følgende om fortetting (Trondheim kommune, 2021):

«Miljøvennlig by- og tettstedsutvikling forutsetter at ny utbygging i hovedsak skjer gjennom fortetting, transformasjon og mer effektiv bruk av sentrale byområder og andre viktige fortettingsområder langs kollektivtrase».

Det er bygd flest boliger øst i byen på Lade, Ranheim, Strindheim og Brundalen siden 2011 (Trondheim kommune, 2020). Med fortetting følger et økt trykk på eksisterende infrastruktur. Det er i tillegg flere store kjøpesentre som City Lade og Lade Arena, samt andre næringslokaler langs hele strekningen. I september 2022 registrerte City Lade 141160 parkeringer totalt, og lørdager er den mest besøkte dagen i tidsrommet 11-18 (personlig meddelelse, Kine Marie Øie, senterleder ved City Lade, 2023). Det er god parkeringsdekning på alle handelstedene langs gaten, hvorav mesteparten er lokalisert til City Lade: 1000 parkeringsplasser og Lade Arena: 770 parkeringsplasser (Lade Arena,

2022; City Lade, 2023). Enkelte butikker stimulerer til storhandel (Coop OBS!), mens andre butikker er forbundet med kjøp av større varer (Elkjøp, Megafliis, XL bygg, Skeidar, ikke uttømmende), som nødvendiggjør bruk av personbil for å frakte varene hjem. Mange velger derfor bil fremfor kollektivtransport.

På nordøstsiden av Haakon VII's gate ligger Lade Idrettsanlegg som blant annet har fotballbane, tennisbaner og taekwondo. Det er dermed høy aktivitet med idrettsarrangement og treninger som genererer trafikk til Lade.

### 2.1.1 Kommentar på fremkommeligheten til busser av kollektivselskapet AtB

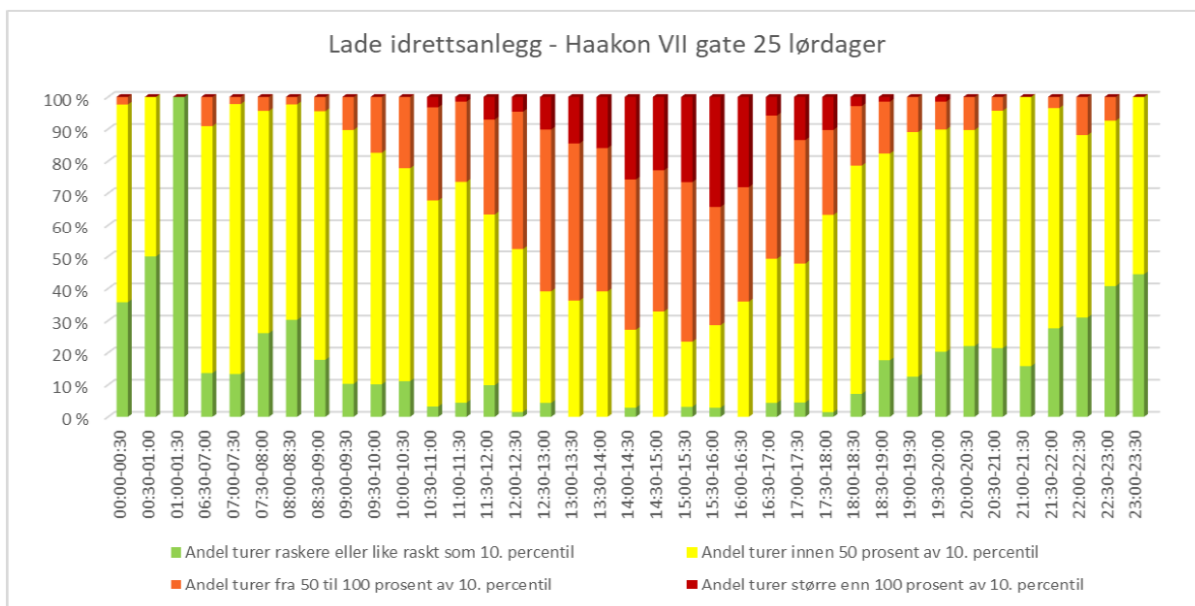
I 2021 utarbeidet AtB, som er kollektivtransportforvalter for Trøndelag, en rapport som ser på fremkommeligheten for busser i Trondheim (AtB, 2021). Data ble hentet i perioden 01.02.2021-15.03.2021 for ukedager, og i perioden 1.10.2020-15.03.2021 for lørdager. Dataperioden for lørdager er lengere for å sikre et tilstrekkelig datagrunnlag slik at man unngår et skjevt trafikkbilde som følge av pandemi med Covid-19. Rapporten som er utarbeidet ser på 10 flaskehalsene i Trondheim, der Lade er et av problemområdene.

| Linjer | Kjøresekvens                            | Forsinkelse kategorisert | Periode med størst avvik | Periode | Type vei | Snitt antall passasjerer per halvtime september 2020 | Forsinkelse snitt |
|--------|---|--------------------------|--------------------------|---------|----------|--|-------------------|
| 2      | Strindheim 3 - Haakon VII gate 25       | 60-90 sekunder           | 14:00-14:30              | Helg    | FV       | 32,7   | 01:21             |
| 2      | Lade idrettsanlegg - Haakon VII gate 25 | 45-60 sekunder           | 15:30-16:00              | Helg    | FV       | 69,0   | 00:57             |
| 20     | Lade allé 73 - Strindheim 4             | 45-60 sekunder           | 14:30-15:00              | Helg    | KV/FV    | 0,0  | 00:56             |

**Figur 5 Oversikt over forsinkelse i snitt for holdeplassene, utklipp fra rapport (AtB, 2021)**

Figur 5 er hentet fra AtB sin rapport (AtB, 2021), den viser en oversikt over fremkommeligheten til busser langs strekningen. Her ser man at mellom holdeplassene Lade Idrettsanlegg og Haakon VII's gate 25 er det i snitt en forsinkelse på 57 sekunder. Det er størst forsinkelse i helg i tidsrommet 15:30 til 16:00. Det er også forsinkelse til og fra holdeplassene i studieområdet. Mye tyder på at forsinkelsen forplanter seg og det er vanskelig å ta igjen den tapte tiden på strekningen.

Figur 6 er også hentet fra AtB sin rapport (AtB 2021), den viser en oversikt over registrerte turer mellom holdeplassene Lade Idrettsanlegg og Haakon VII's gate 25 på lørdager. Den viser med grønn farge andel turer hvor det ikke er forsinkelse, mens gul, oransje og rød farge indikerer økende grad av forsinkelse. I denne figuren ser man at det er mest forsinkelse i tidsrommet 14:00-16:30.



**Figur 6 Oversikt over forsinkelse mellom Lade Idrettsanlegg til Haakon VII's gate 25, utklipp fra rapport (AtB, 2021)**

Hovedpunktene de trekker frem som relevant er (AtB, 2021):

- Det er problemer i rundkjøringen Jørgenveien/ Haakon VII's gate/ Lade Alle på grunn av tett trafikk og vikeplikt.
- Det er mest forsinkelse på lørdager, og i perioder med mye handel.
- Det er mer forsinkelse i nordvestgående retning enn i sørøstgående retning der det er kollektivfelt på deler av strekning.

Selv om Haakon VII's gate allerede var omtalt som et problemområde for busser i en tilsvarende rapport fra 2015, har ikke AtB noen klar formening om tiltak som kan forbedre fremkommeligheten for bussen. Dette skyldes et komplekst trafikkbilde. Likevel, de konkluderer med at registreringene viser for stor trafikkmengde til å sikre fremkommelighet for bussen (AtB, 2021).



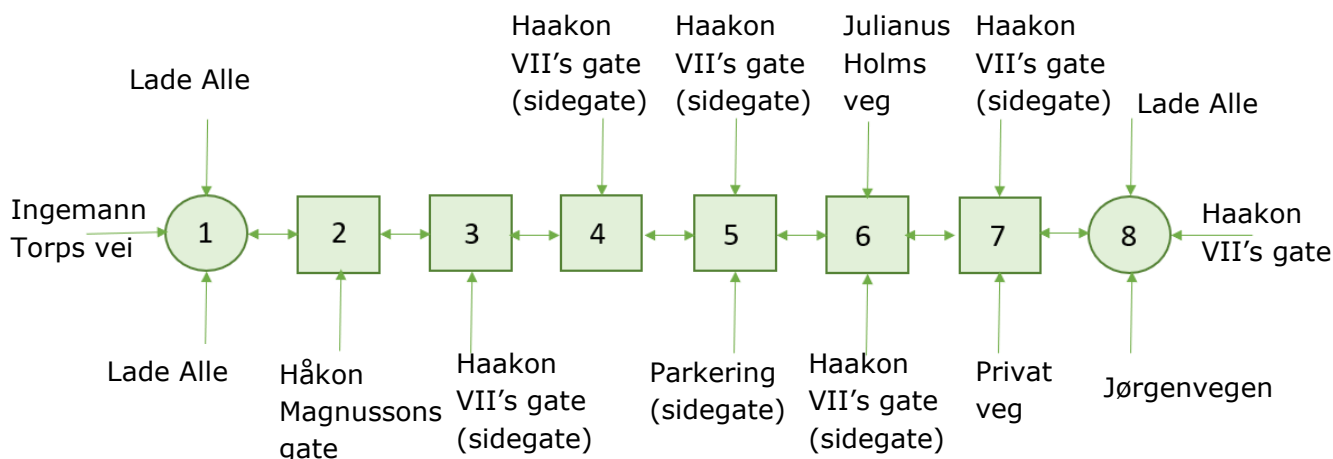
## 2.2 Utforming av kryssene

For å bygge opp modellene trenger man informasjon om geometrien til kryssene. Det er benyttet kart, ortofoto i Autocad, og flyfoto til å måle avstander. Figur 7 viser en oversikt over nummering av kryssene, i tillegg til plassering av City Lade, Lade Arena og Lade Idrettsanlegg. Videre er hvert kryss vist i detalj. Haakon VII's gate vil bli henvist som H7 i figurene.



**Figur 7 Nummerering av kryssene. Utklipp fra norgeskart.no (Kartverket, 2023)**

Figur 8 viser en illustrasjon av strekningen med nummrering og navn på sidegater.



**Figur 8 Illustrasjon av gate med nummerering av kryssene**

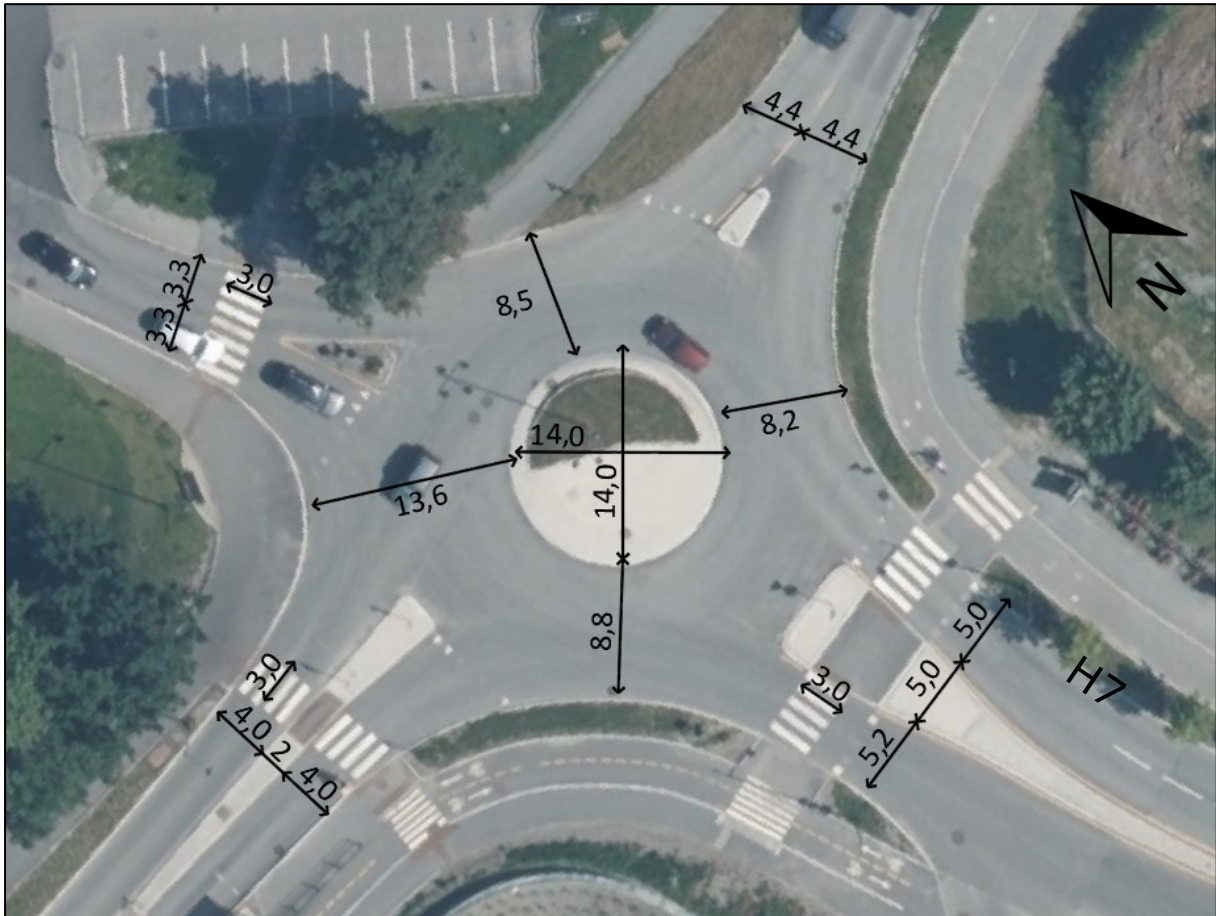
Målene fra ortofoto avviker noe fra vegbredder lagt inn i Statens vegvesen sitt vegkart. Ortofotot er bygd opp av flere bilder, det er derfor noen skjøter i kartet som gjorde målingene noe vanskelig enkelte steder. For å få nøyaktige mål av geometrien må man måle inn ved hjelp av landmåler, men for dette formålet vil målingene gjort ved bruk av ortofoto ha tilstrekkelig nøyaktighet for å bygge opp modellene. I alle kryssene er signalreguleringen dynamisk. Grønt lys for sidegatene blir aktivert ved deteksjon av kjøretøy i sidegatene, eller ved at fotgjengere ber om grønn mann ved å trykke på en bryter. Det betyr at dersom ingen kjøretøy detekteres i sidegatene, og det ikke er noen fotgjengere, vil det alltid være grønt lys for trafikk som skal rett frem langs Haakon VII's gate.

Signalreguleringen inkluderer aktiv bussprioritering av metabuss i alle signalregulerte kryss. Signalplaner er hentet fra modellen i Aimsun som er mottatt fra Trøndelag fylkeskommune. I tabell 1-6 er GX fase for en svingebevegelse, FGX fase for gangfelt, og de stipla strekene med pil symboliserer gangfelt.

## 2.2.1 Kryss 1: FV6668 Haakon VII's gate x KV4150 Lade Alle x KV3235 Ingemann Torps vei x FV6668 Lade Alle



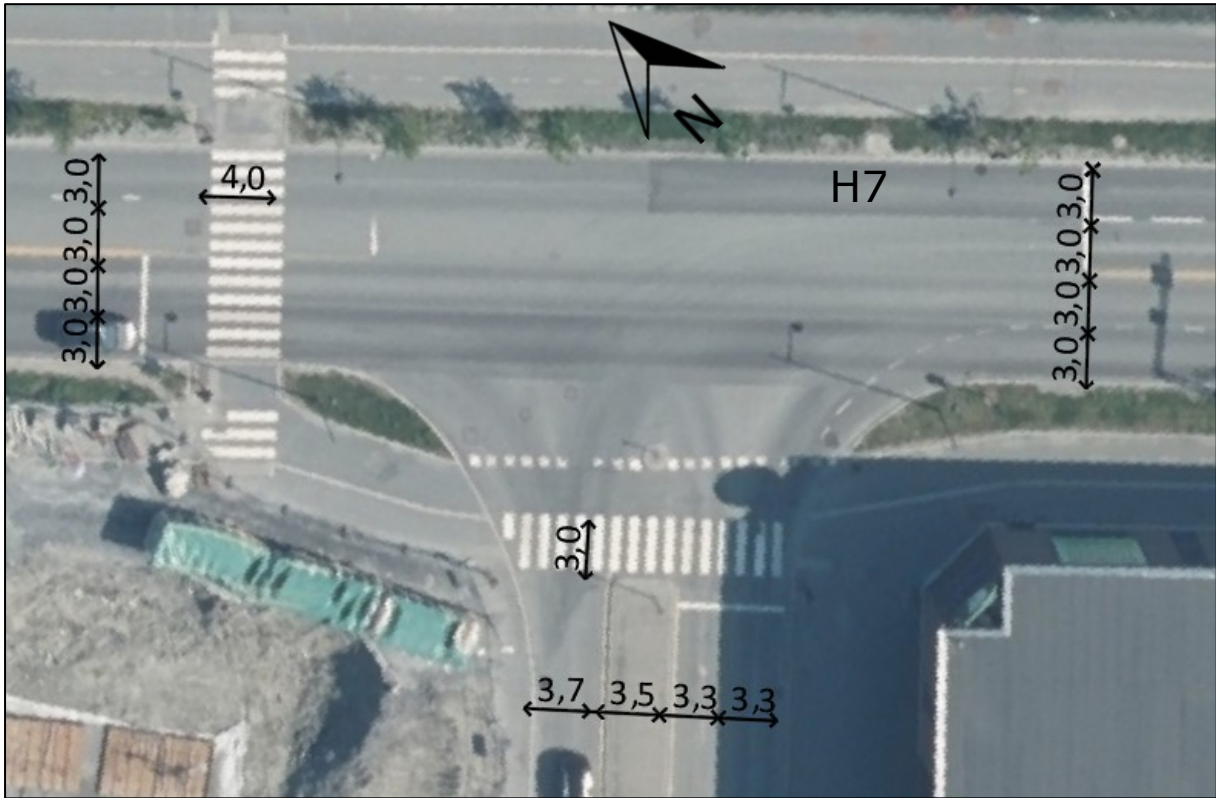
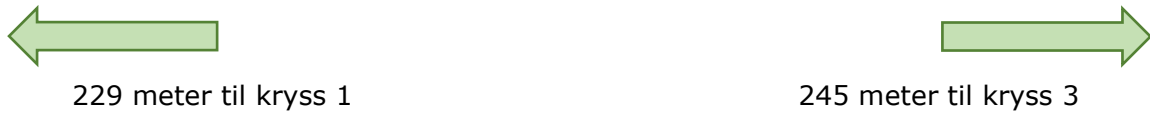
229 meter til kryss 2



**Figur 9 Geometri kryss 1**

Figur 9 viser kryss nummer 1 som er utformet som en rundkjøring med fire armer. Det er gangfelt i tilknytning til alle armene, bortsett fra i øst der gangfeltet er flyttet 30 meter fra vikelinja til rundkjøringen. Sentraløya har en diameter på 14 meter. Rundkjøringa er bygget med ikke-avvisende kantstein mot sirkulasjonsarealet, men kantsteinsvisen er høyere enn 4 cm slik at det ikke er egnet for overkjøring. I tilknytning til rundkjøringen ligger Lade gård, Ladetorget og boliger.

## 2.2.2 Kryss 2: FV6668 Haakon VII's gate x KV3125 Håkon Magnussons gate



**Figur 10 Geometri kryss 2**

Kryss nummer 2 er et signalregulert T-kryss (kryss med tre armer) som vist på figur 10. Det er gangfelt over nordvestlig arm i Haakon VII's gate og over sidegaten (Haakon Magnussons gate). I tilknytning til krysset ligger flere boligblokker og kjøpesentret City Lade som genererer mye handelstrafikk. Ved mye besøkende forplanter køen seg bakover fra krysset og inn på parkeringen til City Lade.

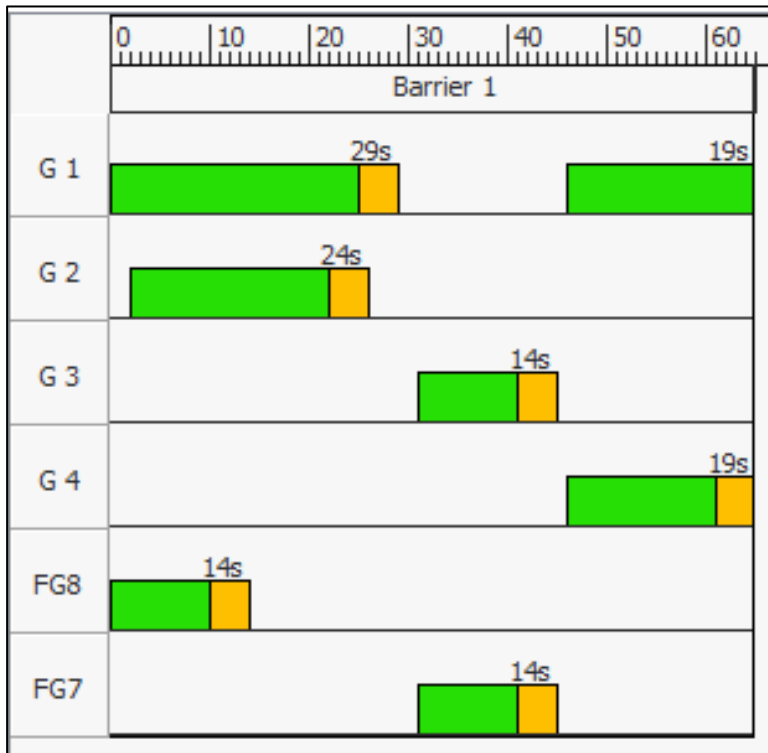
Tabell 1 viser de ulike svingebevegelsene i signalplanen.

**Tabell 1 Svingebevegelser signalanlegg kryss 2**

| G 1 | G 2         | G 3     | G 4    | FG8       | FG7             |
|-----|-------------|---------|--------|-----------|-----------------|
| ←   | →<br>→<br>↓ | ← →<br> | ↙<br>↓ | ← - - - → | ↑<br>- - -<br>↓ |

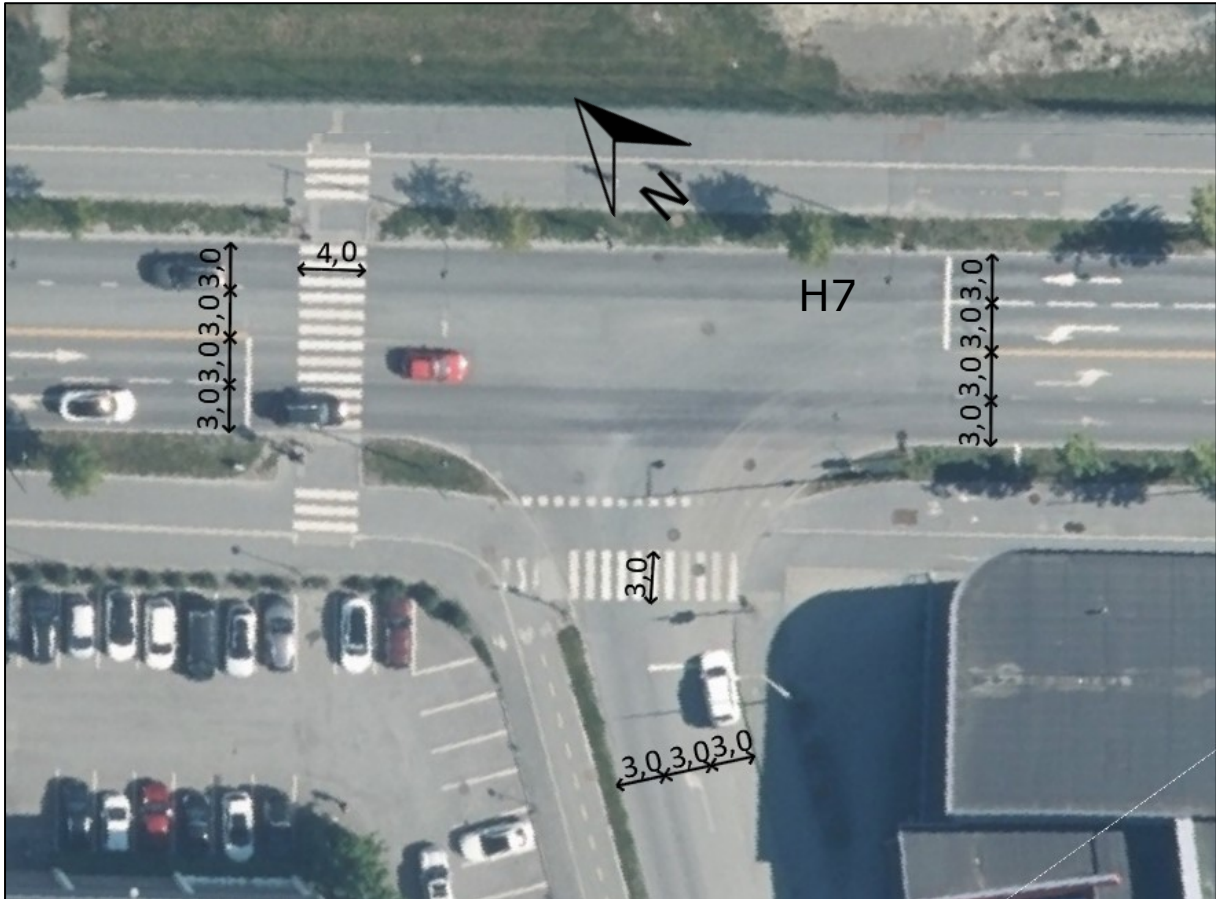
|               |    |
|---------------|----|
| Omløpstid [s] | 65 |
|---------------|----|

Figur 11 viser tidsfordelingen for de ulike svingebevegelserne gitt i tabell 1.



**Figur 11 Signalplan kryss 2**

### 2.2.3 Kryss 3: FV6668 Haakon VII's gate x KV3100 Haakon VII's gate



**Figur 12 Geometri kryss 3**

Figur 12 viser kryss nummer 3 som er et signalregulert T-kryss. I krysset er det gangfelt to steder, i sidegaten og nordvest i Haakon VII's gate. På vestsiden av krysset ligger City Lade og på sørsiden ligger det næringsareal. Avstanden mellom kryss 3 og 4 er 87 meter. I følge håndbok V121 skal det helst være 100 meter mellom signalregulerte kryss, men minimumskravet er 50 meter (Statens vegvesen, 2013).

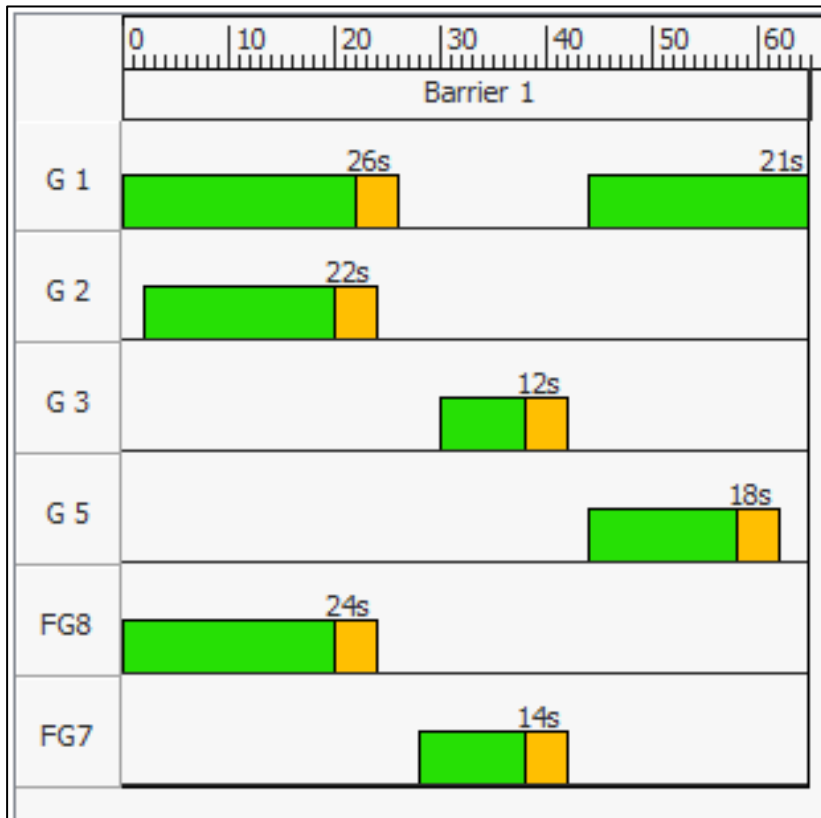
Tabell 2 viser de ulike svingebevegelsene for kryss 3 i signalplanen.

**Tabell 2 Svingebevegelser signalanlegg kryss 3**

| G 1 | G 2         | G 3     | G 5    | FG8       | FG7             |
|-----|-------------|---------|--------|-----------|-----------------|
| ←   | →<br>→<br>↓ | ← →<br> | ↙<br>↓ | ← - - - → | ↑<br>- - -<br>↓ |

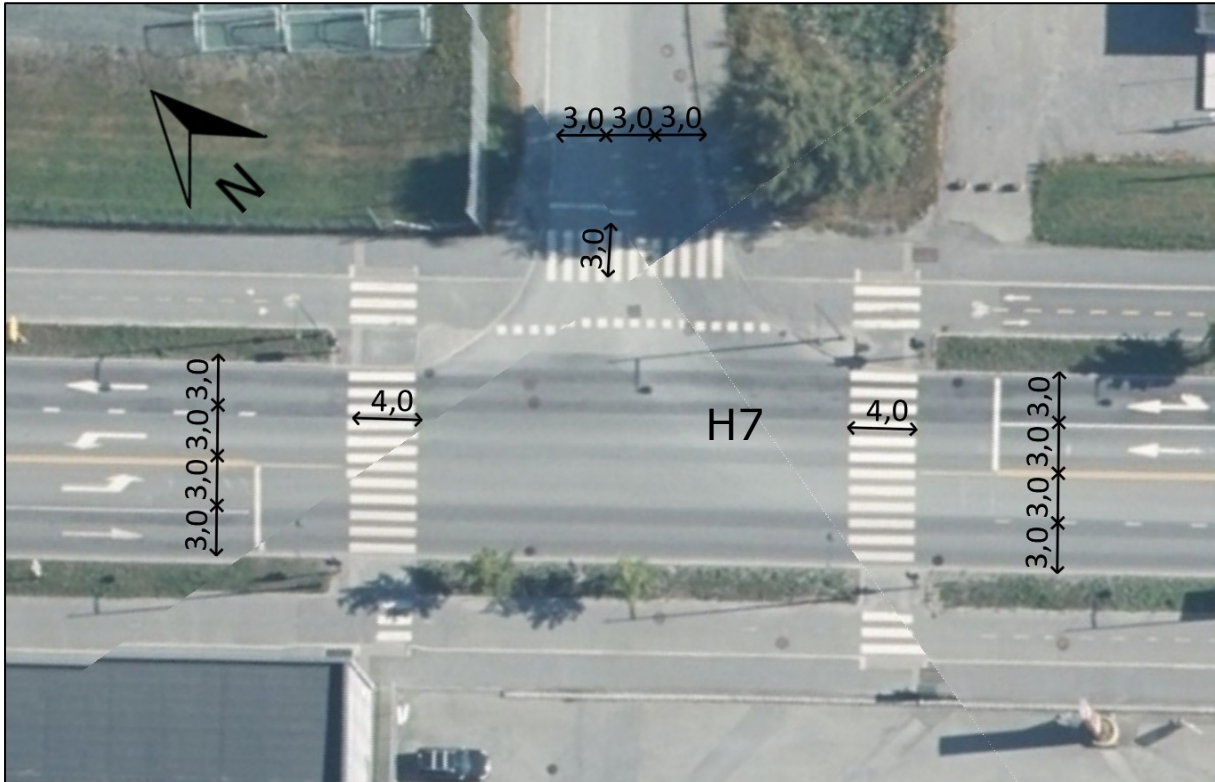
|               |    |
|---------------|----|
| Omløpstid [s] | 65 |
|---------------|----|

Figur 13 viser tidsfordelingen for de ulike svingebevegelserne gitt i tabell 2.



**Figur 13 Signalplan kryss 3**

## 2.2.4 Kryss 4: FV6668 Haakon VII's gate x PV3100 Haakon VII's gate



**Figur 14 Geometri kryss 4**

Geometrien i kryss nummer 4, et signalregulert T-kryss, er vist på figur 14. Det er gangfelt i alle armene. Sidegaten er under ombygging i forbindelse med utbyggingen av Lade Idrettsanlegg. I tilknytning til sidegaten er det parkering til Lade Idrettsanlegg og boligblokker. Det er dette krysset som er foreslått til rundkjøring i reguleringsplanen og i masteroppgaven.

Tabell 3 viser de ulike svingebevegelsene for kryss 4 i signalplanen.

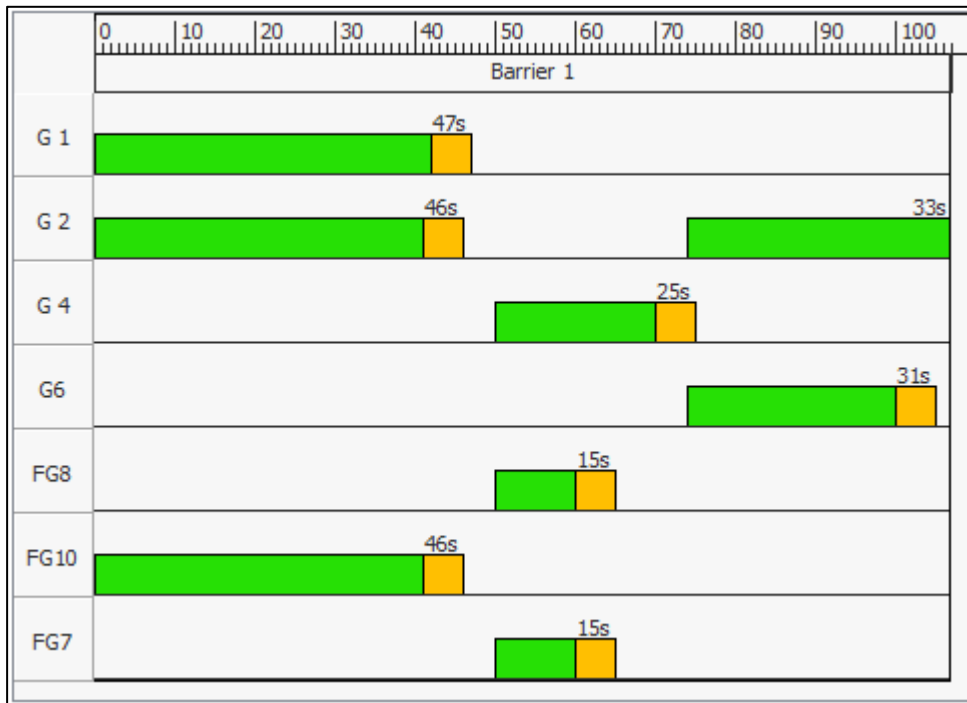


**Tabell 3 Svingebevegelser signalanlegg kryss 4**

|     |     |     |     |     |      |
|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| G 1 | G 2 | G 4 | G 6 | FG8 | FG10 |
|     |     |     |     |     |      |
| FG7 |     |     |     |     |      |
|     |     |     |     |     |      |

|               |     |
|---------------|-----|
| Omløpstid [s] | 107 |
|---------------|-----|

Figur 15 viser tidsfordelingen for de ulike svingebevegelserne gitt i tabell 3.



**Figur 15 Signalplan kryss 4**

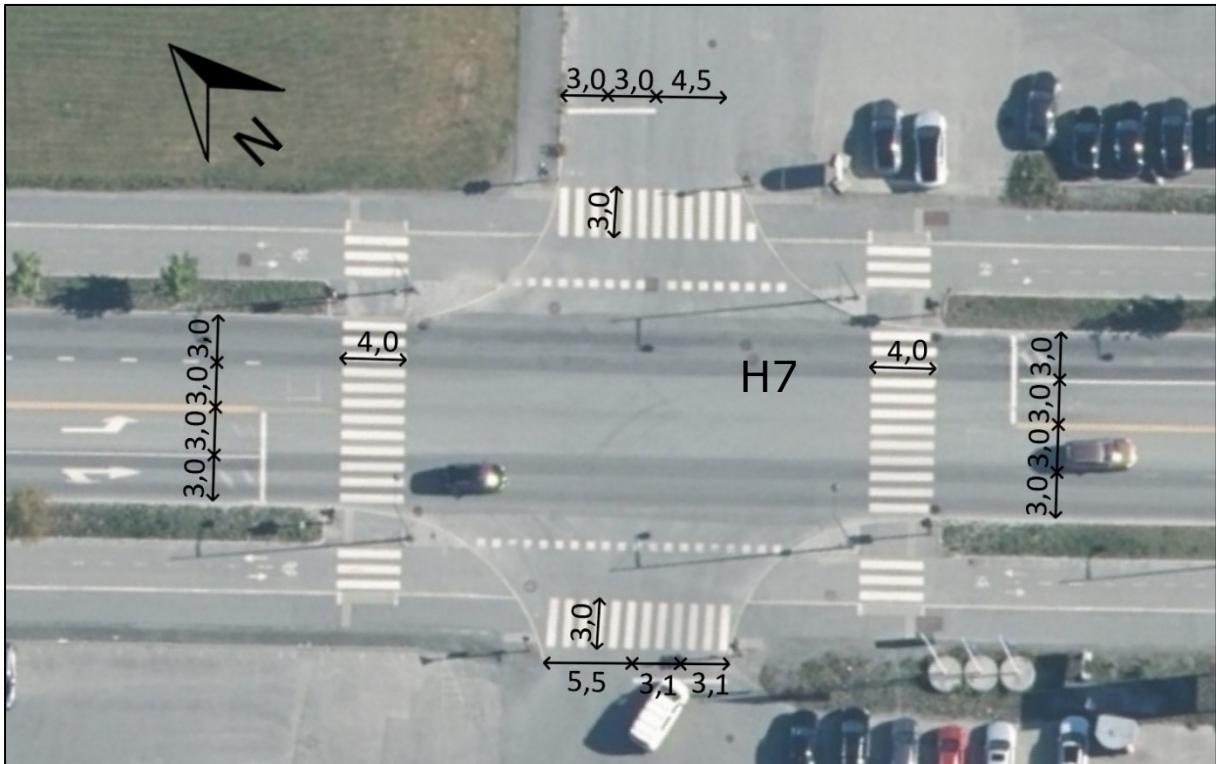
## 2.2.5 Kryss 5: FV6668 Haakon VII's gate x PV3100 Haakon VII's gate x sidegate (uten navn)



146 meter til kryss 4



146 meter til kryss 6



**Figur 16 Geometri kryss 5**

Kryss nummer 5 er et signalregulert X-kryss (kryss med fire armer), geometrien er vist på figur 16. Det er gangfelt i alle armene. Sidegatene går rett til parkeringsplass for næring.

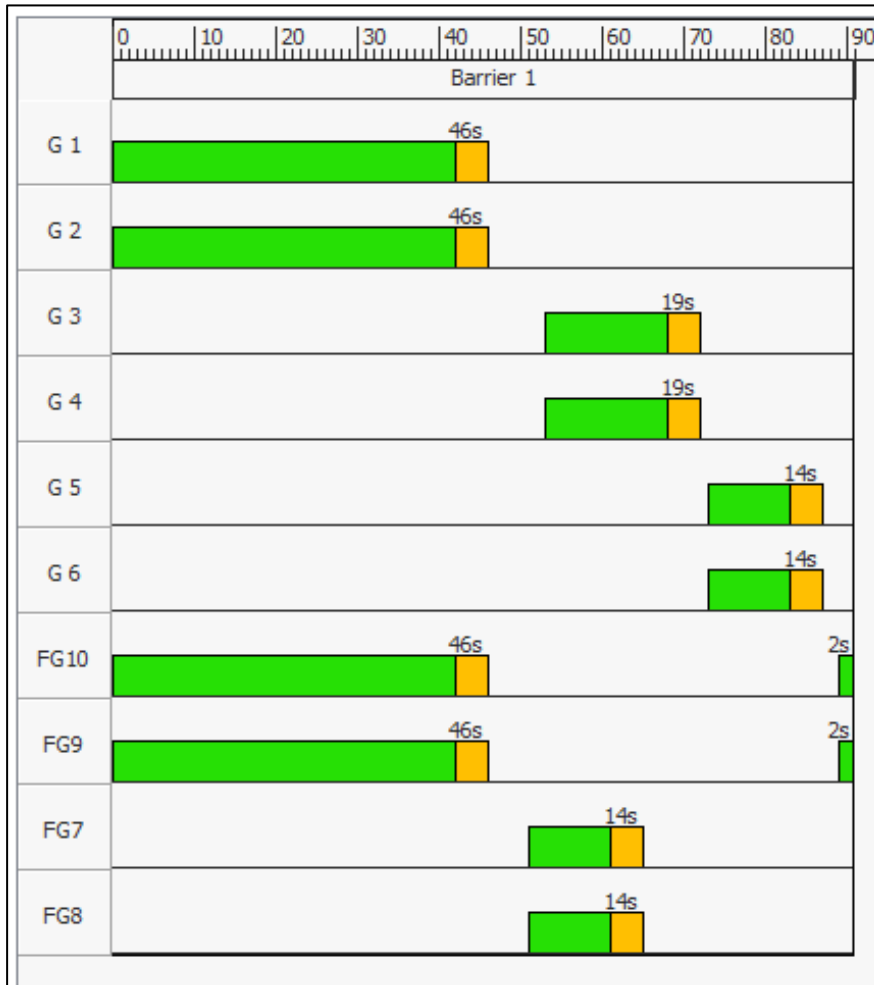
Tabell 4 viser de ulike svingebevegelsene for kryss 5 i signalplanen.

