

Jon Utne Øxnevad

# Evaluering av rampekontroll med bussprioritet i Aimsun

En casestudie fra Schancheholen i Stavanger

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Arvid Aakre

Medveileder: Gaute Dirdal Lunde

Juni 2023



Jon Utne Øxnevad

# **Evaluering av rampekontroll med bussprioritet i Aimsun**

En casestudie fra Schancheholen i Stavanger

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk  
Veileder: Arvid Aakre  
Medveileder: Gaute Dirdal Lunde  
Juni 2023

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



Kunnskap for en bedre verden



# Sammendrag

Masteroppgaven analyserer innvirkningen av rampekontroll på kollektivtrafikk og annen trafikk på motorvegen og inn mot påkjøringsrampen, på Schancheholen i Stavanger.

Trafikksituasjonen på motorvegen (E39) i Stavanger er i rushtiden preget av saktegående trafikk og flere ulykker tilknyttet påkjøring bakfra, sammenliknet med tilsvarende motorveger. Som et resultat har det blitt startet et prosjekt der det planlegges å installere rampekontroll på flere påkjøringsramper på motorvegen sør for Stavanger. I første omgang har påkjøringsrampen på Schancheholen blitt regulert med rampekontroll (Fidgett & Undheim, 2023).

Rampekontroll er et system der det plasseres et trafikklys ved påkjøringsrampen til en motorveg for å gi signaler til kjøretøyene om de kan kjøre eller ikke. Hensikten er å opprettholde en jevn trafikkavvikling på motorvegen ved å kontrollere antallet kjøretøy som slippes ut på motorvegen. Dette oppnås ved å variere lengden på rødtiden til trafikklyset (Bellemans et al., 2006).

Studien har som mål å vurdere hvordan kollektivtrafikken kan prioriteres ved hjelp av rampekontroll, samt hvordan det påvirker trafikken både på motorvegen og vegene inn mot påkjøringsrampen. Analysene ble utført ved trafikksimulering i Aimsun. To nettverk ble bygget opp, én som gjenspeilte den faktiske situasjonen og én med forlenget kollektivfelt til etter rampekontrollen. Simuleringer ble deretter utført med varierende busstrafikk gjennom rampekontrollen, både med dagens busstrafikk og med bussavgang hvert 3. minutt. Formålet var å undersøke hvordan kollektivtrafikken og annen trafikk ble påvirket av rampekontrollen.

Scenarioet med rampekontroll uten bussprioritet resulterte i en økning i forsinkelse både for busstrafikk og andre kjøretøy som kjørte inn mot påkjøringsrampen. For kjøretøy som allerede var på motorvegen, var det en liten reduksjon i forsinkelse som et resultat av rampekontrollen. Den begrensede effekten skyldtes at trafikkflyten på motorvegen var relativt god selv i scenarioet uten rampekontroll, grunnet begrenset modellomfang.

Resultatene viste at rampekontroll med bussprioritet førte til redusert forsinkelse for kjøretøy inn mot påkjøringsrampen, sammenliknet med rampekontroll uten bussprioritet.

For basisnettverket med rampekontroll og bussprioritet ble forsinkelsen for buss redusert med 16% for dagens busstrafikk og 25% for scenarioet med bussavgang hvert 3. minutt, sammenliknet med scenarioet uten rampekontroll. Bussprioriteten førte også til en reduksjon i forsinkelse for kjøretøy fra Øst og Vest som kjørte gjennom rampekontrollen. Denne reduksjonen varierte mellom 11% og 18%, avhengig av bussintervall og startpunkt, sammenliknet med scenarioet uten rampekontroll. Analysene viste at flere bussavganger gjennom rampen resulterte i mindre forsinkelse, for kjøretøy fra Øst, Vest og kollektivtrafikken.

For nettverket med forlenget kollektivfelt var det en nedgang forsinkelse på 33% for begge kollektivplanene som et resultat av rampekontrollen, sammenliknet med rampekontroll uten bussprioritet. Imidlertid oppstod det en betydelig økning i forsinkelse for andre kjøretøy som skulle ut på motorvegen gjennom rampekontrollen.

# Abstract

This master's thesis focuses on the impact of ramp metering on public transportation and other traffic on the motorway and towards the on-ramp at Schancheholen in Stavanger. During rush hour, the traffic situation on the motorway in Stavanger is characterized by slow-moving traffic and more rear-end collisions compared to similar highways. As a result, a project has been initiated to install ramp metering on several on-ramps on the motorway south of Stavanger. Initially, the ramp at Schancheholen has been regulated with ramp metering (Fidgett & Undheim, 2023).

Ramp metering is a system where a traffic light is placed by the on-ramp of a motorway to signal whether vehicles can drive or not. The purpose is to maintain smooth traffic flow on the motorway by controlling the number of vehicles that enters the motorway. This is achieved by varying the duration of the red phase of the traffic light (Bellemans et al., 2006).

The study aimed to assess how prioritization of public transportation could be achieved through ramp metering and how it affects traffic on the motorway and the roads leading to the on-ramp. This was done through traffic simulations using Aimsun. Two network models were built, one reflecting the actual situation and another with an extended dedicated bus lane beyond the ramp meter. Simulations were then conducted with varying levels of bus traffic through the ramp meter, including current bus traffic and bus departures every 3 minutes. The goal was to examine the impact on both public transportation and other traffic.

The scenario of ramp metering without bus prioritization resulted in increased delays for both busses and other vehicles approaching the on-ramp. For vehicles already on the motorway, there was a slight reduction in delay because of the ramp metering. The limited effect was due to the relatively good traffic flow on the motorway even without the ramp metering, due to the limited scope of the model.

The results show that prioritizing public transportation led to reduced delay for vehicles approaching the on-ramp, compared to ramp metering without bus priority.

In the baseline network with ramp metering and bus prioritization, bus delay was reduced by 16% for current bus traffic and 25% for the scenario with bus departures every 3 minutes, compared to the scenario without ramp metering. Bus prioritization also led to a reduction in delays for vehicles from the East and West passing through the ramp meter. This reduction ranged between 11% and 18% depending on the bus interval and starting point. The analysis showed that more bus departures through the ramp resulted in less delay for vehicles from East, West and public transportation.

For the network with an extended dedicated bus lane, there was a 33% reduction in delay for both public transportation plans because of ramp metering, compared to the scenario without ramp metering. However, there was a significant increase in delays for other vehicles entering onto the motorway through the ramp meter.

# Forord

Masteroppgaven markerer slutten på fem års studier i Trondheim. Oppgaven er skrevet innenfor studieretningen Veg, transport og geomatikk med hovedprofil innen Transport. Den er skrevet i samarbeid med Statens Vegvesen, da de leder prosjektet med rampkontroll på Schancheholen i Stavanger. Veileder fra NTNU har vært Arvid Aakre, mens medveileder fra Statens Vegvesen har vært Gaute Dirdal Lunde.

Jeg vil rette en stor takk til flere personer for deres gode hjelp i forbindelse med masteroppgaven. Først og fremst vil jeg takke min veileder Arvid Aakre for hans verdifulle innspill og forslag til å skrive om dette temaet. Jeg ønsker også å takke min medveileder, Gaute Dirdal Lunde, for hans betydningsfulle bidrag og hjelp med å besvare spørsmål om anlegget på Schancheholen. En spesiell takk går også til Tugba Arsava i COWI for hennes assistanse med oppbygningen av rampekontrollen i Aimsun. Videre vil jeg takke flere personer i Vegvesenet, Norconsult og Trafsys for deres nyttige svar på spørsmål gjennom arbeidet og hjelp med innsamling av trafikkdata.

Mastersemesteret hadde heller ikke vært det samme uten den gode stemningen på lesesalen, med både kaketorsdag og daglige konkurranser i GeoGuessr. Til slutt vil jeg takke min familie for deres støtte og hjelp med korrekturlesning, samt alle de gode vennene jeg har fått gjennom fem fantastiske år på NTNU i Trondheim.

Stavanger, 20. juni 2023

Jon Utne Øxnevad

# Innhold

Figurer .....	x
Tabeller .....	xii
1 Introduksjon .....	13
1.1 Bakgrunn .....	13
1.2 Mål for masteroppgaven.....	15
1.3 Begrensninger .....	16
2 Beskrivelse av caseområdet .....	17
2.1 Kollektivtrafikk inn mot rampen .....	23
2.2 Data fra anlegget .....	24
3 Teori .....	25
3.1 Trafikkstrømteori .....	25
3.2 Rampekontroll .....	26
3.3 Trafikksikkerhet .....	27
3.4 Fremkommelighet .....	27
3.5 AILNEA .....	28
3.5.1 AILNEA/Q.....	29
3.6 Kollektivprioritet .....	31
3.6.1 Former for prioritering .....	32
3.6.2 Aktiv og passiv kolletivprioritering.....	33
4 Metode .....	34
4.1 Gjenbruk fra prosjektoppgave.....	34
4.2 Valg av simuleringsprogram .....	34
4.3 Aimsun Next 22 .....	34
4.3.1 Detaljeringsnivåer .....	35
4.3.2 Norsk veileder Aimsun .....	35
4.4 Goodvision .....	36
4.5 Modellering av nettverk.....	36
4.5.1 Elementer i en Aimsun-modell .....	37
4.5.2 Oppbygning av rampekontollen.....	40
4.5.3 Nettverk som er modellert.....	43
4.6 Datainnsamling .....	44
4.6.1 Plassering av kameraene.....	45
4.6.2 Analyse av videooptak .....	47
4.6.3 Trafikkdata Motorveg.....	50
4.6.4 Beregning av trafikkmengder og svingebevegelser .....	50



4.6.5	Total trafikkmengde .....	53
4.7	Analyse av resultat .....	54
4.7.1	Subpath .....	54
4.7.2	Scenarier som skal simuleres .....	56
4.7.3	Antall replikasjoner .....	57
5	Resultat .....	58
5.1	Valg av grenseverdier og oppdateringsintervall for rampekontroll med uendrede verdier i Aimsun .....	58
5.2	Modellering av samhandling på motorvegen .....	59
5.3	Resultat av simuleringene .....	60
5.3.1	Fordeling av antall kjøretøy over simuleringsperioden .....	61
5.3.2	Forsinkelse Basisnettverk .....	61
5.3.3	Forsinkelse, nettverk med forlenget kollektivfelt .....	66
5.3.4	Forsinkelse kollektivtrafikk sammenliknet med annen trafikk .....	70
5.3.5	Total reisetid .....	71
6	Diskusjon .....	72
6.1	Effekt rampekontroll .....	72
6.1.1	Evalueringsrapport av rampekontrollen .....	74
6.2	Bussprioritet .....	76
6.3	Økt busstrafikk inn mot påkjøringsrampen .....	78
6.4	Andre forhold .....	79
7	Konklusjon .....	82
7.1	Kommentar videre arbeid .....	83
	Referanser .....	84
	Vedlegg .....	87

# Figurer

Figur 1.1: Planlagt plassering av rampekontroll på påkjøringsramper på E39 sør for Stavanger. Egenprodusert basert på (Statens Vegvesen, 2019), Bakgrunnskart hentet fra: (FINN kart, u.å.).	13
Figur 1.2: Rampe på Schancheholen og oversiktskart vegnett Stavanger, påkjøringsrampen på Schancheholen er markert på kartet til høyre. Bakgrunnskart hentet fra: (FINN kart, u.å.).	14
Figur 2.1: Oversiktsbilde over påkjøringsrampen. Foto: Arvid Aakre.	17
Figur 2.2: Påkjøringsrampen på Schancheholen. Bakgrunnskart hentet fra: (FINN kart, u.å.).	18
Figur 2.3: Oppsett av trafikklys til rampekontrollen. Foto: Arvid Aakre.	18
Figur 2.4: M-tegning av E39. Hentet fra: (Statens Vegvesen, 2020c).	19
Figur 2.5: Plassering av detektorene Hentet fra: (Statens Vegvesen, 2020c).	19
Figur 2.6: Detektor for måling av belegg nedstrøms på motorvegen. Hentet fra: (Fidgett & Undheim, 2023)	20
Figur 2.7: Grønn og rødtider for hver fase, min rødtid til venstre og rødtid ved bussadkomst. Hentet fra: (Statens Vegvesen, 2020a).	22
Figur 2.8: Strekning med variabel fartsgrense. Bakgrunnskart hentet fra: (FINN kart, u.å.).	22
Figur 2.9: Belegg mot rødtid, morgenrush 11.04.23. Data hentet fra: (G. D. Lunde, personlig kommunikasjon, 18. april 2023).	24
Figur 3.1 Sammenheng mellom trafikkvolum og tetthet av kjøretøy. Egenprodusert basert på: (May, 1990).	25
Figur 3.2: Rampekontroll. Hentet fra: (Bellemans et al., 2006).	26
Figur 3.3: Skjematisk fremstilling av oppsettet til ALINEA. Hentet fra: (Papageorgiou et al., 2007).	28
Figur 3.4: Køutvikling på rampen med ALINEA og ALINEA/Q som kontrollalgoritme. Hentet fra: (Smaragdis & Papageorgiou, 2003).	30
Figur 3.5: Simulering av stokastisk scenarier, med ALINEA og ALINEA/Q. Hentet fra: (Smaragdis & Papageorgiou, 2003).	31
Figur 3.6: Tidsbruk for stambusslinjer i København, Trondheim og Oslo/Akershus. Hentet fra: (V123 Kollektivhåndboka, 2014).	31
Figur 4.1: Forskjellen på detaljeringsgraden mellom makro-, meso- og mikro-simulering. Hentet fra: (Veiledere for Aimsun, Versjon 0.95, 2022).	35
Figur 4.2: Basisnettverket med rampe og tilhørende veger modellert etter bakgrunnskart fra Finn Kart. Bakgrunnskart hentet fra: (FINN kart, u.å.).	37
Figur 4.3: Vegsystem i Aimsun bestående av flere ulike elementer.	37
Figur 4.4: Utklipp fra Aimsun.	40
Figur 4.5: Defineringsplan for noden med rampekontroll. Fixed og Actuated kontroll.	41
Figur 4.6: Utklipp fra basisnettverket, rampekontroll aktivert, d1 og d2 er detektorene som benyttes ved bussprioritet. Bakgrunnskart hentet fra: (FINN kart, u.å.).	42
Figur 4.7: Basisnettverk og nettverk med forlenget bussveg. Bakgrunnskart hentet fra: (FINN kart, u.å.).	43
Figur 4.8: Flettingen mellom kollektivfeltet og vegene fra rundkjøringene. Bakgrunnskart hentet fra: (FINN kart, u.å.).	43
Figur 4.9: Rundkjøringene hvor det ble gjort videoopptak og posisjonering av videokameraene. Bakgrunnskart hentet fra: (FINN kart, u.å.).	44

Figur 4.10: Plassering av videokameraene. Bildet til venstre viser kameraet som filmet i rundkjøring 1 i Figur 4.9, mens bildet til høyre viser kameraet som filmet rundkjøring 2. ....	45
Figur 4.11: Opptak fra videokamera i rundkjøring 1, i køsituasjon og uten trafikk.....	46
Figur 4.12: Opptak fra videokamera i rundkjøring 2, i køsituasjon og uten trafikk. Til høyre i figuren vises rampekontrollen. ....	46
Figur 4.13: Resultat av trafikktellingen 29.03.23, 06:00-09:00. Bakgrunnskart hentet fra: ( <i>FINN kart</i> , u.å.). ....	48
Figur 4.14: Kø fra Øst og Vest inn mot rundkjøring 1, 17.11.22. Foto: Arvid Aakre. ....	49
Figur 4.15: Plasseringen av tellepunkt fa Statens vegvesen. Egenprodusert basert på: ( <i>Trafikkdata</i> , u.å.). Bakgrunnskart hentet fra: ( <i>FINN kart</i> , u.å.). ....	50
Figur 4.16: Analyse av svingebevegelser i rundkjøring 1, utført av GoodVision, fra 06:00-09:00, 29.03.23. ....	51
Figur 4.17: Resultat av trafikkberegninger i rundkjøring 1, svingebevegelserne er nummererte fra 1 til 4. Bakgrunnskart hentet fra: ( <i>FINN kart</i> , u.å.). ....	52
Figur 4.18: Navn og plassering av sentroidene i nettverket med forlenget kollektivfelt. ....	53
Figur 4.19: Subpathene 1-5 som er definert i Aimsun. Bakgrunnskart hentet fra: ( <i>FINN kart</i> , u.å.). ....	55
Figur 5.1: Fordeling av kjøretøy over simuleringsperioden, for subpathene som kjører gjennom rampekontrollen. Basisnettverk, scenario: Basisscenario, Dagens busstrafikk. ....	61
Figur 5.2: Forsinkelse basisnettverk, fra Nord til Motorveg. ....	61
Figur 5.3: Forsinkelse basisnettverk, fra Vest til Motorveg. ....	62
Figur 5.4: Forsinkelse basisnettverk, fra Øst til Motorveg. ....	62
Figur 5.5: Forsinkelse basisnettverk, fra Eiganestunellen til Motorveg. ....	63
Figur 5.6: Forsinkelse Motorveg, fletteområdet med kjøretøy fra påkjøringsrampen, fordelt på høyre og venstre kjørefelt. ....	63
Figur 5.7: Forsinkelse basisnettverk, for Motorveg nedstrøms påkjøringsrampen. ....	64
Figur 5.8: Forsinkelse buss, basisnettverk, fra Kollektivfelt til Motorveg. ....	64
Figur 5.9: Forsinkelse nettverk med forlenget kollektivfelt, fra Nord til Motorveg. ....	66
Figur 5.10: Forsinkelse nettverk med forlenget kollektivfelt, fra Vest til Motorveg. ....	66
Figur 5.11: Forsinkelse nettverk med forlenget kollektivfelt, fra Øst til Motorveg. ....	67
Figur 5.12: Forsinkelse nettverk med forlenget kollektivfelt, fra Eiganestunellen til Motorveg. ....	67
Figur 5.13: Forsinkelse nettverk med forlenget kollektivfelt, for Motorveg nedstrøms påkjøringsrampen. ....	68
Figur 5.14: Forsinkelse buss, nettverk med forlenget kollektivfelt, fra Kollektivfelt til Motorveg. ....	68
Figur 5.15: Forsinkelse, basisnettverk, buss og andre kjøretøy, fra Øst/Kollektivfelt til Motorveg. ....	70
Figur 5.16: Forsinkelse, nettverk med forlenget bussveg, buss og andre kjøretøy, fra Øst/Kollektivfelt til Motorveg. ....	71
Figur 6.1: Kø motorveg nedstrøms påkjøringsrampe. Foto Arvid Aakre. ....	73
Figur 6.2: Strekninger hvor forskjeller i reisetid ble vurdert i Norconsult sin evaluering. Egenprodusert basert på (Fidgett & Undheim, 2023). Bakgrunnskart hentet fra: ( <i>FINN kart</i> , u.å.). ....	75

# Tabeller

Tabell 2.1: Forklaring og verdier av belegg. Egenprodusert basert på (Fidgett & Undheim, 2023). .....	20
Tabell 2.2: Verdier for styring av rampekontrollen, i vanlig drift. Hentet fra: (Fidgett & Undheim, 2023) .....	21
Tabell 2.3: Antall busspasseringer ut på motorvegen gjennom rampen, fordelt på rutenummer. ....	23
Tabell 4.1: Aktiveringer og deaktiveringer av rampekontrollen, kl: 06:00-09:00, 29.03.23. ....	47
Tabell 4.2: Aktiveringer og deaktiveringer av rampekontrollen, kl: 14:45-17:15, 29.03.23. ....	47
Tabell 4.3: Summering av manuelle trafikkregistreringer gjort morgenen, 29.03.23, fra 06:00-09:00. ....	49
Tabell 4.4: Sammenlikning mellom manuelle trafikktellinger og registrering ved hjelp av GoodVision, 29.03.23, 07:30-07:45. ....	52
Tabell 4.5: Totalt antall registrerte lette kjøretøy fra 06:00-09:00, 29.03.23. ....	53
Tabell 4.6: Totalt antall registrerte tunge kjøretøy fra 06:00-09:00, 29.03.23. ....	54
Tabell 4.7: Beskrivelser av subpathene vist i Figur 4.19 .....	55
Tabell 4.8: Forklaring av scenarioene som skal simuleres. ....	56
Tabell 5.1: Beskrivelse av de ulike styringsmetodene som testes. ....	58
Tabell 5.2: Total reisetid for kjøretøy med de ulike versjonene av rampekontrollen. ....	58
Tabell 5.3: Totalt antall lette kjøretøy med 20% økning mot sentroiden Motorveg, fra 06:00-09:00. ....	59
Tabell 5.4: Totalt antall tunge kjøretøy med 20% økning mot sentroiden Motorveg, fra 06:00-09:00. ....	59
Tabell 5.5: Beskrivelse av grenseverdiene av rampekontrollen som ble brukt i simulering av resultatene. ....	60
Tabell 5.6: Gjennomsnitt verdier for forsinkelse, Basisnettverk, Dagens busstrafikk. ....	65
Tabell 5.7: Gjennomsnitt verdier for forsinkelse, Basisnettverk, 3-min buss. ....	65
Tabell 5.8: Gjennomsnitt verdier for forsinkelse, nettverk med forlenget kollektivfelt, Dagens busstrafikk. ....	69
Tabell 5.9: Gjennomsnitt verdier for forsinkelse, nettverk med forlenget kollektivfelt, 3-min buss. ....	69
Tabell 5.10: Total reisetid for kjøretøyene som kjører ut på påkjøringsrampen og fra Eiganestunellen, for Basisnettverket. ....	71
Tabell 5.11 Total reisetid for kjøretøyene som kjører ut på påkjøringsrampen og fra Eiganestunellen, for nettverket med forlenget bussfelt. Basisnettverket. ....	71

# 1 Introduksjon

De følgende underseksjonene er hovedsakelig basert på arbeidet utført i prosjektoppgaven, (Øxnevad, 2022).

## 1.1 Bakgrunn

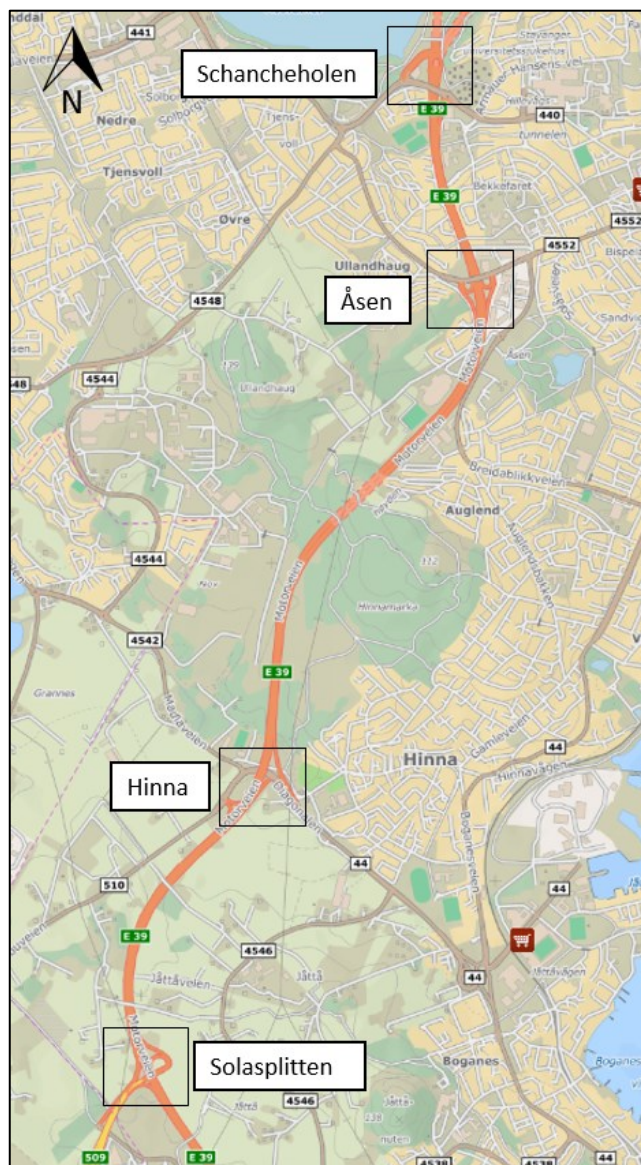
Statens vegvesen har besluttet å starte et prosjekt der det planlegges å installere rampekontroll på påkjøringsramper på E39, sør for Stavanger. Det er foreslått i alt 6 ulike ramper på strekningen mellom Schancheholen i Stavanger og sørover mot Sandnes. Strekningen er på totalt 14 km (Statens Vegvesen, 2019).

Figur 1.1 viser plasseringer av fire av de foreslåtte rampekontrollene. I første omgang har systemet blitt satt opp på sørgående rampe på Schancheholen, nærmere vist til venstre på Figur 1.2.

Målsettingen fra Statens vegvesen med innføring av rampekontroll er følgende:

1. «Færre ulykker
2. Redusere risiko knyttet til kø i tunnel
  - a. E39 Eiganestunnelen
  - b. Rv. 13 Ryfast
3. Bedre fremkommelighet og forutsigbarhet
4. Overføring fra bil til miljøvennlige transportformer i storbyområdet»

(Statens Vegvesen, 2019).



**Figur 1.1: Planlagt plassering av rampekontroll på påkjøringsramper på E39 sør for Stavanger. Egenprodusert basert på (Statens Vegvesen, 2019), Bakgrunnskart hentet fra: (FINN kart, u.å.).**



**Figur 1.2: Rampe på Schancheholen og oversiktskart vegnett Stavanger, påkjøringsrampen på Schancheholen er markert på kartet til høyre. Bakgrunnskart hentet fra: (FINN kart, u.å.).**

Det er ofte mye trafikk og kødannelse på motorvegen (E39) i rushtiden. Kødannelsen kommer blant annet av at det er flere påkjøringsramper hvor kjøretøy fra lokalvegnettet skal ut på motorvegen. Dette er en av årsakene til at rampekontroller skal bli installert sør for Stavanger. Den viktigste årsaken til at trafikken er fordelt på denne måten er lokaliseringen av arbeidsplasser. En stor andel av bedriftene i regionen er lokalisert på Forus, et område som ligger 12 km sør for Stavanger. Det resulterer i stor trafikk inn mot Forus i rushtiden.

Vegnettet i Stavanger består av flere høyt trafikkerte veger som knytter de ulike bydelene i kommunen sammen. De mest trafikkerte vegene utenom E39 er fylkesveg 44 og fylkesveg 441, som er vist i til høyre Figur 1.2. Dette er veger som strekker seg over lengre strekninger og knytter sammen bydeler i flere kommuner. Fylkesvegene har på ulike strekninger eget kollektivfelt for buss. Når det gjelder rushtidstrafikk er fylkesveg 44 mest preget av kødannelse, samt vegene som leder inn mot motorvegen, eksempelvis fra Tjensvoll, Kannik og Hillevåg.

Stavangers plassering mellom kommunene Randaberg, Sola og Sandnes gjør at Nord-Jæren består av bebyggelse over et stort område. Dette medfører at innbyggerne ofte forflytter seg over kommunegrensene på sine reiser.

(Øxnevad, 2022)

## 1.2 Mål for masteroppgaven

Målet med masteroppgaven er å undersøke hvordan ulike styringer av rampekontrollen påvirker kollektivtrafikk og annen trafikk inn mot påkjøringsrampen og på motorvegen.

Dette skal gjøres ved å først bygge opp et nettverk i Aimsun bestående av påkjøringsrampen på Schancheholen og de tilhørende vegene rundt.

Deretter vil det bli simulert ulike styringsmetoder av rampekontrollen for å se på hvordan det påvirker trafikken på motorvegen og inn mot rampen. I tillegg vil det bli undersøkt hvordan kollektivtrafikk kan prioriteres ved hjelp av rampekontrollen.

Dette vil foregå på følgende måte: bussen vil bli detektert og kjørefeltet prioriteres ved at trafikklyset står i gulblink frem til bussen har kjørt ut på rampen. Resultatene av en slik styring vil bli sammenliknet med rampekontroll uten bussprioritet, samt ingen rampekontroll. Bussmengden vil også bli økt for å undersøke hvordan dette påvirker forsinkelsen ved at bussen oftere må bli prioritert gjennom rampen.

I tillegg vil det bli bygget opp et nettverk med et forlenget kollektivfelt. Da vil bussen kunne kjøre uavbrutt frem til etter rampekontrollen, før den kommer ut i blandet trafikk. Dette gjøres for å undersøke hvordan en slik geometrisk utforming av vegsystemet påvirkes av rampekontrollen.

På bakgrunnen av dette er det kommet frem til to forskningsspørsmål som skal undersøkes i løpet av masteren:

1. Hvordan påvirkes trafikken på motorvegen og inn mot rampen av ulike styringsmåter av rampekontrollen.
2. Hvordan påvirkes kollektivtrafikken av rampekontrollen og hvordan vil ulik geometrisk utforming av vegsystemet og styringer av rampekontrollen påvirke kollektivtrafikken.

(Øxnevad, 2022)

### 1.3 Begrensninger

Området som skal modelleres er tett knyttet opp til rampen. Det vil være for tidkrevende å bygge opp en modell over store deler av Stavanger i en masteroppgave. Oppgaven omhandler trafikksituasjonen på motorvegen og inn mot rampen. Det vil derfor være av liten hensikt å modellere et stort område, da det kan være vanskelig å se de trafikale konsekvensene av rampekontroll i et område som ligger langt fra rampen.

En annen begrensning er at utrykningskjøretøy fra brannstasjonen ved Schancheholen ikke vil være en del av simuleringene. Dette er fordi antallet kjøretøy som kjører ut fra brannstasjonen er veldig variabelt. I tillegg vil et utrykningskjøretøy kunne kjøre mellom kjørefeltene på veg ned mot rampen og dermed manøvrere uavbrutt gjennom rampekontrollen. Dette ble observert på Schancheholen på turen til Stavanger i november 2022.

(Øxnevad, 2022)



## 2 Beskrivelse av caseområdet

De følgende underseksjonene er hovedsakelig basert på arbeidet utført i prosjektoppgaven, (Øxnevad, 2022).



**Figur 2.1: Oversiktsbilde over påkjøringsrampen. Foto: Arvid Aakre.**

Figur 2.1 viser et oversiktsbilde over påkjøringsrampen på Schancheholen. Figuren viser kjøretøy som kommer fra rundkjøringene og ut på rampen gjennom rampekontrollen.

Figur 2.2 viser et flyfoto over påkjøringsrampen på Schancheholen. Inn mot påkjøringsrampen kommer det kjøretøy fra Nord, Vest og Øst. De er markert med ulike farger. De som kommer kjørende fra Øst, markert med hvit vil møte de som kommer kjørende fra Vest, markert med blå farge. De vil kjøre i samme felt etter rundkjøringen og deretter kjøre ned mot påkjøringsrampen. Kjøretøy fra Nord, markert i rødt, vil komme kjørende i et eget felt ned mot påkjøringsrampen.

Det er et kollektivfelt som ligger i høyre kjørefelt og følger samme rute som kjøretøy fra Øst, markert med gul. Bussene som kjører i kollektivfeltet, vil kjøre på utsiden av rundkjøringen slik som det er vist på figuren. Kollektivfeltet opphører etter rundkjøringen og deretter vil bussen kjøre i blandet trafikk inn mot påkjøringsrampen. Etter kollektivfeltet opphører må de andre kjøretøyene som skal ut på motorvegen foreta et feltskifte for å ligge i riktig kjørefelt. Dette gjelder kjøretøyene som kommer fra Øst og Vest.

Figur 2.2 viser at det er to felt som føres ned mot rampen. Ett fra Vest, markert i blått og ett fra Nord, markert i rødt. Det er fletting mellom feltene før kjøretøyene kjører ut på rampen. Flettingen fra to til ett felt forekommer etter rampekontrollen. Rampekontrollen som er illustrert med en hvit stiplet linje, består av fire trafikklys, to for hvert kjørefelt. Den er utformet som en port over veien, som vist i Figur 2.3.



**Figur 2.2: Påkjøringsrampen på Schancheholen. Bakgrunnskart hentet fra: (FINN kart, u.å.).**



**Figur 2.3: Oppsett av trafikkllys til rampekontrollen. Foto: Arvid Aakre.**

Prosjektet med rampekontroll på Schancheholen er i første omgang et prøveprosjekt. Tidshorizonten er ikke satt «men det skal gjennomføres en grundig evaluering som eventuelt gir grunnlag for et permanent vedtak» (Statens Vegvesen, 2021b).

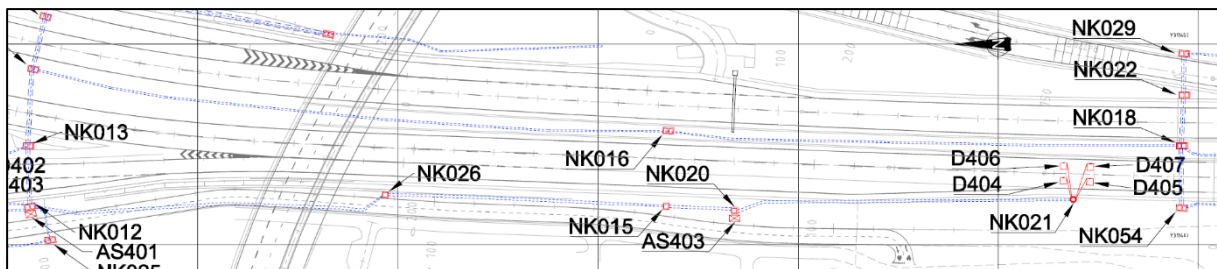
I vedtaksbrevet om prosjektet er det også nevnt at det er innvilget flere fravik, dette er på grunn av at liknende prosjekt ikke er blitt utført i Norge tidligere. Her er det også nevnt at prøveprosjektet kan avsluttes dersom virkemåten ikke er slik som først tiltenkt

eller at det oppstår trafikkarfarlige situasjoner som følge av prosjektet. Videre er det også nevnt at prosjektet kan føre til endringer i trafikkbildet, ved at trafikantene velger andre ruter. Dersom dette fører til negative konsekvenser for lokalmiljøet eller fører til «klart uakseptable ringvirkninger, så bør reguleringen endres eller eventuelt avsluttes dersom en ikke finner akseptable løsninger» (Statens Vegvesen, 2021b).

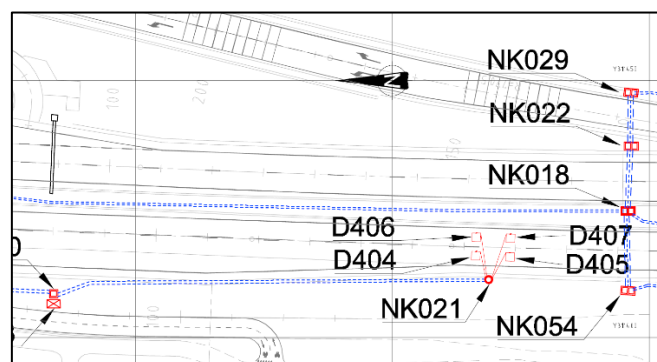
I forbindelse med prosjektet er det også blitt innført variable fartsgrenser på motorvegen, på strekningen Schancheholen – Hove, vist i Figur 2.8. Videre er det vedtatt at «utover den permanente fartsgrensen kan man med bakgrunn i trafikksikkerhet, fremkommelighet og miljøforhold, -inkludert avvikssituasjoner, innføre andre fartsgrenser innenfor de rammene skiltforskriften § 26 nr 1 gir lokal skiltmyndighet» (Statens Vegvesen, 2021a).

Anlegget vil kunne aktiveres i tidsperiodene 06:00-09:00 og 14:45-17:15 på hverdager. «Anlegget vil bruke flere rampekontrollalgoritmer for å regulere trafikken på E39, inkludert ALINEA. Anlegget vil måle belegg og trafikkvolum i begge felt på E39 nedstrøms krysset.» «Anlegget står i svart (avslått) frem til det oppstår en beskjed fra en av detektorene D404/D405/D406/D407» (Statens Vegvesen, 2020a).

Figur 2.4 viser motorvegen nedstrøms rampen. Til høyre i figuren ligger detektorene D404, D405, D406 og D407. De detekterer trafikken og fungerer som input til rampekontrollen som varierer lengden av rødtid avhengig av belegget på motorvegen. Figur 2.5 viser en mer detaljert plassering. Detektorene er kameraer som måler belegg og trafikkvolum av kjøretøy på motorvegen (Statens Vegvesen, 2020a).



**Figur 2.4: M-tegning av E39. Hentet fra: (Statens Vegvesen, 2020c).**



**Figur 2.5: Plassering av detektorene Hentet fra: (Statens Vegvesen, 2020c).**

Detektorene vist i Figur 2.5 måler belegg nedstrøms rampen på motorvegen. Dette er «en måling på hvor ofte et kjøretøy befinner seg i et område over et visst tidsrom» (Fidgett & Undheim, 2023). En forklaring på belegg med tilhørende prosentverdier, er gitt i Tabell 2.1. Figur 2.6 viser området hvor et kjøretøy må befinne seg innenfor før belegget måles.

**Tabell 2.1: Forklaring og verdier av belegg. Egenprodusert basert på (Fidgett & Undheim, 2023).**

Verdi av belegg	Forklaring
<b>100%</b>	Kjøretøy detektert i boksen over hele perioden
<b>50%</b>	Kjøretøy detektert i boksen over første halvdel av perioden, ingen i andre
<b>0%</b>	Ingen kjøretøy detektert i boksen over hele perioden



**Figur 2.6: Detektor for måling av belegg nedstrøms på motorvegen. Hentet fra: (Fidgett & Undheim, 2023)**

Figur 2.4 viser også detektorene D408 og D409, detektortypen her er også kamera. Detektorene kan samle inn data til X-ALINEA/Q algoritmen og benyttes til å holde kølengden inn mot rampen under en gitt lengde. Inputen fra sløyfene kan brukes til å redusere rødtid dersom dette er nødvendig. Per i dag styres anlegget av ALINEA algoritme, men det er mulig å aktivere rampe-kø kontrollen, med dagens oppsettet (Statens Vegvesen, 2020a).

Tabell 2.2 viser de ulike verdiene til rampekontrollen når den er satt til vanlig drift. Variasjonen i rødtid i posisjon 8 vil styres av algoritmene som styrer systemet. Det vil være ALINEA som får input fra detektorer på motorvegen. I posisjon 6 er det lagt opp til at anlegget kan stå i gulblink for bussprioritet. Da vil kjørefeltet med bussen, få prioritet i form av et gulblink for å redusere forsinkelsen inn mot rampen. Varigheten av gulblinket vil variere avhengig av når kollektivtrafikken dikteres. Bussprioriteten er i likhet med

rampe-kø kontrollen ikke aktivert per dags dato, men den kan aktiveres (Statens Vegvesen, 2020a).

**Tabell 2.2: Verdier for styring av rampekontrollen, i vanlig drift. Hentet fra: (Fidgett & Undheim, 2023)**

I drift:				
Rampekontrollsystemet vil bruke følgende verdier for vanlig drift: (2)				
Pos.	Gult Varsel-blinkesignal	Rampekontroll-signal	Tid	Merknad
1	Avslått ↓	Avslått	-	Hvilestilling ↓
2		Gult blink	10 sek	Oppstart
3	I drift ↓	Gult	5 sek	Oppstart
4		Rødt	5 sek	Oppstart
5		Rødt/gult	1 sek	Drift ↓
6		Grønt	3,5 sek	2 biler per grønt
7		Gult	1 sek	
8		Rødt	5,5-16,5 sek	Styres av rampekontrollalgoritme
→5				
9		Rødt/gult	1 sek	Retur til hvilestilling ↓
10		Grønt	3,5 sek	
11	Avslått ↓	Gult blink	10 sek	
12		Avslått		Hvilestilling

I posisjon 8 vil rødtiden variere, slik som Tabell 2.2 viser. Ved minimal rødtid på 5.5 sek vil det avvikles 1320 kjøretøy/t totalt fra rampen og ut på motorvegen. Ved maksimal rødtid på 16.5 sek vil det avvikles 655 kjt/t fra rampen. Verdiene for minimal og maksimal avvikling fra rampen tilsvarer  $[r_{min}, r_{max}]$ , forklart i avsnitt 3.5. I tillegg er anlegget satt opp slik at rampekontrollen vil starte når belegget på motorvegen overstiger 25%. Rampekontrollen vil deaktiveres når belegget igjen går under 15% (Fidgett & Undheim, 2023).

**Verdiene for maksimal avvikling fra rampekontrollen beregnes på følgende måte:**

*Minimal rødtid:*

$$\frac{60 \text{ sek/min}}{11 \text{ sek}} * 2 \text{ kjt per grønntid} * 60 \text{ min/t} * 2 \text{ kjørefelt} = 1309 \text{ kjt/t}$$

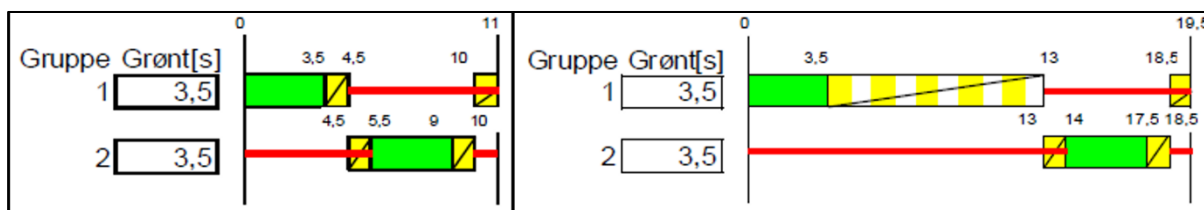
*Maksimal rødtid:*

$$\frac{60 \text{ sek/min}}{22 \text{ sek}} * 2 \text{ kjt per grønntid} * 60 \text{ min/t} * 2 \text{ kjørefelt} = 655 \text{ kjt/t}$$

Nevnerne i den første brøken tilsvarer varigheten av omløpstiden. 11 sekunder er den korteste varigheten av en omløpstid til rampekontrollen, vist til venstre i Figur 2.7. Merk at det er en forskjell beregning av antall kjøretøy som avvikles ved minimal rødtid sammenliknet med (Fidgett & Undheim, 2023).

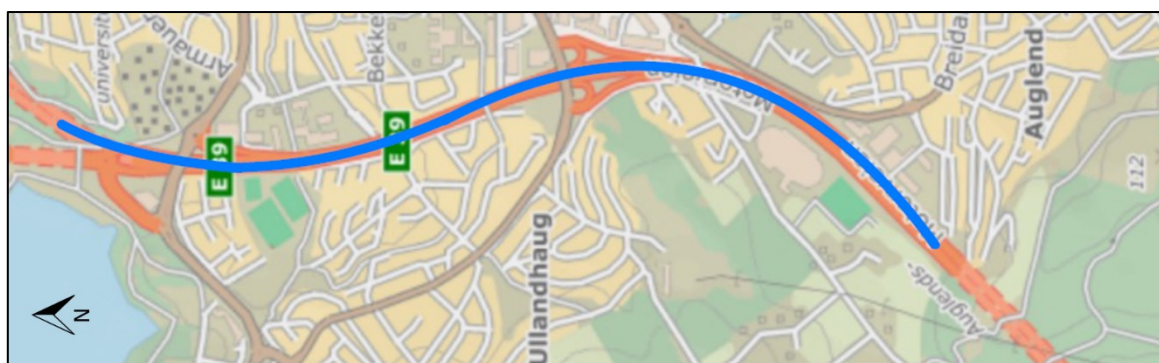
Anlegget er delt inn i to faser, fasene representerer de ulike kjørefeltene som leder ned mot rampen. Figur 2.2 viser fasene, Fase 1 representerer feltet som kommer fra Vest, markert med blå farge. Fase 2 representerer feltet som kommer fra Nord, markert med rød farge. Styringen av fasene gjør at det kun er ett felt om gangen som har grønt lys og kan kjøre ut på rampen (Statens Vegvesen, 2020a). Et fravik fra vanlig kontroll er utslipp av to kjøretøy om gangen ut på rampen ved hver grønntid (Statens Vegvesen, 2019).

Figur 2.7 viser grønn og rødtid for hver fase. Til venstre vises minimum rødtid på 5.5 sekunder. Til høyre vises rødtiden ved bussprioritet, dersom den aktiveres. Da vil Fase 1 stå i gulblink i 9.5 sekunder slik at bussen kan kjøre ut på rampen med mindre forsinkelse. Fase 1 vil ved bussdeteksjon ha gulblink i 9.5 eller 13.5 sekunder avhengig av i hvilken fase bussen blir detektert. Ved bussdeteksjon vil hele omløpstiden aktiveres for Fase 1, først med grønt lys og deretter gulblink (Statens Vegvesen, 2020a).



**Figur 2.7: Grønn og rødtider for hver fase, min rødtid til venstre og rødtid ved bussadkomst. Hentet fra: (Statens Vegvesen, 2020a).**

Når anlegget aktiveres skal fartsgrensen på motorvegen settes ned til 60 km/t, ved hjelp av variable skilt og advarselsskilt. Den variable fartsgrensen skal være på strekningen fra utkjøringen av Eiganes-tunellen og frem til starten av Auglendstunellen, slik som Figur 2.8 viser (Statens Vegvesen, 2020b).



**Figur 2.8: Strekning med variabel fartsgrense. Bakgrunnskart hentet fra: (FINN kart, u.å.).**

Bussprioriteringen har som funksjon å redusere forsinkelse. Dermed kan rampekontrollen fungere som et tiltak for å oppnå prioritet av kollektivtrafikk. Det er syv bussruter som benytter rampen for å kjøre ut på motorvegen. Dette er rutene X30, X31, X39, X40, X44, X50 og X71 (*Reiseplanlegger Kolumbus*, u.å.).

Dersom dette aktiveres, vil systemet detektere busser i rute. Når de detekteres vil det ene kjørefeltet prioriteres og det tilhørende trafikklyset vil stå i gulblink. Det er kjørefeltet markert med blå farge i Figur 2.2 som vil få prioritet (Statens Vegvesen, 2020a).

(Øxnevad, 2022)

## 2.1 Kollektivtrafikk inn mot rampen

Antall bussruter fordelt på rutenummer inn mot påkjøringsrampen er vist i Tabell 2.3. De er hentet fra rutehåndboken til Kolumbus. Det er i alt 35 passeringer i morgenerushet og 32 passeringer i ettermiddagsrushet. Passeringene er på hverdager, i tidsrommet der rampekontrollen kan være aktivert. Alle bussene som kjører gjennom rampen kommer fra Øst, med unntak av rute X71. Bussene som kommer fra Øst, kjører først over broen i kollektivfeltet, så i blandet trafikk ned mot rampen, vist med gul og blå farge i Figur 2.2. Rute X71 kommer nordfra gjennom rundkjøringen, før bussen kjører ned mot rampen, vist med rød farge i Figur 2.2. (*Reiseplanlegger Kolumbus*, u.å.)

Dersom systemet med bussprioritet blir tatt i bruk vil busser i rute bli detektert når de kjører inn mot rampekontrollen. Detekteringen vil skje ved hjelp av sanntidsinformasjon fra Kolumbus.

**Tabell 2.3: Antall busspasseringer ut på motorvegen gjennom rampen, fordelt på rutenummer.**

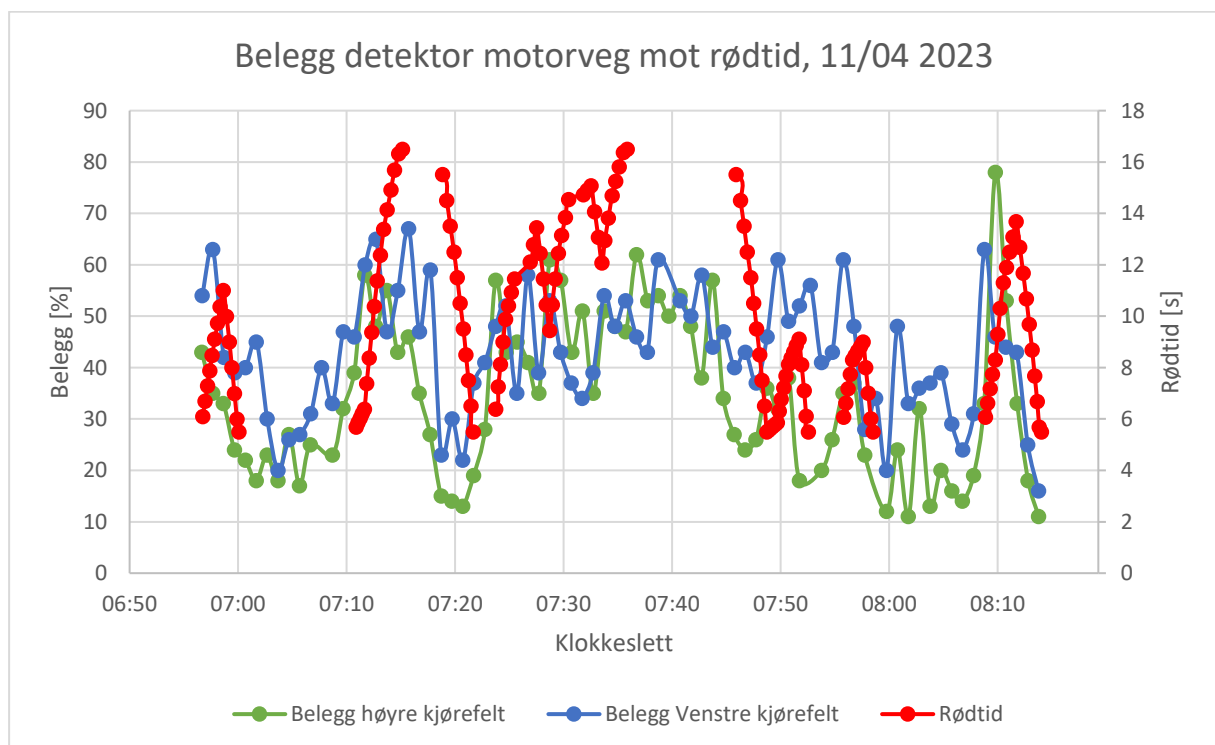
Rutenummer	Antall busspasseringer gjennom rampekontrollen	
	Morgenerush (06:00-09:00)	Ettermiddagsrush (14:45-17:15)
<b>X30</b>	11	0
<b>X31</b>	12	10
<b>X39</b>	2	2
<b>X40</b>	0	5
<b>X44</b>	2	3
<b>X50</b>	0	10
<b>X71</b>	8	2
<b>Sum:</b>	35	32

(Øxnevad, 2022)

## 2.2 Data fra anlegget

Noen måneder etter igangsettingen av rampekontrollen ble det mulig å hente ut spesifikke data om varigheten av rødtiden til rampekontrollen. Figur 2.9 viser data fra morgenrushet den 11. april, hvor belegget registrert av detektorene på motorvegen er plottet mot varigheten av rødtiden til rampekontrollen. Første aktivering av rampekontrollen fant sted kl. 06:57. Det fremgår også av figuren at det i flere tidsperioder ikke ble registrert noen rødtid av (G. D. Lunde, personlig kommunikasjon, 18. april 2023).

Grafene indikerer en sammenheng mellom rødtiden og belegget på motorvegen, men det er vanskelig å identifisere en tydelig sammenheng mellom de ulike grenseverdiene og rødtiden. Som følge av dette vil rampekontrollen som defineres i Aimsun benytte seg av grenseverdier uavhengig av verdiene på Schancheholen. Denne tilnærmingen er også begrunnet i at deteksjonen i en simulering kan være forskjellig fra deteksjonen av faktisk trafikk.



**Figur 2.9: Belegg mot rødtid, morgenrush 11.04.23. Data hentet fra: (G. D. Lunde, personlig kommunikasjon, 18. april 2023).**

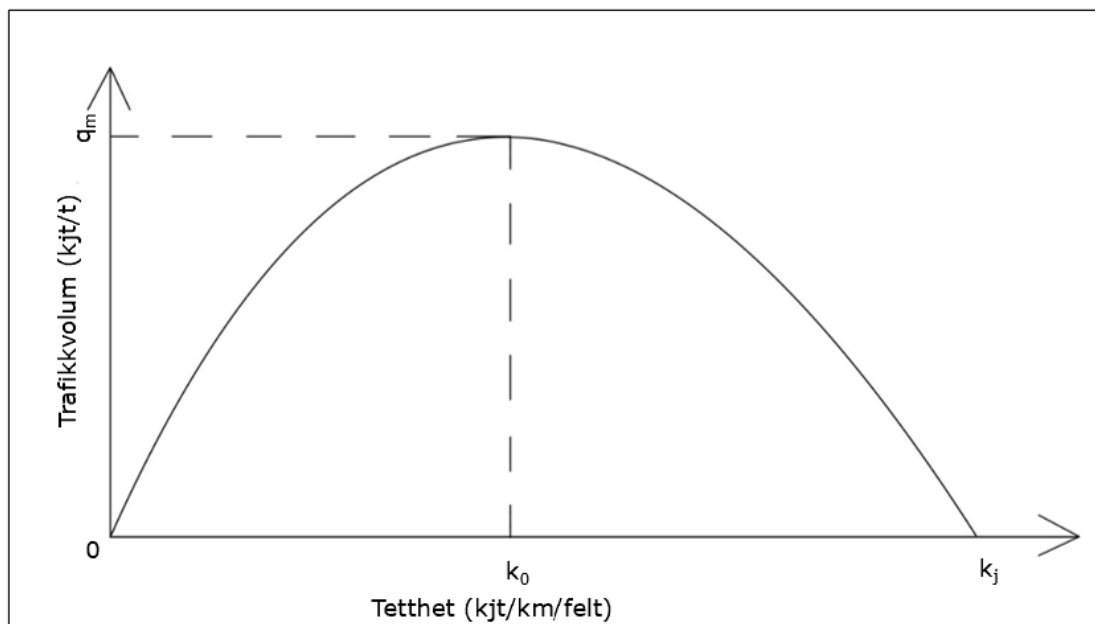


## 3 Teori

De følgende underseksjonene er hovedsakelig basert på arbeidet utført i prosjektoppgaven, (Øxnevad, 2022).

### 3.1 Trafikkstrømteori

Observasjoner og målinger fra trafikk på motorveg viser at den oppfører seg tilnærmet det som blir kalt de «fundamentale diagrammer i trafikkstrømteori» (May, 1990). De fundamentale diagrammene sier noe om sammenhengen mellom volum, hastighet og tetthet i trafikken. Figur 3.1 viser sammenhengen mellom trafikkvolum og tetthet av kjøretøy på vegen. X-aksen representerer tettheten, antall kjøretøy innenfor en gitt strekning, antall kjøretøy per kilometer per kjørefelt. X-aksen representerer trafikkvolum, antall kjøretøy som passerer et gitt punkt/eller strekning per tidsintervall, antall kjøretøy per time. Dersom trafikkvolumet når den kritiske tettheten,  $k_0$  så vil flyten på vegen gradvis gå nedover. Dette gjør at det vil begynne å oppstå kødannelse. Når det er kødannelse så er tettheten av kjøretøy på sitt høyeste og flyten er på 0, dette inntreffer ved  $k_j$ -verdien, slik som diagrammet viser. Trafikken vil flyte fritt med en tetthet under  $k_0$ . Det maksimale antallet kjøretøy som kan kjøre på vegen i friflyt, dvs. kapasiteten til vegen, er toppunktet til grafen,  $q_m$ . Verdiene på  $q_m$ ,  $k_0$  og  $k_j$  avhenger av karakteristikk til vegen som eksempelvis kurvatur, hastighet og helning (Bellemans et al., 2006).

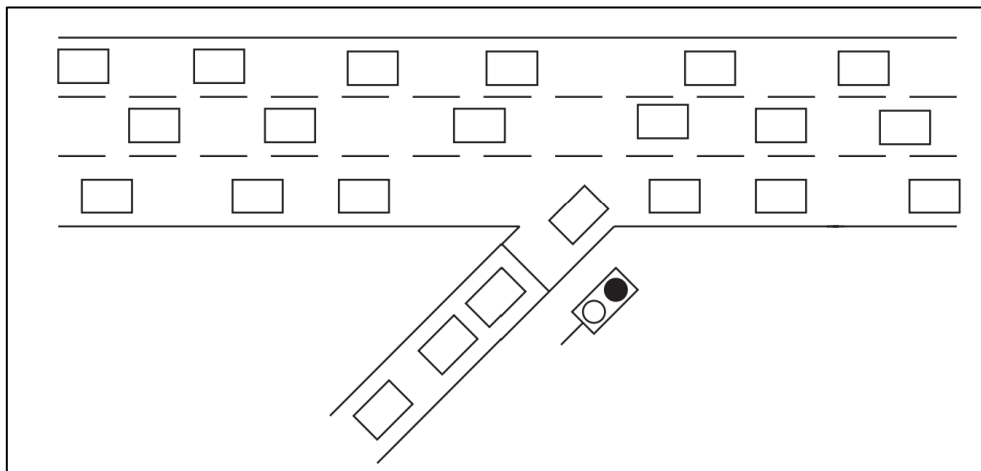


**Figur 3.1 Sammenheng mellom trafikkvolum og tetthet av kjøretøy. Egenprodusert basert på: (May, 1990).**

(Øxnevad, 2022)

## 3.2 Rampekontroll

Rampekontroll eller tilfartskontroll er et system der det plasseres et trafikklys inn mot påkjøringsrampen til en motorveg som gir signal til kjøretøyene om de kan kjøre eller ikke. Hensikten med rampekontroll er å opprettholde en god avvikling på motorvegen, ved å kontrollere hvor mange kjøretøy som slippes ut på motorvegen samtidig. Dette blir regulert ved å variere lengden på rødtiden til trafikklyset. Det gjøres et forsøk på å forhindre kø og sammenbrudd i trafikken ved å holde antall kjøretøy på motorvegen under den kritiske tettheten,  $k_0$ . Det kan imidlertid bli økt kø inn mot rampen som et resultat av at kjøretøyene må vente på signal. Figur 3.2 viser en skjematisk fremstilling av rampekontroll hvor kjøretøy slippes ut på påkjøringsrampen etter tur (Bellemans et al., 2006).



**Figur 3.2: Rampekontroll. Hentet fra: (Bellemans et al., 2006).**

Systemet kan styres på flere ulike måter. Den enkleste metoden er *tidsstyrt kontroll*, der systemet blir aktivert på forhåndsdefinerte tider av døgnet, eksempelvis i rushtiden. Ved den andre metoden, *trafikkstyrt kontroll*, aktiveres systemet når trafikkmengden på motorvegen er over en gitt verdi («Tilfartskontroll», 2022). Trafikkstyrt kontroll kan styres ved hjelp av flere ulike algoritmer, blant annet ALINEA. Sammen med rampekontroll kan også variable fartsgrenser benyttes, det vil si at fartsgrensen på motorvegen endres når trafikken nærmer seg den kritiske tettheten og systemet settes i bruk (Dadashzadeh & Ergun, 2019).