**Tabell 4 Svingebevegelser signalanlegg kryss 5**

|      |     |     |     |     |     |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| G 1  | G 2 | G 3 | G 4 | G 5 | G 6 |
|      |     |     |     |     |     |
| FG10 | FG9 | FG7 | FG8 |     |     |
|      |     |     |     |     |     |

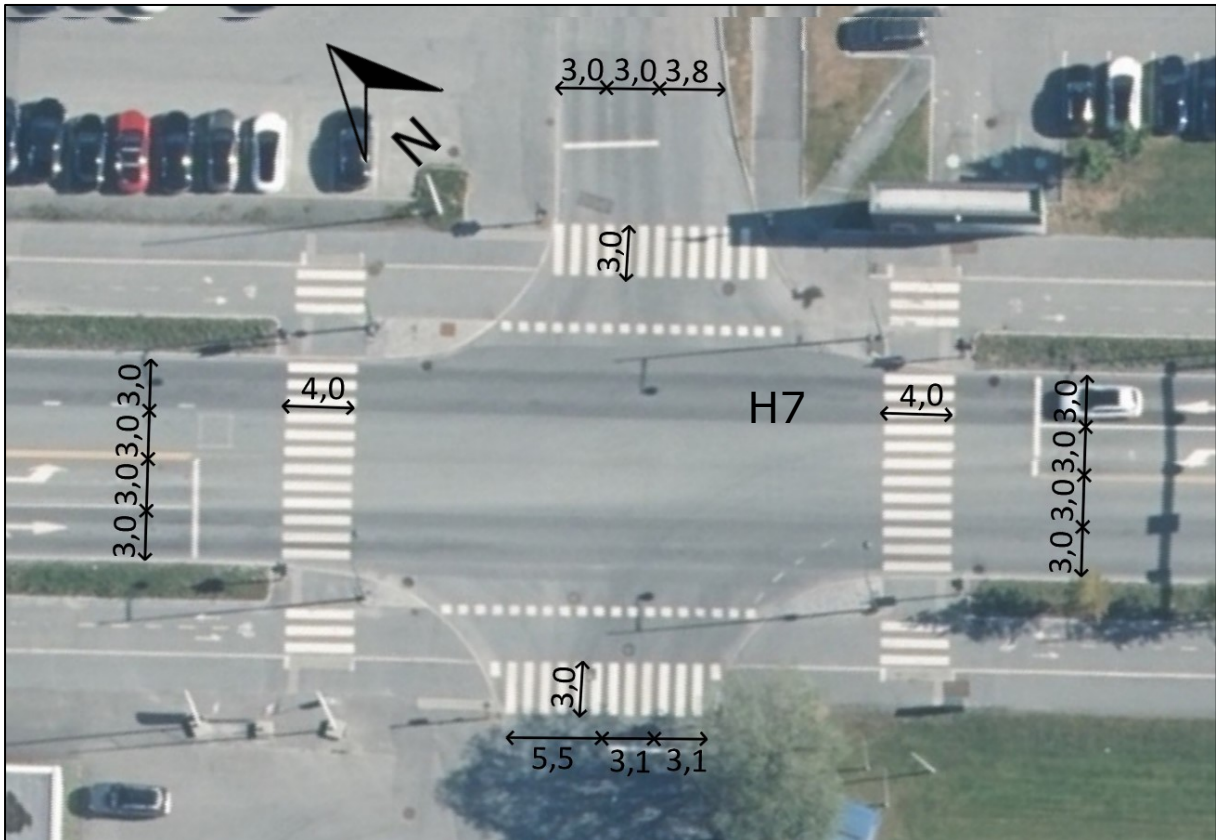
|               |    |
|---------------|----|
| Omløpstid [s] | 91 |
|---------------|----|

Figur 17 viser tidsfordelingen for de ulike svingbevegelsene gitt i tabell 4.



Figur 17 Signalplan kryss 5

## 2.2.6 Kryss 6: FV6668 Haakon VII's gate x KV9397 Julianus Holms veg x KV3100 Haakon VII's gate



**Figur 18 Geometri kryss 6**

Geometrien til kryss nummer 6, et signalregulert X-kryss, er vist på figur 18. Det er gangfelt i alle armene. I tilknytning til krysset ligger blant annet kjøpesentret Lade Arena, samt annen enkeltstående næringsbygg.

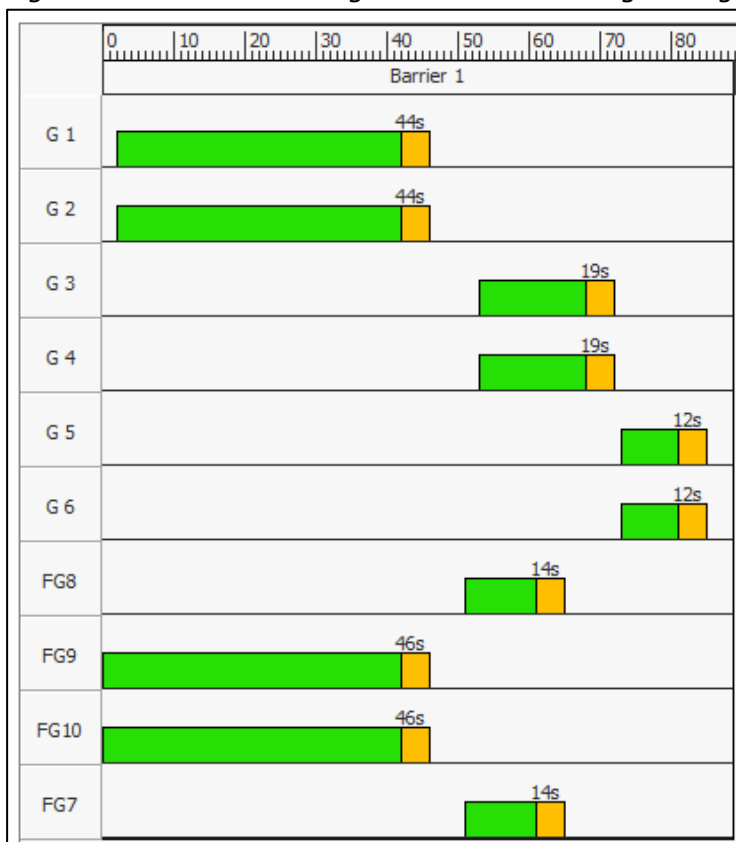
Tabell 5 viser de ulike svingebevegelsene for kryss 6 i signalplanen.

**Tabell 5 Svingebevegelser signalanlegg kryss 6**

|     |     |      |     |     |     |
|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| G 1 | G 2 | G 3  | G 4 | G 5 | G 6 |
|     |     |      |     |     |     |
| FG8 | FG9 | FG10 | FG7 |     |     |
|     |     |      |     |     |     |

|               |    |
|---------------|----|
| Omløpstid [s] | 89 |
|---------------|----|

Figur 19 viser tidsfordelingen for de ulike svingebevegelserne gitt i tabell 5.



**Figur 19 Signalplan kryss 6**

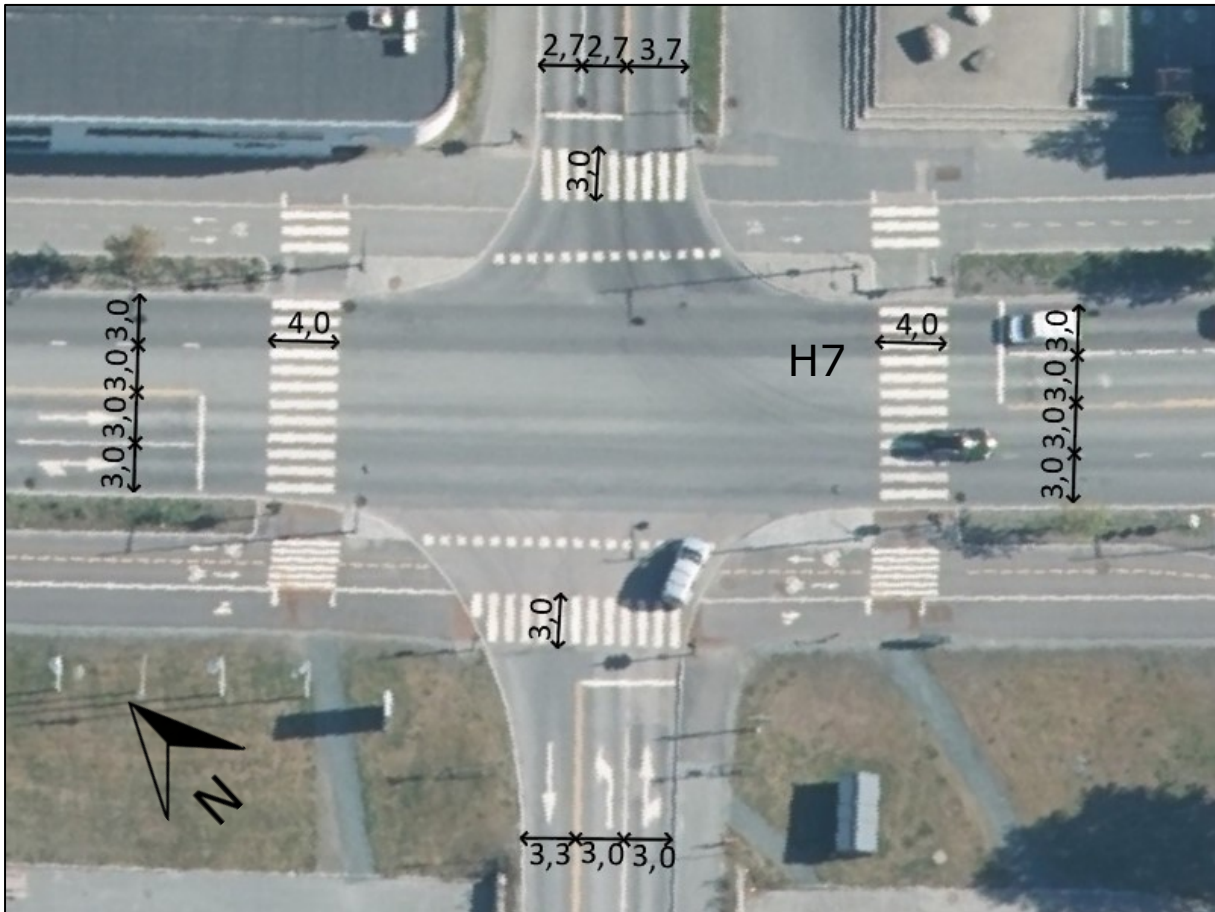
### 2.2.7 Kryss 7: FV6668 Haakon VII's gate x KV3100 Haakon VII's gate x PV96336



256 meter til kryss 6



167 meter til kryss 8

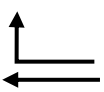
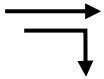

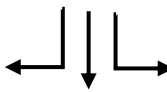







**Figur 20 Geometri kryss 7**

Kryss nummer 7 er et signalregulert X-kryss vist på figur 20. Det er gangfelt i alle armene. For kjørende som kommer fra kryss 6 til kryss 7 er det forbud mot venstresving. Slik som i alle de andre signalregulerte kryssene, har fotgjengerne og kjøretøyene grønt lys samtidig i enkelte faser. I tilknytning til krysset ligger blant annet kjøpesentret Lade Arena, samt annen enkeltstående næringsbygg.

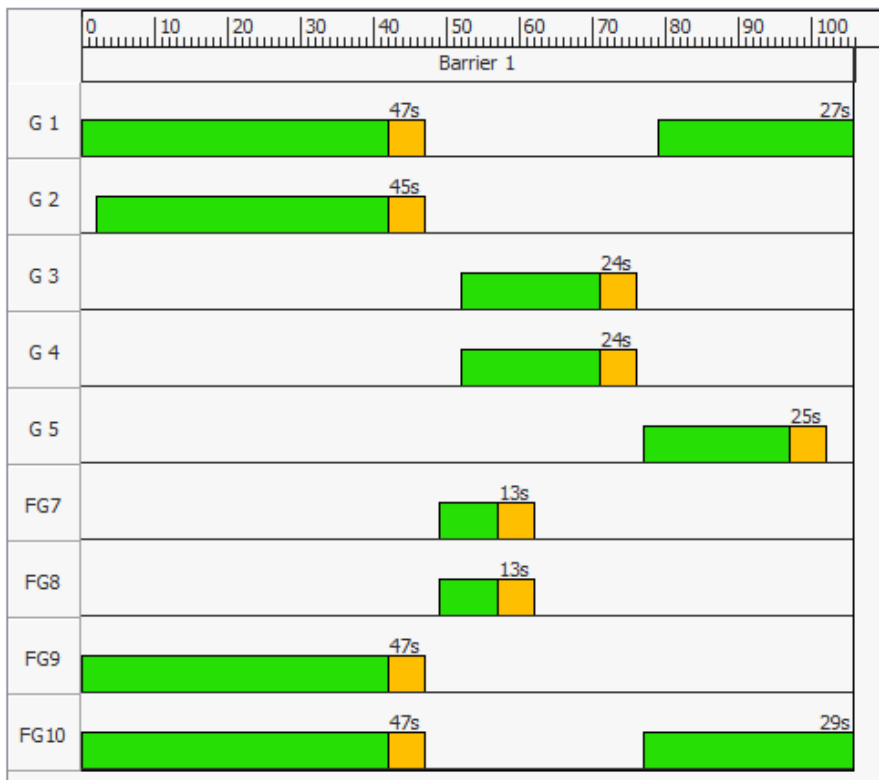
Tabell 6 viser de ulike svingebevegelsene for kryss 7 i signalplanen.

**Tabell 6 Svingebevegelser signalanlegg kryss 7**

|   |   |   |   |  |
|---|---|---|---|--|
| G 1   | G 2   | G 3   | G 4   | G 5  |
|  |  |  |  |  |
| FG7   | FG8   | FG9   | FG10  |  |
|  |  |  |  |  |

|               |     |
|---------------|-----|
| Omløpstid [s] | 106 |
|---------------|-----|

Figur 21 viser tidsfordelingen for de ulike svingebevegelsene gitt i tabell 6.



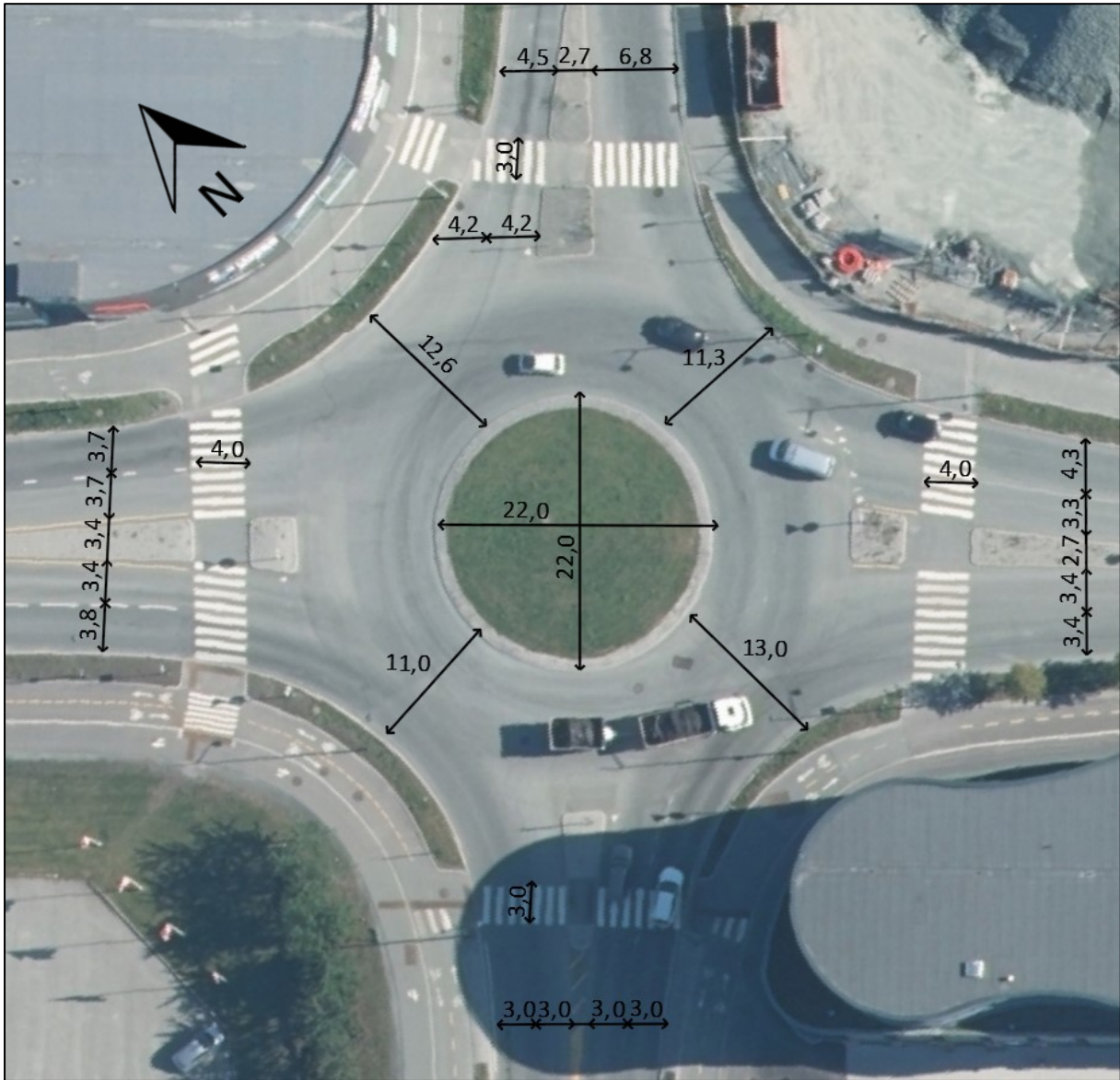
**Figur 21 Signalplan kryss 7**



## 2.2.8 Kryss 8: FV6668 Haakon VII's gate x FV6664 Jørgenvegen x KV4150 Lade Alle



167 meter til kryss 8



**Figur 22 Geometri kryss 8**

Kryss nummer 8 er en rundkjøring med fire armer som vist på figur 22. Det er gangfelt i alle armene. Sentraløya består av en gressbelagt del som er 20 meter. Rundt den gressbelagte øya er det 1 meter med smågatestein. Til sammen blir dermed diameteren på øya 22 meter. Sirkulasjonsarealet varierer i bredde.

## 2.3 Fremtidige løsninger

Nåværende løsning er midlertidig bygget, med en plan om å bygge om strekningen i fremtiden. Trøndelags fylkeskommune arbeider med å finne en ny helhetlig utforming for strekningen, med mål om sikre fremkommeligheten for kollektivtransport. Fylket hadde oppstart av prosjektet sommeren 2022, og jobbet med konseptutredninger til april 2023. I sin tentative fremdriftsplan skal de i gang med et teknisk forprosjekt våren 2023 og reguleringsplan eller byggeplan i 2024.

Trøndelag fylkeskommune har utarbeidet seks ulike konseptskisser i forbindelse med konseptutredningen. Det er tre hovedkonsepter, hvor hvert av hovedkonseptene har to underkonsepter. Tabell 7 er utarbeidet ut fra konseptskissene med nummering av kryss lik den i figur 7.

**Tabell 7 Alternative løsninger utarbeidet av Trøndelag fylkeskommune oppsummert i tabell**

| <b>Konsept 1</b>  |   |
|---|---|
| <b>Konsept 1A</b>   | <b>Konsept 1B</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Buss, bil og sykkel i gata</li> <li>• Midtstilt buss</li> <li>• Ikke tillatt med venstresving av Haakon VII's gate</li> <li>• Etablering av rundkjøring i kryss 4</li> <li>• Innkjøring til midtstilt felt for buss fra rundkjøringene i hver ende av gaten er ikke løst.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Buss, bil og sykkel i gata</li> <li>• Sidestilt buss</li> <li>• Ikke tillatt med venstresving av Haakon VII's gate, med unntak av kryss 2</li> <li>• Etablering av rundkjøring i kryss 4</li> <li>• Gjennomgående kollektivfelt i begge retninger, som opphører i forbindelse med kryss</li> </ul>                             |
| <b>Konsept 2</b>  |   |
| <b>Konsept 2A</b>   | <b>Konsept 2B</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Buss og sykkel i gata, bil i sidegater i ulik grad</li> <li>• Ingen innkjøring på Haakon VII's gate fra sidegate i kryss 2 og 3</li> <li>• Utbygging av Haakon Magnussons gate som inkluderer gjennomgående trase til Lade idrettsanlegg</li> <li>• Enkelte kryss tillatt å kjøre tvers over fra sidegater (kryss 4, 5, 6 og 7)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Buss og sykkel i gata, bil i sidegater i ulik grad</li> <li>• Forbud mot å kjøre mellom kryss 2 og 3 for biler</li> <li>• Etablering av rundkjøring i kryss 4 med ny arm mot sørøst som personbiler kan benytte for å kjøre inn på Haakon VII's gate.</li> <li>• Ikke tillatt med venstresving av Haakon VII's gate</li> </ul> |
| <b>Konsept 3</b>  |   |
| <b>Konsept 3A</b>   | <b>Konsept 3B</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Buss og bil i gata, sykkel i sidegater</li> <li>• Sidestilt buss</li> <li>• Bredere fortau</li> <li>• Etablering av rundkjøring i kryss 4</li> <li>• Ikke tillatt med venstresving av Haakon VII's gate, med unntak av kryss 2</li> <li>• Gjennomgående kollektivfelt i begge retninger, som opphører i forbindelse med kryss</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Buss og bil i gata, sykkel i sidegater</li> <li>• Midtstilt buss</li> <li>• Bredere fortau</li> <li>• Etablering av rundkjøring i kryss 4</li> <li>• Ikke tillatt med venstresving fra Haakon VII's gate</li> <li>• Innkjøring til midtstilt felt for buss fra rundkjøringene i hver ende av gaten er ikke løst.</li> </ul>    |

Figur 23 viser et utklipp fra reguleringsplanen for området (Trondheim kommune, 2023). Den viser at det er regulert inn rundkjøring i kryss nummer 4. Plankartet viser at rundkjøringen ble regulert i 2016-2017 i forbindelse med regulering av Lade Idrettsanlegg.



**Figur 23 Utklipp fra reguleringsplan (Trondheim kommune, 2023)**

## 3 Teori

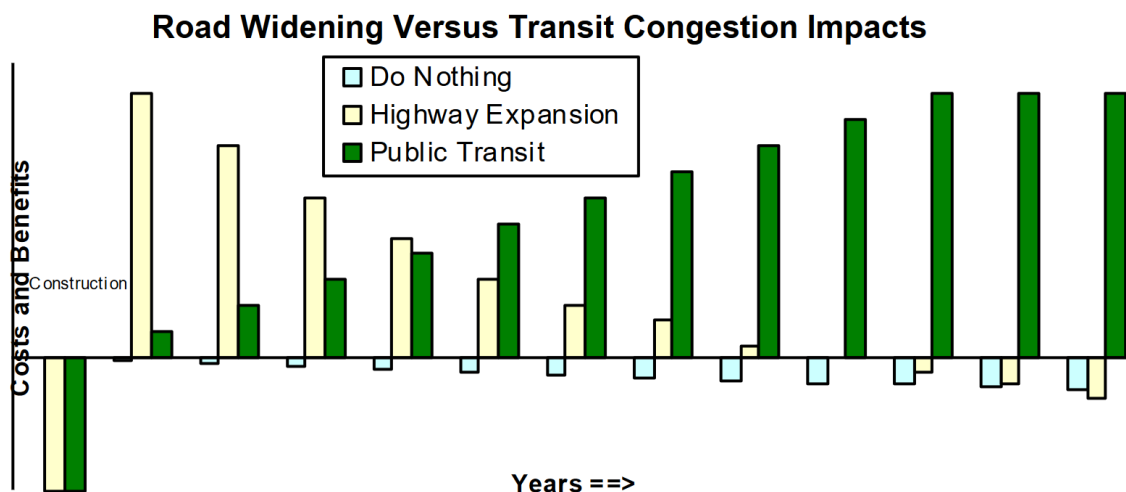
Haakon VII's gate er en kompleks gate med både sykkelveg med fortau, signalregulerte kryss og metabuss. Det er derfor mange interessante temaer kan utforskes. Dette kapitlet inneholder relevant litteratur som kreves for å skape en diskusjon rundt forskningsspørsmålene stilt i masteroppgaven. Artikler og håndbøker som har blitt innhentet i forbindelse med litteratursøket danner grunnlaget for det som er omtalt i kapitlet.

### 3.1 Miljø

#### **Nyskapt trafikk**

I en rapport fra transportøkonomisk institutt diskuterer Strand og medforfattere hvorvidt vegutvidelser fører til generert og nyskapt trafikk (2009). De trekker frem ulike teorier og studier. I kapittel fire diskuterer de om det eksisterer en likevekt mellom hvor mange som velger å kjøre bil og hvor mange som velger kollektivtransport. Hvis forholdene bedres for bilister, for eksempel nytt kjørefelt som skaper mindre kø og dermed redusert reisetid, vil likevekten forskyves slik at flere velger å benytte bil fremfor kollektivtransport. Det refereres blant annet til en rapport (Litman, 2023) som inneholder en figur som illustrerer hvordan dette vil utvikle seg over tid (vist i figur 23). Den tar utgangspunkt i en hovedveg med høy grad av trengsel. Med tiden vil etterspørsel øke som følge av populasjonsvekst, noe som igjen fører til økende kø. Det er da mulig å håndtere dette på tre måter:

1. ingen tiltak (lyseblå søyle)
2. øke den maksimale kapasiteten til veien ved for eksempel å legge til flere kjørefelt (gul søyle)
3. øke kapasiteten for kollektivtransport ved for eksempel lage dedikerte kjørefelt for buss eller bygge ut annen kollektivtransport, for eksempel t-bane som dekker det samme behovet som den aktuelle veistrekningen (grønn søyle).



**Figur 24 Fremtidige kostnader ved ulike tiltak for en veg med kapasitetsutfordringer (Litman, 2023)**

Alternativ 1 vil føre til økte kostnader for samfunnet som følge av gradvis økende kø og forsinkelser. Dette er illustrert ved at den lyseblå søylen som gradvis peker mer nedover etter hvert som man beveger seg mot høyre av tidsaksen.

Alternativ 2 vil føre til økte kostnader initialt, som følge av kostnader av nytt anlegg, men også som følge av omdirigering av trafikk og dermed økte trafikkforsinkelser under byggefasen. Deretter vil det være mindre kø på vegene, noe som fører til besparelser i reisetid og dermed og en reduksjon i kostnader. Imidlertid vil det være minst kø og dermed størst besparelser initialt, men etter hvert vil økende biltrafikk gjøre at det på et senere tidspunkt oppstår kø og trengsel på nytt, noe som igjen påfører samfunnet store kostnader. Blant annet vil en del av den nyskapede trafikken skyldes at forbedret veg gir muligheter til å bosette seg mer spredt. Dette skyldes at reisetid har større betydning for reisevaner enn geografisk avstand målt i meter (Strand *et al.*, 2009). Denne trenden vil fortsette helt frem til det på nytt oppstår kø på vegen og det ikke lenger fremstår attraktivt å bosette seg spredt grunnet lang reisetid. På dette tidspunktet er det likevel slik at mange vil å ha låst seg til å måtte bruke bil. Køen påvirker dermed enn større del av samfunnet. På sikt vil derfor de årlige kostnadene for samfunnet være størst ved alternativ 2. Dette er illustrert i figuren ved at den lysegule søylen peker mest nedover etter hvert som man beveger seg mot høyre på tidsaksen.

Alternativ 3 vil i likhet med alternativ 2 medføre kostnader initialt grunnet nytt anlegg (for eksempel ny t-bane linje eller nytt kjørefelt dedikert til buss) og eventuelt omdirigering av trafikk i forbindelse med utbygging. Deretter vil det ikke påvirke bilkøen særlig mye initialt siden mange uansett kjører bil grunnet preferanser eller bosetningsmønster som allerede var etablert før utbygging. Siden det fortsetter å være kø på vegen vil etter hvert kollektivtransport fremstå som mer attraktivt og bosetningsmønsteret og reisevaner vil påvirkes av dette over lang tid slik at flere bruker kollektivtransport. Dette vil igjen virke positivt på kollektivtransport som grunnet økt etterspørsel har mulighet til å opprette flere avganger. Økt omsetning vil også gi mulighet for lavere billettpris og høyere komfort. Dette vil i sin tur gjøre at enda flere velger å kjøre kollektivt. Som et resultat vil det etter hvert bli færre biler på vegen og køene reduseres. På lang sikt blir det dermed mindre forsinkelser knyttet til transport noe som gir besparelser for samfunnet. Dette er illustrert i figuren ved at den grønne

søylen peker gradvis mer oppover etter hvert som man beveger seg mot høyre av tidsaksen.

## **Byvekstavtaler**

Regjeringen har innført byvekstavtaler med flere av de største byene og byregionene i Norge som et virkemiddel for å oppnå nullvekstmålet. Nullvekstmålet ble revidert i 2020 med at klimagassutslipp, kø, luftforurensning og støy skal reduseres gjennom effektiv arealbruk og ved at veksten i persontransporten skal tas med kollektivtransport, sykling og gange (Statens vegvesen, 2022a).

Det er innført byvekstavtaler for Oslo-området, Bergens-området, Trondheims-området og Nord-Jæren. Staten bidrar med midler til tiltak innenfor kollektiv-, sykkel og gange langs riksveger. I tillegg vil staten bidra med 50% av finansieringen ved utbygging av viktige kollektivtransportprosjekter (Samferdselsdepartementet, 2022).

Byvekstavtalen for Trondheimsområdet ligger til grunn for planlegging av samferdsel i Trondheim i perioden 2019-2029 (Samferdselsdepartementet, 2019). I 2022 bodde det ca. 210 000 mennesker i Trondheim, og befolkningen i Trondheim kommer til å vokse til rundt 236 000 i 2035 og omtrent 254 000 i 2050 ifølge befolkningsprognoser for 2022 (Trondheim kommune, 2022). Dette betyr at det blir flere mennesker som vil benytte seg av et framkomstmiddel i Trondheim i tiden fremover. Fram til 2029 blir det gjennomført flere hundre prosjekter i ulik størrelse i Trondheimområdet (Miljøpakken, 2023). Dette er prosjekter for både myke trafikanter, kollektivreisende og de som benytter persontransport med bil. Av pengene som er benyttet de første ti årene har halvparten blitt brukt til å bygge veg, mens den andre halvparten er fordelt mellom kollektiv, sykkel, trafikksikkerhet, støyskjerming og gåing (Miljøpakken, 2023).

## **Utslipp**

Det er vist at vegutforming påvirker bilers utslipp. I en studie av Mustafa et al. (2022), ble SIDRA brukt til å vurdere effekt av å bytte et signalregulert X-kryss med rundkjøring. De fant en nedgang av utslipp av karbondioksid, nitrogenoksider, karbonmonoksid og hydrokarboner på 13%, 12%, 87% og 90%, henholdsvis, for rundkjøring sammenlignet med signalregulert X-kryss ved rushtrafikk på ettermiddagen. Likevel, utslipp av nitrogenoksider og karbondioksid var størst for rundkjøring ved å simulere trafikkvolum på 125% og 150% av ettermiddagsrushet. Dette viser at resultatet var sensitivt for endring i trafikkvolum. I tillegg skriver forfatterne at geometrien på krysset ikke nødvendigvis er overførbart til andre kryss.

Meneguzzer et al. (2018) utførte feltundersøkelser av utslipp før og etter bytte av ett signalregulert X-kryss med rundkjøring. De brukte en testbil som registrerte eget utslipp, og som kjørte på bensin. De fant at utslipp av karbondioksid og karbonmonoksid var 13% og 26% lavere, henholdsvis, etter bytte til rundkjøring, mens utslipp av nitrogenoksider var 49% høyere. Testbilen kjørte på tomgang 13% av tiden ved signalregulerte X-kryss, mot 1% av tiden i rundkjøring. På den andre siden kjørte testbilen oftere i cruisemodus ved X-kryss sammenlignet med rundkjøring (27% vs. 16% av tiden, henholdsvis).

## 3.2 Kollektiv

### Kollektivprioritering

I boken med tittel «Kollektivtransport; utfordringer, muligheter og løsninger for byområder» er det listet opp flere punkter for å gjøre det enklere for trafikantene å reise kollektiv (Urbanet Analyse, 2017). Et av punktene som er listet opp er kollektivprioritering. De skriver at kollektivprioritering er viktig slik at reisetiden reduseres og at regulariteten bedres. Spesielt er kollektivprioritering viktig i rushtrafikken og for trafikanter som må bytte transportmiddel underveis.

Det er i Statens vegvesen sin håndbok N-V123 Kollektivveiledning, foreslått flere tiltak i vegkryss som har som formål å forbedre framkommeligheten for kollektivtransport (Statens vegvesen, 2022a). Ett av tiltakene er signalprioritering som kan deles inn i aktiv og passiv (Statens vegvesen, 2022a). Tabell 8 viser noen eksempler på de to ulike formene, basert på informasjon fra håndboken (Statens vegvesen, 2022a).

**Tabell 8** Eksempler på aktiv og passiv signalregulering oppsumert i tabell

| <b>Aktiv signalregulering</b>   | <b>Passiv signalregulering</b>  |
|---|---|
| Grønntiden forlenges for busser som nærmer seg krysset  | Kollektivretningene får mer grønntid                                  |
| For å gi tidligere oppstart av fase med grønt for kollektivtransport gjøres de andre fasene kortere                                       | For å redusere ventetid for kollektivtransport er omløpstiden kortere |
| Kollektivtransport kommer oftere inn i signalvekslingen da faserekkefølgen er endret  | Hensynta kollektivtransport ved å samkjøre kryssene (grønn bølge)     |
| Buss får egen kollektivfase   | Kollektivtransport kan ledes forbi øvrig trafikk i samme retning      |
| Man kan benytte selektiv prioritering, altså ulik prioritering av kollektivkjøretøy ut fra for eksempel forsinkelse og antall passasjerer |   |
| Ventetid for fotgjengere vurderes særskilt  |   |

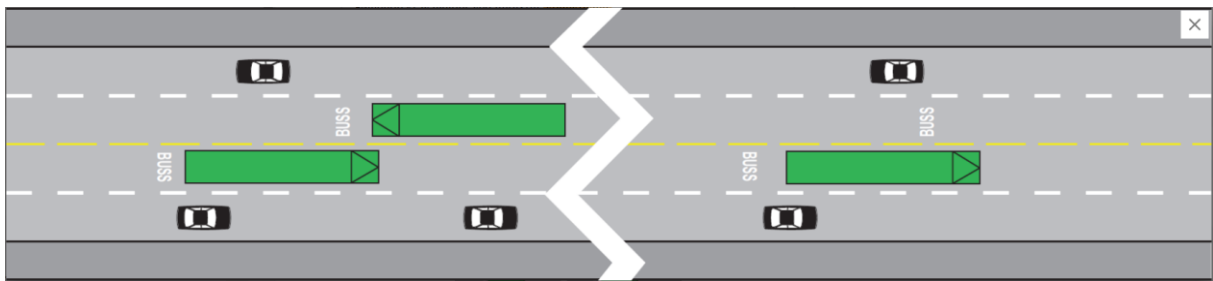


Kollektivfelt er et annet type tiltak som bedrer fremkommelighet for kollektivtransport. Det er kun buss som kan benytte seg av kollektivfeltet med noen unntak der det er tiltatt med taxi sammen med buss. Kollektivfelt er et tiltak som skal gjøre kollektivreiser mer attraktivt ved at reisetiden går ned og blir mer forutsigbar (Statens vegvesen, 2022a).

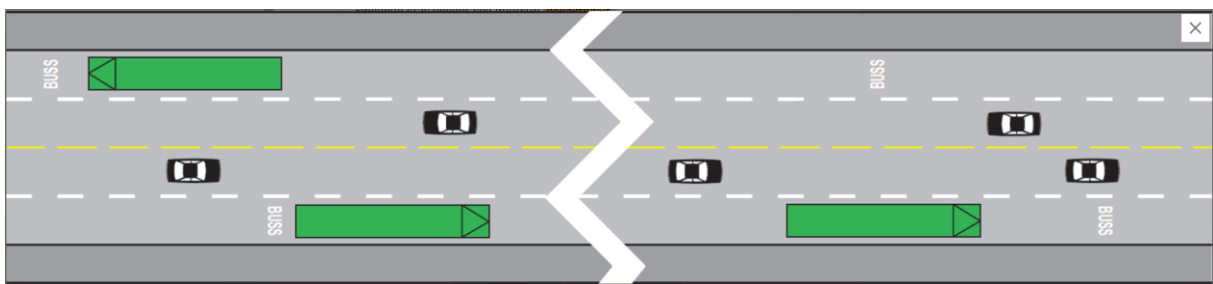
Kollektivfelt anbefales etablert etter retningslinjer gitt i Håndbok N100 Veg- og gateutforming. Retningslinjene kan oppsummeres slik (Statens vegvesen, 2023a):

- Det er eller forventes i maksimaltiden i dimensjoneringsåret 8 eller flere busser i en retning og forsinkelsen er mer enn 1 minutt per kilometer
- Forsinkelsen er mer enn 2 minutter per kilometer, uavhengig av antall busser i maksimaltiden i dimensjoneringsåret
- Sikre et enhetlig og helhetlig system ved et gjennomgående kollektivfelt over en lengre strekning

Kollektivfelt kan etableres både midtstilt (lengst til venstre), og sidestilt (lengst til høyre), som vist på figur 25 og 26, i flerfeltsgater. Det stilles strengere krav til etablering av midtstilt kollektivfelt. Blant annet må kollektivfeltet være sammenhengende i minst 1 km.



**Figur 25 Midtstilt kollektivfelt, (Statens vegvesen, 2023a)**



**Figur 26 Sidestilt kollektivfelt, (Statens vegvesen, 2023a)**

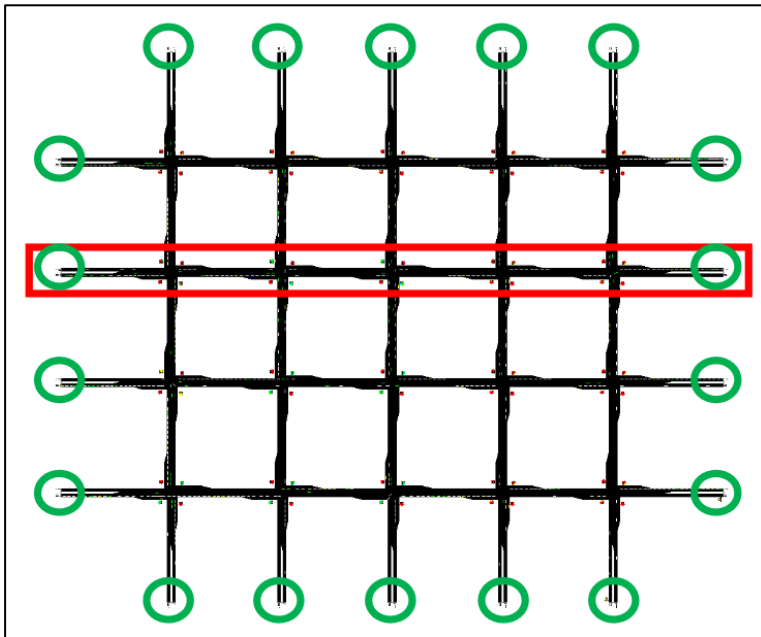
Shalaby et al. (2003) studerte effekten av ulike tiltak for å utbedre kollektivtransport i urbane gater med mye trafikk. De tok utgangspunkt i én bestemt rute som gikk gjennom sentrum av Toronto i Canada. Resultatene fra simuleringsmodellene viste at reisetiden frem og tilbake mellom endestasjonene ble økt fra 117 til 130 minutter hvis prioritering av kollektivtransport i signalanlegg ble fjernet. Videre, innføring av forbud mot venstresving ville redusere total reisetid ned til 102 minutter, til sammenligning ville forbud mot all annen trafikk enn kollektivtransport redusere reisetiden ned til 82 minutter ifølge simuleringsmodellen.

Devitt et al. (2020) studerte hvordan utforming av enkelte vegkryss kunne påvirke hastigheter og forsinkelse av kollektivtransport. De samlet inn data fra 100 forskjellige vegkryss i Toronto, Canada, og sorterte disse blant annet etter geometrisk utforming, antall kjørefelt og plassering av busstopp. De fant at T-kryss generelt hadde høyere

hastigheter og mindre forsinkelse for kollektivtransport. For X-kryss, fant de at kollektivtransport beveget seg raskere i kryss med lav andel høyre- og/eller venstresvingende, og forfatterne diskuterte at begrensning av svingebevegelser kan være et aktuelt tiltak for å redusere reisetid for kollektivtransport.