(Øxnevad, 2022)

### 3.3 Trafikksikkerhet

En konsekvens av rampekontroll er at antallet trafikkulykker reduseres. Reduksjonen i antall ulykker varierer mellom ulike studier, men ligger rundt 20% («Tilfartskontroll», 2022). Det er relativt få studier som har undersøkt effekten av rampekontroll på trafikksikkerhet sammenliknet med antall studier som fokuserer på fremkommelighet og trafikkflyt (Haule et al., 2021). (Haule et al., 2021) påpeker også at det å gjøre en vurdering av innvirkning på trafikksikkerheten er krevende. Grunnen til dette er at det må være en lang periode mellom før- og etter- studiene for å få statistisk signifikante resultater. Det er også vanskelig å generalisere basert på ulike studier på grunn av lokale forskjeller.

Reduksjonen i antall ulykker er et resultat av endret kjøreadferd etter at rampekontrollen er satt opp. En studie med videoopptak av kjøretøy nær rampen viste at antallet kjøretøy som skiftet felt på motorvegen gikk ned fra 10% til 3%. Dette reduserer sjansen for at en ulykke kan inntreffe da feltskifter kan føre til sidekollisjoner. De samme observasjonene viste også at færre kjøretøy måtte bremse opp for å slippe inn kjøretøy fra rampen («Tilfartskontroll», 2022).

Analyser av (Lee et al., 2006) har imidlertid identifisert at ulykkesansynligheten nedstrøms en påkjøringsrampe kan øke dersom det allerede er en eksisterende kø. Dette er ifølge forfatterne grunnet hastighetsendring som er et resultat av høyere fart før rampen på grunn av bedre trafikkflyt. Simuleringene viser at selv om ulykkesansynligheten øker nedstrøms rampen så vil det være en nedgang i ulykkesrisikoen totalt ettersom nedgangen oppstrøms vil være større. Rampekontroll som et trafikksikkerhetstiltak vil imidlertid i en slik situasjon ha en begrenset effekt sammenliknet med ingen kø nedstrøms. Resultatene fra studien viser 5-37% nedgang i antall ulykker, sammenliknet med ingen rampekontroll.

(Øxnevad, 2022)

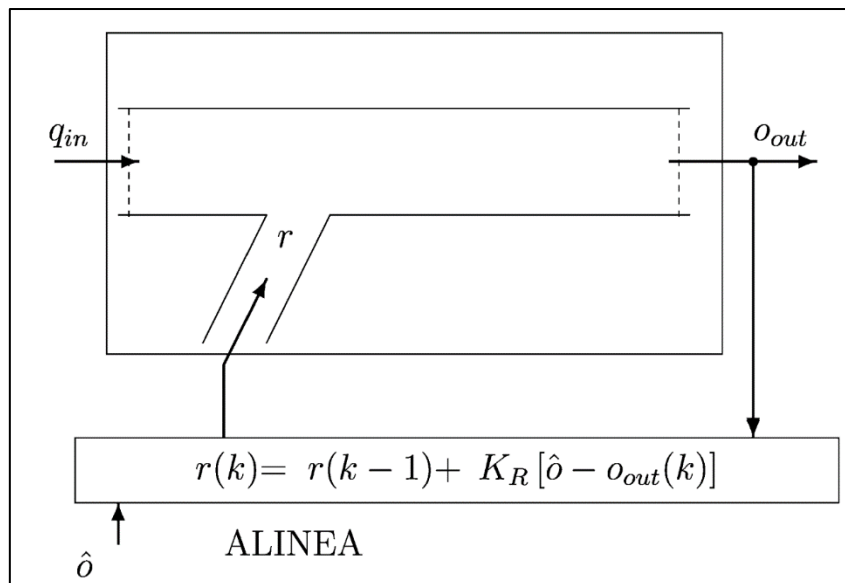
### 3.4 Fremkommelighet

Flere studier har vist at framkommeligheten øker ved innføring av rampekontroll. Kapasiteten og gjennomsnittsfarten på vegen øker, og kødannelse blir redusert. Selv med økt reisetid for kjøretøyene inn mot påkjøringsrampen, vil reisetiden totalt bli redusert. Nedgangen i reisetid varierer mellom ulike studier på grunn av lokale forskjeller, men er på minst 10-15% («Tilfartskontroll», 2022).

(Øxnevad, 2022)

### 3.5 AILNEA

ALINEA (Asservissement linéaire d'entrée autoroutière / Linear Ramp Metering Control) er en feedback kontroll metode som kontrollerer de ulike fasene, av rødt og grønt til trafikklyset ved påkjøringsrampen. En skjematisk fremstilling av oppsettet til ALINEA er vist i Figur 3.3. Systemet forsøker å holde belegget av kjøretøy på motorvegen lik verdien  $\hat{o}$  når det er aktivert.  $\hat{o}$  kan settes lik verdien  $o_{cr}$  som er det kritiske belegget på motorvegen, der trafikkflyten er maksimal (Papageorgiou et al., 2007).



**Figur 3.3: Skjematisk fremstilling av oppsettet til ALINEA. Hentet fra: (Papageorgiou et al., 2007).**

ALINEA bruker følgende kontrollalgoritme for systemet:

#### Formel 3.1

$$r(k) = r(k-1) + K_R [\hat{o} - o_{out}(k)]$$

Hvor  $r(k)$  representerer raten til rampekontrollen på steg  $k$ .  $r$  representerer antall kjøretøy som kjører ut på påkjøringsrampen per time og har en verdi mellom  $[r_{min}, r_{maks}]$ .  $r_{min}$  har som funksjon å forhindre stenging av rampen.  $K_R$  er gitt som reguleringsparameter som angir hvor brått rødtiden skal endres.  $o_{out}(k)$  er belegget av kjøretøy målt på motorvegen, en definisjon av belegg er gitt i Tabell 2.1.  $\hat{o}$  er det ønskede belegget av kjøretøy på motorvegen.  $r(k-1)$  er raten til rampekontrollen ved forrige periode.  $q_{in}$  er trafikkflyten av kjøretøy oppstrøms rampen. Den er markert på figuren, men er ikke en del av formelen. ALINEA er en lokal styrt algoritme, det vil si at den styres uavhengig av eventuelt andre rampekontroller på vegen (Papageorgiou et al., 2007), (Dadashzadeh & Ergun, 2019).

(Øxnevad, 2022)

### 3.5.1 AILNEA/Q

Det finnes flere ulike utvidelser av ALINEA algoritmen, en av disse er ALINEA/Q. Algoritmen kalles også rampe-kø kontroll (Ramp-Queue Metering) og adresserer en mulig sideeffekt av rampekontroll. Det er oppbygning av kø inn mot rampen som et resultat av at kjøretøyene må vente på signal. AILNEA/Q benytter sensorer som overvåker lengden på køen inn mot rampen. Hensikten med styringen er at køen inn mot rampen ikke skal overstige en gitt verdi  $\hat{w}$  (Smaragdis & Papageorgiou, 2003).

ALINEA/Q benytter to ulike algoritmer for styringen. Den første er vanlig ALINEA algoritme og den andre er definert ut fra følgende formel:

#### Formel 3.2

$$r'(k) = -\frac{1}{T}[\hat{w} - w(k)] + d(k - 1)$$

$w(k)$  = Antall kjøretøy i kø inn mot rampekontrollen, på et gitt tidspunkt  $k$

$\hat{w}$  = Maksimal kølengde

$d(k - 1)$  = Etterspørselintensiteten (demand flow) inn mot påkjøringsrampen, målt ved forrige itterasjon

$T$  = Lengden på syklussen til målingene

$r'(k)$  = Raten til rampekontrollen, basert på vurdering av kølengden inn mot påkjørningrampen [kjt/t]

Verdiene til  $w(k)$  og  $d(k - 1)$  er gitt av de faktiske målingene til sensorene til systemet (Smaragdis & Papageorgiou, 2003), (Li et al., 2018).

Styringen mellom vanlig rampekontroll og kø-kontrollen er gitt ved hjelp av følgende formel:

#### Formel 3.3

$$R(k) = \max [r(k), r'(k)]$$

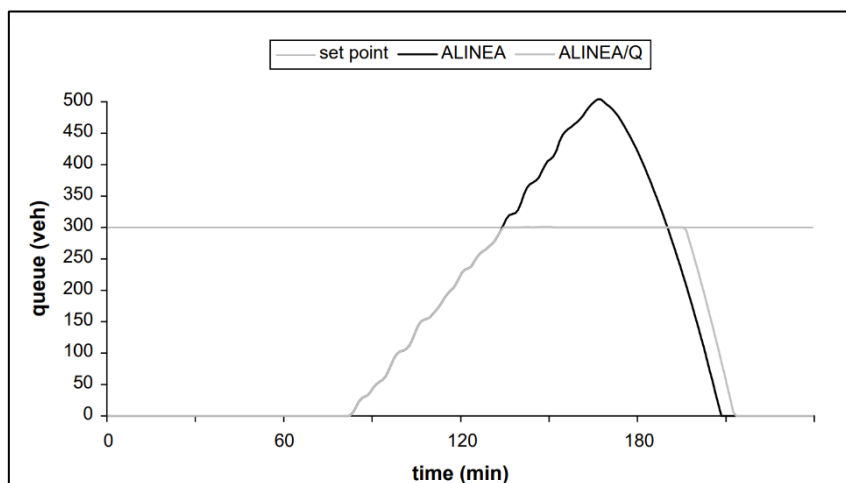
$R(k)$  hindrer at kø-regulatoren aktiveres ved lav trafikk inn mot rampen. Verdien til  $R(k)$  velges ut ifra maksimumsverdien mellom  $r(k)$  og  $r'(k)$ .  $r(k)$  er raten til rampekontrollen, vist i Formel 3.1. Dersom trafikken på motorvegen er lav, vil systemet åpne for en høyere verdi av  $r(k)$  slik at flere kjøretøy kan kjøre ut på motorvegen ettersom det ikke er fare for kødannelse. Ved stor trafikk på motorvegen, vil verdien til  $r(k)$  være lav. Da vil kø-regulatoren kalkulere en høyere verdi for  $r'(k)$ , dette for å unngå at køen inn mot rampen overskrider verdien  $\hat{w}$ . Når  $r'(k)$  har en høyere verdi enn  $r(k)$ , vil styringen av rampekontrollen foregå ved hjelp av Formel 3.2, i henhold til Formel 3.3. En slik endring i styringsmekanismen vil pågå så lenge  $r'(k)$  har en større verdi enn  $r(k)$ . Etter at lengden på køen inn mot rampen har blitt redusert vil det igjen være styring med hjelp av den ordinære ALINEA algoritmen. En slik endring av styringsalgoritme gjennomføres slik at

køen inn mot rampen ikke skal bli for lang i perioder med mye trafikk. En slik kø-kontroll kan også inkluderes i andre versjoner av ALINEA. (Smaragdis & Papageorgiou, 2003).

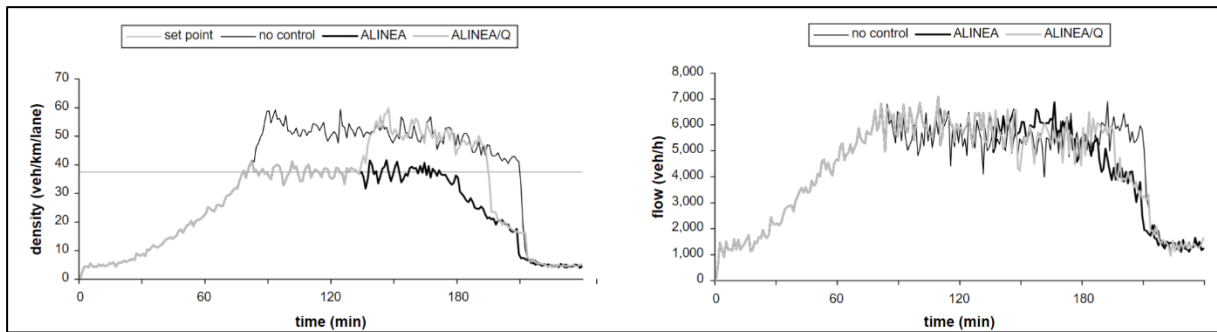
Figur 3.4 og Figur 3.5 viser resultatene av sammenlikningen mellom AILNEA og ALINEA/Q. Simuleringene i studien er utført på en motorveg med 3-felt i samme retning, med total lengde på 3 km. Etter 2 km er det en påkjøringsrampe. Kapasiteten på motorvegen er målt til å være rundt 6000 kjt/time og dette oppnås med en tetthet på 35-40 kjt/km/felt. Trafikkflyten på påkjøringsrampen er satt til verdier mellom 400-1600 kjt/time (Smaragdis & Papageorgiou, 2003).

Figur 3.4 viser en stokastisk simulering av køutviklingen inn mot påkjøringsrampen. Den viser at køen begynner å vokse etter  $t = 80$  min og frem til  $t = 130$  min, som et resultat av rampekontrollen. Simuleringen gjort med ALINEA/Q viser at køen ikke vokser over et valgt nivå  $\hat{w}$ , etter styring i henhold til Formel 3.3. Dette er forskjellig fra ALINEA styring, da køen inn mot rampen vil fortsette å vokse (Smaragdis & Papageorgiou, 2003).

Grafen til venstre på Figur 3.5 viser at tettheten ( $\rho_{out}$ ) på motorvegen blir overkritisk når rampe-kø kontrollen aktiveres. Dette skjer samtidig som at flyten ( $q_{out}$ ) går ned, vist på grafen til høyre på Figur 3.5. Dette på grunn av kødannelse på motorvegen når flere kjøretøy slippes utpå. Dette er ifølge forfatterne «prisen å betale for å beskytte nærliggende gatetraffikk; den utviklede kø-kontroll metoden tar sikte på å minimere denne prisen» (Smaragdis & Papageorgiou, 2003).



**Figur 3.4: Køutvikling på rampen med ALINEA og ALINEA/Q som kontrollalgoritme. Hentet fra: (Smaragdis & Papageorgiou, 2003).**



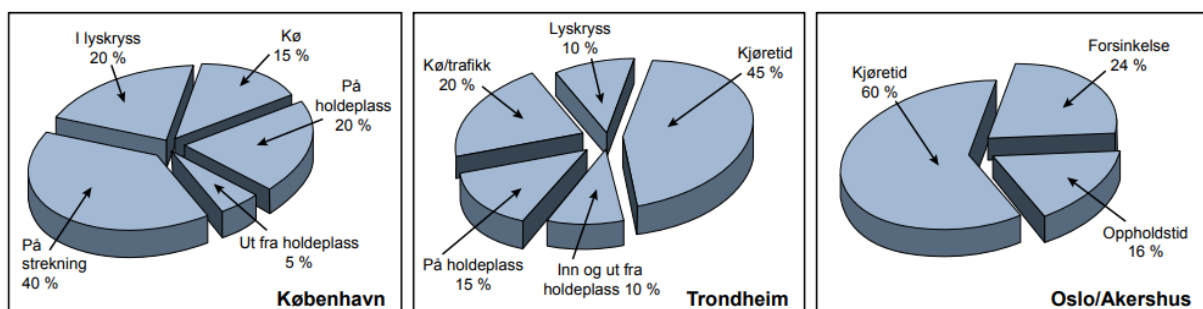
**Figur 3.5: Simulering av stokastisk scenarier, med ALINEA og ALINEA/Q. Hentet fra: (Smaragdis & Papageorgiou, 2003).**

(Øxnevad, 2022)

### 3.6 Kollektivprioritet

For at kollektivtransport skal fungere som et reelt alternativ til personbil, må det sikres god fremkommelighet og høy punktlighet. God fremkommelighet gir blant annet økt punktlighet, redusert reisetid og lavere driftskostnader. Tiltak som bedrer fremkommeligheten for kollektivtrafikk, kan i flere tilfeller være en bevisst «prioritering på bekostning av personbiltrafikken» (V123 Kollektivhåndboka, 2014).

Figur 3.6 viser gjennomsnittlig tidsforbruk for busser i København, Trondheim og Oslo/Akershus. Registreringene i de forskjellige byene er ikke utført på samme måte, men kan gi et innblikk i hvordan tidsbruken fordeler seg over reisetiden. Det samme gjelder områdene siden Stavanger ikke er inkludert, men det kan likevel gi en indikasjon over tidsbruken. Rushtiden har størst problemer med avvikling på grunn av høy tetthet av andre kjøretøy. Derfor er det viktig å planlegge for en gjennomgående og helhetlig kollektivprioritering (V123 Kollektivhåndboka, 2014).



**Figur 3.6: Tidsbruk for stambusslinjer i København, Trondheim og Oslo/Akershus. Hentet fra: (V123 Kollektivhåndboka, 2014).**

Håndbok N100 Veg- og gateutforming (2013) sier, «Kollektivfelt anbefales etablert dersom det er, eller forventes,  $\geq 8$  busser i én retning i maksimaltiden i dimensjoneringsåret (20 år etter åpning av gaten) og mer enn 1 minutt forsinkelse per kilometer. Dersom forsinkelsen for buss er mer enn 2 minutter per kilometer, anbefales det kollektivfelt selv om det er færre enn 8 busser i maksimaltiden i dimensjoneringsåret» (N100 Veg- og gateutforming, 2022).

I artikkelen "An Integrated Variable Speed Limit and ALINEA Ramp Metering Model in the Presence of High Bus Volume" er det blitt undersøkt i hvilken grad rampekontroll og variabel fartsgrense (VSL) kan brukes for å redusere reisetider, forhindre flaskehals og redusere klimagassutslipp. Artikkelen setter søkelys på hvordan fremkommeligheten av buss påvirkes av rampekontroll. Denne problemstillingen skal undersøkes i løpet av oppgaven. Hvordan kan rampekontroll fungere som et tiltak for å oppnå bussprioritet? Simuleringene fra caseområdet i Istanbul viser at ALINEA/B pluss VSL reduserte reisetiden med 9% sammenlignet med ordinær ALINEA pluss VSL. ALINEA/B er en versjon av ALINEA der det er lagt inn bussprioritet, dette gjør at bussen får prioritert når den blir detektert av systemet og får dermed kjøre inn foran rampekontrollen fra eget kjørefelt. I tillegg ble gjennomsnittlig forsinkelse redusert med 29.1% for kjøretøy på motorvegen og 81.5% for busstrafikken (Dadashzadeh & Ergun, 2019).

(Øxnevad, 2022)

### 3.6.1 Former for prioritering

Det finnes flere former for kollektivprioritering og felles for dem er at de har som mål å redusere forsinkelse. Dette kan bli gjort ved å gi grønt signal til kollektivtrafikk når eksempelvis bussen nærmer seg et lyskryss. En kombinasjon av flere typer prioritering viser seg å gi best resultat (Moghimi & Kamga, 2020).

*Utvidet grøntid* er en av de mest utbredte formene for kollektivprioritering. Den fungerer slik at grøntiden for et trafikkllys forlenges når kollektivtransport er forventet å ankomme. Denne formen for prioritering gir en relativt stor reduksjon i forsinkelse, men kun for kollektivtransport som ankommer signalet på slutten av grøntiden. Det seneste tidspunktet en buss kan ankomme krysset blir kalkulert basert på inputverdien til systemet samt hastigheten til bussene (Moghimi & Kamga, 2020).

*Tidlig rødtid eller redusert grøntid (Early Red or Green Truncation)* er en prioriteringsmetode som imøtekommer kollektivtransport som ankommer et kryss et par sekunder før grøntiden starter. Prioriteringsmekanismen vil i en slik situasjon redusere grøntiden for andre kjøretøy slik at kollektivtrafikken kan få signal raskere. Denne typen for prioritering vil være nyttig for alle bussene som kommer til et rødt lys og prioriteringen vil da gi en liten tidsfordel til mange. Da denne prioriteringsmetoden reduserer grøntid for alle kjøretøy utenom kollektivtransport, vil dette føre til større forsinkelse i for andre kjøretøy. Dermed er denne type prioritering anbefalt i kryss med lav til middels bussforespørsel (Moghimi & Kamga, 2020).



### 3.6.2 Aktiv og passiv kollektivprioritering

Det finner to ulike typer for prioritering: aktiv og passiv kollektivprioritering. Den passive kollektivprioriteringen baserer seg på historiske data. Basert på slike data vil parametere som lengden på grønn- og rødtider samt lengden på hele faser av rødt og grønt lys endres. Dette gjøres for å øke sannsynligheten for at en buss ankommer krysset innenfor en grønnfase. En passiv kollektivprioritering vil alltid gi grønt lys til kollektivtrafikken, selv om det ikke er noe buss som eksempelvis skal gjennom krysset. Dette kan føre til en dårlig trafikkavvikling ved at grønnfasen til kollektivtrafikken ikke benyttes. Dermed er en passiv kollektivprioritering best egnet når trafikkvolumet er mindre og kollektivtrafikken er hyppig med en forutsigbar rutetabell. Tiltaket er også billig og relativt enkelt å implementere (Moghimi & Kamga, 2020).

I kontrast til passiv prioritering baserer aktiv kollektivprioritering seg på data i sanntid. Dette betyr at informasjon om kjøretøyets posisjon og hastighet samles inn for å gi en prioritering når kjøretøyet nærmer seg et kryss eller lignende. Det finnes flere ulike deteksjonsmetoder for å detektere kollektivtrafikk, blant annet induktive sløyfer og kamerabaserte deteksjon (Moghimi & Kamga, 2020).

Systemet med aktiv kollektivprioritering baserer seg på detektering av kollektivtrafikk oppstrøms trafikklyset, slik at prioritering kan bli gitt. Hvor detektoren skal plasseres avhenger blant annet av trafikken inn mot krysset og timingen på signalet som skal gi prioriteringen. I tillegg til en detektor som registrerer kollektivtrafikken når den kjører inn, så bør det plasseres en detektor som avslutter prioriteringen når kollektivtrafikken kjører ut gjennom eksempelvis krysset (Moghimi & Kamga, 2020).

## 4 Metode

### 4.1 Gjenbruk fra prosjektoppgave

Følgende deler av masteroppgaven er i stor grad basert på arbeid gjort i prosjektoppgaven, (Øxnevad, 2022) som ble levert høsten 2022:

- Introduksjon
- Beskrivelse av caseområdet
- Teori

Det er henvist til prosjektoppgaven under seksjonene der mye er gjenbrukt.

### 4.2 Valg av simuleringsprogram

Det ble gjennom arbeidet med oppgaven testet ut to ulike programmer for trafikksimulering, Aimsun Next og VISSIM. Programmene er to av de mest brukte til simulering av transport.

VISSIM ble testet ut på grunn av VisVap (Visual Vehicle Actuated Programming), et tilleggsprogram til VISSIM. Ved hjelp av VisVap er det mulig å programmere eksempelvis ulike signalreguleringer til trafikklys på en grafisk måte, som et flytskjema. Dette ble forsøkt gjort med ALINEA, algoritmen til rampekontrollen. Gjennom arbeidet ble det besluttet at det ville bli for tidkrevende å bygge opp en slik algoritme og dermed ble Aimsun Next valgt for simuleringen (*PTV VISSIM - MODULES*, u.å.).

### 4.3 Aimsun Next 22

Aimsun (Advanced Interactive Micro-Simulation for Urban and Non-urban network) er et av de mest brukte simuleringsprogrammene for transport. Programmet ble utgitt i 1997 og har siden den gang blitt oppdatert flere ganger. Opprinnelig var programmet designet for å kjøre mikrosimuleringer, slik som navnet tilsier. I dag har programmet blitt utvidet til å kunne simulere makro- og meso-nivå i tillegg, som vist i Figur 4.1. Aimsun sin funksjonalitet gir svært mange muligheter når det kommer til simulering av kjøretøy, samt flere andre aktører i trafikkbildet, eksempelvis fotgjengere. Dette gir muligheten til å simulere tilnærmet ubegrenset antall ulike situasjoner. Programmet som blir benyttet i simuleringen er Aimsun Next 22.0.1 (Aimsun, u.å.).

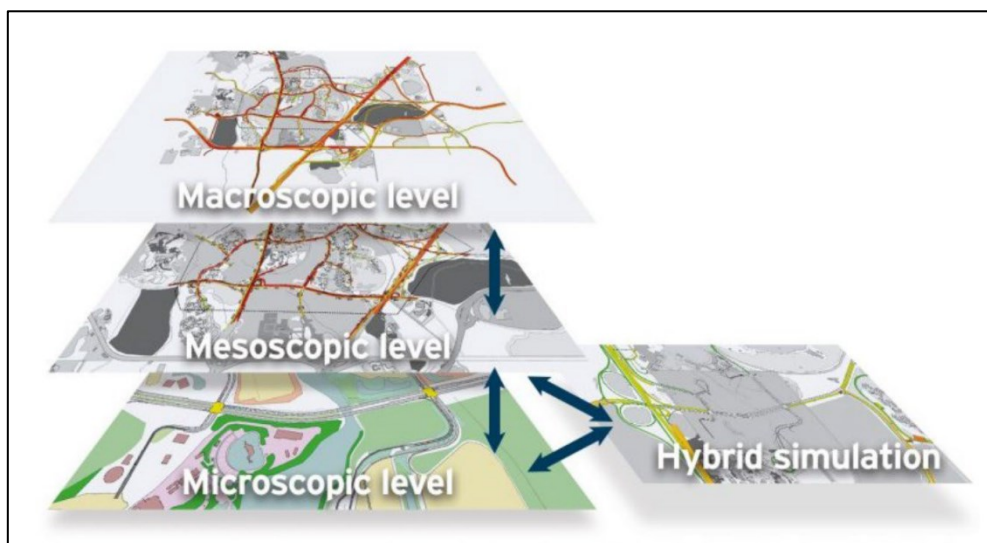
Modelleringen av kjøretøy i Aimsun følger det som kalles *car-following teori*. Dette vil si en teori på hvordan en bilfører vil forholde seg til bilføreren som ligger foran i samme

kjørefelt. Sentrale parameter i en slik modell er akselerasjon og retardasjon. Aimsun er basert på en car-following modell fra 1981, en sentral parameter her er sikkerhetsdistansen til kjøretøyet som ligger foran (Mitroi et al., 2016).

Et kjøretøy vil da enten ha en hastighet som betegnes som fri eller begrenset av kjøretøyet som ligger foran, basert på en sikkerhetsdistanse slik at det er mulig å reagere på handlingene til bilføreren foran uten at en kollisjon oppstår. En fri hastighet er begrenset av hastigheten på veien og maksimal definert akselerasjon (Mitroi et al., 2016).

#### 4.3.1 Detaljeringsnivåer

I Aimsun er det mulig å bygge opp nettverk med forskjellig detaljeringsgrad. Detaljeringsgraden som velges avhenger av hva som skal analyseres. Figur 4.1 viser de ulike detaljeringsgradene, makro, meso og mikro. Det finnes også en kombinasjonsmodell mellom mikro og meso, som kalles hybridmodell. Modellen av rampen som skal bygget opp er en mikromodell. Bakgrunnen for dette valget er at det er ønskelig å se enkeltkjøretøy og de individuelle svingebevegelesene, samt iverksette tiltak som signalregulering og kollektivprioritering. Modellen spenner også over et relativt begrenset geografisk område og har en kort tidshorisont og da er en mikromodell godt egnet (*Veileder for Aimsun, Versjon 0.95, 2022*).



**Figur 4.1: Forskjellen på detaljeringsgraden mellom makro-, meso- og mikro-simulering. Hentet fra: (*Veileder for Aimsun, Versjon 0.95, 2022*).**

#### 4.3.2 Norsk veileder Aimsun

I simuleringen er det brukt en norsk template av Aimsun. Templatene er laget etter verdiene fra en norsk veileder av Aimsun. Verdiene er tilpasset norske forhold ved at flere standardverdier er endret for at simuleringene skal samsvare bedre med trafikken i Norge. Endringene som er gjort er eksempelvis endring av kapasitet på vegene som

modelleres samt endring av parameter for størrelsen til kjøretøyene. I tillegg er det gitt parameterverdier for vegklasser som ikke finnes i standardtemplaten, eksempelvis rundkjøring og tilfart rundkjøring (*Veileder for Aimsun, Versjon 0.95, 2022*).

#### 4.4 Goodvision

For å beregne flere av svingebevegelsene i den ene rundkjøringen i nærheten av påkjøringsrampen, benyttes et program som heter GoodVision. Programmet er også brukt av Norconsult i noen av deres datainnsamlinger i evalueringen av rampekontrollen på Schancheholen i Stavanger. GoodVision ble opprinnelig utviklet i Praha, men selskapet siden 2018 hatt sitt hovedkontor i London. Programmet benytter seg av kunstig intelligens til å analysere videoopptak av trafikk og til gjenkjenning av kjøretøy. På bakgrunn av denne analysen er programmet i stand til å generere ulike resultater basert på videoopptak, som for eksempel antall kjøretøy, kjøretøytype og hastighet (*GoodVision Traffic Data Collection, u.å.*), (*Welcome to GoodVision, u.å.*).

#### 4.5 Modellering av nettverk

Nettverket i Aimsun er modellert ved hjelp av bakgrunnskart fra *Finn Kart*. Kartet er importert inn i Aimsun og deretter skalert slik at vegbredder og lengder skal stemme overens med de faktiske målene. I tillegg er de ulike breddene på kjørefeltene målt ved hjelp av måleverktøyet til Finn Kart og deretter endret i modellen. Figur 4.2 viser basisnettverket som er modellert i Aimsun. Sentroidene som er definert i nettverket er markert med navn.