### 3.3 Trafikkavvikling

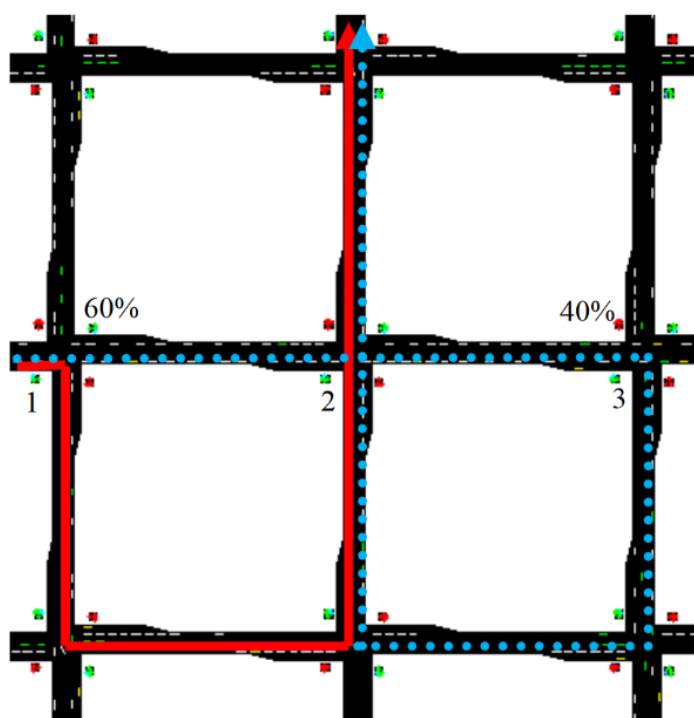
Hajbabaie et al. (2010) simulerte hvordan forbud mot venstresving langs en hovedveg påvirker den totale kapasiteten i et virtuelt urbant nettverk med koordinerte lysregulerte X-kryss. Hovedvegen som fikk forbud mot venstresving, er markert med rødt rektangel i figuren under som er hentet fra artikkelen.



**Figur 27 Oversikt over virtuelt nettverk i studien til Hajbabaie et al. (2010)**

Innkjøringspunkter er markert med grønn sirkel i figur 27. Antall innkjøringer er satt til 500 biler i timen fra innkjøringspunktene som er øverst og nederst i figuren. For innkjøringspunktene på hver side av figuren kommer det 900 biler i timen, bortsett fra langs hovedvegen hvor antallet er satt til 1100 biler i timen. Hver gate har ett felt i kjøreretningen. Alle X-kryssene i hele nettverket er identisk utformet med en 65 meter lang lomme for venstresvingende og 45 meter lang lomme for høyresvingende. Avstanden mellom kryssene er 150 meter. Forfatterne definerte at 5% av alle biler svinger til venstre, 10% svinger til høyre, og 85% kjører rett frem.

Ved forbud mot venstresving må biler som ønsker å svinge til venstre langs hovedvegen enten svinge til høyre ett kvartal før, deretter til venstre, og deretter til venstre på nytt; eller svinge til høyre et kvartal senere, deretter til høyre, og deretter til høyre på nytt. Dette er vist med rød og blå linje, henholdsvis, i figur 28 som er hentet fra studien.



**Figur 28 Omveg for trafikk som forbyr svingebevegelse (Hajbabaie et al., 2010)**

Forfatterne fordelte 60% av de venstresvingene på den røde ruten, og 40% på den blå.

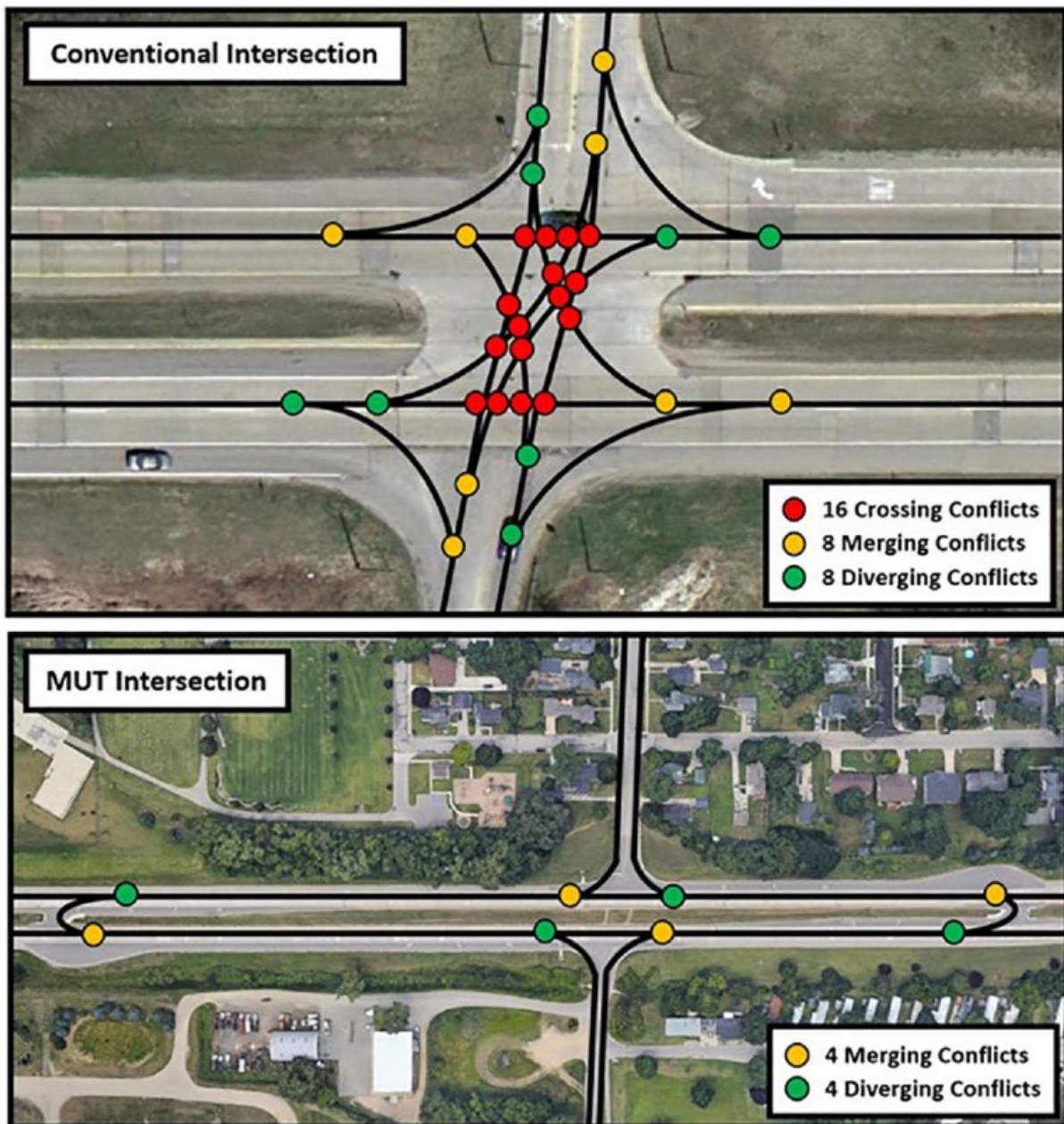
I scenarioet med forbud mot venstresving langs hovedvegen består signalreguleringen av 3-faser i stedet for 4-faser. Det vil dermed oftere være grønt lys for trafikk som skal rett frem ved forbud mot venstresving. Likevel, trafikk som skal svinge til venstre må kjøre lengere og vil bidra til å øke trafikken, og dermed forsinkelsen for annen trafikk, på omvegen de kjører.

Simuleringen viser imidlertid at forbud mot venstresving langs hovedvegen øker den totale kapasiteten i hele nettverket med 9%. I tillegg, reduseres gjennomsnittlig forsinkelse per kjøretøy med 3 %, sammenlignet med tillatt venstresving langs hovedvegen (Hajbabaie et al., 2010).

I en studie av Hallmark et al. (2010) vurderte forfatterne muligheter for å forbedre trafikkflyten på en rett vegstrekning med 5 påfølgende koordinerte lysregulerte X-kryss i Louisiana, Texas, USA. Avstanden mellom kryssene var: 320 meter, 480 meter, 770 meter og 400 meter, og fartsgrensen var 80 km/t. De undersøkte to alternative løsninger for det tredje krysset på strekningen, ettersom dette krysset hadde størst forsinkelser (opp mot 207 sekunder i gjennomsnitt ved rushtrafikk). Utvidelse av X-krysset med et ekstra felt for venstresvingene i alle retninger ble sammenlignet med å konvertere X-krysset til en 2-felts rundkjøring. Forfatterne påpeker at rundkjøringer og signalregulerte X-kryss har forskjellig effekt på trafikken. Mens signalregulerte lyskryss samler trafikken i kolonner, har rundkjøringer en tendens til å gjøre det motsatte, dvs. spre trafikken. Likevel viste det seg at begge løsningene reduserte forsinkelser tilnærmet like mye ved simulering i trafikksimuleringsprogrammet Vissim (Hallmark et al., 2010).

### 3.4 Trafikksikkerhet

Esaway et al. har gjort en litteraturgjennomgang på trafikksikkerheten ved bruk av alternative vegkryss (2023). Studier av antall ulykker gir indikasjoner på at alternative vegkryss har bedre trafikksikkerhet sammenlignet med tradisjonelle vegkryss, men forfatterne understreker samtidig at materiale er for lite, og studiekvaliteten er for lav, til å konkludere. En av studiene inkludert i denne gjennomgangen, har vurdert effekt av å innføre forbud mot venstresving kombinert med senere u-sving i vegkryss som ikke er signalregulert i den amerikanske delstaten Michigan (Kay et al., 2022). Totalt 83 tradisjonelle vegkryss ble sammenlignet med 39 kryss med den nye løsningen. De fant en nedgang på 68% i antall sidekollisjoner per kjøretøy for den nye løsningen med u-sving. Forfatterne relaterer dette til opphør av kryssende konflikt punkter som vist i figur 29 som er hentet fra denne studien.



Figur 29 Konfliktpunkter ved vanlig X-kryss versus alternativ kryssløsning (Kay et al., 2022)

Trafikksikkerheten til rundkjøringer ble sammenlignet med tradisjonelle kryss i en meta-analyse som inkluderer 44 studier fra perioden 1975-2014 (Elvik, 2017). Overordnet ble det funnet en 60% reduksjon i dødelige trafikkulykker, og 40% reduksjon ulykker med personskaade, i rundkjøringer sammenlignet med tradisjonelle kryss. Forfatteren relaterer dette blant annet til lavere inngangsfart i rundkjøringer sammenlignet med tradisjonelle vegkryss (Elvik, 2017).

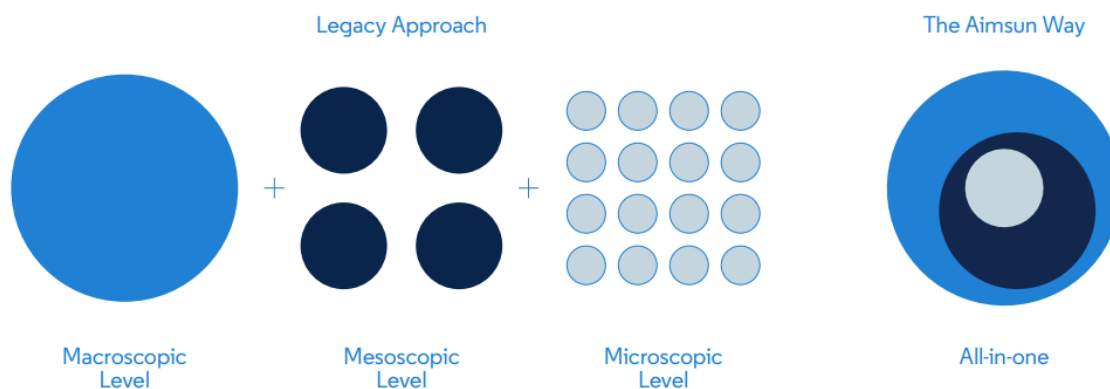
### 3.5 Programvare

Trafikksimulering er et verktøy for å analysere og eksperimentere med ulike former for trafikkregulering og geometrisk utforminger av veger. Simuleringsprogrammer blir brukt til dette formålet. Aimsun Next, SIDRA og Vissim er tre eksempler på slike programmer. Disse består av en datamodell som skal etterligne trafikk i virkeligheten. Simulering har flere fordeler ovenfor feltundersøkelser; mindre kostbart, raskere, og det unngår å forstyrre trafikken.

#### 3.5.1 Aimsun Next 22

Aimsun Next 22 (heretter kalt Aimsun) er et lisensbasert trafikksimuleringsprogram. Aimsun er i dag en del av Yunex Traffic Group som er en global leverandør av intelligente trafikksystemer (Yunex traffic, 2023). I programmet kan man simulere alt fra enkle kryss til store nettverk av kryss og veger som inkluderer kollektivtransport og myke trafikkanter (Statens vegvesen, 2022b). Dette gjør Aimsun til et effektivt og fleksibelt hjelpemiddel for å teste ut ulike løsninger i et prosjekt.

I programmet kan man gjøre analyser i ulike detaljnivåer; mikroskopisk-, mesoskopisk- og makroskopisk-nivå. I tillegg kan man benytte hybridmodeller som kombinerer disse detaljnivåene. Dette er vist på figur 30 som er hentet fra Aimsun sin hjemmeside. Alle modellene er en forenkling av virkeligheten.



**Figur 30 Detaljnivå simulering (Aimsun, 2021)**

**Mikroskopisk nivå:** Dette nivået har høyeste grad av detaljnivå, illustrert i figur 30 ved et høyere antall sirkler. I en mikrosimulering vil kjøretøyene modelleres enkeltvis. Dette inkluderer også gående og syklende. Mikrosimuleringer er stokastiske. I en stokastisk modell kan resultatene variere, dette på grunn av at det er en matematisk trafikkmodell som genererer tilfeldige tall for minst en parameter (Aimsun, 2023). Dette betyr at det må gjennomføres flere simuleringer for å få et stabilt resultat som vil være gjennomsnittet av resultatene fra hver simulering (Dowling, Skabardonis and Alexiadis, 2004).

**Mesoskopisk nivå:** Fra figur 30 ser man at mesoskopiske modeller ligger mellom makro- og mikromodeller i detaljnivå. I dette nivået vil man se på kjøretøyene i grupper i stedet for enkeltvis, slik at det gir ikke mulighet for animering av simuleringen (Statens vegvesen, 2022b).

**Makroskopisk nivå:** Modellen som har det laveste detaljnivået er makroskopiske modeller. Her ser man på trafikkstrømmer, og ikke hvert enkelt kjøretøy eller grupper av kjøretøy. Det er gjennomsnittlige verdier for førerens atferd som trafikkstrømmene baseres på (Statens vegvesen, 2022b).

**Hybridmodeller:** Hybridmodeller kombinerer både mikro- og mesonivå eller meso- og makronivå (Aimsun, 2021). Aimsun gir dermed mulighet til å simulere alle tre nivåer, og kombinere ulike nivåer med hverandre, som vist på figur 30. Da kan man modellere store områder med høyt detaljnivå.

Aimsun har en egen terminologi på de ulike vegelementene i programmet. Trafikkmodellen bygges opp av seksjoner, noder, detektorer, trafikkmengder, fotgjengere, kollektivlinjer og kjøretøy (Statens vegvesen, 2022b). Aimsun har et eget nettsted for opplæring av nye brukere, og innholdet nedenfor er basert på dette (Aimsun, 2022d).

### **Seksjoner:**

Seksjoner er vegstrekninger med samme kjøreretning. Antall filer kan redigeres, men filene i samme seksjon må ha identisk bredde. Hver fil kan tildeles forskjellige funksjoner som for eksempel kollektivfelt. Lengde på kollektivfelt kan redigeres og plasseres hvor som helst langs seksjonen. Det er mulig å legge til svingefelt med valgfri lengde på slutten av en seksjon. Seksjoner med lik bredde kan kobles sammen til én seksjon. Fartsgrenser er egenskaper ved seksjoner og kan ikke forandres underveis i samme seksjon. Derimot kan en seksjon kuttes til mindre seksjoner som henger sammen. På denne måten kan en vegstrekning tegnes forskjellige fartsgrenser.

### **Noder:**

Noder brukes til å koble sammen seksjoner med ulik bredde for eksempel i et vegkryss, rundkjøring eller ved breddeforøkelse av vegen. Under egenskaper til hver node er det mulig å redigere hvilke svingebevegelser som er tillatt. Her defineres også hvilke svingebevegelser som har vikeplikt. En annen funksjon til noder er å konstruere faseplan i signalregulerte kryss. Sammen definerer noder og seksjoner den geometriske utformingen av et vegnettverk.

### **Detektorer:**

Detektorer kan plasseres i kjørefelt og svingebevegelser. Disse kan være med å regulere signalfaser og bussprioritering i signalanlegg, eller brukes til å samle resultater tilknyttet et valgfritt punkt i vegnettverket.

### **Trafikkmengder:**

Det finnes to måter å definere trafikkmengde i et nettverk. Det ene alternativet er å bruke OD-matriser og sentroider. OD-matriser står for opprinnelse og destinasjon («origin and destination» på engelsk). Ved å bruke denne metoden vil opprinnelse og destinasjon være definert for hvert enkelt kjøretøy i simuleringen. Kjøretøyet vil deretter velge den korteste vegen mellom disse. Sentroider er navnet på elementer som brukes til

å identifisere opprinnelse og destinasjon i programmet. I praksis er sentroider koblet til løse endestykker på seksjoner. I egne matriser angis antall kjøretøy for hver kombinasjon av opprinnelse og destinasjon.

Den andre måten å definere trafikkmengder på er «traffic states». I motsetning til OD-matriser defineres bare opprinnelse for kjøretøy i nettverket. Trafikken styres deretter ved å definere sannsynligheten for hver svingebevegelse i nettverket. Det siste gjør Aimsun automatisk hvis man oppgir antall kjøretøy som utfører hver svingebevegelse.

### **Fotgjengere:**

Det finnes to måter å simulere fotgjengere. En av metodene er å konstruere et kjøretøy med utgangspunkt i alternativet «fotgjenger». Deretter kan seksjoner konstrueres på samme måte som for bilveger og tilegnes egenskaper som et fortau. Fotgjengere vil i praksis være definert som kjøretøy og det er derfor nødvendig å spesifisere at annen trafikk har vikeplikt ved gangfelt som ikke er signalregulerte.

Det andre alternativet er å definere et område som fotgjengere kan bevege seg innenfor. Deretter konstrueres innganger og utganger innenfor dette området. Deretter bestemmes antall fotgjengere i egne inngang- og utgang-matriser (lik OD-matriser for kjøretøy). Fotgjengere vil deretter velge korteste veg mellom disse.

For begge alternativer er gangfelt nødvendig for at fotgjengere krysser vegen på bakkeplan. Gangfelt kan bare konstrueres i tilknytning til noder. Det er likevel mulig å lage et gangfelt utenfor vegkryss ved å beskjære en seksjon i to deler, deretter lage et lite mellomrom mellom disse. Dette mellomrommet erstattes med en node. Denne noden har kun én svingebevegelse; rett frem, og den får dermed ingen konsekvenser for trafikken som kjører gjennom.

### **Kollektivlinjer («transit lines» på engelsk):**

Det er mulig å legge inn ruter for kollektivtransport med tilhørende bussholdeplasser. Antall avganger i timen og gjennomsnittlig varighet av stopp på bussholdeplass kan redigeres.

### **Kjøretøy:**

Kjøretøy brukes for å konstruere kjøretøygrupper. Det finnes flere forskjellige alternativer; forgjenger, bil, motorsykkel, buss og lastebil (ikke uttømmende). Med utgangspunkt i disse gruppene er det mulig å konstruere et valgfritt antall kjøretøy med egendefinerte navn hvor blant annet lengde, bredde, drivstoff og euroklasser kan defineres mer inngående.

For hver av de egendefinerte kjøretøyene er det mulig å konstruere OD-matriser eller traffic states.

Kjøretøyene blir programmert med ulik adferd ut fra; «Car-following model» (bilfølge) og «Lane -changing model» (feltskifte), i tillegg til modell for «Gap- Acceptance model» (tidsluke). Modellene er viktig for å få et simuleringsresultat som samsvarer mest mulig med virkeligheten.

### **Car- Following Model:**

I 1981 publiserte Peter G. Gipps en artikkel som omhandler en matematisk modell som beskriver en sjåfør sin adferd i en trafikkstrøm/bilfølge, kalt The Gipps model (Gipps,

1981). Aimsun benytter en videreutviklet versjon av The Gipps model, der de blant annet har inkludert kryssgeometri, sjåførenes forhold til fartsgrense og kjøretøy i sideliggende felt. Akselerasjon og retardasjon er to komponenter som modellen består av. Akselerasjon representerer et kjøretøys ønske om en viss hastighet og retardasjon representerer begrensningene gitt av foregående kjøretøy (Aimsun, 2022b)

### **Lane- Changing Model:**

Feltskiftemodellen i Aimsun er en videreutvikling av The Gipps lane-changing model (Aimsun, 2022b). En sjåfør må ta ulike beslutninger før gjennomføring av et feltbytte. Peter G. Gipps sin modell omhandler med en struktur for å koble beslutningene sammen (Gipps, 1986). Feltskiftemodellen stiller hvert kjøretøy følgende tre spørsmål (oversatt til norsk):

- Er feltskifte nødvendig?
- Er feltskifte ønskelig?
- Er feltskifte mulig?

Hvert spørsmål har flere avhengigheter. For eksempel vil avstanden til neste kryss være en faktor for nødvendigheten av et feltskifte (Aimsun, 2022b).

### **Gap- Acceptance Model:**

For å modellere vikepliktsadferd har Aimsun en egen modell kalt Gap- Acceptance model (tidslukemodell på norsk). Modellen bestemmer om et kjøretøy som ankommer et kryss kan kjøre eller ikke, avhenger av andre kjøretøy som har høyere prioritering i krysset. Gitt et hypotetisk kollisjonspunkt hensyntar modellen avstanden fra kjøretøyene til dette punktet, i tillegg til hastigheten og akselerasjonsraten. Deretter bestemmes den tiden kjøretøyet trenger for å kjøre gjennom krysset og en beslutning som inkluderer risikonivået for hver sjåfør (Aimsun, 2022b).

### **Utslipp:**

Aimsun har tre forskjellige modeller for utslipp. Disse er beskrevet nærmere i tabell 9 som oppsummerer det som står i brukerhåndboken til Aimsun (Aimsun, 2022a).



**Tabell 9 Estimering av utslipp i Aimsun (Aimsun, 2022a)**

| Modell                         | QUARTET Pollutant Emission Model  | Panis et al. Pollutant Emission Model  | London Emission Model  |
|--------------------------------|---|--|--|
| Utgivelsesår                   | 1992  | 2006   | 2017   |
| Utslippstype                   | Karbonmonoksid, nitrogenoksider (NO <sub>x</sub> ), ubrente hydrokarboner   | Karbondioksid (CO <sub>2</sub> ), NO <sub>x</sub> , flyktige organiske forbindelser, svevestøv   | CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>  |
| Kjøretøygrupper                | Bil, buss, lastebil/trailer   | Bil, buss, lastebil/trailer  | Bil, buss, lastebil/ trailer   |
| Drivstofftype                  | Bensin, diesel, flytende petroleumsgass, elektrisitet   | Bensin, diesel, flytende petroleumsgass, elektrisitet  | Bensin, diesel, elektrisitet   |
| Inngangsparametere             | Fordeling av kjøretøygrupper.<br><br>Fordeling av drivstofftype for hver kjøretøygruppe.  | Fordeling av kjøretøygrupper.<br><br>Fordeling av drivstofftype for hver kjøretøygruppe.   | Fordeling av kjøretøygrupper.<br><br>Fordeling av drivstofftype for hver kjøretøygruppe.   |
| Metode for å estimere utslipp. | <p>Tabeller.</p> <p>Én tabell for hver kombinasjon av kjøretøysklasse og drivstofftype.</p> <p>Hver tabell inneholder:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utslippsrate ved akselerasjon (g/s)</li> <li>- Utslippsrate ved deakselerasjon (g/s)</li> <li>- Utslippsrate ved tomgang (g/s)</li> <li>- Utslippsrate ved cruisemodus (g/s), hvor utslipp ved forskjellige hastigheter inngår, i tillegg til prosentvis endring i utslipp ved forskjellige helningsgrader.</li> </ul> <p>Tabellene finnes ikke i programvaren fra før og må derfor legges inn manuelt.</p> <p>Aimsun har en tabell over utslipp fra bensinbiler i deres brukerhåndbok, ellers mangler andre kombinasjoner av drivstofftype og kjøretøygrupper.</p> | <p>Formel.</p> $u(t) = k_1 + k_2 \cdot v(t) + k_3 \cdot v(t)^2 + k_4 \cdot a(t) + k_5 \cdot a(t)^2 + k_6 \cdot v(t) \cdot a(t)$ <p>u(t): momentan utslipp (g/s)<br/>v(t): momentan fart (m/s)<br/>a(t): momentan akselerasjon (m/s<sup>2</sup>)<br/>k<sub>1-6</sub>: regresjonskoeffisienter</p> <p>Standardverdier for regresjonskoeffisientene finnes allerede i programvaren og er hentet fra studien til Panis et al. (2006) som baserer seg på målinger fra forskjellige kjøretøy i perioden 1994-2003.</p> <p>Regresjonskoeffisientene er unike for hver kombinasjon av kjøretøygruppe og drivstofftype.</p> <p>Regresjonskoeffisientene er redigerbare.</p> | <p>Formler.</p> <p>i) <math>u(t) = k_1 + k_2 \cdot v(t)</math><br/>ii) <math>u(t) = k_3 + k_4 \cdot v(t) + k_5 \cdot v(t)^2 + k_6 \cdot v(t)^3</math></p> <p>u(t): utslipp per seksjon (g/km)<br/>v(t): gjennomsnittsfart per seksjon (km/t)<br/>k<sub>1-6</sub>: regresjonskoeffisienter</p> <p>Formel i) brukes når gjennomsnittsfart per seksjon er &lt;10 km/t.<br/>Formel ii) brukes når gjennomsnittsfart per seksjon er ≥10 km/t.</p> <p>Standardverdier for regresjonskoeffisientene finnes allerede i programvaren og baserer seg på målinger fra forskjellige kjøretøy i urban trafikk i London i 2017.</p> <p>Regresjonskoeffisientene er unike for hver mulig kombinasjon av kjøretøygruppe, drivstofftype, og euroklasse.</p> |

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  |  |  | Regresjonskoeffisientene er ikke mulig å redigere  |
| Metode for å estimere utslipp under simulering | Utslipp estimeres enkeltvis for hvert kjøretøy på bakgrunn av deres totale kjøretid i tomgang, akselerasjon, deakselerasjon og cruisemodus, hvorav utslipp ved cruisemodus påvirkes av fart og helningsgrad. | Utslipp estimeres enkeltvis for hvert kjøretøy på bakgrunn av deres momentane fart og momentane akselerasjon. All momentan utslipp legges til slutt sammen for å finne total utslipp per kjøretøy. | Utslipp estimeres enkeltvis for hvert kjøretøy på bakgrunn av deres gjennomsnittsfart per seksjon. Utslipp for alle seksjoner som hvert kjøretøy har tilbakelagt legges sammen for å finne total utslipp per kjøretøy. |

### Drivstoff:

For å beregne forbruk av drivstoff bruker Aimsun «Fuel consumption model» (Aimsun, 2022a). Modellen beregner forbruk av drivstoff på bakgrunn av hvor lenge et kjøretøy har kjørt i tomgang, deakselerasjon, akselerasjon og konstant fart. Forbruk ved tomgang og deakselerasjon er antatt å være konstant. Forbruk ved akselerasjon er gitt av formelen:

$$F_a = C_1 + C_2 \cdot v \cdot a$$

$F_a$ : forbruk ved akselerasjon (ml/s)  
 $C_1$ : første koeffisient (ml/s)  
 $C_2$ : andre koeffisient (ml · s<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)  
 $v$ : fart (m/s)  
 $a$ : akselerasjon (m/s<sup>2</sup>)

Forbruk ved konstant fart er gitt av formelen:

$$F_k = K_1 \cdot \left( \frac{v^3}{2 \cdot V_m^3} \right) + K_2 \cdot v$$

$F_k$ : forbruk ved konstant fart (ml/s)  
 $K_1$ : første koeffisient (ml/s)  
 $K_2$ : andre koeffisient (ml/m)  
 $v$ : fart (m/s)  
 $V_m$ : fart som gir lavest forbruk av drivstoff (m/s)

Aimsun bruker gjennomsnittlig utslipp i liter per 100 km ved to forskjellige hastigheter, 90 km/t og 120 km/t, og fart som gir lavest utslipp, til å beregne første og andre koeffisient. Gjennomsnittlig utslipp i liter per 100 km ved de to forskjellige hastighetene, og fart som gir lavest forbruk, må legges inn manuelt. I tillegg må utslipp ved tomgang og deakselerasjon legges inn, i tillegg til første og andre koeffisient i formelen for akselerasjon. I brukerhåndboken til Aimsun gis det eksempler på slike verdier for bensinbiler (Aimsun, 2022a).

## Replikasjoner:

I Aimsun svarer én simulering til én replikasjon. Resultater i hver replikasjon vil variere noe mellom replikasjoner. Dette skyldes at hver replikasjon styres av en iboende tilfeldighet (Aimsun, 2023). For eksempel, hvis vi definerer at 600 biler kommer inn i en rundkjøring fra sør i løpet av en time vil det være tilfeldig når disse bilene dukker opp. De vil altså ikke fordels perfekt slik at det kommer én bil hvert sjette sekund. I stedet vil det komme klynger med biler eller lengre pauser mellom hver bil. På samme måte vil svingebevegelser, størrelse på bilene og drivstofftype variere tilfeldig innenfor sannsynligheter som er definert av brukeren.

Hvis en ønsker stabile resultater, er det derfor nødvendig å gjenta replikasjoner flere ganger og deretter ta gjennomsnittet av disse. Antall replikasjoner må bestemmes av brukeren. Det har vært tradisjon for å beregne hvor mange replikasjoner som er nødvendig (Dowling, Skabardonis and Alexiadis, 2004). Et gjennomsnitt av 100 replikasjoner vil være mer stabilt enn et gjennomsnitt av 10 replikasjoner hvis simuleringen ellers er identisk satt opp. Det vil si at hvis en prøver å reprodusere gjennomsnittet fra 100 replikasjoner med 100 nye replikasjoner, vil det nye gjennomsnittet som regel være nærmere gjennomsnittet som ble funnet originalt, sammenlignet med et tilsvarende forsøk på å reprodusere gjennomsnittet fra 10 replikasjoner med 10 nye replikasjoner.

Hvor stabilt gjennomsnittet er og dermed hvor mange replikasjoner som trengs, styres også av iboende variasjonen mellom hver replikasjon. Hvis det er stor variasjon, det vil si stor forskjell i resultat mellom hver replikasjon, gir det også et mer ustabil gjennomsnitt. Standardavvik er et mål på hvor store forskjeller det er mellom hver replikasjon og formelen er gitt under:

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

*s: standardavvik*

*x<sub>i</sub>: resultat i hver replikasjon*

*$\bar{x}$ : gjennomsnittet av alle replikasjoner*

*N: antall replikasjoner*

Standardavvik kan fortolkes som den gjennomsnittlige forskjellen mellom resultatet i hver replikasjon og gjennomsnittet av alle replikasjonene. Standardavviket for resultatet er ikke kjent for brukeren i forkant av en simulering. På samme måte som gjennomsnittet blir mer stabilt jo flere replikasjoner som kjøres blir også standardavviket mer stabilt med høyere antall replikasjoner. Tradisjonelt sett har det vært vanlig å gjennomføre 10 replikasjoner slik at det er mulig å beregne standardavvik (Dowling, Skabardonis and Alexiadis, 2004). Deretter brukes dette standardavviket til å beregne hvor mange replikasjoner som trengs for å oppnå en valgfri bredde på et konfidensintervall med et valgfritt konfidensnivå (det vil si sannsynligheten for at gjennomsnittet havner innenfor intervallet hvis en ny runde med like mange replikasjoner ble gjennomført).

Til dette brukes blant annet Students t-verdi, som kan kalkuleres ved hjelp av tabeller på internett (Atozmath, 2023). Formelen for å finne bredde på konfidensintervall er gitt under (Dowling, Skabardonis and Alexiadis, 2004):

$$CI_{1-\alpha} = 2 * t_{1-\alpha/2, N-1} * \frac{s}{\sqrt{N}}$$

$CI_{1-\alpha}$ : bredde på konfidensintervall med konfidensnivå lik  $1 - \alpha$

$\alpha$ : sannsynlighet for gjennosnittet havner utenfor konfidensintervallet ved nytt eksperiment med like mange replikasjoner

$t_{1-\frac{\alpha}{2}, N-1}$ : Students  $t$  – verdi med signifikanslevel lik  $\frac{\alpha}{2}$  og  $N - 1$  grader frihet

$N$ : antall replikasjoner

$s$ : standardavvik

## Resultater

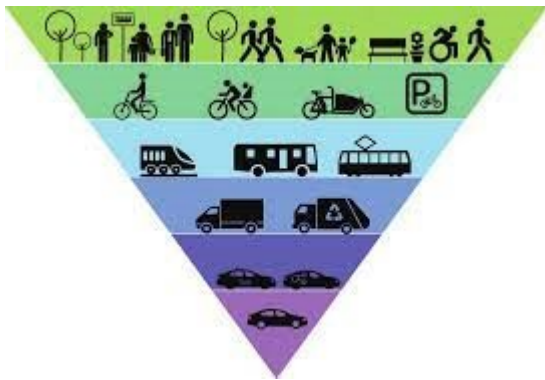
Aimsun presenterer oppsummerende resultater for hele nettverket fordelt på type kjøretøy (Aimsun, 2022c). I tillegg er det mulig å få resultater separat for de ulike komponentene som utgjør nettverket (blant annet for seksjoner, svingebevegelser og kollektivruter), samt for detektorer og egendefinerte strekninger (fordelt på type kjøretøy). Vedlegg A inneholder en oversikt over hvilke resultater som er tilgjengelig for utvalgte elementer når trafikkmengden er definert med "traffic states" (Aimsun, 2022c). I praksis er det mulig å konstruere flere resultater enn det som er vist her. For eksempel er total stopptid ikke inkludert som mulig resultat for hele nettverket, men kan enkelt beregnes manuelt ved å multiplisere gjennomsnittlig stopptid per km med total reisedistanse i km.

## 4 Nytt konsept

Dette kapitlet beskriver det nye konseptet som skal testes ut og evalueres i denne masteroppgaven.

### 4.1 Begrunnelse for valg av konsept

I 2020 vedtok bystyret i Trondheim en byutviklingsstrategi for areal- og transportutvikling fram mot 2050 (Trondheim kommune, 2020). Mobilitet og transportstrategien bygger på nullvekstmålet. Mobilitetstilbudet skal opprettholdes eller forbedres, og bruken av persontransport med bil skal reduseres. Man skal legge til rette for at det blir lettere å velge gange, sykkel og kollektiv. I sentrum, og lokale sentrum som Lade, skal gående, syklende, kollektivreisende og annen nødvendig transport prioritert høyest. Dette blir ofte visuelt fremvist i form av en prioriteringspyramide som vist på **Feil! Fant ikke referanseikilden.** figur 31, som er hentet fra rapporten.



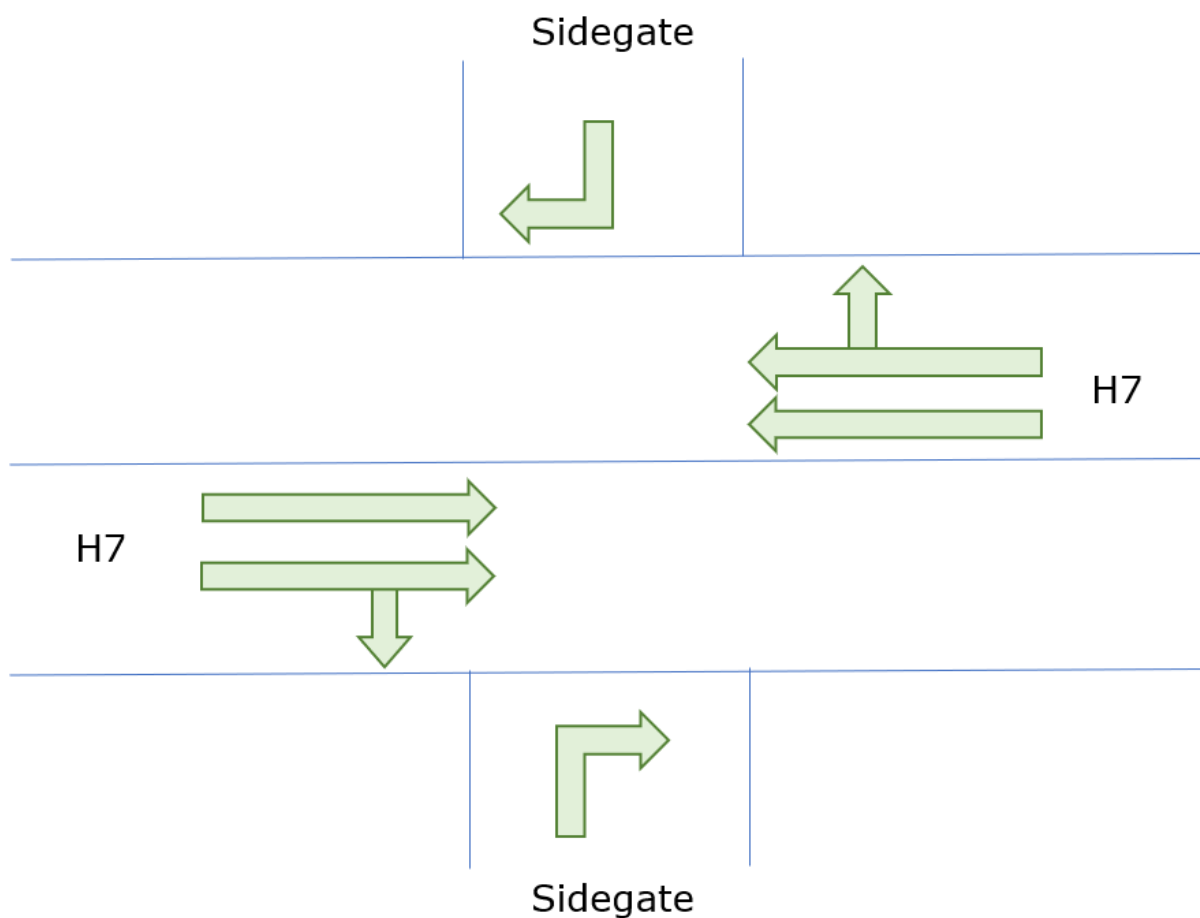
**Figur 31 Prioriteringspyramide (Trondheim kommune, 2020)**

Tiltaket som er foreslått i denne masteroppgaven er ikke fullstendig i tråd med prioriteringspyramiden, eller Trondheim kommune sin byutviklingsstrategi. Den alternative løsningen har som mål å bedre trafikkavviklingen langs strekningen, for både kollektivtransport og personbiler. Nytt tiltak vil ikke gjøre det dårligere for gående og syklende, da de beholder eksisterende tilbud. De fleste prosjekt har som mål å få flere til å reise kollektivt eller ved gange og sykkel, ofte gjennom et tiltak som skal gjøre det vanskeligere å velge persontransport med bil som for eksempel fjerne kjørefelt til fordel for kollektivfelt eller sykkelfelt, eller bompenger. Denne masteroppgaven vil dermed se på trafikkavviklingsproblemet fra en annen vinkel, der målet er å sikre et godt tilbud for alle trafikantergrupper.

## 4.2 Beskrivelse av alternativ løsning

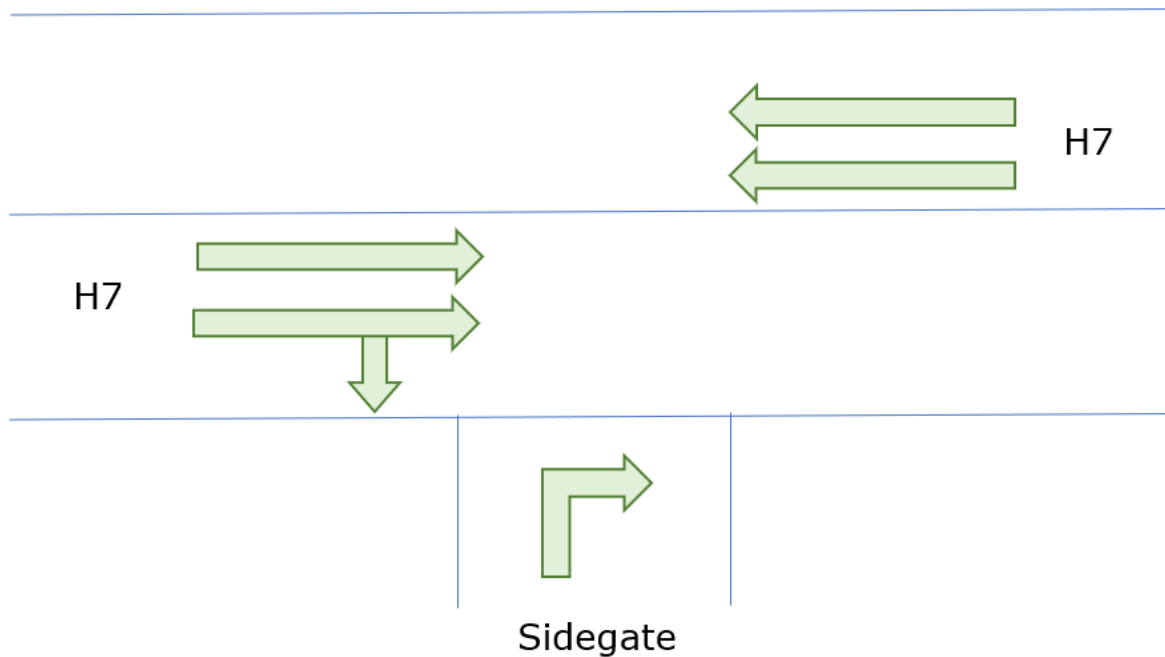
Ved hjelp av Aimsun kan man teste flere alternative løsninger for Haakon VII's gate for å se hva som fungerer best. I enighet med veileder ble masteroppgaven begrenset til å omfatte én alternativ løsning. Den alternative løsningen består i å fjerne all signalregulering ved kryss 2-7. Gangfelt som tidligere var signalregulert byttes ut med å bli regulert med vanlig vikeplikt for kjøretøy. I tillegg innføres forkjørsrett og forbud mot venstresving langs Haakon VII's gate, og påbud om høyresving fra sidegater. Videre etableres en rundkjøring i kryss nummer 4. I tillegg vil kollektivfeltet fjernes, da det antas at ny løsning skaper så god trafikkflyt at det ikke lenger er behov for kollektivfelt. Det blir benyttet trafikkmengdene fra videoregistrering som inngangsdata i modellen. Det antas at det ikke vil være en årlig økning i trafikkmengden i tråd med nullvekstmålet.

Tillatte svingebevegelser i X-kryss ved alternativ løsning er illustrert i figur 32.



**Figur 32 Svingebevegelser i X-kryss ved alternativ løsning**

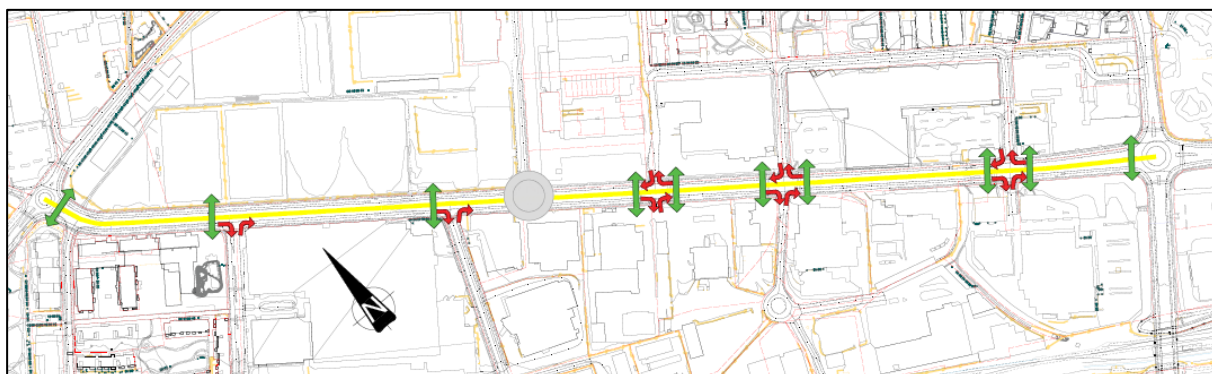
Tillatte svingebevegelser i T-kryss ved alternativ løsning er illustrert i figur 33.



**Figur 33 Svingebevegelser i T-kryss ved alternativ løsning**

Som figur 32 og 33 illustrerer vil høyre felt langs Haakon VII's gate kunne brukes til å svinge til høyre eller rett frem, mens venstre felt er forbeholdt trafikk som kjører rett frem. Fra sidegatene er det bare mulig å svinge til høyre.

Det er laget en konseptskisse med inspirasjon fra Trøndelag fylkeskommune sine konseptskisser, som vist i figur 34. Vedlegg B viser skisse av konseptet i A3-format. Grønn pil symboliserer gangfelt og rød bil symboliserer tillatt svingebevegelse.



**Figur 34 Konseptskisse**

### **Begrunnelse for valg av konsept:**

Målet med den alternative løsningen er at reisetiden reduseres for både personbiler og kollektivtransport. I tillegg, vil fotgjengere slippe å vente på grønt lys for å krysse vegen og dermed spare reisetid. For metrobussen og annen trafikk som skal rett frem vil det i praksis alltid være "grønn bølge", bortsett fra når fotgjengere skal krysse vegen. Likevel, dette vil gå på bekostning av fleksibiliteten for kjøretøy som skal svinge ut og inn av sidegatene, og en del av disse vil måtte kjøre omveg for å nå sin destinasjon. På den andre siden vil trafikk i sidegatene slippe å vente på grønt lys, men kunne kjøre straks det er ledig luke. Å sammenligne reisetid ved dagens og alternativ løsning ved å simulere disse i et trafikksimuleringsprogram kan gi en pekepinn på hva som veier tyngst av fordeler og ulemper ved en slik alternativ løsning. Ved å bruke trafikkmengder fra virkeligheten blir simuleringen så realistisk som mulig. Etersom alternativ løsning innebærer at en del trafikk må kjøre omveg er det verdifullt å vurdere hvordan dette påvirker drivstofforbruk og utslipp.





## 5 Metode

I dette kapitlet er metodene som er brukt til å finne svar på forskningsspørsmålene beskrevet. Første del tar for seg hvordan litteratursøket ble bygd opp for å finne flest mulig relevante studier. Deretter beskrives hvordan datainnsamlingen ble gjennomført for å sikre nok grunnlag til modellen.

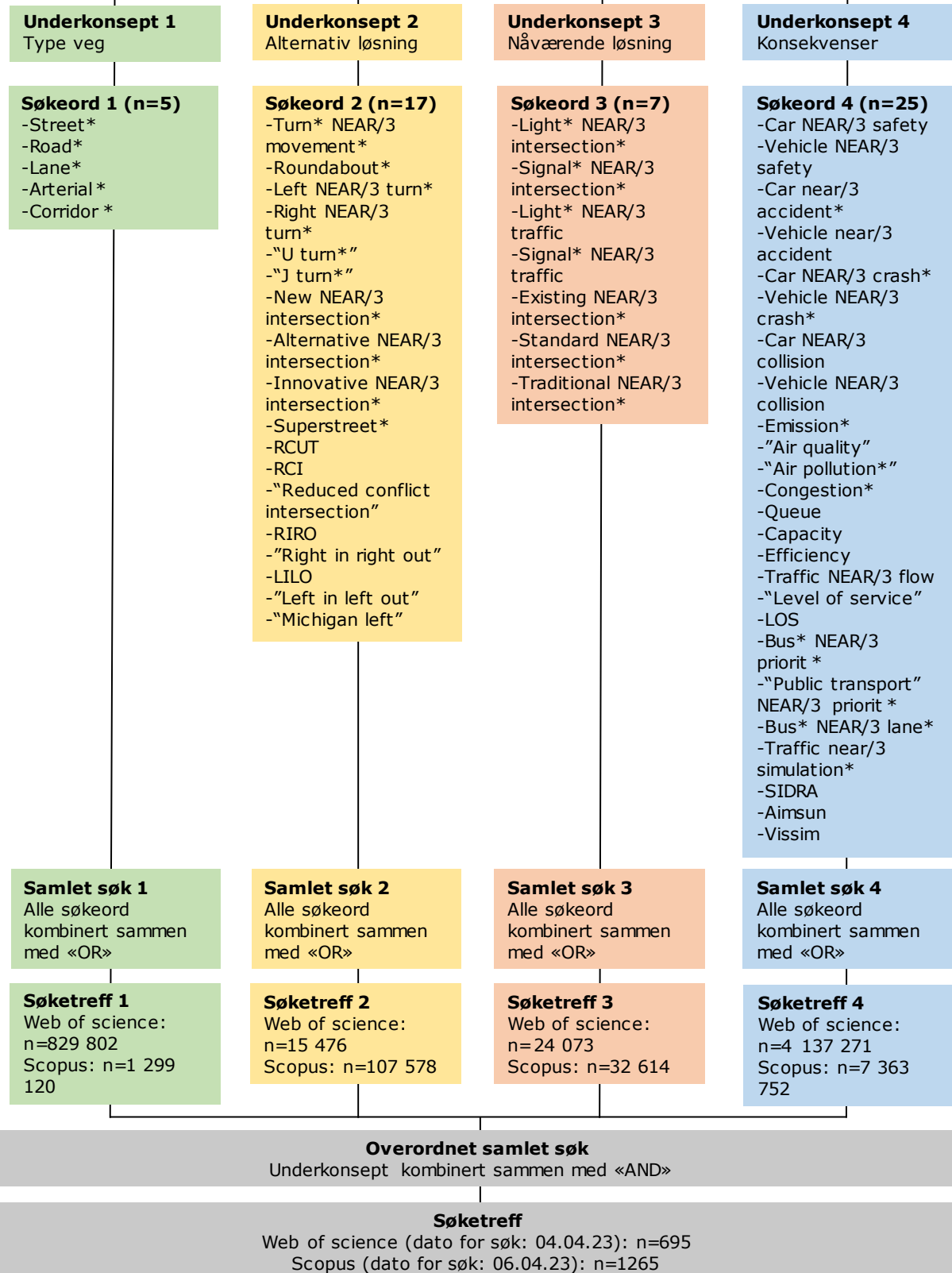
### 5.1 Litteratursøk

#### 5.1.1 Systematisk søk

Søkestrategien er vist i figur 37. Formålet med det systematiske søket var å finne litteratur som kunne belyse hvilke konsekvenser eventuell innføring av alternativ løsning vil ha i Haakon VII's gate. Studier som har gjort lignende analyser, enten med simuleringsmodeller eller undersøkelser av trafikken før og etter innføring av lignende løsninger, ble vurdert som særlig relevante og søkestrategien hadde derfor som hovedformål å identifisere disse.

### Hovedkonsept

Restriksjon av svingebevegelser og sentralt plassert rundkjøring (for å fasilitere u-sving for trafikk som får forbud mot svingebevegelse), i stedet for signalregulering i 6 påfølgende signalregulerte kryss i gate med 50 km/t og 4 felt – konsekvenser for trafikksikkerhet, trafikkavvikling, utslipp og kollektivtransport

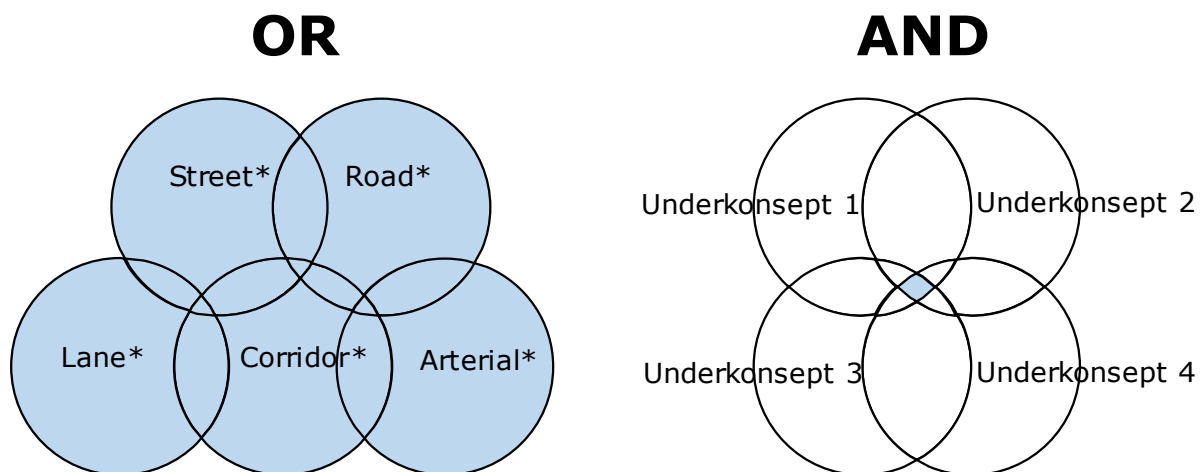


Figur 37 Systematisk litteratursøk

Forskningsspørsmålene ble fordelt på 4 underkonsept: type veg (veger som ligner på Haakon VII's gate), alternativ løsning (restriksjon av svingebevegelser, fjerning av signalregulering, mulighet for u-sving i rundkjøring), eksisterende løsning (signalregulering med prioritering av kollektivtransport) og konsekvenser (trafikkavvikling, kollektivprioritering, utslipp og trafiksikkerhet).

Mulige synonymer til de forskjellige underkonseptene er listet i figur 37. Listen av synonymer er ikke uttømmende, men antatt å være godt nok for dette formålet. For eksempel vil forbud mot venstresving tilsvare forbud mot høyresving i land med kjøreretning på venstre side av vegen (bl.a. Storbritannia og Australia). Videre vil forbud mot venstresving kunne bli omtalt som «left turn prohibition», «prohibition of left turn» eller «indirect left turn» (ikke uttømmende). Ved å søke på «left NEAR/3 turn\*» identifiseres alle tenkelige kombinasjoner hvor «left» og «turn» er inkludert. «NEAR/3» mellom disse to ordene brukes for å indikere at de kan skrives i forskjellig rekkefølge med en rekkevidde på 3 ord i forhold til hverandre. Ved bruk av asterisk (\*) på slutten av «turn» inkluderes alle endelser av ordstammen «turn». I dette eksempelet er formålet å sikre at formen med flertall; «turns» også er inkludert i søket. Anførselstegn kan brukes for å bestemme at ord må være i en bestemt rekkefølge, for eksempel «U turn». Det søkes da automatisk også på varianter med forskjellig tegnsetting. Ved å søke på «u turn» vil det derfor også komme treff på «u-turn».

Ved å bruke «OR» mellom ord trenger bare ett av ordene å være til stede, mens «AND» mellom ord indikerer at alle ordene må være til stede. Dette er eksempler på boolske operatører og er illustrert i figur 38. Det fargelagte område representerer antall søketreff. For både «OR» og «AND» er det ingen begrensning på hvor mange ord som kan søkes på samtidig og rekkefølge mellom ordene har ingen betydning.



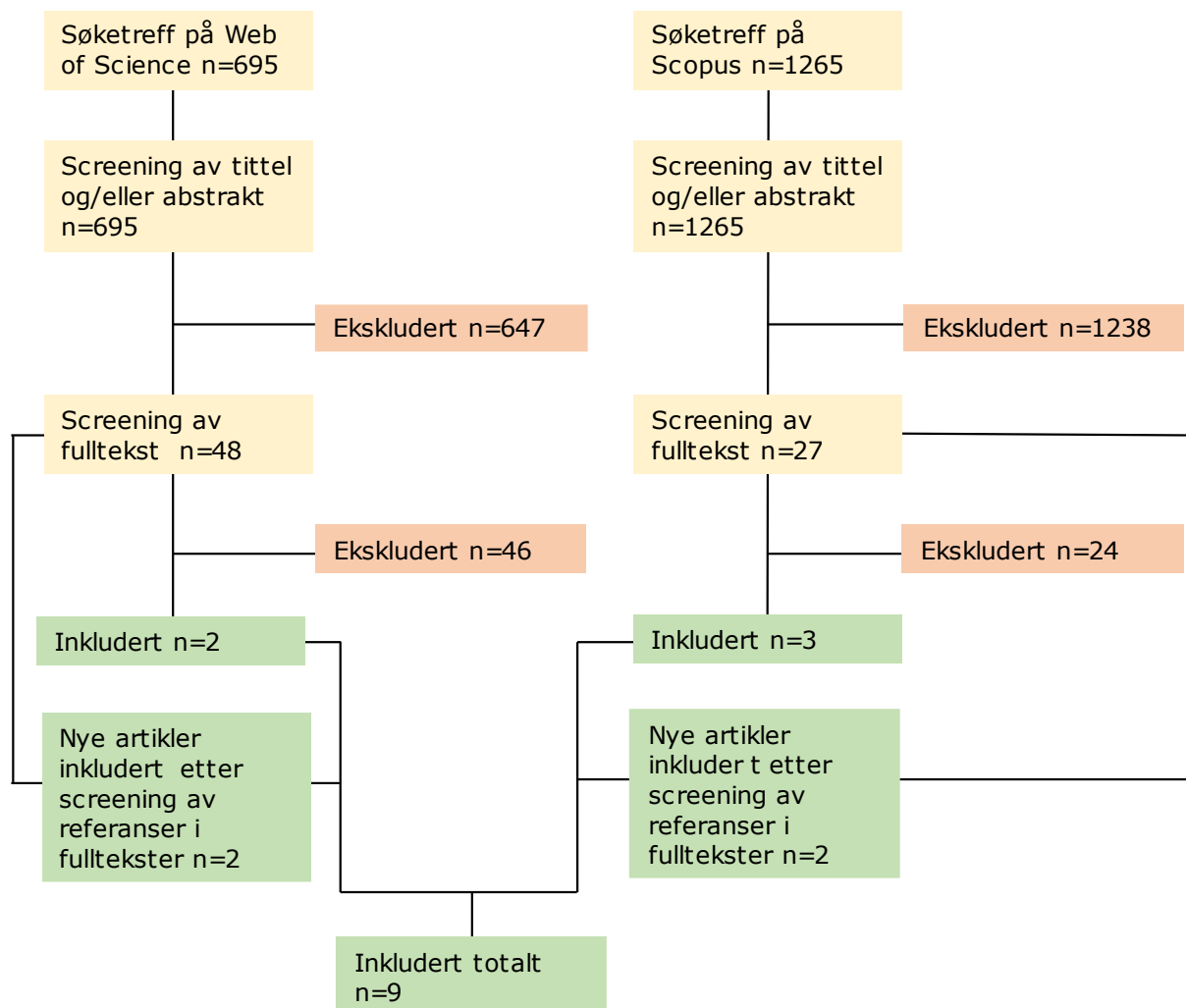
**Figur 38** Boolske operatører

Alle søkeord innenfor hvert underkonsept ble koblet sammen ved hjelp av «OR» i en lang søkestreng. På denne måten ble det laget 4 forskjellige søkestrenger, ett for hvert underkonsept. Deretter ble disse fire søkestrengene koblet sammen med «AND», noe som resulterte i én lang søkestreng for hovedkonseptet. Effekten av dette er at alle mulige kombinasjoner av søkeord blir søkt på samtidig, så lenge artiklene i trefflisten har minst ett søkeord fra hvert underkonsept. Fra figur 37 ser vi at én mulig kombinasjon søkeord er: Street, Roundabout, Signalized intersection, traffic flow. Det er mulig å splitte opp søkestrengen for hovedkonseptet til slike enkeltstående søk, men det er ikke

hensiktsmessig. Det er henholdsvis 5, 17, 7 og 25 inkluderte søkeord for hver av de fire underkonseptene; type veg, alternativ løsning, eksisterende løsning og konsekvenser. Dette betyr at søkeordene kan kombineres på  $5 * 17 * 7 * 25 = 14\,875$  måter. Mange av kombinasjonene vil gi overlappende søketreff. Da vil de samme titlene komme i trefflisten gjentatte ganger, noe som er svært lite effektivt sammenlignet med et kombinert søk med én treffliste hvor alle studier er unike.

Det systematiske søket ble utført i både Web of Science og Scopus. Søket ble foretatt i to ulike databaser fordi disse databasene inneholder artikler fra forskjellige tidsskrifter. I 2021 var det 39 758 tidsskrift i Scopus og 13 610 i Web of Science (Singh *et al.*, 2021). Scopus var størst, og med unntak av 121 tidsskrifter, inneholdt Scopus alle tidsskrifter som fantes i Web of Science (Singh *et al.*, 2021). I begge databasene søkes det automatisk etter ordkombinasjoner i alle søkefelt hvis ikke annet er angitt. Tittel, abstrakt og nøkkelord er eksempler på slike søkefelt. Denne standardinnstillingen ble ikke endret på. Søket ble først foretatt i Web of Science 4. april 2023. Deretter ble søket supplert med et tilsvarende søk i Scopus 6. april 2023. Søket i Scopus var identisk med søket i Web of Science, med unntak av at operatoren «NEXT/3» var byttet ut med tilsvarende operator i Scopus; «W/3». Studier som allerede var blitt vurdert som ikke relevante i det første søket i Web of Science ble ikke vurdert på nytt i det andre søket i Scopus.

Ved gjennomlesning av søketreff ble først tittel lest, og hvis det var usikkerhet knyttet til om tematikken i studien kunne være relevant ble abstraktet også lest. På denne måten ble søketreffet redusert til et mindre utvalg av mulig relevante studier som vist i flytskjema på figur 39. Deretter ble fullteksten til disse studiene lest (ikke alle studier hadde fulltekst tilgjengelig digitalt gjennom avtale med NTNU og disse ble ekskludert fra videre vurdering). Det ble også foretatt kildegjennomgang av studier med relevant tematikk. Til slutt ble et lite utvalg av relevante studier inkludert i teoridelen av masteroppgaven som vist i figur 39.



**Figur 39 Flytskjema over inkluderte studier etter systematisk litteratursøk**

### 5.1.2 Usystematisk søk

Et usystematisk søk ble foretatt for å innhente annen nødvendig teori til masteroppgaven. Det usystematiske søket bestod av korte søk i søkemotoren til Google, hovedsakelig etter norske kilder. Til forskjell fra det systematiske søket er det usystematiske søket oppstykket og derfor vanskelig å gjengi i detalj. Et eksempel på et usystematisk søk er «økt vegkapasitet transportøkonomisk institutt». Kort fortalt vil slike søk typisk inneholde både tema og relevant aktør. I eksempelet er tema økt vegkapasitet og aktør er transportøkonomisk institutt. I tillegg ble relevante håndbøker fra Statens vegvesen benyttet i stor grad.

## 5.2 Datainnsamling

### 5.2.1 Generelt

For å bli kjent med strekningen og kryssene ble det brukt mye tid i oppstarten av masterarbeidet til å innhente nødvendig informasjon fra en rekke ulike kilder. Blant annet ble Trøndelag Fylkeskommune (TRFK) kontaktet. De informerte om et pågående prosjekt for ombygging av gata. I tillegg, delte de arbeidet som hadde blitt gjort så langt (tidlig i februar 2023). Dette inkluderte blant annet kartgrunnlag til bruk i Autocad og konseptskisser. Deretter ble Aimsun-modellen for området tilsendt i mai 2023. Annen nyttig informasjon som ble tilsendt fra TRFK var rapporten om fremkommeligheten for buss av AtB. Det ble sendt forespørsel til AtB om det forelå nyere rapport, uten svar. Informasjon om årsdøgntrafikk og vegsystemreferanse ble hentet fra trafikdata.no (Statens vegvesen, 2023b) og vegkart.no (Statens vegvesen, 2023c).

Det ble gjennomført flere befaringer langs strekningen for å få et inntrykk av trafikkavviklingen på ulike dager og ulike tidspunkt.

### 5.2.2 Trafikkregistreringer

Videoregistreringen ble gjennomført i de åtte kryssene lørdag 3.juni 2023 for å sikre nødvendig inngangsdata til trafikkmodellene. Målet med videoregistreringene var å finne fordeling av trafikkmengde for svingebevegelsene. I tillegg er det nyttig med observasjoner av kjøreadferd og kødannelser.

#### **Tidspunkt for videoregistrering**

Det vil antagelig være kødannelser langs strekningen ved flere tidspunkt, og alle disse vil være aktuelle for videoregistrering. Valg av tidspunkt for videoregistrering ble bestemt ut fra følgende betraktningene:

- Størrelse på kø: ønskelig med maksimal timetrafikk
- Registrering i morgen- og ettermiddagsrush i en periode på 2 timer er mest vanlig ifølge håndbok V714 (Statens vegvesen, 2011). Haakon VII's gate har som nevnt ikke morgenrush, men ofte ettermiddagsrush på grunn av at det mest handelstrafikk og i mindre grad jobbtrafikk (Statens vegvesen, 2023b).
- Flaskehalsrapporten til AtB viser at det er mest forsinkelse for bussen på lørdager i tidsrommet 14:00 – 16.30 (AtB, 2021).
- Kjøpesenteret City Lade har flest besøkende på lørdager, særlig i tidsrommet kl 11-16 (personlig meddelelse fra Kine Marie Øie, Senterleder ved City Lade, 2023).
- Tellepunktet ved Lade Arena viser at det totalt sett ikke er mest trafikk på lørdager. Likevel, denne vil ikke fange opp all trafikk som reiser til City Lade.
- Tidspunkt burde være på en ordinær dag/helg (ikke helligdag, langhelg eller fellesferie).
- Når familie/ venner har mulighet til å bidra som kameravakt. Hvis kameraene må plasseres der det er mange forbipasserende, vil det være nødvendig med noen som passer på kameraene.

Ut fra disse kriteriene ble det vurdert at en lørdag var best for videoregistrering.

## Type kamera og plassering av kamera

Det ble benyttet totalt 10 kameraer fra leverandøren GoPro. Det ble benyttet forskjellige modeller (HERO 5, 7, 8 og 9). De ulike modellene har ulik bildekvalitet og batteritid, men fungerer godt til videoregistrering av trafikk grunnet mulighet for vidvinkel, de er vanntette, lette å feste til andre objekter, samt at den tar relativt gode videoer i motlys (Eidem, 2016).

Det ble gjennomført tre befaringer for å finne ut hvor kameraene kunne festes og antall kamera som var nødvendig. Ved første befaring ble det benyttet mobilkamera for å få et inntrykk av mulige plasseringer og kameravinkler. Deretter ble andre befaring gjennomført med GoPro for å se om kameraplassering måtte endres. Den tredje befaringen ble benyttet til å se hvordan man skulle feste kameraene.

For å få tilstrekkelig oversikt i et kryss burde kamera være plassert så høyt som mulig (Statens vegvesen, 2011). Dette skyldes at høye kjøretøy nærmest kamera kan blokkerer for dem lengere bak på bildet. I teorien var dette mulig å oppnå på aktuelle strekning langs Haakon VII's Gate siden det finnes flere høye bygninger og lyktestolper langs vegen. Likevel, i mange tilfeller ville dette krevd sikkerhetsutstyr for å unngå skade ved fall fra høyde. Selv om fjernstyring av kamera er mulig, hadde dette redusert batteritiden ettersom det krever Wifi eller Bluetooth. Med disse funksjonene avskrudd hadde kameraene som var til disposisjon begrenset batteritid; ned mot 1 time og 17 minutter ved effektive 5 grader celsius ved testing utendørs i forkant av trafikkregistreringen. Under denne testen var innstillingen på kameraene; 1920x1080 piksler oppløsning, 60 bilder per sekund og «superwide» vidvinkel, det samme som ble brukt under trafikkregistreringen. Figur 40 viser kameraene under denne testen. Likevel, det er mulig å koble kameraene opp til powerbank, men dette går på bekostning av hvor vanntette de er. I tillegg, hvis det regner vil det være behov for å tørke av dråper på linsen med jevne mellomrom, noe som er lettere hvis de er på bakkeplan.



**Figur 40 Testing av kamera**

Ut ifra disse betraktningene ble det bestemt at kamera skulle plasseres innenfor rekkevidde av en person på bakkeplan. Dette medførte behov for kameravakter. En konsekvens av denne beslutningen var at metrobuss ville dekke store deler av videobildet når den passerer på samme side av vegen som kamera. For å minimere tid hvor metrobuss blokkerer utsikten for kameraene ble de plassert nedstrøms for krysset, sett i forhold til den kjøreretningen som er nærmest kamera. Selv om signalanleggene



har aktiv bussprioritering vil det være mer sannsynlig at bussen står stille oppstrøms for krysset, ettersom den noen ganger likevel vil måtte vente på at andre kjøretøy kjører på grønt lys.

I kryss nummer 2 finnes to gangfelt, ett i armen til nordvest og ett i armen til sørvest. På grunn av avstengt fortau på sørvestsiden av armen til nordvest, ble disse gangfeltene som regel benyttet i kombinasjon med hverandre, slik at antall fotgjengere som krysser den ene armen ville være tilnærmet det samme som den andre armen. Kameraet i dette krysset ble derfor heller vinklet slik at man fikk mer oversikt over køen på strekningen sørøstover, i stedet for å inkludere gangfeltet i armen til nordvest.

I kryss 1, fyller metrobussen nærmest hele sirkulasjonsarealet når den beveger seg gjennom rundkjøringen. Dermed er det mindre sannsynlig at personbiler blir skjult for kamera ved å ta en innersving. Rundkjøringen ved Leangen, kryss 8, har større sirkulasjonsareal. Dermed kan biler bli skjult for kamera ved å kjøre i venstre felt mens metrobussen kjører i høyre felt. For å sikre resultater fra begge rundkjøringene, ble det satt opp to videokamera ved disse. De ble plassert slik at når det ene kamera ble blokkert av buss eller lastebil, ville det andre kameraet ha fri utsikt mot rundkjøringen. Likevel, på grunn av at kameraene ikke var plassert høyt nok over bakken, kunne begge bli tildekket av hver sin buss samtidig. Ved å vinkle kameraene slik at en større strekning oppstrøms for krysset var synlig, ville det likevel være mulig å få oversikt over trafikken som kom inn i krysset før eventuelt en lastebil eller metrobuss blokkerte utsikten til kamera. Dette ble derfor gjort i alle kryss. Eksempel på buss som blokkerer sikten til kamera er vist på figur 41.



**Figur 41 Buss som blokkerer kamera**

## Antall registreringer

Ideelt sett burde man registrert trafikken på flere dager for å finne trafikken i maksimaltiden. Likevel, på grunn av flere faktorer som tidsbegrensningen i masteroppgaven, omfanget med registrering av 8 kryss og tilgjengelige kameravakter ble det kun gjennomført én videoregistrering.

## Utførelse

Det ble foretatt videoregistrering av trafikk lørdag 3.juni 2023 kl. 14:01- 15:01 under lett regnbyger, 8 grader Celsius, og lett bris. I utgangspunktet var registreringene planlagt mellom kl. 15:00 – 16:00, men på grunn av at to kameravakter måtte dra tidlig ble tidspunktet flyttet. For å minimere tiden kameravaktene måtte vente ble kameraene festet med hjelp av nærmeste familie i tidsrommet 13:15 – 13:50. Det var viktig å få festet alle kameraene i god tid før registreringene slik at alle kameraene kunne starte kl. 14:00. På grunn av at noen av kameraene som nevnt har batteritid på 1 time og 17 minutter, ble det ikke tatt sjanse på å starte kameraene lenge før. Det ble vurdert om det var nødvendig med powerbank for å forlenge kameratiden, men ettersom det regnet ville kunne dette kunne medføre fuktskader. Alle kameraene startet å filme en gang før kl 14:01, men nøyaktig tidspunkt er noe forskjellig mellom kameraene. En mobiltelefon som viste klokkeslett i sekunder, ble filmet på et tidlig tidspunkt av alle kameraene og senere brukt for å synkronisere disse.

To eksempler på hvordan kamera var festet ved videoregistrering er vist i figur 42.



**Figur 42 Kamerafester**

Kameravinkelen er vist for alle kryss i figur 43-52. Bildene er hentet som utklipp fra respektive videofiler.

Kryss 1:

Kamera 1:



**Figur 43 Kryss 1 kameravinkel 1**

Kamera 2:



**Figur 44 Kryss 1 kameravinkel 2**

Kryss 2:



**Figur 45 Kryss 2 kameravinkel**

Kryss 3:



**Figur 46 Kryss 3 kameravinkel**

Kryss 4:



**Figur 47 Kryss 4 kameravinkel**

Kryss 5:



**Figur 48 Kryss 5 kameravinkel**

Kryss 6:



**Figur 49 Kryss 6 kameravinkel**

Kryss 7:



**Figur 50 Kryss 7 kameravinkel**

Kryss 8:

Kamera 1:



**Figur 51 Kryss 8 kameravinkel 1**

Kamera 2:



**Figur 52 Kryss 8 kameravinkel 2**

## Observasjoner

Hele strekningen: På grunn av at de signalregulerte kryssene ikke er koordinerte måtte gjennomgående trafikk ofte stoppe ved minst ett kryss. Bussprioritering fører til at metabuss som regel får grønt lys like før det ankommer hvert kryss. Ved en del kryss blir metabussen likevel nødt til å vente på at trafikk foran bruker tid på å kjøre gjennom krysset.

Kryss 1: God trafikkflyt. Ingen særlig kø ved noen innganger til krysset. En del fotgjengere mellom bussholdeplassene og Ladetorget.

Kryss 2: Uoppmerksomme sjåførere bruker lang tid på å svinge inn på hovedveg fra sidegate, dette gjelder mest høyre sving fra sidegate. Grønntiden blir dermed ikke utnyttet fullstendig og køen blir tidvis lang for sidegaten mot sørvest.

Kryss 3: Avstanden mellom kryss 3 og 4 er kun 87 meter, noe som gjør at det ofte forplanter seg kø bakover fra kryss 4 og inn i kryss 3. Mye fotgjengere mellom City Lade og bussholdeplassene.

Kryss 4: Det forplanter det seg kø bakover fra kryss 3 enkelte ganger.

Kryss 5: God trafikkflyt. Kun sporadisk kødannelse for hovedveg i begge kjøreretninger.

Kryss 6: Relativt god trafikkflyt. Kun sporadisk kødannelse i sidegate mot nordøst. Kødannelse noe mer uttalt for hovedveg i begge kjøreretninger.

Kryss 7: Det var totalt 18 stykker som kjørte venstresving til tross for forbud mot venstresving fra hovedveg og inn i sidegate mot nordøst. I tillegg, det oppsto enkelte nestenkollisjoner mellom personbiler og fotgjengere. Dette skjedde fordi uoppmerksomme sjåførere fra sidegate i nordøst ikke fikk med seg at det samtidig var grønt lys for fotgjengere som krysset hovedvegen i armen mot sørøst. Noe kødannelse for sidegaten til nordøst. På hovedvegen forplanter det seg kø bakover til kryss 8 flere ganger. Det var også en del kø i motsatt kjøreretning. Mange fotgjengere mellom Lade Arena og bussholdeplassene.

Kryss 8: Trafikken sto stille flere ganger når kø forplantet seg bakover fra kryss 7. Det var lang kø i sidegate mot nordøst og inngang fra sørvest ved flere anledninger.



## 5.3 Bearbeidelse og analyse av innsamlet data

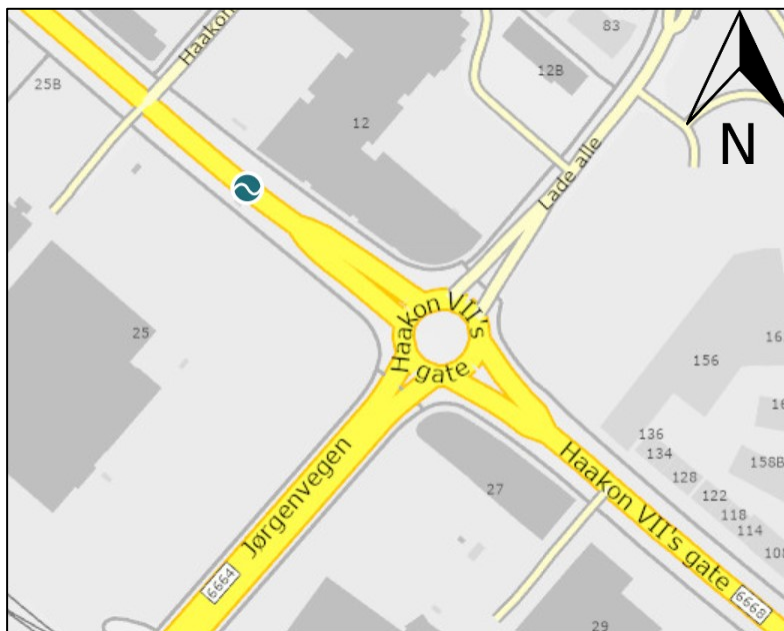
### 5.3.1 Gjennomgang av video

Etter videoregistreringene ble det brukt mye tid på registreringsarbeid. Alle svingebevegelser for kjøretøy ble registrert, i tillegg til antall fotgjengere i hvert gangfelt. Fordelen med videoregistrering er at databehandlingen kan gjennomføres i ettertid, noe som gir mulighet til å registrere alle svingebevegelser i kryss med høy trafikkmengde. Det ble gjennomført manuelt med penn, papir og mekanisk teller. Hver svingebevegelse ble tegnet opp på ark og antall kjøretøy registrert. Fordelen med å gjennomgå videoopptakene manuelt er at man får en bedre innsikt i hvordan kryssene fungerer, og da spesielt hvor det er størst problemer. Underveis i telleprosessen ble observasjoner notert. Problemer med trafikk telling grunnet dårlig sikt ble også notert.

Til sammen ble det i underkant av 10 timer med videoopptak, som gjør denne delen av oppgaven ekstremt tidkrevende da flere av kryssene er kompliserte med mye trafikk. Det ble også brukt tid i starten på å finne den beste måten å telle på. GoPro delte filmene opp i kortere filmer på ca. 15 minutter, og synkronisering av kameraene ble derfor mer utfordrende. Trafikkmengden ble telt i én arm av gangen for å holde oversikt, og hver film ble dermed sett 3-4 ganger. Kjøretøyene ble delt inn i personbiler, tunge kjøretøy og lette kjøretøy. I kryss 8 var det ofte nødvendig å ta pauser og spole tilbake i opptaket for å få oversikt, og det ble brukt flere dager på å telle trafikken her.

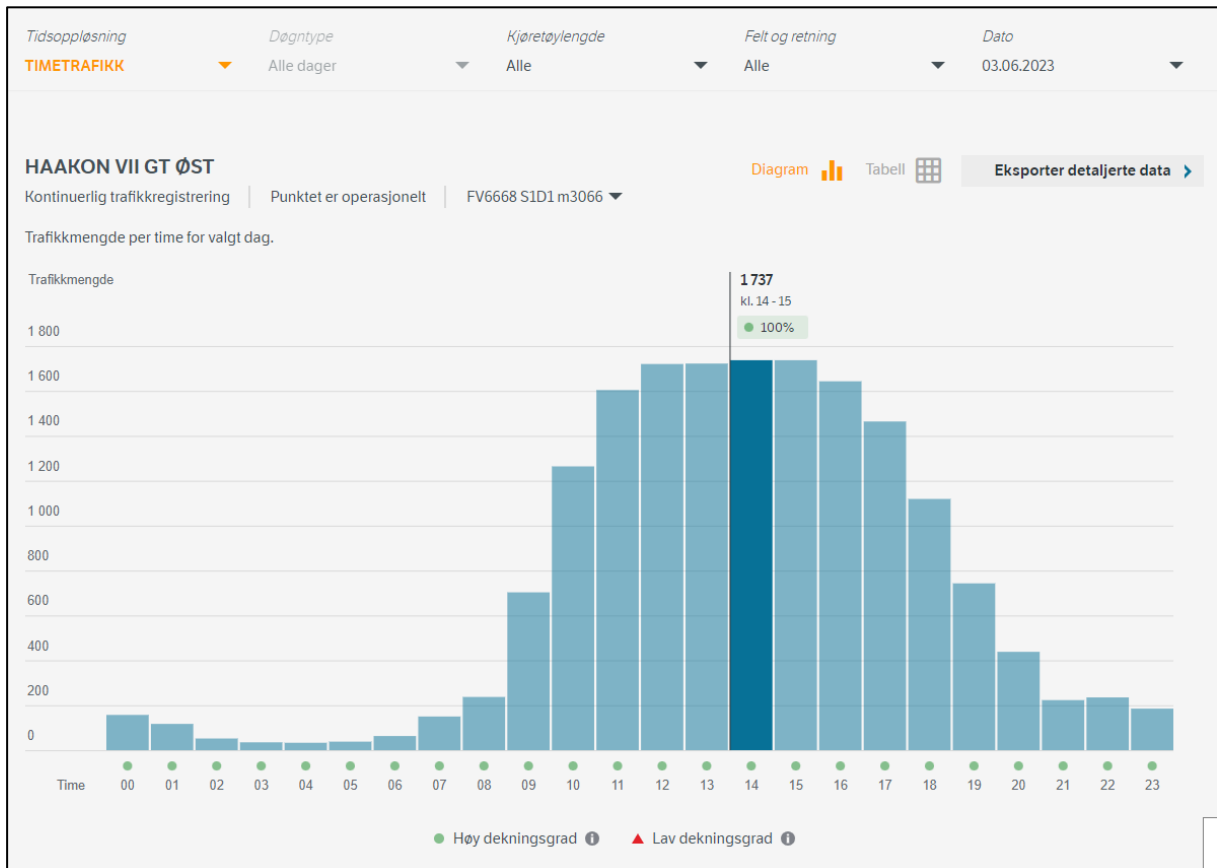
### 5.3.2 Trafikkdata fra tellepunkt

Midt mellom kryss 7 og 8 er det som nevnt en trafikkpunktmåling (Statens vegvesen, 2023b). Tellepunktet har navn Haakon VII's gt øst og plasseringen er vist på figur 53. Tellepunktet registrerer trafikken kontinuerlig og nettsiden *trafikkdata.no* oppdateres fortløpende (Statens vegvesen, 2023b). Nettstedet har mulighet til å vise timetrafikk, døgnetrafikk, månedstrafikk, sesongtrafikk og årsdøgnetrafikk.