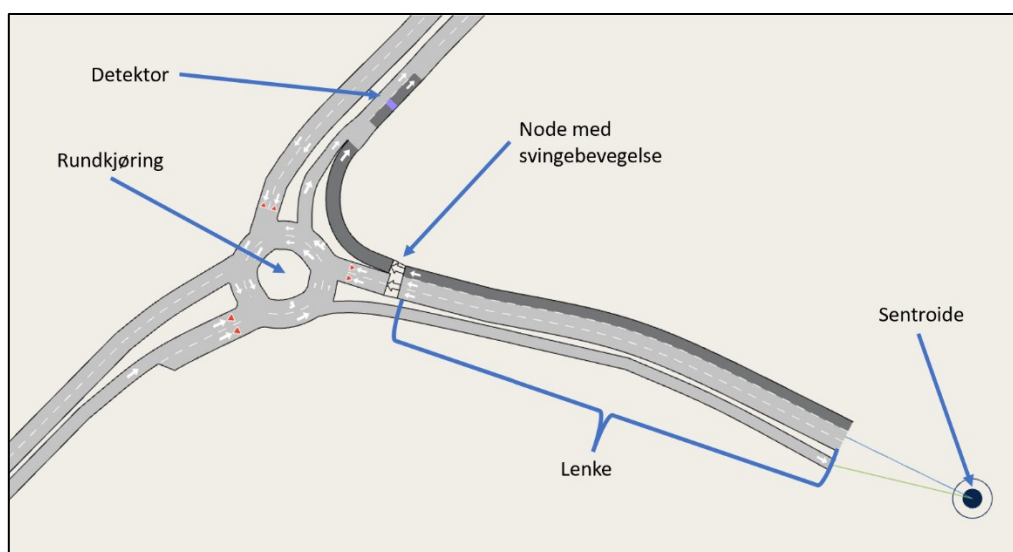


**Figur 4.2: Basisnettverket med rampe og tilhørende veger modellert etter bakgrunnskart fra Finn Kart. Bakgrunnskart hentet fra: (FINN kart, u.å.).**

#### 4.5.1 Elementer i en Aimsun-modell

Informasjon om de ulike elementene i Aimsun er hentet fra (Aimsun, u.å.)

Figur 4.3 viser et nettverk i Aimsun bestående av flere ulike elementer.



**Figur 4.3: Vegsystem i Aimsun bestående av flere ulike elementer.**

## Lenker

Vegstrekingene som tegnes opp i Aimsun kalles lenker, de ulike lenkene i vegsystemet er sammenkoblet ved hjelp av noder. Det er mulig å endre vegtype i Aimsun. Ved å endre dette så endres flere egenskaper som eksempelvis kapasitet og hastighet. De ulike vegtypene som er benyttet i modelleringen av nettverkene i oppgaven er fra den norske Aimsun templatene. De ulike vegtypene som benyttes er *Hovedveg/-gate i byområder*, *Motorveg*, *Ramper*, *Rundkjøring* og *Tilfart Rundkjøring*. Bakgrunn for valg av disse vegtypene, er basert på hva som modelleres og lokasjonen til påkjøringsrampen som er nært et byområde. I tillegg til vegtypene er også et kollektivfelt modellert, illustrert med mørkere farge i Figur 4.3. Rundkjøringen vist i figuren er laget ved hjelp av et eget verktøy i Aimsun, noe som også benyttes i modellen av rampen. Svingebevegelsene i rundkjøringen kan også modifiseres slik at de er mest mulig lik den faktiske situasjonen som modelleres.

I tillegg til å endre vegtyper er også de ulike vegbreddene endret etter måling på flyfoto fra *Finn Kart*. Hastigheten på veglenkene er også oppdaterte fra standardverdiene etter hva som er skiltet hastighet på vegstrekingene. Fartsgrensene er hentet fra Vegkart i Nasjonal vegdatabank (NVDB) (*Veileder for Aimsun, Versjon 0.95, 2022*).

## Noder

Noder kobler som nevnt sammen en eller flere lenker. I en node blir det også definert en svingebevegelse, slik som vist i Figur 4.3. Det er også mulig å endre egenskapene ved noden ved å eksempelvis legge til vikeplikt eller rett til høyresving på rødt lys, for ett eller flere kjørefelt. I en node kan det også defineres ulike signalgrupper og da kan noden fungere som et trafikklys.

Det finnes kontrolltyper til noder som kan velges når en kontrollplan skal defineres:

**Fixed:** Trafikklyset har forhåndsdefinerte grønn- og rødtider.

**Actuated:** Grønn- og rødtidene kan varieres. Dette kan benyttes ved for eksempel kollektivprioritet. Da kan fasen som benyttes av kollektivtransporten tildeles tidligere grønt lys, eller forlenget grøntid, mens de andre fasene holdes tilbake.

**Uncontrolled:** Noden er ikke regulert, vikepliktsregler gjelder. Trafikklys er ikke definert.

## Detektorer

Detektor kan plasseres hvor som helst på en lenke og kan måle flere ulike parametre, eksempelvis antall kjøretøy, hastighet eller belegg. Detektorer kan også brukes til å detektere enkelte typer kjøretøy, for eksempel ved kollektivprioritering. Det er også mulig å gruppere detektorer slik at et sett resultater genereres. Resultatene blir da et vektet gjennomsnitt basert på trafikkmengden over de ulike detektorene.

## Kollektivtrafikk

I Aimsun kan kollektivruter og holdeplasser defineres. Dette gjøres ved først å definere hyppigheten på avgangene. Deretter defineres ruten som kollektivtransporten skal følge.

I oppgaven er alle rutene fra 06:00-09:00, som er beskrevet i Tabell 2.3 lagt inn. Unntaket er rute X71. Dette er fordi den ikke kjører i kollektivfeltet fra Øst og det er via denne ruten kollektivprioriteringen skal foregå. Avgangstidene til rutene er de samme som en holdeplass som ligger 500m øst for starten av modellområdet. Grunnen til at samme passeringstid er valgt er fordi en unøyaktighet på 1 minutt ikke vil ha stor innvirkning på resultatene, samt i rushtiden kan også passeringstidene lettere avvike fra rutetabellen grunnet høy trafikk.

Rutenumrene gitt i Tabell 2.3 blir videre henvist til som *Dagens busstrafikk*. I tillegg vil det bli kjørt simuleringer med et avgangsintervall på 3-minutt, dette blir henvist til som *3-min bussintervall*.

Det er også mulig å legge inn kollektivprioritering ved definering av en kontrollplan til en node. Dette gjøres ved å legge inn rutene som det skal gis prioritering til og deretter hvilke detektorer som skal detektere kollektivtrafikken. Videre defineres også hvilken fase som skal aktiveres når kollektivtrafikken detekteres.

## OD-matrise

En av måtene å legge inn en trafikketterspørsel er ved hjelp av en OD-matrise. En OD-matrise inneholder en beskrivelse av start- og endepunktet til ett eller flere kjøretøy. Start- og endepunktene i en OD-matrise er definert som sentroider i Aimsun. Sentroidene som er definert i modellen er vist i Figur 4.2.

## Sentroider

Sentroider fungerer som start- eller slutt-punktet for turer når OD-matriser blir benyttet. Sentroidene kan kobles til lenker, noder etter kollektivholdeplasser. I simuleringen blir OD-matriser med en varighet på 15 minutter benyttet når trafikketterspørselen legges inn i modellene.

## Kontrollplaner

I Aimsun blir eventuelle endringer i trafikkreguleringer gjort ved hjelp av ulike kontrollplaner. Først må det defineres en *master kontrollplan* som er en samling av en eller flere kontrollplaner. Flere ulike kontrollplaner kan defineres og legges inn i en master kontrollplan dersom flere hendelser skal inntreffe i samme simuleringssperiode.

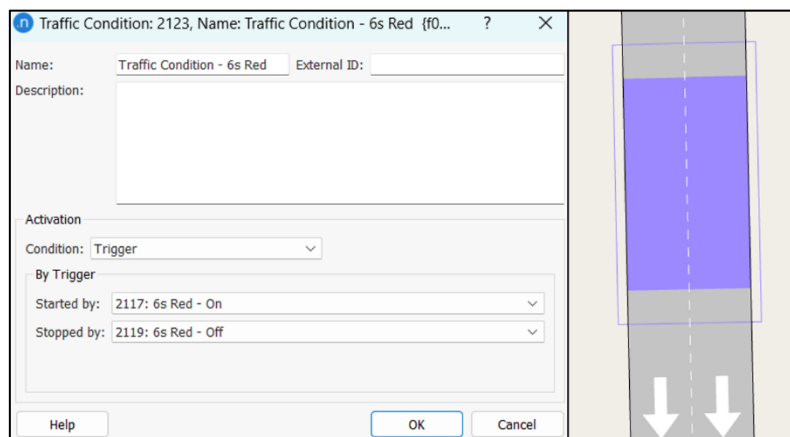
## 4.5.2 Oppbygning av rampekontollen

Informasjon om de ulike elementene i Aimsun er hentet fra (Aimsun, u.å.)

Aimsun har en innebygd funksjon for rampekontroll med ALINEA styring. Den ble forsøkt benyttet og det ble gjort flere forsøk med å legge inn bussprioritet, eller å benytte API-en til Aimsun Next. Dette viste seg å være krevende og ga mange feilmeldinger. Dermed ble det besluttet å bygge opp en egen algoritme ved hjelp av triggere og bruk av ulike kontrollplaner.

### Triggere

En trigger er en funksjon som evaluerer om en betingelse er oppfylt eller ikke. Dersom betingelsen er oppfylt er det mulig at flere ulike hendelser aktiveres. Dette var nyttig da det kunne brukes til å endre hvilken kontrollplan som er aktivert. Triggeren ble satt til å evaluere belegget målt av detektorstasjonen på motorvegen.



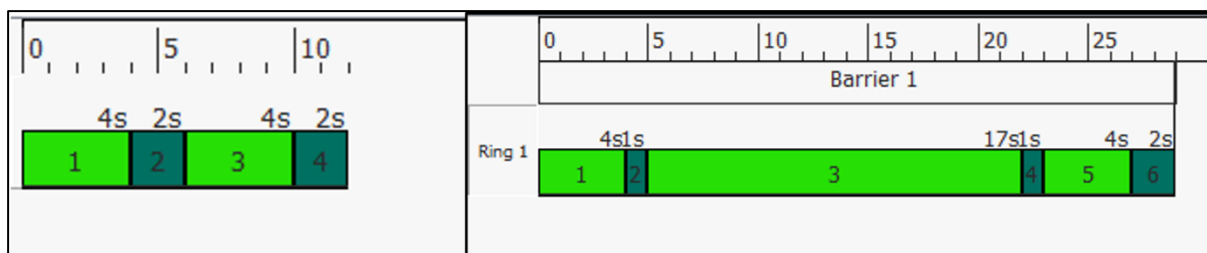
**Figur 4.4: Utklipp fra Aimsun.**

Figur 4.4 viser to utklipp fra Aimsun. Til venstre vises modifiseringen av en hendelse dersom en trigger blir aktivert. Til høyre vises detektorstasjonen på motorvegen. Det er to detektorer på motorvegen, én for hvert kjørefelt. Lengden på 12 meter og plasseringen på vegen samsvarer med oppsettet av detektorene på Schancheholen.

Ulike hendelser er benyttet og de er brukt til å endre hvilken kontrollplan som brukes i simuleringene. Simuleringene starter uten noen rampekontroll og dersom grenseverdiene for belegget blir overskredet så blir kontrollplanen endret.

Det er definert to ulike typer kontrollplaner, en for rampekontroll med bussprioritet og en for rampekontroll uten. I kontrollplanen med bussprioritet er det benyttet Actuated kontroll av noden, slik som det er vist til høyre på Figur 4.5. Dette er for å gi feltet med bussen prioritet når den blir detektert av detektor d1, vist i Figur 4.6.





**Figur 4.5: Definerings av kontrollplan for noden med rampekontroll. Fixed og Actuated kontroll.**

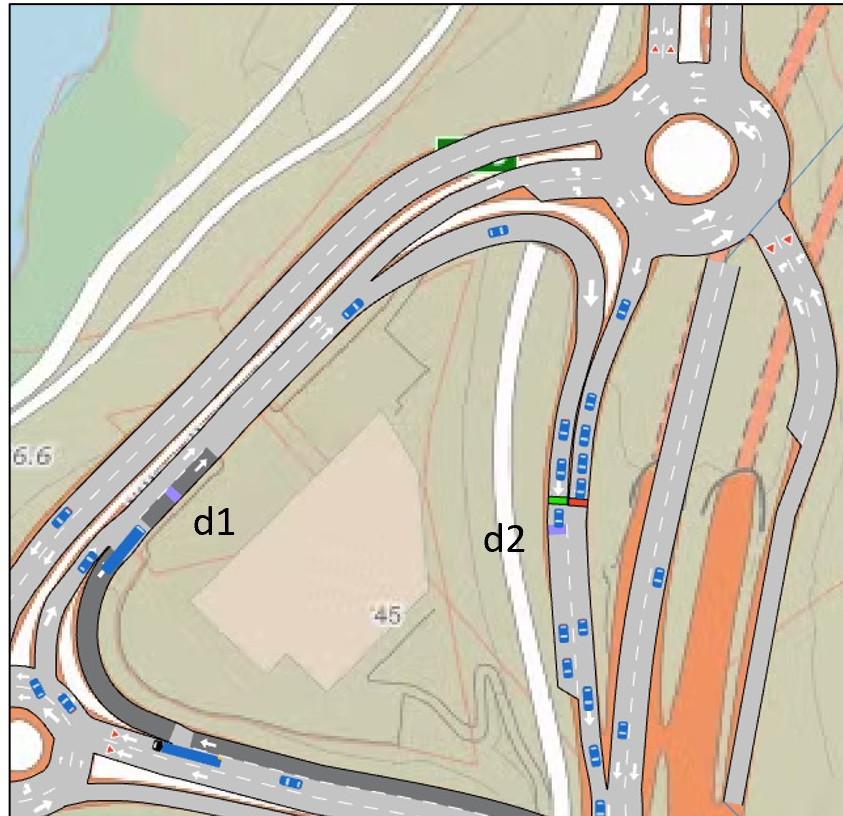
Utklippet til venstre i Figur 4.5 viser kontrollplanen med minimum rødtid uten bussprioritet, der benyttes Fixed kontrollplan. Rødtiden i eksempelet er på 6 sekunder, det vil si 6 sekunder med rødt lys til hver av fasene i en omløpstid. Fase 1 representerer kjørefeltet som kommer fra rundkjøring 1 og fase 3 representerer kjørefeltet som kommer fra rundkjøring 2. Grønntiden til fasene er på 4 sekunder, noe som er tiden det tar for to kjøretøy å passere gjennom rampekontrollen. Grønntiden starter og avslutter med ett sekund gulblink. Dette er et liknende oppsett som rampekontrollen på Schancheholen, når den er aktivert etter oppstarten, illustrert i Tabell 2.2.

Utklippet til høyre i Figur 4.5 viser kontrollplanen med minimum rødtid, med bussprioritet. Da benyttes Actuated kontrollplan. Fase 1 representerer kjørefeltet som kommer fra rundkjøring 1 og fase 5 representerer kjørefeltet som kommer ned fra rundkjøring 2. Rødtiden uten bussadkomst er på 6 sekunder for hver fase.

Ved bussankomst vil fase 3 aktiveres. Varigheten til Fase 1 og 5 vil da reduseres til 2 sekunder, dersom en av fasene har grønt lys. Dette gjøres slik at bussen raskere kan få prioritering og kjøre gjennom rampekontrollen. Bussfasen har en variabel varighet og gir gulblink på mellom 13 og 17 sekunder avhengig av tiden det tar bussen å kjøre gjennom rampen. Fase 3 tilhører samme kjørefelt som Fase 1, det er fordi bussen følger samme rute etter at kollektivfeltet opphører. Når Fase 3 aktiveres vil Fase 5 gis rødt lys, på samme måte som når Fase 1 er aktivert. Fasene starter og avslutter med gulblink i ett sekund på samme måte som den Fixed kontrollplanen.

Varigheten av bussfasen er liknende det som er planlagt på Schancheholen dersom kollektivprioriteringen aktiveres. På Schancheholen vil både grønntid og deretter gulblink aktiveres ved bussankomst. I Aimsun vil bussfasen med gulblink aktiveres direkte og dermed er varigheten av gulblinket satt til den totale varigheten av grønntiden i tillegg til bussfasen, vist til høyre i Figur 2.7 (Statens Vegvesen, 2020a).

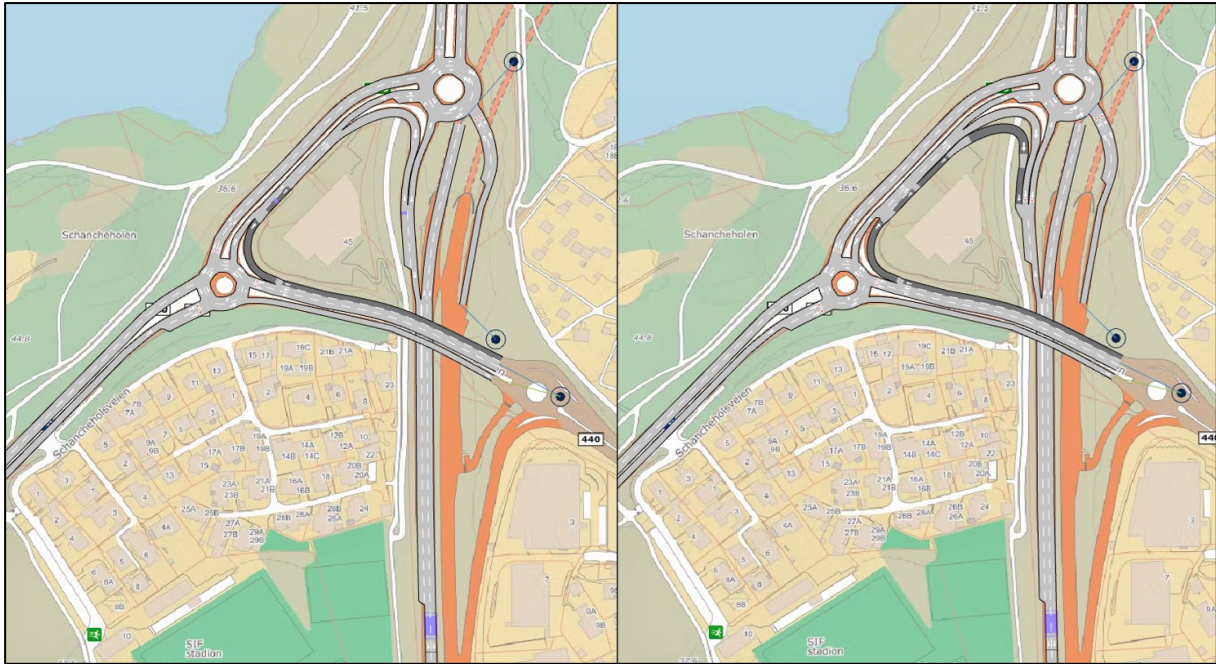
Figur 4.6 viser et utklipp av basisnettverket når rampekontrollen er aktivert. I figuren vises også detektorene d1 og d2, som brukes til å detektere bussen som kommer inn mot rampen og dermed aktivere kollektivprioriteringen. Dersom den er aktivert.



**Figur 4.6: Utklipp fra basisnettverket, rampekontroll aktivert, d1 og d2 er detektorene som benyttes ved bussprioritet. Bakgrunnskart hentet fra: (FINN kart, u.å.).**

### 4.5.3 Nettverk som er modellert

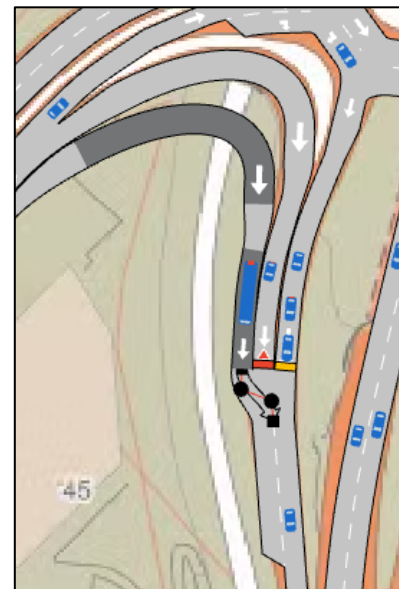
Figur 4.7 viser de to ulike nettverkene som er blitt modellert. Nettverket til venstre er basisnettverket, modellert mest mulig likt som den faktiske situasjonen på Schancheholen.



**Figur 4.7: Basisnettverk og nettverk med forlenget bussveg. Bakgrunnskart hentet fra: (FINN kart, u.å.).**

Nettverket vist til høyre på Figur 4.7 er likt basisnettverket, med unntak av at kollektivfeltet er forlenget. Dette fører til at bussen kjører i et eget felt frem til etter rampekontrollen. Bussen vil da komme ut i blandet trafikk etter trafikklysene ved rampekontrollen. Nettverket vil ikke ha bussprioritet ved rampekontroll, da bussen kjører ut i blandet trafikk etter rampekontrollen. Kontrollplanene vil da være av typen Fixed.

Figur 4.8 viser et detaljert utklipp av overgangen mellom kollektivfeltet og vegene som kommer fra rundkjøringene. Bussen vil kjøre ut i blandet trafikk etter rampekontrollen og dermed kjøre ut foran kjørende som kommer fra de andre kjørefeltene, når den er aktivert. Når rampekontrollen ikke er aktivert, vil de andre kjøretøyene ha vikeplikt for bussen slik av den kan kjøre mot rampen med mindre forsinkelse i krysset.



**Figur 4.8: Flettingen mellom kollektivfeltet og vegene fra rundkjøringene. Bakgrunnskart hentet fra: (FINN kart, u.å.).**

## 4.6 Datainnsamling

Det ble den 29. mars 2023 satt opp GoPro kameraer for å utføre trafikktelinger i rundkjøringene merket med «1» og «2» vist i Figur 4.9. Rundkjøringene vil bli referert til som «rundkjøring 1» og «rundkjøring 2». Tellingene ble utført for å få en oversikt over svingebevegelsene til kjøretøyene som skal ut på rampen. Opptakene er gjort i tidsintervallene 06:00-09:00 og 14:45-17:15, dette er perioden der rampekontrollen kan bli aktivert dersom trafikken på motorvegen er stor. Kameraene ble lånt av Institutt for Bygg- og miljøteknikk.

Opptakene av rundkjøringene ble utført på onsdag 29. mars, en ordinær hverdag, for å få en mest mulig realistisk og representativ trafikkmengde som mulig. Det ble også forsøkt å filme morgenen den 28. mars, men grunnet snøvær kom det snø på linsen og det var ikke mulig å analysere opptakene. Dermed er kun opptakene fra 29. mars benyttet.



**Figur 4.9: Rundkjøringene hvor det ble gjort videoopptak og posisjonering av videokameraene. Bakgrunnskart hentet fra: (FINN kart, u.å.).**

#### 4.6.1 Plassering av kameraene



**Figur 4.10: Plassering av videokameraene. Bildet til venstre viser kameraet som filmet i rundkjøring 1 i Figur 4.9, mens bildet til høyre viser kameraet som filmet rundkjøring 2.**

Videokameraene ble forsøkt plassert høyt i terrenget for å få et best mulig overblikk over rundkjøringene som skulle filmes. Det ble benyttet ulikt tilleggsutstyr slik at det skulle være mulig å feste kameraene til eller plassere de oppå eksisterende konstruksjoner slik som vist i Figur 4.10. I tillegg fikk kameraene strømforsyning fra en ekstern powerbank slik at videokameraene skulle være i stand til å filme hele perioden. Kameraene og den eksterne powerbanken ble også sikret ved hjelp av gaffateip slik at de ikke skulle falle ned i løpet av registreringsperioden. Gjennom mobilapplikasjonen til GoPro, var det også mulig å fjernstyre kameraene, noe som viste seg å være nyttig når opptakene skulle startes, samt for å kontrollere at de filmet gjennom hele registreringsperioden.

Figur 4.11 og Figur 4.12 viser opptak som er gjort av kameraene i rundkjøringene. Kameraet som filmet i rundkjøring 2 viser også rampekontrollen, dette var nyttig for å se når den var aktivert samt for å kunne følge med på varigheten til rødtiden.



**Figur 4.11: Opptak fra videokamera i rundkjøring 1, i køsituasjon og uten trafikk.**



**Figur 4.12: Opptak fra videokamera i rundkjøring 2, i køsituasjon og uten trafikk. Til høyre i figuren vises rampekontrollen.**

#### 4.6.2 Analyse av videoopptak

Etter at opptakene var gjort, ble de lastet opp på en ekstern harddisk for å bli analysert manuelt. Analysen besto av å se gjennom videoklippene og telle kjøretøyene ved hjelp av et dataprogram som utførte tellingen ved et museklikk. Dette forenklet prosessen da det ikke var nødvendige å huske antall kjøretøy, men bare å klikke på en knapp når et kjøretøy kjørte gjennom rundkjøringene. Tellingene ble utført i intervaller på 5-minutt, dette ble gjort for å få en oversikt over hvordan trafikken varierte gjennom rushet. De ulike registreringene ble deretter ført inn i et Excel-skjema sammen med kommentarer om hvordan trafikksituasjonen var.

Tabell 4.1 og Tabell 4.2 viser når rampekontrollen var aktivert på registreringsdagen. I morgenrushet (kl. 06:00-09:00) var rampekontrollen aktivert i tidsrommene 06:43-08:26 og 08:34-08:51. I ettermiddagsrushet (kl. 14:45-17:15) var rampekontrollen aktivert i tidsrommet 14:51-15:02.

**Tabell 4.1: Aktiveringer og deaktiveringer av rampekontrollen, kl: 06:00-09:00, 29.03.23.**

Tidspunkt	Tilstand Rampekontroll
06:43	På
08:26	Av
08:33	På
08:51	Av

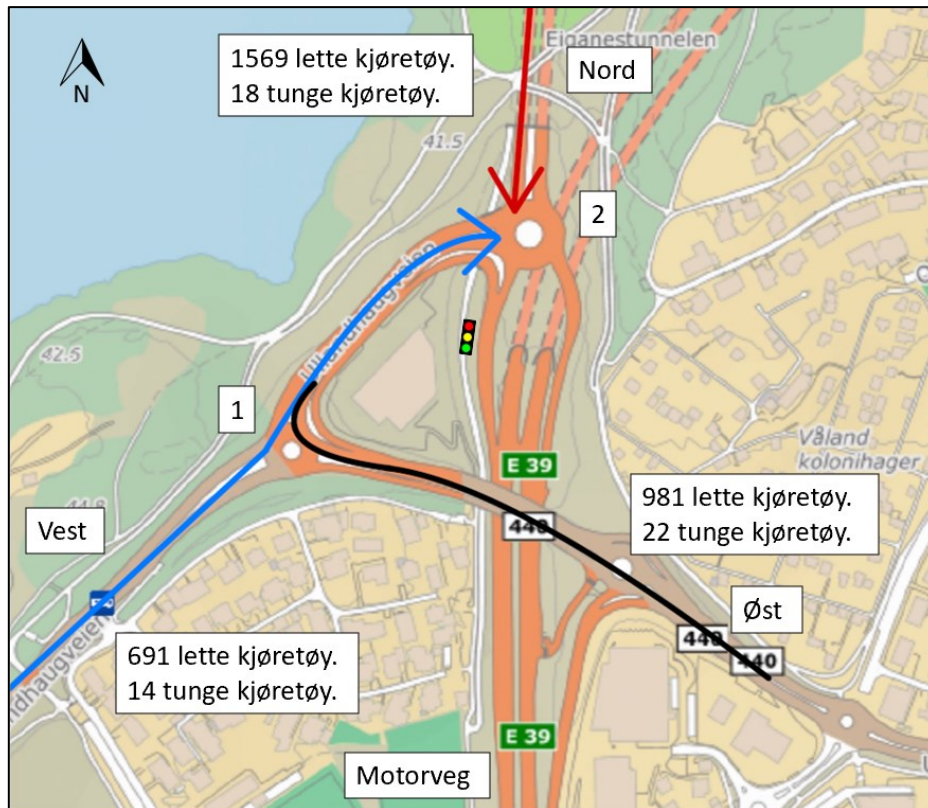
**Tabell 4.2: Aktiveringer og deaktiveringer av rampekontrollen, kl: 14:45-17:15, 29.03.23.**

Tidspunkt	Tilstand Rampekontroll
14:51	På
15:02	Av

Det ble besluttet å kun gjøre tellinger av svingebevegelsene i morgenrushet ettersom rampekontrollen kun var aktivert i 11 minutter i ettermiddagsrushet på registreringsdagen.

Figur 4.13 viser resultatet av trafikk tellingen fra videoopptakene. Resultatene er delt inn i to forskjellige grupper, der tunge kjøretøy er betegnet som lastebiler og lengre kjøretøy. Det ble ikke talt busser da de skal legges inn i Aimsun som kollektivtrafikk, der rutene skal defineres. Dette blir gjort for å kunne få egne data for eksempelvis forsinkelse når resultatene skal analyseres. I figuren vises også plasseringen av rampekontrollen.

Det ble også talt hvor mange kjøretøy som ikke kjørte ut på rampen, men som svingte nordover i rundkjøring 2. Dette gjorde det mulig å beregne hvor mange kjøretøy som svingte ut på rampen blant kjøretøyene som ble registrert i rundkjøring 1.