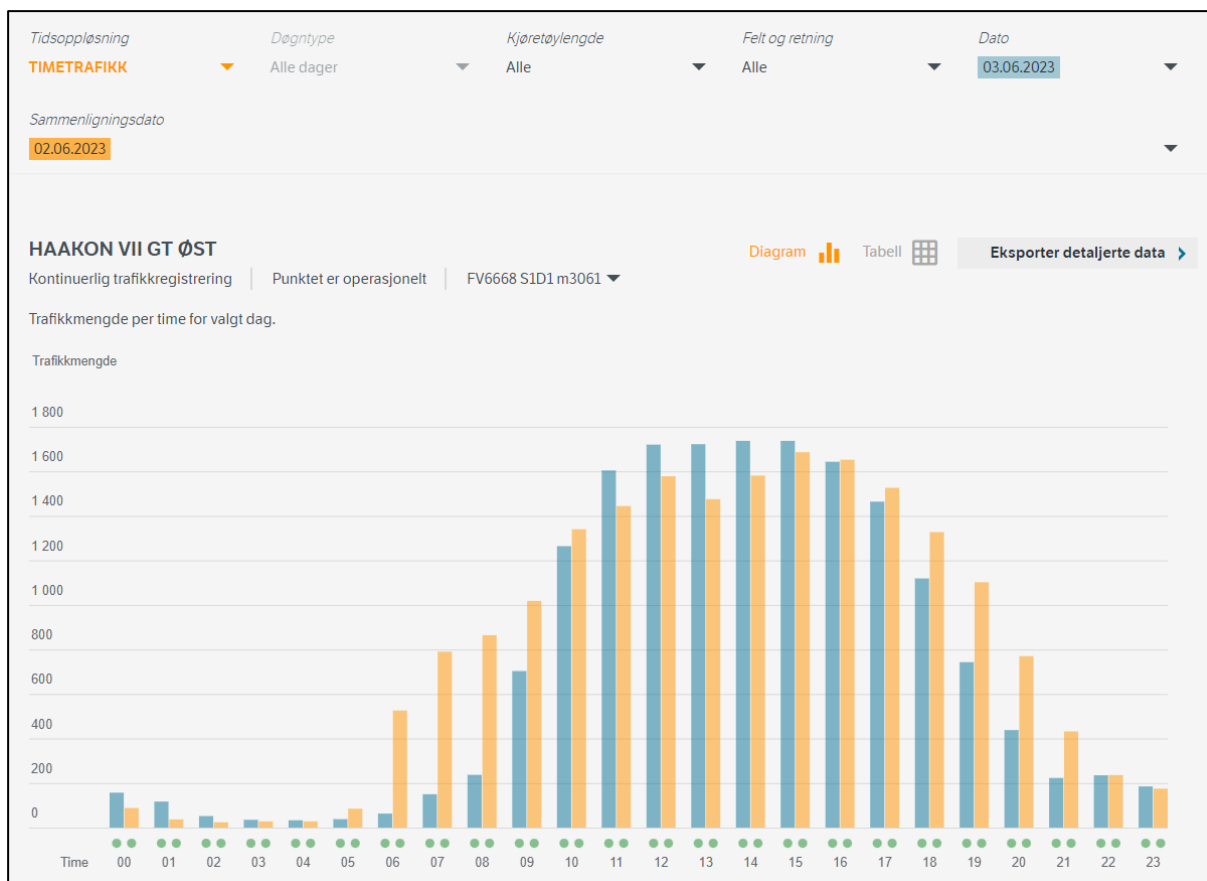
**Figur 53 Plassering av tellepunkt (Statens vegvesen, 2023b)**

Figur 54 viser timetrafikken lørdag 3.juni 2023. Mellom kl. 14:00 og 15:00 passerte det 1737 biler. I tillegg ser man at det var mest trafikk denne lørdagen mellom klokken 12:00 og 16:00.



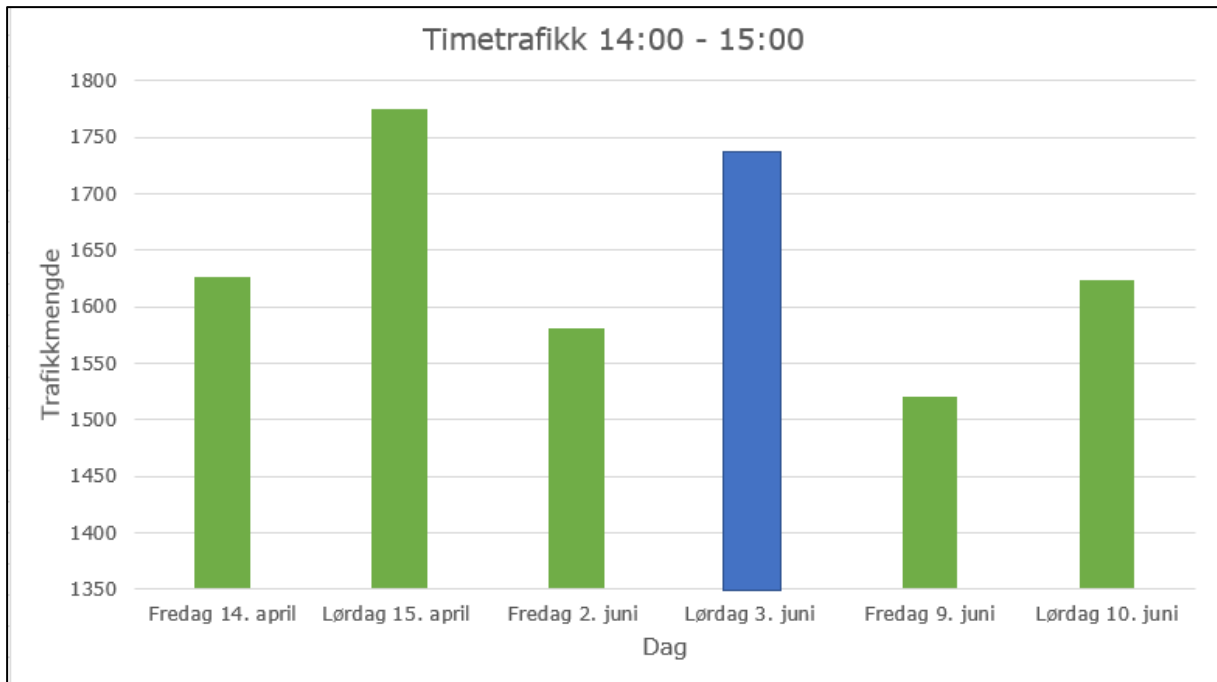
**Figur 54 Timetrafikk lørdag 3. juni 2023 (Statens vegvesen, 2023b)**

På nettsiden kan man sammenligne to datoer opp mot hverandre, framvisningen er vist på figur 55. Blå stolpe viser lørdag 3. juni og gul stolpe viser fredag 2.juni. Her ser man at trafikken var størst på lørdag i tidsrommet videoregistreringene ble gjennomført.



**Figur 55 Sammenligning mellom to datoer i tellepunktet (Statens vegvesen, 2023b)**

For å se om det er store variasjoner i trafikken vises et utvalg av fredager og lørdager før og etter 3. juni. Fredag og lørdag er valgt som dager siden det da forventes mye handelstrafikk. Tilfeldige datoer utenom langhelg og ferie ble valgt. Stolpediagrammet på figur 56 viser trafikken mellom klokken 14:00 og 15:00 for utvalgte dager. Den viser at det bare var én dag som hadde mer trafikk enn lørdag 3. juni mellom kl 14:00 og 15:00, av alle dagene som ble valgt.



**Figur 56 Stolpediagram timetrafikk 14:00 - 15:00 for utvalgte datoer. Laget i Excel med tall fra trafikdata.no (Statens vegvesen, 2023b)**

## 5.4 Trafikkmodellering i Aimsun Next 22

Etter at lisensen for Aimsun var på plass startet jobben med å bli kjent med programmet og bygge opp modellene. Med utgangspunkt i modellen som ble mottatt fra Trøndelag fylkeskommune startet arbeidet med å modellere dagens løsning. Modellen som ble mottatt var over et større område, og utformet på en annen måte enn det som var tiltenkt i denne masteroppgaven. Det var derfor en del som måtte gjøres i modellen. Nedenfor er en beskrivelse av jobben som er gjort med modellen for dagens løsning:

- Veger og kryss ble slettet slik at det kun ble igjen aktuell strekning av Haakon VII's gate med tilhørende sidegater.
- Plasseringen av kryss og gangfelt ble kontrollert med ortofoto.
- Bredden på alle veger og gangfelt ble justert i henhold til målinger gjort i ortofoto.
- Alle tillatte svingebevegelser ble kontrollert. Det manglet noen felt for enkelte sidegater i tillegg til noen svingebevegelser (for eksempel tillatt venstresving for høyre felt ved inngang fra sørvest til kryss 8), disse ble lagt inn. Plassering og lengde av kollektivfelt og bussholdeplasser ble justert.
- I originalfilen var trafikkmengder definert med sentroider og OD-matriser. Disse ble slettet, og nye trafikkdata ble lagt inn ved hjelp av «traffic states». Antall fotgjengere ble også definert med «traffic states» ved å lage egen kjøretøykategori for fotgjengere. Trafikkdataene som ble benyttet var fra videoregistreringen av trafikk 3.juni 2023 kl. 14:01-15:01.
- Signalplaner i originalfilen ble kontrollert og justert i henhold til observasjoner ved videoregistrering (for eksempel mer grøntid for fotgjengere som krysset sidegater i flere av kryssene).

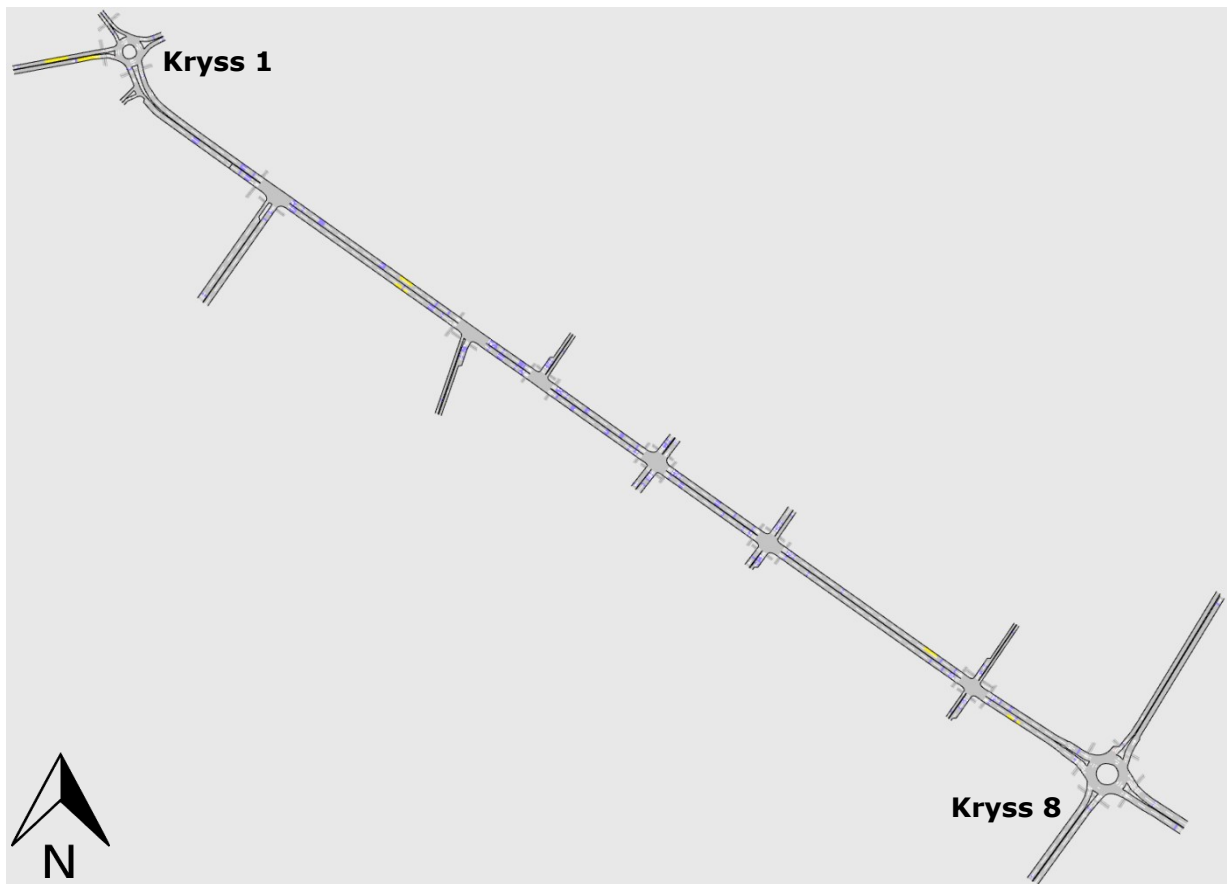
Da modellen for dagens løsning var ferdig, ble en kopi av denne laget. Denne kopien dannet utgangspunkt for modellering av alternativ løsning hvor disse endringene ble gjort:

- I alle de signalregulerte kryssene ble signalreguleringen fjernet og Haakon VII's gate fikk forkjøringsrett og forbud mot venstresving, mens alle sidegater fikk påbud om høyresving.
- Kryss 4 ble gjort om til rundkjøring med følgende mål; sentraløy: 23,3 x 22,3 m; bredde av kjørefelt i rundkjøring: 5 m; bredde av kjørefelt i tilfarer: 3.5 m; bredde av kjørefelt i utfarer: 3.0 m
- Alle gangfelt som tidligere var signalregulert ble omgjort til å være regulert med vikeplikt.
- Fordeling av svingebevegelser ble justert i «traffic states» slik at svingebevegelser som var blitt forbudt likevel ble gjennomført ved hjelp av u-sving i nærmeste rundkjøring.
- Ekstra svingefelt i sidegater ble fjernet fra dagens løsning ettersom det bare er mulig å svinge til høyre ved alternativ løsning.

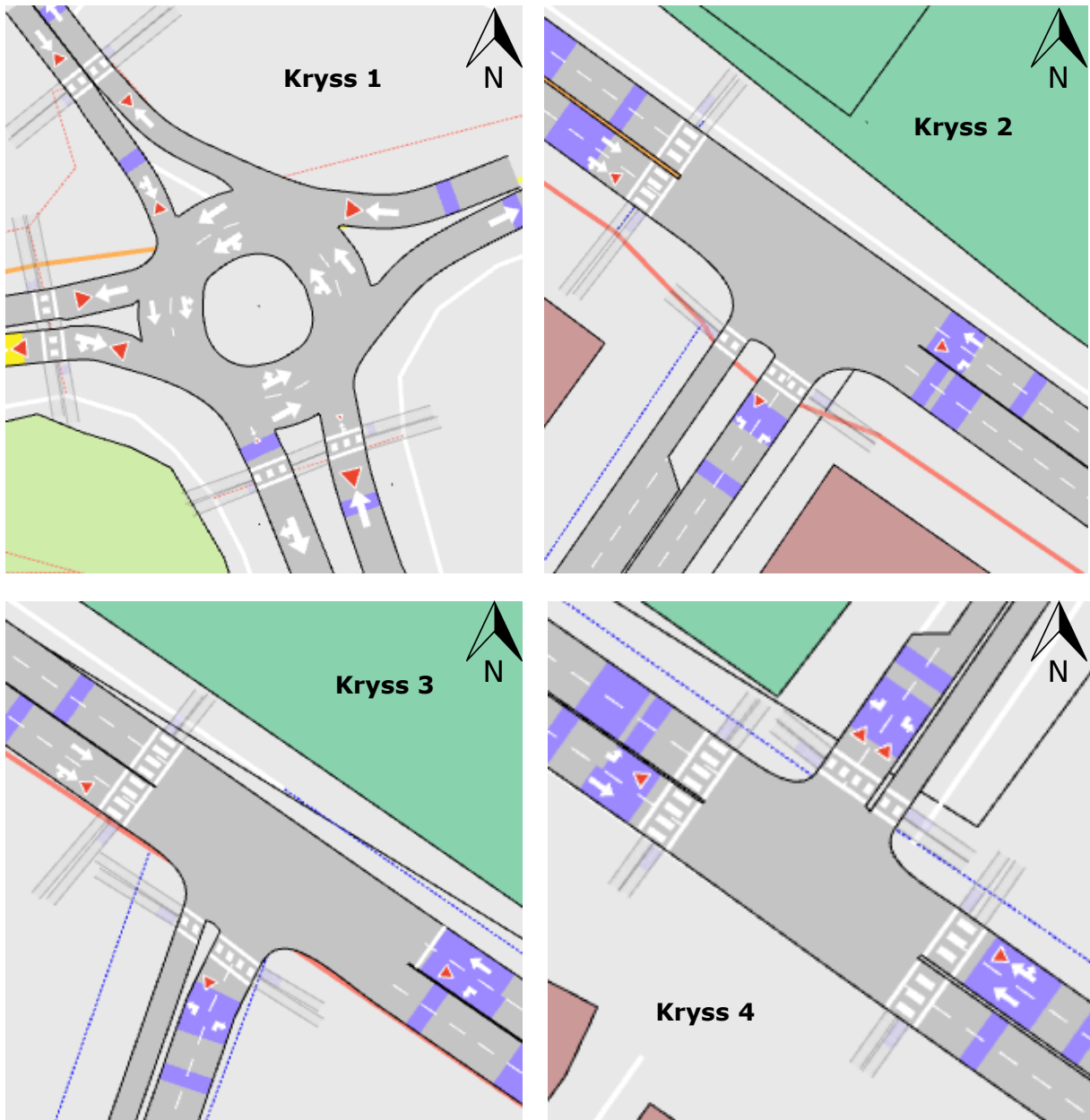
I Aimsun er det mulig å definere fordeling av drivstofftype for hver kjøretøygruppe (Aimsun, 2022a). Aktuelle drivstofftyper som kan velges er bensin, diesel og elektrisitet. El-biler vil ikke bidra til forbruk av drivstoff eller utslipp. I tillegg er det mulig å definere forskjellig type forbruk av drivstoff og utslipp mellom diesalbiler og bensinbiler. Likevel, ved beregning av drivstofforbruk og utslipp ble det bestemt alle bilene i modellen skulle være av typen bensin. Dette ble gjort for å øke lesbarhet av resultater, ettersom tilfeldig skjevfordeling av drivstofftype kunne skape uønsket variasjon i forbruk av drivstoff og utslipp.

### 5.4.1 Utklipp av geometri ved dagens løsning

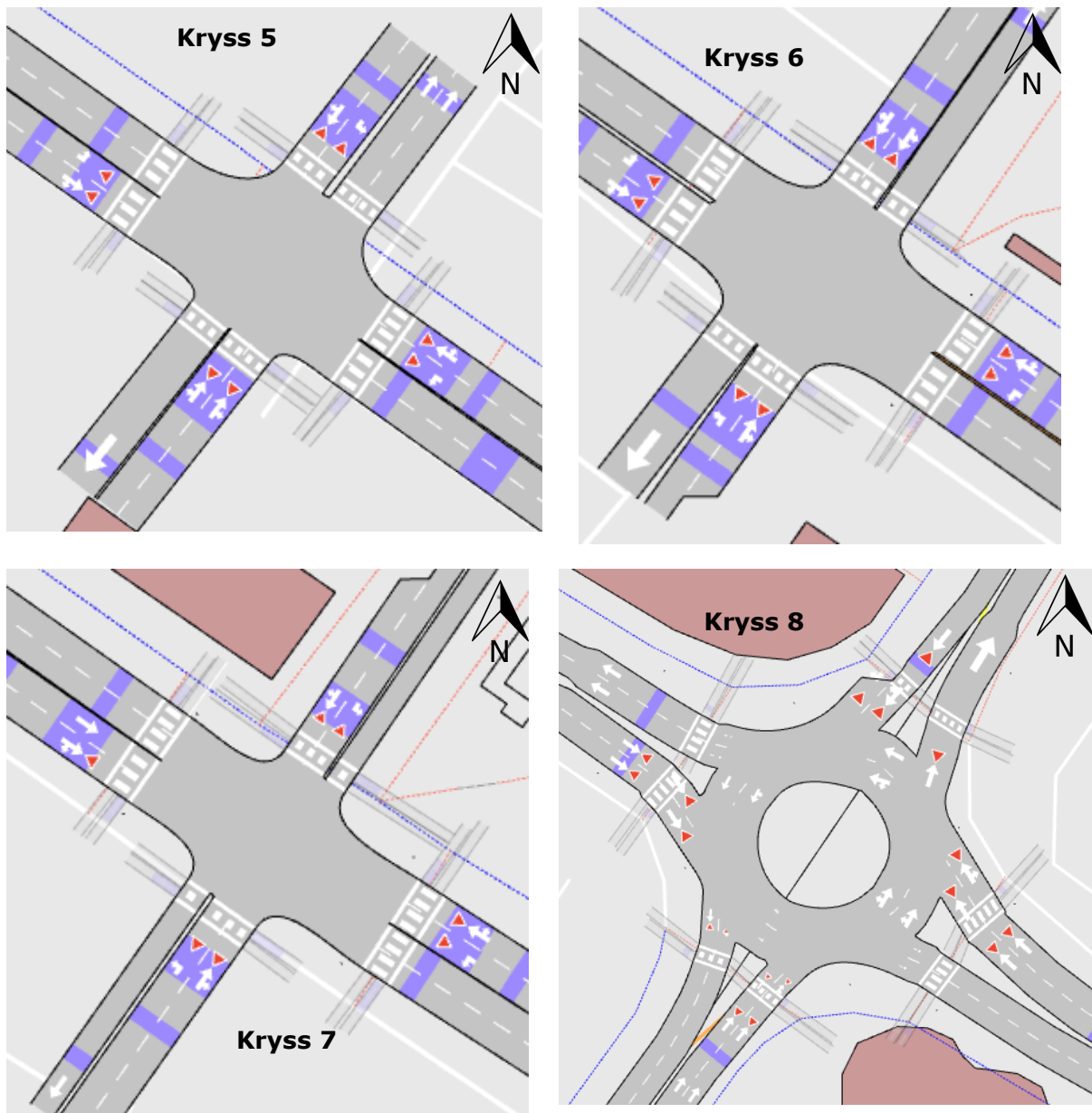
Figur 57 viser utklipp av den geometriske utformingen av nettverket som ble brukt til å simulere dagens løsning i Aimsun. Geometri er vist i detalj i figur 58 og 59.



**Figur 57** Oversikt over nettverket som er brukt til simulering av dagens løsning



**Figur 58** Oversikt over geometri i kryss 1-4 ved simulering av dagens løsning

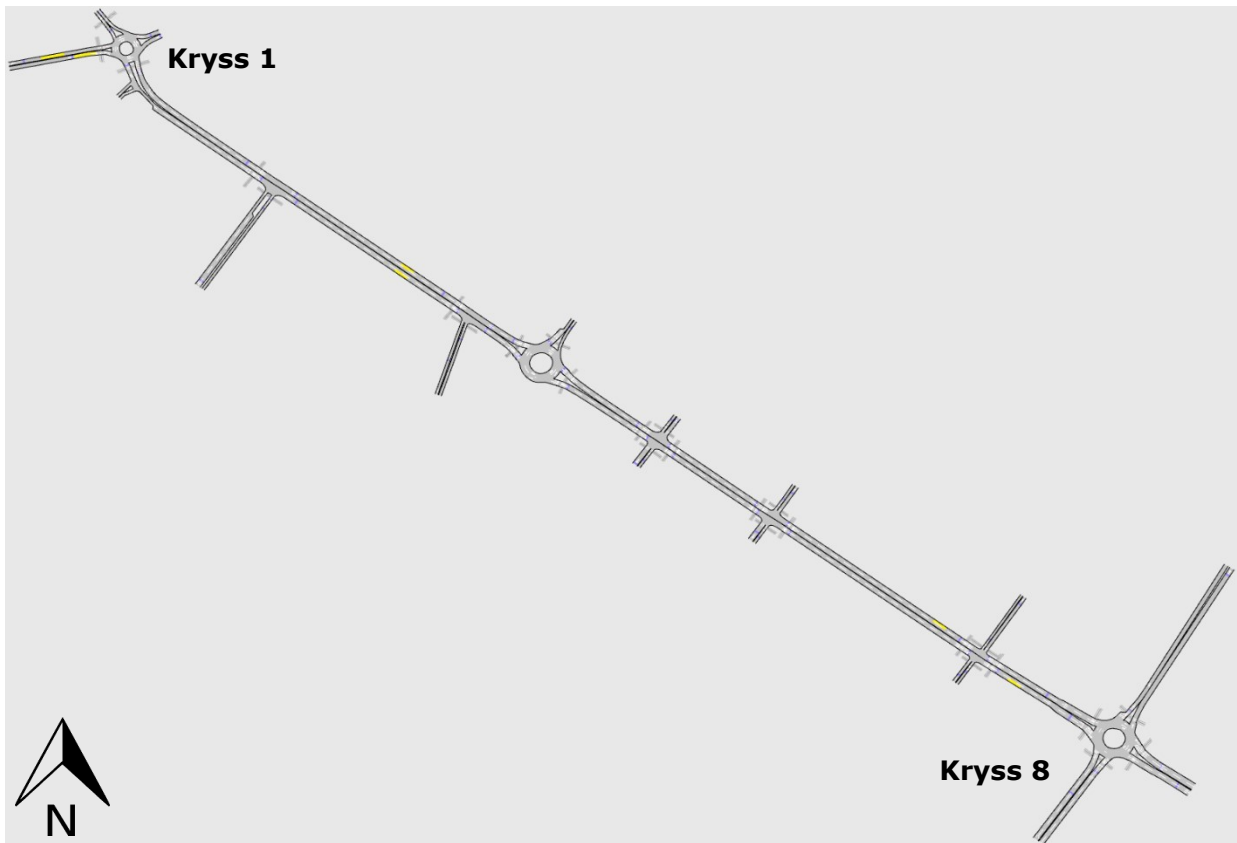


**Figur 59 Oversikt over geometri i kryss 5-8 ved simulering av dagens løsning**

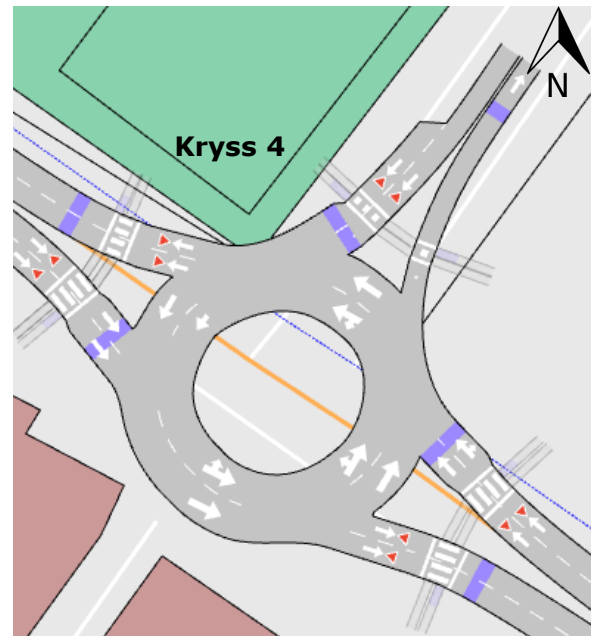
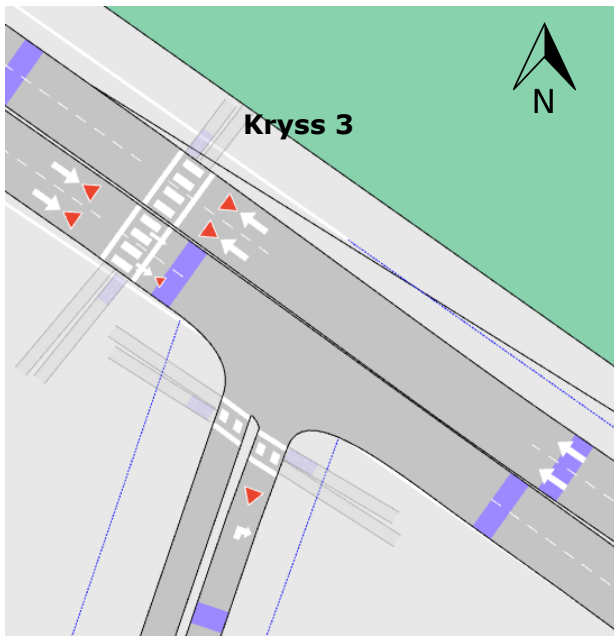
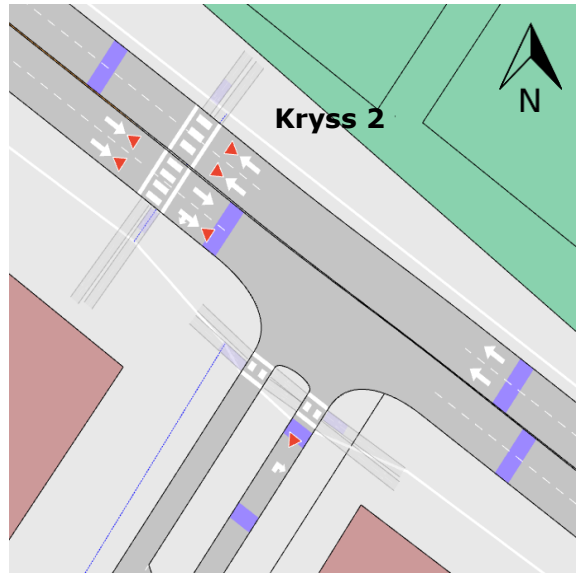
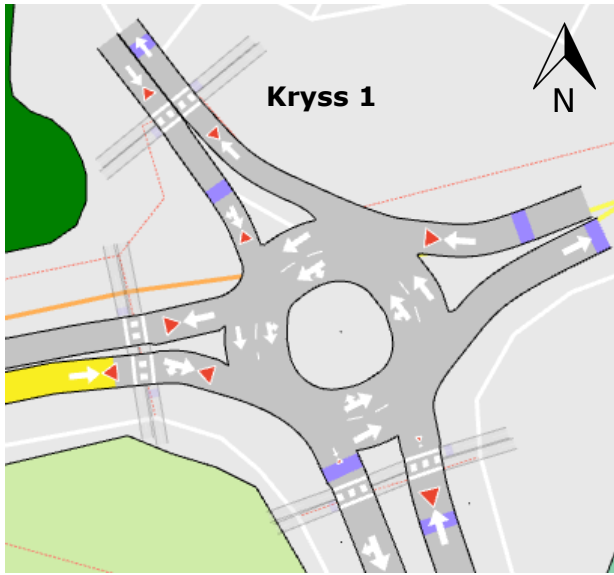
#### 5.4.2 Utklipp av geometri ved alternativ løsning

Figur 60 viser utklipp av den geometriske utformingen til nettverket som ble brukt til å simulere alternativ løsning i Aimsun. Geometri er vist i detalj i figur 61 og 62. I disse figurene er pilene misvisende for hvilke svingebevegelser som er tiltatt. Dette skyldes modellering av vikeplikt for gangfelt i forbindelse med kryssene. I simuleringen av alternativ løsning er svingebevegelserne illustrert i figur 32 og 33 tillatt.

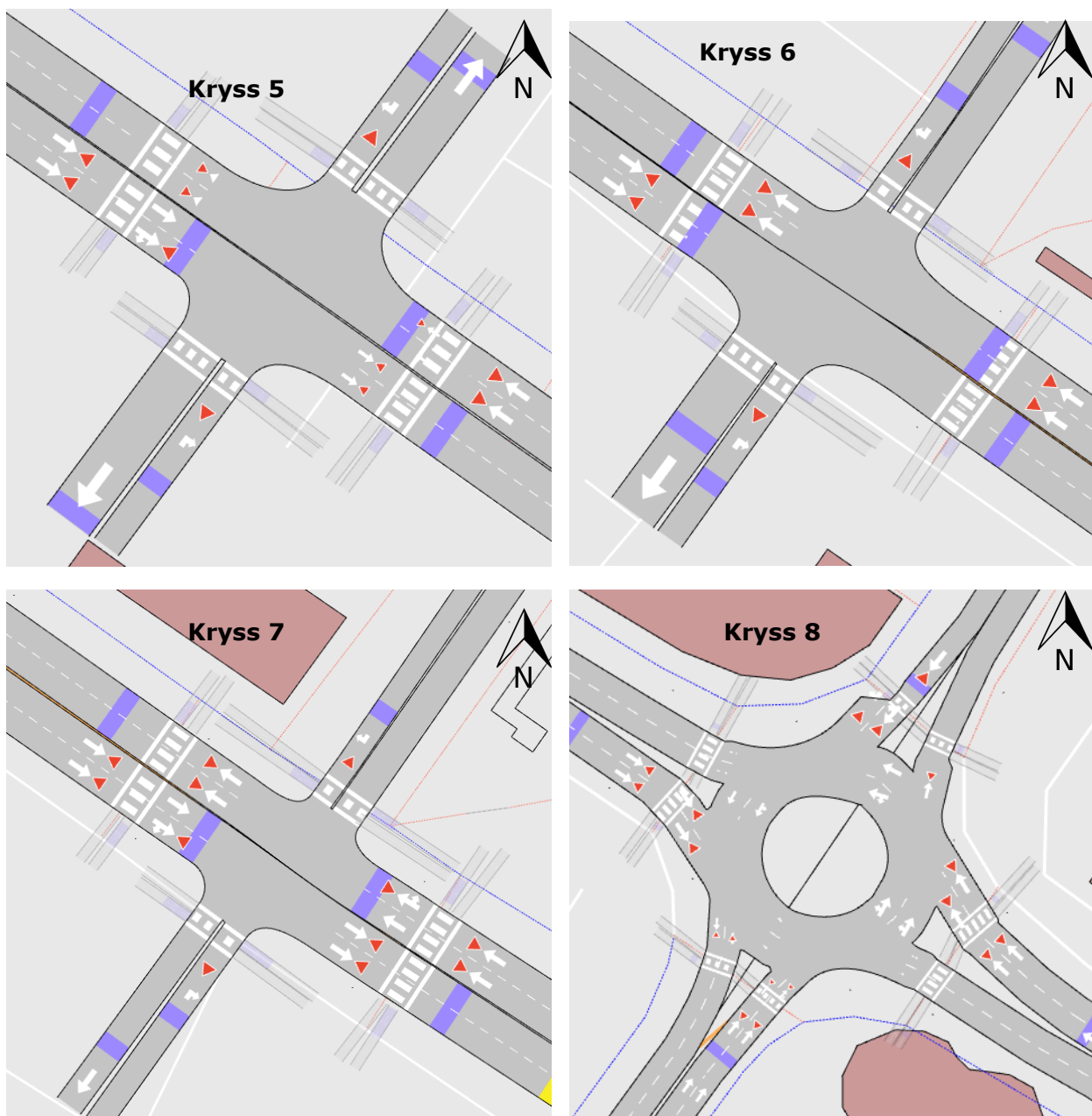




**Figur 60** Oversikt over nettverket som er brukt til simulering av alternativ løsning



**Figur 61** Oversikt over geometri i kryss 1-4 ved simulering av alternativ løsning



**Figur 62 Oversikt over geometri i kryss 5-8 ved simulering av alternativ løsning**

### 5.4.3 Innstillinger for simulering av trafikk

I tillegg til den geometriske utformingen vil simuleringen påvirkes av en del andre innstillinger som kan redigeres av brukeren. Parameterverdiene som er benyttet er vist i Vedlegg C. De fleste av parameterverdiene hadde allerede blitt definert når modellen ble mottatt fra Trøndelag fylkeskommune, og alle samsvarer godt med det som anbefales i en norsk veilederen for Aimsun (Statens vegvesen, 2022b)

### 5.4.4 Beregning av antall replikasjoner

I henhold til tidligere litteratur (Dowling, Skabardonis and Alexiadis, 2004) kan antall replikasjoner beregnes. På grunn av tidsbegrensningene i masteroppgaven ble det i samråd med veileder bestemt å benytte et erfaringstall. Datamaskinen som ble brukt til å simulere replikasjoner til denne masteroppgaven brukte ti sekunder på hver replikasjon og den ville derfor bruke litt over en halvtime på 200 replikasjoner. For å sikre et stabilt resultat ble det derfor benyttet 200 replikasjoner.

## 5.5 utfordringer

### 5.5.1 Trafikkregistreringer

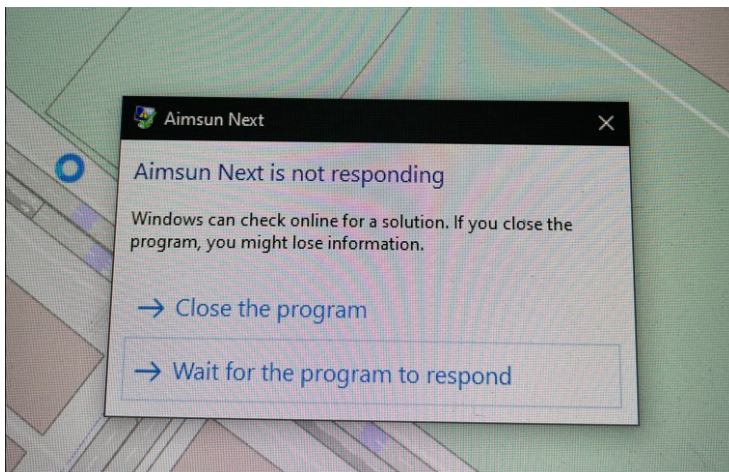
Å registrere trafikken i 8 kryss krever mye forberedelse og etterarbeid som nevnt tidligere. Det ble brukt mye tid før registreringen til å planlegge hvordan man skal rekke å sette opp alle kameraene og starte de samtidig, uten at videovaktene må vente unødvendig mye. Manuelt registreringsarbeid av videoene var også veldig tidkrevende da videoene måtte sees flere ganger og pauses undervegs. I ettertid burde man sett på om det er finnes en enklere måte å registrere kryssene.

Det ble satt opp to kamera i kryss nummer 1, men ett av kameraene sluttet å filme etter 38 minutter (kameravinkel 2). Det er uvisst hvorfor kameraet sluttet å fungere, da det fungerte under testen som ble foretatt før registreringsdagen. Heldigvis ble filmen på den andre kameraet bra nok til å hente ut data.

### 5.5.2 Modellering i Aimsun Next 22

Det ble sendt inn søknad for studentlisens til Aimsun 26.05.2023. Lisensen kom først på plass 04.07. 2023. I utgangspunktet skulle lisensen være på plass innen 14 dager. Arbeidet med Aimsun kom derfor litt senere i gang enn planlagt. Ventetiden ble benyttet til å se på opplæringsvideoer og til lese om programmet.

Flere ganger var programmet ustabil, og feilmeldingen vist på figur 63 dukket opp. I tillegg lukket programmet seg selv flere ganger når man endret på geometrien eller la inn trafikk. Det var dermed viktig å lagre ofte, men noen ganger var ikke dette tilstrekkelig, da det noen ganger lukket seg mens man lagret.



**Figur 63 Feilmelding i Aimsun**

Det ble brukt mer tid på dagens løsning enn planlagt. Modellen mottatt av fylket var mer uferdig enn antatt, og en del justering var nødvendig.

En annen utfordring med Aimsun er programmering av rundkjøring. Aimsun har en innebygd hurtigfunksjon for dette, men denne er utilstrekkelig hvis rundkjøringen skal ha flere enn ett felt og brukes slik vi er vant med i Norge. Aimsun lager nemlig rundkjøring med flere felt slik de brukes i Spania hvor det bare er tillatt å svinge ut av rundkjøringen fra ytterste felt (Aimsun, 2019). Som konsekvens må rundkjøring bygges opp manuelt ved bruk av seksjoner og noder, totalt én node mellom hver arm, for å få rundkjøringene til å fungere slik vi er vant med i Norge (Aimsun, 2019).

I tillegg var det problemer med å hente ut resultater for utslipp. For modellen «QUARTET», var det bare mulig å få resultater for utslipp av NO<sub>x</sub>.

Det var opprinnelig tenkt å innføre påbud om høyresving for personbiler i høyre felt langs Haakon VII's gate. Dette skulle ikke gjelde metrobuss som har behov for å være i høyre felt i forbindelse med busstopp. Det var ingen åpenbar mulighet til å ekskludere metrobuss fra påbud om høyresving i Aimsun. Det er mulig at det finnes en funksjon for dette som ikke ble oppdaget. Det ble derfor vurdert mest hensiktsmessig å simulere uten et slikt påbud, siden dette også er en relevant løsning.

## 6 Resultater

I dette kapitlet er resultatene fra videoregistreringen og modelleringen i Aimsun vist.