**Figur 4.13: Resultat av trafikktellingen 29.03.23, 06:00-09:00. Bakgrunnskart hentet fra: (FINN kart, u.å.).**

Beregningen av antallet kjøretøy som kjørte ut på rampen ble gjort ved å subtrahere et vektet gjennomsnitt av kjøretøyene som kom fra vest og øst inn mot rundkjøring 1. Det ble registrert totalt 1708 kjøretøy som kom inn mot rundkjøring 1, 41% fra Vest og 59% fra Øst. Med totalt 389 lette og 11 tunge kjøretøy som svingte nordover i rundkjøring 2, gav dette følgende verdier for kjøretøy som kjørte ut på rampen og videre ut på motorvegen fra rundkjøring 1:

$$\text{Fra øst: } 981 - 389 * 0.59 = 751 \text{ lette kjøretøy}$$

$$22 - 11 * 0.59 = 16 \text{ tunge kjøretøy}$$

$$\text{Fra vest: } 691 - 389 * 0.41 = 532 \text{ lette kjøretøy}$$

$$14 - 11 * 0.41 = 9 \text{ tunge kjøretøy}$$



Dette er summert til følgende tabell:

**Tabell 4.3: Summering av manuelle trafikkregistreringer gjort morgenen, 29.03.23, fra 06:00-09:00.**

Fra / Til	Lette kjøretøy		Tunge kjøretøy	
	Nord	Motorveg	Nord	Motorveg
Vest	159	532	5	9
Øst	230	751	6	16
Nord	0	1569	0	18

Videoregistreringene viste at det var saktegående kø gjennom rundkjøringene i store deler av morgenrushet. Gjennom rundkjøring 1 var det saktegående kø fra rundt 07:33 til 08:07. Deretter var det litt vekslende kødannelse med mest kø fra Øst. Fra rundt 08:28 og utover var det fri flyt i trafikken gjennom rundkjøringen.

Gjennom rundkjøring 2 startet køen en del tidligere, rundt klokken 06:45, med saktegående trafikk frem til rundt 08:40. Forskjellen i trafikksituasjonen kan komme ulikt antall kjøretøy, men også at det er en del kortere distanse fra rundkjøring 2 og frem til rampekontrollen sammenliknet med rundkjøring 1. Dette kan føre til at det lettere hopper seg opp flere kjøretøy i rundkjøringen.

Køsituasjonen i rundkjøringene gjorde tidvis tellingen krevende da det ikke var mulig å se hvor langt køen strakk seg. Figur 4.14 viser køen inn mot rundkjøring 1 i morgenrushet den 17. november, dagen rampekontrollen ble aktivert for første gang. Figuren viser at køen fra Øst og Vest, startet lenge før rundkjøring 1.



**Figur 4.14: Kø fra Øst og Vest inn mot rundkjøring 1, 17.11.22. Foto: Arvid Aakre.**

Statens vegvesen har også to tellepunkt nede på rampen som dekker kjørefeltene fra rundkjøringene, merket med «1» og «2» i Figur 4.15. Registreringer viser totalt 1365 registrerte kjøretøy i kjørefeltet som kommer fra rundkjøring 1 og 1650 registrert kjøretøy i feltet som kommer fra rundkjøring 2, i morgenrushet fra 06:00 til 09:00. Dette er noe høyere tall enn hva som er registrert i den manuelle tellingen. (Trafikkdata | Rampe påkjøring E39, u.å.), (Trafikkdata | Rampe påkjøring E39 fra ullandhaug, u.å.)



**Figur 4.15: Plasseringen av tellepunkt fa Statens vegvesen. Egenprodusert basert på: (Trafikkdata, u.å.). Bakgrunnskart hentet fra: (FINN kart, u.å.).**

#### 4.6.3 Trafikkdata Motorveg

Trafikken på motorvegen oppstrøms rampen er registret ved hjelp av trafikkdata fra tellepunkt, punktet er merket med «3» på Figur 4.15. Trafikken registreres på timesbasis og er deretter gjort om til registreringer hver 5. minutt med assistanse fra Statens Vegvesen.

Dataene er deretter gruppert inn i personbiler og lange kjøretøy etter beregning av prosentandel lange kjøretøy.

#### **Beregning av prosentandel lange kjøretøy, registrert på tellepunkt «3»:**

*Totalt antall kjøretøy registrert over tellepunktet fra 06:00 – 09:00 = 4834 kjt.*

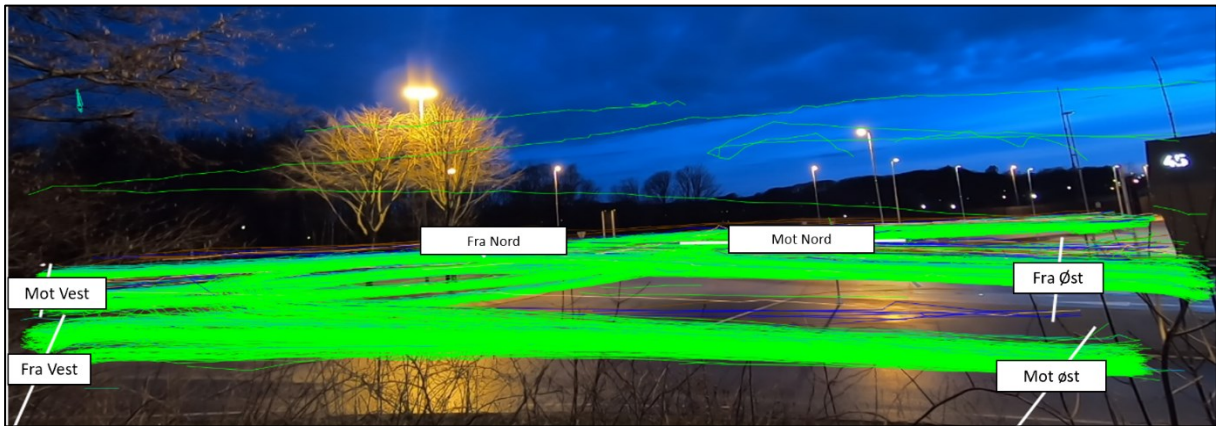
$$\text{Prosentandel tunge kjøretøy: } \frac{389}{4834} * 100\% = 8\%$$

#### 4.6.4 Beregning av trafikkmengder og svingebevegelser

For å gjøre Aimsun modellen mest mulig lik den faktiske situasjonen er det beregnet svingebevegelser i de andre delene av rundkjøringene.

## Rundkjøring 1

Figur 4.16 viser resultatet av analysen som er gjort av GoodVision. De grønne strekene representerer personbiler som er registrert og deres svingebevegelser (*GoodVision Traffic Data Collection*, u.å.).



**Figur 4.16: Analyse av svingebevegelser i rundkjøring 1, utført av GoodVision, fra 06:00-09:00, 29.03.23.**

Resultater av interesse fra analysen er svingebevegelser, antall og type kjøretøy. De ble gitt som en Traffic Movement Counts Report (TMC Report) i et Excel-dokument der svingebevegelser og kjøretøytype er registrert med 5-minutters mellomrom. Sonene som er definert i Figur 4.16 fungerte som start og sluttdestinasjonen slik at kjøretøy som passerte gjennom en sone ble registrert.

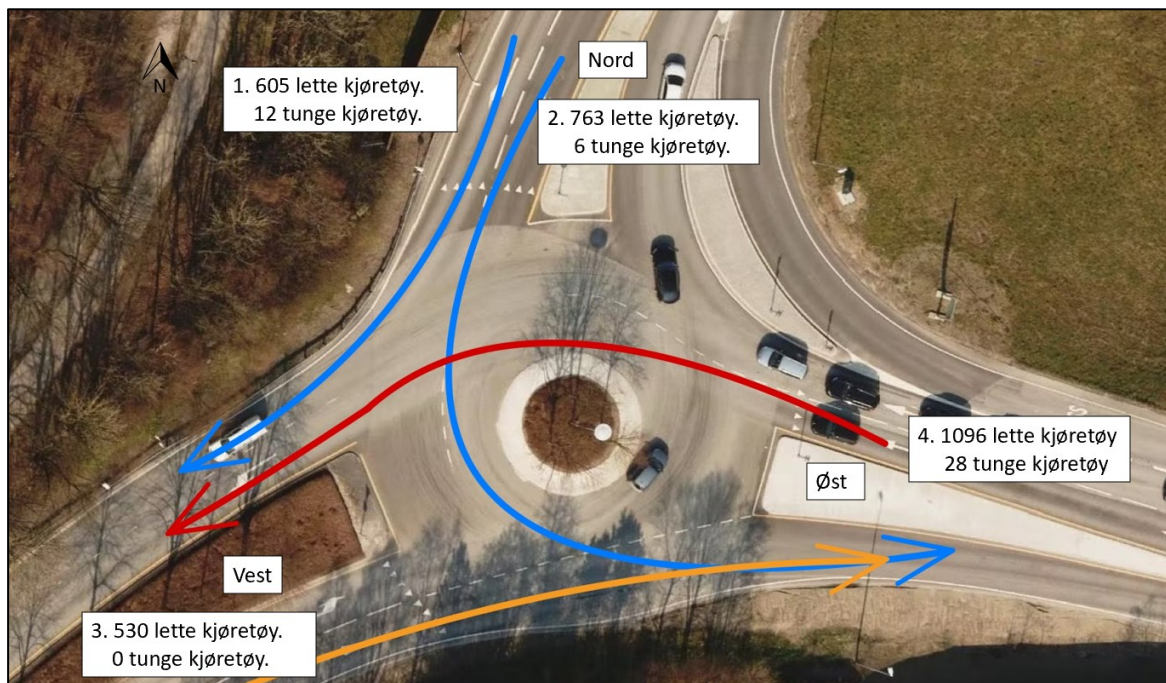
Resultatene som viste svingebevegelsene med start- og slutt punkt, var mangelfulle og i en størrelsesorden som lå langt under det som er registrert i manuelle tellingen. Dette kan skyldes flere faktorer. Blant annet kameraets plassering, at det ikke ble plassert høyt nok over bakken. Den anbefalte høyden fra GoodVision er 8-12 meter over kjøretøyene som skal filmes. Dette var imidlertid ikke mulig å få til nær rundkjøringen.

Det er derfor forsøkt og bare se på sonepasseringene og deretter subtrahere med dataene fra de manuelt registrerte svingebevegelsene.

For å få et inntrykk over kvaliteten på dataene fra GoodVision er de sammenliknet med den manuelle tellingen over en 15 minutters tidsperiode, resultatene fra sammenlikningen er vist i Tabell 4.4. De totale beregnede svingebevegelsene i rundkjøring 1 er vist i Figur 4.17.

**Tabell 4.4: Sammenlikning mellom manuelle trafikktellinger og registrering ved hjelp av GoodVision, 29.03.23, 07:30-07:45.**

Svingebevegelse	Antall kjøretøy			
	1. Nord -> Vest	2. Nord -> Øst	3. Vest -> Øst	4. Øst -> Vest
Manuell telling	119	61	87	164
GoodVision	112	65	94	163



**Figur 4.17: Resultat av trafikkberegninger i rundkjøring 1, svingebevegelsene er nummererte fra 1 til 4. Bakgrunnskart hentet fra: (FINN kart, u.å.).**

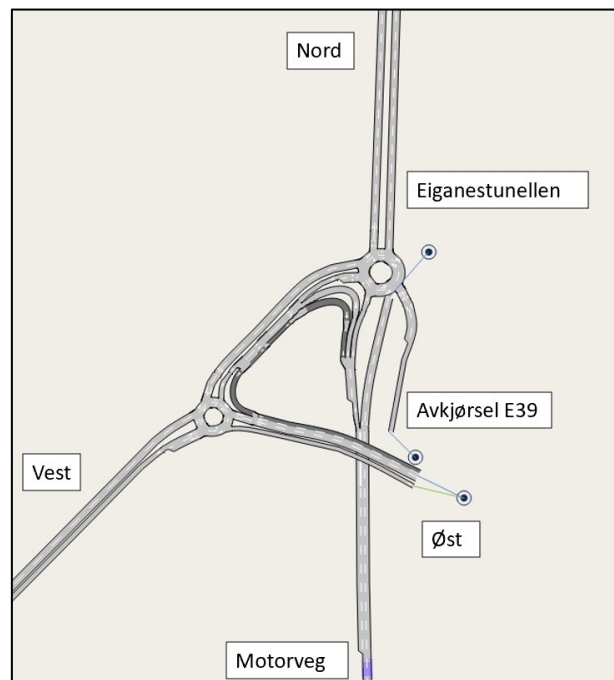
## Rundkjøring 2

Det er manuelt registrert svingebevegelser fra videooptakene, i perioden 07:30-07:45, for kjøretøy som kommer opp fra avkjøringsrampen fra motorvegen (E39). Det er registrert totalt 255 kjøretøy, 91% kjørte rett frem, videre nordover og 9% svingte mot Vest, mot rundkjøring 1.

Prosentandelen for svingebevegelsene er brukt sammen med trafikldata fra tellepunkt «4» vist i Figur 4.15 til å beregne trafikldata med 15 minutters oppløsning. Trafikldataene fra tellepunktet var opprinnelig på timesoppløsning (Trafikkdata | Rampe avkjøring E39, u.å.).

#### 4.6.5 Total trafikkmengde

Den beregnede og talte trafikkmengden er så lagt inn i OD-matriser med 15 minutters varighet. Dette er gjort ved å summere de ulike 5-minutters dataene. Grunnen til at 15 minutters varighet er valgt er på bakgrunn av variasjonen i trafikketerspørselen i morgenerushet. Det er ønskelig å simulere med en trafikketerspørsel som er mest mulig lik den faktiske situasjonen. Figur 4.18 viser de definerte sentroidene i nettverket med forlenget kollektivfelt.



**Figur 4.18: Navn og plassering av sentroidene i nettverket med forlenget kollektivfelt.**

Den totale trafikkmengden av de manuelle og de beregnede registreringene er summert og vist under:

**Tabell 4.5: Totalt antall registrerte lette kjøretøy fra 06:00-09:00, 29.03.23.**

<b>Fra / Til</b>	<b>Nord</b>	<b>Motorveg</b>	<b>Vest</b>	<b>Øst</b>	<b>Sum</b>
<b>Nord</b>	0	1569	478	696	2743
<b>Vest</b>	160	532	0	530	1221
<b>Øst</b>	229	752	1096	0	2077
<b>Eiganestunellen</b>	0	4447	0	0	4447
<b>Avkjørsel E39</b>	1948	0	128	64	2140
<b>Sum</b>	2337	7299	1702	1290	12628

**Tabell 4.6: Totalt antall registrerte tunge kjøretøy fra 06:00-09:00, 29.03.23.**

<b>Fra / Til</b>	<b>Nord</b>	<b>Motorveg</b>	<b>Vest</b>	<b>Øst</b>	<b>Sum</b>
<b>Nord</b>	0	18	1	0	19
<b>Vest</b>	4	10	0	0	14
<b>Øst</b>	7	16	28	0	51
<b>Eiganestunellen</b>	0	387	0	0	387
<b>Avkjørsel E39</b>	176	0	12	4	192
<b>Sum</b>	187	431	41	4	663

## 4.7 Analyse av resultat

For å få et innblikk i hvordan de ulike styringsmetodene av rampekontrollen påvirker trafikken vil resultatene analyseres på flere måter. For å bestemme grenseverdiene og oppdateringsintervallet til rampekontrollen vil resultatene for forsinkelse og total reisetid sammenliknes mellom de ulike styringene.

Forsinkelse (delay time) er definert i Aimsun som den gjennomsnittlige forsinkelsen per kjøretøy som har fulgt ruten til subpathen. Total reisetid er den totale reisetiden for alle kjøretøyene som har fulgt subpathen. Subpath er definert i avsnittet under, der er også de ulike rutene er definert.

I resultatdelen vil forskjellen i forsinkelse og total reisetid bli sammenliknet mellom de ulike scenarioene. (Aimsun, u.å.).

### 4.7.1 Subpath

I Aimsun er det mulig å definere ulike delstrekninger (subpaths) i nettverk som modelleres. Det er et sett med flere lenker som henger sammen enten kun med andre lenker eller gjennom eksempelvis noder. Hensikten med dette er å få egen statistikk om kjøretøy som følger disse spesifikke rutene. Eksempelvis vil ruten Eiganestunellen -> Motorveg, nummer 5 i Figur 4.19 gi resultater for kjøretøy som allerede er på motorvegen og som kommer fra Eiganestunellen. Ruten vil imidlertid ikke gi resultater for kjøretøy som kommer fra rampen selv om de vil følge samme rute nedstrøms rampen. Det er derfor definert ulike subpaths for alle rutene som med kjøretøy som kjører ut på motorvegen, enten gjennom rampen eller fra Eiganestunellen. Rutevalgene er et resultat av at det er disse rutene som blir direkte påvirket av rampekontrollen. De ulike subpathene er vist i Figur 4.19 og forklart i Tabell 4.7 (Aimsun, u.å.).



**Figur 4.19: Subpathene 1-5 som er definert i Aimsun. Bakgrunnskart hentet fra: (FINN kart, u.å.).**

**Tabell 4.7: Beskrivelser av subpathene vist i Figur 4.19**

Subpath	Beskrivelse
<b>1</b>	<b>Nord -&gt; Motorveg</b> , fra Nord og til sentroiden Motorveg, gjennom rundkjøring 2.
<b>2</b>	<b>Øst -&gt; Motorveg</b> , fra Øst til Motorveg, gjennom rundkjøring 1.
<b>3</b>	<b>Kollektivfelt -&gt; Motorveg</b> , fra Øst i kollektivfelt til Motorvegen.  Kollektivfeltet er merket med rødt. Det starter fra Øst og opphører etter rundkjøring 1, slik som basisnettverket.

	En subpath for kollektivtrafikk, er definert for å få egne resultater for kollektivtrafikken.
<b>4</b>	<b>Vest -&gt; Motorveg</b> , fra Vest til Motorveg, gjennom rundkjøring 1.
<b>5</b>	<b>Eiganestunellen -&gt; Motorveg</b> , kjøretøy som allerede er på motorvegen. De kommer fra utgangen Eiganestunellen og kjører sørover til sentroiden Motorveg.  I tillegg er det definert en subpath som starter hvor påkjøringsfeltet fra rampen starter. Dette definert for å kunne se endringer i forsinkelse for alle kjøretøy som kjører mot sentroiden Motorveg.

#### 4.7.2 Scenarier som skal simuleres

Det skal simuleres flere ulike scenarier for å se hvordan de blir påvirket av styringen av rampekontrollen.

Tabell 4.8 viser en forklaring av de ulike scenarioene som skal simuleres. Scenariene er delt inn i to hovedkategorier, med Dagens busstrafikk som kollektivplan eller buss med 3 minutters intervall mellom avgangene. Deretter skal scenarier med og uten rampekontroll og bussprioritet simuleres.

**Tabell 4.8: Forklaring av scenarioene som skal simuleres.**

Scenario	Rampekontroll	Bussprioritet	Kollektivplan
Basisscenario, Dagens busstrafikk			Dagens busstrafikk
Rampekontroll	X		Dagens busstrafikk
Rampekontroll, Bussprioritet	X	X	Dagens busstrafikk
Basisscenario, 3-min buss			3-min bussintervall
Rampekontroll, 3-min buss	X		3-min bussintervall
Rampekontroll, 3-min buss, bussprioritet	X	X	3-min bussintervall

Valget med å simulere disse scenarioene skyldes at det er interessant å kunne sammenlikne hvordan rampekontrollen påvirker forsinkelsen mellom de ulike scenarioene. Simuleringene med 3-minutter mellom hver bussavgang gir informasjon vedrørende hvordan bussprioriteten fungerer med et hyppigere avgangsintervall enn hva den faktiske situasjonen er. Et så hyppig intervall mellom avgangene er imidlertid nok ikke realistisk på Schancheholen, men det gir muligheten til å kunne se forskjeller på hvordan forsinkelsen påvirkes og hvordan bussprioriteten påvirker kjøretøyene som følger de andre subpathene som er definert.



### 4.7.3 Antall replikasjoner

I hvert av de ulike scenarioene som skal simuleres vil det bli kjørt flere replikasjoner og deretter lage et gjennomsnitt av disse. Dette for å redusere feilmarginen.

Formel 4.1 viser sammenhengen mellom antall replikasjoner og den største aksepterte feilmarginen,  $d$ .  $n$  er antall replikasjoner,  $S$  er standardavviket og  $t$  representerer t-verdien fra en t-fordeling med sannsynlighet  $1 - \frac{\alpha}{2}$  og  $n - 1$  frihetsgrader. Formelen illustrere at standardavviket reduseres når antall replikasjoner økes og dermed vil den største aksepterte feilmarginen også reduseres og resultatet til modellen bli mindre usikkert. (Aakre, 2022).

**Formel 4.1: Sammenheng mellom akseptert feilmargin og antall replikasjoner. Hentet fra: (Aakre, 2022).**

$$d = \frac{S}{\sqrt{n}} * t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1}$$

Det er mulig å regne ut antall replikasjonen som gir en gitt maksimal feilmargin i simuleringene. Dette er ikke blitt beregnet, men resultatene vil bli simulert med 50 replikasjoner for å redusere feilmarginen.

## 5 Resultat

### 5.1 Valg av grenseverdier og oppdateringsintervall for rampekontroll med uendrede verdier i Aimsun

Det er kjørt simuleringer med ulike styringsmetoder av rampekontrollen. Tabell 5.1 viser de ulike grenseverdiene som er testet. Dette er gjort for å vurdere hvilke grenseverdier for rødtider som skal brukes videre i simulering av resultatene. I tillegg er det simulert med to ulike oppdateringsintervall av rampekontrollen, det vi si hvor ofte detektorstasjonen detekterer belegget på motorvegen, slik av rødtiden kan endres dersom grenseverdiene er overskredet.

Scenarioet som er simulert i bestemmelsen av grenseverdiene er *Rampekontroll*. Det er kjørt 10 replikasjoner med hver versjon av rampekontrollen.

Resultatene fra Tabell 5.2 er summen av total reisetid for subpathene som er definert i seksjonen Analyse av resultat.

**Tabell 5.1: Beskrivelse av de ulike styringsmetodene som testes.**

	<b>Belegg detektorstasjon motorveg [%]</b>			
<b>Rødtid Rampekontroll</b>	<b>Versjon 1</b>	<b>Versjon 2</b>	<b>Versjon 3</b>	<b>Versjon 4</b>
<b>6s</b>	25-40 %	35-45 %	40-50 %	35-50 %
<b>8s</b>	40-45 %	45-55 %	50-60 %	50-60 %
<b>10s</b>	> 45 %	> 55 %	> 60 %	> 60 %

**Tabell 5.2: Total reisetid for kjøretøy med de ulike versjonene av rampekontrollen.**

	<b>Total reisetid [t]</b>			
<b>Intervall detektering av belegg</b>	<b>Versjon 1</b>	<b>Versjon 2</b>	<b>Versjon 3</b>	<b>Versjon 4</b>
<b>1. min</b>	170.4	98.3	84.1	104.7
<b>5. min</b>	157.5	106.4	97.0	112.7

Simuleringen av Basisscenarioet, Dagens busstrafikk ga en total reisetid på 82 timer.

*Versjon 3* med detektering hvert minutt ga kortest total reisetid, vist i Tabell 5.2.

## 5.2 Modellering av samhandling på motorvegen

Sent i prosessen med simuleringene ble det observert at samhandlingen mellom kjøretøyene fra påkjøringsrampen og de andre feltene på motorvegen var dårlig. Dette førte til at det ble dannet kø i påkjøringsfeltet selv om det var god flyt på motorvegen, noe som er urealistisk sammenliknet med den faktiske situasjonen.

Dermed ble enkelte verdier endret i Aimsun for å legge til rette for mere samhandling mellom påkjøringsfeltet og de andre feltene på motorvegen. Andelen kjøretøy oppstrøms som samarbeidet ved feltskifte ble endret fra 80% til 90%. I tillegg er *Side Lane Merging Distance* endret fra standardverdien beregnet av Aimsun til 180 meter, den totale lengden av akselerasjonsfeltet. Det førte til at kjøretøyene som kom ut på rampen kunne begynne å flette med andre kjøretøy tidligere etter at sperrelinjen ble opphevet. Dette førte til bedre flyt og en mere realistisk situasjon på motorvegen.

Som et resultat av denne endringen ble flettingen inn mot motorvegen forbedret og den registrerte trafikkmengden som var lagt inn i Aimsun, vist i Tabell 4.5 og Tabell 4.6 gav minimal forsinkelse for alle kjøretøy og derav liten nytte av rampekontrollen.

Som et resultat av dette ble det besluttet å øke trafikkmengden med 20% for kjøretøy mot påkjøringsrampen og kjøretøy fra Eiganestunellen. Totalmatrisene med 20% økning i trafikkmengde mot sentroiden Motorveg er vist i Tabell 5.3 og Tabell 5.4. Økningen er gjort for å kunne se trafikale endringer som følge av rampekontrollen.

**Tabell 5.3: Totalt antall lette kjøretøy med 20% økning mot sentroiden Motorveg, fra 06:00-09:00.**

Fra / Til	Nord	Motorveg	Vest	Øst	Sum
<b>Nord</b>	0	1882	478	696	3056
<b>Vest</b>	160	637	0	530	1327
<b>Øst</b>	229	902	1096	0	2227
<b>Eiganestunellen</b>	0	5337	0	0	5337
<b>Avkjørsel E39</b>	1948	0	128	64	2140
<b>Sum</b>	2337	8758	1702	1290	14087

**Tabell 5.4: Totalt antall tunge kjøretøy med 20% økning mot sentroiden Motorveg, fra 06:00-09:00.**

Fra / Til	Nord	Motorveg	Vest	Øst	Sum
<b>Nord</b>	0	21	1	0	22
<b>Vest</b>	4	12	0	0	16
<b>Øst</b>	7	20	28	0	55
<b>Eiganestunellen</b>	0	464	0	0	464
<b>Avkjørsel E39</b>	176	0	12	4	192
<b>Sum</b>	187	517	41	4	749

Endringen førte også til at grenseverdiene til rampekontrollen ble justert. Dermed er ikke verdiene fra de ulike testingene representative lengre da trafikkmengden er høyere og flettingen på motorvegen bedre. Oppdateringsintervallet til rampekontrollen ble satt til å være per 1 minutt noe som viste seg å gi kortest reisetid i testingen av de ulike versjonene av grenseverdiene.

De nye grenseverdiene til rampekontrollen er vist i Tabell 5.5.

**Tabell 5.5: Beskrivelse av grenseverdiene av rampekontrollen som ble brukt i simulering av resultatene.**

<b>Rødtid Rampekontroll</b>	<b>Belegg detektorstasjon motorveg [%]</b>
<b>6s</b>	50-60%. Av dersom belegg < 40%
<b>8s</b>	60-70 %
<b>10s</b>	> 70 %

Rampekontrollen er satt opp slik at den blir aktivert dersom belegget på motorvegen overstiger 50%. For at rampekontrollen skal deaktiveres må belegget falle under 40%.

### 5.3 Resultat av simuleringene

Alle diagrammene vist i resultatene er simulert med 20% økt trafikkmengde mot sentroiden Motorveg.

Det er kjørt simuleringer med og uten bussprioritet samt økning av antall bussavganger for å undersøke hvordan dette har innvirkning på reisetid og forsinkelse. Resultatene er fordelt på de ulike subpathene i nettverket, vist i Figur 4.19.

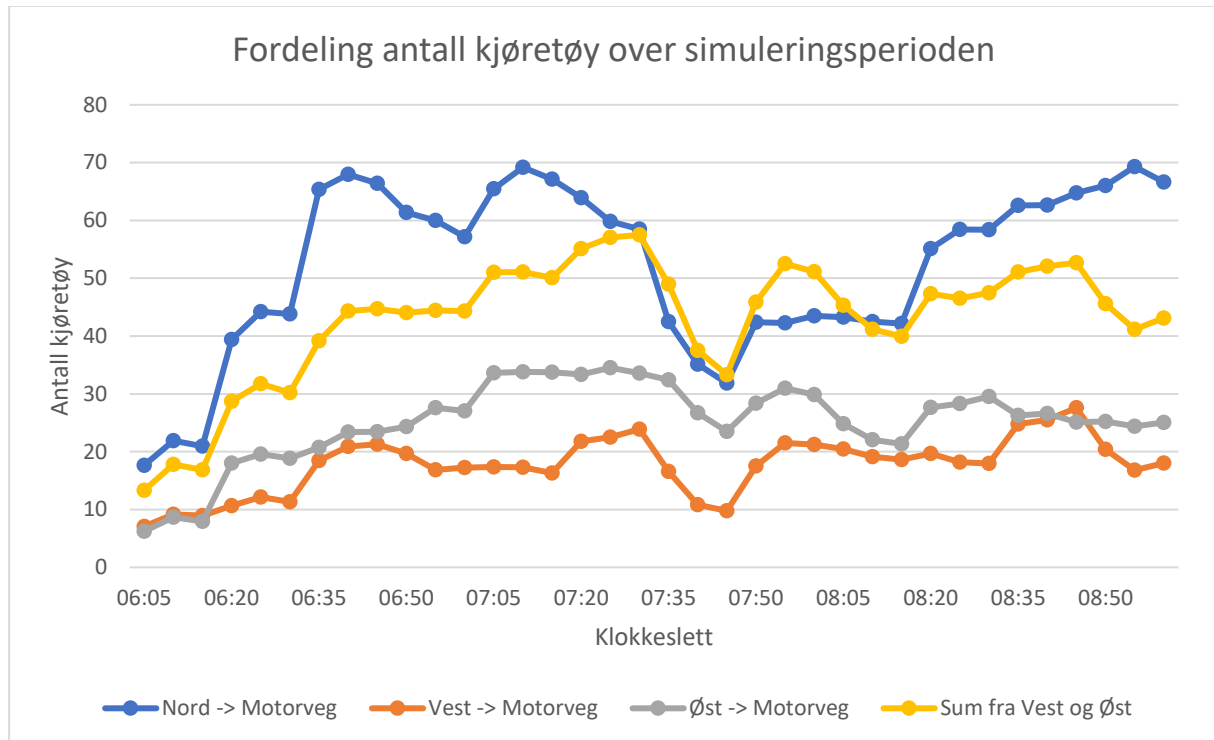
Som et resultat av stor spredning mellom de ulike simuleringene er det kjørt 50 replikasjoner av hvert scenario og deretter tatt gjennomsnitt, dette er også videre diskutert i diskusjonskapittelet.