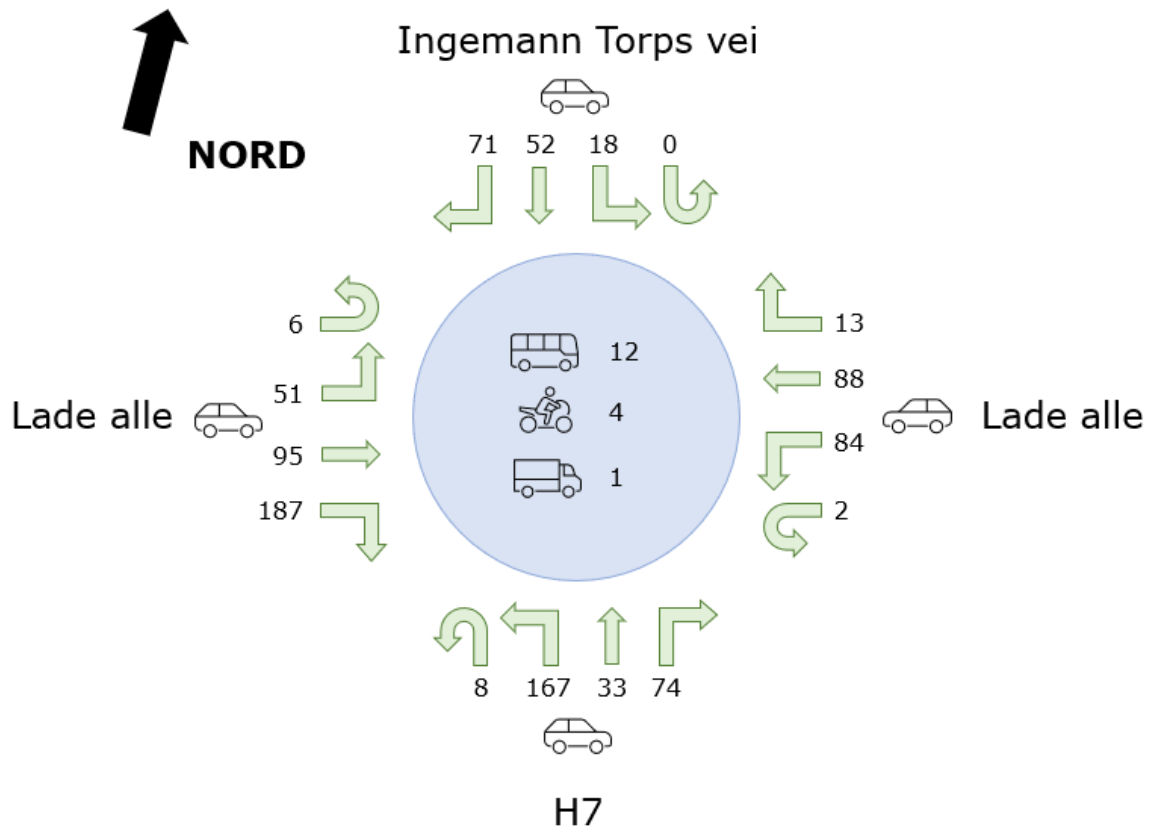
### 6.1 Videoregistreringer

Videoregistrering av trafikk ble foretatt lørdag 3. juni kl. 14:01-15:01. Figur 64-71 beskriver antall kjøretøy, mens tabell 10-17 beskriver antall fotgjengere i hvert gangfelt, i alle signalregulerte kryss og rundkjøringer langs den studerte strekningen. De aktuelle kryssene blir presentert i rekkefølge fra nordvest til sørøst. Svingebevegelser i hvert kryss er vist for personbiler. For tunge kjøretøy, lette kjøretøy og buss, vises bare total mengde kjøretøy som kommer inn i hvert kryss. Metrobuss (linje 2) beveger seg gjennom alle kryss, mens busslinje 13/20 beveger seg mellom nordøst og sørvest i kryss 8.

Personbiler er definert som biler, varebiler, minibusser og campingvogner; tunge kjøretøy som buss, lastebil og trailer; lette kjøretøy som moped, firehjuling og motorsyssel; og fotgjengere som fotgjengere, syklistene og el-sparkesyklister.

Ved alle kryss var det enkelte ganger utfordringer knyttet til begrenset sikt. Når metrobuss kjørte forbi kameraene kunne trafikk bak bli skjult. Likevel, kameraene var vinklet slik at en lang strekning oppstrøms for krysset var synlig. I tillegg, metrobussene har relativt store og lavtliggende vinduer noe som ofte gjorde det mulig å se biler på baksiden av disse. I kryss 8 ble to kameraer brukt. Alle disse faktorene gjorde at det alltid var mulig å telle trafikken i alle kryssene til tross for relativt lav plassering av kameraene.

Kryss 1:



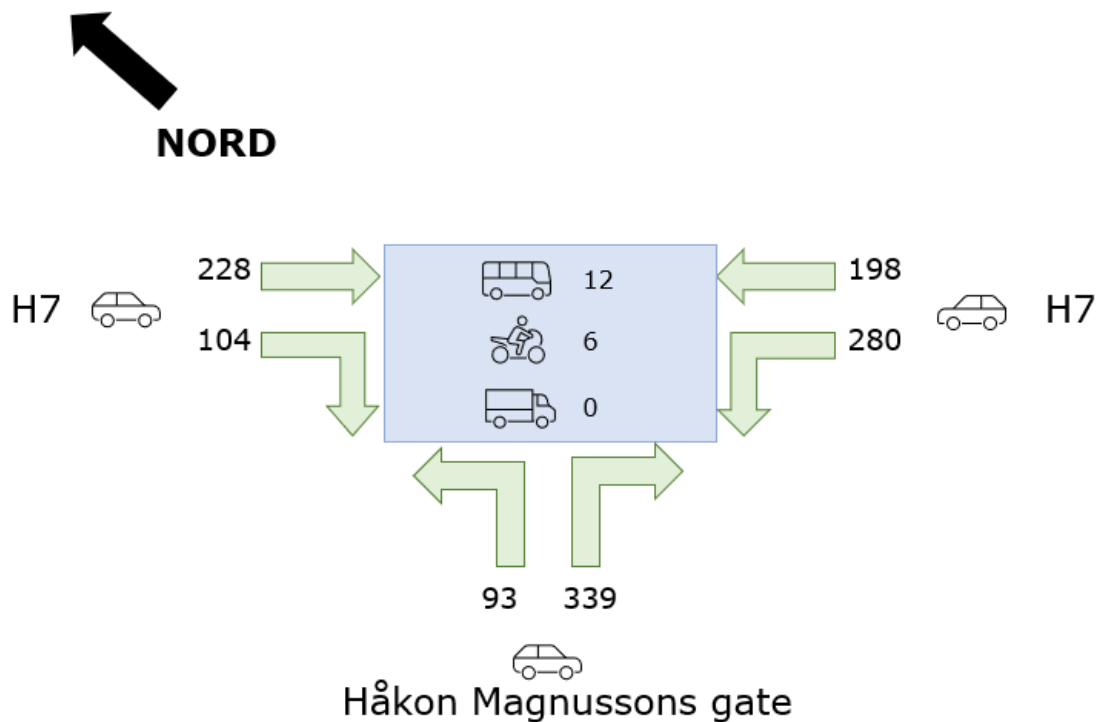
Figur 64 Antall kjøretøy i kryss 1

Tabell 10 Antall fotgjengere i kryss 1

| Antall fotgjengere som krysser hver arm i kryss 1 |    |
|---|----|
| Sør   | 67 |
| Vest  | 80 |
| Nord  | 78 |



Kryss 2:



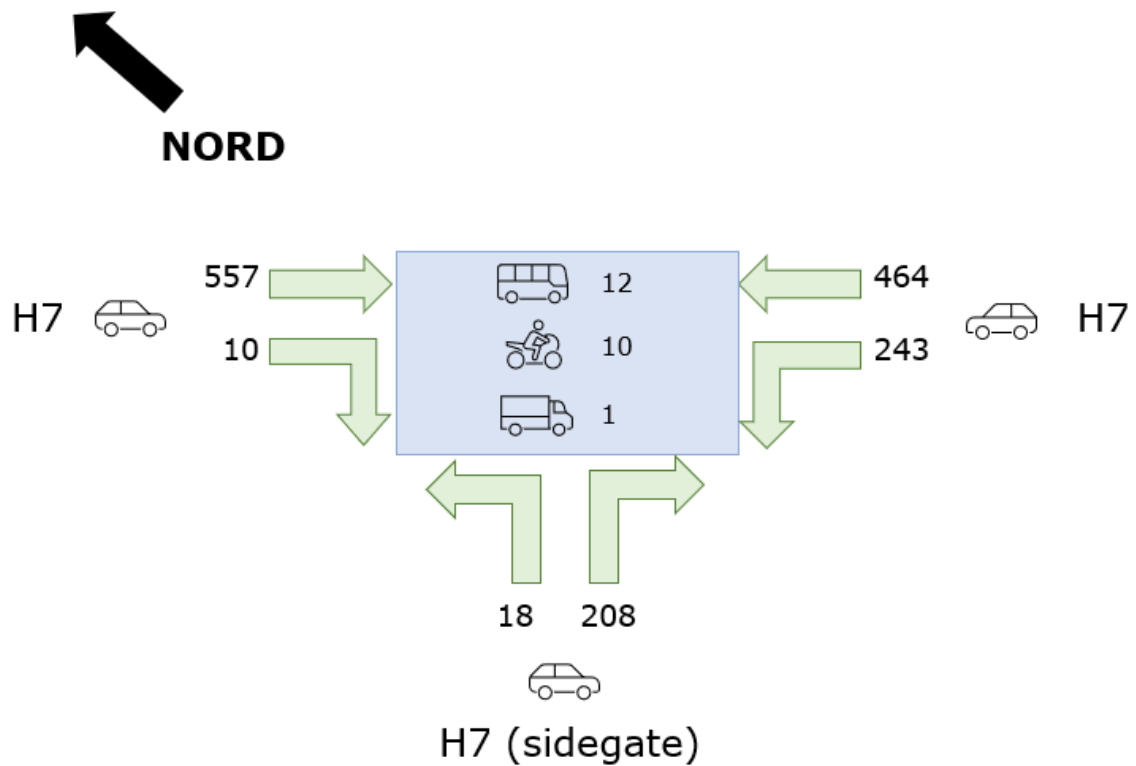
Figur 65 Antall kjøretøy i kryss 2

Tabell 11 Antall fotgjengere kryss 2

| Antall fotgjengere som krysser hver arm i kryss 2 |                |
|---|----------------|
| Sørøst  | Ingen gangfelt |
| Sørvest   | 15             |
| Nordvest  | Ikke målt*     |

\*I armen som går til nordvest var gangfeltet ikke inkludert i kameravinkelen. De som krysser gangfeltet i armen til sørvest, må også krysse armen i nordvest grunnet avstengt fortau på sørvestsiden av armen til nordvest. Det samme antallet fotgjengere som ble observert i sørvest ble derfor brukt for gangfeltet i nordvest ved simulering.

Kryss 3:

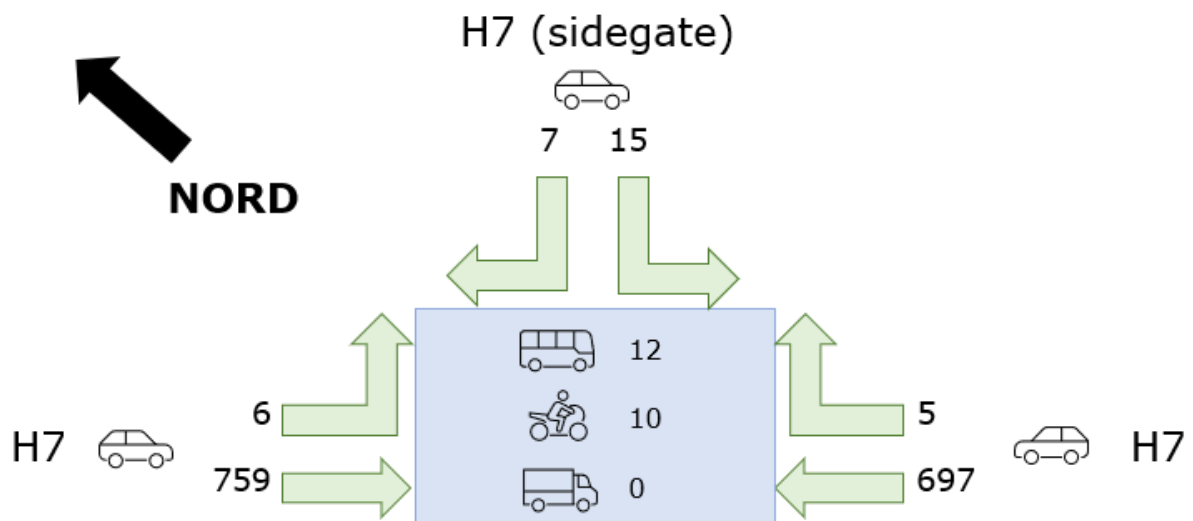


**Figur 66** Antall kjøretøy i kryss 3

**Tabell 12** Antall fotgjengere kryss 3

| Antall fotgjengere som krysser hver arm i kryss 3 |                |
|---|----------------|
| Sørøst  | Ingen gangfelt |
| Sørvest   | 84             |
| Nordvest  | 192            |

Kryss 4:

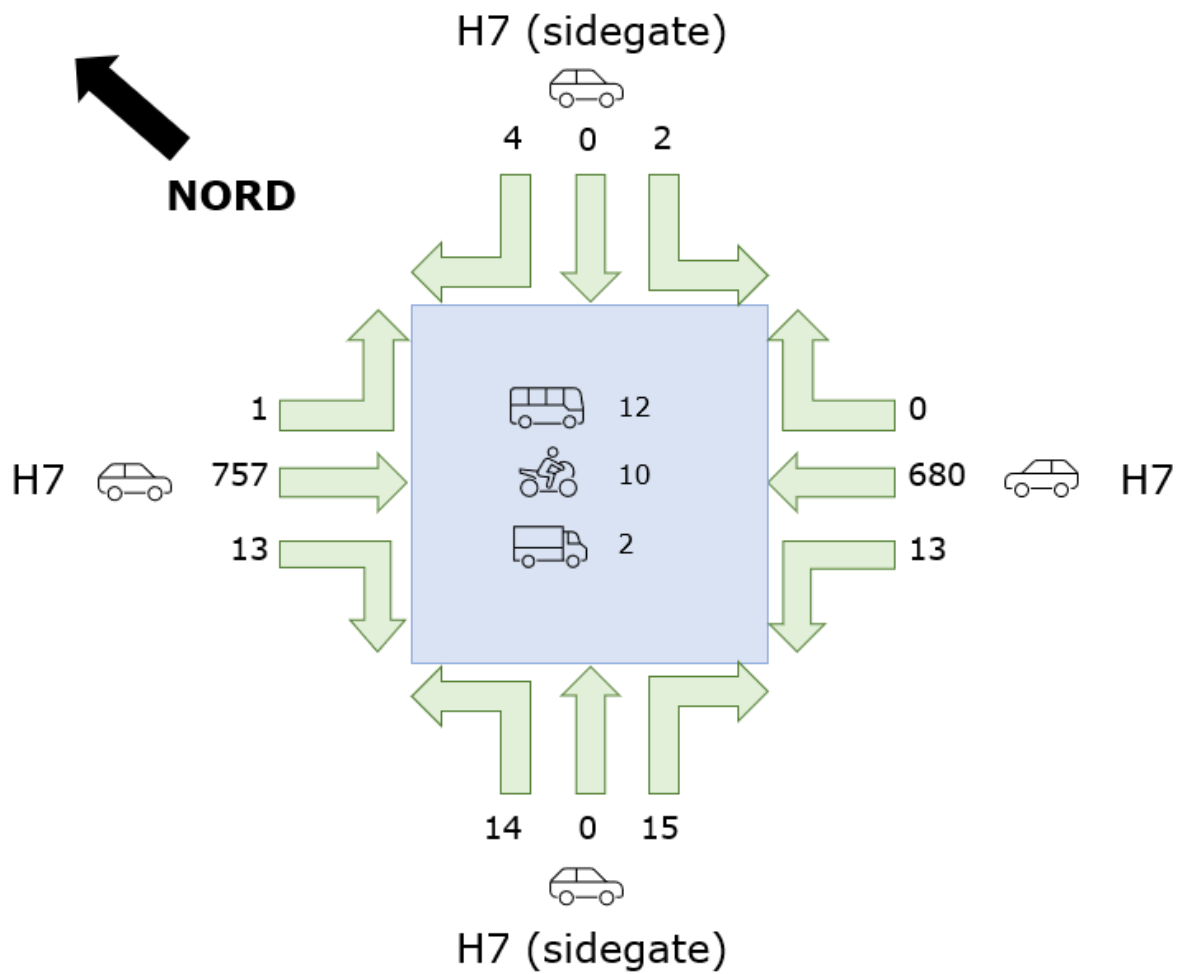


Figur 67 Antall kjøretøy i kryss 4

Tabell 13 Antall fotgjengere kryss 4

| Antall fotgjengere som krysser hver arm i kryss 4 |    |
|---|----|
| Nordøst   | 91 |
| Sørøst  | 13 |
| Nordvest  | 10 |

Kryss 5:

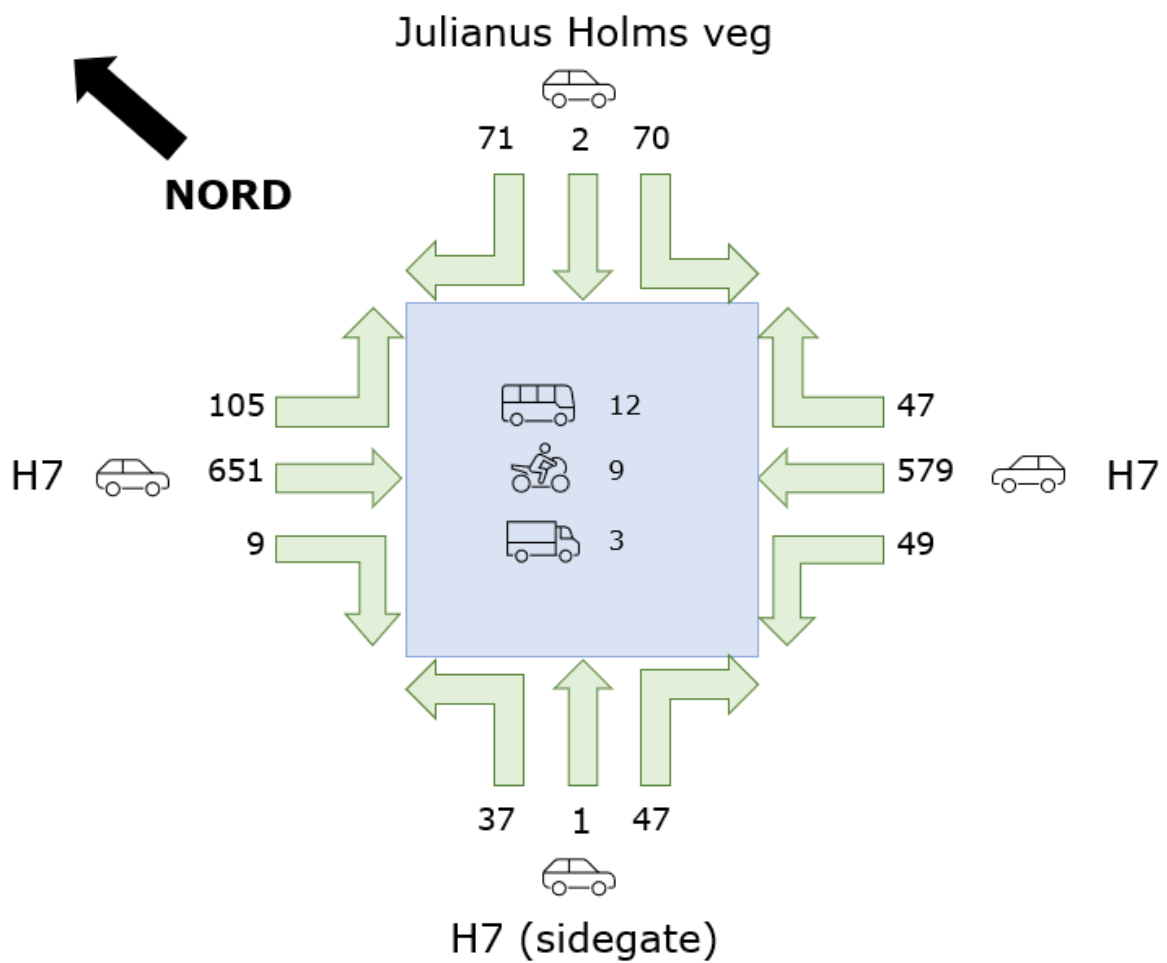


Figur 68 Antall kjøretøy i kryss 5

Tabell 14 Antall fotgjengere kryss 5

| Antall fotgjengere som krysser hver arm i kryss 5 |    |
|---|----|
| Nordøst   | 93 |
| Sørøst  | 2  |
| Sørvest   | 77 |
| Nordvest  | 7  |

Kryss 6:

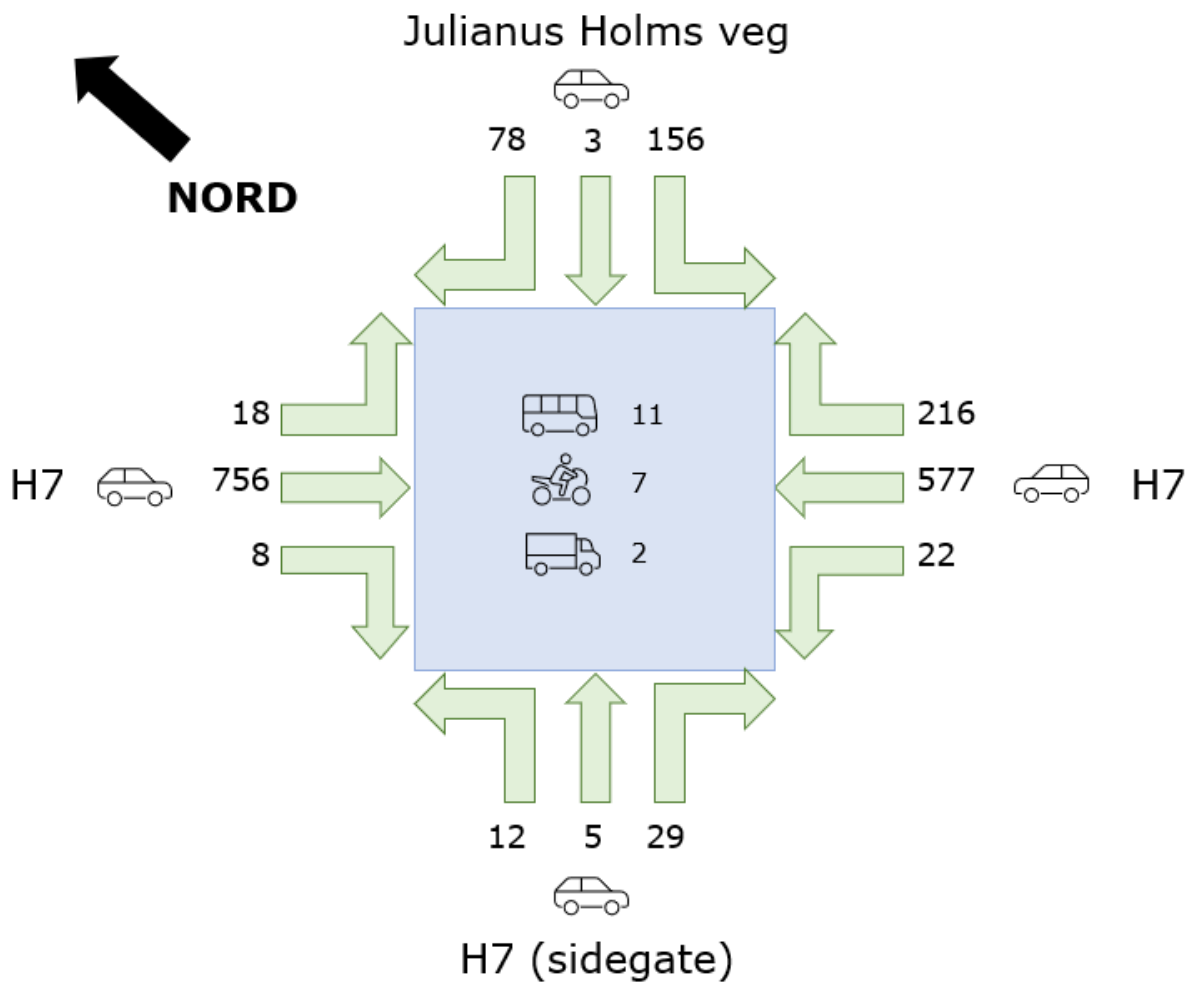


Figur 69 Antall kjøretøy i kryss 6

Tabell 15 Antall fotgjengere kryss 6

| Antall fotgjengere som krysser hver arm i kryss 6 |    |
|---|----|
| Nordøst   | 66 |
| Sørøst  | 21 |
| Sørvest   | 67 |
| Nordvest  | 20 |

Kryss 7:

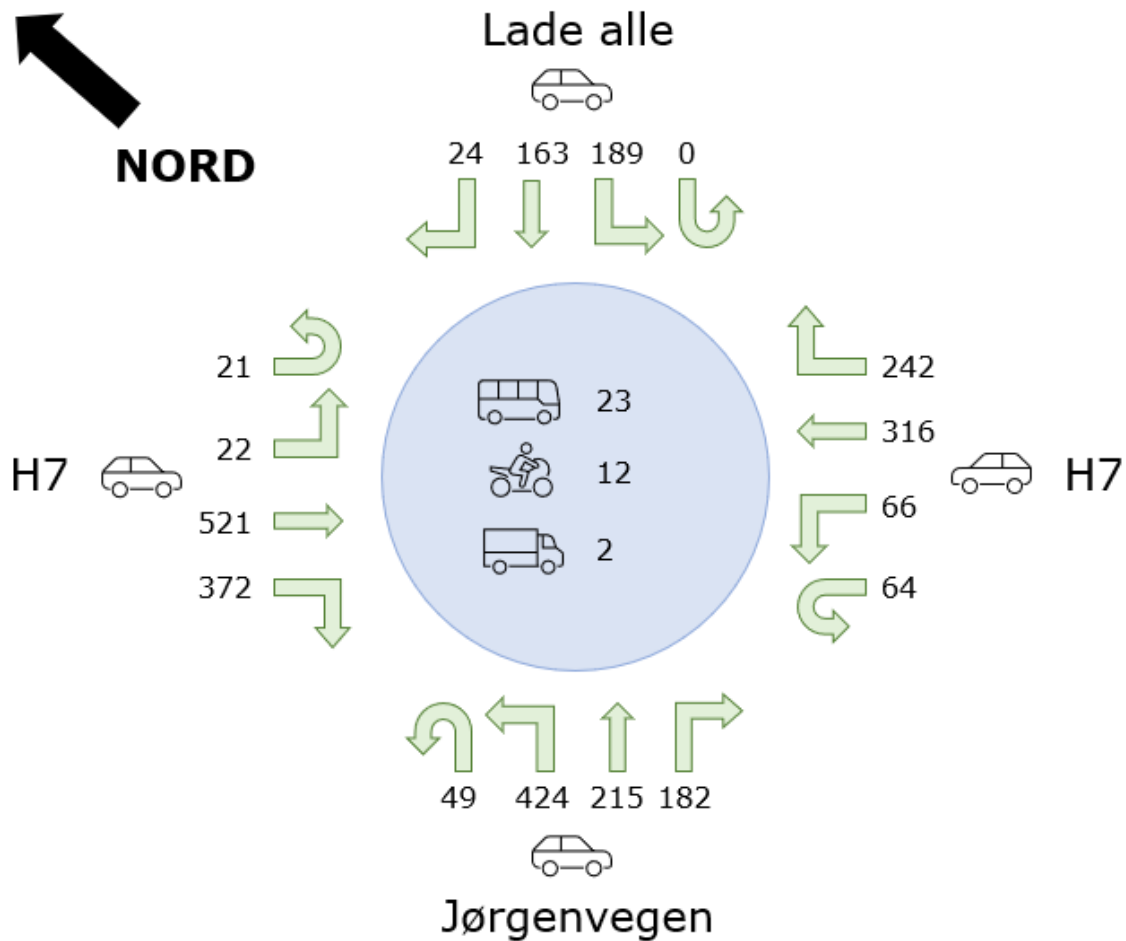


Figur 70 Antall kjøretøy i kryss 7

Tabell 16 Antall fotgjengere kryss 7

| Antall fotgjengere som krysser hver arm i kryss 7 |     |
|---|-----|
| Nordøst   | 119 |
| Sørøst  | 87  |
| Sørvest   | 66  |
| Nordvest  | 39  |

Kryss 8:



**Figur 71 Antall kjøretøy i kryss 8**

**Tabell 17 Antall fotgjengere kryss 8**

| Antall fotgjengere som krysser hver arm i kryss 8 |     |
|---|-----|
| Nordøst   | 59  |
| Sørøst  | 64  |
| Sørvest   | 139 |
| Nordvest  | 114 |

Fra trafikkteellingen fremkommer det at de største trafikkstrømmene på Haakon VII's gate er gjennomkjøring fra rundkjøring til rundkjøring, ettersom flest biler på Haakon VII's gate kjører rett frem i alle kryss (bortsett fra kryss 2), og inn- og utfart fra to kjøpesentre: City Lade (kryss 2 sørvest og kryss 3 sørvest) og Lade Arena (kryss 6 nordøst og kryss 7 nordøst). Det var tilnærmet like mange som kjørte inn og ut av de forskjellige kjøpesentrene. Det var svært få lastebiler og lette kjøretøy, slik at disse ble ekskludert fra simuleringen for enkelthets skyld.

## 6.2 Aimsun Next 22

I dette kapitlet beskrives observasjoner gjort ved visuell inspeksjon av simuleringene i Aimsun. Deretter er resultater fra simuleringene vist i figurer og én tabell. I alle figurene er dagens løsning sammenlignet med alternativ løsning. Resultatene i figurene er også vist i Vedlegg D, som i tillegg viser et bredere utvalg av resultater på nettverksnivå og for utvalgte relevante reiseruter langs Haakon VII's gate.

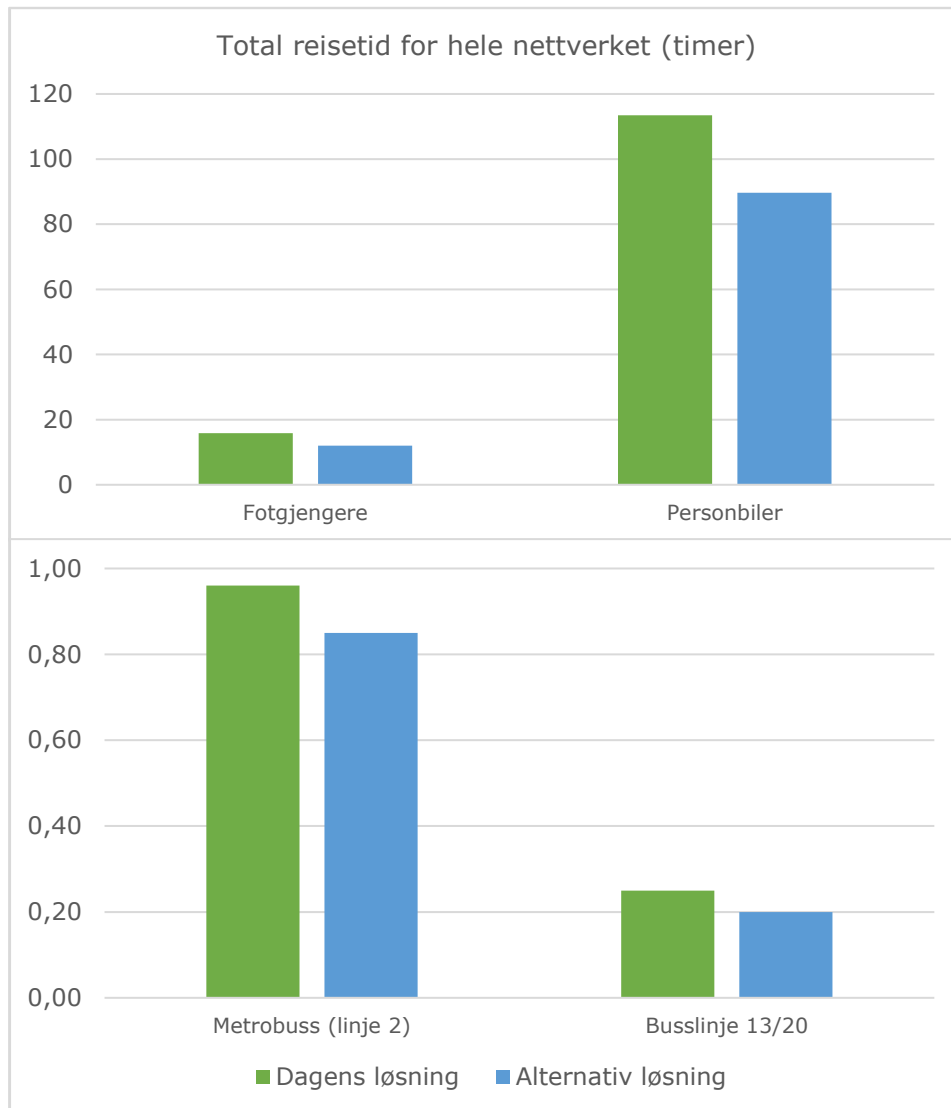
### 6.2.1 Observasjoner under simulering av dagens løsning

Observasjon under simulering av dagens løsning stemte godt med det som ble observert ved videoregistrering av trafikkmengder. Blant annet oppstod kødannelse i kryss 7 som strakk seg helt tilbake til kryss 8 og slik at trafikk inn til dette krysset stoppet opp. I simuleringen var trafikkflyten god for kryss 1 til 6 isolert sett, men trafikkflyten langs hele strekningen bar preg av at de signalregulerte kryssene ikke var koordinerte, og at biler ofte var nødt til å stoppe i påvente av grønt lys i flere av kryssene. Bussprioritering og kollektivfelt for metrobuss var også realistisk i simuleringen. Aktiv bussprioritering i signalanleggene førte til at metrobussene alltid fikk grønt lys når de nærmet seg kryssene. I kryss med store trafikkmengder oppstod likevel forsinkelse ettersom andre kjøretøy brukte tid kjøre gjennom krysset før metrobussen.



## 6.2.2 Resultater hele nettverket

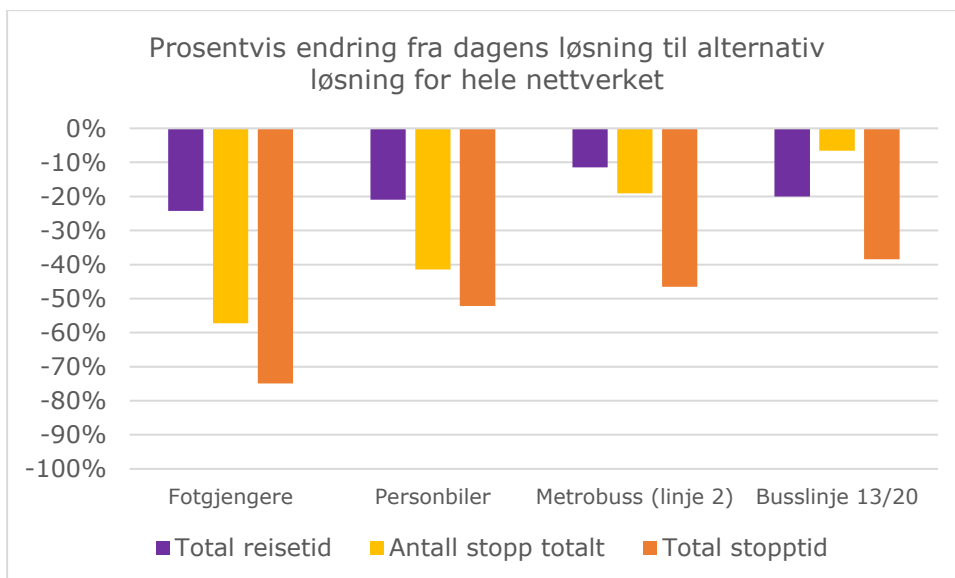
Resultatene for total reisetid i timer for hele nettverket er vist i figur 72 for ulike trafikanter ved simulering av dagens og alternativ løsning.



**Figur 72 Total reisetid for hele nettverket for ulike trafikanter**

Ved alternativ løsning var reisetiden kortere for alle trafikanter; fotgjengere, personbiler, metrobuss, og buslinje 13/20, sammenlignet med dagens løsning.

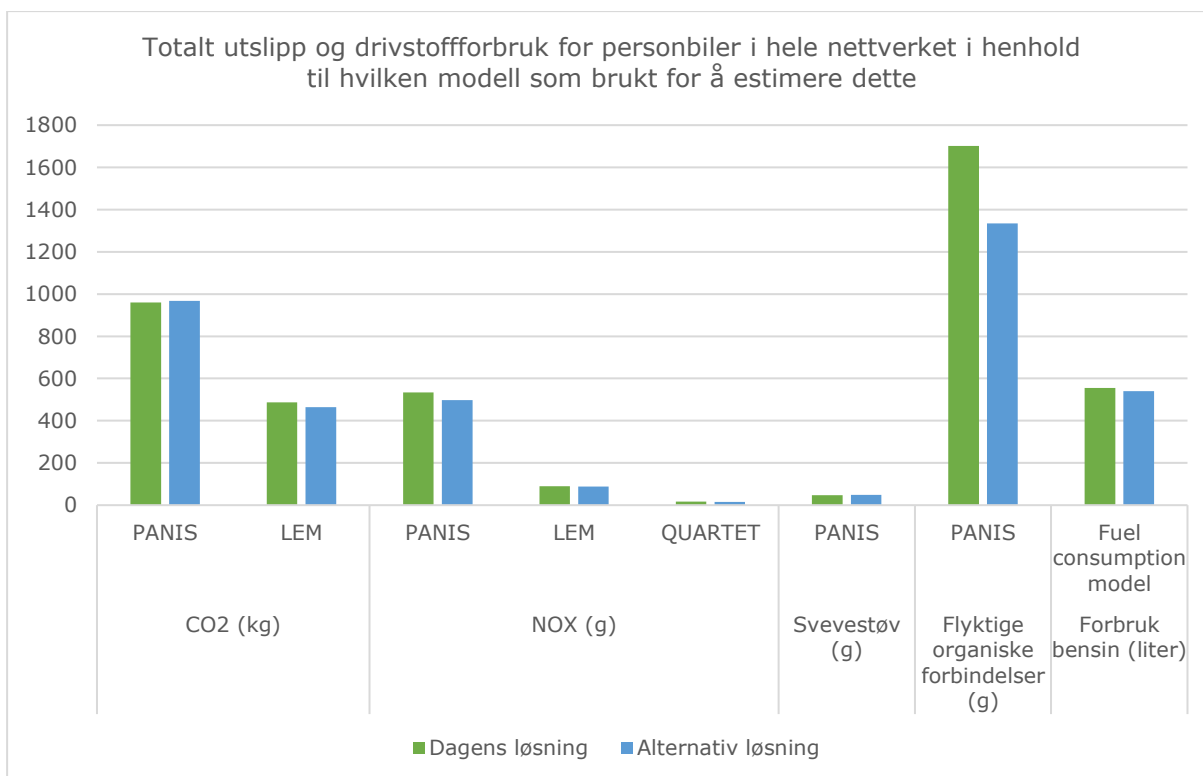
Den prosentvise endringen i total reisetid, stopptid og antall stopp, fra dagens til alternativ løsning, er vist i figur 73.



**Figur 73 Prosentvis endring fra dagens løsning til alternativ løsning for hele nettverket**

Den totale reisetiden reduseres med henholdsvis 24%, 21%, 11%, og 20%, for fotgjengere, personbiler, metrobuss (linje 2) og buslinje 13/20, ved alternativ løsning sammenlignet med dagens løsning (figur 68). I tillegg er total stopptid og antall stopp redusert for alle trafikanter ved alternativ løsning (figur 68).

Figur 74 viser utslipp og drivstofforbruk på nettverksnivå for personbiler ved simulering av dagens og alternativ løsning i henhold til hvilken modell som er brukt for å estimere dette.



**Figur 74 Utslipp og drivstofforbruk på nettverksnivå for personbiler**

Det var små forskjeller mellom dagens og alternativ løsning i utslipp av CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og svevestøv fra personbiler. Videre, utslipp av flyktige organiske forbindelser var lavest ved alternativ løsning. For personbiler er det totale forbruket av drivstoff sammenlignbart mellom dagens og alternativ løsning. De to modellene som brukes til å estimere CO<sub>2</sub> ga svært forskjellig estimat på det faktiske utslippet. Modellen «PANIS» estimerte i overkant av dobbelt så høyt utslipp som modellen «LEM» (figur 69). Også for utslipp av NO<sub>x</sub> var det faktiske estimatet svært forskjellig mellom de ulike modellene. Det høyeste estimatet (PANIS) var i overkant av 30 ganger så høyt som det laveste estimatet (QUARTET) (figur 69).

### 6.2.3 Resultater metrobuss (linje 2)

Tabell 18 viser et utvalg av resultater for enkeltreiser med metrobuss (linje 2), helt fra den kommer inn i det simulerte nettverket, og til den kjører ut igjen. Resultatene er vist i henhold til kjøreretning for dagens og alternativ løsning.

**Tabell 18 Resultater for metrobuss**

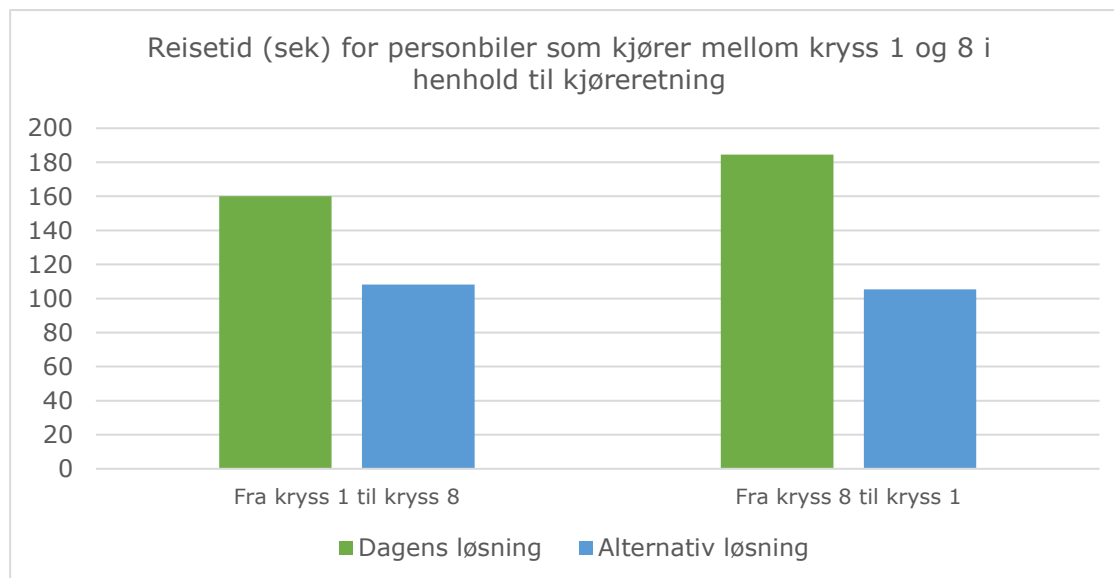
|   | Dagens løsning | Alternativ løsning | Differanse |
|---|----------------|--------------------|------------|
| Tabell 18. Oversikt over gjennomsnittlige resultater for enkeltreiser med metrobuss (linje 2) ved dagens og alternativ løsning i henhold til kjøreretning |                |                    |            |
| Reisetid, sekunder  |                |                    |            |
| Kjøreretning: fra kryss 1 mot kryss 8   | 285            | 244                | 41         |
| Kjøreretning: fra kryss 8 mot kryss 1   | 289            | 269                | 20         |
| Forsinkelse, sekunder   |                |                    |            |
| Kjøreretning: fra kryss 1 mot kryss 8   | 107            | 64                 | 42         |
| Kjøreretning: fra kryss 8 mot kryss 1   | 105            | 84                 | 21         |
| Antall stopp (busstopp inkludert)   |                |                    |            |
| Kjøreretning: fra kryss 1 mot kryss 8   | 7              | 5                  | 1          |
| Kjøreretning: Fra kryss 8 mot kryss 1   | 7              | 5                  | 1          |
| Stoptid, sekunder (busstopp ekskludert)   |                |                    |            |
| Kjøreretning: fra kryss 1 mot kryss 8   | 61             | 24                 | 37         |
| Kjøreretning: fra kryss 8 mot kryss 1   | 53             | 37                 | 16         |
| Gjennomsnittsfart   |                |                    |            |
| Kjøreretning: fra kryss 1 mot kryss 8   | 19             | 22                 | -3         |
| Kjøreretning: fra kryss 8 mot kryss 1   | 20             | 21                 | -1         |

Den gjennomsnittlige reisetiden for metrobuss på enkeltreiser i nettverket reduseres med 41 sekunder og 20 sekunder, avhengig av kjøreretning, ved alternativ løsning sammenlignet med dagens løsning. Tilsvarende reduseres gjennomsnittlig stoptid (utenfor busstopp) med 37 og 16 sekunder, henholdsvis, og gjennomsnittlig forsinkelse med 42 og 21 sekunder, henholdsvis. Ved alternativ løsning stopper metrobussen i gjennomsnitt én gang mindre i begge retninger. Gjennomsnittsfarten er høyere ved

alternativ løsning sammenlignet med dagens løsning (22 km/t mot 19 km/t og 20 km/t mot 21 km/t, avhengig av kjøreretning).

#### 6.2.4 Resultater personbiler

I figur 75 er resultater i reisetid for personbiler som kjører mellom kryss 1 og 8 vist for begge kjøreretninger langs Haakon VII's gate.

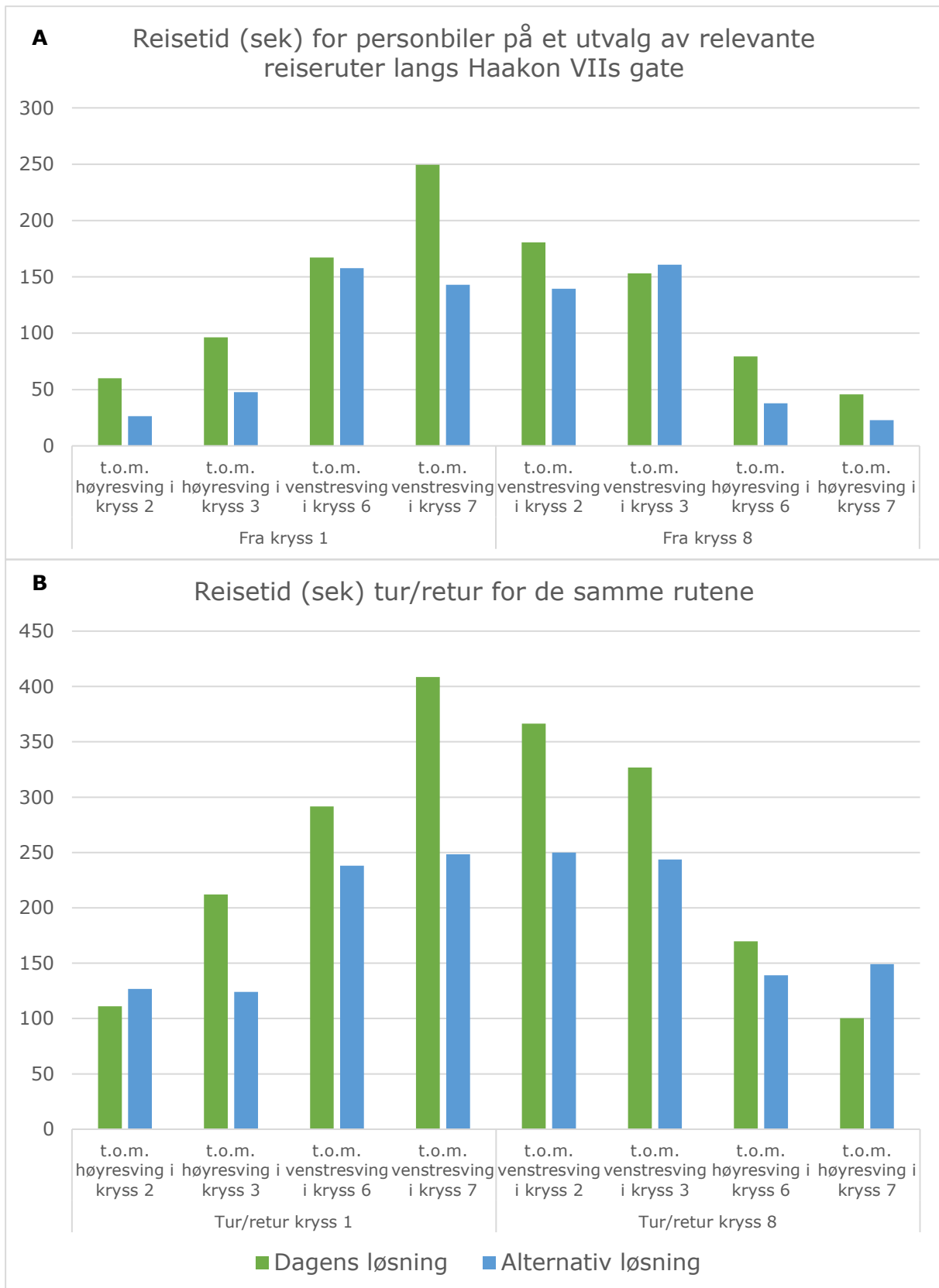


**Figur 75 Reisetid (sek) for personbiler som kjører mellom kryss 1 og 8**

For biler som kjører mellom kryss 1 og 8 er reisetiden kortest ved alternativ løsning, uavhengig av kjøreretning. Dette representerer besparelse i reisetid for gjennomgangstrafikk.

Resultater i reisetid for personbiler for et utvalg av relevante reiseruter langs Haakon VII's gate er vist i Figur 76A. Disse reiserutene går fra kryss 1 eller kryss 8, og til ett av kjøpesentrene langs gaten; City Lade (kryss 2 og kryss 3) eller Lade Arena (kryss 6 og kryss 7). Hver reiserute avsluttes med en svingebevegelse som angir lokalisasjon av kjøpesenter i forhold til kjøreretning. Denne svingebevegelsen kan imidlertid være forbudt. For eksempel vil alle reiseruter som avsluttes med venstresving, innebære omveg ved alternativ løsning som har forbud mot venstresving. For dagens løsning derimot, vil venstresving alltid være tillatt bortsett fra på reiseruten som heter «Fra kryss 1 t.o.m. venstresving i kryss 7» hvor det er påbud om å kjøre rett frem i kryss 7 ved dagens løsning for denne kjøreretningen.

Reisetid er også presentert tur/retur, for å illustrere den totale reisetiden som går med ved handletur på et av kjøpesentrene (Figur 76B).



**Figur 76** Reisetid på et utvalg av relevante reiser for dagens og alternativ løsning

Reisetiden er kortere ved alternativ løsning for alle de studerte enkeltreisene, med unntak av reiseruten: «Fra kryss 8 t.o.m. venstresving i kryss 3» (figur 76A). Denne reiseruten innebærer omveg for alternativ løsning som har forbud mot venstresving. Tidsbesparelsen er størst ved alternativ løsning for reiseruten som er heter «Fra kryss 1 t.o.m. venstresving i kryss 7» (figur 76A), hvor reisedistansen er lik mellom dagens og alternativ løsning grunnet påbud om å kjøre rett frem i kryss 7 ved dagens løsning. Tur/retur er reisetiden lengere ved alternativ løsning for reiserutene som heter: «Fra kryss 1 t.o.m. høyresving i kryss 2» og «Fra kryss 8 t.o.m. høyresving i kryss 7» (Figur 76B). Felles for disse reiserutene er at personbiler svinger av Haakon VII's gate ved første mulighet.

## 7 Diskusjon

I denne delen diskuteres og tolkes resultatene fra kapittel 6 og disse sammenholdes med funn fra studier presentert i teoridelen. Reisetid og utslipp blir drøftet i mer detalj og sett på i lys av andre utfall. Deretter diskuteres intern og ekstern validitet av resultatene.

### 7.1 Resultater fra Aimsun Next 22

#### 7.1.1 Reisetid for fotgjengere

Ved alternativ løsning er alle gangfelt regulert med vikeplikt i stedet for å være signalregulert. Som forventet er den totale reisetiden for fotgjengere redusert ved alternativ løsning, ettersom disse slipper å vente på grønt lys og all annen trafikk må vike for dem.

#### 7.1.2 Reisetid for personbiler

Reisetiden for personbiler er kortere ved alternativ løsning, både på nettverksnivå og for utvalgte ruter samlet sett, dette til tross for at en del trafikk blir nødt til å kjøre omveg. Dette passer godt med det som ble funnet i studien til Hajbabaie et al. (2010) som fant at innføring av forbud mot venstresving langs en hovedveg i et virtuelt urbant nettverk ville redusere total forsinkelse for hele nettverket. Flere faktorer er med på å forklare funnene i denne oppgaven. Trafikk som skal rett frem slipper å vente på grønt lys i signalregulerte kryss ettersom signalregulering erstattes med forkjøringsrett ved alternativ løsning. I tillegg kan to felt benyttes for å kjøre rett frem i alle kryss sammenlignet med ett felt ved de fleste kryss ved dagens løsning. I kryss 7 kan et ekstra felt til trafikk som kjører rett frem være av stor betydning, ettersom det ved dagens løsning innimellom oppstår tilbakeblokkeringer til kryss 8 som fører til at all trafikk stopper opp i kryss 8. Selv om trafikk som kjører rett frem har vikeplikt for fotgjengere, tyder lavere antall stopp og mindre stopptid på at alternativ løsning gir raskere avvikling for denne trafikkstrømmen. Trafikk som skal inn fra sidegater må vente på en ledig luke noe som både kan ta lengere eller kortere tid sammenlignet med å vente på grønt lys. I tillegg må trafikk som ønsker å svinge til venstre fra både hovedveg og sidegater, eller rett frem fra sidegater, kjøre omveg for å oppnå samme svingebevegelse. Likevel, på nettverksnivå tyder resultatene på at fordelene for trafikk som skal rett frem utveier ulempene for disse trafikantene. Reisetiden var kortere ved alternativ løsning for de mest relevante reiserutene, bortsett fra trafikk som svinger inn i sidegate ved første anledning, som dermed i mindre grad nyttiggjorde seg av bedre trafikkflyt langs Haakon VII's gate.

#### 7.1.3 Reisetid for metabuss

Alternativ løsning resulterte i redusert reisetid for metabuss (linje 2). Som tidligere diskutert vil alternativ løsning være gunstig for trafikk som skal rett frem, og siden dette inkluderer metabussene, vil det også være gunstig for disse. Dette samsvarer også med funn fra en tidligere studie som fant ved simulering at forbud av venstresving reduserte reisetid for kollektivbuss ytterligere, sammenlignet med bussprioritering i signalanlegg som eneste tiltak (Shalaby, Abdulhai and Lee, 2003). Denne oppgaven kaster nytt lys på disse funnene, ved å vise at forbud mot venstresving også vil være effektivt uten andre former for bussprioritering. Det er mulig at dersom man innfører kollektivfelt i den nye

løsningen at reisetiden for bussen reduseres ytterligere, men mest sannsynlig vil dette være på bekostning av reisetiden for personbiler, siden disse får mindre kapasitet i vegnettet. Resultatene er også forenlig med Devitt et al. sin studie (2020), om at begrensninger av svingebevegelser kan være et relevant tiltak for å bedre kollektivtransporten. Videre tyder resultatene på at mye av tidsbesparelsen stammer fra redusert stopptid utenfor busstopp.

#### 7.1.4 Reisetid for busslinje 13/20

Simuleringen gir indikasjoner på at trafikkavviklingen er bedret i kryss 8 ved alternativ løsning. Dette skyldes at reisetiden reduseres for busslinje 13/20 ved alternativ løsning, som kun beveger seg mellom nordøst og sørvest i kryss 8. I dette krysset er trafikkmengdene større enn alle de andre studerte kryssene, og en eventuell forbedring av trafikkflyt i dette krysset har dermed stor relevans.

#### 7.1.5 Forbruk av bensin for personbiler

Til tross for at total reisedistanse er lengere ved alternativ løsning, brukes like mye drivstoff på nettverksnivå. Dette skyldes at andre faktorer enn distanse virker inn på forbruk av drivstoff. I Fuel Consumption Model er tid brukt i forskjellige kjøremoduser (akselerasjon, deakselerasjon, tomgang og konstant fart) utslagsgivende for forbruk av drivstoff, og kortere reisetid totalt sett gir dermed i seg selv lavere utslipp hvis andel i hver kjøremodus holdes konstant. Vi kan likevel anta at forskjell i kjøremønster spiller inn på forskjeller i drivstofforbruk mellom de to løsningene. På den ene siden er antall stopp er lavere, slik at forbruk knyttet til akselerasjon og deakselerasjon i forbindelse med stopp også er lavere, ved alternativ løsning. I tillegg er stopptiden lavere ved alternativ løsning, noe som medfører mindre forbruk i tomgang. På den andre siden, kjører biler fortere ved alternativ løsning, noe som øker forbruket av drivstoff.

#### 7.1.6 Utslipp fra personbiler

Til tross for at bilene må kjøre lengere ved alternativ løsning, hadde dette kun beskjedne effekter på utslipp. Tidligere studier har vist forskjeller i utslipp ved å endre X-kryss til rundkjøring, både fra feltundersøkelse (Meneguzzer, Gastaldi and Giancristofaro, 2018) og i simuleringmodeller (Mustafa and Noor, 2022), slik at forskjell mellom dagens og alternativ løsning kunne vært forventet siden ett av x-kryssene har blitt byttet ut med rundkjøring. Likevel, i denne simuleringen vurderes effekter av flere endringer på nettverksnivå, i stedet for ett enkeltstående kryss, noe som gjør det mer kompleks å forutsi forskjeller i utslipp. Kortere reisetid, lavere antall stopp og lavere stopptid vil generelt sett redusere utslipp, mens høyere gjennomsnittsfart gjør det motsatte. I hvilken grad disse faktorene spiller en rolle varierer mellom type utslipp, noe som forklarer hvorfor utslipp av flyktige organiske forbindelser var lavere ved alternativ løsning, mens det kun var beskjedne forskjeller i utslipp av CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og svevestøv.

Det var store forskjeller mellom de forskjellige utslippsmodellene på hvor stort det faktiske utslippet var, slik at det er vanskelig å vurdere hvor stor en eventuell gevinst av å bytte til alternativ løsning er. I tillegg er kun bensinbiler brukt i simuleringen. I virkeligheten vil fordeling av drivstofftype være mer heterogen med blant annet diesel-, el- og hybridbiler. Alle de tre modellene som er inkludert, bruker forskjellige inngangsparametere for å kalkulere utslipp og er kalibrert med bilparker fra forskjellige tiår, slik at forskjellige estimat mellom disse var forventet. For eksempel, er det bare modellen som heter QUARTET som har mulighet til å inkludere vegens helningsgrad som



inngangsparameter. Likevel, dette skulle ikke ha stor betydning for resultatene i denne oppgaven, ettersom den studerte strekningen er relativ flat.

## 7.2 Validitet

### 7.2.1 Intern validitet

Intern validitet referer til hvorvidt resultatene er til å stole på. Dette hviler i stor grad på simuleringsprogrammets evne til å simulere virkeligheten. Observasjoner under simulering av dagens løsning stemte godt overens med det som ble observert ved videoregistrering av trafikkmengder, men ideelt sett burde funnene vært basert på feltundersøkelser før og etter innføring av alternativ løsning, men dette er for dyrt og tidkrevende. En mer hensiktsmessig måte å kontrollere funnene på vil være å ta i bruk andre simuleringsprogrammer, for eksempel SIDRA eller Vissim, som antagelig simulerer trafikk noe annerledes. Hvis disse programmene viser samme resultater vil det i så fall styrke den interne validiteten.

Denne oppgaven har satt søkelys på Haakon VII's gate og simuleringen inkluderer ikke vegnettet utenfor denne strekningen. I praksis betyr det at alle utganger fra det simulerte nettverket antas å ha uendelig kapasitet, noe som er lite realistisk ettersom flere av sidegatene leder inn på parkeringsplasser hvor det fort kan oppstå trengsel. I virkeligheten vil denne trengselen kunne forplante seg helt tilbake til Haakon VII's gate og skape kø der. Det er ikke mulig å simulere parkeringsplasser i Aimsun. Likevel, ved den nye løsningen kan to felt benyttes til å kjøre rett frem, noe som vil opprettholde en viss trafikkflyt selv hvis det forplanter seg kø bakover og inn på Haakon VII's gate.

En annen forutsetning for resultatene i denne oppgaven er at rutevalg (dvs. startpunkt og reisedestinasjon) ikke påvirkes av ny geometrisk utforming. Vi antar for eksempel at trafikk som ønsker å svinge til venstre ved alternativ løsning fremdeles ønsker dette til tross for at de må reise en forholdsvis lang omveg for å oppnå samme resultat. Noen trafikanter vil for eksempel kunne ta seg hjem etter handletur ved begge retninger langs Haakon VII's gate. Hvis simuleringsmodellen hadde tatt høyde for dette ville total reisedistanse ved alternativ løsning blitt mindre, og som resultat ville også total reisetid blitt kortere, noe som bare ville gjort alternativ løsning mer attraktiv sammenlignet med dagens løsning.

Videre bruker simuleringsprogrammet trafikkmengder og svingebevegelser som er basert på én time fra virkeligheten. Hvorvidt denne timen er representativt for det faktiske gjennomsnittet av trafikkmengder og svingebevegelser for den mest travle tidsperioden på lørdag, er usikkert. Ved tilfeldighet kan det være skjevfordelinger av enkelte svingebevegelser, eller unormalt lave eller høye trafikkmengder. Likevel, den totale trafikkmengden passet godt overens med det som tellepunktet viste for personbiler for andre tidspunkt samme dag og antall personbiler registrert på andre lørdager. I tillegg var trafikkstrømmene inn og ut av kjøpesentrene i noenlunde balanse. Videre var trafikken størst inn til de to største kjøpesentrene, som forventet. Lite tung transport er også som forventet ved helg. Hvis det skulle vise seg at antall fotgjengere ved enkelte gangfelt er større enn det som ble registrert, vil dette kunne øke reisetid for personbiler og metrobuss ved alternativ løsning, ettersom disse stadig må vike for fotgjengere i forbindelse med gangfelt.

I simuleringen antas fullstendig etterlevelse av trafikregulering samt at alle trafikanter velger raskeste u-sving ved alternativ løsning. Hvorvidt alle trafikanter respekter forbud

mot venstresving er høyst usikkert ettersom det ble observert 18 tilfeller hvor dette ikke ble overholdt i kryss 7. Dette bidro til noe redusert trafikkavvikling i dette krysset, og det kan derfor tenkes at alternativ løsning fungerer dårligere i virkeligheten enn det som simuleringen viser. I tillegg, hvis ikke personbiler velger raskeste u-sving vil reisetiden ved alternativ løsning være større enn resultatene viser. Det kan likevel tenkes at forbud mot venstresving i alle kryss skaper en helhet som er enklere å forholde seg til for personbiler og at god skilting kan føre til at de fleste velger raskeste u-sving. Ved dårlig etterlevelse av forbud mot venstresving er fysiske barrierer et mulig alternativ, men dette behovet må veies opp mot forsinkelsen det medfører for utrykningskjøretøy.

Dårlig etterlevelse av forbud mot venstresving kan i verste fall føre til dårligere trafiksikkerhet ved alternativ løsning. På den andre siden viser tidligere studier at forbud mot venstresving, samt utbygging av X-kryss med rundkjøring, reduserer antall trafikkulykker (Elvik, 2017; Kay *et al.*, 2022; El Esawey, Abo-Bakr and Osama, 2023). For å bedre trafiksikkerheten for fotgjengere kan det være aktuelt å etablere signalregulerte gangfelt, særlig i tilknytning til bussholdeplasser hvor antall kryssende fotgjengere var størst (Statens vegvesen, 2017).

### 7.2.1 Ekstern validitet

Intern validitet er en forutsetning for ekstern validitet. Sistnevnte refererer til hvorvidt resultatene kan overføres til lignende situasjoner, for eksempel frem i tid. Lik etterspørsel av vegnettet en stund etter innføring av nye løsninger er muligens lite realistisk. Det pågår en diskusjon hvorvidt utvidelse av vegkapasitet vil skape ny trafikk som medfører trengsel på nytt en gang i fremtiden (Strand *et al.*, 2009; Litman, 2023). For å unngå trengsel på nytt i fremtiden på grunn av slik nyskapt trafikk argumenteres det for at nye løsninger i hovedsak burde stimulere til bruk av alternative former for transport, som for eksempel kollektivtransport (jfr. nullvekstmålet, som står sentralt for samferdsplanlegging i Norge). Ettersom den alternative løsningen i denne oppgaven gjør det bedre for både personbiler og kollektivtransport er det vanskelig å si hvordan en eventuell likevekt mellom disse forskyves. Hvis nyskapt trafikk av personbiler viser seg å skape kapasitetsproblemer på strekningen vil dette også medføre økt reisetid for kollektivtransport ved alternativ løsning, ettersom det ikke finnes noen former for bussprioritering ved denne løsningen. Likevel, et begrenset antall parkeringsplasser på kjøpesentrene vil bidra til å holde antall personbiler under et visst nivå.

Hvorvidt resultatene kan overføres til andre ukedager er usikkert. På slike dager vil det antagelig være mer tung transport som leverer varer til butikker. I tillegg vil det være lavere aktivitet på kjøpesentrene. Hvis det for eksempel er lav aktivitet fra sidegater på hverdager vil dette medføre at trafikk som skal rett frem oftere har grønn lys, ettersom grønn tid for andre faser enn rett frem kun blir aktivert av detekterte kjøretøy i sidegatene eller fotgjengere. I et slikt scenario vil reisetiden for trafikk som skal rett frem reduseres ved dagens løsning (som følge av uavbrutt grønn tid), slik at forskjell mellom dagens og alternativ løsning kanskje reduseres eller reverseres. Dette kan utforskes videre ved å bruke trafikkdata fra hverdager i simuleringsmodellen. Hvis dagens løsning skulle vise seg å være bedre på hverdager, kan innføring av alternativ løsning innenfor gitte tidsrom på lørdager ved å bruke dynamisk trafikkregulering være en mulighet. På den andre siden, slik trafikkregulering kan være forvirrende for trafikken og dermed virke mot sin hensikt.

Videre vil resultatene ikke nødvendigvis være overførbare til vinterhalvåret. Dette er av stor betydning ettersom det rundt juletid som regel er økt aktivitet på kjøpesentre

generelt sett og dermed sannsynligvis økt trafikk langs Haakon VII's gate. Innstillingene som er valgt for simulering av kjøreatferd i Aimsun er for det meste standardinnstillinger i denne oppgaven. U-sving i rundkjøring vil bli mye vanligere ved alternativ løsning, og vil antagelig ta lengere tid ved glatt føre på vinterstid. Som resultat kan forskjellen mellom dagens og alternativ løsning reduseres eller muligens reverseres. Dette kan utforskes videre med feltobservasjoner av trafikk i eksisterende rundkjøringer på dager med glatt føre og deretter gjenskape denne atferden ved å forandre på innstillinger i Aimsun. Disse innstillingene kan deretter brukes i simuleringsmodellen for dagens og alternativ løsning og nye resultater kan hentes ut.

Flere faktorer spiller inn på om resultatene kan overføres til lignende vegstrekninger andre steder i landet. Det kan tenkes at forbud mot venstresving er særlig relevant der andel venstresvingende er lav, andel som kjører rett frem er høy, og det finnes rimelige muligheter for å ta u-sving. Det er likevel svært mange andre faktorer som påvirker reisetiden slik som geometrisk utforming av vegen, fordeling av kjøretøygrupper og kollektivtransport. Det er derfor mest hensiktsmessig å gjennomføre nye simuleringer med spesifikke forhold og registrerte trafikkmengder.

## 8 Konklusjon og videre forskningsbehov

I dette kapittelet blir forskningsspørsmålene svart ut.

### 8.1 Konklusjon

Denne masteroppgaven har sett nærmere på effekten av å fjerne kollektivfelt og signalregulering i alle kryssene langs Haakon VII's gate. I stedet har det blitt innført vikepliktregulerte gangfelt, forkjøringsrett langs hovedveg, forbud mot venstresving for hovedveg, samt påbud om høyresving fra sidegater. I tillegg har ett av kryssene blitt byttet ut med en rundkjøring for å fasilitere u-sving for trafikk som får forbud mot svingebevegelse. Ved hjelp av Aimsun har dagens og alternativ løsning blitt simulert og sammenlignet med hverandre. Resultatene som er hentet ut fra modellene har blitt benyttet til å svare ut forskningsspørsmålene og blitt sammenholdt med funn fra tidligere studier. I oppgaven har det ikke blitt lagt vekt på direkte kollektivprioritering, men positive indirekte effekter av å bedre trafikkforholdene for alle trafikanter. I tillegg viser denne masteroppgaven at det er nyttig å utforske alternative løsninger for trafikkregulering på nettverksnivå fremfor enkelte vegkryss hver for seg.

#### **Hvilken effekt vil alternativ løsning ha på trafikkavviklingen?**

Simuleringsmodellen ga indikasjoner på at alternativ løsning reduserer reisetid for alle trafikanter. Dette inkluderer fotgjengere, personbiler, metrobuss (linje 2) og buslinje 13/20.

#### **Hvordan vil kollektivtransport påvirkes av ny løsning?**

Simuleringsmodellen ga holdepunkter for at kollektivtransporten vil påvirkes positivt av den nye løsningen siden alle typer resultatmål i simuleringen bedres. Dette inkluderer: reisetid, forsinkelse, antall stopp, stopptid og gjennomsnittsfart.

Et bedre kollektivtilbud med mindre forsinkelse vil gjøre kollektivtransport mer attraktivt som er i tråd med nullvekstmålet.

#### **Hvilken effekt har løsningen på drivstofforbruk og utslipp fra personbiler?**

Simuleringsmodellen viste at utslipp av flyktige organiske forbindelser fra personbiler reduseres ved alternativ løsning, mens utslipp av CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og svevestøv, samt forbruk av bensin, vil være tilnærmet i samme omfang som ved dagens løsning.

## 8.2 Videre forskningsbehov

Det er flere aspekter ved den alternative løsningen som må vurderes videre dersom den skal iverksettes. Disse er beskrevet nedenfor.

### Valg av simuleringsprogram:

Det er nyttig å sjekke om resultatene er sensitive for valg av simuleringsprogram.

### Størrelse av nettverk:

I kapittel 1.3 Avgrensninger ble det bestemt å kun se på Haakon VII's gate og ikke et større område. I videre arbeider burde man se på muligheten for å utvide nettverket slik at man kan se om den nye løsningen vil påvirke andre veger og kryss.

### Myke trafikanter:

Det er viktig å sikre at gående og syklende har et godt tilbud langs strekningen. Det er i dag sykkelveg med fortau på begge sider av vegen. Ny løsning antas å ikke påvirke de myke trafikantene negativt. Men dette må vurderes videre ut fra et trafikksikkerhetsperspektiv da gangfeltene blir regulert med vikeplikt i stedet for signalregulering ved alternativ løsning. I tillegg kan man vurdere som nevnt under kapittel 7 Diskusjon å etablere signalregulerte gangfelt.

### Inngangsdata:

Før man går videre med reguleringsplan eller byggeplan bør man vurdere om man skal gjøres flere registreringer av trafikken for å sikre riktige inngangsdata for modellen. Det kan være nyttig å se trafikkvariasjonene på de ulike årstidene, samt ulike ukedager.

### Økning i trafikkmengde:

Som nevnt i kapittel 4.2 Beskrivelse av alternativ løsning er det lagt til grunn at persontransport med bil ikke skal øke i tråd med nullvekstmålet. Det er flere faktorer som kan påvirke om det blir en økning i persontransport med bil i området, for eksempel økt boligutbygging eller andre tiltak på vegnettet rundt som påvirker strekningen negativt. Det hadde dermed vært interessant å bruke i prognoser for trafikkmengde.

### Trafikksikkerhet:

I videre arbeid må man detaljere opp løsningen i Novapoint og Autocad. Deretter må det utføres trafikksikkerhetsrevisjon av arbeidet for å se om det er aspekter av løsningen som kan forbedres ut fra et trafikksikkerhetsperspektiv.

## Referanser

Aimsun (2019) *How to code roundabouts - Part 1*, [www.aimsun.com](http://www.aimsun.com). Available at: <https://www.aimsun.com/technical-notes/roundabouts-1/> (Accessed: 20 August 2023).

Aimsun (2021) *Aimsun Next -Editions, Optional components, Programming tools*, [www.aimsun.com](http://www.aimsun.com). Available at: <https://www.aimsun.com/wp-content/uploads/2021/12/Aimsun-Next-complete-guide-to-all-editions-and-extras.pdf> (Accessed: 13 October 2023).

Aimsun (2022a) *Aimsun next 22 Users Manual -Environmental Models*, [www.aimsun.com](http://www.aimsun.com). Available at: <https://docs.aimsun.com/next/22.0.1/UsersManual/EnvironmentalModels.html> (Accessed: 17 August 2023).

Aimsun (2022b) *Aimsun next 22 Users Manual -Modeling Vehicle Movement*, [www.aimsun.com](http://www.aimsun.com). Available at: <https://docs.aimsun.com/next/22.0.1/UsersManual/MicrosimulationModellingVehicleMovement.html> (Accessed: 17 August 2023).

Aimsun (2022c) *Aimsun next 22 Users Manual -Statistical Simulation Results*, [www.aimsun.com](http://www.aimsun.com). Available at: <https://docs.aimsun.com/next/22.0.1/UsersManual/StatisticalSimulationResults.html> (Accessed: 17 August 2023).

Aimsun (2022d) *Tutorials - Aimsun Next Users Manual*, [www.aimsun.com](http://www.aimsun.com). Available at: [https://docs.aimsun.com/next/22.0.1/Tutorials/0\\_Index/TutorialsIndex.html](https://docs.aimsun.com/next/22.0.1/Tutorials/0_Index/TutorialsIndex.html) (Accessed: 13 October 2023).

Aimsun (2023) *Random seeds in transport models*, [www.aimsun.com](http://www.aimsun.com). Available at: <https://www.aimsun.com/technical-notes/random-seed/> (Accessed: 17 August 2023).

AtB (2021) *Fremkommilighet for buss -flaskehals i Trondheim*. Mottatt fra Trøndelag fylkeskommune.

Atozmath (2023) *T-Value calculator*, [www.atozmath.com](http://www.atozmath.com). Available at: <https://atozmath.com/CONM/DistributionTables.aspx?q=t&q1=t%602%600.05%601.813%609&do=1> (Accessed: 15 August 2023).

City Lade (2023) *Hvor kan jeg parkere?*, [www.citylade.no](http://www.citylade.no). Available at: <https://citylade.no/hvor-kan-jeg-parkere/> (Accessed: 17 August 2023).

Devitt, G. *et al.* (2020) 'Empirical Performance Analysis of Bus Speed and Delay at Intersections for Emerging Spot Improvement Programs', *Transportation Research Record*, 2674(3), pp. 57–68. Available at: <https://doi.org/10.1177/0361198120909108>.

Dowling, R., Skabardonis, A. and Alexiadis, V. (2004) *Traffic analysis toolbox, volume III: Guidelines for applying traffic microsimulation modeling software*. United States. Federal Highway Administration. Office of Operations, pp. 105–109.

- Eidem, M. (2016) *Test av Gopro Hero5 Black - Aktivitetskamera*, *www.dn.no*. Available at: <https://www.dn.no/aktivitetskamera/actionkamera/forbrukerelektronikk/bildetest/kongens-nye-vatdrakt/1-1-5758481> (Accessed: 13 October 2023).
- El Esawey, M., Abo-Bakr, S. and Osama, A. (2023) 'Safety performance of alternative intersection designs: Techniques, current findings, and research gaps', *Advances in Transportation Studies*, 59, pp. 17–40. Available at: <https://doi.org/10.53136/97912218058262>.
- Elvik, R. (2017) 'Road safety effects of roundabouts: A meta-analysis', *Accident Analysis & Prevention*, 99, pp. 364–371. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.12.018>.
- Gipps, P.G. (1981) 'A behavioural car-following model for computer simulation', *Transportation research part B: methodological*, 15(2), pp. 105–111.
- Gipps, P.G. (1986) 'A model for the structure of lane-changing decisions', *Transportation Research Part B: Methodological*, 20(5), pp. 403–414.
- Hajbabaie, A., Medina, J.C. and Benekohal, R.F. (2010) 'Effects of ITS-based left turn policies on network performance', in *13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. 13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp. 80–84. Available at: <https://doi.org/10.1109/ITSC.2010.5625269>.
- Hallmark, S.L. *et al.* (2010) 'Roundabouts in Signalized Corridors Evaluation of Traffic Flow Impacts', *Transportation Research Record*, (2182), pp. 139–147. Available at: <https://doi.org/10.3141/2182-18>.
- Hartberg, Ø. (2018) *Trafikken på Lade er blitt et mareritt*, *www.adressa.no*. Available at: <https://www.adressa.no/midtnorskdebatt/i/g6Wq45/trafikken-pa-lade-er-blitt-et-mareritt> (Accessed: 17 August 2023).
- Kartverket (2023) *Norgeskart*, *www.norgeskart.no*. Available at: <https://www.norgeskart.no/#!?project=norgeskart&layers=1003&zoom=13&lat=7043094.52&lon=273132.22> (Accessed: 13 October 2023).
- Kay, J. *et al.* (2022) 'Safety Performance of Unsignalized Median U-Turn Intersections', *Transportation Research Record*, 2676(9), pp. 451–466. Available at: <https://doi.org/10.1177/03611981221086936>.
- Lade Arena (2022) *Om Lade Arena*, *www.ladearena.no*. Available at: <https://ladearena.no/om-lade-arena/> (Accessed: 17 August 2023).
- Litman, T.A. (2023) 'Generated Traffic and Induced Travel -Implications for Transport Planning'. Victoria Transport Policy Institute.
- Meneguzzer, C., Gastaldi, M. and Giancristofaro, R.A. (2018) 'Before-and-After Field Investigation of the Effects on Pollutant Emissions of Replacing a Signal-Controlled Road Intersection with a Roundabout', *Journal of Advanced Transportation*, p. 3940362. Available at: <https://doi.org/10.1155/2018/3940362>.
- Miljøpakken (2023) *Økonomi*, *www.miljøpakken.no*. Available at: <https://miljøpakken.no/politisk-styring/okonomi> (Accessed: 17 August 2023).

Mustafa, M. and Noor, N.A.M. (2022) 'Evaluating the Impact of Junction Type on Emissions Level', *Lecture Notes in Civil Engineering*, 215, pp. 1531–1545. Available at: [https://doi.org/10.1007/978-981-16-7924-7\\_100](https://doi.org/10.1007/978-981-16-7924-7_100).

NTNU (2023) *Masteroppgave*, [www.ntnu.no](http://www.ntnu.no). Available at: <https://i.ntnu.no/masteroppgave> (Accessed: 13 October 2023).

Østlund, E.-M. (2020) *Trafikken på Lade er blitt et mareritt*, [www.adressa.no](http://www.adressa.no). Available at: <https://www.adressa.no/midtnorskdebatt/i/g6Wq45/trafikken-pa-lade-er-blitt-et-mareritt> (Accessed: 24 August 2023).

Panis, L.I., Broekx, S. and Liu, R. (2006) 'Modelling instantaneous traffic emission and the influence of traffic speed limits', *Science of the total environment*, 371(1–3), pp. 270–285.

Samferdselsdepartementet (2019) 'Byvekstavtale mellom Trondheim kommune, Melhus kommune, Malvik kommune, Stjørdal kommune, Trøndelag fylkeskommune og Staten 2019-2029'. Available at: <https://www.regjeringen.no/contentassets/66644bf4b3e642acaf10bea324af42b8/byvekstavtale-trondheimsomradet.pdf>.

Samferdselsdepartementet (2022) *Byvekstavtaler og belønningsavtaler*, [www.regjeringen.no](http://www.regjeringen.no). Available at: <https://www.regjeringen.no/no/tema/transport-og-kommunikasjon/kollektivtransport/belonningsordningen-bymiljoavtaler-og-byvekstavtaler/id2571977/> (Accessed: 17 August 2023).

Samferdselsdepartementet (2023) *Entur -Kart*, [www.entur.no](http://www.entur.no). Available at: <https://entur.no/kart> (Accessed: 13 October 2023).

Shalaby, A., Abdulhai, B. and Lee, J. (2003) 'Assessment of streetcar transit priority options using microsimulation modelling', *Canadian Journal of Civil Engineering*, 30(6), pp. 1000–1009. Available at: <https://doi.org/10.1139/103-010>.

Singh, V.K. *et al.* (2021) 'The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis', *Scientometrics*, 126(6), pp. 5113–5142. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11192-021-03948-5>.

SSB (2023) '11823: Euroklasser, drivstofftyper og kjøretøygrupper (K) 2016 - 2022. Statistikkbanken'. Available at: <https://www.ssb.no/system/> (Accessed: 15 August 2023).

Statens vegvesen (2011) 'Håndbok V714. Veileder i trafikkdata.' Vegdirektoratet. Available at: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-v121.pdf>.

Statens vegvesen (2013) 'Håndbok V121. Geometrisk utforming av veg- og gatekryss.' Vegdirektoratet. Available at: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-v121.pdf>.

Statens vegvesen (2017) 'Håndbok V127. Gangfeltkriterier: veiledning'. Vegdirektoratet. Available at: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-v127-kryssingssteder-for-gaende.pdf>.



- Statens vegvesen (2022a) 'Håndbok N-V123. Kollektivveiledning. Utforming av kollektivanlegg på veg og gate.' Vegdirektoratet. Available at: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-v121.pdf>.
- Statens vegvesen (2022b) 'Veileder for Aimsun -versjon 0.95 (dette dokumentet er et foreløpig utkast).' Tilgjengelig via Statens vegvesen sin elektroniske database 'eRoom'.
- Statens vegvesen (2023a) 'Håndbok N100. Veg-og gateutforming.' Vegdirektoratet.
- Statens vegvesen (2023b) *Trafikkdata | Haakon VII gt øst*. Available at: <https://trafikkdata.atlas.vegvesen.no/> (Accessed: 17 August 2023).
- Statens vegvesen (2023c) *Vegkart*. Available at: <https://vegkart.atlas.vegvesen.no/> (Accessed: 16 August 2023).
- Strand, A. *et al.* (2009) *Gir bedre veger mindre klimagassutslipp?* Transportøkonomisk institut. Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning.
- Trondheim kommune (2020) 'Byutviklingsstrategi for Trondheim - strategi for areal- og transportutvikling fram mot 2050'. Available at: <https://www.trondheim.kommune.no/byutviklingsstrategi-for-trondheim-sreal-og-transportutvikling-2050/> (Accessed: 17 August 2023).
- Trondheim kommune (2021) *Fortetting*, [www.trondheim.kommune.no](http://www.trondheim.kommune.no). Available at: <https://www.trondheim.kommune.no/tema/bygg-kart-og-eiendom/bygging/veiledere/fortetting/> (Accessed: 17 August 2023).
- Trondheim kommune (2022) *Trondheim i tall*, [www.trondheim.kommune.no](http://www.trondheim.kommune.no). Available at: <https://www.trondheim.kommune.no/aktuelt/om-kommunen/statistikk/trondheim-i-tall/> (Accessed: 3 April 2023).
- Trondheim kommune (2023) *Reguleringsplan kart*. Available at: <https://geoinnsyn.nois.no/Trondheim/localhost> (Accessed: 13 October 2023).
- Urbanet Analyse, A.S. (2017) *Kollektivtransport. utfordringer, muligheter og løsninger for byområder*. Oslo: Statens vegvesen og K2-nasjonelt kunskapscentrum for kollektivtrafik.
- Wikipedia (2023) 'Lade flyplass'. Available at: [https://no.wikipedia.org/w/index.php?title=Lade\\_flyplass&oldid=23489885](https://no.wikipedia.org/w/index.php?title=Lade_flyplass&oldid=23489885) (Accessed: 13 October 2023).
- Yunex traffic (2023) *Traffic Prediction by Aimsun*, [www.yunextraffic.com](http://www.yunextraffic.com). Available at: <https://www.yunextraffic.com/portfolio/ai-and-digital-solutions/traffic-prediction/> (Accessed: 17 August 2023).