De ulike scenarioene som er vist på grafene kommer av hvilke som er av interesse å se innvirkningen på. I simuleringen av basisnettverket er det av interesse å se hvordan forsinkelsen for kjøretøyene påvirkes av rampekontrollen, i tillegg til er det av interesse å se hvordan bussprioriteten påvirker forsinkelsen, både med dagens busstruter og busser med et høyere avgangsintervall.

I nettverket med forlenget kollektivfelt hvor det ikke er noen bussprioritet siden bussene kjører i eget felt frem til passert rampekontroll, er det av interesse å se hvordan bussintervallet påvirker forsinkelsen for de andre kjøretøyene. Her sammenliknes Basisscenarioet, Dagens busstrafikk med scenarioene med rampekontroll og ulik hyppighet på bussavgangene.

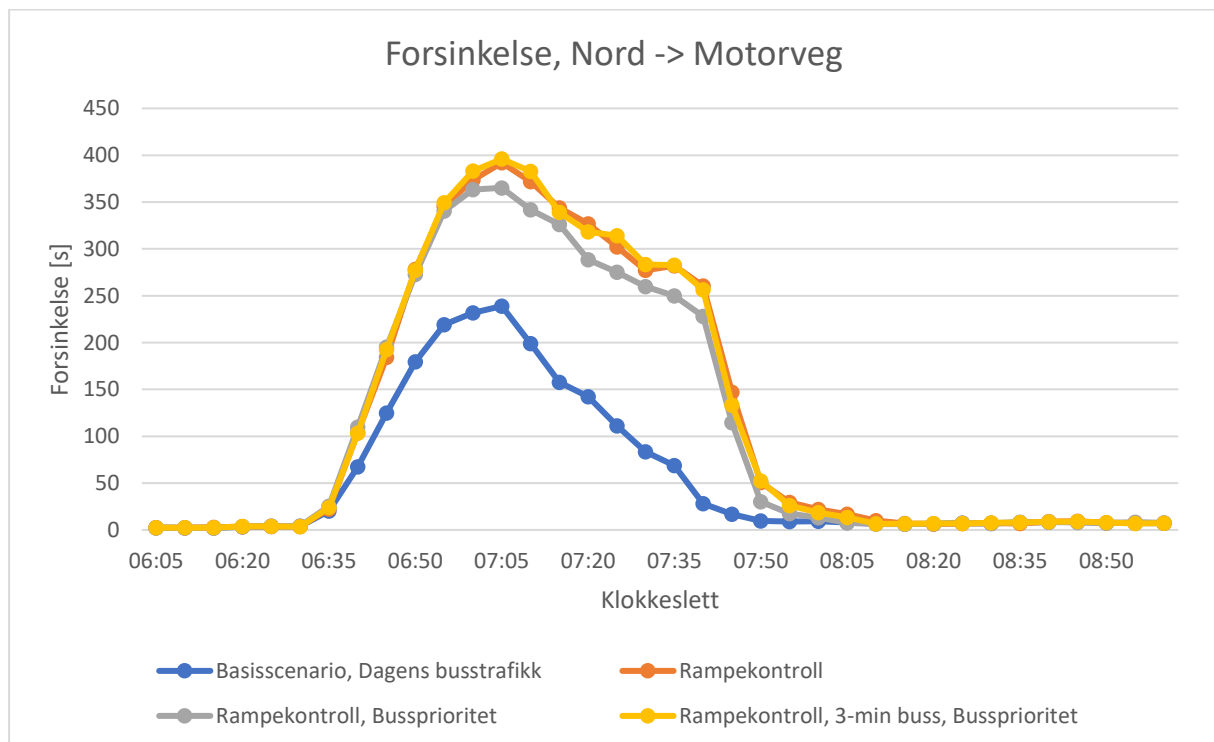
For kollektivtrafikk er simuleringene med 3-min bussintervall vist i grafene. Dette kommer av at Dagens busstrafikk har for sporadiske avganger til å bli illustrert som en graf. Resultatene for forsinkelse med Dagens busstrafikk, er vist i tabellene der gjennomsnittsverdiene er vist.

### 5.3.1 Fordeling av antall kjøretøy over simuleringsperioden

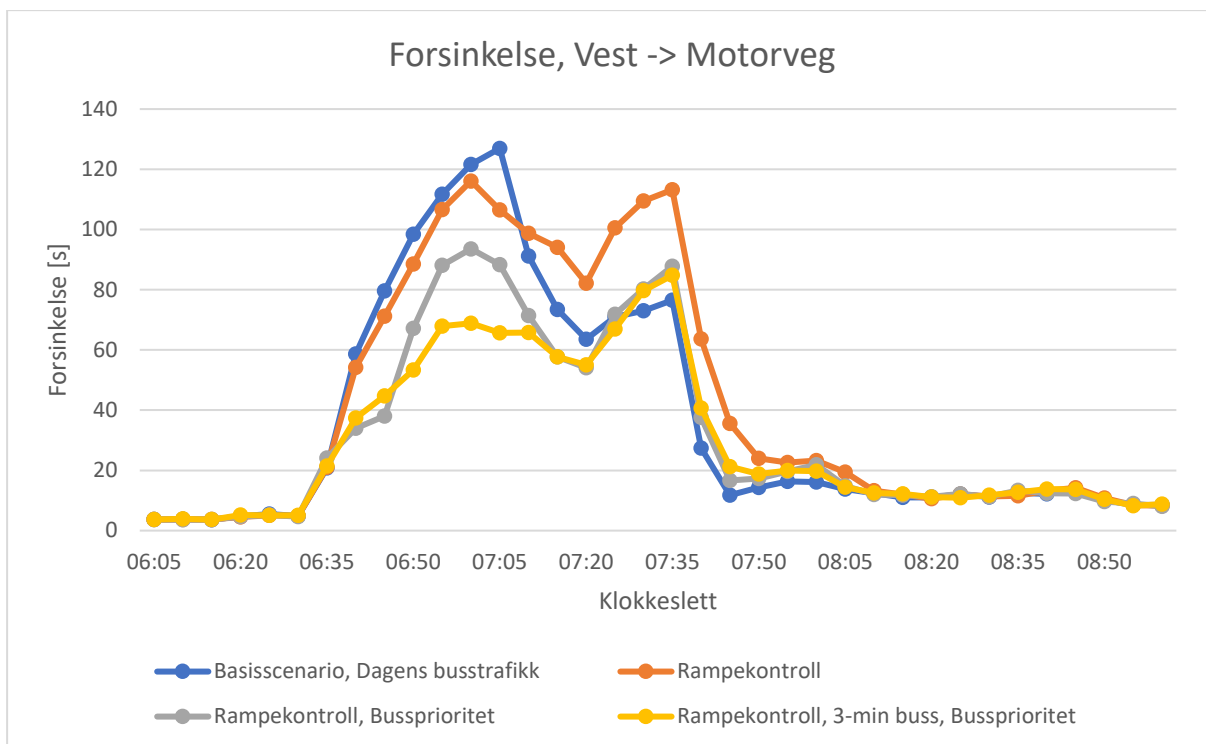


**Figur 5.1: Fordeling av kjøretøy over simuleringsperioden, for subpathene som kjører gjennom rampekontrollen. Basisnettverk, scenario: Basisscenario, Dagens busstrafikk.**

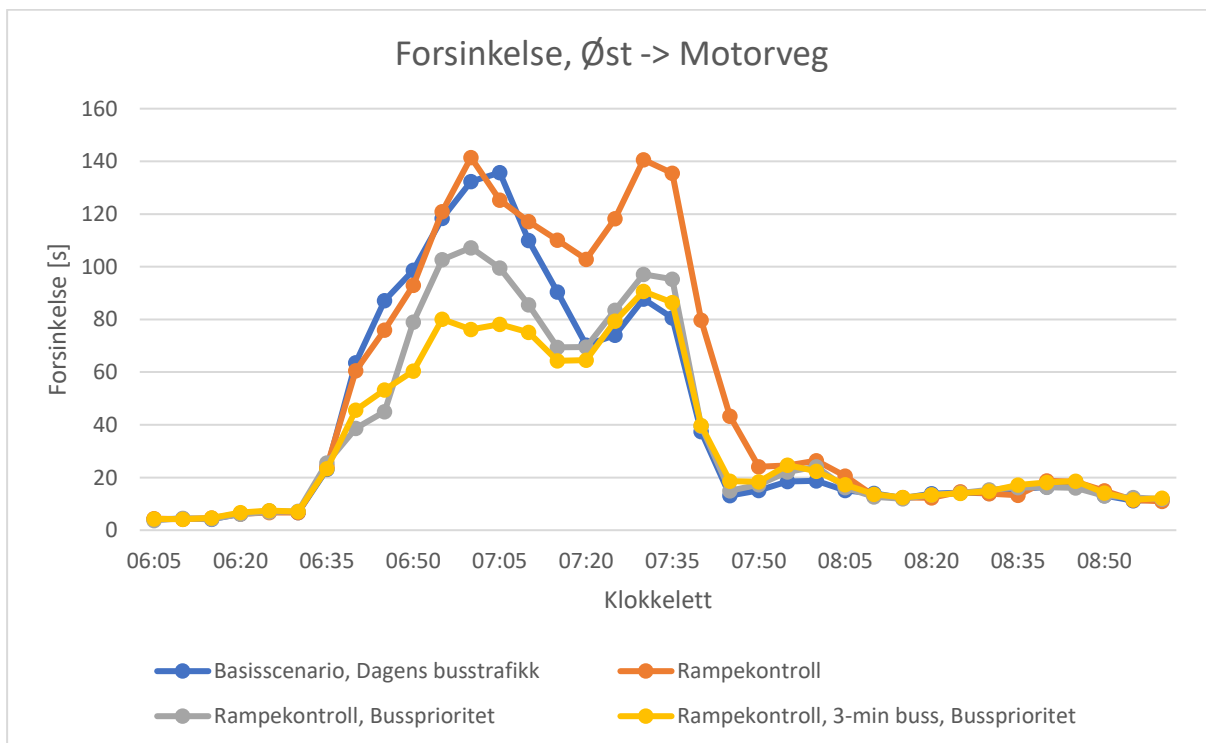
### 5.3.2 Forsinkelse Basisnettverk



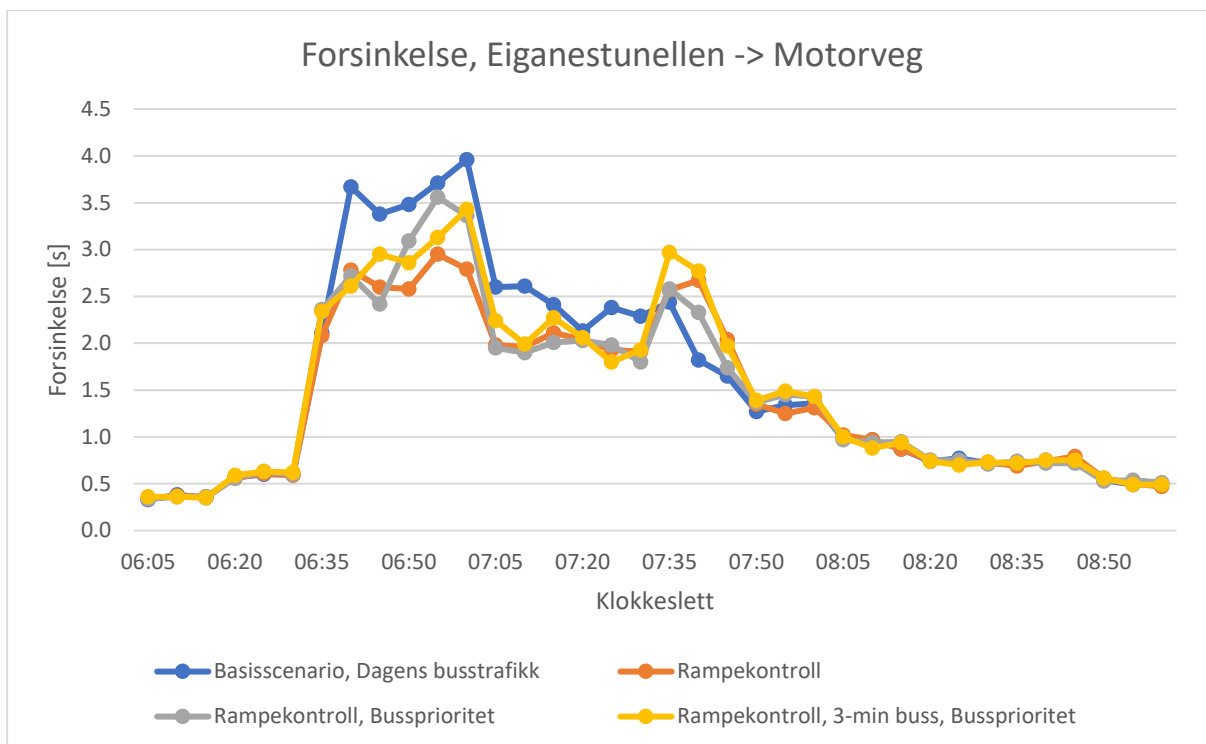
**Figur 5.2: Forsinkelse basisnettverk, fra Nord til Motorveg.**



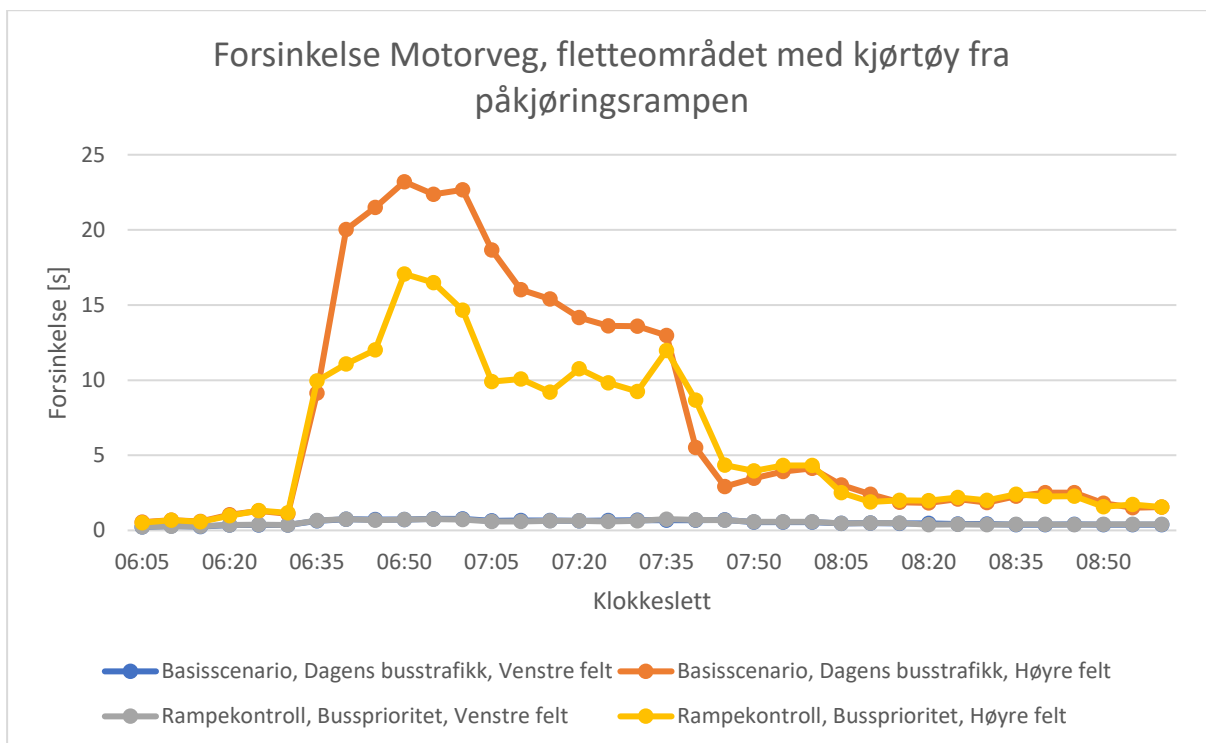
**Figur 5.3: Forsinkelse basisnettverk, fra Vest til Motorveg.**



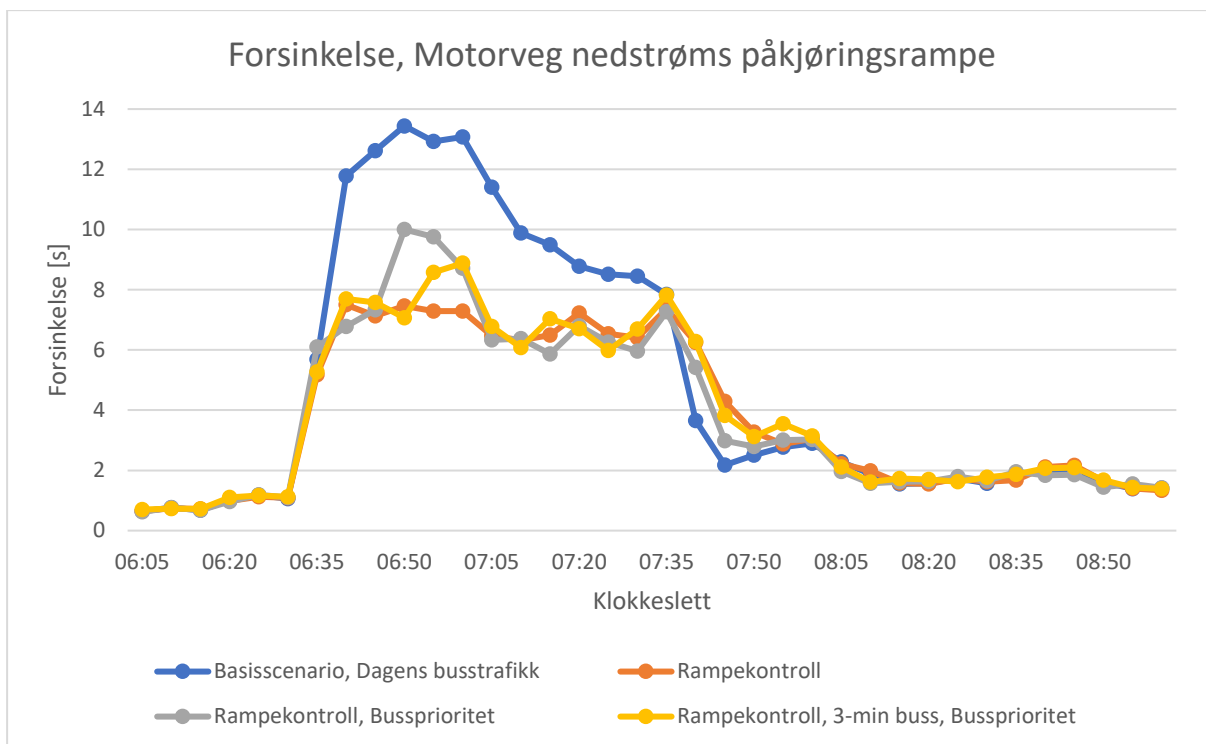
**Figur 5.4: Forsinkelse basisnettverk, fra Øst til Motorveg.**



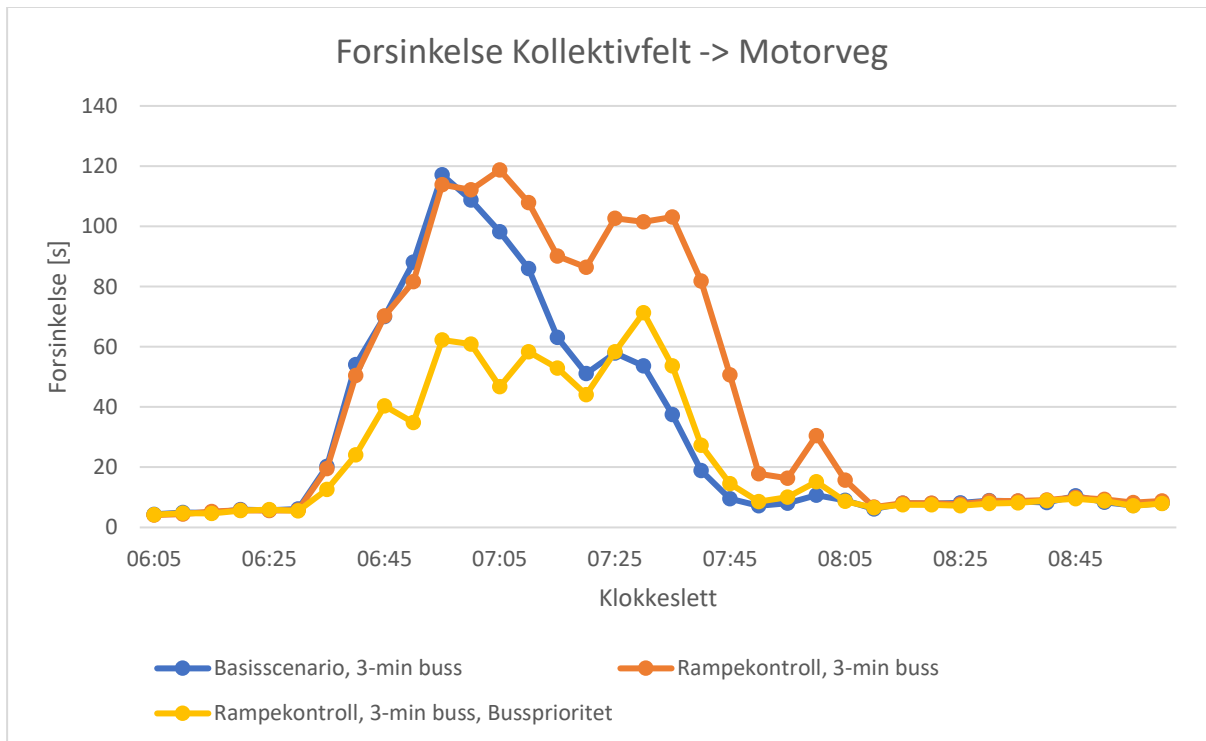
**Figur 5.5: Forsinkelse basisnettverk, fra Eiganestunellen til Motorveg.**



**Figur 5.6: Forsinkelse Motorveg, fletteområdet med kjøretøy fra påkjøringsrampen, fordelt på høyre og venstre kjørefelt.**



**Figur 5.7: Forsinkelse basisnettverk, for Motorveg nedstrøms påkjøringsrampen.**



**Figur 5.8: Forsinkelse buss, basisnettverk, fra Kollektivfelt til Motorveg.**



## Gjennomsnitt verdier forsinkelse, Basisnettverk

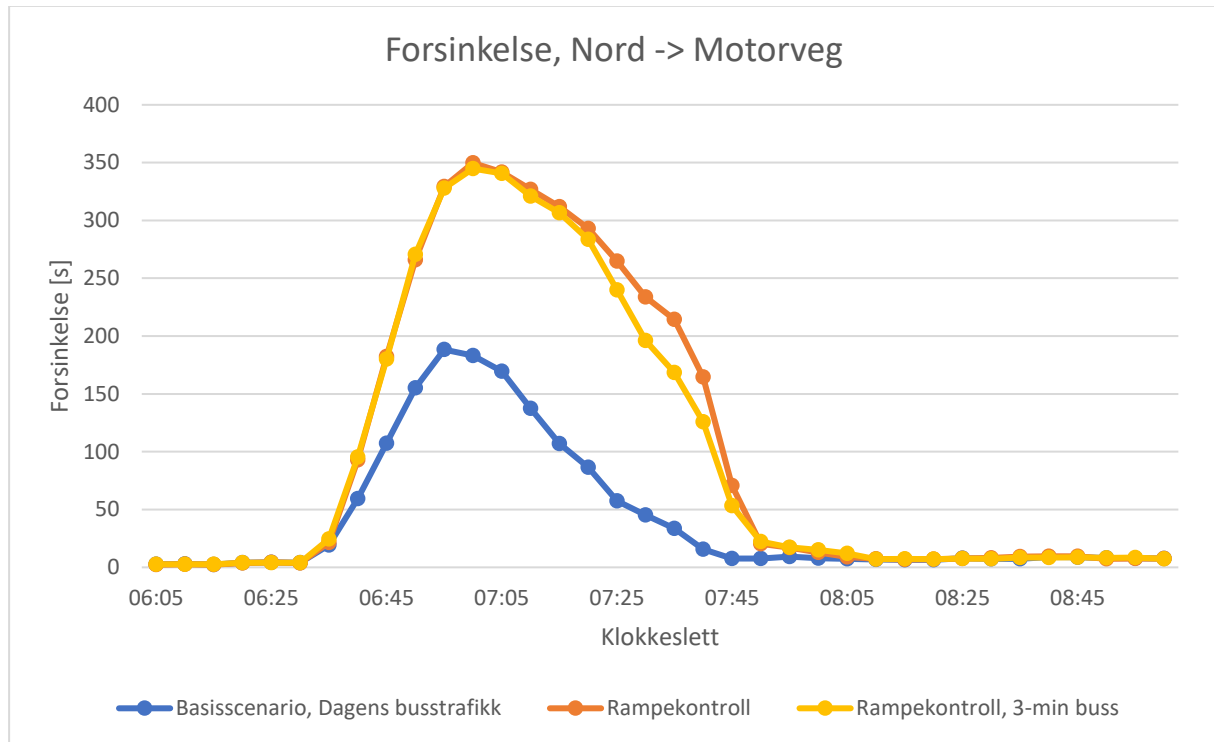
**Tabell 5.6: Gjennomsnitt verdier for forsinkelse, Basisnettverk, Dagens busstrafikk.**

Fra	Til	Forsinkelse [sek]		
		Basisscenario, Dagens busstrafikk	Rampekontroll	Rampekontroll, Bussprioritet
Nord	Motorveg	65.7	124.6	117.3
Vest	Motorveg	38.7	43.1	32.9
Øst	Motorveg	47.2	56.3	42.1
Eiganestunellen	Motorveg	1.8	1.6	1.7
Kollektivfelt	Motorveg	33.2	43.1	27.9

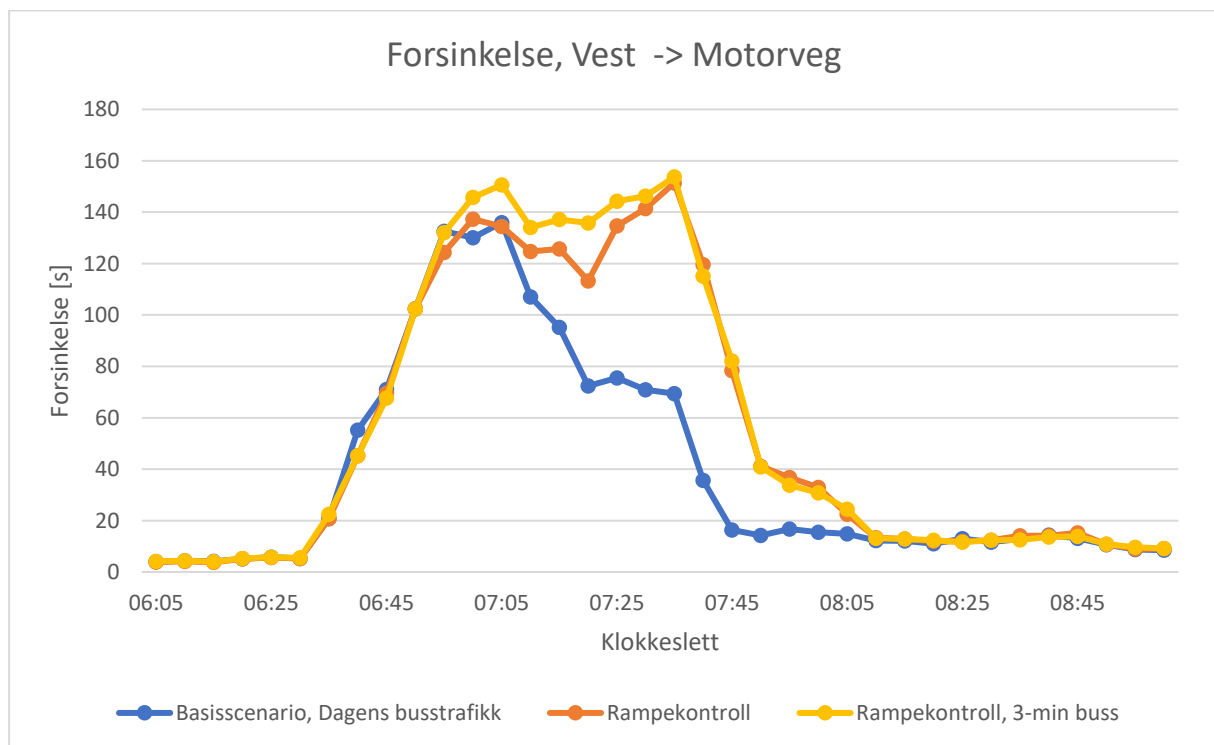
**Tabell 5.7: Gjennomsnitt verdier for forsinkelse, Basisnettverk, 3-min buss.**