# Vedlegg

Vedlegg A: Oversikt over hvilke resultater som er tilgjengelig for et utvalg av elementer i Aimsun

Vedlegg B: Konseptskisse av alternativ løsning

Vedlegg C: Innstillinger brukt ved simulering av trafikk i Aimsun

Vedlegg D: Et større utvalg av resultater fra simulering av dagens og alternativ løsning

Vedlegg E: Aimsun Next 22 -Dagens løsning

Vedlegg F: Aimsun Next 22 -Alternativ løsning

## Vedlegg A. Oversikt over hvilke resultater som er tilgjengelig for et utvalg av elementer i Aimsun

Vedlegget er basert på informasjon i håndboken til Aimsun (Aimsun, 2022c)

| Type resultat (måleenhet)  | Type element    |           |                  |                |                           |          |
|--|-----------------|-----------|------------------|----------------|---------------------------|----------|
|  | Hele nettverket | Seksjoner | Svingebevegelser | Kollektivruter | Egendefinerte strekninger | Detektor |
| Gjennomsnittlig forsinkelse per km (sek/km)  | X               |           |                  |                |                           |          |
| Gjennomsnittlig tetthet av kjøretøy per km kjørefelt (n/km)                                    | X               | X         |                  |                |                           | X        |
| Antall gjennomførte reiser (n)   | X               | X         | X                | X              | X                         | X        |
| Gjennomsnittlig antall reiser per time (n/time)  | X               | X         | X                | X              | X                         | X        |
| Antall kjøretøy som har kommet inn i nettverket (n)  | X               | X         | X                | X              |                           |          |
| Antall kjøretøy som kommer inn i nettverket per time (n/time)                                  | X               | X         | X                | X              |                           |          |
| Maksimal kølengde for kjøretøy som venter på å komme inn i nettverket (antall kjøretøy)        | X               | X         |                  | X              |                           |          |
| Gjennomsnittlig kølengde (antall kjøretøy)   | X               | X         | X                |                |                           |          |
| Gjennomsnittlig kølengde for kjøretøy som venter på å komme inn i nettverket (antall kjøretøy) | X               | X         |                  |                |                           |          |
| Gjennomsnittlig ventetid for kjøretøy som venter på å komme inn i nettverket (sek)             | X               | X         | X                |                | X                         |          |
| Antall feltskifter per km (n/km)   | X               |           |                  |                |                           |          |
| Gjennomsnittlig antall stopp per km (n/km)   | X               |           |                  |                |                           |          |
| Gjennomsnittsfart, aritmetisk (km/t)   | X               | X         | X                | X              | X                         | X        |
| Gjennomsnittsfart, harmonisk (km/t)  | X               | X         | X                | X              | X                         |          |
| Gjennomsnittlig reisetid per km (sek/km)   | X               |           |                  |                |                           |          |
| Gjennomsnittlig stopptid per km (sek/km)   | X               |           |                  |                |                           |          |
| Totalt antall stopp (n)  | X               |           |                  |                |                           |          |

|   |   |   |   |   |   |  |
|---|---|---|---|---|---|--|
| Total reisetid (sek)  | X | X | X | X | X |  |
| Total reisedistanse (km)  | X | X | X | X | X |  |
| Total reisetid for alle kjøretøy som har kommet inn i nettverket men ikke ut (sek)                    | X |   |   |   |   |  |
| Total reisedistanse for kjøretøy som har kommet inn i nettverket men ikke ut (km)                     | X |   |   |   |   |  |
| Total reisetid for alle kjøretøy som venter på å komme inn i nettverket ved slutt av simulering (sek) | X |   |   |   |   |  |
| Antall kjøretøy som har kommet inn i nettverket, men ikke ut, ved slutt av simulering (n)             | X |   |   |   |   |  |
| Antall kjøretøy som venter i kø for å komme inn i nettverket ved slutt av simulering (n)              | X |   |   |   |   |  |
| Totalt forbruk av drivstoff (Fuel consumption model (liter))  | X | X | X |   | X |  |
| Totalt utslipp (QUARTET) (g)  | X | X | X | X | X |  |
| Totalt utslipp (PANIS) (g)  | X | X | X | X |   |  |
| Totalt utslipp (LEM) (g)  | X | X |   |   |   |  |
| Gjennomsnittelig forsinkelse:reisetid ratio (%)   |   | X |   |   |   |  |
| Maksimal kølengde (antall kjøretøy)   |   | X | X |   |   |  |
| Gjennomsnittlig antall feltskifter (n)  |   | X | X |   |   |  |
| Gjennomsnittlig antall stopp (n)  |   | X | X | X |   |  |
| Gjennomsnittlig stopptid (sek)  |   | X | X | X | X |  |
| Totalt antall feltskifter (n)   |   | X |   |   |   |  |
| Gjennomsnittlig reisetid for kjøretøy som har gjennomført reisen(sek)                                 |   | X | X | X | X |  |
| Antall kjøretøy:vegkapasitet ratio (%)  |   | X |   |   |   |  |
| Gjennomsnittelig stoppetid utenfor bussholdeplass (sek)   |   |   |   | X |   |  |

|  |  |  |  |   |   |   |
|--|--|--|--|---|---|---|
| Gjennomsnittlig forsinkelse (sek)                |  |  |  | X | X |   |
| Gjennomsnittelig distanse mellom to kjøretøy (m) |  |  |  |   |   | X |
| Prosent av tiden hvor dektor aktiveres (%)       |  |  |  |   |   | X |

## **Vedlegg B. Konseptskisse av alternativ løsning**

Filnavn: Vedlegg B - Konseptskisse av alternativ løsning.pdf

Filformat: Adobe PDF

### Vedlegg C. Innstillinger brukt ved simulering av trafikk i Aimsun

Tabell C1. viser verdier på forskjellige innstillinger som er brukt ved simulering av dagens og alternativ løsning.

| Tabell C1. Valgte innstillinger for simulering  |
|---|
| Total varighet av hver simulering: 1 time.  |
| Oppvarming før hver simulering: 10 min med samme trafikkmengde per time som for resten av simuleringen (slik at nettverket blir fylt av biler før simuleringen starter) |
| Modeller som er aktivert: Gipps modell for feltskifte og Gipps modell for «car follow» (standardinnstillinger)  |
| Stopp er definert som reduksjon av fart til under 1 m/s helt frem til farten på nytt er over 4 m/s.   |

Reaksjonstid kan justeres slik at simulering blir mer lik det som ble observert ved feltundersøkelse. I denne masteroppgaven ble standardinnstillinger brukt, og disse er gjengitt i tabell C2.

| Tabell C2. Innstillinger på reaksjonstid for fotgjengere, personbiler, metrobuss og vanlig kollektiv buss (standardinnstillinger) |         |
|---|---------|
| I bevegelse   | 0,8 sek |
| Ved stopp   | 1,2 sek |
| Ved lyskryss  | 1,6 sek |

Innstillinger for forskjellig type kjøretøy kan justeres slik at simuleringen blir tilpasset lokale forhold (Statens vegvesen, 2022b). Hvilke innstillinger som er brukt i denne oppgaven er vist i tabell C3-C6.

| Tabell C3. Innstillinger for personbiler      |                      |                       |                      |                      |
|---|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
|   | Gjennomsnitt         | Standardavvik         | Minimum              | Maksimum             |
| Lengde  | 4,40 m               | 0,5 m                 | 3,5 m                | 5,5 m                |
| Bredde  | 1,90 m               | 0,10 m                | 1,75 m               | 2,05 m               |
| Vekt  | 1500 kg              | 500 kg                | 1100 kg              | 2600 kg              |
| Maksimal ønsket fart                          | 60 km/t              | 5 km/t                | 50 km/t              | 70 km/t              |
| Aksept for fartsgrenser                       | 1,0                  | 0,1                   | 0,9                  | 1,1                  |
| Avstand til kjøretøy foran ved kø             | 2,0 m                | 0,8 m                 | 0,5 m                | 3,5 m                |
| Maksimal vikeplikt tid ("Maximum yield time") | 10 sek               | 2,5 sek               | 5 sek                | 15 sek               |
| Maksimal akselerasjon                         | 3,0 m/s <sup>2</sup> | 0,2 m/s <sup>2</sup>  | 2,6 m/s <sup>2</sup> | 3,4 m/s <sup>2</sup> |
| Normal deakselerasjon                         | 4,0 m/s <sup>2</sup> | 0,25 m/s <sup>2</sup> | 3,5 m/s <sup>2</sup> | 4,5 m/s <sup>2</sup> |
| Maksimal deakselerasjon                       | 6,0 m/s <sup>2</sup> | 0,5 m/s <sup>2</sup>  | 5,0 m/s <sup>2</sup> | 7,0 m/s <sup>2</sup> |
| Sikkerhetsmarginsfaktor                       | 1                    | 0                     | 1                    | 1                    |
| Sideklarering                                 | 0,5                  | 0                     | 0,5                  | 0,5                  |
| Maksimal fart til siden                       | 3,0                  | 0                     | 3,0                  | 3,0                  |
| Sensitivitetsfaktor                           | 1                    | 0                     | 1                    | 1                    |
| Nærgåenhet ("Headway aggressiveness")         | 0                    | 0                     | 0                    | 0                    |

| Tabell C4. Innstillinger for fotgjengere      |                       |                      |                      |                      |
|---|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|   | Gjennomsnitt          | Standardavvik        | Minimum              | Maksimum             |
| Lengde  | 0,50 m                | 0,00 m               | 0,5 m                | 0,5 m                |
| Bredde  | 0,50 m                | 0,00 m               | 0,5 m                | 0,5 m                |
| Vekt  | 75 kg                 | 50 kg                | 20 kg                | 150 kg               |
| Maksimal ønsket fart                          | 5 km/t                | 1 km/t               | 3 km/t               | 6 km/t               |
| Aksept for fartsgrenser                       | 1,0                   | 0,5                  | 0,75                 | 1,25                 |
| Avstand til kjøretøy foran ved kø             | 0,2 m                 | 0,1 m                | 0,1 m                | 0,4 m                |
| Maksimal vikeplikt tid ("Maximum yield time") | 10 sek                | 5 sek                | 5 sek                | 20 sek               |
| Maksimal akselerasjon                         | 1,50 m/s <sup>2</sup> | 0,2 m/s <sup>2</sup> | 1,0 m/s <sup>2</sup> | 2,0 m/s <sup>2</sup> |
| Normal deakselerasjon                         | 1,2 m/s <sup>2</sup>  | 0,2 m/s <sup>2</sup> | 0,5 m/s <sup>2</sup> | 1,6 m/s <sup>2</sup> |
| Maksimal deakselerasjon                       | 1,5 m/s <sup>2</sup>  | 0,2 m/s <sup>2</sup> | 1,0 m/s <sup>2</sup> | 2,0 m/s <sup>2</sup> |
| Sikkerhetsmarginsfaktor                       | 1                     | 0                    | 1                    | 1                    |
| Sideklarering                                 | 0,5                   | 0                    | 0,5                  | 0,5                  |
| Maksimal fart til siden                       | 3,0                   | 0                    | 3,0                  | 3,0                  |
| Sensitivitetsfaktor                           | 1                     | 0                    | 1                    | 1                    |
| Nærgåenhet ("Headway aggressiveness")         | 0                     | 0                    | 0                    | 0                    |



| Tabell C5. Innstillinger for metrobuss (linje 2)  |                      |                      |                      |                      |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|   | Gjennomsnitt         | Standardavvik        | Minimum              | Maksimum             |
| Lengde  | 23,5 m               | 0,00 m               | 23,5 m               | 23,5 m               |
| Bredde  | 2,5 m                | 0,00 m               | 2,5 m                | 2,5 m                |
| Vekt  | 32 000 kg            | 4000 kg              | 30 000 kg            | 36 200 kg            |
| Maksimal ønsket fart  | 50 km/t              | 5 km/t               | 50 km/t              | 55 km/t              |
| Aksept for fartsgrenser   | 1,0                  | 0,05                 | 0,95                 | 1,05                 |
| Avstand til kjøretøy foran ved kø   | 2,5 m                | 0,8 m                | 1 m                  | 4 m                  |
| Maksimal vikeplikt tid ("Maximum yield time")   | 15 sek               | 5 sek                | 5 sek                | 30 sek               |
| Maksimal akselerasjon   | 1.0 m/s <sup>2</sup> | 0,3 m/s <sup>2</sup> | 0,8 m/s <sup>2</sup> | 1,8 m/s <sup>2</sup> |
| Normal deakselerasjon   | 2,0 m/s <sup>2</sup> | 1,0 m/s <sup>2</sup> | 1,5 m/s <sup>2</sup> | 4,5 m/s <sup>2</sup> |
| Maksimal deakselerasjon   | 5,0 m/s <sup>2</sup> | 1,0 m/s <sup>2</sup> | 4,0 m/s <sup>2</sup> | 6,0 m/s <sup>2</sup> |
| Sikkerhetsmarginsfaktor   | 1                    | 0                    | 1                    | 1                    |
| Sideklarering   | 0,5                  | 0                    | 0,5                  | 0,5                  |
| Maksimal fart til siden   | 3,0                  | 0                    | 3,0                  | 3,0                  |
| Sensitivitetsfaktor   | 1                    | 0                    | 1                    | 1                    |
| Nærgåenhet ("Headway aggressiveness")   | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    |
| Stopptid på busstopp  | 15 sek               | 5 sek                | 15 sek               | 25 sek               |
| Antall avganger i timen for hver kjøreretning   | 6                    | 0                    | 6                    | 6                    |
| Øvrige innstillinger: 2 ledd, 3 deler.<br>Størrelse på delene fra foran til bak: 10,1 m, 6,7 m og 6,7 m |                      |                      |                      |                      |

| Tabell C6. Innstillinger for busslinje 13/20  |                                       |                      |                      |                      |
|---|---------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|   | Gjennomsnitt                          | Standardavvik        | Minimum              | Maksimum             |
| Lengde  | 13,5 m                                | 0,00 m               | 13,5 m               | 13,5 m               |
| Bredde  | 2,5 m                                 | 0,00 m               | 2,5 m                | 2,5 m                |
| Vekt  | 17 000 kg                             | 2000 kg              | 15 000 kg            | 19 000 kg            |
| Maksimal ønsket fart                          | 90 km/t                               | 10 km/t              | 70 km/t              | 100 km/t             |
| Aksept for fartsgrenser                       | 1,0                                   | 0,10                 | 0,90                 | 1,10                 |
| Avstand til kjøretøy foran ved kø             | 2,5 m                                 | 0,8 m                | 1 m                  | 4 m                  |
| Maksimal vikeplikt tid ("Maximum yield time") | 15 sek                                | 5 sek                | 5 sek                | 30 sek               |
| Maksimal akselerasjon                         | 1.0 m/s <sup>2</sup>                  | 0,3 m/s <sup>2</sup> | 0,8 m/s <sup>2</sup> | 1,8 m/s <sup>2</sup> |
| Normal deakselerasjon                         | 2,0 m/s <sup>2</sup>                  | 1,0 m/s <sup>2</sup> | 1,5 m/s <sup>2</sup> | 4,5 m/s <sup>2</sup> |
| Maksimal deakselerasjon                       | 5,0 m/s <sup>2</sup>                  | 1,0 m/s <sup>2</sup> | 4,0 m/s <sup>2</sup> | 6,0 m/s <sup>2</sup> |
| Sikkerhetsmarginsfaktor                       | 1                                     | 0                    | 1                    | 1                    |
| Sideklarering                                 | 0,5                                   | 0                    | 0,5                  | 0,5                  |
| Maksimal fart til siden                       | 3,0                                   | 0                    | 3,0                  | 3,0                  |
| Sensitivitetsfaktor                           | 1                                     | 0                    | 1                    | 1                    |
| Nærgåenhet ("Headway aggressiveness")         | 0                                     | 0                    | -1                   | 1                    |
| Stopptid på busstopp                          | Ingen bussholdeplasser i simuleringen |                      |                      |                      |
| Antall avganger i timen for hver kjøreretning | 6                                     | 0                    | 6                    | 6                    |

Hvis det er ønskelig å gjøre spesielle tilpasninger på enkelte vegstrekninger i nettverket kan dette gjøres overordnet under innstillinger for type veg, og enkeltvis for hver seksjon (Statens vegvesen, 2022b). For enkelhet skyld er det ikke gjort tilpasninger knyttet til enkelte seksjoner i denne oppgaven, annet enn at forskjellig type veg er brukt på forskjellige steder i nettverket. I simuleringen i denne oppgaven er fire forskjellige typer vegger brukt. Lokalisering av disse er oppsummert i tabell C7.

| Tabell C7. Forskjellige typer veg i simuleringen |  |
|--|--|
| Hovedgate/samleveg                               | Haakon VII's gate mellom kryss 1 og 8, kryss 1: arm mot vest og øst; kryss 8: alle armer |
| Sidegate/innkjørsel                              | Alle sidegater langs Haakon VII's gate mellom kryss 1 og 8; kryss 1: arm mot nord        |
| Tilfart rundkjøring                              | I tilknytning til alle rundkjøringer   |
| Rundkjøring                                      | Sirkulasjonsareal i alle rundkjøringer   |

Innstillinger for de ulike vegtypene er vist i tabell C8.

| Tabell C8. Innstillinger for ulike typer veg                      |                        |                         |                        |             |
|---|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------|
| Type veg  | Hovedgate/<br>samleveg | Sidegate/<br>innkjørsel | Tilfart<br>rundkjøring | Rundkjøring |
| Fartsgrense (km/t)  | 50                     | 30                      | 40                     | 35          |
| Samarbeid ved<br>feltskifte (%)                                   | 80                     | 80                      | 80                     | 80          |
| Aggressivitet (%)   | 0                      | 0                       | 0                      | 0           |
| Uforsiktig feltbytte<br>("imprudent lane<br>changing")            | avslått                | avslått                 | avslått                | avslått     |
| Tilbake til høyre<br>felt etter<br>forbikjøring                   | Ja                     | Ja                      | Ja                     | Ja          |
| Akselerasjonsfaktor   | 1                      | 1                       | 1                      | 1           |
| Tilleggstid<br>reaksjonstid stopp<br>(sek)                        | 0                      | 0                       | 0                      | 0           |
| Tilleggstid<br>reaksjonstid<br>lyskryss (sek)                     | 0                      | 0                       | 0                      | 0           |
| Sikt fremover (m)   | 300                    | 300                     | 300                    | 300         |
| Kritisk sikt (m)  | 40                     | 40                      | 100                    | 100         |
| Initial<br>sikkerhetsmargin<br>(sek)                              | 3                      | 3                       | 3                      | 3           |
| Avsluttende<br>sikkerhetsmargin<br>(sek)                          | 1                      | 1                       | 0,5                    | 1           |
| Initial vikeplikt<br>faktor ("Initial yield<br>time factor")      | 1                      | 1                       | 1                      | 1           |
| Avsluttende<br>vikeplikt faktor<br>("Final yield time<br>factor") | 2                      | 2                       | 2                      | 2           |
| Vikeplikt atferd<br>("visibility to<br>yield") (m)                | 30                     | 30                      | 15                     | 30          |
| Vikeplikt sikt<br>("Visibility along<br>main stream") (m)         | 60                     | 60                      | 25                     | 35          |

Ved innstilling av bensinforbruk ble foreslåtte verdier i brukerhåndboken til Aimsun, for middels og store biler, brukt (Aimsun, 2022a). Disse er vist i tabell C9.

Tabell C9. Innstillinger for bensinforbruk for personbiler i Fuel Consumption Model

|  |  |
|--|--|
| Hastighet for lavest forbruk   | 60 km/t                                |
| Forbruk ved 90 km/t  | 5,4 liter/100km                        |
| Forbruk ved 120 km/t   | 6,5 liter/100km                        |
| Forbruk ved tomgang  | 0,333 ml/sek                           |
| Forbruk ved deakselerasjon   | 0,537 ml/sek                           |
| Første koeffisient ( $C_1$ ) for utregning av forbruk ved akselerasjon | 0,26 ml/sek                            |
| Andre koeffisient ( $C_2$ ) for utregning av forbruk ved akselerasjon  | 0,42 ml*s <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> |

I utslippsmodellen "QUARTET", ble foreslåtte verdier fra brukerhåndboken til Aimsun brukt for å estimere utslipp av CO, NO<sub>x</sub> og ubrente hydrokarboner for bensinbiler (Aimsun, 2022a). Ved endt simulering var det likevel bare utslipp av NO<sub>x</sub> som ble rapportert. Derfor er kun innstillinger for utslipp av NO<sub>x</sub> ved denne modellen som er vist i tabell C10.

Tabell C10. Innstillinger for utslipp av NO<sub>x</sub> for personbiler (bensin) (modell: QUARTET)

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| Utslipp ved tomgang        | 0,0008 g/s |
| Utslipp ved deakselerasjon | 0,0005 g/s |
| Utslipp ved akselerasjon   | 0,01 g/s   |
| Utslipp ved konstant fart: |            |
| 10 km/t                    | 0,0006 g/s |
| 20 km/t                    | 0,0006 g/s |
| 30 km/t                    | 0,0017 g/s |
| 40 km/t                    | 0,0022 g/s |
| 50 km/t                    | 0,0042 g/s |
| 60 km/t                    | 0,005 g/s  |
| 70 km/t                    | 0,0058 g/s |

Standardinnstillinger ble brukt for å estimere forskjellige typer utslipp for bensinbiler etter modellen "PANIS" (Aimsun, 2022a). Disse er vist i tabell C11.

Tabell C11. Innstillinger for utslipp etter modellen «PANIS» for personbiler

|               | CO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub>            |                            | Svevestøv | Flyktige organiske forbindelser |                         |
|---------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|-----------|---------------------------------|-------------------------|
|               |                 | ≥ -0,5<br>m/s <sup>2</sup> | < -0,5<br>m/s <sup>2</sup> |           | ≥ -0,5<br>m/s <sup>2</sup>      | < -0,5 m/s <sup>2</sup> |
| Akselerasjon  | -               | ≥ -0,5<br>m/s <sup>2</sup> | < -0,5<br>m/s <sup>2</sup> | -         | ≥ -0,5<br>m/s <sup>2</sup>      | < -0,5 m/s <sup>2</sup> |
| Konstant      | 0               | 0                          | 0                          | 0         | 0                               | 0                       |
| Koeffisient 1 | 5,53E-01        | 6,19E-04                   | 2,17E-04                   | 0         | 4,47E-03                        | 2,63E-03                |
| Koeffisient 2 | 1,61E-01        | 8,00E-05                   | 0                          | 1,57E-05  | 7,32E-07                        | 0                       |
| Koeffisient 3 | -2,89E-03       | -4,03E-06                  | 0                          | -9,21E-07 | -2,87E-08                       | 0                       |
| Koeffisient 4 | 2,66E-01        | -4,13E-04                  | 0                          | 0         | -3,41E-06                       | 0                       |
| Koeffisient 5 | 5,51E-01        | 3,80E-04                   | 0                          | 3,75E-05  | 4,94E-06                        | 0                       |
| Koeffisient 6 | 1,83E-01        | 1,77E-04                   | 0                          | 1,89E-05  | 1,66E-06                        | 0                       |

For å beregne utslipp etter "London Emmision Model" kreves manuell inntasting av fordeling av euroklasser (Aimsun, 2022a). Her ble tall over fordeling av euroklasser for bensinbiler i Trondheim i 2022 brukt. Disse er hentet SSB og vist i C12 (SSB, 2023).

Tabell C12. Fordeling av euroklasser for bensinbiler brukt til simulering av utslipp etter London Emmision Model (LEM) vist i prosent

|        |       |
|--------|-------|
| Euro-0 | 0,07  |
| Euro-1 | 0,14  |
| Euro-2 | 0,18  |
| Euro-3 | 9,62  |
| Euro-4 | 30,50 |
| Euro-5 | 29,50 |
| Euro-6 | 30,01 |

**Vedlegg D. Et større utvalg av resultater fra simulering av dagens og alternativ løsning.**

I tabell D1 er et stort utvalg av resultater vist på nettverksnivå for fotgjengere, personbiler, metrobuss (linje 2) og busslinje 2/3.

Tabell D1. Resultater fra hele nettverket for fotgjengere, personbiler, metrobuss og annen buss

|  | Dagens<br>løsning | Alternativ<br>løsning | Differanse | Relativ<br>differanse<br>(%) |
|--|-------------------|-----------------------|------------|------------------------------|
| <b>Fotgjengere</b>                                       |                   |                       |            |                              |
| Antall gjennomførte reiser, n                            | 1687              | 1682                  | 5          | 0                            |
| Total reisedistanse, km                                  | 51                | 51                    | 0          | 0                            |
| Total reisetid, timer                                    | 16                | 12                    | 4          | 24                           |
| Totalt antall stopp, n                                   | 840               | 359                   | 481        | 57                           |
| Total stopptid, timer                                    | 9,1               | 2,3                   | 6,8        | 75                           |
| Gjennomsnittsfart, km/t                                  | 3,7               | 4,4                   | -0,7       | -18                          |
| <b>Personbiler</b>                                       |                   |                       |            |                              |
| Antall gjennomførte reiser, n                            | 3821              | 3821                  | -1         | 0                            |
| Total reisedistanse, km                                  | 2453              | 3136                  | -683       | -28                          |
| Total reisetid, timer                                    | 114               | 90                    | 24         | 21                           |
| Totalt antall stopp, n                                   | 9531              | 5585                  | 3947       | 41                           |
| Total stopptid, timer                                    | 48                | 23                    | 25         | 52                           |
| Gjennomsnittsfart, km/t                                  | 25                | 34                    | -8         | -33                          |
| Total forbruk bensin, liter                              | 555               | 540                   | 15         | 3                            |
| Total utslipp CO <sub>2</sub> (LEM), kg                  | 487               | 464                   | 23         | 5                            |
| Total utslipp CO <sub>2</sub> (PANIS), kg                | 959               | 967                   | -8         | -1                           |
| Total utslipp NO <sub>x</sub> (LEM), g                   | 90                | 88                    | 2          | 2                            |
| Total utslipp NO <sub>x</sub> (QUARTET), g               | 17                | 16                    | 1          | 5                            |
| Total utslipp NO <sub>x</sub> (PANIS), g                 | 534               | 498                   | 36         | 7                            |
| Total utslipp svevestøv (PANIS), g                       | 47                | 49                    | -1         | -3                           |
| Total utslipp flyktige organiske forbindelser (PANIS), g | 1701              | 1334                  | 367        | 22                           |
| <b>Metrobuss (linje 2)</b>                               |                   |                       |            |                              |
| Antall gjennomførte reiser, n                            | 12                | 12                    | 0          | 0                            |
| Total reisedistanse, km                                  | 18                | 18                    | 0          | 0                            |
| Total reisetid, timer                                    | 0,96              | 0,85                  | 0,11       | 11                           |
| Totalt antall stopp, n                                   | 80                | 65                    | 15         | 19                           |
| Total stopptid, timer                                    | 0,19              | 0,10                  | 0,09       | 47                           |
| Gjennomsnittsfart, km/t                                  | 19                | 22                    | -2         | -12                          |
| <b>Busslinje 13/20</b>                                   |                   |                       |            |                              |
| Antall gjennomførte reiser, n                            | 12                | 12                    | 0          | 0                            |
| Total reisedistanse, km                                  | 4                 | 4                     | 0          | 0                            |
| Total reisetid, timer                                    | 0,25              | 0,20                  | 0,05       | 20                           |
| Totalt antall stopp, n                                   | 17                | 15                    | 1          | 7                            |
| Total stopptid, sek                                      | 0,14              | 0,08                  | 0,05       | 38                           |
| Gjennomsnittsfart, km/t                                  | 22                | 24                    | -2         | -8                           |

Den totale trafikkmengden av fotgjengere, personbiler, metrobuss (linje 2), og buslinje 13/20, er sammenlignbare mellom simulering av dagens og alternativ løsning (Tabell D1). Videre er den totale reisetiden 24%, 21%, 11%, og 20% kortere for fotgjengere, personbiler, metrobuss (linje 2) og buslinje 13/20, henholdsvis, ved alternativ løsning. I tillegg er totalt antall stopp og total stopptid lavere, mens gjennomsnittsfarten er høyere, for alle trafikanter ved alternativ løsning. Den totale reisedistansen er lik mellom dagens og alternativ løsning for alle trafikanter bortsett fra personbiler som har 28% lengere total reisedistanse ved alternativ løsning (Tabell D1).

For personbiler presenteres resultater for et utvalg av relevante reiseruter langs Haakon VII's gate (Tabell D2-6). Disse rutene ble valgt på bakgrunn av hvilke sidegater som ble mest brukt ved trafikkregistrering og representerer enkeltreiser fra kryss 1 eller kryss 8, og til et av kjøpesentrene langs vegen (City Lade: kryss 2 og 3; Lade arena: kryss 6 og 7). Hver rute avsluttes med en svingebevegelse som indikerer posisjonen til kjøpesenteret i forhold til kjøreretning. Imidlertid vil det ikke alltid være mulig å gjennomføre denne svingebevegelsen. For alternativ løsning vil venstresving aldri være mulig ettersom denne løsningen har forbud mot venstresving. Reiseruter hvor kjøpesenter er plassert på venstre side av vegen i forhold til kjøreretning vil dermed innebære omveg ved alternativ løsning. For dagens løsning vil det alltid være mulig å svinge til venstre i et kryss (bortsett i kryss 7 for kjørende fra kryss 1, som har påbud om å kjøre rett frem).

Ved handletur på et kjøpesenter er det ofte aktuelt å reise hjem igjen. Derfor presenteres resultater også tur/retur for de utvalgte rutene (Tabell D2-6).

I tillegg presenteres resultater for personbiler som kjører rett frem mellom kryss 1 og 8, for begge kjøreretninger (Tabell D2-6).

Tabell D2 viser reisedistanse for de utvalgte rutene.



Tabell D2. Oversikt over reisedistanse (km) på utvalgte ruter langs Haakon VII's ved simulering av dagens og alternativ løsning

|   | Dagens løsning | Alternativ løsning | Differanse |
|---|----------------|--------------------|------------|
| Fra kryss 1 til kryss 8                   | 1,2            | 1,2                | 0,0        |
| Fra kryss 8 til kryss 1                   | 1,2            | 1,2                | 0,0        |
| Fra kryss 1 t.o.m. høyresving i kryss 2   | 0,3            | 0,3                | 0,0        |
| Tur/retur                                 | 0,7            | 1,4                | -0,7       |
| Fra kryss 1 t.o.m. høyresving i kryss 3   | 0,5            | 0,5                | 0,0        |
| Tur/retur                                 | 1,1            | 1,3                | -0,2       |
| Fra kryss 1 t.o.m. venstresving i kryss 6 | 0,9            | 1,8                | -0,9       |
| Tur/retur                                 | 1,7            | 2,6                | -0,9       |
| Kryss 1 t.o.m. venstresving i kryss 7     | 1,5            | 1,5                | 0,0        |
| Tur/retur                                 | 2,7            | 2,7                | 0,0        |
| Fra kryss 8 t.o.m. venstresving i kryss 2 | 1,2            | 1,6                | -0,5       |
| Tur/retur                                 | 2,3            | 2,8                | -0,5       |
| Fra kryss 8 t.o.m. venstresving i kryss 3 | 0,9            | 1,8                | -1,0       |
| Tur/retur                                 | 1,7            | 2,7                | -0,9       |
| Fra kryss 8 t.o.m. høyresving i kryss 6   | 0,4            | 0,4                | 0,0        |
| Tur/retur                                 | 0,9            | 1,5                | -0,6       |
| Fra kryss 8 t.o.m. høyresving i kryss 7   | 0,2            | 0,2                | 0,0        |
| Tur/retur                                 | 0,4            | 1,6                | -1,1       |

På reiseruten «Fra kryss 1 t.o.m. venstresving i kryss 7», er distansen lik mellom dagens og alternativ løsning grunnet påbud om å kjøre rett frem i kryss 7 for denne kjøreretningen ved dagens løsning. Tur/retur er omvegen størst for reiseruten «fra kryss 8 t.o.m. høyresving i kryss 7». På denne ruten er personbiler nødt til å kjøre 1,1 km omveg ved alternativ løsning (Tabell D2).

Resultatene for reisetid for personbiler på utvalgte ruter er vist i tabell D3.

Tabell D3. Oversikt over simulert reisetid i sekunder for personbiler på utvalgte ruter langs Haakon VII's ved dagens og alternativ løsning

|   | Dagens løsning | Alternativ løsning | Differanse |
|---|----------------|--------------------|------------|
| Fra kryss 1 til kryss 8                   | 160            | 108                | 52         |
| Fra kryss 8 til kryss 1                   | 185            | 105                | 79         |
| Fra kryss 1 t.o.m. høyresving i kryss 2   | 60             | 26                 | 34         |
| Tur/retur                                 | 111            | 127                | -16        |
| Fra kryss 1 t.o.m. høyresving i kryss 3   | 96             | 48                 | 49         |
| Tur/retur                                 | 212            | 124                | 88         |
| Fra kryss 1 t.o.m. venstresving i kryss 6 | 167            | 158                | 9          |
| Tur/retur                                 | 292            | 238                | 53         |
| Kryss 1 t.o.m. venstresving i kryss 7     | 250            | 143                | 106        |
| Tur/retur                                 | 409            | 248                | 160        |
| Fra kryss 8 t.o.m. venstresving i kryss 2 | 181            | 139                | 41         |
| Tur/retur                                 | 366            | 250                | 116        |
| Fra kryss 8 t.o.m. venstresving i kryss 3 | 153            | 161                | -8         |
| Tur/retur                                 | 327            | 244                | 83         |
| Fra kryss 8 t.o.m. høyresving i kryss 6   | 79             | 38                 | 42         |
| Tur/retur                                 | 170            | 139                | 31         |
| Fra kryss 8 t.o.m. høyresving i kryss 7   | 46             | 23                 | 23         |
| Tur/retur                                 | 100            | 149                | -49        |

Reisetider tur/retur viser at trafikk fra både kryss 1 og kryss 8, som svinger inn i sidegate ved første anledning, bruker lengere tid (16 og 49 sekunder henholdsvis), mens for trafikk som kjører rett gjennom ett eller flere kryss tar det kortere tid ved alternativ løsning (tabell D3).

For å få et inntrykk av kjøremønster på de utvalgte rutene presenteres også resultater for gjennomsnittlig antall stopp, stopptid og fart (Tabell D4-6)

Tabell D4. Oversikt over gjennomsnittlig antall stopp for personbiler på utvalgte ruter langs Haakon VII's ved simulering av dagens og alternativ løsning

|   | Dagens<br>løsning | Alternativ<br>løsning | Differanse |
|---|-------------------|-----------------------|------------|
| Fra kryss 1 til kryss 8                   | 3,4               | 1,3                   | 2,1        |
| Fra kryss 8 til kryss 1                   | 4,2               | 1,1                   | 3,2        |
| Fra kryss 1 t.o.m. høyresving i kryss 2   | 1,1               | 0,1                   | 1,1        |
| Tur/retur                                 | 2,2               | 1,4                   | 0,8        |
| Fra kryss 1 t.o.m. høyresving i kryss 3   | 2,1               | 0,3                   | 1,8        |
| Tur/retur                                 | 5,0               | 1,6                   | 3,4        |
| Fra kryss 1 t.o.m. venstresving i kryss 6 | 3,5               | 1,7                   | 1,8        |
| Tur/retur                                 | 7,6               | 7,6                   | 7,6        |
| Kryss 1 t.o.m. venstresving i kryss 7     | 6,2               | 1,7                   | 4,5        |
| Tur/retur                                 | 9,6               | 3,0                   | 6,6        |
| Fra kryss 8 t.o.m. venstresving i kryss 2 | 3,6               | 1,2                   | 2,5        |
| Tur/retur                                 | 7,9               | 2,8                   | 5,2        |
| Fra kryss 8 t.o.m. venstresving i kryss 3 | 3,2               | 1,5                   | 1,7        |
| Tur/retur                                 | 7,2               | 3,0                   | 4,3        |
| Fra kryss 8 t.o.m. høyresving i kryss 6   | 2,0               | 0,3                   | 1,7        |
| Tur/retur                                 | 4,5               | 1,9                   | 2,6        |
| Fra kryss 8 t.o.m. høyresving i kryss 7   | 1,3               | 0,3                   | 0,9        |
| Tur/retur                                 | 3,2               | 2,0                   | 1,2        |

Tabell D5. Oversikt over gjennomsnittlig stopptid (sekunder) for personbiler på utvalgte ruter langs Haakon VII's ved simulering av dagens og alternativ løsning

|   | Dagens<br>løsning | Alternativ<br>løsning | Differanse |
|---|-------------------|-----------------------|------------|
| Fra kryss 1 til kryss 8                   | 51                | 8                     | 43         |
| Fra kryss 8 til kryss 1                   | 73                | 6                     | 67         |
| Fra kryss 1 t.o.m. høyresving i kryss 2   | 26                | 0                     | 26         |
| Tur/retur                                 | 43                | 8                     | 35         |
| Fra kryss 1 t.o.m. høyresving i kryss 3   | 44                | 2                     | 42         |
| Tur/retur                                 | 110               | 9                     | 101        |
| Fra kryss 1 t.o.m. venstresving i kryss 6 | 86                | 10                    | 76         |
| Tur/retur                                 | 136               | 17                    | 119        |
| Kryss 1 t.o.m. venstresving i kryss 7     | 100               | 10                    | 89         |
| Tur/retur                                 | 156               | 18                    | 138        |
| Fra kryss 8 t.o.m. venstresving i kryss 2 | 69                | 7                     | 62         |
| Tur/retur                                 | 144               | 16                    | 128        |
| Fra kryss 8 t.o.m. venstresving i kryss 3 | 67                | 8                     | 58         |
| Tur/retur                                 | 158               | 18                    | 141        |
| Fra kryss 8 t.o.m. høyresving i kryss 6   | 34                | 2                     | 32         |
| Tur/retur                                 | 83                | 11                    | 72         |
| Fra kryss 8 t.o.m. høyresving i kryss 7   | 19                | 2                     | 17         |
| Tur/retur                                 | 50                | 11                    | 38         |

Tabell D6. Oversikt over simulert gjennomsnittsfart (km/t) for personbiler på utvalgte ruter langs Haakon VII's ved dagens og alternativ løsning

|   | Dagens<br>løsning | Alternativ<br>løsning | Differanse |
|---|-------------------|-----------------------|------------|
| Fra kryss 1 til kryss 8                   | 28                | 42                    | -13        |
| Fra kryss 8 til kryss 1                   | 25                | 42                    | -18        |
| Fra kryss 1 t.o.m. høyresving i kryss 2   | 22                | 45                    | -23        |
| Tur/retur                                 | 24                | 41                    | -18        |
| Fra kryss 1 t.o.m. høyresving i kryss 3   | 21                | 41                    | -19        |
| Tur/retur                                 | 20                | 38                    | -18        |
| Fra kryss 1 t.o.m. venstresving i kryss 6 | 20                | 41                    | -21        |
| Tur/retur                                 | 23                | 40                    | -17        |
| Kryss 1 t.o.m. venstresving i kryss 7     | 23                | 39                    | -16        |
| Tur/retur                                 | 25                | 40                    | -15        |
| Fra kryss 8 t.o.m. venstresving i kryss 2 | 24                | 42                    | -18        |
| Tur/retur                                 | 23                | 40                    | -17        |
| Fra kryss 8 t.o.m. venstresving i kryss 3 | 21                | 41                    | -20        |
| Tur/retur                                 | 20                | 39                    | -19        |
| Fra kryss 8 t.o.m. høyresving i kryss 6   | 21                | 42                    | -21        |
| Tur/retur                                 | 20                | 40                    | -20        |
| Fra kryss 8 t.o.m. høyresving i kryss 7   | 19                | 34                    | -15        |
| Tur/retur                                 | 18                | 37                    | -19        |

Oppsummert er stopptid og stopptid lavere, og gjennomsnittsfarten høyere, for alle utvalgte reiseruter, ved alternativ løsning sammenlignet med dagens løsning (tabell D4-6).

## **Vedlegg E. Dagens løsning**

Filnavn: Vedlegg E - Dagens løsning.ang

Filformat: Aimsun File

## **Vedlegg F. Alternativ løsning**

Filnavn: Vedlegg F - Alternativ løsning.ang

Filformat: Aimsun File