Fra	Til	Forsinkelse [sek]		
		Basisscenario, 3-min buss	Rampekontroll, 3-min buss	Rampekontroll, Bussprioritet, 3-min buss
Nord	Motorveg	63.9	131.8	125.6
Vest	Motorveg	38.0	47.0	31.1
Øst	Motorveg	46.5	62.6	38.8
Eiganestunellen	Motorveg	1.9	1.7	1.7
Kollektivfelt	Motorveg	30.2	41.4	22.8

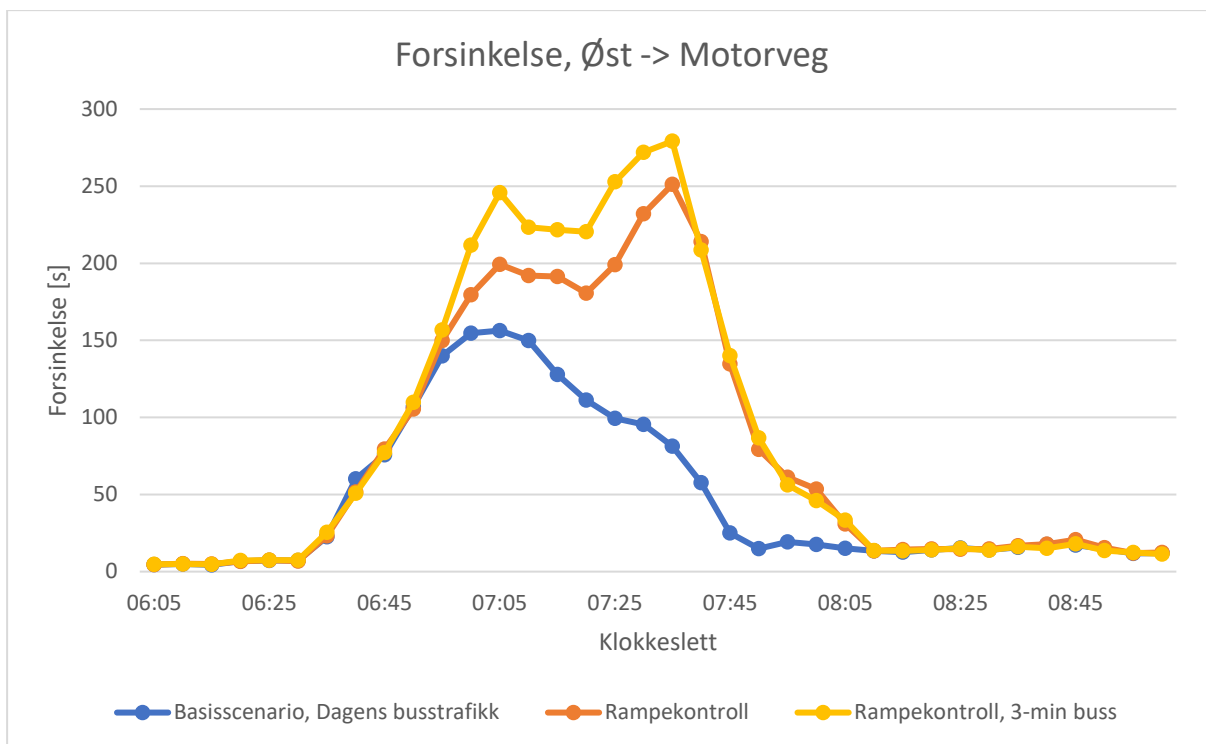
### 5.3.3 Forsinkelse, nettverk med forlenget kollektivfelt



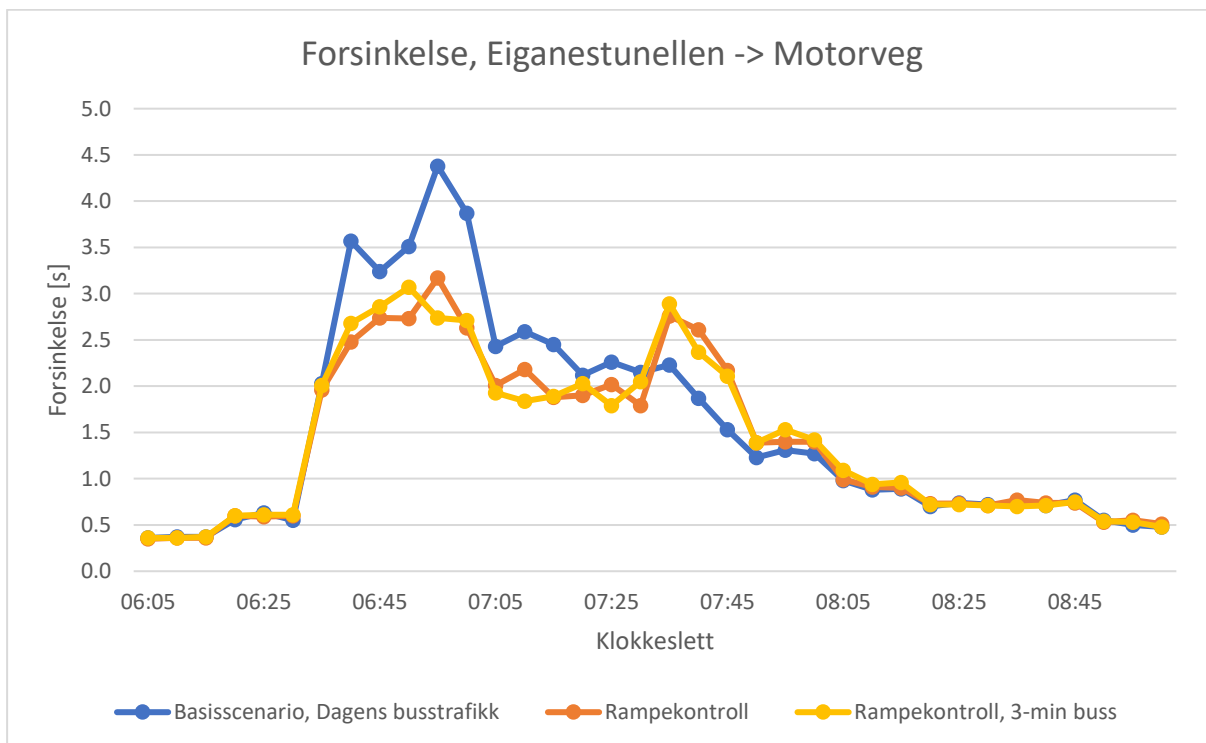
**Figur 5.9: Forsinkelse nettverk med forlenget kollektivfelt, fra Nord til Motorveg.**



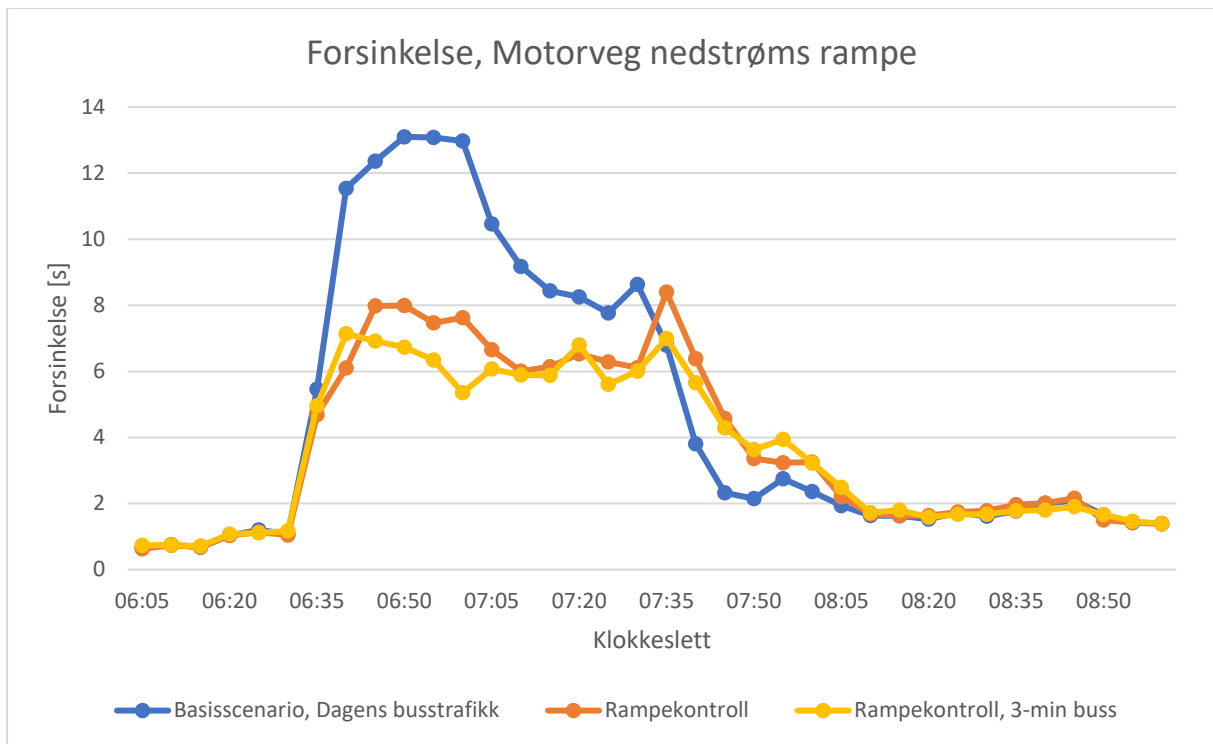
**Figur 5.10: Forsinkelse nettverk med forlenget kollektivfelt, fra Vest til Motorveg.**



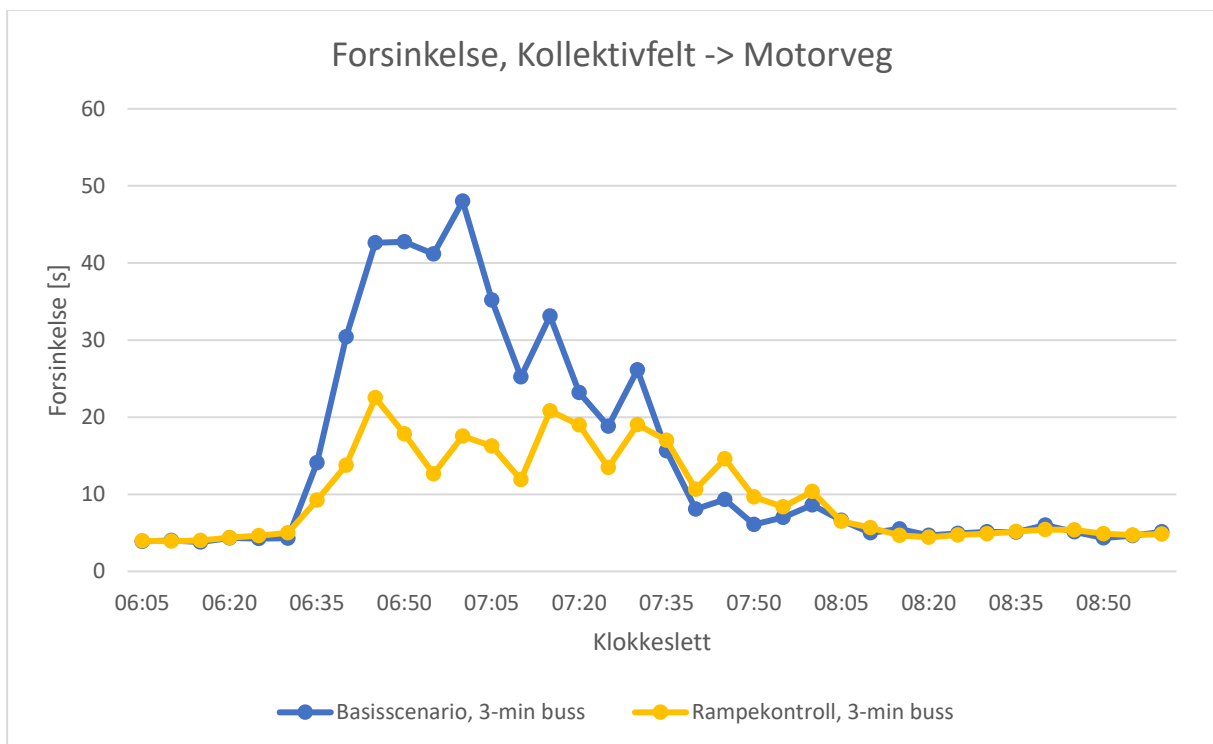
**Figur 5.11: Forsinkelse nettverk med forlenget kollektivfelt, fra Øst til Motorveg.**



**Figur 5.12: Forsinkelse nettverk med forlenget kollektivfelt, fra Eiganestunellen til Motorveg.**



**Figur 5.13: Forsinkelse nettverk med forlenget kollektivfelt, for Motorveg nedstrøms påkjøringsrampen.**



**Figur 5.14: Forsinkelse buss, nettverk med forlenget kollektivfelt, fra Kollektivfelt til Motorveg.**

### Gjennomsnitt verdier forsinkelse, nettverk med forlenget kollektivfelt.

**Tabell 5.8: Gjennomsnitt verdier for forsinkelse, nettverk med forlenget kollektivfelt, Dagens busstrafikk.**

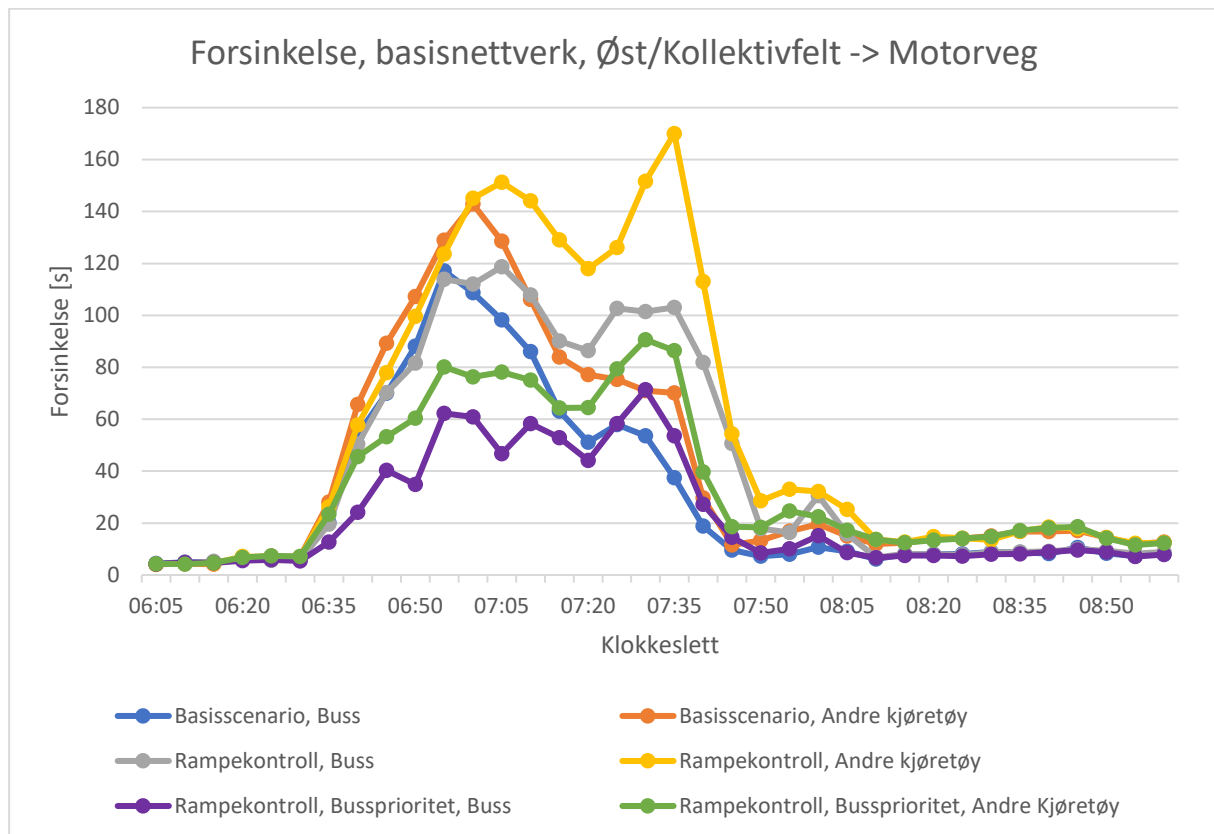
Fra	Til	Forsinkelse [sek]	
		Basisscenario, Dagens busstrafikk	Rampekontroll
Nord	Motorveg	49.9	111.5
Vest	Motorveg	42.1	56.1
Øst	Motorveg	55.9	91.0
Eiganestunellen	Motorveg	1.8	1.6
Kollektivfelt	Motorveg	16.2	10.8

**Tabell 5.9: Gjennomsnitt verdier for forsinkelse, nettverk med forlenget kollektivfelt, 3-min buss.**

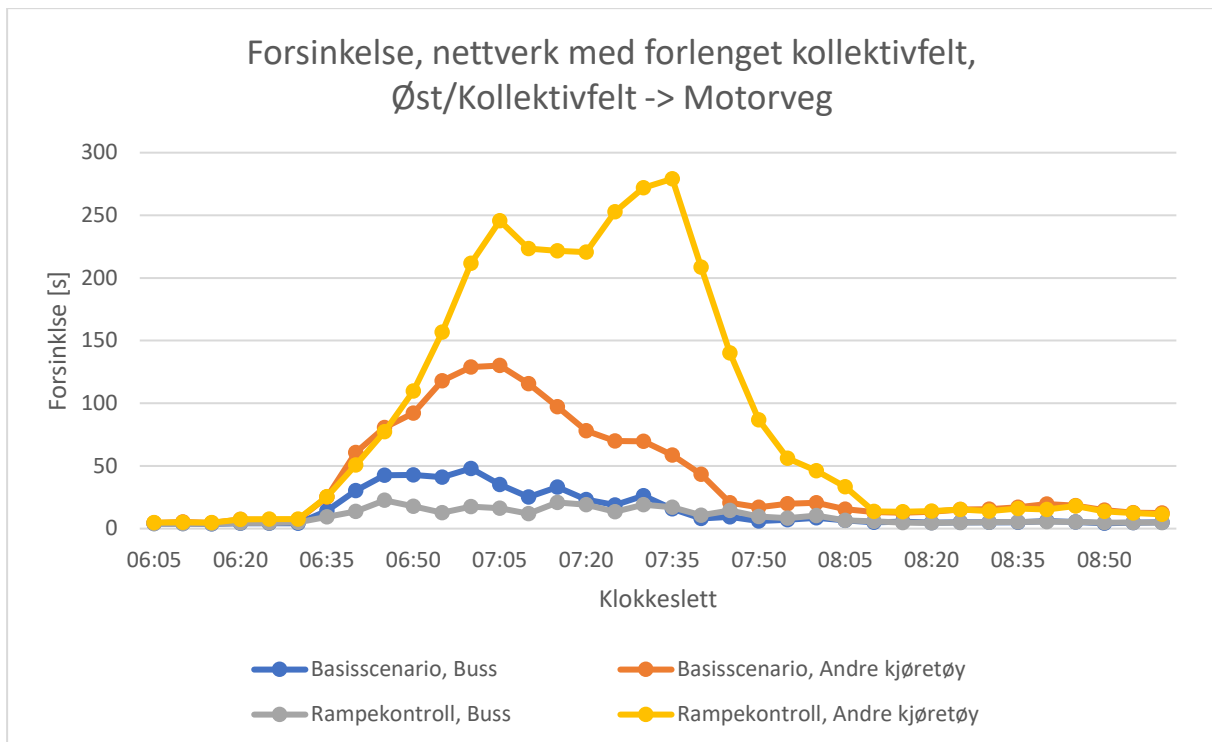
Fra	Til	Forsinkelse [sek]	
		Basisscenario, 3-min buss	Rampekontroll, 3-min buss
Nord	Motorveg	50.4	106.3
Vest	Motorveg	36.8	58.4
Øst	Motorveg	46.8	101.6
Eiganestunellen	Motorveg	1.9	1.7
Kollektivfelt	Motorveg	14.6	9.7

### 5.3.4 Forsinkelse kollektivtrafikk sammenliknet med annen trafikk

Alle scenarioene som er vist på grafene er simulert med 3-min bussintervall. Ettersom Dagens Busstrafikk har for sporadiske bussavganger til å bli illustrert som en sammenhengende graf.



**Figur 5.15: Forsinkelse, basisnettverk, buss og andre kjøretøy, fra Øst/Kollektivfelt til Motorveg.**



**Figur 5.16: Forsinkelse, nettverk med forlenget bussveg, buss og andre kjøretøy, fra Øst/Kollektivfelt til Motorveg.**

### 5.3.5 Total reisetid

Tabell 5.10 og Tabell 5.11 viser den totale reisetiden for alle kjøretøy som følger subpathene definert i Tabell 4.7

**Tabell 5.10: Total reisetid for kjøretøyene som kjører ut på påkjøringsrampen og fra Eiganestunellen, for Basisnettverket.**

Scenario	Total reisetid [timer]
Basisscenario, Dagens busstrafikk	131.2
Rampekontroll	161.5
Rampekontroll, Bussprioritet	152.8
Basisscenario, 3-min buss	129.9
Rampekontroll, 3-min buss	166.7
Rampekontroll, 3-min buss, Bussprioritet	156.2

**Tabell 5.11 Total reisetid for kjøretøyene som kjører ut på påkjøringsrampen og fra Eiganestunellen, for nettverket med forlenget bussfelt. Basisnettverket.**

Scenario	Total reisetid [timer]
Basisscenario, Dagens busstrafikk	126.4
Rampekontroll	168.7
Basisscenario, 3-min buss	124.1
Rampekontroll, 3-min buss	169.0

## 6 Diskusjon

Verdiene for forsinkelse som sammenliknes i diskusjonen er hentet fra Tabell 5.6, Tabell 5.7, Tabell 5.8 og Tabell 5.9.

### 6.1 Effekt rampekontroll

Tabell 5.10 og Tabell 5.11 viser den totale reisetiden for kjøretøy som kjører ut på motorvegen gjennom påkjøringsrampen og fra Eiganestunellen. Tabellene viser at reisetiden øker i scenarioene med rampekontrollen. Økningen kommer av at forsinkelsen i flere av scenarioene øker betydelig for flere av subpathene som kjører gjennom rampekontrollen. Det er også en relativt liten endring i forsinkelse for kjøretøy som allerede er på motorvegen og som kjører sørover. Dette kommer av at trafikken på motorvegen flyter relativt upåvirket i basisscenarioene og dermed gir rampekontrollen en svært begrenset reduksjon i forsinkelse, slik som Figur 5.5 og Figur 5.12 viser.

Dette er et resultat av at nettverkene som har blitt modellert, kun representerer en seksjon av motorvegen. Dette gjør at kjøretøyene som allerede er på motorvegen kjører relativt upåvirket uavhengig av påkjøringsrampen, selv med økt trafikkmengde.

Figur 5.7 og Figur 5.13 viser forsinkelsen på motorvegen nedstrøms rampen. Subpathen inkluderer dermed også kjøretøy som kommer fra påkjøringsrampen. Grafene viser en reduksjon i forsinkelse. Dette er et resultat av rampekontrollens virkning, da færre kjøretøy slippes ut på motorvegen samtidig og dermed reduseres forsinkelsen. Subpathen inkluderer også påkjøringsfeltet på motorvegen. På påkjøringsfeltet var det i noen tidsperioder en opphopning av kjøretøy som ventet på å flette inn. Denne trafikkoppophopningen ble forbedret når rampekontrollen var i bruk.

En endring sees også dersom kjørefeltene på motorvegen undersøkes hver for seg slik som vist Figur 5.6. Figuren viser hvordan forsinkelsen mellom kjørefeltene fordeler seg i området der kjøretøy fra påkjøringsrampen fletter med trafikken som kommer fra Eiganestunellen. Grafene viser at kjøretøy i venstre kjørefelt er upåvirket av rampekontrollen, det er ingen økt forsinkelse over simuleringsperioden. I høyre kjørefelt er det derimot mulig å se en endring som følge av rampekontrollen. Dette er fordi kjøretøyene må redusere hastigheten for å flette med kjøretøy som kommer fra påkjøringsrampen.

Økningen i forsinkelse som følge av rampekontrollen er størst for reisende som kommer fra Nord, vist Figur 5.2 og Figur 5.9. Økningen over hele simuleringsperioden er på henholdsvis 90% og 78% for scenarioene rampekontroll og rampekontroll med bussprioritet, sammenliknet med basisscenarioet. Figur 5.1 viser fordeling av kjøretøy som kjører ut på motorvegen fordelt på de ulike subpathene, grafene viser at det er flest



kjøretøy fra Nord, spesielt i perioden 06:15-07:45. Dette kan være med å forklare hvorfor forsinkelsen er størst for subpathen Nord -> Motorveg, grunnet trafikkvolum og fordelingen av kjøretøy. Grafen for kjøretøyene fra Vest og Øst har samlet sett en jevnere økning av antall kjøretøy i samme tidsperiode og færre antall kjøretøy totalt, noe som kan gjøre at trafikken flyter bedre og forsinkelsen er mindre.

For basisnettverket vil rampekontroll uten bussprioritet gi en økning i forsinkelse på 11% og 19% for henholdsvis subpathene Vest -> Motorveg og Øst -> Motorveg.

En annen faktor som påvirker de begrensede endringene i forsinkelsen på motorvegen, er forskjellene mellom de modellerte nettverkene og den faktiske køsituasjonen. Lengre nedstrøms motorvegen er det flere påkjøringsramper. Dette gjør at det kan dannes en tilbakeblokkering av kjøretøy inn mot påkjøringsrampen på Schancheholen, slik som det er vist i Figur 6.1. Dette vil også være en faktor for kødannelse nedstrøms påkjøringsrampen på Schancheholen, i tillegg til kjøretøy som kommer fra rampen.

En slik tilbakeblokkering vil ikke dannes når en begrenset del av motorvegen er modellert, da det kun er en påkjøringsrampe i modellen. Dermed blir utslagene trolig mindre enn hva som hadde vært tilfelle dersom en større del av motorvegen hadde blitt modellert med flere påkjøringsramper.



**Figur 6.1: Kø motorveg nedstrøms påkjøringsrampe. Foto Arvid Aakre.**

### 6.1.1 Evalueringsrapport av rampekontrollen

Norconsult har blitt involvert av Statens Vegvesen til å gjøre en evaluering av rampekontrollen på Schancheholen.

#### Reisetider

Norconsult har blant annet sett på hvordan reisetiden har blitt påvirket av rampekontrollen. Figur 6.2 viser strekningene hvor forskjellene i reisetid ble undersøkt. Påkjøringsrampen på Schancheholen er markert på figuren. Registreringene i førsituasjonen ble gjort 18.10 2022, og etterregistreringene ble gjort 07.12.2022. Registreringene i morgenrushet er gjort i tidsperioden 07:00-09:00 og er utført ved hjelp av reisetidsdata fra TomTom (Fidgett & Undheim, 2023).

På strekningen fra Tjensvollskrysset til Hillevåg er det blitt en reduksjon i reisetid på rundt 2 minutter fra 07:45-08:00. Fra 08:00-08:15 og 08:15-08:30 var reduksjonen i underkant av et minutt og fra 08:45-09:00 var det rundt 30 sekunders økning sammenliknet med situasjonen før igangsettingen av rampekontrollen (Fidgett & Undheim, 2023).

På strekningen fra Kannik til Åsen er det i tidsperioden 07:15-08:45 blitt en reduksjon. Reduksjonen er størst i tidsrommet 07:45-08:00, på rett under 3 minutter. Fra 08:00-08:15 er reduksjonen på rundt 2.5 minutter. Nettverket som er modellert i Aimsun følger deler av strekningen fra Kannik til Åsen, kjøretøy fra Nord følger samme rute mot påkjøringsrampen og sørover (Fidgett & Undheim, 2023).

Strekningen fra Tasta til Åsen følger motorvegen, gjennom Eiganestunellen, også her har igangsettingen av rampekontrollen hatt en positiv effekt på reisetiden i morgenrushet. Reisetiden er redusert over hele tidsperioden fra 07:00-09:00. Reduksjonen er størst i periodene mellom 07:30-07:45 og 07:45-08:00, på rundt 1 minutt (Fidgett & Undheim, 2023).



**Figur 6.2: Strekkinger hvor forskjeller i reisetid ble vurdert i Norconsult sin evaluering. Egenprodusert basert på (Fidgett & Undheim, 2023). Bakgrunnskart hentet fra: (FINN kart, u.å.).**

## Trafikksikkerhet

Førsituasjonen kan ifølge Norconsult til føre til trafikkfarlige situasjoner. Dette skyldes at kjøretøy må bremse opp når de kommer ut av Eiganestunellen oppstrøms rampen, som et resultat av kødannelse ved rampen. Dette er noe som Norconsult også erfarte ved kjøreturer gjennom tunnelen i rushtiden (Fidgett & Undheim, 2023).

Etter at rampekontrollen ble tatt i bruk viste resultatene fra Norconsult at flyten etter tunnelåpningen var bedre og med bakgrunn i denne endringen så minker risikoen for påkjøring bakfra. En annen faktor som trekkes frem er at fartsgrensen settes ned til 60 km/t noe som også er positivt for trafikksikkerheten (Fidgett & Undheim, 2023).

Norconsult har i rapporten konkludert at rampekontrollen har hatt en positiv effekt på trafikkflyt og reisetid på motorvegen. Rampekontrollen resulterer i at det er en jevnere flyt av trafikk ut på rampen (Fidgett & Undheim, 2023).

Rapporten utarbeidet av Norconsult presenterer funn som understøtter formålet med rampekontrollen, nemlig å redusere reisetiden og redusere risikoen for ulykker. Strekningen som er undersøkt er en større del av motorvegen enn det som er modellert i

masteroppgaven. Den utvidede analysen fra Norconsult kan være en av årsakene til at det er større nedgang i reisetid som følge av rampekontrollen.

En grundig undersøkelse av en større del av motorvegen gir et mer helhetlig bilde av virkningene av rampekontrollen og tillater en mer pålitelig vurdering av dens innvirkning på reisetider. Norconsults innsamling av reisetidsdata fra faktiske kjøretøy i perioder med stor trafikk kan gi mere realistiske og representative verdier enn hva som kan fremkomme i en simulering.

Simuleringer, selv om de gir verdifull innsikt og er nyttige verktøy for å vurdere forskjellige scenarier, er avhengige av de forutsetninger og begrensninger som er inkludert i modellen. Reelle datainnsamlinger, derimot, fanger opp de faktiske kjøreforholdene, inkludert variabler som ikke nødvendigvis er fullt ut representert i simuleringene.

## 6.2 Bussprioritet

Figur 5.8 og Figur 5.14 illustrerer hvordan forsinkelsen for kollektivtrafikken med 3-min avgangsintervall påvirkes av rampekontrollen, både med og uten bussprioritet.

### **Basisnettverk**

For basisnettverket øker forsinkelsen for bussen dersom rampekontrollen blir aktivert uten bussprioritet. Økningen er på 30% over hele simuleringsperioden for Dagens busstrafikk, sammenliknet med *Basisscenarioet*. Dersom rampekontroll med bussprioritet aktiveres, er nedgangen i forsinkelse på 16% sammenliknet med *Basisscenarioet* og 35% sammenliknet med *Rampekontroll uten bussprioritet*.

Rampekontrollen med bussprioritet har også innvirkning på kjøretøy som følger de andre subpathene.

For Nord -> Motorveg, vist i Figur 5.2, er det 6% reduksjon i forsinkelse for *Rampekontroll med bussprioritet* sammenliknet med rampekontroll uten bussprioritet. Dette var noe uventet da situasjonen skulle tilsi at forsinkelsen øker når det andre kjørefeltet får prioritet. Endringen i forsinkelse er likevel relativt liten og kan komme av at bussprioriteten gjør at rampekontrollen aktiveres på ulike tidspunkter som et resultat av at flere kjøretøy slippes ut på motorvegen ved bussankomst.

For kjøretøy fra Vest og Øst vist i Figur 5.3 og Figur 5.4 er det også en endring i forsinkelse dersom rampekontrollen inkluderer bussprioritet. For kjøretøy fra Vest, med Dagens busstrafikk er nedgangen på 15% og 24%, sammenliknet *Basisscenarioet* og *Rampekontroll uten bussprioritet*.

For kjøretøy fra Øst er det også en nedgang, den er på henholdsvis 11% og 25% sammenliknet med *Basisscenarioet* og *Rampekontroll uten bussprioritet*. Nedgangen er et resultat av at kjøretøy fra Vest og Øst kjører i det samme feltet som blir prioritert ved bussadkomst. Grafene i diagrammene viser at *Rampekontrollen med bussprioritet*

reduserer forsinkelsen per kjøretøy mest i perioden 06:30-07:50, da trafikkmengden inn mot påkjøringsrampen og på motorvegen er størst i dette tidsintervallet.

En forskjell i forsinkelse sees også mellom busser i kollektivfelt og kjøretøy fra Øst, vist i Figur 5.15 og Figur 5.16. For *Basisscenarioet* er forsinkelsen gjennomsnittlig 30% mindre for bussen. Forskjellen reduseres til 23% dersom rampekontrollen uten bussprioritet aktiveres og øker til 34% dersom rampekontroll med bussprioritet aktiveres.

### **Nettverk med forlenget kollektivfelt**

For nettverket med forlenget bussveg får også bussene en nedgangen i forsinkelse ved aktivering av rampekontrollen sammenliknet med *Basisscenarioet*. Dette er fordi bussen kjører i eget felt frem til etter rampekontrollen. Kjøretøy som kommer fra rundkjøring 1 og 2 har i tillegg vikeplikt for bussen når den skal ut i blandet trafikk, vist i Figur 4.8. Dette er modellert på den måten at bussen ikke skal trenge å vente på en luke hvis det er høy trafikk inn mot rampen. Rampekontrollen reduserer forsinkelsen med 33%. Selv i dette scenarioet er likevel noe økt forsinkelse for bussen i perioden med mest trafikk. Dette skyldes til dels dårlig fletting på motorvegen når trafikkmengden er høy, noe som fører til økt forsinkelse til tross for at bussen kan kjøre uavbrutt gjennom rampen.

For Nord -> Motorveg, vist i Figur 5.9 vil imidlertid forsinkelsen øke med 123% for scenarioet med rampekontroll. En økning sees også for kjøretøy som følger subpathen Vest -> Motorveg, vist i Figur 5.10. Her øker forsinkelsen med 33%. Kjøretøy fra Øst, vist i Figur 5.11, får en mere markant økning, på 63%. Dette skyldes at de kommer senere inn i rundkjøringen og dermed må vike for kjøretøy fra Vest.

Rampekontrollen gir også en betydelig forskjell mellom kjøretøy fra Øst og busser i kollektivfelt. Forsinkelsen er 246% større i *Basisscenarioet* og 740% større i scenarioet med rampekontroll. Dette skyldes at forsinkelsen for kjøretøy fra Øst er betydelig større for dette nettverket, sammenliknet med basisnettverket.

## 6.3 Økt busstrafikk inn mot påkjøringsrampen

### Basisnettverk

Figur 5.8 viser forsinkelsen for 3-min buss for Basisnettverket. I scenarioene med rampekontroll med bussprioritet, er forsinkelsen redusert med 25% sammenliknet med *Basisscenarioet* og 45% sammenliknet med *Rampekontroll uten bussprioritet*. Denne nedgangen er større enn ved Dagens busstrafikk, det kan forklares med at en høyere busstetthet gir flere passeringer og dette gir et større grunnlag for sammenligning av passeringsdata i Aimsun.

For kjøretøy fra Vest og Øst vist i Figur 5.3 og Figur 5.4 er det også en reduksjon i forsinkelse dersom *Rampekontroll med bussprioritet* aktiveres. For kjøretøy fra Vest, vist i Figur 5.3, er nedgangen på 18% sammenliknet med *Basisscenarioet* og 34% sammenliknet med *Rampekontroll uten bussprioritet*.

For kjøretøy fra Øst er det en redusert forsinkelse på henholdsvis 17% og 38% sammenliknet med *Basisscenarioet* og *Rampekontroll uten bussprioritet*.

Dersom *Rampekontroll uten bussprioritet* aktiveres så øker forsinkelsen for kjøretøy fra Vest og Øst med 24% og 35%, sammenliknet med *Basisscenarioet*. For kjøretøy fra Nord er nedgangen i forsinkelsen på 5% for scenarioet med *Rampekontroll* sammenliknet med *Rampekontroll uten bussprioritet*.

Sammenlignet med Dagens busstrafikk gir en høyere bussintervall større utslag av bussprioriteten. Forsinkelsen reduseres ytterligere for kjøretøy fra Øst og Vest på grunn av at flere busser får prioritet, som busstrafikken prioriteres.

Hvis rampekontrollen uten bussprioritet aktiveres, forsterkes denne effekten i negativ forstand og forsinkelsen øker mer for kjøretøy fra Vest og Øst. Dette kan være et resultat av at flere kjøretøy inn mot rampen øker forsinkelsen. Det samme gjelder for busstrafikken, der forsinkelsen øker med 37% sammenlignet med *Basisscenarioet*.

En liknende forskjell som ved Dagens busstrafikk sees også mellom busser i kollektivfelt og kjøretøy fra Øst, vist i Figur 5.15 og Figur 5.16. For *Basisnettverket med 3-min bussintervall* er forsinkelsen gjennomsnittlig 35% mindre for busstrafikken, forskjellen reduseres til 34% dersom *Rampekontroll uten bussprioritet* aktiveres og øker til 41% for scenarioet *Rampekontroll med bussprioritet*.

### Nettverk med forlenget kollektivfelt

Figur 5.8 viser forsinkelsen for 3-min buss for nettverket med forlenget kollektivfelt. I scenarioene *Rampekontroll med bussprioritet* er forsinkelsen redusert med 33% sammenliknet med *Basisscenarioet*.

For kjøretøy fra Øst og Vest er økningen i forsinkelse når rampekontrollen er aktivert på 117% og 59%. Dette er henholdsvis 12% og 4% større enn med Dagens busstrafikk som kollektivplan. I kontrast får kjøretøy fra Nord, 5% reduksjon i forsinkelse ved økt bussintervall inn mot rampen, sammenliknet med Dagens busstrafikk med rampekontroll.

Rampekontrollen gir også her en betydelig forskjell mellom kjøretøy fra Øst og busser i kollektivfelt. Forskjellen i forsinkelse er 221% for *Basisscenarioet* og 945% med *Rampekontroll*.

Dersom forsinkelsen for buss sammenliknes mellom nettverkene reduseres forsinkelsen med 61% for Dagens busstrafikk og 57% for 3-min bussintervall, dersom bussen kjører i eget felt frem til rampekontrollen, sammenliknet med *Rampekontroll med bussprioritet*.

## 6.4 Andre forhold

### Endringer i forsinkelse

Flere av resultatene for subpathene viser en relativt liten gjennomsnittlig endring som et resultat av rampekontrollen. Dette kommer av at området som er modellert har en liten geografisk utstrekning og dermed blir utslagene små. I tillegg er økt forsinkelse kun en utfordring i en begrenset del av morgenrushet, dermed er forskjellen i gjennomsnittlig forsinkelse per kjøretøy liten, dersom antall sekunder sammenliknes.

### Trafikkdata

Trafikkdataene som er registrert ved hjelp av GoPro kameraer er til dels usikre når de kommer til å gi et reelt bilde av trafikketterspørselen inn mot påkjøringsrampen. Dette er fordi det var saktegående kø inn mot rundkjøringene i store deler av registreringsperioden. Dermed er den reelle trafikketterspørselen høyere enn det som var mulig å registrere ved hjelp av videopptakene. Køsituasjonen inn mot rundkjøringene var liknende det som er vist i Figur 4.14.

Trafikkdataene som er registrert ved hjelp av GoodVision har også en viss grad av usikkerhet, spesielt når det gjelder andelen tunge kjøretøy. Det ble registrert en lav andel tunge kjøretøy, noe som kan påvirke nøyaktigheten. En sammenligning mellom de manuelle trafikkteilingene og GoodVision ble forsøkt for å vurdere datakvaliteten. Resultatene fra denne sammenligningen, som er vist i Tabell 4.4, viser små forskjeller i antall registrerte kjøretøy i perioden. Det er imidlertid verdt å merke seg at sammenligningen kun omfattet antallet kjøretøy og ikke sammenliknet kjøretøytyper.

Trafikkdataene som er brukt i simuleringen er økt med 20% mot sentroiden Motorveg. Dette gjør at sammenlikningsgrunnlaget med den faktiske situasjonen på Schancheholen reduseres som er resultat av ulik trafikkmengde. Årsaken til denne tilpasningen var at forbedringer i samhandlingen på motorvegen førte til at den registrerte trafikkmengden

ikke ga noen signifikante resultater når det gjaldt nytteverdien av rampekontroll. Ved å øke trafikkmengden i simuleringen ble det mulig å bedre vurdere effekten av rampekontroll og bussprioritet under ulike trafikkforhold.

### **Antall replikasjoner**

I løpet av simuleringsprosessen ble det lagt merke til at de ulike replikasjonene viste betydelig variasjon i resultatene for det samme scenarioet. Basert på denne observasjonen ble det tatt en beslutning om å øke antallet replikasjoner per scenario fra 10 til 50. Hensikten med å øke antallet replikasjoner var å redusere usikkerheten knyttet til simuleringene og oppnå mer pålitelige resultater.

### **Intervall detektering**

Simuleringene som ble utført med deteksjon av belegg hvert minutt, viste opprinnelig hyppige aktiveringer og deaktiveringer av rampekontrollen. Dette oppstod på grunn av gjentatte svingninger av belegg rundt 50%. Som et resultat ble rampekontrollen flere ganger deaktivert når det var kødannelse inn mot påkjøringsrampen, noe som førte til at en stor mengde kjøretøy samtidig strømmet inn mot påkjøringsfeltet. En slik styringsmetode kan føre til dårlig trafikkflyt ved å skape en situasjon der mange kjøretøy kommer ut på påkjøringsfeltet samtidig. Dette kan igjen føre til kødannelse og ineffektiv avvikling inn mot motorvegen.

For å forbedre situasjonen ble det derfor besluttet at rampekontrollen ikke skulle deaktiveres før belegget falt under 40%, etter at den først hadde blitt aktivert. Dette tiltaket bidro til å redusere antall aktiveringer og deaktiveringer av rampekontrollen i perioder med høy trafikk. Ved å opprettholde rampekontrollen aktiv når belegget var over 40%, var det mulig oppnå en mer stabil styring og unngå hyppige endringer i trafikkmønsteret ved påkjøringsfeltet.

En gjennomsnittsmåling av belegg over en periode på 10 minutter slik oppsettet er på Schancheholen, ville sannsynligvis ha resultert i en jevnere justering av rampekontrollen. Det var imidlertid utfordrende å finne en måte å gjøre dette, ved vanlig bruk av triggere (Fidgett & Undheim, 2023).

### **Fjerning av vikeplikt, rundkjøring 2**

I oppbygningen av nettverket ble innkjøringen til rundkjøring 2, fra rundkjøring 1 endret på grunnlag av observerte forhold under simuleringene. Det ble observert at det dannet seg en betydelig kø når kjøretøy som skulle nordover i rundkjøring 2 måtte vike for kjøretøy som skulle fra Nord og mot påkjøringsrampen. Denne køsituasjonen førte til en opphopning av kjøretøy som spredte seg gjennom store deler av nettverket. For å unngå en slik situasjon ble vikeplikten for kjøretøy som skulle nordover fjernet. Dette tillot dem å kjøre gjennom rundkjøringen i en luke, selv om det var saktegående kø gjennom rundkjøringen. Et slikt kjøremønster ble også observert ved analyse av videoopptakene fra rundkjøring 2.



## **Grenseverdier**

Grenseverdiene til rampekontrollen fra oppsettet på Schancheholen er annerledes enn verdiene brukt i simuleringen. På Schancheholen aktiveres rampekontrollen når belegget er over 25% og deaktiveres når det er under 15%. Verdiene som angir om rampekontrollen skal aktiveres eller ikke, er gitt som en gjennomsnittsverdi over et 10 minutters intervall.

En grunn til ulike grenseverdier er eventuelle forskjeller mellom detektering av belegg i en simulering og av et fysisk kamera. Sensorene på anlegget på Schancheholen er termiske kameraer som måler belegget ved å detektere hvor lenge et kjøretøy er innenfor et definert område på vegen (*ThermiCam AI*, u.å.). Belegg i Aimsun er definert som en prosent av hvor lenge det er detektert kjøretøy over detektoren i den siste omløpstiden. Detaljert informasjon om virkemåten til Flir-kameraet er ikke offentlig tilgjengelig.

En annen forskjell er at maksimal rødtid i simuleringen er på 10 sekund, men på Schancheholen er den på 16.5 sekund. Dette kommer av at trafikkflyten på motorvegen i simuleringen er bedre enn den faktiske situasjonen. Dette er fordi trafikken fra påkjøringsrampene lengre nedstrøms ikke er modellert og dermed er det utfordrende å gjenskape en realistisk køsituasjon der det er behov for lengre rødtid (Aimsun, u.å.), (Fidgett & Undheim, 2023).

## **Hastighet motorvegen**

En annen forskjell mellom simuleringen og den faktiske situasjonen på Schancheholen er at fartsgrensen på motorvegen ikke ble satt ned til 60km/t når rampekontrollen var aktivert. Dette kommer av at rampekontrollen slik den er satt opp i Aimsun ikke har gjennomsnittlige målinger av belegget på motorvegen. Som følge av dette er en plutselig endring av fartsgrensen ved aktivering av rampekontrollen ikke betraktet som realistisk.

## 7 Konklusjon

Studien har evaluert muligheten for å oppnå kollektivprioritering ved bruk av rampekontroll på Schancheholen i Stavanger. I tillegg har det blitt undersøkt hvordan trafikken på motorvegen og inn mot påkjøringsrampen påvirkes av rampekontroll.

Resultatene viser at rampekontrollen uten bussprioritet fører til en økning i både forsinkelse og reisetid totalt. Dette kan forklares ved at modelleringen av nettverkene har en begrenset utstrekning der kun en del av motorvegen er inkludert. Som følge av dette opprettholdes en tilfredsstillende trafikkavvikling på motorvegen i basisscenarioene og det oppstår dermed kun små reduksjoner i forsinkelse for kjøretøy på motorvegen, som følge av rampekontrollen. Likevel viser resultatene at rampekontroll med bussprioritet fører til redusert forsinkelse for kjøretøy inn mot påkjøringsrampen, sammenliknet med rampekontroll uten bussprioritet.

I scenarioet med rampekontroll og bussprioritet er det en nedgang på 16% i forsinkelse for Dagens busstrafikk, sammenliknet med scenarioet uten rampekontroll. For et høyere bussintervall med avgang hver 3. minutt ble forsinkelsen redusert med 25%. Bussprioriteten hadde også en positiv effekt på kjøretøyene som kom fra Øst og Vest, da de delte kjørefelt med bussen som fikk prioritet. Forsinkelsen ble redusert med henholdsvis 11% for kjøretøy fra Øst med Dagens busstrafikk og 17% med 3-min bussintervall, sammenliknet med scenarioet uten rampekontroll. For kjøretøy fra Vest ble forsinkelsen redusert med henholdsvis 15% og 18% for Dagens busstrafikk og 3-min bussintervall.

Studien undersøkte også hvordan et forlenget kollektivfelt påvirket busstrafikken og andre kjøretøy. Resultatene viste at rampekontrollen førte til en nedgang på 33% i forsinkelse for både Dagens busstrafikk og 3-minutters bussintervall. Imidlertid førte en slik utformingen av vegsystemet og styring av rampekontrollen til en betydelig økning i forsinkelse for de andre kjøretøyene som kjørte inn mot påkjøringsrampen.

Basert på modellen kan det konkluderes at rampekontroll med bussprioritet på Schancheholen kan være et effektivt middel for å prioritere kollektivtrafikken uten at det medfører betydelig forsinkelse for andre kjøretøy, sammenliknet med rampekontroll uten bussprioritet. Det er imidlertid viktig å nøye vurdere implementeringen av rampekontrollen og dens påvirkning på trafikkbildet.

## 7.1 Kommentar videre arbeid

Videre arbeid kan dra nytte av å utføre simuleringer som dekker en større del av motorvegen nedstrøms og inkluderer flere påkjøringsramper. Å begrense simuleringene til en mindre del av vegen resulterte i god trafikkflyt selv i basisscenarioene og en begrenset effekt av rampekontrollen på kjøretøyene på motorvegen. Ved å inkludere en større del av vegen med flere påkjøringsramper i simuleringene, er det mulig å få innsikt i hvordan reisetid og forsinkelse påvirkes. Videre kan disse simuleringene utvides ved å regulere flere av påkjøringsrampene med rampekontroll. Dette vil gi en mer omfattende analyse av effekten på både motorvegen og innfartsvegene.

Det kan også være av interesse å undersøke hvordan et scenario med kun bussprioritet uten ordinær rampekontroll vil påvirket forsinkelsen. En slik tilnærming kan for eksempel innebære deteksjon av busser i rute og deretter gi rødt lys kun for kjøretøy i det andre kjørefeltet, slik at bussene kan kjøre ut på motorvegen med redusert forsinkelse. En slik styring ville sannsynligvis ha ført til redusert forsinkelse for kjøretøy fra Nord sammenlignet med dagens modell, der rampekontrollen er kontinuerlig aktivert når belegget overstiger en forhåndsdefinert verdi. Dette skyldes at trafikken flyter jevnt i basisscenarioene, ettersom modellen kun omfatter en begrenset del av motorvegen.

En slik styringsmetode vil sannsynligvis ha best effekt i et område der trafikkavviklingen på motorvegen er bedre enn situasjonen i Stavanger. Dette skyldes at tiltaket kun dreier seg om prioritering av kollektivtrafikken og ikke en rampekontroll som styres avhengig av belegget på motorvegen.

# Referanser

- Aimsun. (u.å.). *Aimsun Next 22 User's Manual*. Hentet 11. mai 2023, fra <https://docs.aimsun.com/next/22.0.1>
- Bellemans, T., De Schutter, B., & De Moor, B. (2006). Model predictive control for ramp metering of motorway traffic: A case study. *Control Engineering Practice*, *14*(7), 757–767. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2005.03.010>
- Dadashzadeh, N., & Ergun, M. (2019). An Integrated Variable Speed Limit and ALINEA Ramp Metering Model in the Presence of High Bus Volume. *Sustainability*, *11*(22), Artikkel 22. <https://doi.org/10.3390/su11226326>
- Fidgett, I., & Undheim, I. (2023). *Evaluering av tilfartskontroll E39 Schancheholen*. Norconsult.
- FINN kart. (u.å.). [Map]. Hentet 9. november 2022, fra <https://kart.finn.no/>
- GoodVision Traffic Data Collection. (u.å.). Hentet 14. mai 2023, fra <https://goodvisionlive.com/solutions/traffic-data-collection/>
- Haule, H. J., Ali, M. S., Alluri, P., & Sando, T. (2021). Evaluating the effect of ramp metering on freeway safety using real-time traffic data. *Accident Analysis & Prevention*, *157*, 106181. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106181>
- Lee, C., Hellinga, B., & Ozbay, K. (2006). Quantifying effects of ramp metering on freeway safety. *Accident Analysis & Prevention*, *38*(2), 279–288. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2005.09.011>
- Li, Z., Liu, P., Xu, C., & Wang, W. (2018). Development of analytical procedure for selection of control measures to reduce congestions at various freeway bottlenecks. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, *22*(1), 65–85. <https://doi.org/10.1080/15472450.2017.1371598>
- Lunde, G. D. (2023, april 18). *Rødtidsintervall tilfartskontroll* [Personlig kommunikasjon].
- May, A. (1990). *Traffic Flow Fundamentals*.

- Mitroi, I.-S., Ciobîcă, A.-M., & Popa, M. (2016). *CAR-FOLLOWING MODELS. COMPARISON BETWEEN MODELS USED BY VISSIM AND AIMSUN*.
- Moghimi, B., & Kamga, C. (2020). *Transit Signal Priority in Smart Cities*.  
<https://doi.org/10.5772/intechopen.94742>
- N100 Veg- og gateutforming. (2022). Statens Vegvesen.  
<https://viewers.vegnorm.vegvesen.no/product/859943/nb>
- Papageorgiou, M., Ben-Akiva, M., Bottom, J., Bovy, P. H. L., Hoogendoorn, S. P., Hounsell, N. B., Kotsialos, A., & McDonald, M. (2007). Chapter 11 ITS and Traffic Management. I C. Barnhart & G. Laporte (Red.), *Handbooks in Operations Research and Management Science* (Bd. 14, s. 715–774). Elsevier.  
[https://doi.org/10.1016/S0927-0507\(06\)14011-6](https://doi.org/10.1016/S0927-0507(06)14011-6)
- PTV VISSIM - MODULES. (u.å.). PTV Group.  
[https://www.issd.com.tr/upload/Node/36085/files/EN\\_PTV\\_Vissim\\_Modules.pdf](https://www.issd.com.tr/upload/Node/36085/files/EN_PTV_Vissim_Modules.pdf)
- Reiseplanlegger Kolumbus. (u.å.). Kolumbus AS. Hentet 11. november 2022, fra  
<https://www.kolumbus.no/reiseplanlegger/>
- Smaragdis, E., & Papageorgiou, M. (2003). Series of New Local Ramp Metering Strategies: Emmanouil Smaragdis and Markos Papageorgiou. *Transportation Research Record*, 1856(1), 74–86. <https://doi.org/10.3141/1856-08>
- Statens Vegvesen. (2019). *Trafikkteknisk vurdering for signalvedtak: Schancheholen sørgående Rampekontroll 1103-900*. Statens Vegvesen.
- Statens Vegvesen. (2020a). ~ 20\_63408-6 SK-skjema rampekontroll Schancheholen 07.12 13648763\_1\_1. Statens Vegvesen.
- Statens Vegvesen. (2020b). 20/63408—Skiltplaner—2. Gangs merknader—Søknad om variable fartsgrenseskilt på E39 fra Schancheholen til Auglendstunnelen. Statens Vegvesen.
- Statens Vegvesen. (2020c). *Schancheholen—Åsen Signalanlegg*. Statens Vegvesen.
- Statens Vegvesen. (2021a). VD1 2021—Vedtak om variabel fartsgrense 90 km/t—E39—Stavanger og Sandnes kommune. Statens Vegvesen.

Statens Vegvesen. (2021b). *Vedtak VD-2 F11-21. Prøveprosjekt—Tilfartskontroll av påkjøringsrampe på E39 ved Schancheholen i Stavanger kommune. Ny løsning.* Statens Vegvesen.

*ThermiCam AI.* (u.å.). Hentet 23. mai 2023, fra <https://www.flir.eu/products/thermicam-ai?vertical=public+safety&segment=solutions>

Tilfartskontroll. (2022). I *Trafikksikkerhetshåndboken*. Transportøkonomisk Institutt. <https://www.tshandbok.no/del-2/3-trafikkregulering/3-23-tilfartskontroll/>

*Trafikkdata.* (u.å.). Hentet 15. desember 2022, fra <https://www.vegvesen.no/trafikkdata/start/kart?lat=58.95380727112122&lon=5.721449456440601&trafficType=vehicle&zoom=16>

*Trafikkdata | Rampe avkjøring E39.* (u.å.). Hentet 19. april 2023, fra <https://www.vegvesen.no/trafikkdata/start/utforsk?datatype=volume&display=chart&from=2023-03-29#trpids=64739V2726063>

*Trafikkdata | Rampe påkjøring E39.* (u.å.). Hentet 17. april 2023, fra <https://www.vegvesen.no/trafikkdata/start/utforsk?datatype=volume&display=chart&from=2023-03-29#trpids=36717V2726066>

*Trafikkdata | Rampe påkjøring E39 fra ullandhaug.* (u.å.). Hentet 17. april 2023, fra <https://www.vegvesen.no/trafikkdata/start/utforsk?datatype=volume&display=chart&from=2023-03-29#trpids=96553V2725986>

*V123 Kollektivhåndboka.* (2014). Statens Vegvesen.

*Veileder for Aimsun, Versjon 0.95.* (2022).

*Welcome to GoodVision.* (u.å.). Hentet 19. juni 2023, fra <https://goodvisionlive.com/about-goodvision/>

Øxnevad, J. U. (2022). *Simulering av påkjøringsrampe med rampekontroll i Aimsun* [Prosjektoppgave]. NTNU.

Aakre, A. (2022, mars). *Traffic simulation and AIMSUN.*

# Vedlegg

## Vedlegg A

Oversikt over total reisetid, fordelt på subpathene.

### Total reisetid, Basisnettverk

#### Total reisetid, Basisnettverk, Dagens busstrafikk.

Fra	Til	Total Reisetid [timer]		
		Basisscenario, Dagens busstrafikk	Rampekontroll	Rampekontroll, Bussprioritet
Nord	Motorveg	60.62	89.38	84.84
Vest	Motorveg	17.67	17.85	16.69
Øst	Motorveg	23.20	24.93	21.76
Eiganestunellen	Motorveg	29.69	29.33	29.52
Kollektivfelt	Motorveg	0.55	0.62	0.51

#### Total reisetid, Basisnettverk, 3-min buss.

Fra	Til	Total Reisetid [t]		
		Basisscenario, 3-min buss	Rampekontroll, 3-min buss	Rampekontroll, Bussprioritet, 3-min buss
Nord	Motorveg	59.36	92.35	89.32
Vest	Motorveg	17.58	18.63	16.38
Øst	Motorveg	23.17	26.38	21.01
Eiganestunellen	Motorveg	29.79	29.37	29.46
Kollektivfelt	Motorveg	1.22	1.40	1.09

#### Total Reisetid, nettverk med forlenget kollektivfelt.

#### Total reisetid, nettverk med forlenget kollektivfelt, Dagens busstrafikk.

Fra	Til	Total Reisetid [t]	
		Basisscenario, Dagens busstrafikk	Rampekontroll
Nord	Motorveg	52.18	83.08
Vest	Motorveg	18.34	21.07
Øst	Motorveg	25.74	34.78
Eiganestunellen	Motorveg	29.71	29.43
Kollektivfelt	Motorveg	0.41	0.38

**Total Reisetid nettverk med forlenget kollektivfelt, 3-min buss.**

Fra	Til	Total Reisetid [t]	
		Basisscenario, 3-min buss	Rampekontroll, 3-min buss
Nord	Motorveg	52.28	79.95
Vest	Motorveg	17.52	21.39
Øst	Motorveg	23.50	37.48
Eiganestunellen	Motorveg	29.82	29.36
Kollektivfelt	Motorveg	0.93	0.85



## Elektroniske Vedlegg

- **Basisnettverk.ang** – Basisnettverket i Aimsun over påkjøringsrampen på Schancheholen.
- **Nettverk med forlenget kollektivfelt.ang** – Nettverket med forlenget kollektivfelt til etter rampekontrollen i Aimsun.
- **Trafikkdata.xlsx** – Trafikkdata som er lagt inn i Aimsun, med 20% økning mot sentroiden Motorveg, på 15 minutters oppløsning.



